

The School of Gas Turbine Technology のことなど

河田 修*¹

KAWATA Osamu

ロンドン、ウォータールー駅を発って40分程西に行くところファーンボローに着く、航空ショーで名高いこの地に“The School of Gas Turbine Technology”がある(あったと言うべきか)。1958年11月2日の午後、私はスーツケース1個をブラ下げて町はずれにある古びた田舎地主の屋敷風な館のドアを叩いた、現れた初老の男はブラウンと名乗り「遠路良く来られた、私は当スクールの事務長である、何ぞあれば申し出でられよ。まずは貴殿の部屋に案内しよう。」と笑顔で迎え入れてくれた。

冬の日には早々と暮れて、今期24名のクラスメイトの1員として少々固くなって最初の夕食のテーブルに付いたが、志を同じくする“Gasturbinists”の集まりとあって直ぐに打ち解けて会話が弾み、3週間の合宿生活を幸先良くスタートすることが出来た。

私が“The School of Gas Turbine Technology”のことを知ったのは富士電機に就職して間もない頃(1954年)であった、英国のジェット・エンジンの開祖フランク・ホイットル卿の肝煎で彼の住居兼仕事場を改装して設立された此の「学校」は、既に社会人となったガスタービン技術者を対象に体系的な知識のリフレッシュメントを目的として、広く国内国外から生徒を受入れていた。

本誌1998年12月号掲載の拙文に書いた様にプロとしての最初の仕事で厳しい現実を味わった後、私は提携先のエッシャー・ウィス社に派遣されることになったので、急遽“The School”宛に手紙を書いて入学許可を取りつける一方上司を説得して承認を受けた、就職後4年目に陥っていたスランプを脱して自信をつけるチャンスを掴みたい気持ちも強かった。1958年9月の初頭から始まったエッシャー・ウィス(チューリッヒ)での仕事を中断して、初めて英国の地を踏むことになったのである。(当時は固定為替レートで£.1=¥.1,000.だった)

翌3日から密度の濃い授業が始まった、生徒達は全員職業人としての問題意識を持って集まって来た人々であるから真剣そのものであり、講師諸氏も実務経験豊かなベテラン揃いで高度な内容の講義を展開したからクラスルームには熱気が籠り、時間の経つのが早かった。

嘗て1955年に来日したMITのE.S.テラー教授のレクチャーを聴講した経験があったから、“The School”の講義について行くのに然程困難は無かったが、

単位系が英国式であるのには閉口した。非公開データやノウハウの機微に関する様な話は注意深く排除されていたが、一連の講義と質疑応答を通じて日頃から気に掛けていた疑問の幾つかが解明されて安堵すると共に、今後とも追求すべき分野と方角のヒントが得られたのは収穫だった。

“the school”の主任教授はジェームス・ホッジ氏であった。前述のホイットル卿が設立したパワー・ジェット社に創業期から参画し有力な協力者の一人として同僚の期待と後輩の尊敬を集めて居た人物[†]で、彼の講義は幾分吃訥としたところがあるものの誠実な人柄が滲み出ており印象深く、書物や文献でしか接することの無かった偉大な先輩の肉声を聞き容貌を目の当たりにする機会に恵まれたのは嬉しいことであった。

英国流のティータイムとゆっくりしたランチタイムを挟んだ授業時間割、遅いディナーと食後就寝迄のたっぷりした自由時間のお陰で、外に出て冷気で頭を冷しながら散策したり、広間で数人づつ固まって雑談の輪を作ったりして、充実感と疲労感の混じり合った解放感に浸りながら、お互に交流を楽しむ日々を過ごすことが出来た。

同級生のうち英国人以外の生徒はノールウェー、デンマーク、ベルギー、ドイツ、アメリカ、パキスタン及び日本から夫々1名であった。英国人生徒の一人に国連軍の一員として朝鮮戦争に参加したという男が居て、独りぼっちの私に向かって、当時つかの間の休暇を過ごした浅草や銀座界限等の歓楽街での思い出話を交えながら、「あの頃私達にとって日本は天国だった、是非もう一度行ってみたい」と語りかけ、会話のサークルに誘い込んでくれた。生徒達は殆ど就職後3~6年の者が多かったが、中には40歳がらみの英国海軍技官も居て、彼は「最近ガスタービン推進駆逐艦プロジェクトに関わることになったので、出戻り勉強をしに来たのだ」と打明けた。アメリカから来た陽気な大男は屢々ジョークを飛ばして皆を笑いに巻き込む人気者だったが、私に向かって「君の発音にはアメリカ訛がある何処で英語を習ったのか?」と問いかけた「私は13才から日本の中学校で英語を習い始めたが、話し方は17才から進駐軍のラジオ放送を聴いて覚えたのだ」と答えると、「良く解った!でも南部訛のアメリカ語よりも上等だ」と笑った。そこで話題は、「正しい英語とは?」「BBCのニュース・キャスターの発音は模範であるか?」「OXBRIDGEは良く聞き取れない」「CockneyよりもScotchの方が良く判る」「君は

原稿受付 2000年4月10日

* 1 榊富士電機ガスタービン研究所(非常勤・顧問)

〒152-0022 東京都目黒区柿の木坂2-18-7(自宅)

THE SCHOOL OF GAS TURBINE TECHNOLOGY
FARNBOROUGH, HAMPSHIRE
PROGRAMME FOR
No. 151 INDUSTRIAL COURSE (Nov. 1958)

Date	0900 - 1030	1045 - 1300	1400 - 1530	1545 - 1700
Mon 3rd Nov.	Introduction and Power Plant Efficiencies	Mechanical Constructi- on of Gas Turbines; (by Sectioned Engines)	Thermodynamics of Gas Turbine	
Tues 4th	Gas Dynamics	Cycles, Cycle Calculations and Worked Examples		Manufacturing Processes (1)
Wed 5th	Theory & Design of Centrifugal Compressors and Demonstration of Surging		Metallurgy & Heat Resistant Materials (by G.Meikle; Royal Aircraft Establishment)	
Thur 6th	Manufacturing Processes (2)	Fuel Atomisers. (illustrated by film; Shell Petroleum Co.)	Theory and Design of Axial Compressors (1)	
Fri 7th	Theory and Design of Axial Compressors(2)	C o m b u s t i o n S y s t e m s		Discussion
Mon 10th	Basic Theory of Turbines	Mechanical Design of Turbines	Aerodynamic Design of Turbines with Examples	
Tues 11th	Heat Trancefer Theory and Heat Exchananger Design		R e s e a r c h M e t h o d s	
Wed 12th	High Temperature Turbines	Performance Estimation of a Jet Engine	Calculations of Part Load Performance of a Shaft Power Engine	
Thur 13th	Stressing of Discs and Impellers	Stressing of Blading	M e c h a n i c a l D e s i g n	
Fri 14th	Choice of Type of Plant	Vibration (by R. G. Voysey; Ministry of Power)	Gas Turbine Economics (by R. G. Voysey; Ministry of Power)	Discussion
Mon 17th	Visit to N. G. T. E., Pyestock		P r o c e s s G a s T u r b i n e	
Tues 18th	Instrumentation & Test Procedure	Engine Test (using ROVER I. S. /60)	Heat Exchanger Constru- ction (G. A. Montgomerie ;Serck Radiators Ltd.)	Air Heaters (for Closed Cycle)
Wed 19th	Fuel Grading & Avail- ability (P. Draper; Shell Petroleum Co.)	Precision Casting (illustrated by film)	Marine Gas Turbines (Lt. Cdr. C. W. Awmack; Admiralty)	Inspection Methods and Procedure
Thur 20th	Gas Turbines for Electric Power Generation	Control & Governing of Gas Turbines	Analysis of Test Results	Stage Matching
Fri 21st	Gas Turbines for Land Traction	British Gas Turbines	Future Developments	[Programme Finish]

S. G. T. e c ' s L e c t u r e r s : J. A. Barnes, G. B. Bozzoni, J. Brown, N. M. Clark, J. Hodg, W. C. F. Moxon,
R. D. Teire, J. Vickery, J. E. Wightman.

[END]

“My fair lady” を観たか?”等々と拡散していった。

プログラムには座学の他に実験の時間と見学が組込まれていた。実験は、別棟の実験室に備え付けられているローバー社製の小型ガスタービンを運転して出力と燃料消費率を測定するのだが、起動は人力であって腕自慢の志願者2人がクランクに取付いて顔を真っ赤にして廻すと10秒程で自立運転状態に到達し、辺りはあの御馴染みの甲高いタービン・サウンドで満たされ、一同互いに目配せし背き合ってニヤリとしたものであった。

見学は、国立ガスタービン研究所：NGTEを訪問する予定になっていたが、残念なことに「旧敵国条項」と言う奴が今だに生残っていてドイツ人と日本人は参加出来ないという訳で二人は“The School”に取り残された。「戦後」は未だ跡を曳いていたのだ。「英国の戦後」

の跡はティータイムに出てくるシュガーポットの中味にも残っていた、角が取れた灰白色の半透明な石コロに似た「角砂糖」は第二時大戦初期迄に海上封鎖を見越して備蓄された大量のストックの名残であって、高級ホテルやレストランを含むあらゆる場所で常用されていた。

ファーンボローは何も無い小さな田舎町であるから、学期中二度の週末には生徒達は思い思いに英国見物に散って行ったが、懐中寂しい私は当時の朝日物産(株)ロンドン駐在員・小野寺宏氏を頼って時を過すしか選択肢を持っていなかった。単身赴任してシティーの片角に事務所を構えていた私と同年のこの商社マンは私などより遥かに世慣れて居て、効率よくあちこちの興味深いスポットに案内したり、英国流ライフスタイルの数々を伝授してくれたから、彼のお陰でロンドン滞在中に私の孤

独感は癒され、気を取り直してファーンボローに戻る事が出来た。今でも深く感謝している。

“The School”での3週間に私が得たものは、ガスタービン技術者としての基本的な知識体系に関する当時の最新情報のみならず、国際的な接触の場での良きマナー、後進者の指導に当たって心すべきことなど、テクノロジー以外の知見・収穫も少なく無かったと感じている。

11月21日の午後、コースの全課程が終了し三々五々と別れを惜しみながら去って行く生徒達に混って私も思い出深いファーンボローを後にしてロンドンに向かった。

次の週をRuston & Hornsby社やJesop-Saville社などの訪問に費やした後、チューリッヒに戻った私は翌年の1月末までエッシャー・ウイスで過したが、周りの人々の私に接する態度が以前とは微妙に変化してゆくのが感じられた、“The School”での体験が私自身を変えたことの反映であったように想える。

2月の初めにチューリッヒを離れて、兼ねての計画通りアメリカに渡る前に再度ロンドンを訪れた、当時運行を再開していたBOACのコメットIVに乗って大西洋を渡るためである。このジェット旅客機のパイオニアは航続距離が短いため、ニューヨーク到着迄に2度も（ア

イルランドのシャノン、ニューファウンドランドのガンダー）給油せねばならなかったが、離着陸の際に行う圧縮機抽気弁の開閉やスポイラーの動作を幾度も観察体験出来て面白かった。高度40,000フィートに達する巡航飛行の快適さは格別で、最後のピストンエンジン4発機DC-7とは較べ物にならない乗り心地を満喫出来た。

約6週間の米国滞在中に予定を遣り繰りして、前述の大男のアメリカ人ネルソン・リード君をオハイオ州マウントヴァーノンに訪ねた。彼はCooper-Bessemer社の大型ディーゼルエンジン部門の技師だったが、同社の得意とする高圧天然ガス・パイプライン用コンプレッサーを駆動する航空転用ガスタービンの開発を手掛けて居た。再会した二人はコンペティターでない気安さもあって、大いに打解けて夜更け迄グラスを傾け語り合った。

1959年3月下旬に初体験「180日間世界一周の旅」を終えて羽田に戻ったが、私にとって“The School”での3週間の思い出は、最も貴重な「ガスタービン巡礼の一場面」の記憶として後々迄残り続けて居る。

† : James Hodge ; “GAS TURBINE SERIES”, Butterworths Scientific Publications. の General Editor.

系統から見た分散型電源の大規模導入のための技術課題

石川 忠夫*¹

ISHIKAWA Tadao

キーワード：分散型電源，系統連系，保護協調，配電線電圧変動，単独運転現象，系統連系ガイドライン

Key Words: Dispersed Generation Systems, Grid-Interconnection, Protection Coordination, Distribution Line Voltage Regulation, Islanding, Grid-Interconnection Guideline

1. はじめに

分散型電源は、図1に示すような電力需要地の近傍に設置される比較的小規模の電源装置の総称である。従来のような大規模集中型電源と比較して、長距離の送電線を介さずに電力供給するため送電損失が減少すること、小規模電源であるため需要の変動等に対する即応性があること、需要地に設置されるオンサイト型電源であることから熱併給が可能になることなどの特徴を有している。このため、省エネルギー、環境保全という社会のニーズに対応して、自然エネルギーや未利用エネルギーの利用、熱併給による総合的エネルギー効率の向上などの観点から、需要家を中心に導入されてきている。

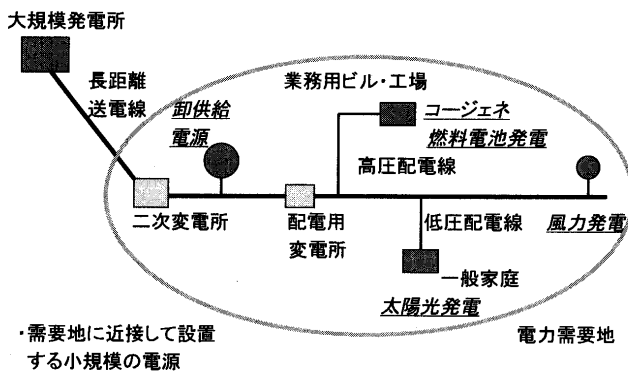


図1 分散型電源の導入形態

自然エネルギー発電としては、住宅地域での太陽光発電、郊外地域での風力発電および小水力発電があり、また、未利用エネルギーの活用としては、廃棄物発電やバイオマス発電が都市周辺部に導入されると考えられる。回転機系発電機を用いたコージェネレーションや燃料電池発電を使用した熱併給発電は都市部の業務用需要家単位で導入されると考えられるが、マイクロガスタービンや固体高分子燃料電池などの民生用需要家単位での導入

も想定される。

需要家での分散型電源の導入においては、自然エネルギー発電の場合には出力が気象条件等に左右されて不安定であるため、既存の電力系統と連系することで発電出力が足りない場合には系統から電力の供給を受け、発電出力が余った場合には系統に余剰電力を送り出すことでエネルギーの有効利用ができる。また、コージェネレーションの場合にも、系統連系することにより電力負荷や熱負荷の変動があっても安定した運転を行って効率の良い運転を行うことができる。一方、電力系統側としても、系統連系された分散型電源でピーク負荷時の電力需要の一部がまかなわれればピークカットなどの負荷平準化効果が生じる。分散型電源の導入に関しては、今後の分散型電源のコストダウン、規制緩和、あるいは政府による各種導入促進策の実施のほか電気事業でも分散型電源からの余剰電力購入メニューの制定なども行われている。このような背景から、今後分散型電源の系統連系はますます多くなっていくものと予想される。

これらのオンサイト型分散型電源は、現状の高・低圧配電系統や特別高圧線路系統の一部を含んだエリアへ連系されることになるが、これらの系統では従来は分散型電源の導入を想定した運用管理が行われてはいない。そのために分散型電源の導入により生じる問題点を明らかにし、その対策を示す必要がある。ここでは、分散型電源の導入形態による系統連系条件の相違について示し、現状の系統での分散型電源導入における課題とその対策について述べる。さらに、今後の分散型電源の大規模導入に対する課題について述べる。

2. 分散型電源の系統連系の形態

分散型電源の種類により決まる発電電力の形態によって最終的に系統連系されるときに形態が決定される。系統から見た場合には、分散型電源は表1に示すように回転機系の交流発電機で連系するものと、静止型の直交変換器（インバータ）を用いて連系するものとに大別される。詳細に分類すると、交流発電機には誘導発電機と同

原稿受付 2000年5月9日

* 1 (財)電力中央研究所 柏江研究所 需要家システム部
〒201-8511 東京都柏江市岩戸北 2-11-1

表1 各種分散型電源の種類と系統連系形態

エネルギー源	発電装置種類 (発電電力形態)	系統連系形態
自然エネルギー	太陽光発電 (直流)	インバータ
	風力発電 (交流)	交流発電機 (インバータ)
	小水力発電 (交流)	交流発電機
化石燃料 (ガス、 石油)	燃料電池発電 (直流)	インバータ
	回転機コージェネ (交流)	交流発電機 (インバータ)
未利用エネルギー	廃棄物発電 (交流)	交流発電機

表2 交流発電機とインバータの系統連系上の相違

系統連系形態	交流発電機	インバータ
連系装置の種類	同期発電機 誘導発電機	自励式インバータ 他励式インバータ
力率の調整能力	同期発電機：あり 誘導発電機：なし	自励式：あり 他励式：なし
高調波発生	なし	あり (フィルタ、多相化、高周波化等で対処)
起動電流	同期発電機：自動同期検 定装置で過電流防止 誘導発電機：定格電流の 数倍の過電流発生	自励式：制御系の同期検 定で過電流防止 他励式：ソフトスタートを 行い、過電流抑制
系統事故時電流	定格電流の数倍	定格電流の2倍以下に抑制
保護機能	外部に保護継電器設置 必要	インバータの内蔵保護利用 可

期発電機がある。インバータには他励式と自励式があり、自励式は電圧形と電流形がある。電圧形はさらに、電圧制御形と電流制御形に分類される。

交流発電機の出力を、一度直流に変換してからインバータを用いて連系する場合もあり、一部の風力発電や、マイクロコージェネ等に使用されている。

交流発電機とインバータでは、電力系統から見た場合に表2に示すような相違があるので、系統連系課題を考える場合には、これらの相違を理解しておく必要がある。

このほか、分散型電源の系統連系に際して需要家から電力系統側へ電力を送出 (逆潮流) する可能性があるかどうか系統連系の条件に影響する。図2に示すように、分散型電源を設置している需要家内で分散型電源の発電電力をすべて消費し、電力系統へは余剰電力を送出しない場合が逆潮流なしであり、余剰電力を電力系統へ送出する場合が逆潮流ありである。

風力発電や廃棄物発電の場合には設置者内部の負荷がないかあっても非常に小さいために常に発電電力を電力系統に送り出す逆潮流ありの場合に相当する。住宅設置用の太陽光発電やコージェネレーションなどの場合には、需要家内に設置されるため需要家内の負荷の大きさと発電電力の関係で逆潮流が発生する場合と発生しない場合の両方が考えられるが、少しでも逆潮流が発生する場合

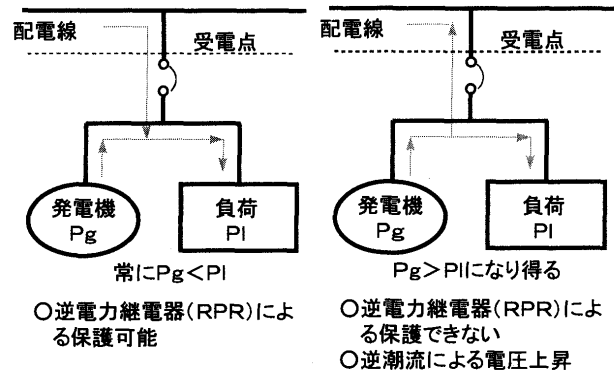


図2 逆潮流の有無

には、逆潮流ありの条件を考える必要がある。逆潮流なしの場合には、電力系統側で何らかの異常が発生した場合に電圧低下や逆電力の発生を検出して保護することが可能であるが、逆潮流ありの場合には逆電力の検出による保護は行えないため、系統連系条件として逆潮流の有無を考慮することが重要である。

このほか、連系される系統の形態として、低圧配電線連系、高圧配電線連系および特別高圧電線路への連系で電気方式や配電線接地構成等が異なるため、それぞれ異なった連系保護装置が必要となってくる。

3. 分散型電源の系統連系に関する技術的課題とその対策

3.1 現状での課題と対策

現状の配電系統に少数の分散型電源が導入された場合の課題としては、表3に示すように系統側からは供給信頼度の確保 (保護協調)、電力品質の確保、安全の確保と設備保全の要求があり、また、分散型電源側からは安定運転の要求がある。以下、主要な項目について、その具体的対策を示す。

(1) 供給信頼度の確保

- (a) 分散型電源の内部事故・故障の電力系統への波及防止

表3 現状の配電系統における分散型電源連系の課題

電力系統側および分散型電源を設置していない需要家からの要求	供給信頼度の確保 (保護協調)	<ul style="list-style-type: none"> 分散型電源の内部事故、故障の連系系統への波及防止 電力系統事故時に分散型電源が連系されていることによる、事故の拡大や事故区間以外での電力供給支障の防止 短絡容量の増大への対策等
	電力品質の確保	<ul style="list-style-type: none"> 連系系統の電圧変動の抑制 分散型電源からの高調波電流の流出の抑制 インバータ高周波ノイズの抑制
	安全の確保と設備保全	配電系統停止時に分散型電源が単独運転あるいは逆充電することを防止
分散型電源側からの要求	安定運転の確保	他系統事故、系統切り替え、瞬時電圧低下、負荷急変などに対して運転を継続すること

分散型電源側で事故が生じた場合には、需要家内部の過電流、地絡電流などを検出して分散型電源を電力系統から解列し、事故が電力系統に波及しないようにする必要がある。また、分散型電源の制御異常があった場合には、それによって生じる電圧異常（電圧上昇、電圧低下）を検出して分散型電源を電力系統から解列する必要がある。

(b) 電力系統事故時の分散型電源の解列

電力系統で短絡事故が生じた場合に、系統短絡によって生じる過電流あるいは電圧低下を検出して分散型電源を解列することにより、系統の遮断器開放後に分散型電源から短絡電流を供給して事故拡大が生じないようにする必要がある。短絡検出としては、過電流、電圧低下の他、同期発電機の場合には方向短絡継電器を設置する必要がある。これは、同期発電機の場合、電力系統事故時に分散型電源側から流出する短絡電流が比較的小さいため、通常の過電流継電器の整定感度では検出できない場合があり、過電流継電器の感度を高くすると負荷電流等により誤動作の原因となることから方向短絡継電器の設置により検出する必要があるためである⁽¹⁾。

また、回転機の場合には分散型電源から供給される短絡電流により、系統からの短絡電流と分散型電源からの短絡電流の合計が遮断器の短絡容量を超過すると遮断不可能となって事故が継続してしまう。このために分散型電源からの短絡電流の抑制も必要となる。インバータの場合には、短絡電流を抑制する機能や、あるいは定格の2倍程度の過電流に対して瞬時に過電流保護が働くため、短絡容量の増大にはほとんど寄与しない。

高圧配電系統での地絡事故発生時には、我が国の高圧配電系統が非接地系であるために短絡時とは異なり地絡電流や地絡過電圧を検出して分散型電源を解列する必要があるが、系統の地絡事故により分散型電源から流出する地絡電流は小さく、地絡電流の検出では不動作となる場合があるため地絡過電圧の検出が必要となる。

このように、供給信頼度の確保のためには、分散型電源側に保護機能を設置し、系統側との協調をとって事故波及や拡大を防止していく必要があるが、一方、その整定値は分散型電源の安定運転確保を考慮して、系統の系統切り替えや瞬時電圧低下などの短時間の系統側での擾乱に対しては過敏に反応しないように設定する必要がある。

(2) 電力品質の確保

電力品質の確保の点からは、分散型電源の系統連系による配電線電圧変動（常時および瞬時）の抑制と、インバータを用いた分散型電源の場合には高調波電流の流出の抑制が必要となる。

(a) 常時電圧変動の抑制

分散型電源を一般配電系統に連系する場合に、連系により生じる配電線電圧の変動が大きくなると需要家での電圧が適正値を維持できなくなる可能性がある。需要家の電圧は、電気事業法上低圧需要家への供給電圧として標準電圧100V（電灯負荷）に対しては 101 ± 6 V、標準電圧200V（動力負荷）に対しては 202 ± 20 V以内に維持するように定められている。高圧配電線の電圧については特に定められていないが、負荷の大きさにより配電線の送り出し電圧を調整し、配電線の位置により柱上変圧器のタップを変えたり高圧配電線の途中に電圧調整器を入れたりして低圧配電線の電圧維持を図っている。

このような電圧管理は、高圧配電線の末端に行くほど本来配電線電圧が低下していくことを前提としている。そこで、発電設備からの逆潮流がない場合には、系統から見ると発電出力分負荷が軽くなることに相当するため従来の電圧管理でも対処可能であるが、運転中の発電機が故障等により解列されると負荷が重くなり、電圧低下が生じることがあり、この場合には需要家内の負荷を制限して電圧低下を防止する必要がある。逆潮流がある場合には線路途中で配電線電圧の上昇が生じるため、従来の電圧管理方式でこの電圧上昇に対応することは基本的に困難であり、低圧配電線の電圧適正値を維持できないおそれがある。そこで、逆潮流による電圧上昇に対しては、分散型電源側で無効電力の調整を行い、系統から見て遅れの無効電力を発生させて逆潮流による電圧上昇分を補償する必要がある。特に低圧連系の分散型電源では、連系点電圧が上昇すると過電圧保護で解列する場合があり、それを防止するには発電出力の制限が必要となる。

(b) 瞬時電圧変動の抑制

コンピュータ、OA機器、産業用ロボット等の情報機器は、定格電圧の10%以上の瞬時電圧低下でも機器停止等の影響を受ける場合があるため、分散型電源の並列に伴う突入電流による瞬時電圧低下を10%以内に抑制することが必要となる。並列時の瞬時電圧低下の抑制には以下の対策が必要である。

表2に示したように、同期発電機や自動式インバータの場合は系統と同期をとって連系することで、また他励式インバータの場合にはソフトスタートを行うことで突入電流を防止し、瞬時電圧低下を防止する。突入電流が問題になるのは誘導発電機の場合であるが、この場合には並列時にリアクトルを挿入したり、サイリスタ制御の始動装置を設置して突入電流を抑制する必要がある。

その他、風力発電設備の場合には、風速の変化により並解列を繰り返すことにより電圧変動を生じたり、風速の変化による出力変動により電圧フリッカ（照明器具のちらつきや、電動機の回転速度の変動などの影響を与える）を生じさせる場合が考えられる。このた

め、電圧フリッカに対する対策も必要な場合がある。

(c) 高調波の抑制

インバータを用いて連系する分散型電源の場合には、インバータから高調波電流が流出する。高調波電流は、需要家の力率改善コンデンサ、家電機器、OA機器などの過熱、焼損、誤動作等を引き起こすことがあるため、その限度を明らかにし、対策を施す必要がある。発生高調波の限度値については、以前は電気共同研究会報告を参考にして、基本波定格電流に対する高調波流出電流を総合電流ひずみ率5%、各次電流ひずみ率3%以下と暫定的に規定していたが⁽¹⁾、現状では高調波ガイドラインの制定に伴って、それを適用することとしている^{(2),(3)}。ただし、高調波ガイドラインは負荷機器を対象としたものであり、その規制値は、総合電流ひずみ率でいえば30%以上と大きいため、発電装置としては上記の総合電流ひずみ率5%以下が望まれる。

インバータで高調波の低減を行う方法としては、インバータ素子のスイッチング周波数を高くして低次の高調波成分を除去し、正弦波に近い電流を発生させるPWM制御方式や、大容量の場合にはインバータを複数台使用して低次高調波を減少させる多重化方式を採用し、高次の高調波はフィルタで除去する方法が採用されている。これらの対策により、現状の太陽光発電用インバータ等が発生する高調波電流は総合電流ひずみ率5%以下を十分満足する値となっている。

(3) 安全の確保と設備保全

分散型電源の系統連系に際し、安全性の面から最も重要とされることは、単独運転の防止である。単独運転とは、図3(a)に示すように系統側の電源が喪失したとき（分散型電源が連系する配電線またはその上位系統の事故時や作業時または火災等の緊急時に配電線の遮断器等を開放したとき）に、分散型電源が系統から解列されないままになり局所的に分散型電源から一般

需要家に電力供給している状態になることをいう。このような状態が継続すると、本来無電圧であるべき電力系統が充電されることとなり、保安面、供給信頼度確保面から様々な問題が生じる。

なお、単独運転状態はあくまでも分散型電源が当該系統と連系されたままである状態であり、図3(b)のように分散型電源が系統から切り離されて、分散型電源を持つ需要家の構内負荷のみに電力を供給する状態（自立運転状態）になることは問題ない。

単独運転状態になると分散型電源から配電系統に電力を供給するため、逆潮流なしの連系条件の場合には逆電力継電器（または不足電力継電器）および周波数低下継電器の設置により単独運転状態を高速、かつ、確実に検出できる。一方、逆潮流ありの連系条件の場合には逆電力継電器等の使用ができないが、単独運転となったとき、単独運転系統内の分散型電源発電出力と負荷が平衡していない場合には解列箇所の電圧・周波数の変動が生じる。このため、電圧異常継電器（過電圧、電圧低下）および周波数異常継電器（周波数上昇、周波数低下）を設置して単独運転の発生する可能性を狭めることができる。しかし、単独運転系統内の分散型電源発電出力と負荷とが有効電力、無効電力ともにほぼ平衡している場合には、解列箇所の電圧および周波数は共に変化量が少なく、これらの保護継電器のみでは単独運転を防止できないので、電力会社の変電所と分散型電源を持つ需要家の間に通信回路による転送遮断装置を設けるか、または分散型電源側で単独運転検出機能を設置することにより自動的に電力系統から解列する必要がある。このうち転送遮断に関しては、配電系統の組み替え等があると連系される配電線が変更され、転送遮断がきかない場合があるため分散型電源側の単独運転検出機能の設置が望まれる。

単独運転検出機能としての有効な方法として考えられる方法には受動的方式と能動的方式がある。受動的な方式は、単独運転移行時の電圧位相や周波数等の急変を検出する方法であり、一般に高速性に優れているが、不感帯領域がある点や急峻な負荷変動等による頻繁な誤動作を避けることに留意する必要がある。能動的な方式は、発電設備の制御系や外部に付加した回路等により、常時、何らかの変動を与えておき、単独運転時に顕著になるこの変動を検出する方式である。この方式は、原理的には不感帯領域がない点で優れているが、一般に検出に時間がかかったり、他の能動的方式を採用する発電設備が同一系統に多数連系していると、有効に動作しないおそれがある。表4にこれまでに提案されている主な単独運転検出方式を示す。

これらの分散型電源の系統連系に対する課題と対策についての検討結果から、分散型電源の系統連系技術要件ガイドライン⁽⁴⁾が制定されており、現状ではこのガイドラインによって連系協議が行われている。

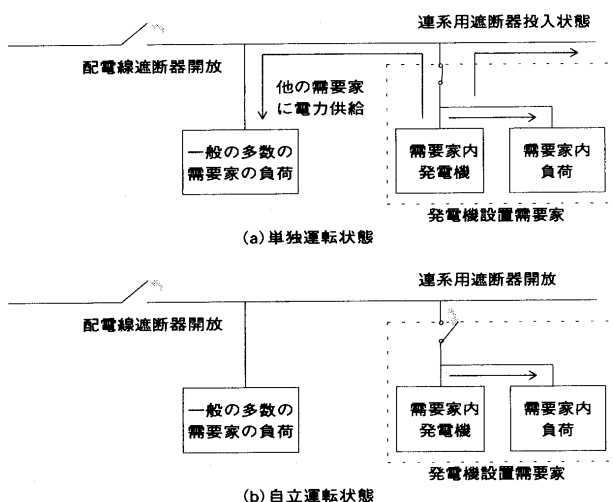


図3 単独運転と自立運転の相違

表4 代表的な単独運転検出機能

方式		原理	適用性	
			G	I
受動方式	電圧位相跳躍検出	電圧位相の急変を検出	○	○
	周波数変化率検出	周波数の急変を検出	○	○
	第三次高調波電圧ひずみ検出	低圧連系するとき、電流源での柱上変圧器の励磁による第三次高調波電圧の増加検出	×	○
能動方式	出力変動方式	発電出力に周期的な微小振動を与える	○	○
	負荷変動方式	発電機に並列に短絡インピーダンスを短時間挿入	○	○
	周波数シフト方式	インバータ制御系による周波数の自律的発散	×	○

G：交流発電機、 I：インバータ

3.2 電力系統連系技術要件ガイドライン

電力系統連系技術要件ガイドライン（以下、ガイドラインと記す）は、資源エネルギー庁公益事業部の通達として、電気事業者以外の所有する発電装置（いわゆる分散型電源）を系統連系可能とするための技術要件を明確化することを目的として作成されている。ガイドラインに示される技術的要件は、系統連系を行う際の発電設備の設置者と電気事業者間の協議の標準的な指標となるものであるが、規制ではなく、これによらないで系統連系を行う場合であっても、ガイドラインと同等以上の保安の確保が図られる場合には系統連系しても差し支えないとされている。

ガイドラインは、技術検討の進歩により何度か改訂されてきている。表5にガイドラインの改訂の経緯をまとめる。

2章で述べたように、連系条件は発電設備の連系形態

表5 電力系統連系技術要件ガイドラインの整備状況

商用系統の種類	発電設備の種類	逆潮流の有無	
		無し	有り
特別高圧送電線	回転機	昭和61年8月作成	
	直流発電設備	平成2年6月作成	
スポットネットワーク配電線	回転機	平成3年10月作成	×（ネットワークの特性上逆潮流なし）
	直流発電設備		
高圧専用線	回転機	昭和61年8月作成	
	直流発電設備	平成2年6月作成	
高圧一般配電線	回転機	昭和61年8月作成	平成5年3月作成
	直流発電設備	平成2年6月作成	
低圧配電線	直流発電設備	平成3年3月作成	×
	回転機	平成10年3月作成	

（回転機を用いた交流発電機か、インバータを用いた直流発電設備か）、逆潮流の有無、連系される電力系統の種類により異なるため、これらの区分毎に順次ガイドラインが制定されてきている。

この過程で、平成5年3月に、自家用発電設備を逆潮流がある状態で低圧および高圧の一般配電線に連系する場合の技術的要件が確立され、逆潮流ありの系統連系に関する技術的要件が一応整った。その後、平成7年10月には電気事業法の改正に伴い発電事業への卸供給事業者などの新規事業者の参入を考慮したガイドラインの改訂が行われ、特に特別高圧系統への大規模入札電源に対するガイドラインの整備とそれに伴うガイドラインの連系区分の見直し等が行われた。対象電源も、自家用発電設備のみから卸供給事業者や特定電気事業者の所有する発電設備まで含まれることとなった。さらに、平成10年3月に低圧配電線への回転機の連系条件の追加、高圧配電線連系の場合の単独運転検出機能の採用条件の明確化などで改訂が行われている。しかし、低圧配電線への交流発電機の逆潮流ありでの連系条件については、現在でもまだ技術的検討が行われている所である。ガイドラインでは不明確な事項については解説書および技術指針の作成が行われてきており、詳細はこれらを参照されたい⁽¹⁾⁽⁴⁾。

ガイドラインで適用される発電設備としては、(1)ディーゼルエンジン、ガスタービン等の回転機を用いたコージェネレーション設備等の自家用発電設備、(2)燃料電池、太陽電池等の直流発電設備等を用いた自家用発電設備であって、逆変換装置（インバータ）を用いて連系されるもの、(3)出力20kW未満の太陽電池発電設備等の一般用電気工作物、(4)卸供給事業者等の発電設備があり、電気事業が所有する発電機以外の発電設備が全て対象となる。

これらの発電設備を連系できる電力系統・配電線の種類（連系の区分）は、発電設備の1設置者あたりの電力容量によって異なり、表6に示すように定められている。ここで、1設置者あたりの電力容量とは、契約電力（常時と予備の合計）または系統連系に係わる発電設備の出

表6 電力系統連系技術要件ガイドラインの連系の区分

連系の区分	連系設備の種類	1設置者あたりの電力容量*1	逆潮流有無
低圧配電線	インバータ	原則として50kW未満	有り・無し
	回転機		無し
高圧配電線	インバータ 回転機	原則として2,000kW未満	有り・無し
スポットネットワーク配電線	インバータ 回転機	原則として10,000kW未満	無し
特別高圧送電線	インバータ 回転機	規定なし（実質個別協議） 35,000V以下で配電線抜きの電線路は、高圧配電線準拠（原則として10,000kW未満）	有り・無し

(注)*1:受電電力容量または系統連系に係わる発電設備の出力容量(いずれか大きい方)。

力容量（発電設備の定格出力）のうちいずれか大きい方である。また、発電設備自体は回転機であっても、連系はインバータで行うものは、インバータ連系に区分される。

連系に必要な条件は、連系の区分毎に、また、逆潮流の有無等により異なるため、ガイドラインではそれぞれの連系区分毎に技術要件を示している。その内容は、(1)連系の区分によらない共通事項、(2)連系区分毎の所要保護装置とその設置場所、設置相数、保護装置が動作したときの系統からの解列箇所、(3)絶縁用変圧器の要否、(4)電圧変動対策、(5)短絡容量対策、(6)単独運転対策等であり、その他電気事業者と発電装置設置者の間の連絡体制について定めている。技術的な内容は、3.1で述べた現状での連系技術課題とその対策と同様である。

3.3 分散型電源大量導入時における課題

分散型電源が大量に連系された場合でも基本的には表3の課題への対処が必要となるが、対応はより困難になってくる。保護協調の面では、回転機からの短絡容量の増大がより深刻になり、分散型電源や系統側に短絡電流を制限する装置（限流装置）を開発して設置することが必要になってくる。また、配電線単位や配電用変電所バンク単位での逆潮流が生じるような場合には変電所の保護方式の変更も必要になってくる。

安全面では、分散型電源の単独運転防止がより困難になってくる。多数の分散型電源が連系されると、各分散型電源に設置されている単独運転検出装置間で干渉が生じ、検出感度が低下するおそれがある。また、能動方式の単独運転検出では、方式によって常時の電力品質（電圧変動）への影響が大きくなる場合が考えられる。これらの影響については、現在複数台の分散型電源が連系された場合について、各種の単独運転検出方式を組み合わせたシミュレーションや実験が行われている所であり、太陽光発電のインバータ、コージェネレーション用の回転機系交流発電機共に複数台運転での検出感度低下や能動方式による常時電圧変動の増大が確認されている。今後、複数台連系でも干渉の影響が生じない単独運転検出方式の開発や適用条件の明確化が必要となる。

電力品質の面では、分散型電源からの逆潮流による電圧上昇対策として電圧制御が行われているが、分散型電源が多数連系されると各分散型電源の電圧制御間の干渉が生じ、制御が早いものが優先的に電圧制御を行ってしまい全体の電圧分布に影響するという問題が生じる。また、分散型電源の電圧制御による電圧上昇抑制については、電力系統側からすると無効電力潮流の増加となるため損失の増大をもたらすという問題がある。さらに、太陽光発電のようなインバータを用いた電源では高調波の他に高周波ノイズを発生するため、大量導入されるとラ

ジオやテレビへの電波障害が顕著になる可能性がある。このため、高周波ノイズ対策がより重要となる。

このように分散型電源の大量導入に際しては、従来考えられてきた課題の困難化が生じるが、それとともに、配電系統運用に対して、系統の電圧・潮流管理がより困難になるという新たな課題も生じてくる。分散型電源が大量導入され、配電線間で託送が行われるような状況が生じると、逆潮流や分散型電源の出力変動により配電線潮流が大きく変化し、輻輳化してくる。この配電線潮流の変化は、負荷予測を困難化し、配電線の電圧管理の複雑化、運用・制御の複雑化およびそれらによる設備計画の困難化をもたらす。すなわち、現状の放射状配電系統構成で、配電用変電所変圧器バンク単位での送り出し電圧制御や配電線途中の電圧制御の組み合わせによる電圧管理では、配電線間の潮流のアンバランスの増大による限界が生じると考えられる。一方、配電線電圧の変動は分散型電源の運転安定性そのものにも影響を及ぼし、連系点電圧の制限によって分散型電源の出力の抑制が必要な場合が生じる。

このように、分散型電源の大量導入時には系統側および分散型電源側の双方に課題が生じることから、今後は、両者の協調をとり、系統側では潮流の平滑化による設備利用率の向上、電圧安定化、損失の削減および運用管理の簡素化によるコスト削減を達成し、需要家側ではエネルギーの効率的利用によるコスト削減を同時に達成して、電力事業者および需要家の双方に便益をもたらす方が必要であると考えられる。

4. むすび

分散型電源が系統連系された場合の問題点とその技術的対策について述べると共に、系統連系技術要件ガイドラインの概要について述べた。さらに、分散型電源の導入が進んだ場合の問題点を述べた。今後、分散型電源の大量導入に対応するためには、従来のような分散型電源側での対策に加えて、電力系統側での対策も必要となり、新しい電力供給システムの構築が必要となっていくと考えられる。

参考文献

- (1) 電気技術基準調査委員会：「分散型電源系統連系技術指針 JEAG 9701-1993」, 日本電気協会 (1994.1)
- (2) 資源エネルギー庁公益事業部：「家電・汎用品高調波抑制対策ガイドライン」, (1994.9.30)
- (3) 資源エネルギー庁公益事業部：「高圧又は特別高圧で受電する需要家の高調波抑制対策ガイドライン」, (1994.9.30)
- (4) 資源エネルギー庁編：「解説電力系統連系技術要件ガイドライン '98」, 電力新報社 (1998.7)

吸気加湿冷却システム

竹原 勲*1
TAKEHARA Isao

村田英太郎*1
MURATA Hidetaro

キーワード：ガスタービン，増出力用，水噴霧，吸気冷却，WAC

1. はじめに

ガスタービンは気温が上昇するにしたがい、出力が低下する特性がある。このため、電力需要の大きな夏期にガスタービン出力を増加させる技術の開発が進められている。代表的なものとしては吸気冷却システムがある⁽¹⁾⁽²⁾。他方、電力料金を欧米主要国並みにするため、既存の発電設備の利用効率向上や効率向上のための諸施設が検討されている。

このような動向を受け、WAC (Water Atomization Cooling) システムを提案した。本技術は、水の気化潜熱を利用して圧縮機の吸気ならびに内部ガスを冷却することにより、ガスタービンのサイクル特性を改善するもので既報告ではMAT (Moisture Air Turbine) サイクル⁽³⁾⁽⁴⁾として提唱したものである。本報では、115 MW級のシンプルサイクル発電所でサイクル原理を実証した結果を紹介する。

2. 原理

2.1 WAC システムの増出力原理

WAC システムは、圧縮機の吸気に微細な水滴を混入することで前述のMAT サイクルをガスタービンに実現することにより、ガスタービンを無理なく効率的に高出力化することを目的とする（以下、システムの名称としてWACを、サイクルの名称としてMATを使い分ける）。図1はWACシステムの概念図を示す。圧縮機の吸気ダ

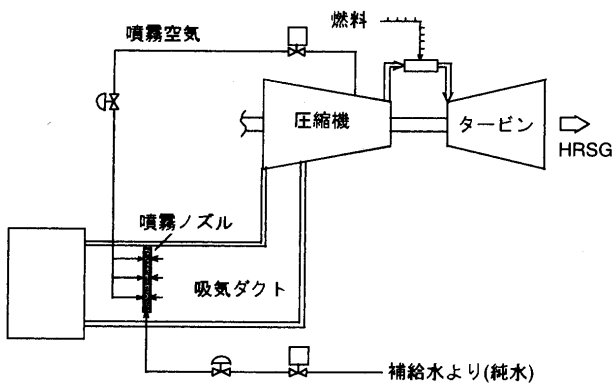


図1 WACシステムの構成

原稿受付 2000年7月3日

* 1 (株)日立製作所 火力水力事業部

〒317-8511 茨城県日立市幸町 3-1-1

クト中に、水を噴霧する装置が配置されており、給水系とアトマイズ系の加圧空気源が接続されている。噴霧水滴は吸気と共に移動しながらその一部が気化して吸気を冷却する。液滴径が十分に小さければ熱と物質伝達が促進するので、吸気は圧縮機に到達する前に飽和湿り空気になり、残りの水滴は圧縮機内部で気化し、内部ガスを冷却する。

一般にガスタービンの出力 Q は、比出力 p と吸気重量流量 W の積として表せるので、出力増分は次式で評価できる。

$$\Delta Q = p \Delta W + W \Delta p \dots\dots\dots(1)$$

すなわち、吸気量の増大による寄与（右辺第1項）と比出力の増大による寄与（右辺第2項）との和として表せる。図2は、この観点からMATサイクルの増出力機構を整理したものである。

第1の機構は吸気冷却により吸気重量流量を増大、残りの3つの機構は比出力を増大する。第2の機構は内部ガスを冷却して圧縮機の所用動力を低減する。圧縮機の圧縮機仕事率 R は体積流量 V の圧力積分、すなわち圧縮機出入口圧力を P_1, P_2 として

$$R = \int_{P_1}^{P_2} V dP \dots\dots\dots(2)$$

内部ガスが冷却されると体積流量 V は減少するので、 P_2 が変化しなければ圧縮機仕事率 R は低下する。気化潜熱を利用した直接冷却でありサイクル外への熱ロスが生じない点が特長である。

		$\Delta Q = p \cdot \Delta W + W \cdot \Delta p$ Q : GT出力 W : 吸気流量、 p : 比出力	
増出力機構	ΔQ	類似既存システム	概念図
WAC (1) 吸気の冷却で吸気流量増大	$p \cdot \Delta W$	吸気冷却 (Evaporative Cooler)	
WAC (2) 圧縮機内部ガスの冷却で所要動力低減	$W \cdot \Delta p$	水滴の蒸発潜熱によるインタークーラ (排熱ゼロ)	
WAC (3) 作動流体の増加		スチームインジェクション	
WAC (4) 比熱の増大			

図2 WACシステムの出力増加原理

第3, 第4の機構はタービン作動流体中の水蒸気量が增加することによる効果である。第3の機構は, タービン作動流体量が圧縮機内での蒸発分だけ圧縮機作動流体量を上回ることにより, また第4の機構はタービン作動流体の比熱が増大することにより, それぞれタービン出力の増加を生み出す。

上記の機構は, 既存の増出力技術である①吸気冷却, ②インタークーリング, ③蒸気注入 (STIG) に対応する。これより, MATサイクルは水消費量を増すことなく上記の既存システムを複合した効果を実現するサイクルとして理解することができる。

図3はT-S線図上でブレイトンサイクルとMATサイクルの比較を示す。両者の燃焼温度は等しいものとする。軸が定速回転するブレイトンサイクルは高温下では, 主として空気密度が低くなる結果として吸気重量流量が減少するために出力が大幅に低下する。MATサイクルは, 燃焼温度を高めることなく, 出力を回復し, ガスタービンの潜在能力を引き出すものと言える。以下に示すようにエネルギー効率が高いので夏期のみでなく極寒の冬季を除いて通年使用することによって経済的なメリットが生じる。

2.2 熱効率の向上

ガスタービン各部の作動流体温度をそれぞれ, T_1 : 圧縮機入口, T_2 : 圧縮機出口, T_3 : タービン入口, T_4 : タービン出口としたときに, ブレイトンサイクルの熱効率 η は次式で与えられる。

$$\eta = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2} \dots\dots\dots(3)$$

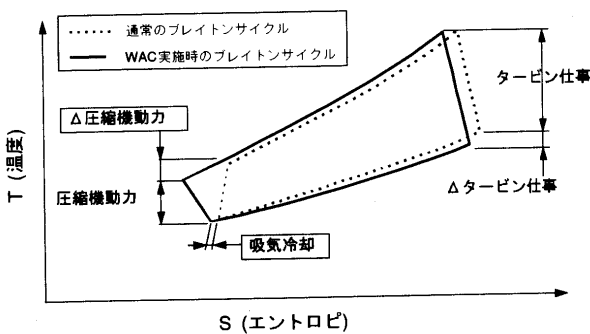


図3 MATサイクルのT-S線図

表1 試験プラントの仕様

ガスタービン型式	F9E
サイクル形式	シンプルサイクル
ガスタービン出力 (MW)	130 (@10°C)
回転数 (rpm)	3000
空気流量 (kg/s)	411
圧縮機圧力比 (-)	12.4
圧縮機段数	17
燃料	白灯油

MATサイクルの熱効率を定性的に検討するにあたり, 簡単のため以下の仮定を設ける。外気は飽和湿り空気とし, さらに圧縮機内外での気化による作動流体増加を無視する。すると, この場合図2中の増出力機構のうち, 2のみが残り, 圧縮機出口の温度が T_2 に低下する。冷却の過程で熱ロスはないのでMATサイクルの熱効率 η' は式(3)の T_2 を T_2' で置換したものとなり, 右辺第2項が小さくなる。これより, 明らかに $\eta' > \eta$ であり, 熱効率が向上する。

3. 実証試験

3.1 試験装置

実証試験に用いたガスタービン発電設備の仕様を表1に示す。F9E型ガスタービンによるシンプルサイクル発電所で燃料には白灯油を用いている。(図4) 空気取り入れ室は建物の屋上にあり, 空気はそこから矩形の水平ダクトと垂直下降ダクトを経由して, 1階面に設置してある圧縮機に取り込まれる。

水噴霧ノズルは, 水平ダクトのサイレンサ下流側背面に設置した。噴霧と吸気が均一に混合するようにノズル架を流路断面内に28列等間隔に配置した。図5は試験装置の系統図を示す。ノズル架には燃焼器水注入用の所内純水とアトマイズ用加圧空気が供給されている。加圧空気源は, 圧縮機吐出部にあり, そこから抽気した高圧空気を減圧して用いている。粒径を一定に保持するため抽気量は噴霧量に比例させた。

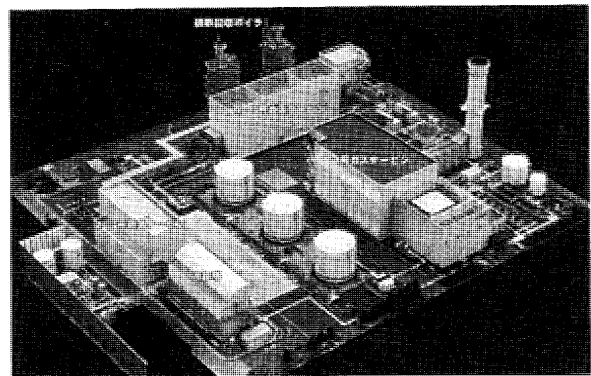


図4 試験設備の外観

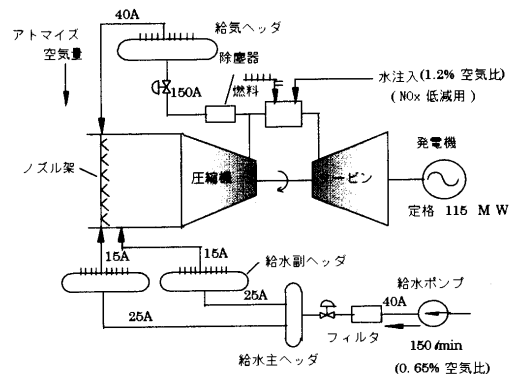


図5 試験装置の系統図

3.2 試験方法

水の投入はプラント負荷が安定した状態で行った。試験中 IGV 開度は 84° で固定した。無負荷 (FSNL), 95% 負荷一定, 100% 負荷 (ベース負荷), 他部分負荷において試験を実施した。100% 負荷は排気温度制御による燃焼温度一定運転である。NOx 低減用に常時燃焼器に 1.2% の水噴射を行っているが、噴霧中もその量は一定とした。

1997 年 3 月から 1998 年 6 月までの間に合計 43 ケースの試験を実施した。この間の外気条件の範囲は乾球温度 13.6~33.3℃, 相対湿度 30~87% であり、噴霧水量の最大値は吸気比で 0.64% であった。

4. 結果と検討

4.1 増出力特性

図 6 は燃焼温度一定運転時の試験結果の一例を示す。大気温度 27.3℃, 相対湿度 70% 条件での噴霧試験における噴霧前後の諸量のトレンドが示されている。

水は 15:51 に 80 l/min, 15:55 にさらに 25 l/min (合計 105 l/min) をステップ状に投入した。噴霧の起動・停止時の出力応答の時定数は 1 分程度と速やかである。また、起動・停止を含む噴霧運転中に、排気温度スプレッド、本体軸振動に特別な変化はなかった。圧縮機入口温度は 1 回目の水投入で飽和点に達し、2 回目の水投入時には変化が見られなかった。

空気比 0.44% (105 l/min) の投入で、増出力は 5 MW (5.3%) となり、一方、熱効率は噴霧前に対して 1.1% 上昇し、理論で予想された出力増加・熱効率向上が確認された。また各部の温度を噴霧前と比較すると、圧縮機入口で -3.6℃, 圧縮機出口で -13.9℃, ガスタービン出口で -2.8℃ となっている。

図 7 は噴霧量と増出力との関係を示す。破線・一点鎖線他は解析による予想特性であり、①水滴の圧縮機導入開始点を境に特性が異なり圧縮機導入開始点までの増出力効果の方が大きい、②同じ相対湿度なら高気温時の方が出力増加が大きい、③同じ大気温度であれば相対湿度

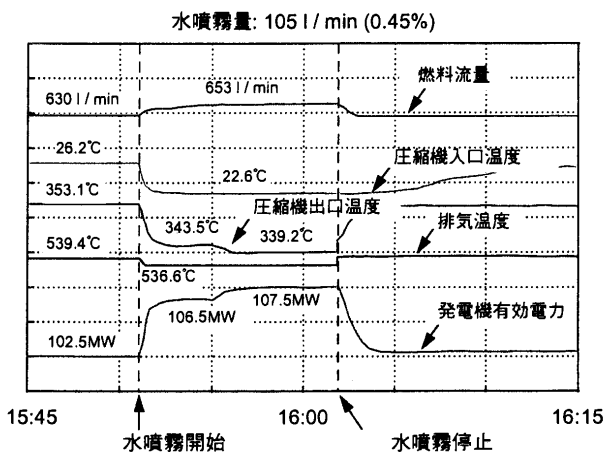


図 6 水噴霧時の運転状態推移

が低い方が出力増加が大きい、傾向となっている。①の傾向は吸気冷却の効果 (機構 1) の方が比出力増加効果 (機構 2, 3, 4 の合計) よりも大きいことを意味している。また、②③の特性は水滴の圧縮機導入開始点までの噴霧水量が大気温度・相対湿度条件で変わることによる。○・△他で示した実測結果はこうした特性とよく一致している。

図 8 は噴霧水量と熱効率の関係を示す。熱効率は噴霧量に比例して増加する傾向にあり、これもまた解析とよく合っている。

4.2 負荷一定時熱効率

水噴霧した状態で、噴霧前と同じ出力を保持する運転を行い特性を調べた。無負荷、及び 95% 負荷での測定結果を図 9 に示す。無負荷で 1% の、95% 負荷で 0.5% の燃料消費量の低減が見られた。低負荷ほど低減効果が大きいのは、燃焼温度が低いため圧縮機の仕事低減の寄与が相対的に大きいことによる。

この試験では排気温度が 20℃ 以上大幅に低下した。吸気冷却による圧縮機入口温度の低下に伴う排気温度低下よりも大きな低下量であり、燃焼温度の低下が起きているもの考えられる。一般に燃焼温度が低下すると熱効率は低下するが、それにもかかわらず熱効率が向上した

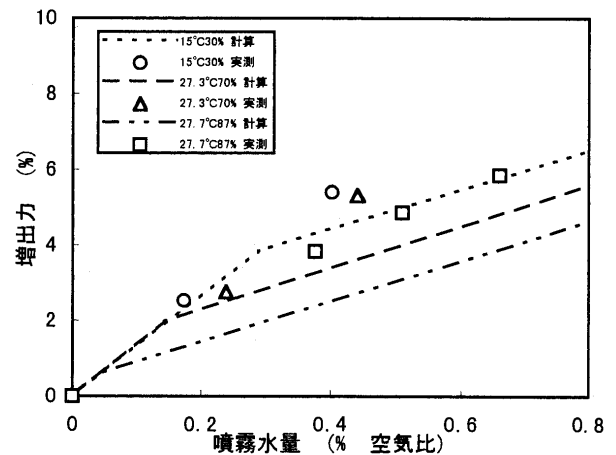


図 7 水噴霧量に対する増出力

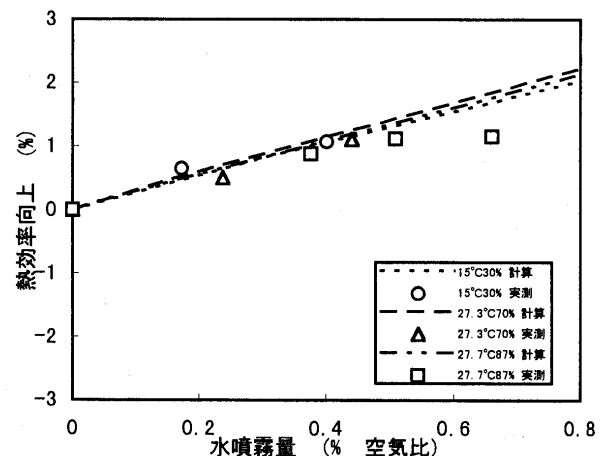


図 8 水噴霧量に対する熱効率変化

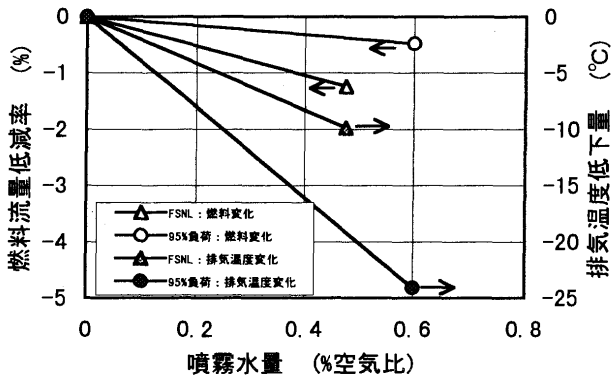


図9 負荷一定時熱効率特性

のは圧縮機の仕事低減効果がそれを上回ったことによる

ものと考えられる。

5. まとめ

ガスタービンの吸気に超微粒の水 droplet を混入して、出力と熱効率を改善する手法 (WAC システム) の有効性を 115 MW 級のシングルサイクル発電所で実証した。

参考文献

- (1) Ebeling, J. A. et al., ASME paper 92-GT-265 (1992)
- (2) 石川明他, 火力原子力発電, Vol 48, No. 12, Dec. 1997, P 82
- (3) 宇多村元昭他, GTSJ, Vol. 25, No. 9, 8 Sep. 1997, P 99
- (4) Utamura, M. et al., ASME paper 97-AA-142 (1997)

Ni 基超合金開発の現状と新材料の可能性

原田 広史*1
HARADA Hiroshi

1. はじめに

ニッケル (Ni) 基超合金は、現在あらゆる耐熱材料の中で、高温強度、延性、耐酸化・耐食性、製造性など、総合的な特性に最も優れた材料である。このためガスタービンの心臓部ともいえる高温高圧部のタービン翼材、ディスク材などとして広く用いられ、ガスタービン機関の高温化、熱効率の向上に寄与してきた。さらに、地球環境保全、温暖化防止などの観点から、ガスタービンのよりいっそうの効率向上のため、次世代単結晶超合金など新合金の開発が世界各国で活発に行われている。一方、Ni 基超合金では飛躍的な耐用温度向上が困難になりつつあるとの現状認識から、Ni 基超合金に代わりうる新材料の探索、開発も積極的に行われている。

本稿では、ガスタービンの高温化、高性能化の実現の鍵となる耐熱材料開発の現状と将来について、Ni 基超合金の開発、およびこれに代わる新材料の可能性の両面から述べる。併せて、国内および海外での耐熱材料関連プロジェクトの動向、さらに著者らの新世紀耐熱材料プロジェクト (1999~2003 年度：I 期) における研究状況についても紹介したい。

2. Ni 基超合金

2.1 単結晶超合金

(1) ジェットエンジン動翼用単結晶超合金

タービン翼、特に動翼は、高温高応力の最も過酷な条件で用いられる。歴史的には、戦時中に開発された Ni 基鍛造合金から普通鋳造合金、一方向凝固合金、単結晶合金へと開発が進んできた。単結晶合金も、初期の第 1 世代合金から、レニウム (Re) を 3 wt% 程度含む第 2 世代合金、さらに Re を 5~6 wt% 含む第 3 世代合金へと開発が進み、現在第 4 世代合金の開発が行われている。図 1 にこの間の耐用温度向上の経緯を示す。図中「Target」は新世紀耐熱材料プロジェクトにおける第 4 世代合金の開発目標である。代表的なタービン翼用 Ni 基超合金の組成を表 1 に示す。

現在、第 3 世代として公表されているものは、Rene'N 6⁽¹⁾、CMSX-10⁽²⁾、および著者らのグループで開発した TMS-75⁽³⁾ の 3 合金である。ほかにも第 3 世代に相当す

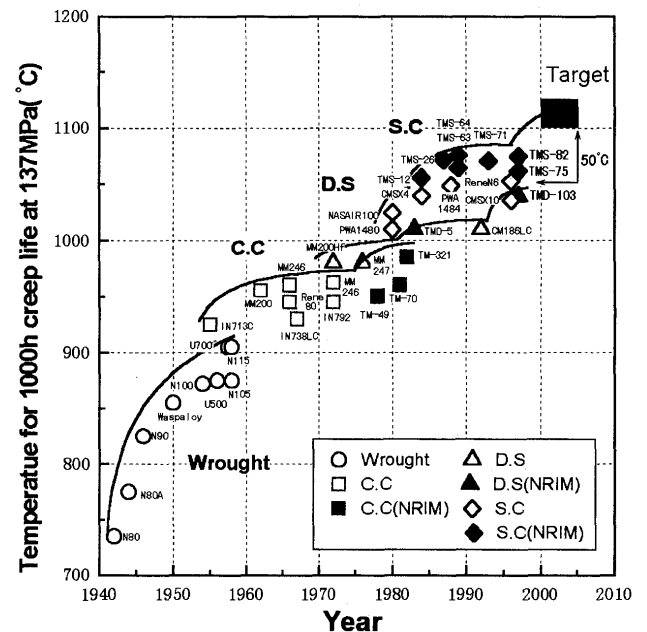


図 1 Ni 基超合金の耐用温度向上の歴史。金材技研 (NRIM) 開発の実験合金を併せて示す

るとみられる米国特許が公開されており、また、フランスの政府機関でも研究開発が行われている。このうち CMSX-10 は RR 3000 の別名で英国ロールスロイスの民間機用最新型ジェットエンジンに用いられている。この場合、特有の 3 軸構造の利点を生かして、無冷却の中圧タービン動翼に最も強度の高い CMSX-10 を用い、高圧第 1 段動・静翼には、第 2 世代単結晶超合金 CMSX-4 を空冷翼として使用している。米国 GE 社の Rene'N 6 は軍用航空機エンジンに用いられている模様である。

これら実用第 3 世代合金は、Re 添加量の増加に伴い、①製造時の熱処理が複雑かつ高温長時間にわたる、②ミクロ組織の安定性の低下、などの問題点を有している。たとえば、CMSX-10 の場合 1050°C で約 1000 時間使用すると、有害相とその析出にともなう組織変化の領域が 20% にも達する。ただし、民間航空機エンジンの場合には、最大負荷のかかるのは離陸の数分間と短いため、これを積算しても、有害相による強度低下が始まる前に必要な飛行回数を保証できるというのが設計思想である。Rene'N 6 の場合も組織安定性に CMSX-10 と同様の問題点を有している。タービン翼材としては、一般に耐酸化・耐腐食コーティングや、遮熱コーティングとの適合

原稿受付 2000 年 6 月 28 日

* 1 科学技術庁 金属材料技術研究所 特別研究官
〒305-0047 茨城県つくば市千現 1-2-1

表1 タービン翼用 Ni 基超合金の合金組成 (wt%, 残 Ni)

種類	合金名	合金組成														備考
		Co	Cr	Mo	W	Al	Ti	Nb	Ta	Hf	Re	C	B	Zr	Others	
CC	IN 738	8.5	16	1.7	2.6	3.4	3.4	-	1.7	-	-	0.17	0.01	0.1	-	-
	IN 792	9	12.4	1.9	3.8	3.1	4.5	-	3.9	-	-	0.12	0.02	0.2	-	-
	Rene'80	9.5	14	4	4	3	5	-	-	-	-	0.17	0.015	0.03	-	-
	MarM247	10	8.5	0.7	10	5.6	1	-	3	-	-	0.16	0.015	0.04	-	-
	TM-321	8.2	8.1	-	12.6	5	0.8	-	4.7	-	-	0.11	0.01	0.05	-	-
DS	GTD111	9.5	14	1.5	3.8	3	4.9	-	2.8	-	-	0.1	0.01	-	-	1 st
	CM247LC	9	8	0.5	10	5.6	0.7	-	3.2	1.4	-	0.07	0.015	0.01	-	1 st
	TMD-5	9.5	5.8	1.9	13.7	4.6	0.9	-	3.3	1.4	-	0.07	0.015	0.015	-	1 st
	PWA1426	12	6.5	1.7	6.5	6	-	-	4	1.5	3	0.1	0.015	0.03	-	2 nd
	CM186LC	9	6	0.5	8.4	5.7	0.7	-	3.4	-	3	0.07	0.015	0.005	-	2 nd
	TMD-103	12	3	2	6	6	-	-	6	0.1	5	0.07	0.015	-	-	3 rd
	SC	PWA1480	5	10	-	4	5	1.5	-	12	-	-	-	-	-	-
Rene'N4		8	9	2	6	3.7	4.2	0.5	4	-	-	-	-	-	-	1 st
CMSX-2		4.6	8	0.6	8	5.6	1	-	9	-	-	-	-	-	-	1 st
MC2		5	8	2	8	5	1.5	-	6	-	-	-	-	-	-	1 st
MDSC-7M		4.5	10	0.7	6	5.4	2	-	5.4	-	0.1	-	-	-	-	1 st
TMS-26		8.2	5.6	1.9	10.9	5.1	-	-	7.7	-	-	-	-	-	-	2 nd
PWA1484		10	5	2	6	5.6	-	-	9	-	-	-	-	-	-	2 nd
Rene'N5		8	7	2	5	6.2	-	-	7	0.2	3	-	-	-	-	2 nd
CMSX-4		9	6.5	0.6	6	5.6	1	-	6.5	0.1	3	-	-	-	-	2 nd
TMS-82		7.8	5	3.4	8.7	5.2	0.5	-	4.4	0.1	2.4	-	-	-	-	2 nd
YH 61		1	7.1	0.8	8.8	5.1	-	0.8	8.9	0.25	1.4	0.07	0.02	-	-	2 nd
Rene'N6		12.5	4.2	1.4	6	5.75	-	-	7.2	0.15	5.4	0.05	0.004	-	0.01Y	3 rd
CMSX-10		3	2	0.4	5	5.7	0.2	0.1	8	0.03	6	-	-	-	-	3 rd
TMS-75	12	3	2	6	6	-	-	6	0.1	5	-	-	-	-	3 rd	
ODS	MA6000	2	15	2	4	4.5	2.5	-	2	-	-	0.05	0.01	0.15	1.1Y203	-
	TMO-20	8.7	4.3	1.5	11.6	5.5	1.1	-	6	-	-	0.05	0.01	0.05	1.1Y203	-

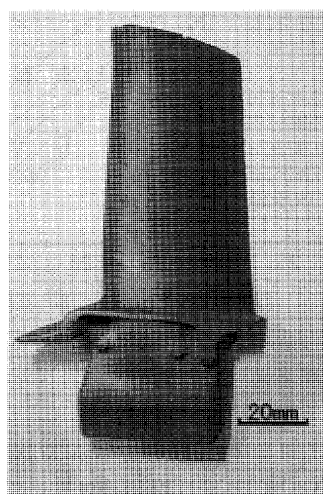


図2 TMS-75による単結晶モデル動翼

性が極めて重要であるが、この場合も第3世代単結晶超合金では、コーティング層との界面からの組織変化や有害相析出に注意する必要がある。

著者らが開発したTMS-75は、実用第3世代合金と同等の強度を有しながら、組織安定性が比較的良く、熱処理プロセスも容易であるなどのメリットを有しており、新世紀耐熱材料プロジェクトにおいてロールスロイスや国内の重電・重工メーカー各社との協力による材料特性評価が行われている。図2は極超音速機エンジン(HYPR)モデル動翼に铸造した例である。

現在各国がしのぎを削る第4世代合金開発の現状につ

いては、まだ明らかでない部分が多い。一つの方向として、貴金属の添加が真剣に検討されている。たとえば米国のメーカーではルテニウム(Ru)添加を積極的に行っており、第3世代単結晶合金で問題点となっている組織安定性の向上とそれによる高温長時間側でのクリープ強度向上を図っている⁽⁴⁾。国内では新世紀耐熱材料プロジェクトにおいて、TMS-75へのイリジウム(Ir)添加⁽³⁾などの研究開発が進められている。部材のコストアップは避けられないが、それよりも、ジェットエンジン全体でのコストパフォーマンスで判断するのがメーカーの考えである。とはいえ、従来廃棄されていた使用済みタービン翼のリサイクルなど、新たな技術システムの確立があわせて必要となるであろう。第4世代合金の開発については、2000年9月17~21日に米国ピッツバーグ近郊セブンスプリングスで開催される国際会議“Superalloy 2000”にて最新の報告がなされるものと考えている。

(2) 単結晶超合金の発電ガスタービン翼への適用

発電用ガスタービンでは、大型翼の铸造性など製造性の制約から、ジェットエンジンからの転用型を除いて、本格的な実用化は一方向凝固合金までにとどまっていた。しかし1990年代半ばより、ABB社では最高1315℃の再熱燃焼タービンシステムにCMSX-4の単結晶空冷動翼を導入、シーメンス社も最新機種第1, 2段動翼に単結晶動翼を用いている。ヨーロッパにおいては、EU諸国の協力プロジェクトCOST-501でのCMSX-4の広範な特性データベース作成を受けて、1998年にCOST-

522 プロジェクトが発足した。1450℃ 級、熱効率 60% の発電タービンを最終目標に研究が開始されている⁽⁵⁾。

一方米国では、エネルギー省 (DOE) の先進タービンシステム (ATS) プロジェクトにて、1450℃ 級のガスタービンが GE を中心に開発されており、第 1 段動翼には第 2 世代の Rene'N5 が用いられている模様である。完全リターンフローの蒸気冷却システムの導入などにあわせて、第 2 世代相当の単結晶超合金の使用がさらに進むものと考えられる。

発電用ガスタービンへの第 3 世代合金の適用については、ジェットエンジンの場合と異なり、大型翼への铸造性、数万時間にわたる長時間での組織安定性、材料コストなど、考慮すべき点が多い。著者らの新世紀耐熱材料プロジェクトでは、将来のいっそうの高温化に対応すべく、民間企業 (東芝 PIC) の協力により 2000 年中に TMS-75 を用いた実機回転試験を開始する予定である。また通産省/工業技術院/NEDO の WE-NET 計画から派生したプロジェクト「メタン燃焼 CO₂ 回収型 1700℃ 閉サイクルガスタービン」においても、TMS-75 を第 1 段動翼モデル合金とした検討が電力中央研究所を中心に開始されている。

大型ガスタービン用単結晶合金の開発については、種々のアプローチが試みられている。Re をやや低め (2.5 wt%) に抑えながら、析出組織の最適化により高温低応力域では第 3 世代合金を超える強度を有する TMS-82+⁽⁶⁾、さらに Re 量が低く (1.4 wt%) 異結晶/低角粒界の許容性、铸造性、高温強度に優れた単結晶合金 YH 61⁽⁷⁾、Cr を 10 wt% 程度含み耐高温腐食性を確保した大型単結晶翼用合金 MDSC-7 M⁽⁸⁾ などの単結晶合金が開発されており、実用化が期待されている。

2.2 一方向凝固超合金

単結晶超合金に比べて強度的にはやや劣るが製造歩留りが良い一方向凝固超合金 (DS 合金) の開発も引き続き行われている。単結晶合金と同様に、Re を含まない第 1 世代の DS 合金から、3 wt% 前後の Re を含む第 2 世代、そして 5 wt% の Re を含む第 3 世代へと合金開発が進んでいる。

第 1 世代合金としては、耐高温腐食性を重視して Cr 量を高くした Rene'80 や GTD 111 が代表的であり、高温強度の点では MarM 247 が優れている。通産省工技院のムーンライト計画の「高効率ガスタービン」で開発された TMD-5 は現時点でも第 1 世代として最も高強度で、第 2 世代 DS 合金に匹敵する強度を有している。最近国内で、自主開発 DS 合金 (組成未発表) を用いた 1500℃ 級ガスタービンが実用段階に入った⁽⁹⁾ことは特筆されるべきであろう。

第 2 世代 DS 合金は、Re を 3 wt% 含み、クリープ強度は第 1 世代単結晶合金に匹敵する。代表的な合金として CM 186 LC や Rene'142 などがジェットエンジンなどに広く使用されている。1998 年に発表された世界初の

第 3 世代 DS 合金 TMD-103⁽¹⁰⁾ は著者らのグループで開発されたもので、前述の第 3 世代単結晶合金 TMS-75 に粒界強化元素である炭素 (C)、ボロン (B) を添加して改良している。この合金は第 2 世代単結晶合金 CMSX-4 と同等のクリープ強度を示す。図 3 にこれらの DS 合金の強度比較を示す。

2.3 酸化物分散強化超合金

機械的合金化、押出加工、一方向再結晶という一連のプロセスで製造され、Y₂O₃ のような安定な微細酸化物で分散強化した酸化物分散強化 (ODS) 超合金は、特に高温低応力側でのクリープ強度に優れている。市販の ODS 超合金としては MA 6000 などの MA シリーズに加えて、PM 3000 など PM シリーズがある。一方国内では、TMO-2、TMO-20 などが、金材技研にて開発された⁽¹¹⁾。これらは、ODS 超合金のベース合金の強度が不十分な点を材料設計法に基づいて改善することにより、高温低応力域だけでなく、全温度・応力域で単結晶超合金を超えるクリープ強度を実現したものである。以上のような ODS 超合金のクリープ特性を、単結晶超合金

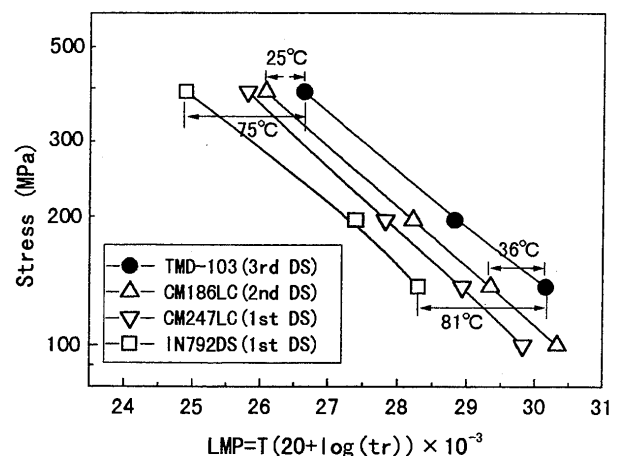


図 3 DS 超合金のクリープ強度比較, T : 温度 (K), tr : 破断寿命 (h)

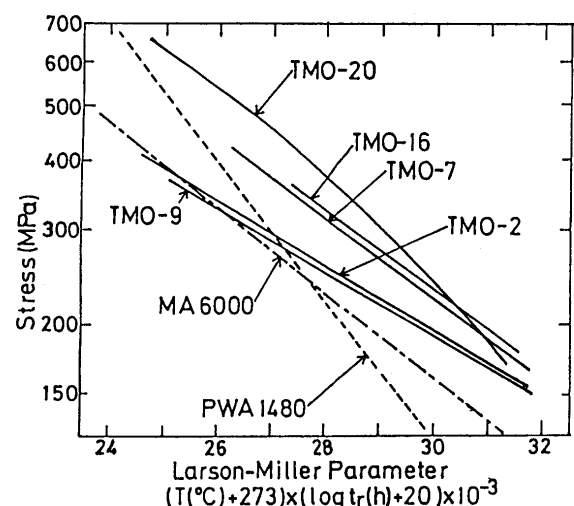


図 4 単結晶合金と ODS 超合金のクリープ、強度比較, T : 温度 (K), tr : 破断寿命 (h)

PWA 1480 と比較したのが図 4 である。

このような高強度 ODS 超合金は、期待されながらも未だタービン動翼への本格的実用化には至っていない。原因は、破断延性の不足 (1~3%) や、鑄造の場合と異なり空冷翼製造技術が困難であることなどによるものと考えられる。しかし、クリープ強度、特に高温低応力側での強度の点では単結晶超合金を大きく超える特性を示すことを考えると、再検討に値する。たとえば小型無冷却ガスタービンの動翼などに用いて、現状 900~950°C の入口ガス温度 (TIT) を大幅に向上させるのも有効と考えられる。なお、シートに鍛造、圧延の可能な MA 754 などの ODS 超合金は、耐酸化性がよいこともあり、燃焼器など板金加工による高温部材として広く用いられている。

2.4 粉末/鍛造超合金

高圧タービンの高温化に伴って、タービンディスク用超合金にも 700°C を超える高温の特性が求められるようになってきている。このような温度域では疲れ強度に加えてクリープ強度がより重要となる。一般的には、疲れ強度は細粒化することによって、またクリープ強度は粗粒化することにより向上する。熱処理温度を、析出物が固溶する温度 (ソルバス温度) の上下で使い分けることにより、結晶粒径を調節可能である。熱処理中に温度勾配をつけて、ディスクの外周部を粗大化してクリープ強度を向上させ、内部は細粒に保つような“デュアルプロパティ”ディスクも可能となっている⁽²⁾。

ディスク用合金としては、大きく鍛造材と粉末プロセス (P/M) 材に分けられる。鍛造材としては、Ni₃Nb 型の γ'' (ダブルガンマプライム) 相の析出強化を利用した Inconel 718 が普及しているが、高温化の観点から最近はより安定な Ni₃Al 型 γ' 相が析出する通常の超合金 Udimet 720 へ移行する傾向にあり、特に、炭素などの微量元素を低下させた Udimet 720 Li (Li は Low interstitials) が主流となっている。

P/M 材は、偏析のない均質なディスクが得られ、超塑性鍛造や高温鍛造などによるニアネット加工ができるなどのメリットがある。一方で、異物混入などに対する高度の品質管理を要求され、コストアップにつながる。P/M 材では強化元素タングステン (W) を多く含む AF 115 が最も高強度であるが、最近の方向として、クラックが発生したとしてもその進展速度の遅い材料を用いた

損傷許容設計の考え方が取り入れられている。たとえば、フランスで開発された N 18 合金などがこのような設計に基づいて広く使用されている。代表的な合金の組成を表 2 に示す。

ディスク製造プロセスでは、数万トン級の大型の鍛造プレスが必要となる。現在国内にはこのような設備がないこともあって、ディスク材はほとんどすべて輸入に頼らざるを得ない状況である。ガスタービン産業のいっそうの活性化のため、大型鍛造設備の必要性が議論されている。

2.5 材料設計解析技術

以上のような Ni 基超合金の開発には、材料設計技術が有効である。従来用いられていたフェイコンプ (Phacom) 法は有害析出相の有無を判定するのみであり精度もよくなかった。これに対し、合金組成から経験式により各種マイクロ組織因子や高温特性を予測し最適合金組成を決定できる「合金設計プログラム (NRIM-ADP)」⁽³⁾ や、熱力学計算により高温の相平衡状態を予測する「サーモカルク (Thermocalc) プログラム」、さらに原子配置まで含めて組織予測を行う統計熱力学計算プログラム⁽⁴⁾ など、種々のソフトが開発され、合金開発に利用されるようになってきている。例えば「合金設計プログラム」は日本国有特許として英国のロールスロイス社に実施許諾され、同社の合金開発に利用されている。

材料設計と対応して材料組織解析の面でも、アトムプローブマイクロアナライザーを用いた原子レベルの超合金組織解析、電子顕微鏡内での高温組織観察など、新しい技術が可能となっており、Ni 基超合金のみならず、新材料の設計開発にも有用な情報を与えている。

3. 新材料の可能性

3.1 金属間化合物合金

金属間化合物は一般に延性、特に室温延性に乏しいが、その中であってチタン・アルミ (TiAl) 基合金は、軽量、高比強度かつ、ある程度の室温延性を有し、ジェットエンジンへの応用という点で実用に最も近い。すでに、米国 GE 社において低圧タービンの後段動翼への適用化研究が行われ、地上での実機回転試験に成功している。低圧後段翼は比較的大型で、従って実用化されればエンジンの軽量化に有効である。しかし現時点では、コストパフォーマンスなどの点で実用化への駆動力を得るには

表 2 タービンディスク用 Ni 基超合金の合金組成例 (wt%, 残 Ni)

種類	合金名	合金組成													
		Co	Cr	Mo	W	Al	Ti	Nb	Ta	Hf	Re	C	B	Zr	Others
P / M	MERL76	18.6	12.4	3.2	-	5.0	4.3	1.4	-	0.4	-	0.03	0.02	0.06	-
	AF115	15	10.5	2.8	5.9	3.8	3.9	1.8	-	0.8	-	0.05	0.02	0.05	-
	N18	15.7	11.5	6.5	-	4.4	4.4	-	-	0.45	-	0.02	0.02	0.03	-
鍛 造	Inconel 718	-	19	3	-	0.5	0.9	5.1	-	-	-	0.04	-	-	18.5Fe, 0.2Mn, 0.2Si
	WASPALLOY	13.5	19.5	4.3	-	1.3	3.0	-	-	-	-	0.05	0.01	0.06	-
	U 720Li	14.6	16.2	3	1.3	2.5	5	-	-	-	-	0.02	0.01	-	-

至っていないようである。

国内では、日本学術振興会未来開拓学術研究推進事業の「先進高温材料-耐熱金属間化合物の実用化」プロジェクトにて、一方向凝固法を用いて結晶方位や微細なラメラ組織 (γ/α 2 層状組織) を制御して特性を大きく向上させる研究が行われ⁽⁹⁾, 優れたクリープ強度と室温引張り延性 (5%) を両立させるなどの成果が得られつつある。

また、国内で最近、自動車用ターボチャージャーのローターとして、TiAl 基合金が実用化されている⁽¹⁰⁾。精密鋳造法が確立し薄肉翼ローターに成型できるようになったことで実用化が進んだものである。セラミックスでは靱性が低いために比較的厚肉翼となり、このため翼枚数も制限される傾向にあるのに対し、TiAl 基合金は、薄肉化によってタービン効率が向上できるなどのメリットが報告されている。

Ni₃Al は、B の添加で結晶粒界を強化することで室温でも大きな延性を得られることから、今日の広範な金属間化合物研究のきっかけとなり、第 3、第 4 元素の添加をはじめ、世界的に多くの研究が行われてきた。しかし Ni₃Al 合金では、同じ Ni₃Al 型規則相 (金属間化合物相) と Ni 固溶体相 (合金相) がミクロに複合した Ni 基超合金の高温強度を超えることができない、という基本的な問題に直面しており、タービン動翼など強度を要求されるタービン部材への実用化は難しい。しかし、一方向凝固することにより B 無添加でも延性が得られ、薄いもので 70 μ m までの冷間圧延も可能となるなど新しい展開もみられる⁽¹¹⁾。耐酸化性が良く、700°C まで温度上昇につれて強度が向上するという Ni₃Al の特性を生かして、高温用ハネカム構造などとしての軽量部材加工も考えられているようであり、今後の新しい用途開発が期待される。

3.2 ニオブ合金

高融点金属の中で、Nb (ニオブ、コロンビウムともいう) は融点が 2468°C と高いだけでなく、比重が 8.58 と超合金と同程度に低く、延性にも優れていることから、タービン材料への適用を目指して多くの研究が行われてきた。この間、耐酸化性が悪いことが実用化を阻んできたがここ数年新しい展開がみられる。

シリコン (Si) を添加して、Nb 固溶体と Nb シリサイド (Nb₅Si₃) の複合組織とすることによって、1200°C 付近では Ni 基超合金に匹敵する耐酸化性を持つ合金が得られている⁽¹²⁾。国内でも、通産省/工技院/NEDO の大型プロジェクト「高融点金属系部材の高度加工技術」にて、Nb 合金の開発研究が上記 Nb シリサイド系も含めて行われ、高温強度の大幅向上が報告されている^{(13),(14)}。図 5 に、Mo と W で強化した Nb シリサイド系合金の強度⁽¹⁵⁾を示す。現時点では、耐酸化性と強度を両立するには至っていないが、今後期待できる。

高融点のニオブ合金の特徴を生かすには 1500°C 以上

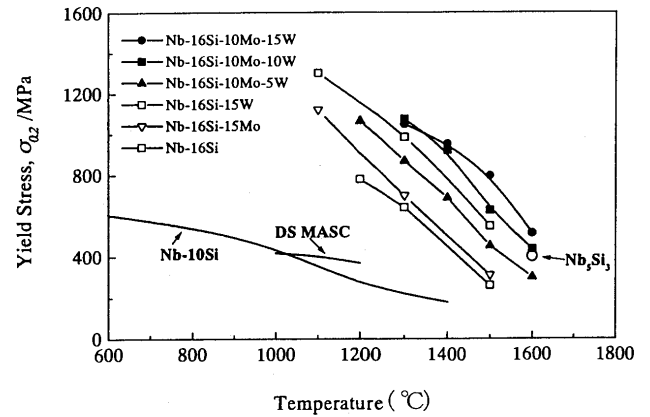


図 5 Mo と W で強化した Nb シリサイド系合金の強度

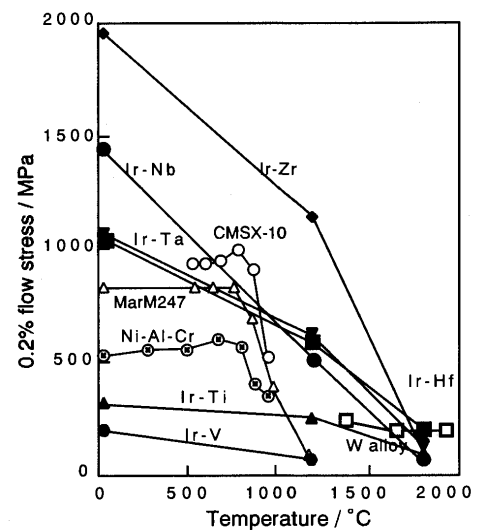


図 6 高融点超合金の高温圧縮強度。Ni 基超合金と比較して示す

の超高温で無冷却タービン翼として使用するのが理想であるが、その前の段階として、たとえば超合金が冷却を必要とする 1200~1300°C などの温度域で、無冷却動翼として用いることも考えられる。ただしその場合も耐酸化コーティング技術が重要であろう。

3.3 高融点超合金

Ni (融点 1455°C) をベースとして用いる限り超合金の飛躍的な耐熱性向上は困難である。そこで、ベースメタルに Ni 以外の高融点のものを用いて Ni 基超合金と同じミクロ組織を再現した“高融点超合金”が筆者らのプロジェクトで開発されている⁽¹⁶⁾。たとえばイリジウム (Ir: 融点 2447°C) をベースとして用いた、Ir-15 at%Nb, Ir-15 at%Zr などの合金は、1800°C での 0.2% 耐力にて 200~300 MPa の強度を発揮し、耐酸化性の点でも従来の高融点金属・合金に比べ大幅に改善されている。図 6 に高温強度を Ni 基超合金と比較して示す。今後は合金の比重 (~20) と価格の低減が実用化への課題である。そこで、Ni 基超合金との混合によるコストパフォーマンスの最適化など、新しい観点からの材料設計も行われている。当面の実用対象はジェットエンジンの無冷却静

翼やロケットノズルなどである。2000年3月に米国ナッシュビルで開催された国際Irシンポジウムでは、高温材料としてのIrの利用について多く発表、討論された²²⁾。

イリジウム・アルミ (IrAl)、ルテニウム・アルミ (RuAl) など、貴金属のアルミナイドについても研究が行われている。これらは従来研究されてきたNiAlと同じ結晶構造 (B2構造) を有し、かつ高融点の金属間化合物で、靱性が向上すれば有力なガスタービン材料となりうる。貴金属については、英国のジェットエンジンメーカーや大学でも白金 (Pt) をベースとした耐熱材料研究が開始されるなど、高温材料への適用化研究が世界的に活性化している。

3.4 セラミックス

粉末焼結法で作成される窒化ケイ素 (Si_3N_4) は、乗用車のターボチャージャーローターとしてすでに100万台を超える実績がある。また、CGT (セラミックガスタービン) プロジェクトにおいても、小型ガスタービンのローターとして用いられ、高温化、高効率化の実証に貢献した。1500°Cのような高温での使用を可能にするため、焼結の際に必要な粒界のガラス相を、焼結後は結晶化させて、高温強度を向上させる研究が行われている。特に、酸化イットルビウム (Yb_2O_3) とシリカ (SiO_2) を適量添加してガス圧焼結することによって得られる複合化合物 ($\text{Yb}_2\text{Si}_2\text{O}_7\text{N}_2$) を粒界結晶相とする窒化ケイ素は、1500°Cでも484MPaという高強度を示し、実用化が期待されている²³⁾。靱性改善と併せて長時間のクリープ強度と耐酸化性向上が今後の課題であり、新世紀耐熱材料プロジェクトにおいて研究開発が進められている。

1997年にMGC (Melt Growth Composite) と名付けて発表されたセラミックスは、単結晶の3次元ネットワーク構造が絡み合った新しいタイプの共晶セラミックスとして注目されている^{24)~26)}。室温から1800°Cまで強度低下がなく²⁵⁾、高温では金属のように転位による塑性変形が生じる^{24), 25)}。耐酸化性にも優れ、大気中1700°Cにて1000時間加熱しても形状、組織が安定で、強度低下も生じない^{25), 26)}。一方向凝固速度も当初5mm/hであったが最近30mm/hまで向上している (Ni基超合金では100~200mm/h)。今後室温靱性の改善が必要と思われる。図7に、発表されたMGCの強度を焼結法による粒界結晶化 Si_3N_4 と比較して示す。

4. 仮想タービン：材料とタービンシステムの融合ソフト開発

新世紀耐熱材料プロジェクトでは、すでに述べてきたように、Ni基超合金、 Si_3N_4 系セラミックス、高融点超合金、の3種の材料開発を行っている²⁷⁾。それぞれ、耐用温度 (=137MPaの応力で1000時間のクリープ破断寿命となる温度) にて、1100°C、1500°C、1800°Cを目標としている。開発材料を、実機試験を経て実用化し、

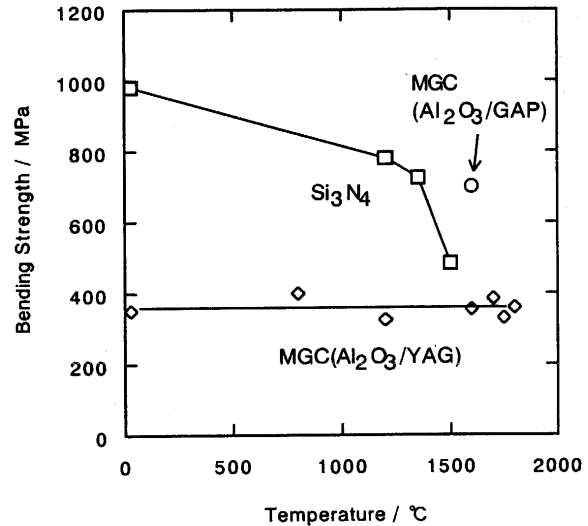


図7 粒界結晶化 Si_3N_4 と MGC の高温強度

ガスタービンを高温化、高効率化することによって CO_2 排出削減など環境問題解決に寄与することが最終的な目的である。その際問題になるのが、ガスタービンやジェットエンジンでの実機試験の場が極めて限られていることである。

新世紀耐熱材料プロジェクトでは、このような状況を改善する手段の一つとして「仮想タービン」の開発を行っている²⁸⁾。これは、コンピュータ中の仮想的なタービンである。具体的には、材料設計プログラムによるクリープ予測や物性予測計算プログラムと、CFD、伝熱計算、構造力学計算によるタービン動翼各部位の温度・応力の計算プログラムを、数値・数式化したタービン全体システムに組み込んだもので、①任意の合金組成 (まずはNi基単結晶超合金) と運転条件 (ガス温度、冷却条件、など) を入力して動翼の長時間クリープ変形・破断の様子を加速して画像表示したり、②開発材料を用いた場合のガスタービンの熱効率向上を予測可能なものに作成中である。WWWにて公開し、世界の発電ガスタービンやジェットエンジン研究者がアクセスできるようにする予定である。将来的には、Ni基超合金に限らず、本稿で紹介した新耐熱材料も試験できるものにして新材料の実用化にも役立てたいと考えている。

5. おわりに

化石燃料の節約、 CO_2 削減、地球温暖化防止など、地球規模での問題解決のために、ガスタービン機関の高性能化の意義は大きい。その達成のために耐熱材料の重要性は増しており、コーティング、冷却技術とも連携することにより、今後とも大きな寄与が可能と考えている。大型国家プロジェクトから個別の基礎研究まで、またハードからソフトまで、いろいろなレベルで材料研究とシステム研究の連携・協力が行われ、基幹パワーエンジニアリングとしてのガスタービン研究開発がいっそう活性化することを願うものである。

参考文献

- (1) W. S. Walston et al : Superalloys 1996, Ed. By R. D. Kissinger et al, p. 27
- (2) G. L. Erickson : Superalloys 1996, Ed. By R. D. Kissinger et al, p. 35
- (3) T. Kobayashi, Y. Koizumi, S. Nakazawa, T. Yamagata and H. Harada : Proc. of 4th Intern. Charles Parsons Turbine Conference, 4-6 Nov. 1997, Newcastle, U.K., p. 766
- (4) K. S. O'hara, et al : US-patent 5, 482, 789
- (5) D. H. Allen et al : Proc. of Conf. "Materials for Power Engineering 1998", Ed. by J. Lecomte-Beckers, et al, p. 1825
- (6) T. Hino, Y. Ishiwata, Y. Yoshioka, K. Nagata, T. Kobayashi, Y. Koizumi, H. Harada, and T. Yamagata : Proc. of Intern. Gas Turbine Congress 1999 Kobe, Nov. 14-19, 1999, p. 169
- (7) H. Tamaki, A. Yoshinari, A. Okayama and S. Nakamura : Proc. of Conf. "Materials for Power Engineering 1998", Ed. by J. Lecomte-Beckers, et al, p. 1099
- (8) A. Mitsuhashi, et al : Proc. Of Conf. "High Temperature Materials for Power Engineering 1990", Liege, Belgium, 24-27 September 1990, p. 1301
- (9) 河合久孝ほか : まてりあ (日本金属学会報), Vol. 36 (1997), p. 643
- (10) T. Kobayashi, Y. Koizumi, H. Harada, T. Yamagata, A. Tamura and S. Nitta : Proc. of Conf. "Materials for Power Engineering 1998", Ed. by J. Lecomte-Beckers, et al, p. 1079
- (11) 川崎要造 : 金属, 1992年5月号, p. 9
- (12) G. Harkegard and J. Y. Guedou : Proc. of Conf. "Materials for Power Engineering 1998", Ed. by J. Lecomte-Beckers, et al, p. 913
- (13) H. Harada, K. Ohno, T. Yamagata, T. Yokokawa and M. Yamazaki : Superalloys 1988, p. 733
- (14) H. Harada and H. Murakami : "Design of Ni-base Superalloys", a chapter of a book, "Computational Materials Design", Ed. By T. Saito, Springer, p. 39
- (15) D. R. Jonson, H. Inui and M. Yamaguchi : Acta Metar., 1996, 44, p. 2523
- (16) 野田俊治, 芝田智樹, 岡部道生, 飯久保知人 : 学術振興会, 耐熱材料第 123 委員会研究報告, Vol. 40, No. 3 (1999. 11), p. 235
- (17) 平野敏幸, 出村雅彦, 梅沢 修, 菅 洋三 : 学術振興会, 耐熱材料第 123 委員会研究報告, Vol. 40, No. 3 (1999. 11), p. 377
- (18) M. R. Jackson, B. P. Bewlay, R. G. Rowe, D. W. Skelly and H. A. Lipsitt : JOM, 48 (1996), January, p. 39
- (19) 平井寿敏, 田原竜夫, 沙 江波, 北原 晃, 花田修治 : 学術振興会, 日本学術振興会, 耐熱金属材料第 123 委員会研究報告, Vol. 40, No. 3 (1999. 11), p. 361
- (20) C. L. Ma, A. Kasama, Y. Tan, H. Tanaka, R. Tanaka, Y. Mishima, S. Hanada, 日本学術振興会, 耐熱金属材料第 123 委員会研究報告, Vol. 40, No. 3 (1999. 11), p. 349
- (21) Y. Yamabe-Mitarai, Y. Ro, T. Maruko, H. Harada : Met. Mat. Trans. A, 29 A (1998), p. 537
- (22) E. K. Ohriner, R. D. Lanam, P. Panfilov, H. Harada (Ed.), "Iridium", Proc. of the international symposium held during the 2000 TMS Annual Meeting in Nashville, USA, March 12-16, 2000
- (23) T. Nishimura, M. Mitomo, and H. Suematsu : J. Mater. Res., 12 (1997), p. 203
- (24) Y. Waku, N. Nakagawa, T. Wakamoto, H. Ohtsubo, K. Shimizu and Y. Kohtoku : Nature, 389, No. 6646, 4 September (1997), p. 49
- (25) Y. Waku, N. Nakagawa, T. Wakamoto, H. Ohtsubo, K. Shimizu, Y. Kohtoku, Journal of Materials Science, Vol. 33 (1998), p. 1217
- (26) Y. Waku, N. Nakagawa, T. Wakamoto, H. Ohtsubo, K. Shimizu, Y. Hohtoku, Journal of Materials Science, Vol. 33 (1998), p. 4943
- (27) HTM-21 Project Report, Proc. of "High Temperature Materials 2000", a one-day symposium organised by HTM-21 Project, National Research Institute for Metals, March 2, 2000
- (28) T. Yoshida, O. Nozaki, A. Ogawa, Y. Ro, T. Nishizawa, K. Kikuchi, F. Zhou, Y. Fujisawa, M. Matsushita, 同上, p. 26

— ガスタービンと材料工学 (1) —

新田 明人*1

NITTA Akito

キーワード：ガスタービン，高温部品，耐熱超合金，劣化・損傷

1. はじめに

米国でガスタービンが初めて実用化された1936年当時のタービン入口温度(TIT)は高々500℃に過ぎなかった。それは優れた耐熱材料がなかったためであるが、その後材料技術とともに冷却技術が急速に進展し、現在では、航空用、発電用ともに実用レベルのTITは1500℃に達している〔詳細は本基礎講座シリーズの第6回(Vol.26, No.6, 1999.11)参照〕。また、ここ25年間で発電用のTITは900℃から1500℃になっており、TITの年間の平均上昇率は約25℃/年である。このような高温化への寄与度は冷却技術が約15℃/年、材料技術が約10℃/年と言われている⁽¹⁾。

このように、材料技術は、冷却技術とともに、ガスタービンの高温化に重要な役割を果たしてきたが、今後も、ガスタービンの高効率化・高信頼化に不可欠な技術であると言える。ここでは、このような技術的背景を踏まえ、ガスタービン材料技術のこれまでの推移、現状および今後の動向について述べる。

2. ガスタービン高温部品の劣化・損傷要因と形態

米国におけるガスタービンの損傷事例の調査結果⁽²⁾によると、部品別ではタービン動翼が約49%と最も多く、次いで圧縮機動翼(19%)、燃焼器胴(11%)、タービン静翼(7%)と続き、原因別では腐食・浸食が約47%、以下疲労(29%)、クリープ(9%)となっている。これは米国の1986年の結果であるため、油焚きプラントが中心で、現在主流となっている液化天然ガス(LNG)焚きプラントの損傷事例を必ずしも代表し得ているとは言えないかも知れないが、その主たるものは、高温酸化・腐食など環境(高温・高圧・高速燃焼ガス)に起因する劣化・損傷、および疲労、クリープなどの機械的な損傷であると言える。そのため、ガスタービン高温部品用材料には、優れた耐食性と高温強度が要求されることになる。

図1⁽³⁾には、ガスタービン高温部品の主たる劣化・損傷形態を示している。その特徴として、同一部品にいくつかの形態が共存することが挙げられる。また、その形態もガスタービンの構造や運転条件によって様々である。

この他、静翼などでは、き裂の発生が頻繁に起こるため、き裂をある程度許容している点に特徴がある。

ところで、上述した機械的損傷のうち、クリープ(creep)とは、金属材料が高温(目安として絶対温度で表した融点の1/2以上の温度)で一定の負荷を受ける場合、弾性限度以下の比較的小さな応力であっても、図2⁽⁴⁾に模式的に示すように、時間とともに徐々にひずみ(変形)が進行し破壊に至る現象である。このようなひずみが進行している材料内部のミクロな金属組織を電子顕微鏡等で観察すると、図2に示したように、結晶粒界にクリープポイドあるいはクリープキャビティと呼ばれる空孔状の欠陥が発生し、それが数や大きさを増大しつつ連結・合体してミクロき裂となり、さらに成長してマクロき裂に至る様子がわかる。すなわち、高温状態では、結晶粒界が破壊の起点となり得ると言える。

もう一つの機械的損傷である疲労は、応力やひずみの繰り返しにより金属部材表面から結晶粒内にき裂が発生・伝ばしていく現象である。一般に、繰り返される応力やひずみは温度変動や温度差に起因することが多いが、このような熱応力や熱ひずみの繰り返しによる疲労が熱疲労である。図3⁽⁴⁾には疲労損傷の進行過程を模式的に示しているが、疲労き裂の進展した後の破面には、応力・ひずみの繰り返し1回毎にき裂先端の開閉口に伴いストライエーションと呼ばれる疲労特有の縞模様が形成される。疲労は、破壊(破損)に至るまでの繰り返し数(疲労寿命)が通常 $10^4 \sim 10^5$ 回以上となる高サイクル疲労と、それ以下の低サイクル疲労に区分される。また、前者は振動のような比較的小さな弾性限度内の応力が繰り返されることから弾性疲労、後者は応力集中部等において弾性限度を超え塑性域に及ぶ大きな応力が繰り返されることから塑性疲労とも呼ばれる。さらに、前者では疲労寿命のかなり後期になってほぼ単一のき裂が発生することが多いが、後者では寿命のごく初期から微小き裂が多数発生する。ただし、このような区分は通常の鋼など比較的高延性で低強度の材料に対しては一般的に言えることであるが、後述するようなガスタービン用の耐熱超合金は一般に低延性で高強度の材料であることから、上述した低サイクル数領域においても弾性疲労的な挙動を示すことがある。また、高温では、低サイクル疲労がクリープと重畳することにより、寿命低下を招くことがある。

原稿受付 2000年5月24日

*1 財電力中央研究所 狛江研究所

〒201-8511 東京都狛江市岩戸北2-11-1

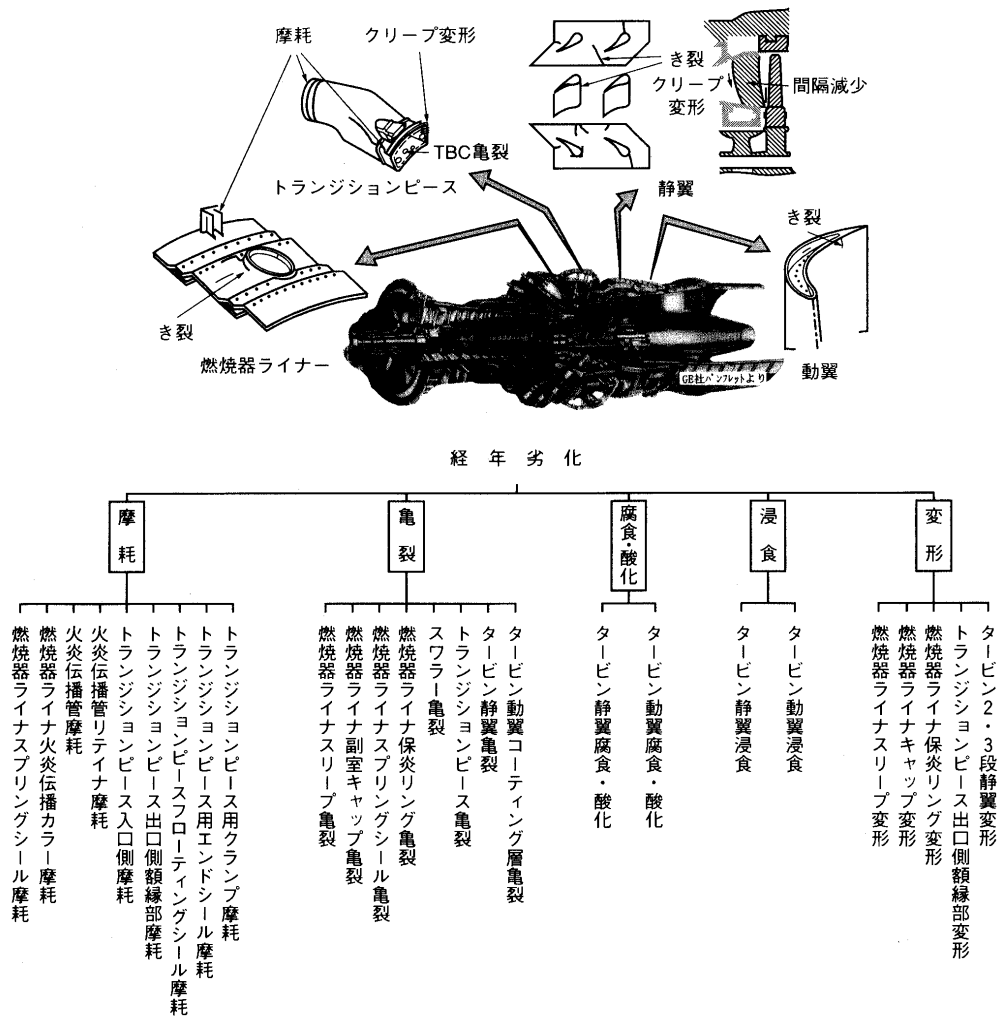


図1 ガスタービン高温部品の劣化・損傷形態

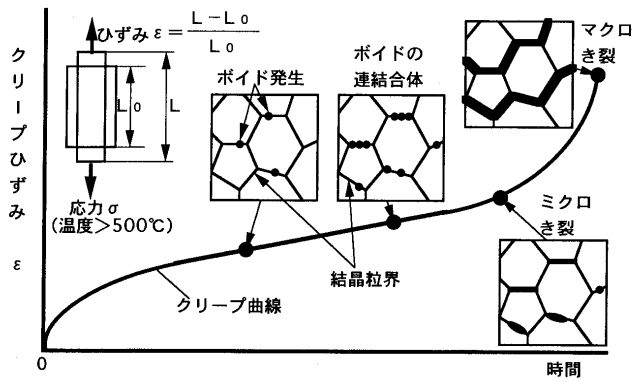


図2 クリープ損傷の進行過程の模式図

これはクリープ疲労相互作用と呼ばれ、高温機器の寿命を評価する際の重要な問題となっている。

図4⁽⁵⁾はガスタービン動翼用超合金の耐用寿命に影響を及ぼす劣化・損傷要因の温度依存性を示している。この図を見ると、700℃付近から次第に高温になるに従い、高サイクル疲労、高温腐食、熱疲労、クリープおよび高温酸化へと動翼の耐用寿命を支配する劣化・損傷要因が移行していくことがわかる。特に、高温腐食は800～950℃の温度域で問題となる。

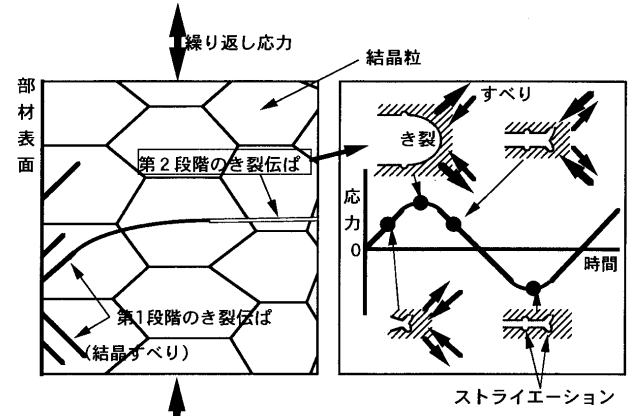


図3 疲労損傷の進行過程の模式図

3. ガスタービン用耐熱材料の変遷

3.1 ガスタービン用超合金

ガスタービン用耐熱材料として多用される超合金 (superalloy) は鉄 (Fe)、コバルト (Co)、ニッケル (Ni) をベースとしており、高温強度と耐食性に優れている。また、超合金は超耐熱合金 (super heat resistant alloy) あるいは耐熱合金とも呼ばれ、その基本的組成から Fe

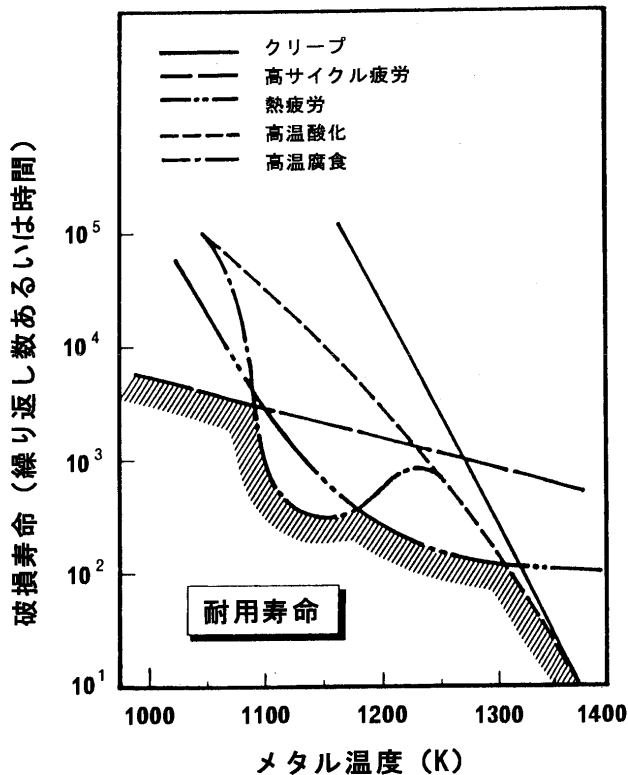


図4 ガスタービン動翼用超合金の耐用寿命に影響する劣化・損傷要因の温度依存性

基超合金, Co基超合金およびNi基超合金に区分される。一方, 製造法の面からは, 鍛造(圧延)超合金, 鑄造超合金および粉末冶金超合金に分別される。

超合金の開発は, ガスタービンが米国で実用化された1930年代の終り頃から始まった。まず, Ni基超合金では, 1906年に開発され今でも電熱線材として多用されているニクロム合金(80% Ni-20% Cr)をベースに, チタン(Ti)を0.4%添加し強化したNimonic 75(0.12% C-0.4% Mn-0.6% Si-20% Cr-76% Ni-0.4% Ti-0.06% Al-2.4% Fe)が1941年に英国で開発された後, 次々に鍛造超合金が登場することとなった。一方, Co基超合金では, 1930年代末に米国で歯科用鑄造合金のバイタリウム(Vitallium: 0.5% C-27% Cr-5% Mo-Co)をターボ過給機の動翼として鑄造・試用し好評であったことから, それを契機にバイタリウムの靱性改善のため炭素(C)量を半減しNi 3%を添加した鑄・鍛造両用の合金HS-21(0.25% C-0.60% Mn-0.60% Si-27% Cr-3% Ni-62% Co-5% Mo-1% Fe)が開発され, ジェットエンジンの動・静翼に採用された最初の材料となった。それ以後, 鍛造超合金のHS-25(L-605)(0.05% C-20% Cr-10% Ni-52.9% Co-15% W)をはじめ, X-40(0.5% C-0.5% Mn-0.5% Si-25% Cr-10% Ni-54.5% Co-7.5% W-1.5% Fe), WI-52(0.45% C-21% Cr-63% Co-11% W-2% Nb-2% Fe)など種々の鑄鍛造超合金が開発された。開発当初はCo基鑄造および鍛造超合金の耐熱性が最も高く, 次いでNi基鍛造超合金, Fe基鍛造

超合金となっていた。しかし, 1950年代の半ばになると, 真空溶解・鑄造法が導入されたことから, 後述するガンマプライム(γ')相によるNi基鑄造超合金の高強度化が進み, Co基超合金を凌駕するようになった。以後, Ni基超合金が, 製造技術の進歩とも相俟って, 超合金の中で最強の位置を占めるようになった。

3.2 超合金の製造技術

超合金の強化法(強化機構)には固溶強化と析出強化があり, 析出強化はさらに炭化物を析出させる弱析出強化と γ' 相と呼ばれる金属間化合物[Ni₃(Al, Ti)]を析出させる強析出強化に分類される。特に, Ni基超合金の強化には γ' 相の析出強化が最も有効であり, そのためにはアルミニウム(Al), チタン(Ti)などの活性金属元素の多量添加が必要となるが, このような酸化しやすい元素による合金化を可能にしたのは1950年代半ばの真空溶解法の導入である。その結果, γ' 相の析出量の増大が図られ, Ni基超合金の高温強度が飛躍的に向上した。しかし, 鍛造超合金では, γ' 相の体積率の増大とともに加工性が低下する等の問題が生じ, γ' 相の体積率が40%以上になると鍛造が極めて困難な状況に至った。これに対し, 鑄造超合金は成形上の問題がないため, γ' 相の体積率を40%以上にまで増大することが可能である。そのため, 体積率65%付近で最高強度に到達でき, 鍛造超合金を凌駕することとなった。

鑄造超合金の場合, 通常, ロストワックス法などの精密鑄造により最終製品にほぼ近い(near net shape)部品が得られる。ロストワックス法には, 図5⁽⁶⁾に示すように, ソリッドモールド法とセラミック・シェル・モールド法がある。現在, ガスタービン翼の鑄造にはセラミック・シェル・モールド法が採用されている。

通常, 鑄造品にはマイクロポロシティ等の鑄造欠陥が存在することが多く, そのような内在欠陥から疲労き裂等が発生することがある。そのため, 精密鑄造翼の信頼性を向上させるため, 粉末冶金法による製品には早くから適用されていた熱間静水圧加圧(HIP: Hot Isostatic Pressing)処理が行われるようになった。通常, HIP処理は, マイクロポロシティ等を消失させるため, 図6⁽⁷⁾に示すように, アルゴンガス等の不活性ガス雰囲気中で, 温度1100~1200°Cおよび圧力10~15 MPaの条件下で行われる。図7⁽⁸⁾にHIP処理により高温疲労強度が改善された事例を示す。この場合, HIP処理により50%以上の内在欠陥が消失しており, その結果疲労寿命が2倍以上延伸している。

3.3 結晶制御技術

上述したように鍛造超合金を凌駕するに至ったNi基鑄造超合金においても, 組成改善のみによる高強度化は次第に頭打ち状態となったが, このような限界を克服したのは結晶制御技術であった。

鑄造超合金は通常の精密鑄造(普通鑄造)法により多結晶(等軸晶)状態となっている。前述したように, 高

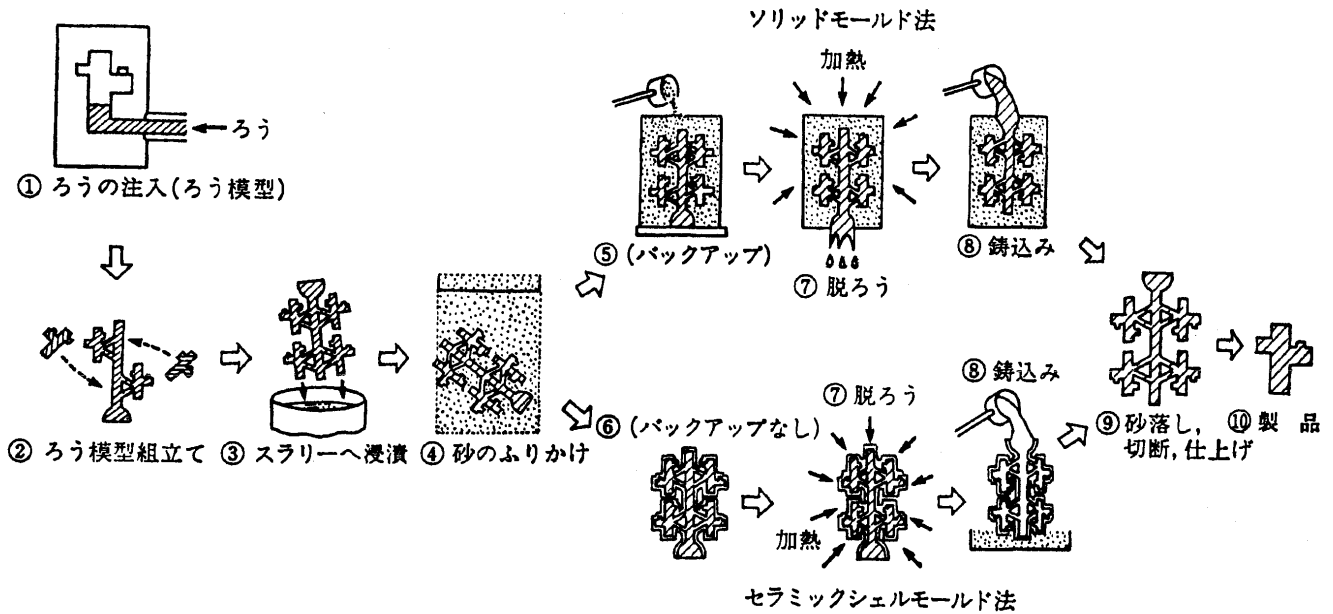


図5 ロストワックス法の基本工程

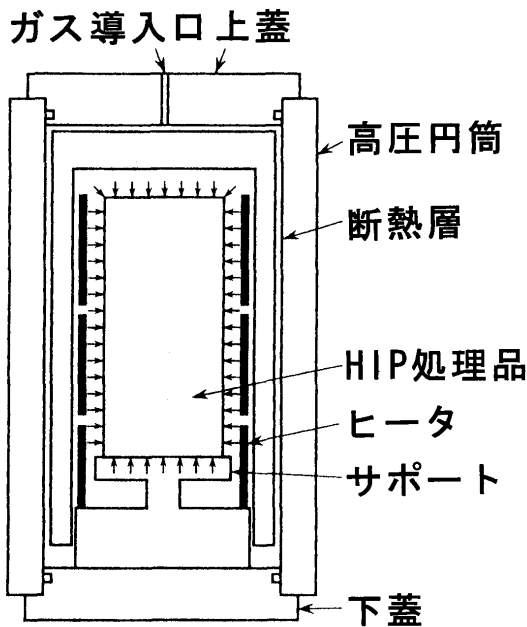


図6 熱間静水圧加圧 (HIP) 法の概念図

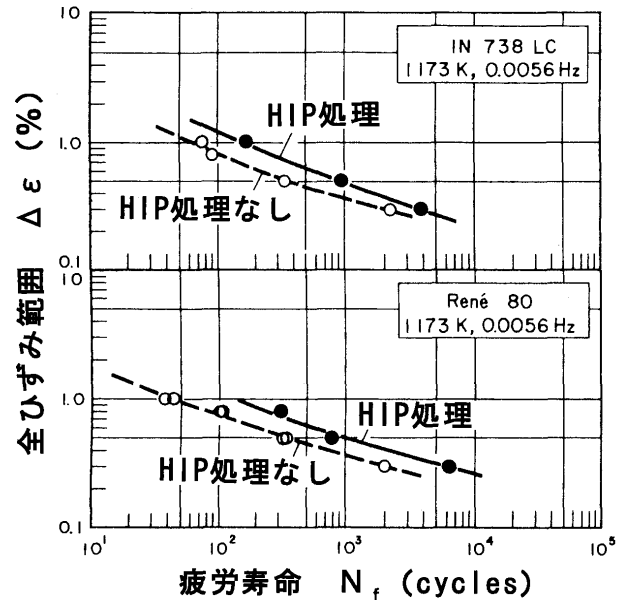


図7 ニッケル (Ni) 基铸造超合金 (IN 738 LC, René 80) のHIP処理による高温疲労寿命の改善効果

温ではクリープ損傷の発生により結晶粒界が破壊の起点となり得るため、多結晶材料には高温破壊の起点が数多く存在することになる。特に、最も大きな引張応力 (最大主応力) の方向に対しほぼ垂直な粒界において損傷(き裂)が生じやすい。たとえば、ガスタービン動翼では、大きな遠心力が作用するため、翼軸方向が最大主応力方向となる。そのため、翼軸に垂直な方向の粒界を完全に除去できれば、高温破壊の起点が減少し、高強度化が可能になることから、铸造時の冷却プロセスを制御することで翼軸方向に結晶を成長させる技術、すなわち結晶制御技術が1960年代半ばに米国で開発された。

図8⁽⁹⁾は、普通铸造(CC:Conventional Cast)による多結晶(等軸晶)組織と一方向凝固(DS:Directionally

Solidified) 铸造による一方向凝固(柱状晶)組織および単結晶(SC:Single Crystal)組織、ならびにそれぞれの铸造炉や鑄型などをまとめて示したものである。また、図9⁽¹⁰⁾には、一方向凝固炉によるDS翼およびSC翼の製造方法の詳細を示している。普通铸造では、図8に示したように、鑄型内の溶融金属の凝固は鑄型の全接触面から同時に始まり、内部へ進行していくことにより、多結晶(等軸晶)が形成される。これに対し、図9に示したように、一方向凝固では、鑄型の底面からのみ冷却し、その他の面は加熱し凝固が生じないようにすることで、凝固方向が一方向に制御され、幾つかの結晶が冷却面に垂直に成長していく柱状晶が形成される。さらに、冷却面から成長していく複数の結晶(柱状晶)のなかか


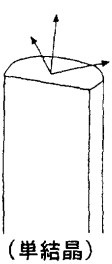
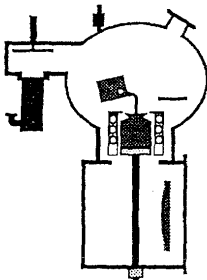

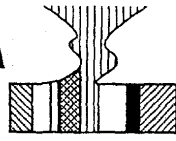


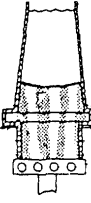
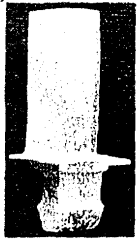
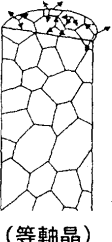
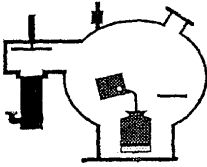

種類	組織	鑄造炉	鑄型	備考
(単結晶翼) 	(単結晶) 		(セレクトター付き 一方向鑄造用 鑄型) 	・一方向凝固による 単結晶化過程 
(柱状晶翼) 	(柱状晶) 	(一方向凝固炉) 鑄型を加熱ゾーン下方へ引き下げ鑄型下部から順に凝固させる。 単結晶鑄造には柱状晶鑄造よりも炉に高い性能が必要。	(セレクトターのない 一方向鑄造用鑄型) 	・主応力方向に結晶粒をそろえて(主応力方向を横切る結晶粒界を取り除き)強度上昇を図った。 ・平板状の結晶粒界を強化する必要から粒界強化元素(Hfほか)が必須。 ・高温強度では単結晶には及ばない。
(等軸晶翼) 	(等軸晶) 	(普通鑄造炉) 	(普通鑄造鑄型) 	

図8 ガスタービン翼の鑄造法(普通鑄造および一方向凝固鑄造)の比較

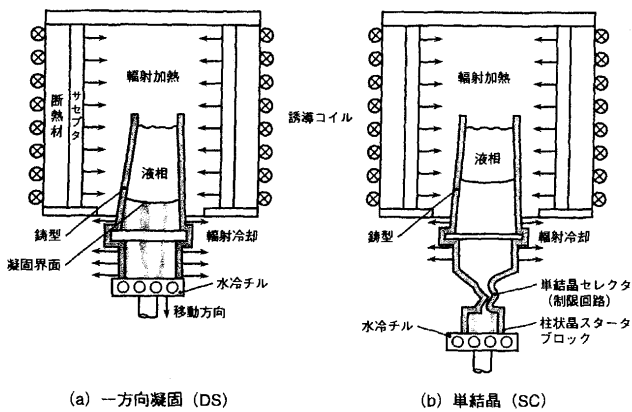


図9 一方向凝固(DS)翼および単結晶(SC)翼の製造方法

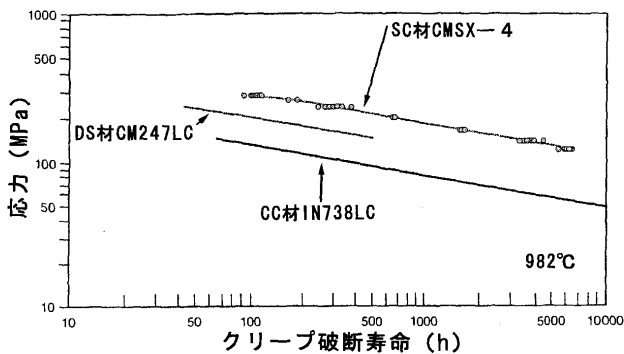


図10 普通鑄造(CC), 一方向凝固(DS)および単結晶(SC)材のクリープ破断強度の比較

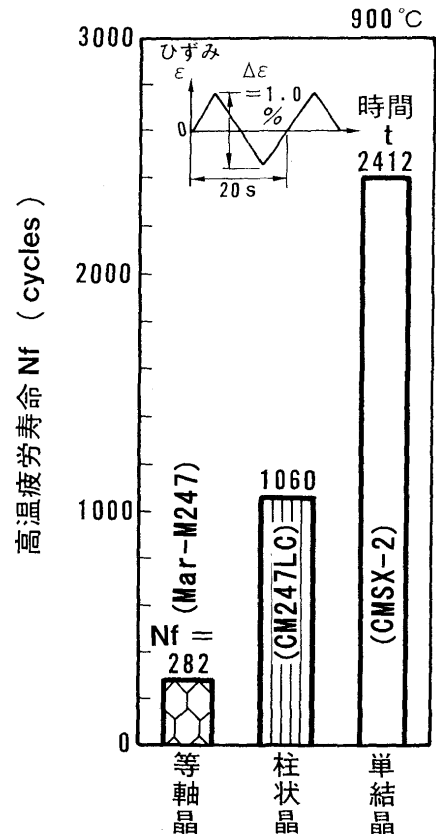


図11 等軸晶(普通鑄造), 柱状晶(一方向凝固)および単結晶材の高温疲労寿命の比較

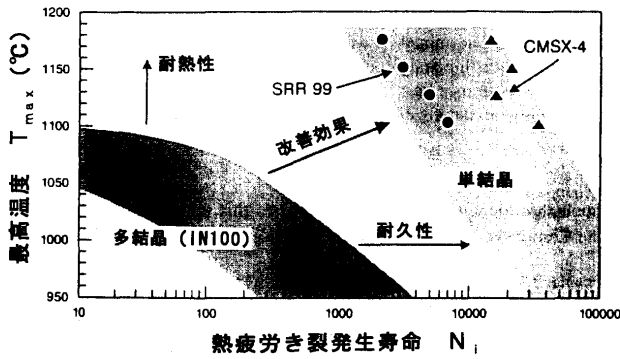


図12 単結晶材(SRR 99, CMSX-4)の熱疲労強度の優位性 (多結晶材(IN100)に対し耐熱性と耐久性が向上)

ら、途中にセレクトラ(制限回路)を設けることにより、1個の結晶のみを成長させることで単結晶を形成させることができる。これにより、翼軸方向に垂直な結晶粒界がなくなり、高温強度が向上する。たとえば、クリープ破断強度で考えると、CCとDSおよびDSとSCの間ではそれぞれ耐用温度が20~30℃ずつ向上している。一例として、図10⁽¹¹⁾には、CC材(IN738 LC)に対し、DS材(CM247 LC)およびSC材(CMSX-4)のクリープ破断強度を対比させて示しているが、SC材はCC材よりも2桁程度長寿命となっている。同様に、図11⁽¹²⁾には、CC材(Mar-M247)に対し、DS材(CM247 LC)およびSC材(CMSX-2)の高温疲労強度を対比させて示している。また、SC材の結晶成長方位<100>の弾性係数はCC材の約60%であるため、それに応じて発生

する熱応力も小さくなり、熱疲労にも強い。図12⁽¹³⁾には、CC材(IN100)に比し、SC材(SRR99, CMSX-4)は熱疲労強度に優れており、耐熱性および耐久性の両面において改善効果が大きいことを示している。

参考文献

- (1) 飯島活巳, 宮田 寛, 日本機械学会 P-SC 214 発電用超高温ガスタービン技術に関する調査研究分科会成果報告書, No. 492 (1995), p. 18
- (2) EPRI Report, "Combustion Turbine Materials Problems," EPRI AP-4475 (1986)
- (3) 電力中央研究所, 電中研レビュー「ガスタービン研究-高効率発電の主役を担う-」, No. 34 (1997-1), p. 32
- (4) 新田明人, 配管技術, 39-6 (1997-5), p. 14
- (5) D. A. Spera and S. J. Grisaffe, NASA TMX 2664 (1973)
- (6) 日本鉄鋼協会編, 鉄鋼便覧V, (1982), p. 219, 丸善
- (7) 河合久孝, 日本ガスタービン学会誌, 23-91 (1995-12), p. 4
- (8) A. Nitta, et. al., Proc. 1983 Tokyo International Gas Turbine Congress, Tokyo, 1983, p. 765
- (9) 脇田三郎, 三菱マテリアル社内資料 (1997)
- (10) 太田芳雄, 中川幸也, 日本ガスタービン学会誌, 23-91 (1995-12), p. 19
- (11) G. L. Erickson and K. Harris, Proc. Int. Conf. on Materials for Advanced Power Engineering 1994, held in Liege, Belgium, 3-6 Oct., 1994, p. 1055
- (12) 新田明人, 桑原和夫, 緒方隆志, 日本学術振興会耐熱金属材料第123委員会研究報告, 26-3 (1985), p. 161
- (13) F. Meyer-Olbersleben, et. al., Proc. 7th Int. Symp. on Superalloys, Seven Spring, PA, Sep. 1992, p. 135

水素燃焼タービン燃焼器の高圧性能試験

High Pressure Tests of Hydrogen Turbine Combustor

斎藤 司*¹
SAITO Tsukasa
安 昭八*²
YASU Shohachi

村山 元英*²
MURAYAMA Motohide
久松 暢*³
HISAMATU Tohru

藤 秀実*²
TOH Hidemi
深堀 修*⁴
FUKAHORI Osamu

キーワード：水素エネルギー，クローズドシステム，燃焼器，量論比燃焼，残存ガス

Hydrogen Energy, Closed System, Combustor, Stoichiometric Combustion, Residual Reactants

Abstract

A hydrogen-combustion turbine system is needed for clean power generation with high efficiency in the future. In the WE-NET program promoted by the Ministry of International Trade and Industry, we are conducting research about a hydrogen combustor for such a turbine system. The critical design conditions are hydrogen/oxygen stoichiometric combustion and 1,700°C at the combustor outlet. A sector model of an annular combustor was developed and its basic performance was confirmed by tests under high pressure conditions. Oxygen was premixed with steam at the burner to prevent metal damage by pure oxygen and to decrease the flame temperature. Residual hydrogen and oxygen were suppressed to the same order as the equilibrium concentration at the designed flame temperature. The metal temperature of the combustor liner was within a tolerable level.

1. 緒言

地球温暖化などの環境問題，化石燃料枯渇などの資源問題に対応するために，水素を利用したCO₂を排出しないクリーン且つ，高効率なエネルギーシステムが将来必ず重要になると考えられる。我々は，通商産業省ニューサンシャイン計画の一環として，WE-NET (World Energy Network) 計画で開発が進められた水素燃焼タービン発電システムの燃焼器について基礎検討を行い，大気圧下での予備試験により性能評価・開発を行ってきた⁽¹⁾。本燃焼器の顕著な特徴は，水蒸気を希釈ガスとし水素・酸素を燃焼させること，また高効率化のために水素・酸素を量論比近くで燃焼させ，出口温度が1,700°Cに達することである。図1に，水素燃焼タービン発電システムの一例を示す。これはブレイトン-ランキン複合サイクルであり，発電端熱効率はサイクル検討結果では60%以上 (HHV基準) となる⁽²⁾。

当燃焼器において，排ガス水蒸気中に不凝縮ガスとな

る残存水素・酸素が多く含まれる場合には，復水部減圧ポンプの負荷が高くなりシステム全体の効率を下げることになるため，残存ガス濃度を極力低減することが重要である。燃焼場は高温高圧であり混合律速と見なせるため，混合を十分に高めることにより平衡濃度レベルまで残存ガス濃度を下げることが望まれる。また，最近実用化された航空エンジンと比べても出口温度が200°C近く高いため，耐久性のある燃焼器ライナ冷却構造を開発することと，出口ガス温度分布の偏りを抑制することが必要である。

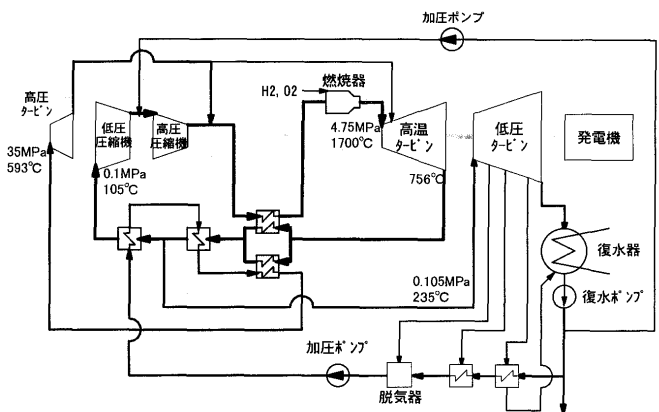


図1 水素燃焼タービン発電システム

原稿受付 1999年11月22日

*1 石川島播磨重工業(株) 基盤技術研究所

*2 石川島播磨重工業(株) 要素技術部

〒190-1297 東京都西多摩郡瑞穂町殿ヶ谷229

*3 財電力中央研究所 横須賀研究所

*4 三菱重工業(株) 名古屋誘導推進システム製作所

本稿では、石川島播磨重工(株)が開発した水素燃焼タービン用アニュラ型燃焼器のセクタモデルについて、三菱重工業(株)田代試験所に建設した高圧試験設備を用い、2.5 MPa までの高圧燃焼試験を行った結果を記す⁽³⁾。

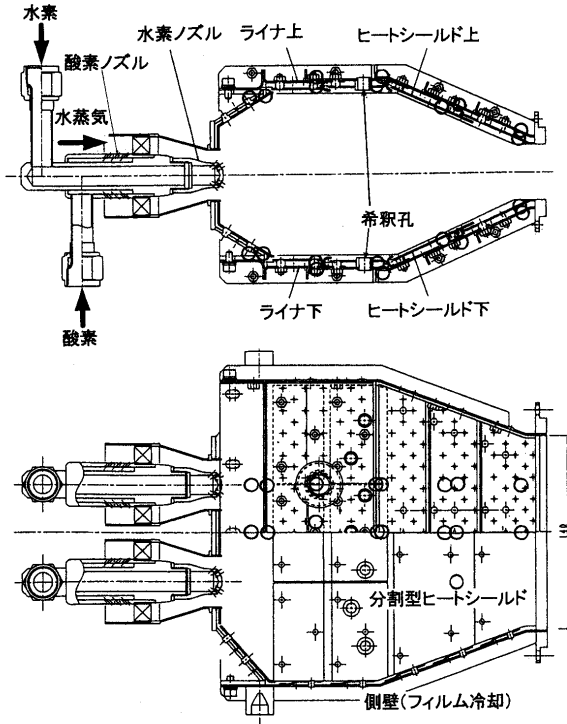
2. セクタモデル燃焼器

図2にセクタモデル燃焼器を示す。カン型燃焼器と比べコンパクトであり、被冷却面積が小さく冷却に有利であることと、フローパターンが単純であり出口ガス温

度分布の制御が容易であることから、アニュラ型燃焼器を開発対象とし、そのセクタモデルを製作した。水蒸気の流量配分は酸素希釈用に約40%、ライナ冷却用に約50%、燃焼ガス希釈用に約10%とした。酸素は、一次燃焼領域の温度抑制と酸素火災を回避するために、スワラ上流で予め水蒸気中に噴射し希釈混合した。酸素・水蒸気の混合気流はスワラにより旋回し、燃焼室内に安定な再循環域を形成する。水素は分散・混合促進のため多数の噴孔より噴射した。ライナ冷却としては、図2に示す通りライナ内側に分割型ヒートシールドを設け熱遮蔽した。ヒートシールドはライナ冷却孔からの衝突噴流によるインピンジ冷却と、ヒートシールド内面を冷却水蒸気流で覆うフィルム冷却を併用した。

3. 試験設備および計測方法

図3に燃焼器試験装置の概略断面を示す。また、図4に燃焼器ベッセル内に燃焼器を組込んだ状態の外観を示



○熱電対取付け位置

図2 セクタモデル燃焼器

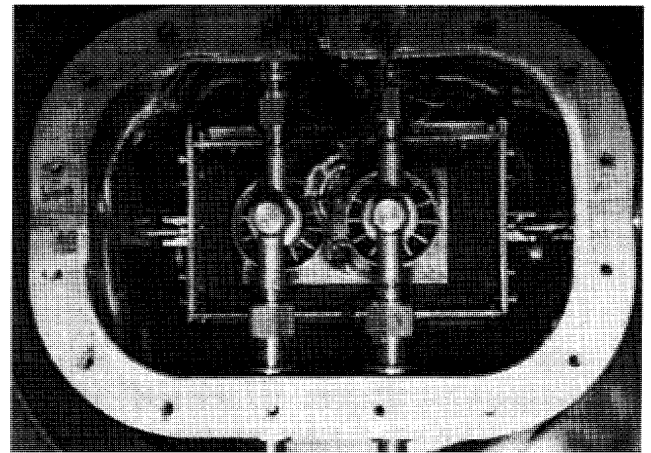


図4 燃焼器外観

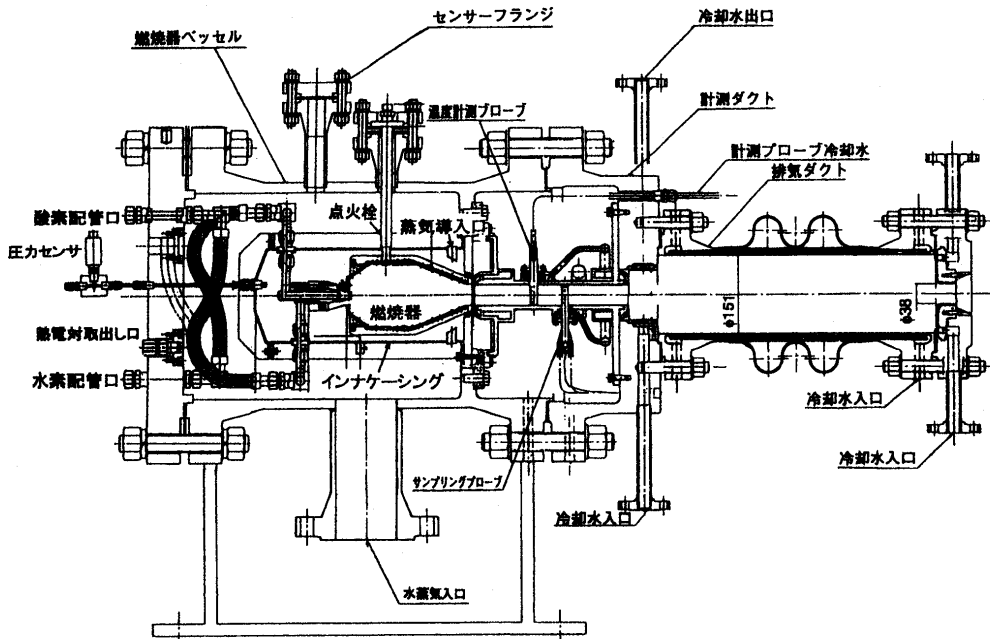


図3 燃焼器試験装置概略断面

す。水蒸気は燃焼器ベッセル側方フランジから供給され、インナケーシングを介して燃焼器に導入される。水素、酸素は燃焼器ベッセル蓋部の配管から各ノズルに供給される。燃焼器出口には計測ダクトが接続されており、燃焼ガス測定を行う。燃焼ガスはその後排気ダクトを経て、減圧オリフイスより大気中に排出される。

燃焼器入口状態はセンサーフランジより燃焼器ベッセル内上部に挿入した全温、全圧プローブにより計測した。燃焼器壁温計測は、図2中の○で示した個所に取り付けた熱電対を用いた。熱電対はライナ、ヒートシールドともに壁外面に熱電対シースを這わせ、溶接により取付けた。燃焼器出口状態については計測ダクト内に設置したガス温度プローブ、全圧プローブ、サンプリングプローブにより計測した。計測ダクトのガス流路断面は燃焼器出口断面と同形状であり、高さ40 mm×幅140 mmである。燃焼器出口面下流118 mmに5点式ガス温度プローブを3本、46 mm間隔で設置し、計15点のガス温度計測を行った。燃焼器出口温度1,500°C条件までは図5aに示す無冷却プローブ、1,700°C条件には図5bに示す水冷プローブを用いた。なお、出口温度1,000°C条件から1,700°C条件の試験範囲で、これらのプローブの計測平均温度と計算温度の差は両者とも約100°Cであり、計測誤差は同程度と考えられる⁽⁴⁾。また、燃焼器出口面下流178 mmに図5cに示すプローブを2本設置し、上流から見て右は全圧計測、左はガスサンプルに用いた。これらは水冷構造であり、プローブ出口水温は全ての試

験条件において55°C以下であったことから、サンプルガスはプローブ内で速やかに反応凍結すると考えられる。サンプルガス分析は残存ガスとして、水素・酸素濃度を測定した。一般のガスセンサでは、結露を避けるためサンプルガスの前処理として水分除去を行うが、本燃焼ガス主成分は水蒸気であるので、本分析装置ではサンプルガス流量を計測し、窒素ガスを添加した後、水分除去する方式を用いた⁽¹⁾。

4. 高圧性能試験結果

試験は、着火後水蒸気流量を定格相当条件に設定し、水素と酸素の流量を量論混合比条件になるように変化させ、燃焼器出口1,000°C (1.5 MPa)、1,200°C (1.7 MPa)、1,500°C (2.1 MPa)、1,700°C (2.5 MPa) の4条件につきデータを取得した。これらは水素燃焼タービン負荷ではそれぞれ、35%、55%、85%、100%に相当する。水素、酸素は常温、水蒸気は350±5°Cで供給した。定格相当条件；1,700°Cの各流量は水蒸気：1.44 kg/s、水素：0.0575 kg/s、酸素：0.456 kg/sである。残存水素・酸素濃度については、各温度条件において水素流量のみを変え量論比近傍で当量比を変えて計測を行った。なお、当設備排気部には固定オリフイスを用いているため、温度上昇と共に圧力が増加する。

4.1 残存水素・酸素濃度

図6a~dに各温度条件での残存水素・酸素濃度の計測結果を、平衡濃度とともに示す。全ての温度条件にお

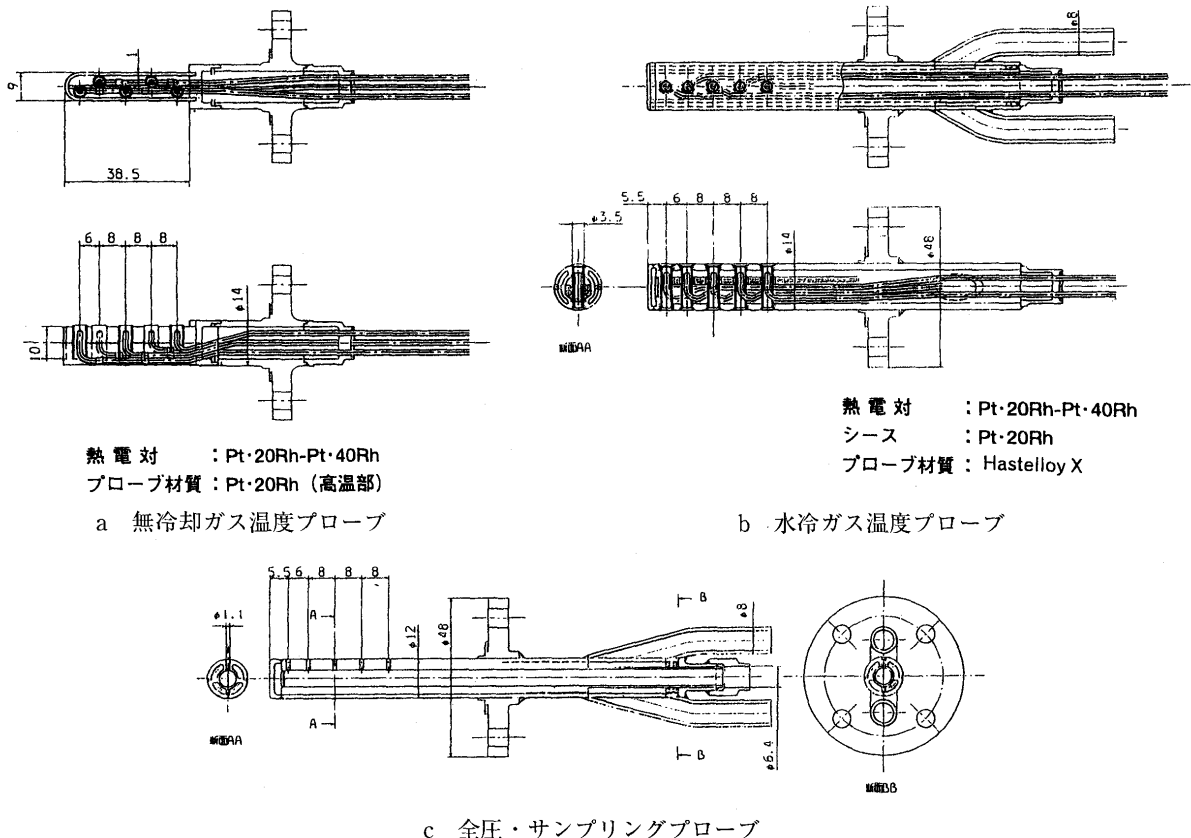


図5 各計測プローブ詳細

いて、残存水素・酸素濃度は量論比近傍で交わり、その交点の濃度は0.5%レベルである。本設備水素、酸素流量計の計測精度を考慮すると、流量計測値から算出した本図の当量比には数%の誤差が見込まれる。そこで、残存ガス濃度の評価として交点の濃度を目安として用いると、定格条件；1,700℃において平衡濃度の交点は0.12%であり、残存ガス濃度の交点の値は平衡値の5倍以下に抑制されている。平衡濃度と実測値の差は混合の偏りによるものと見なせるので、混合不完全による残存分は交点において0.4%レベルと云える。また、水素・酸素供給量が少ない低負荷条件；1,000℃においても、残存ガスの増加はなく、安定燃焼することが確認された。

大気圧試験結果⁽¹⁾と比較すると、残存ガス濃度は4割ほど低下しており、その低下量は1,700℃における高圧

化による平衡濃度の低下量とほぼ同等である。

4.2 出口ガス温度分布

図7a~dに各温度条件の出口ガス温度分布を示す。セクタ燃焼器では実機フルアニュラ燃焼器と異なり側壁の影響があるため（当燃焼器の側壁はフィルム冷却）、やや低温部分が見られるものの、ホットスポットはなく、ガス温度分布の偏りは小さい。また、低負荷条件；1,000℃においても、出口ガス温度分布に異常はなく適正な燃焼を達成した。

図8に各温度条件におけるパターンファクタを当量比に対して示す。パターンファクタは出口ガス温度計測値15点から算出したが、1,700℃水素リッチ側の2条件（図中◇で示す）については、高温水素残存雰囲気白金がダメージを受け、白金熱電対の1点（左温度プローブ中央）が異常となったため、14点のガス温度データから算出した。量論比近傍でのパターンファクタは概ね10%レベルであり、良好な値である。

4.3 ライナ壁面温度

図9a~dに各温度条件における壁面温度分布を示す。ライナ温度は水蒸気入口温度とほぼ同一であり、ヒート

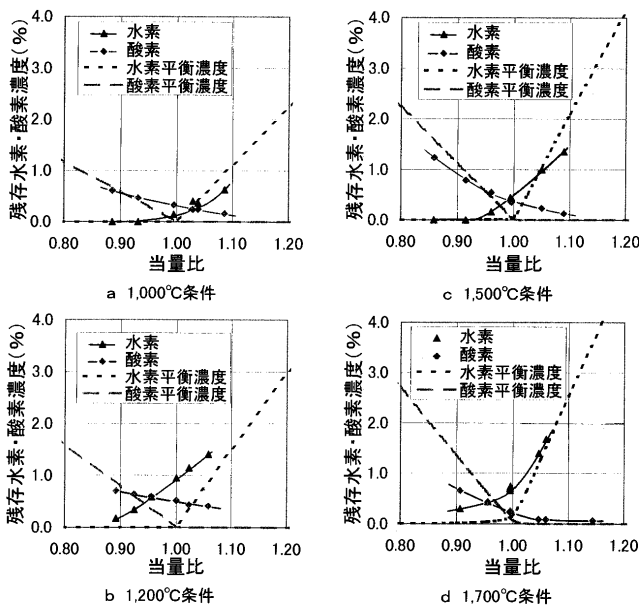


図6 残存水素・酸素濃度

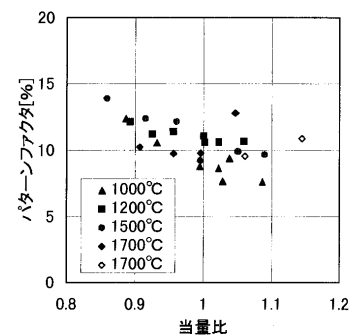


図8 当量比とパターンファクタの関係

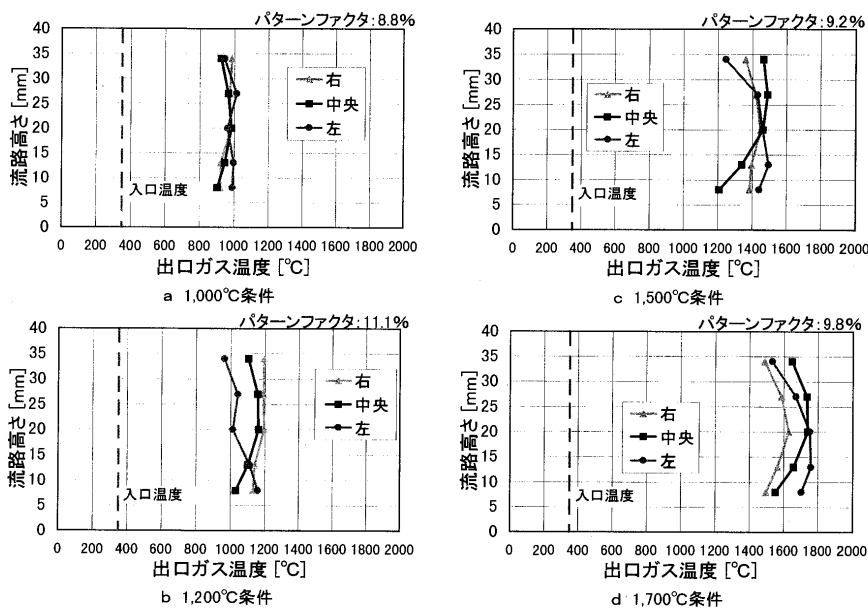


図7 出口ガス温度分布

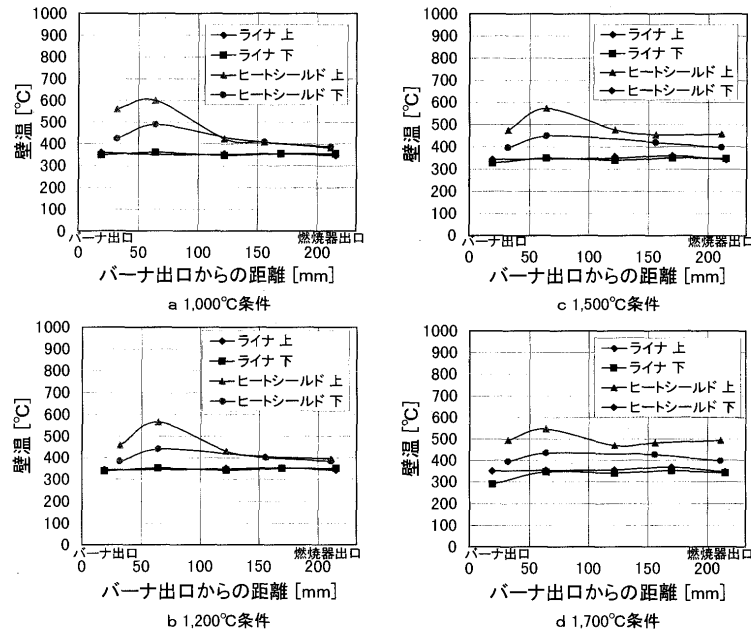


図9 ライナ壁面温度

シールドの温度上昇は高々 200°C である。全ての計測壁温は、許容値に対して十分に余裕がある。水蒸気は空気と比べ比熱が大きく冷却性能が優れることと、ライナ冷却用の水蒸気分配割合を高く設定したこと、本火炎が不輝炎であり火炎からの輻射放熱が小さいことに加え、酸素を水蒸気希釈し火炎温度を抑制したことと、ヒートシールドを用いた冷却構造が有効であったためと考えられる。なお、図 9 d 1,700°C 条件の壁温の内、ライナ下の最上流部の 1 点が 300°C 近くを示しており、燃焼器ベッセル内上部で計測した入口水蒸気温度 350°C よりも低い値を示しているが、燃焼器ベッセル内下部で計測した水蒸気温度は高圧高温条件ほど下がる傾向があり、ベッセル内の水蒸気温度に偏りができることが影響していると推察できる。

大気圧試験結果⁽¹⁾と比較すると、ヒートシールドの最高温度位置が大気圧ではバーナ出口から約 120 mm、本試験では約 60 mm と上流側に移動しており、一次燃焼領域に形成される火炎が短縮化している。また、1,500, 1,700°C 条件について、火炎の影響が小さい燃焼器出口付近のヒートシールド温度を比較すると、大気圧条件に比べ本試験の高圧条件では約 50°C 低下した。これは水蒸気のインピンジ冷却流が、高圧化によりレイノルズ数が増加し乱流遷移するため、インピンジ冷却効率が向上したことによると考えられる。

5. 結言

水素燃焼タービン燃焼器としてアニュラ型燃焼器のセクタモデルを開発し、高圧試験により基本性能を把握

した。

- (1) 残存ガス濃度は大気圧条件よりも減少し、量論比近傍において 0.5% レベルに抑制された。
- (2) 出口ガス温度分布の偏りは小さく、量論比近傍のパターンファクタは 10% レベルである。
- (3) 燃焼器ライナ温度は水蒸気入口温度とほぼ同一、ヒートシールドの温度上昇は高々 200°C であり、許容値に対して十分に余裕がある。
- (4) 低負荷条件 (1,000°C) においても残存ガス濃度は 0.5% 以下であり、出口ガス温度分布にも異常が見られないことから、適正な燃焼が達成された。

謝辞

本研究は、通商産業省ニューサンシャイン計画の一部であり、新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の委託研究として行われた。関係各位から、多くの助言とご協力を頂いたことを深く感謝する。

参考文献

- (1) M. Murayama et al., Research and development of an initial model of hydrogen turbine combustor for WE-NET project in Japan, 12th World Hydrogen Energy Conference (1998.6)
- (2) 幸田栄一, WE-NET 水素エネルギーシンポジウム講演予稿集, (1999), p 223
- (3) 久松 暢, 燃焼研究, 第 115 号, 日本燃焼学会, (1999), p 55
- (4) 久松 暢他, 第 14 回ガスタービン秋季講演会講演論文集, (1999)

ガスタービン主要高温部品の保守管理プログラムの開発

Development of the Gas Turbine Maintenance Management Program of Main Hot Gas Parts

森塚 秀人*¹
MORITSUKA Hideto

藤井 智晴*¹
FUJII Tomoharu

高橋 毅*¹
TAKAHASHI Takeshi

久保 和敏*¹
KUBO Kazutoshi

紅村 良雄*²
KOMURA Yoshi

キーワード：火力発電，ガスタービン，高温部品，保守管理

Thermal Power Generation, Gas Turbine, Hot Gas Path Parts, Maintenance Management

Abstract

The thermal efficiency of gas turbine combined cycle power generation plants will increase significantly in accordance with turbine inlet temperature. These plants will become popular as main thermal power station among electric power companies in Japan. Thus, gas turbine hot gas parts are used under extreme conditions which will strongly affect their lifetimes as well as maintenance costs to be repaired and replaced parts. To reduce the latter is of major importance to enhance cost effectiveness of the plant. This report describes a gas turbine maintenance management program of main hot gas parts (combustion chamber, transition piece, turbine 1st stage nozzle and 1st stage bucket) for management persons of the gas turbine combined cycle power stations in order to obtain an optimal gas turbine maintenance schedule considering rotation, repairing and exchange of those parts.

1. まえがき

ガスタービン複合発電はタービン入口温度の上昇に伴って大幅に熱効率が向上し、日本では、電力会社の主要火力電源として急速に普及している。ところが、ガスタービンの高温部品は過酷な環境条件で使用されるため、メーカー推奨寿命は4~8年と短く、検査毎に運転中に発生した亀裂の補修や交換が必要となっている。保守コストの増大は、熱効率向上のメリットを相殺することになるため、電力会社ではガスタービン保守コスト削減が大きな課題となっている。著者らは、ガスタービン発電所における最適な保守計画作成を支援するために、ガスタービン主要高温部品（燃焼器内筒、尾筒、タービン第1段静翼、第1段動翼）を選定し、最適な部品ローテーション、補修、交換等の保守計画を作成するガスタービン保守管理プログラムを開発した。このプログラムを導入することにより、これまで手作業で作成していたガスタービン保守計画の作成と、保守コスト概算をパソコン

で行うことができ、保守計画立案作業の軽減、保守コスト低減化に寄与できる。

2. わが国のガスタービン高温部品保守管理の実態

ガスタービンは、図1に示す空気圧縮機、燃焼器、タービンからなる熱機関であるが、熱効率向上のために、タービンの入口ガス温度の上昇がはかられてきた。高温ガスに晒される燃焼器内筒、尾筒、タービンの動静翼はガスタービン高温部品と呼ばれる。これらの高温部品は高級な耐熱超合金を使用し、翼表面の冷却孔、内部の冷却空気供給構造の加工に手が掛かり、非常に高価となっ

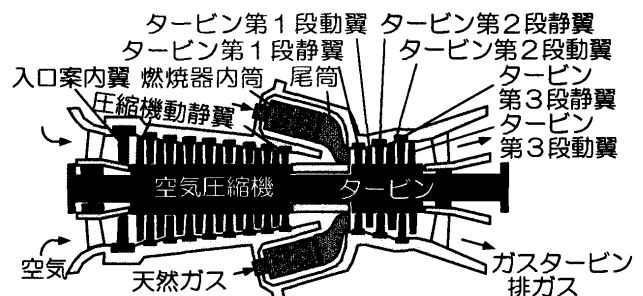


図1 ガスタービン主要高温部品

原稿受付 1999年11月29日

* 1 (財)電力中央研究所 横須賀研究所 プラント熱工学部
〒240-0196 神奈川県横須賀市長坂 2-6-1

* 2 中部電力(株) 火力部運営グループ

ている。また、同部品は、高流速、高温ガス中で使用されること、起動停止による温度変化を頻繁に受けること等により、亀裂、クリープ変形、減肉等の劣化損傷事象が数多く観察される。そのため、蒸気タービンとは異なり、これらの高温部品は、亀裂等の劣化損傷を許容し、消耗品的に補修を繰り返しながら各部品毎に設定されたメーカー推奨寿命まで使用し、廃棄する。

実発電所調査の結果、一般的に以下のような運用が行われている。わが国で主に実施される高温部品保守管理手法は、起動回数を運転時間に換算し、実運転時間に加える事で得られる等価運転時間管理手法である。起動回数に加え、トリップ回数、負荷遮断回数、ピーク運転時間も寿命の減少要因と考え、等価運転時間に加算する。等価運転時間管理手法の概念図を図2に示す。標準的な等価運転時間計算式を次式に示す。

$$\text{等価運転時間} = \text{実運転時間} + k_1 \times (\text{起動回数} + \text{トリップ回数} \times k_2) + \text{ピーク運転時間} \times k_3$$

ただし、 k_1 : 起動回数換算係数

k_2 : トリップ回数換算係数

k_3 : ピーク運転時間換算係数

換算係数は各発電所の運用実績により、固有の値が設

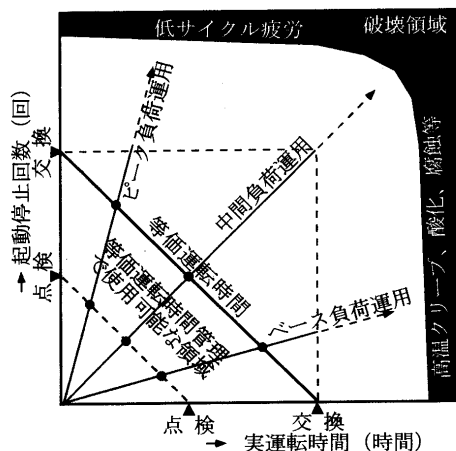


図2 ガスタービン高温部品保守管理概念図

定される。等価運転時間管理方式の他に、運転時間と起動回数を別々に積算し、どちらかが上限値に到達した時点部品寿命とする独立管理方式もある。

わが国では、電気事業法により、ガスタービンは2年毎に定期点検が義務付けられているが、特に損傷の激しい燃焼器は、定期点検の間に自主点検（燃焼器点検）を1、2回程度行う。定期点検では、圧縮機、タービンのケーシングを開放し、高温部品全品について点検補修を行う。一方、燃焼器点検では、燃焼器内筒、尾筒のみ取り外し、点検補修する。補修には数日から数週間を要するので、通常、発電所内の複数のガスタービンに対して、数セットの予備品を保有し、点検時に予備品と交換し、補修後予備品として保管するローテーション使用が行われる。取り出された部品の余寿命が、次回点検までに予定される等価運転時間に満たない場合には、廃棄して新品を購入する。

燃焼器内筒、尾筒、タービン第1段静翼は、交換時に許容値を超える亀裂を溶接補修し繰り返し使用する。回転部品であるタービン動翼は、現状亀裂の溶接補修が許可されておらず、亀裂を切削し、寿命まで使用する。予備ローターを保有する場合は、定期点検時にローターごと交換することが可能である。

これらの一連の高温部品保守管理は、発電所保守課において保守計画を作成し、保守コストの見積りを行っている。

3. ガスタービン保守管理プログラムの特徴

図3に本プログラムのフローチャートを示す。本プログラムは次の4つの基本的な機能を有する。

- 1) 部品履歴データベースに基き、部品ローテーション、補修、交換等の高温部品保守計画を作成する計算機能。
- 2) 高温部品保守計画を部品ローテーション図として表示する図化機能。
- 3) 保守コストデータベースに基き、計算した高温部品保守計画の保守コストを積算する計算機能。
- 4) 保守コストを折れ線グラフ化する図化機能。

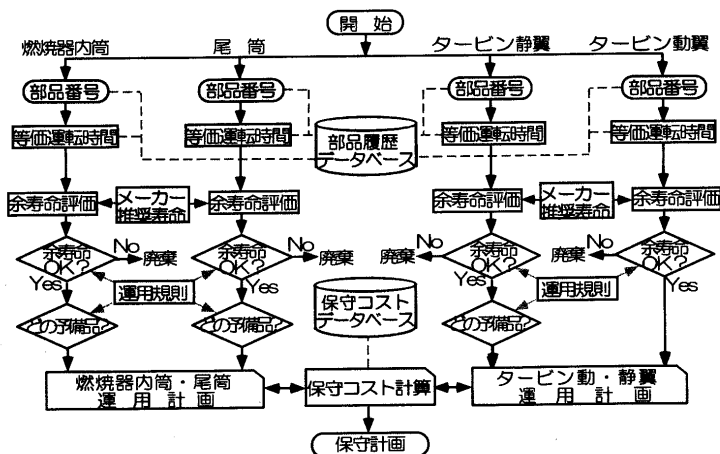


図3 プログラムのフローチャート



図4 対象のガスタービン複合発電プラント

フローチャートに従って、保守計画の作成および保守コストの積算手順について述べる。本プログラムを使用するには、あらかじめ、発電所固有の部品履歴データベースと保守コストデータベースの入力と、部品運用規則を設定する必要がある。

まず、部品履歴データベースとして、ここでは、図4に示すガスタービン5台が設置された複合発電プラントを想定した。図5に燃焼器内筒、尾筒の部品ローテーション履歴図を示す。

ここで棒グラフ内のアルファベットA~Eは、最初にガスタービン第1軸~第5軸に使用した部品セット、F、Gは予備品1、2セットを表し(濃淡で表示)、数字は部品の世代番号を表し、新品は廃棄した部品のアルファベットを引き継ぎ、世代番号を1つ増やす。

本プログラムは、燃焼器内筒、尾筒は10缶、タービン第1段静翼は18セグメント、タービン第一段動翼は92枚を1セットとして管理することを基本としており、部品履歴データベースは、図6に示す入力画面により、セット単位で簡便に入力することができる。また各高温部品のセットに対応する部品番号は、図7に示す入力画面

により管理できる。

次に、保守コストデータベースとして、表1に想定した部品価格とメーカー推奨寿命および分解点検コストを示す。部品購入費用は、廃棄した時点で積算した。図8に各高温部品の補修コストを示す。補修コストは、使用回数に伴って階段状に増加するとした。単位は相対値(ガスタービン一台価格=100ユニット)で表す。

各高温部品はガスタービン1台分のセット単位で使用し、部品運用規則は標準的に、

- 1) 予備品は保管期間の長い予備品から使用する。
- 2) 余寿命等価運転時間が次期検査までの運転予定期間

表1 部品価格、メーカー推奨寿命と分解点検コスト

名称	価格/個数	寿命
燃焼器内筒	1.0ユニット/10個	32,000時間
尾筒	2.0ユニット/10個	32,000時間
タービン第1段静翼	4.0ユニット/18セグメント	64,000時間
タービン第1段動翼	4.0ユニット/92枚	48,000時間
定期検査	1.25 ユニット	
燃焼器点検	0.025 ユニット	

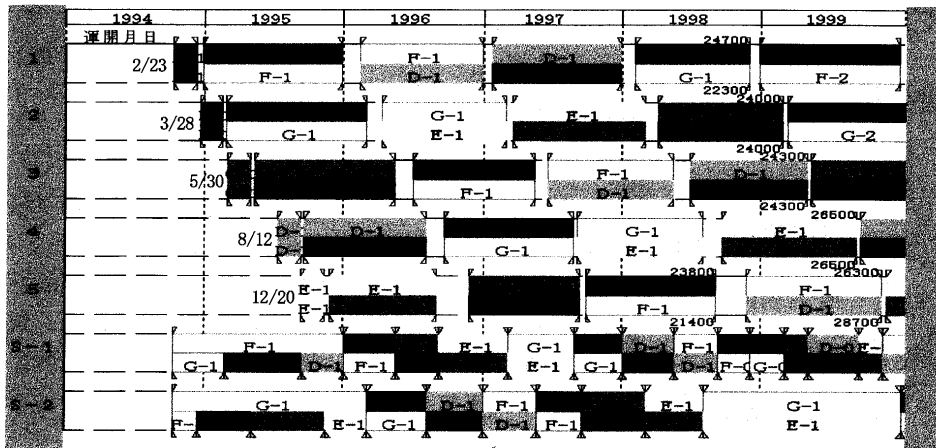


図5 想定したガスタービン高温部品のローテーション履歴図 (上/燃焼器内筒, 下/尾筒)

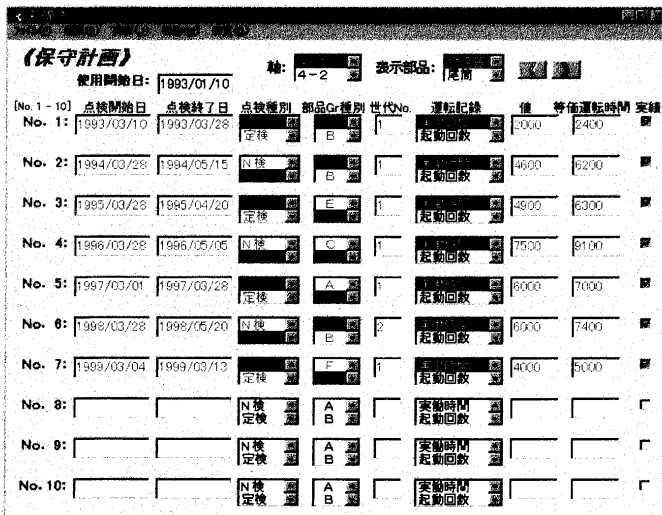


図6 部品履歴データベース入力画面

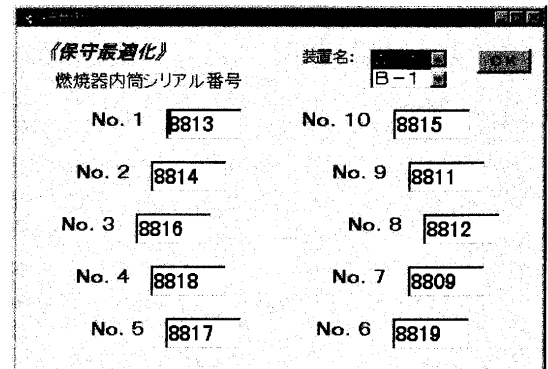


図7 部品番号入力画面例 (燃焼器内筒)

以下になれば廃棄し、新品を購入する。
を設定している。

保守計画作成を行う時点で、部品履歴データベースから使用中の各高温部品のセット番号と等価運転時間を検索し、次に高温部品保守計画作成機能および図化機能を用いて、現時点から後数年間の高温部品保守計画および高温部品ローテーション図を表示する。最後にコスト計算機能および図化機能を用いて、保守計画に対する保守コストを積算し、折れ線グラフに表示する。

これらの一連の保守計画作成機能を繰り返し用いることにより、個別の高温部品に対する寿命の変更、等価運転時間換算係数の変更、燃焼器点検時期の変更等、様々なケーススタディが可能である。また、トラブル等による危急な点検を挿入することも可能である。

4. ガスタービンプログラムによる計画策定

次に、ガスタービンの主要高温部品の保守計画作成例について示す。

まず、基本ケースとして標準的運用規則を用いて作成した保守計画の結果を示す。部品ローテーション計画図を図9、保守コストを図10に示す。基本ケースでは5年間の保守コストは60.2ユニットとなった。

次に、基本ケースから、保守計画の変更を行った場合についての計算例を示す。

まず、高温部品のメーカー推奨寿命が基本ケースから25%延伸した場合の効果についての計算例を示す。部品ローテーション計画図を図11に、5年間の保守コスト積算を図10に示す。部品の寿命が延伸したことにより、2004年度の保守コストが減少し、5年間の保守コスト合計は44.1ユニットに約27%低減する。

次に、保守コストの平滑化を目的として定検時期を変更した場合についての計算例を示す。基本ケースの場合、第2軸～5軸の定期検査が2002年度と2004年度に集中し、特に2004年度は燃焼器内筒、尾筒の交換が重なったため、保守コストが大きくなっている。これを均一化するために、第2軸ガスタービンの定検を前年に前倒した場合を想定した。その場合の部品ローテーション計画図を図12に、5年間の保守コストを図13に示す。ただし、保守コストは山がなくなり平滑化した。定検を前倒しにしたことにより、2005年度に第2軸ガスタービンの次回定検が入り、5年間の保守コスト合計は62.5ユニットに増加した。

次に、2001年度に第1軸ガスタービンの燃焼器にトラブルが発生し、燃焼器内筒、尾筒の交換を想定した保守

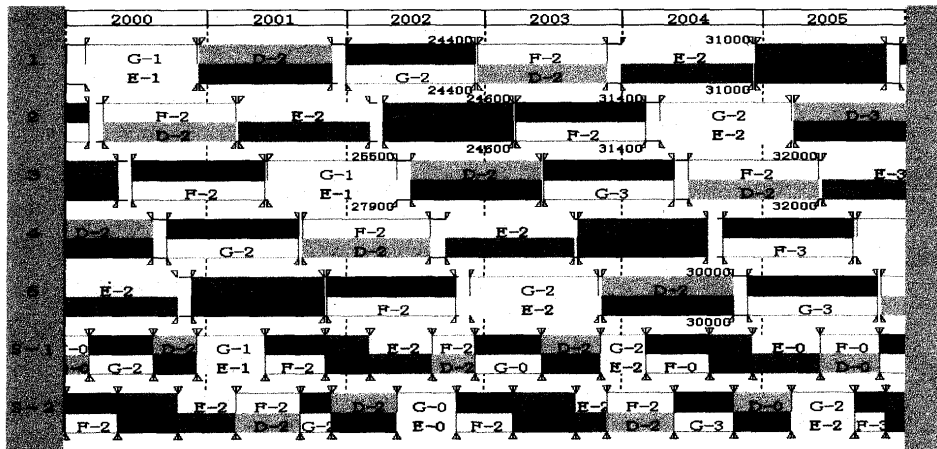


図9 ガスタービン高温部品ローテーション計画図 (基本ケース)

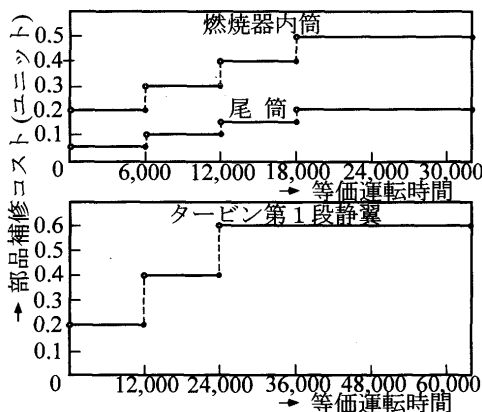


図8 高温部品の補修コスト

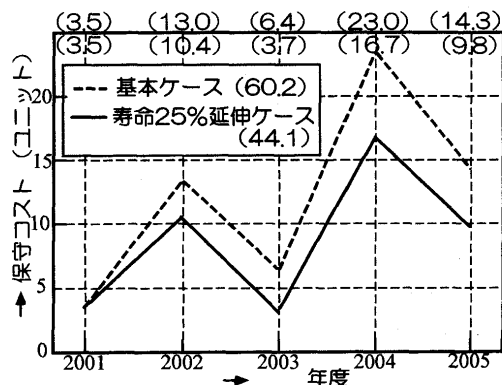


図10 保守コスト積算図 (基本ケースと寿命25%延伸ケース)

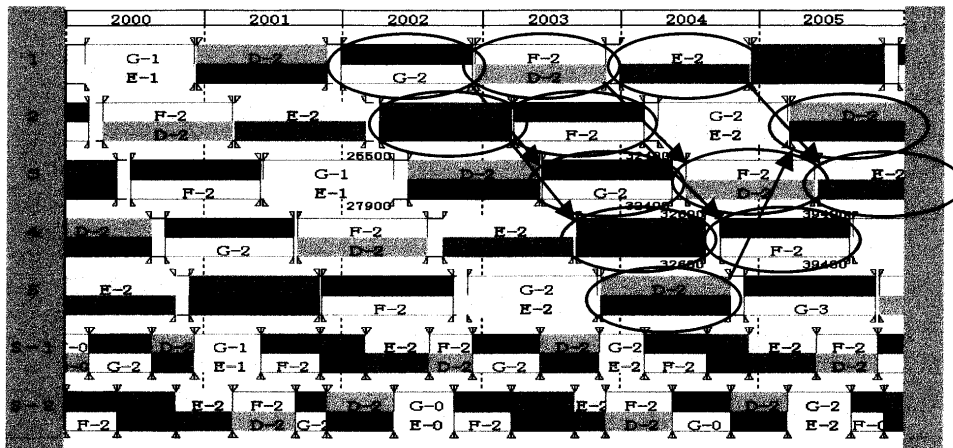


図11 ガスタービン高温部品ローテーション計画図 (寿命25%延伸ケース)

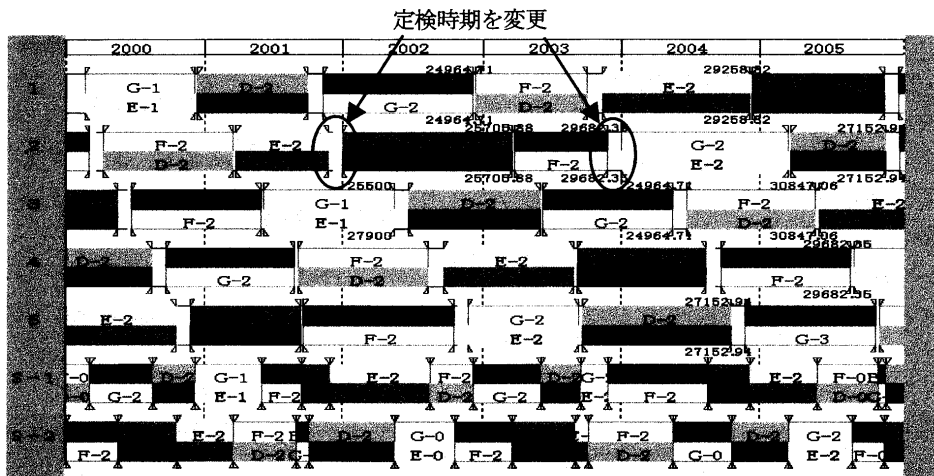


図12 ガスタービン高温部品ローテーション計画図 (保守コスト平滑化ケース)

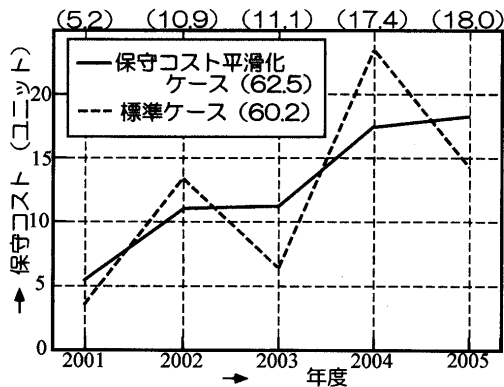


図13 保守コスト積算図 (保守コスト平滑化ケース)

計画の見直し例を示す。修理停止期間は図6の入力画面から挿入する。この場合の部品ローテーション計画図を図14に示す。部品ローテーションは修理停止以降、基本ケースと大きく変化する。保守コスト合計は、修理コストが加わり、64.8ユニットとなる。

最後に、ガスタービン高温部品の保守コスト低減のために、燃焼器点検時期の適正化を行った例を示す。ここでは、燃焼器点検時期を、燃焼器内筒、尾筒の余寿命に合わせて変更することにより、燃焼器内筒、尾筒をメーカー推奨寿命まで使い切り、部品の有効利用を図ったも

のである。すなわち、基本ケースにおいて、第2世代の燃焼器内筒A~Gは廃棄時にそれぞれ600, 7600, 7400, 2000, 1000, 0時間(Gは使用中)寿命が残るが、年間予定運転時間の8000時間に満たないため、標準運用則では廃棄される。そこで、燃焼器点検時期を変更することにより、A~Gをそれぞれメーカー推奨寿命の32000時間まで使い切るように保守計画の変更を行った。その場合の部品ローテーション計画図を図15に、5年間の保守コストを図16に示す。保守コスト合計は、新品購入を遅らせたことにより、57.4ユニットと約5%削減した。

以上の保守計画は、基本的な部品運用規則に応じて計算したものであり、直接実発電所の保守計画にはならないが、各発電所固有の運用規則の追加改良、運用に対する制約条件(発電電力量、使用燃料量)を加えることにより、実際の保守計画に近づけることができると考えられる。

5. あとがき

著者らは、ガスタービン保守コストの低減化を目的に、ガスタービン高温部品保守管理プログラムを開発した。本プログラムを用いて、高温部品の保守計画の最適

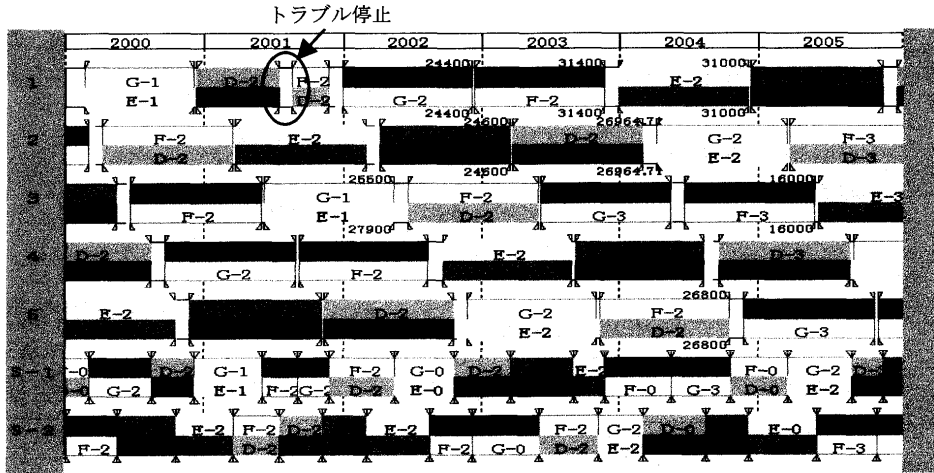


図 14 ガスタービン高温部品ローテーション計画図 (トラブル修理ケース)

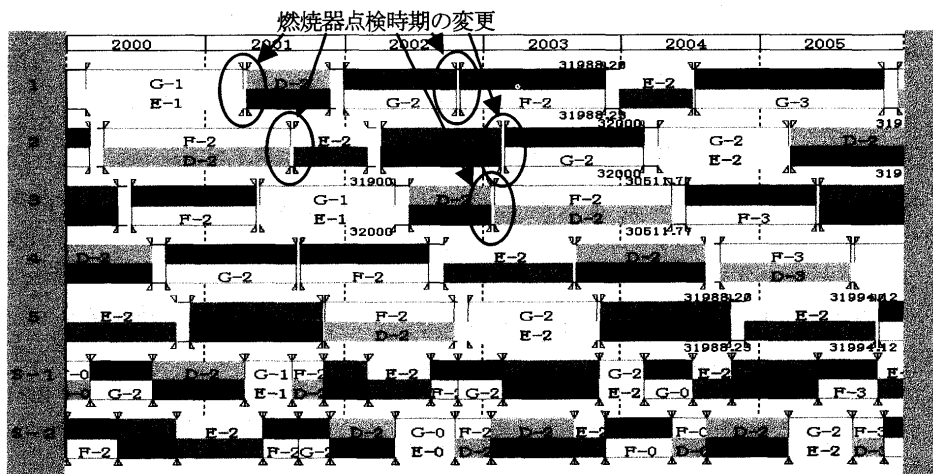


図 15 ガスタービン高温部品ローテーション計画図 (燃焼器点検最適化ケース)

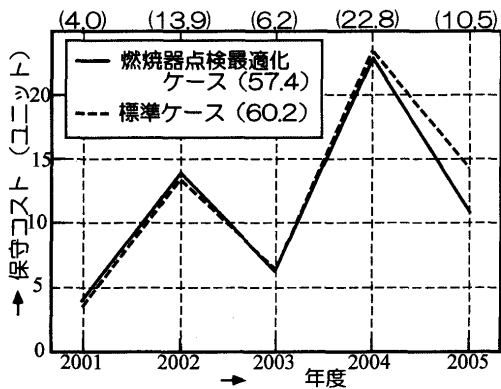


図 16 保守コスト積算図 (燃焼器点検最適化ケース)

化を行うことにより、必要なガスタービンの保守コストを低減化でき、発電所の保守担当者の保守計画作成を支援するツールとして有効と考える。

なお、ここで紹介した高温部品の保守管理手法は、わが国の既設ガスタービン複合発電所において、一般的に行われている等価運転時間管理によるものである。著者

らは、高温部品の劣化損傷状態から部品の余寿命を評価する手法についても検討しており、今後それらが完成すれば、実運転時間や起動回数等から部品の寿命を推定する現状の等価時間管理と置き換えることにより、精度の高い部品の寿命管理が可能となるものと考えられる。

参考文献

- (1) Development and Evaluation of Life Assessment and reconditioning Methods for Gas Turbine Blending, EPRI GS-4302 (1991-6)
- (2) 曾根田, 高尾, 原子力プラント共用期間延伸のための総合評価支援システムの開発, 電中研報告 T 92061 (1993-5)
- (3) 森塚, 藤井, 高橋, ガスタービン保守最適化支援プログラムの開発—第一報主要高温部品の保守管理プログラム—, 電中研報告 W 98020 (1999-4)
- (4) Y.Hayasaka, N.Isobe, S.Sakurai and K.Kumata, LIFE MANEGEMENT SYSTEM FOR HOT-GAS-PATH COMPONENTS OF GAS TURBINES, ASME paper 99-GT-4

着火限界空燃比と高空着火性能パラメータに関する研究

Study on the Correlation of the Altitude Ignition Parameter and Lightoff Air Fuel Ratio for Jet Engine Combustors

佐藤 幸徳*¹
SATO Yukinori

藤 秀実*²
TOH Hidemi

田頭 健*²
TAGASHIRA Takeshi

渡辺 猛*²
WATANABE Takeshi

新岡 嵩*³
NIIOKA Takashi

キーワード：着火，燃焼，燃焼器，ジェットエンジン，ガスタービン
Ignition, Combustion, Combustor, Jet Engine, Gas Turbine

Abstract

The ignition performance of a jet engine is affected by the configuration of the combustor; pressure, temperature and velocity of air at the combustor inlet; fuel type, temperature, injected fuel flow distribution and droplet size; and by the ignition energy and air-fuel ratio. Lefebvre theoretically obtained a parameter that has quantitative relationship with the factors for combustor inlet pressure, temperature and velocity of air, ignition energy, and pressure loss. Although the parameter is very simple, easily applicable, and useful in designing a combustor or determining the effect of combustion conditions on the ignition performance, sufficient data are not yet available. Here three full scale combustors are used to perform ignition tests by extensively varying combustor inlet pressure (P_3), temperature (T_3) and velocity (V_{ref}) as in an actual high altitude operation. The ignition parameter " $I = P_3^{0.5} T_3^{1.5} / V_{ref}$ " that is corrected in Lefebvre's theory revealed the good correlations with the lightoff air-fuel ratio to express the lean ignition limits.

1. まえがき

着火性能は燃焼器形状の他に燃焼器入口圧力，温度および風速の作動条件，燃料の種類，温度，噴射燃料流量分布および粒径の燃料条件，着火エネルギー，空燃比（空気流量/燃料流量），などにより影響を受ける。着火理論に関しては古くは静止している均一予混合気に対し Lewis と von Elbe⁽¹⁾，Fenn⁽²⁾，Yang⁽³⁾，流れている均一予混合気に対し Swett ら⁽⁴⁾のがある。しかしこれらを実際の燃焼器に適用するには未知かまたは決定しにくい定数を適切に選ぶ必要がある。最近では Ballal ら⁽⁵⁾が流れ場における噴霧燃料に対する着火理論を提案しているが，着火条件に必要な局所的な状態を知ることが必要である。

Lefebvre⁽⁶⁾が，着火は可燃性混合気の乱流燃焼速度と乱れ強さの比に依存することを基本に着火パラメータを導入しているが，このパラメータは非常に簡単化された使い易い形となっており，燃焼器入口圧力，温度，風速，

着火エネルギー，燃焼器圧力損失係数およびそれらの指数条件との間に定量的関係のあるパラメータとして理論的に導いたものである。このパラメータは燃焼器設計や着火性能への作動条件の効き方を知る上で有用であるが，試験データはまだ見当たらない。

本研究では，この Lefebvre の簡単化された着火パラメータは，実用的に有用であると考え，この考え方をともに着火限界空燃比と着火パラメータの関係を導くとともに着火パラメータの燃焼器入口温度の指数を文献⁽⁶⁾のものから修正した。さらに3種類の実機用燃焼器を用い，高空性能試験装置を使用して，実際の高空作動全域を考慮して燃焼器入口圧力 ($P_3 = 29 \sim 196$ kPa)，入口温度 ($T_3 = 243 \sim 373$ K) および風速 ($V_{ref} = 5 \sim 25$ m/s) を巾広く変えて着火実験を行なった。

着火パラメータ $I = P_3^{0.5} T_3^{1.5} / V_{ref}$ と着火限界空燃比 λ_c の間には良い相関が得られた。

原稿受付 2000年5月23日

- * 1 石川島ジェットサービス㈱
〒177-0051 東京都練馬区関町北 1-6-14
- * 2 石川島播磨重工業㈱
- * 3 東北大学 流体科学研究所

記号

- C_p : 定圧比熱
- E_i : 点火栓の着火エネルギー
- H : 燃料の低位発熱量

- I : 着火パラメータ
 K : 一定数
 P_3 : 燃焼器入口圧力
 S_{LO} : 常温常圧での層流燃焼速度
 S_T : 乱流燃焼速度
 T_3 : 燃焼器入口温度
 V_{ref} : 燃焼器の代表断面風速
 Wfc : 着火限界燃料流量
 a : 乱流燃焼速度のレイノルズ数依存指数
 n : 反応次数
 q_{ref} : 燃焼器入口圧力, 温度, 代表断面風速に基づく動圧
 v : 乱れの強さ (変動速度成分の r.m.s. 値)
 x : 層流燃焼速度の温度指数
 ΔP_{fl} : 燃焼器ライナの圧力損失
 $\Delta P_{fl}/q_{ref}$: 燃焼器ライナの圧力損失係数
 ΔT : ある空燃比に対する燃焼による温度上昇
 λc : 着火限界空燃比 (燃焼器入口空気流量を着火限界燃料流量 Wfc で除した値)

さらに式(3)を書きかえると,

$$\lambda c = f \left[\frac{P_3^{(n-2)/2(1-a)} T_3^{x/(1-a)} \cdot \left\{ (E_i \cdot T_3 / P_3)^{1/3} \right\}^{a/(1-a)} (P_3 / T_3^{1.7})^{a/(1-a)}}{V_{ref} \cdot (\Delta P_{fl} / q_{ref})^{0.5}} \right] \quad (4)$$

JP-4, ケロシンに対し, $a=0.43$, $n=2$, $x=1.4^{(6)}$ を式(4)に代入し, 指数を近似すると, 式(5)が得られる。

$$\lambda c = f \left[\frac{E_i^{0.25} P_3^{0.5} T_3^{1.5}}{V_{ref} \cdot (\Delta P_{fl} / q_{ref})^{0.5}} \right] \quad (5)$$

なお, 文献(6)では温度の指数が2.5であるが, ここでは1.5に修正されている。後述する本実験の場合のように, 同一着火エネルギー, 同一圧力損失係数の燃焼器ライナを比較する場合は, 着火エネルギー, 圧力損失の影響を除くと, 式(5)は次のようになる。

$$\lambda c = f [P_3^{0.5} T_3^{1.5} / V_{ref}] \quad (6)$$

ここで着火特性を表すパラメータとして

$$I = P_3^{0.5} T_3^{1.5} / V_{ref} \quad (7)$$

で表す。

3. 実験

3.1 実験装置および方法

実験装置は高空での燃焼器入口条件を模擬できる低温・低圧用と, 地上条件を模擬できる常温・常圧用の2種類を使用した。実験装置系統を図1に示す。

着火実験条件を表1に示す。着火実験の手順はまず空気条件がある設定条件に安定した後, 燃料を徐々に噴霧させ, 同時に点火栓のスイッチを入れ, 30秒間で燃焼器出口に取り付けられた熱電対の温度指示が上がるか否かで判断した。図3に着火時の燃焼器出口温度の立ち上がり方を例として示す。この温度の立ち上がり時の燃料流量を着火燃料流量とした。また, 点火栓を切った後吹き消えたものは着火不良とした。燃料流量, 燃料圧力, 燃焼器出口温度などのトランジエントデータを記録し着火時の条件を求めた。実験を続けて実施する場合には, 燃焼器出口温度が入口温度より10K以内になるまで冷却してから実施した。燃料はJP-4を使用し, 燃料温度は283~293Kとほぼ一定に保った。点火栓は常圧での実測着火エネルギーが2.1Jと0.7Jの2本を付けた。燃焼器出口にはK型露出型熱電対を燃料噴射弁後流に12本配置した。なお, 本実験では燃料が希薄側の実験のみであり, 必要がないため燃料過濃側の着火実験は実施していない。

3.2 供試燃焼器

燃焼器は燃料噴射弁12個を有する直流型のアニユラ型燃焼器で保炎は主として軸流スワローにより行う。燃

2. 着火パラメータの検討

Lefebvre⁽⁶⁾は流動する可燃性混合気に対する点火栓による着火モデルとして, スパーク核を形成する任意体積を球形と考え, 未燃ガスの温度が燃焼ガス温度に達した時に, 球形表面の熱発生率と熱損失率が等しくなった場合を着火条件として式を導き, その結果, 着火時の条件は, 可燃性混合気におけるスパーク核のクリティカル直径に関する乱流燃焼速度と乱れの強さの比 S_T/v = 一定の時であるとして, 燃焼器入口圧力, 温度, 風速, 着火エネルギー, 燃焼器圧力損失係数との間に定量的関係を理論的に導いている (付録参照)。その結果を式(1)に示す。

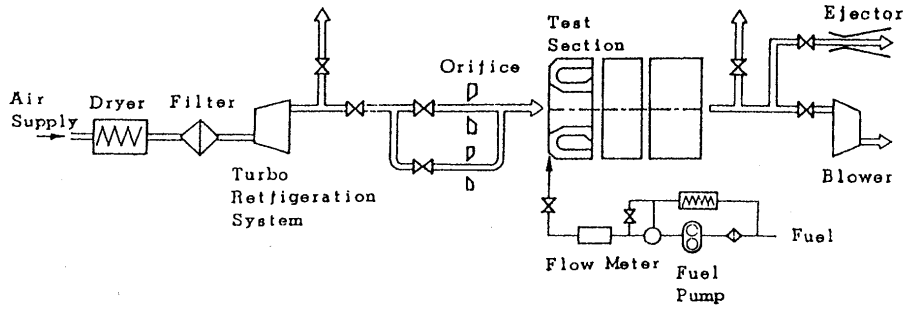
$$\frac{S_{LO} \cdot \left\{ (1/C_p \Delta T)^{1/3} \right\}^a \cdot P_3^{(n-2)/2} T_3^x \cdot \left\{ (E_i \cdot T_3 / P_3)^{1/3} \right\}^a (P_3 / T_3^{1.7})^a}{V_{ref}^{1-a} \cdot (\Delta P_{fl} / q_{ref})^{0.5(1-a)}} = \text{一定} = K \quad (1)$$

次に式(1)から, 著者がさらに発展させて, 着火限界空燃比と燃焼器入口圧力, 温度, 風速, 着火エネルギー, 燃焼器圧力損失係数の関係を得るため式(1)を次のように書きかえる。

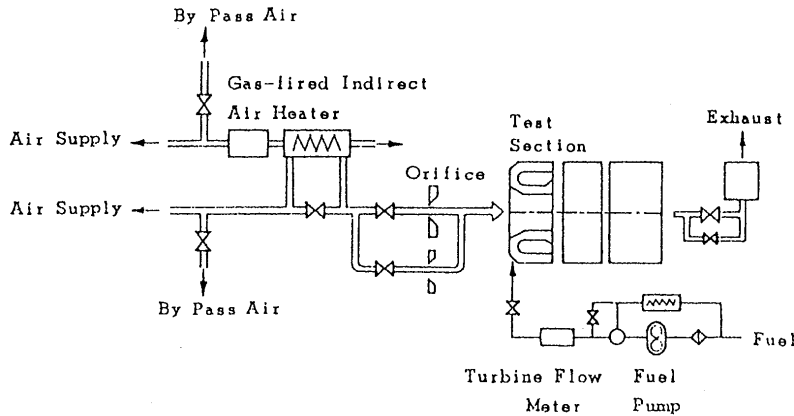
$$\frac{S_{LO} \cdot \left\{ (1/C_p \Delta T)^{1/3} \right\}^a}{\frac{K}{P_3^{(n-2)/2} T_3^x \cdot \left\{ (E_i \cdot T_3 / P_3)^{1/3} \right\}^a (P_3 / T_3^{1.7})^a}} = \frac{K}{V_{ref}^{1-a} \cdot (\Delta P_{fl} / q_{ref})^{0.5(1-a)}} \quad (2)$$

S_{LO} は空燃比の関数であり, また $C_p \Delta T = H/\lambda c$ であるから, 式(2)の左辺は空燃比の関数である。従って, 式(2)は次のように表される。

$$\lambda c = f \left[\frac{P_3^{(n-2)/2} T_3^x \cdot \left\{ (E_i \cdot T_3 / P_3)^{1/3} \right\}^a (P_3 / T_3^{1.7})^a}{V_{ref}^{1-a} \cdot (\Delta P_{fl} / q_{ref})^{0.5(1-a)}} \right] \quad (3)$$



(a) Subatmospheric Pressure Test Rig



(b) Atmospheric Pressure Test Rig

図1 実験装置系統

表1 実験条件

入口圧力	29~196 kPa
入口温度	243~373 K
断面風速	5~25m/s

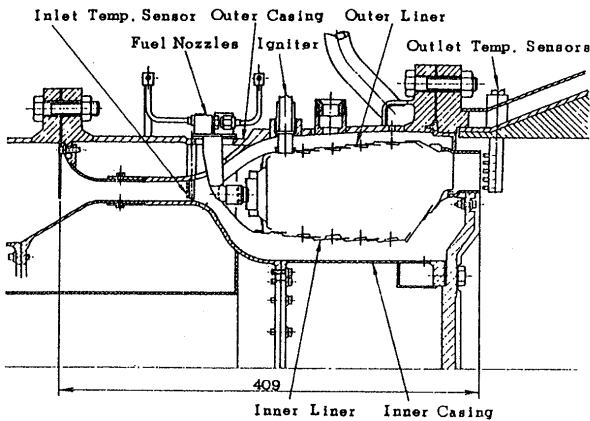


図2 実験装置

燃料噴射弁はデュプレックス型圧力噴霧式で、着火時の噴霧の広がり助け、また噴射弁先端を冷却するため旋回式のシュラウド空気を流す構造とした。点火栓は円周方向135度と225度位置に取り付けられている。点火栓の突き出し量は予め調整した。図2に実験装置に取り付けた供試燃焼器の断面を示す。本実験では形態の異なる3種類の燃焼器を用いて実験し、形態差による着火性能の差が、着火パラメータと空燃比で相関付けられるかも調べた。表2に3種類の燃焼器の主な点を比較して示す。

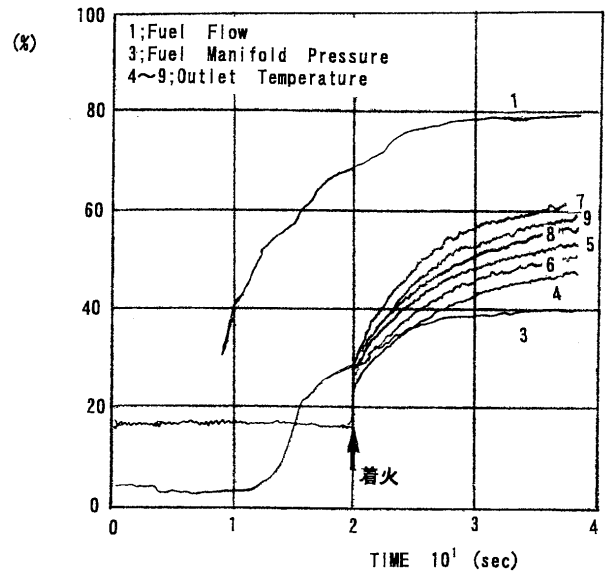


図3 着火時の燃料流量と燃焼器出口温度の変化

なお、3種類とも点火栓、燃料噴射弁は共通で、それぞれの取り付け位置と部品の関係も変わらない。また、燃料噴射弁は燃焼器を変える毎に流量、噴霧角、噴霧品質をチェックした。3種類の燃焼器ライナの圧力損失もほとんど同じになるように設計してある。

4. 実験結果および考察

図4に地上と高空条件での風速の着火性能への影響をA, B, C型燃焼器の3種類について示す。風速 V_{ref} が上昇するにつれ、着火限界燃料流量 W_{fc} が急激に増加

表2 燃焼器の比較

	A型	B型	C型
一次領域空気配分 (%)	28.7	30.7	28.7
スワール空気配分 (%)	8	10	8
スワールナンバ	1.25	0.87	0.93
スワール内径 (mm)	30φ	30φ	37φ
スワール外径 (mm)	40.8φ	40.8φ	43φ
スワール羽根植込角 (°)	55	45	45
ライナ冷却空気配分 (%)	30	30	29

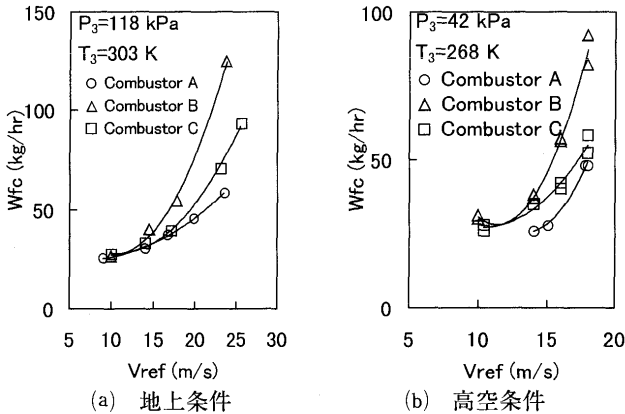


図4 風速の着火限界燃料流量への影響

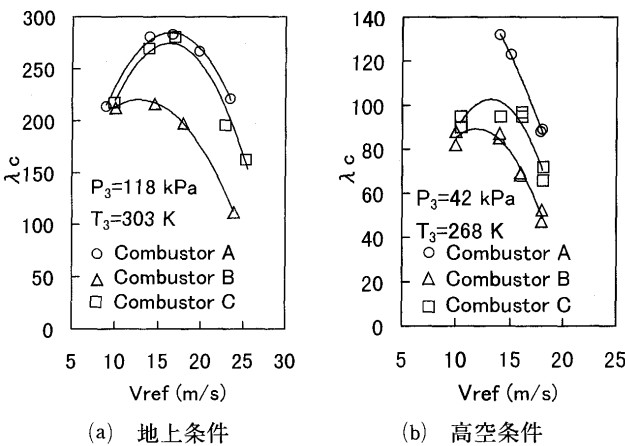


図5 風速の着火限界空燃比への影響

する。着火限界燃料流量が急激に立ち上がる風速は3種類の燃焼器とも高空条件の方が地上条件に比較して小さい。風速が遅くなると、それぞれの燃焼器に対する着火限界燃料流量がほぼ一定値に近づいている。これは燃料流量が少なく、従って燃料噴霧圧が低く、後述のように燃料噴霧が十分広がっていない状態であり、燃料噴霧圧力が支配的な領域であると考えられる。図5には風速 V_{ref} に対し着火限界空燃比 λ_c で整理した結果を示す。風速に対し、地上、高空条件とも上に凸な着火限界空燃比の曲線になっている。風速の速い方に着目すると、風速が増加するにつれ着火限界空燃比が急激に減少して着火しにくくなっており、風速の影響が大きいこと、また地上条件に比較して高空条件での低温・低圧ではかなり着火しにくいこと（この場合は高空条件では地上条件の約半分以下の着火限界空燃比）がわかる。図4および図

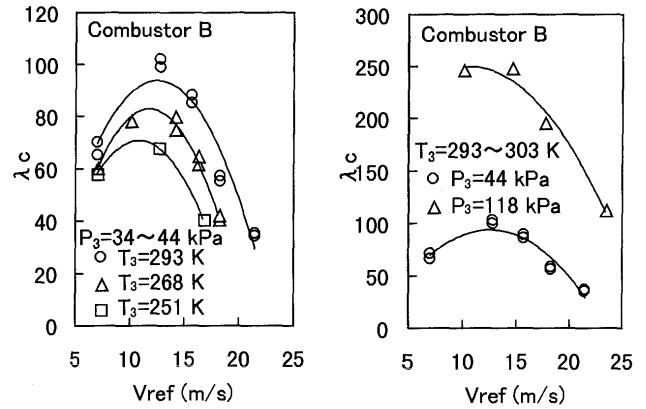


図6 燃焼器入口温度の着火限界空燃比への影響 図7 燃焼器入口圧力の着火限界空燃比への影響

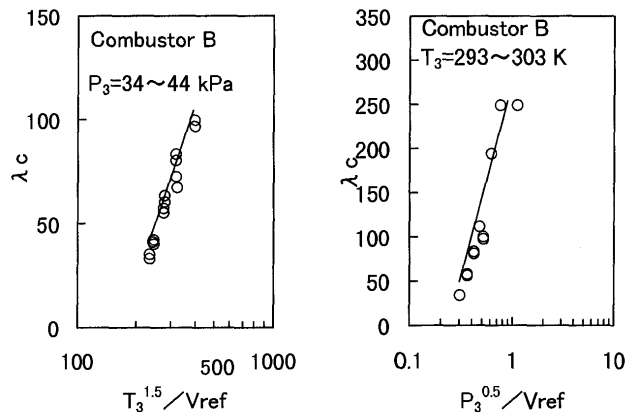


図8 $T_3^{1.5}/V_{ref}$ と着火限界空燃比の関係 図9 $P_3^{0.5}/V_{ref}$ と着火限界空燃比の関係

5から、地上、高空両条件下での3種類の燃焼器に対する着火性能の比較をしてみると地上条件ではA型が最も優れ、次にC型、B型となる。高空条件でも同順序であり、着火性能の定性的な優劣の順序は変わらない。

高空条件下での着火実験を省略あるいは実験点を最小にすることは実験費用、設備の手当ての点から非常に利点があるが、地上条件で風速の速い領域まで実験を行うことにより形態の異なる燃焼器の高空での着火性の優劣の比較が可能であれば都合が良い。図4および図5はこのことが可能であることを示唆していると考えられる。これは後述する図13の結果からも裏付けられる。

図6にはB型燃焼器を代表例として、燃焼器入口圧力 P_3 をほぼ一定にした場合の風速 V_{ref} に対し、燃焼器入口温度 T_3 をパラメータにして着火限界空燃比 λ_c に及ぼす影響を示す。入口温度が低下するにつれ着火限界空燃比は減少する。同様に、図7に燃焼器入口温度 T_3 をほぼ一定にして燃焼器入口圧力 P_3 をパラメータにして着火限界空燃比 λ_c に及ぼす影響を示す。同様に燃焼器入口圧力が低くなるに従い λ_c は減少する。

点火栓の着火エネルギーは圧力の増加に伴い増加する⁽⁷⁾が、今回の実験範囲程度の圧力では変化量は小さく ($E_f^{0.25}$ の値に換算し約4%)、従って着火エネルギーはほぼ一定

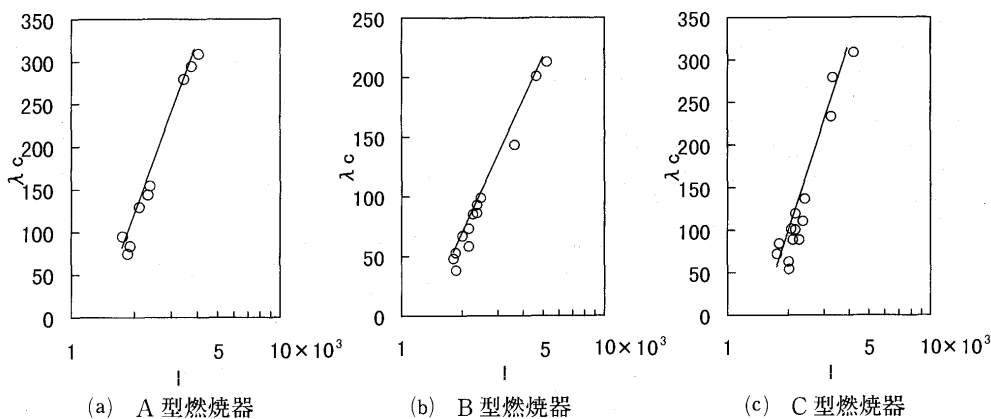


図10 着火パラメータと着火限界空燃比の関係

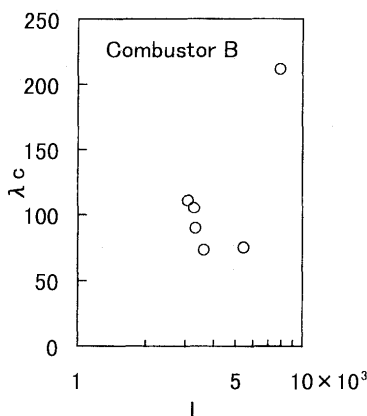


図11 着火パラメータと着火限界空燃比の関係

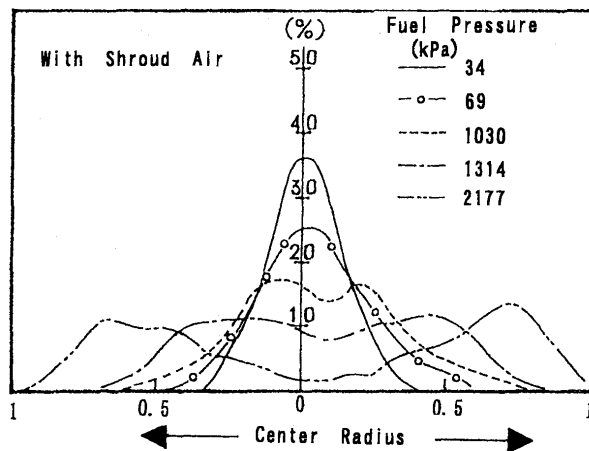


図12 燃料噴霧圧力と燃料流量分布

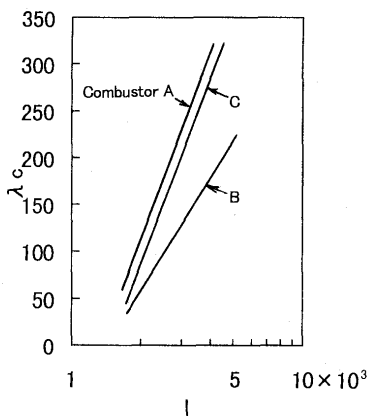


図13 着火パラメータと着火限界空燃比の関係

と考え、また、同じ圧力損失係数の燃焼器ライナを使用しているため、式(6)および式(7)を適用できると考える。

図8に、図6をもとにB型燃焼器を代表例として、燃焼器入口圧力 P_3 をほぼ一定にした場合の、着火パラメータの構成の中の $T_3^{1.5}/V_{ref}$ に対する着火限界空燃比 λ_c の関係を示す。同様に、図9には燃焼器入口温度 T_3 をほぼ一定にした場合の、 $P_3^{0.5}/V_{ref}$ に対する着火限界空燃比 λ_c の関係を示す。なお、この図においてはいずれも燃料噴霧圧力が69 kPa以下の場合には除外してある。いずれの図においても $T_3^{1.5}/V_{ref}$ と λ_c 、および $P_3^{0.5}/V_{ref}$ と λ_c の間には良い相関が得られている。

図10に3種類のA, B, C型燃焼器に対して、燃料噴霧圧力が69 kPa超に対して、着火パラメータ I と着火空燃比 λ_c の関係を整理したものを示す。この図で白抜き点は着火限界空燃比の実験点であり、良い相関が得られている。なお、線の右側が着火領域、左側が着火できない領域である。

図11は燃料噴霧圧力が69 kPa以下の場合の代表例としてのB型燃焼器の場合の着火限界空燃比の実験点であり、着火パラメータと着火限界空燃比の相関は無い。この理由として燃料噴霧圧が69 kPa以下の燃料圧力の低い条件では噴霧角が極端に狭くなり、図12(横軸には燃料噴霧圧力2177 kPaの最も燃料が広がった半径を1として無次元化してある)に示すように燃料が噴射弁中心軸上に多く分布し、半径方向に十分広がっていないため、点火栓まわりの局所的な空燃比が大きくなり、着火性能が極端に悪くなるものと推察される。

図13には図10をもとにしてA, B, C型燃焼器の結果をまとめて示す。A型, C型は傾きがほぼ同じ、B型はそれらとは異なっているが、実験範囲においてそれぞれの燃焼器の着火性能の比較ができ、これは図4の結果とも対応する。

5. まとめ

3種類の实用燃焼器を用いて燃焼器入口作動条件を巾広く変化させて着火実験を行い次のことがわかった。

- (1) 希薄側着火限界は着火パラメータ $I = P_3^{0.5} T_3^{1.5} / V_{ref}$ と着火限界空燃比 λ_c とで整理できる。
- (2) 地上条件での実験による着火限界風速近くで比較した着火性能は、高空条件の着火性能とも定性的に良く合う。

参考文献

- (1) Lewis and von Elbe, Combustion, Flames and Explosions of Gases (1961), p. 340, Academic Press Inc.
- (2) Fenn, J. B., Industrial Engineering Chemistry, 43, p. 2865 (1951)
- (3) Yang, C.H., Combustion and Flames, 6, p. 215 (1962)
- (4) Swett, C. C., 6th Symposium on Combustion, p. 523 (1957)
- (5) Ballal, D. R., et al., Combustion and Flame, 35, p. 155 (1979)
- (6) Lefebvre, A. H., Combustion and Heat Transfer in Gas Turbine Systems, Cranfield International Symposium series vol. 11, p. 112 (1969), Pergamon Press
- (7) Lefebvre, A. H., Gas Turbine Combustion (1983), p. 247, Hemisphere Publishing Corporation

[付録]

本文の文献(6)において本文の式(1)を導出する過程を以下に要約する。

本文に記述していない追加記号

- D : 熱拡散率
- P_0 : 未燃ガスの圧力
- Re : v , d_c に関するレイノルズ数
- S_L : 層流燃焼速度
- T_0 : 未燃ガス温度
- T_b : 燃焼ガス温度
- V_j : 燃焼器ライナへの空気の噴流速度
- d_c : 点火栓のスパーク核のクリティカル直径 (球形と仮定)
- l_e : 乱れの混合距離
- r : 半径方向座標
- μ : 粘性係数
- ρ : ガス密度

流動する可燃性混合気に対する点火栓による着火モデルとして、スパーク核を形成する任意体積を球形と考え、未燃ガスの温度が燃焼ガス温度に達した時に、球形表面の熱発生率と熱損失率が等しくなった場合を着火条件として式を導出している。

$$\begin{aligned} \text{スパーク核の熱発生率} \\ = \pi d_c^2 \rho \cdot S_T \cdot C_p (T_b - T_0) \quad (1A) \end{aligned}$$

一方、

$$\begin{aligned} \text{スパーク核の熱損失率} \\ = \pi d_c^2 \rho \cdot C_p \cdot D (dT/dr) \quad (2A) \end{aligned}$$

ここで $dT/dr = (T_b - T_0)/l_e$ と仮定し、上式は次のようになる。

$$= \pi d_c^2 \rho \cdot C_p \cdot D (T_b - T_0)/l_e \quad (3A)$$

グラフポデーにより安定化された火炎の実験から、 $D/(v \cdot l_e)$ の値が一定値であることが得られており、この関係を使用して、上式はさらに次のように展開される。

$$\propto \pi d_c^2 \rho \cdot C_p \cdot v (T_b - T_0) \quad (4A)$$

(1A) = (2A) が着火時の条件としており、従って式(1A)および(2A)から

$$\pi d_c^2 \rho \cdot S_T \cdot C_p (T_b - T_0) \propto \pi d_c^2 \rho \cdot C_p \cdot v (T_b - T_0) \quad (5A)$$

従って、結果として $S_T \propto v$, すなわち $S_T/v = \text{一定}$ となり、着火時の条件は、可燃性混合気におけるスパーク核のクリティカル直径に関する乱流燃焼速度と乱れの強さの比によって表されるとした。さらに、 $v \propto V_j$ と仮定して、

$$S_T/V_j = \text{一定} \quad (6A)$$

とした。実験的に $\mu \propto T_0^{0.7}$ であり、 $\rho \propto P_0/T_0$ ゆえ、 $Re \propto V_j d_c / \nu = V_j d_c \rho / \mu \propto V_j d_c P_0 / T_0^{1.7}$ 。一方、着火の起きる燃焼器の一次領域のように大きな渦の中に小規模乱れがある場合には、一般に $S_L \propto S_L Re^a$ で表されるとし、従って

$$St \propto S_L (V_j d_c P_0 / T_0^{1.7})^a \quad (7A)$$

また、燃焼速度に対する圧力、温度の依存性を考慮して

$$S_L = S_{L0} P_0^{(n-2)/2} T_0^x \quad (8A)$$

$$V_j = \left[\Delta P_{fl} \cdot (2/\rho) \right]^{0.5}, \quad q_{ref} = (\rho/2) \cdot V_{ref}^2 \text{ から}$$

$$V_j = V_{ref} (\Delta P_{fl} / q_{ref})^{0.5} \quad (9A)$$

であり、式(6A)～式(9A)から

$$\frac{S_{L0} \cdot P_0^{(n-2)/2} T_0^x \cdot (d_c P_0 / T_0^{1.7})^a}{V_{ref}^{1-a} \cdot (\Delta P_{fl} / q_{ref})^{0.5(1-a)}} = \text{一定} \quad (10A)$$

着火に必要なとされる最小の着火エネルギーは、スパーク核の未燃ガスの温度を燃焼ガス温度まで上昇させる熱量と考えれば、次のように表される。

$$E_i = \pi d_c^3 / 6 \cdot \rho \cdot C_p \cdot (T_b - T_0) \quad (11A)$$

式(11A) から $d \propto (E_i / \rho C_p \Delta T)^{1/3}$, 従って以下の式が導かれる。

$$\frac{S_{LO} \cdot P_0^{(n-2)/2} T_0^x \cdot \left\{ (E_i / \rho C_p \Delta T)^{1/3} \right\}^a (P_0 / T_0^{1.7})^a}{V_{ref}^{1-a} \cdot (\Delta P_{ft} / q_{ref})^{0.5(1-a)}} = \text{一定} \quad (12A)$$

ここで未燃ガスの状態量を燃焼器入口状態と仮定すれば、 $T_0 = T_3$, $P_0 = P_3$ であり、上式は

$$\frac{S_{LO} \cdot \left\{ (1 / C_p \Delta T)^{1/3} \right\}^a \cdot P_3^{(n-2)/2} T_3^x \cdot \left\{ (E_i \cdot T_3 / P_3)^{1/3} \right\}^a (P_3 / T_3^{1.7})^a}{V_{ref}^{1-a} \cdot (\Delta P_{ft} / q_{ref})^{0.5(1-a)}} = \text{一定} \quad (13A)$$

となる。

これが本文の式(1)である。

NTN(株)における高温高速軸受の研究

藤井 健次*¹

FUJII Kenji

1. はじめに

NTN(株)軸受技術研究所は、三重県桑名市のNTN桑名技術新館内にある。当研究所では、軸受の高精度化、高速化、長寿命化、軽量化や高温、低温、高真空などの特殊環境へも対応できるトライボロジと材料に関する基盤技術の研究を行っている。

本報告で取り上げる高温かつ高速に関連する先端技術分野における研究活動としては、基盤技術研究促進センターと民間会社14社で出資している(株)先進材料利用ガスジェネレータ研究所(AMG; Research Institute of Advanced Material Gas-Generator)のプロジェクトへの参画がある。ここではこのAMGプロジェクトにおけるNTNの役割と技術課題を中心に紹介する。

2. 革新ガスジェネレータ用転がり軸受

AMGは平成5年に設立され、平成14年までの9年間、先進材料を適用した革新ガスジェネレータの基礎研究を行う予定である。その研究目標は、燃料消費率20%改善、重量50%軽減、NO_x排出量70~80%削減である⁽¹⁾。

ガスジェネレータの概念図を図1に示す。転がり軸受としては、玉軸受と円筒ころ軸受が使われるが、当研究所は、タービン側に組み込まれる円筒ころ軸受の研究を担

当している。革新ガスジェネレータ構成要素としての円筒ころ軸受には、 dn 値 $300 \times 10^4 \sim 400 \times 10^4$ の高速性能と、外輪温度で $300 \sim 400^\circ\text{C}$ における耐熱性が要求される。これは、現状の実用最高レベルである dn 値 230×10^4 、外輪温度 200°C をはるかに超える過酷条件である。

3. 円筒ころ軸受の技術課題

研究プロセスとして、初めに材料の研究を行い、次いでそこで得られた新材料から軸受への応用設計検討の段階にステップアップを行った。

3.1 軸受構成要素の材料研究

超高温超高速条件で軸受を運転するためには、構成要素の材料に以下の特性が求められる。

レース材料には、高速回転による大きなフープ応力に耐える破壊強度があり、かつ寿命を確保するため高温での硬度低下の少ない材料が求められる。これまでに、現行材料M50NiLを改良した材料を開発し、必要物性を満足するレベルを達成した⁽²⁾。

ころについては、遠心力による寿命低下に対応できる材料選定が必要となる。比重が現行M50材の約40%と軽量であるセラミックス(Si_3N_4)ころが有効と考え、評価を実施中である⁽³⁾。

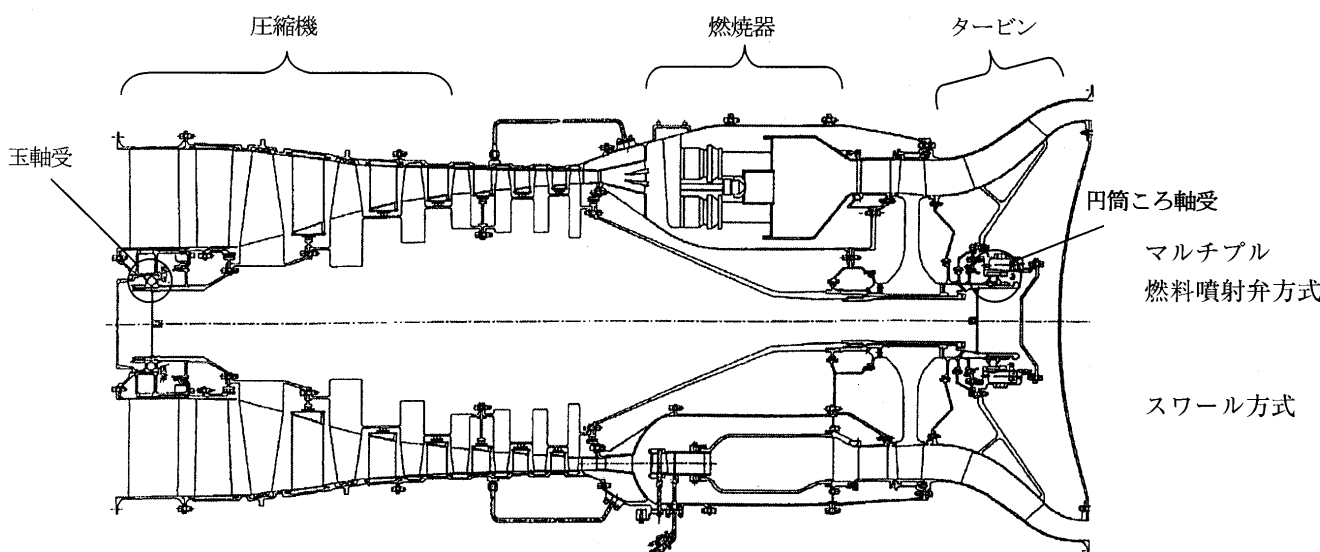


図1 ガスジェネレータ概念図

原稿受付 2000年4月20日

*1 NTN(株) 軸受技術研究所

〒511-8678 三重県桑名市大字東方字尾弓田 3066

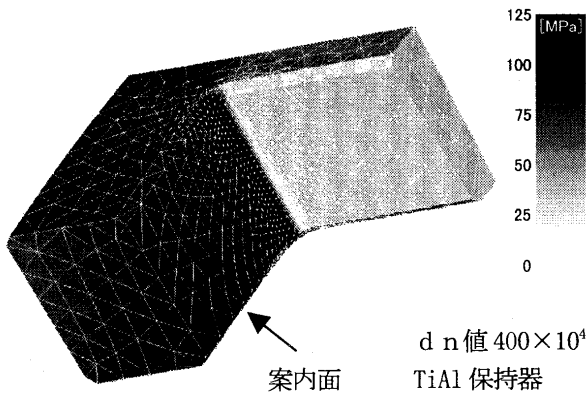


図2 FEMによる保持器応力解析結果



図4 高温高速円筒ころ軸受

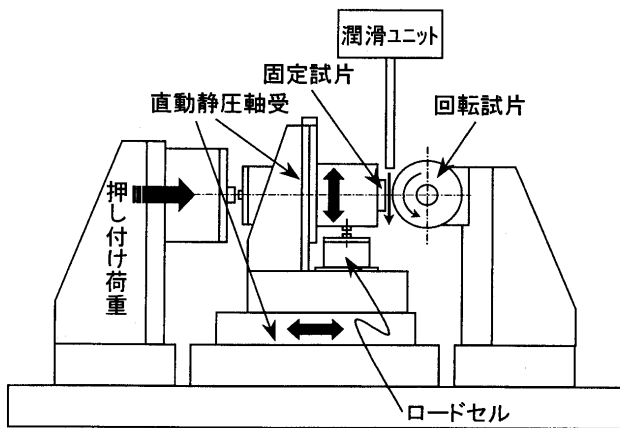


図3 高温高速摩擦摩耗試験機

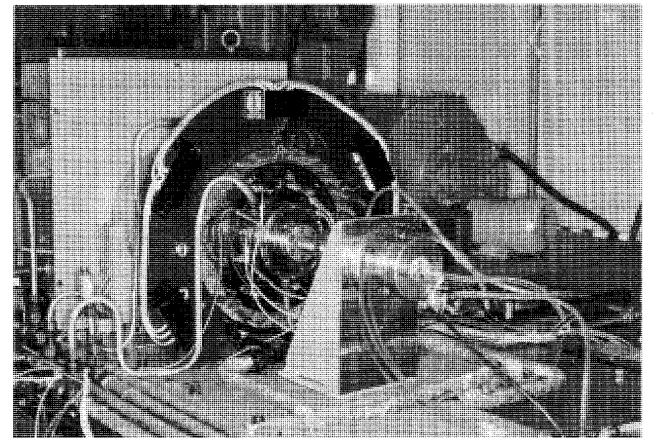


図5 高温高速円筒ころ軸受運転試験装置

軽量保持器材は、レースやころとの干渉の問題が少なく、高速運転に適していると考えている。したがって、比重の小さい材料で、高温高速条件での摩擦摩耗特性に優れた保持器材の開発に取り組んで来た。図2に示す高速運転時における応力集中のFEM解析や試験片による摩擦摩耗評価試験を行い材料の絞り込みを完了した⁽⁴⁾。これに使用した高温高速摩擦摩耗試験機を図3に示す。この試験機では実際の軸受運転条件をシミュレートした滑り速度 100 m/s、雰囲気温度 400℃での試験が可能である。

潤滑油としては、300℃以上で酸化、蒸発および引火の問題をクリアしなければならない。これまでに、耐熱性や潤滑性能に優れたエーテル系潤滑油を開発した⁽⁵⁾。

3.2 軸受設計技術の確立

以上のように材料開発段階は終了しており、現在は、軸受への応用設計技術を確立するための材料適合性評価の段階にある。新材料を使って試作した軸受(内径 140 mm, 外径 185 mm, 幅 36 mm)を図4, 運転試験に使用している高温高速円筒ころ軸受運転試験装置を図5に示す。この装置は、dn 値 400 万の高速運転と、外輪温度 400℃の条件で軸受を運転することが可能である。

これまでに、外輪温度 300℃で dn 値 350×10^4 の運転を行い、開発材料の破損や摩耗、潤滑不良などの問題

がないことを確認した⁽⁶⁾。今後は、dn 値 400×10^4 の最終目標の達成と世界記録の更新にチャレンジする予定である。

4. おわりに

NTN(株)における革新ガスジェネレータ用高温高速円筒ころ軸受研究の概要を紹介した。本テーマは平成 14 年に終了するが、当研究所において開発した軸受技術は、ガスジェネレータなどの高温高速機械の省エネルギーと環境保全に寄与するものであり、今後さらに技術の完成度を高め社会のニーズに応えていきたい。

参考文献

- (1) Hiromatsu, M. and Seki, S., Proc. of the Yokohama Int. Gas Turbine Congress, 1, (1995), p. 203
- (2) Ito, K., Nakashima, H., Fujii, K. and Yokoi, S., Abstract of Word Tribology Congress, (1997), p. 864
- (3) 藤井健次, NTN TECHNICAL REVIEW, 67, (1998), p. 53
- (4) 藤井幸生, 藤井健次, 前田喜久男, 山本伸一, 日本ガスタービン学会第 26 回定期講演会講演論文集, (1998), p. 121
- (5) 南政美, 山本伸一, 藤井健次, 森正継, 日本ガスタービン学会第 26 回定期講演会講演論文集, (1998), p. 115
- (6) Fujii, K., Mori, M. and Yamamoto, S., Proc. of the Int. Gas Turbine Congress Kobe, (1999), p. 1011

東京商船大学・交通機械工学講座 機械応用力学研究室における研究

地引 達弘*¹
JIBIKI Tatsuhiko

志摩 政幸*¹
SHIMA Masayuki

キーワード：トライボロジー，摩擦，摩耗，潤滑，フレッチング摩耗，叩き-滑り摩耗，排気弁/弁座，ボールベアリング
Tribology, Friction, Wear, Lubrication, Fretting wear, Impact-sliding wear, Exhaust valve and seat, Ball bearing

1. はじめに

東京商船大学は明治8年の設立であり、本年度で125年目を迎える。学部には3課程，大学院博士前期課程で3つ，および後期課程で2つの専攻を有する単科大学であり，大講座制（8講座）をとっている。交通機械工学講座は6つの研究分野からなっているが，機械応用力学研究室では主にトライボロジー（材料の摩擦，摩耗，潤滑）に関する研究を行っており，最近ではフレッチング（微小往復動）摩耗の研究，内燃機関の排気弁/弁座間の摩耗（叩き-滑り摩耗）の研究を行い，そのメカニズム解明と防止に向け精力的に取り組んでいる。

現在の当研究室の構成（2000年度）は，教授の志摩政幸，助手の地引達弘，技官の菅原隆志，大学院博士後期課程学生1名，前期課程学生3名，および学部4年生3名の計10名である。また，学部学生は，3年時の後学期から卒業研究を予定している研究室でゼミナールをとり，卒業研究に関連する知識を習得して卒業研究に入っていく教育システムとなっている。以下，当研究室における最近の研究活動について紹介する。

2. 研究テーマ

2.1 フレッチング摩耗の研究

2.1.1 表面改質皮膜，材料組合せの探索

フレッチングは機械要素の嵌め合い部分等が外部振動によって相対運動を生じ，損傷や摩耗に至る厄介な現象であり，例えばガスタービンや内燃機関などには少なからずフレッチング損傷が発生する。フレッチング摩耗は当研究室のメインテーマとなっており，摩耗低減に有効な表面改質・皮膜の探索なども行っている。試験装置の概略を図1に示す。最近の研究成果として，室温大気中において，また600℃までの高温空気中において，フレッチング摩耗が極めて少なくなる材料組合せをそれぞれ見出している⁽¹⁾⁽²⁾。また，TiN皮膜のフレッチングに

及ぼす母材の機械的性質や硬度の影響を調べている⁽³⁾。

2.1.2 ボールベアリングのフレッチング損傷防止に関する研究

静止したボールベアリングが外部振動を受けると，ボール/転走面間でフレッチング損傷が生じ，騒音やガタの原因となる。図2に示す装置は，ボールベアリングのフレッチング損傷を再現する装置であり，これを用いて損傷機構の解明に取り組んできた。その結果，フレッチングの発生は「差動すべり」（玉と溝との幾何学的形状の差から発生する相対すべりで，玉における各接触面が移動する距離が異なるために生じる）に起因すること，これによって生じる振動を解析し，その防止法として，

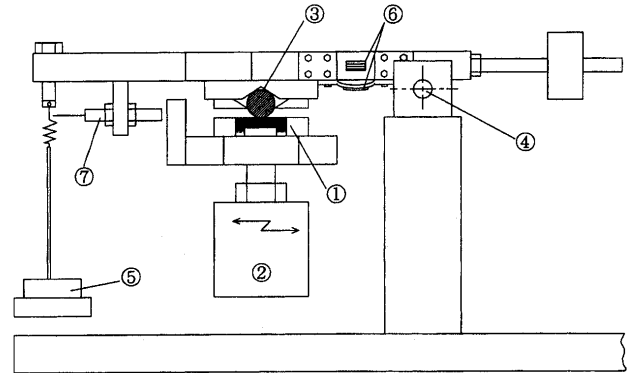


図1 フレッチング摩耗試験装置

(①駆動側試験片，②カンチレバー，③固定側試験片，④ピボット，⑤重錘，⑥摩擦力センサ，⑦非接触変位計)

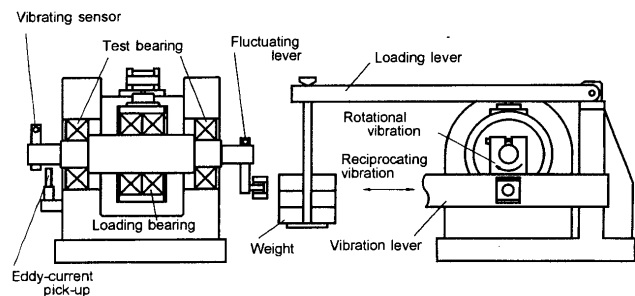


図2 ボールベアリングのフレッチング摩耗試験装置

原稿受付 2000年5月2日

* 1 東京商船大学 交通機械工学講座

〒135-8533 東京都江東区越中島2-1-6

転走面の形状をわずかに修正することにより差動すべりが減少し、非常に効果があることなどを明らかにしている⁽⁴⁾。

2.2 内燃機関の排気弁/弁座間の叩き-滑り摩耗に関する研究

2.2.1 叩き-滑り摩耗の研究

排気弁/弁座間では繰り返し衝撃荷重を受け、さらに微小な滑りを伴う「重畳摩耗」と言われており、2つの摩耗モードが同時に組み合わせると、摩耗が1桁以上増大することが分かっている。図3に示す試験装置は、一方向に回転しながら繰り返し垂直荷重を負荷することができるように開発されたもので、叩き-滑り摩耗の基礎的なデータを蓄積し、摩耗に及ぼす諸因子の影響を系統的に調査している。

本装置の他、叩き-滑り摩耗現象をより簡便に発生させ、より短時間で評価することを目的として、「点接触型叩き-滑り摩耗試験装置」を開発し、摩耗に及ぼす雰囲気温度やススの影響、および有効な表面改質材の探索などを行っている。また、自動車排気弁/弁座のモデル単体試験装置を用いて、より実機に近い条件下での評価試験も実施している。

2.2.2 有限要素法解析

実験と並行して、排気弁/弁座のFEMによる接触変形の解析を実施し、2面間の相対滑り量を種々の条件下で求めている。その結果、弁・弁座は燃焼ガスの爆発力によって変形するが、そのときの相対滑り量は弁が外周部で弁座に対し片当たりする「外当たり」時に最も大きくなり、摩擦係数0.2において20 μ mに達することなどが明らかとなっている⁽⁵⁾。

3. おわりに

以上、当研究室の研究活動について概要を紹介した。当大学の研究理念の一つは、「実学に即した実践的な研究」となっており、現場に根ざした研究アプローチを押し進めている。トライボロジーは、影響因子が多岐にわたる複雑な現象であり、個々の因子を如何にひもといていくかが重要である。

今後の展開としては、「産学官」や多くの研究分野にまたがった「横断的」研究体制がますます必要となっている。「産学連携」が叫ばれる昨今、「産」と「学」

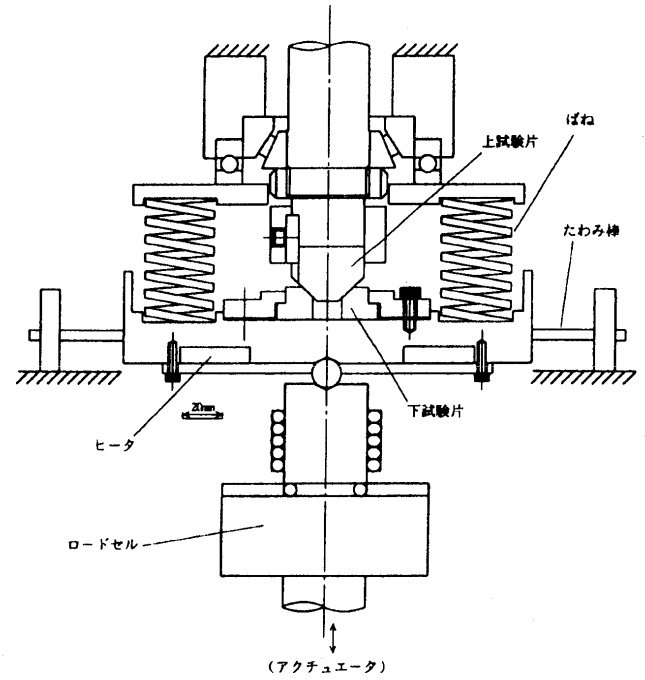


図3 一方向叩き-滑り摩耗試験装置

のメリットをお互いうまく引き出し、特に企業と大学のコミュニケーションを活発にしていける必要がある。最近、当研究室でも数企業と共同研究を行っている。終わりに、本稿が何らかの参考となれば幸いである。

なお、研究内容等の詳細は、当研究室のホームページをご覧ください。

<http://apmec.u.tosho-u.ac.jp/index.html>

参考文献

- (1) Okado J., Shima M., McColl I. R., Waterhouse R. B., Hasegawa T., Kasaya M., Wear Vol. 225-229 Part II (1999), p. 749
- (2) Namba K., Kamata K., Jibiki T., Takagi T., Miura K., Proc. of the International Gas Turbine Congress Kobe TS-101 (1999), p. 995
- (3) Shima M., Okado J., McColl I. R., Waterhouse R. B., Hasegawa T., Kasaya M., Wear Vol. 225-229 Part I (1999), p. 38
- (4) Shima M., Qijun L., Aihara S., Yamamoto T., Sato J., Waterhouse R. B., Tribology International Vol. 30-10 (1997), p. 773
- (5) 志摩政幸, 菅原隆志, 藤原真彦, 田中正紀, 佐藤準一, 日本船用機関学会誌, 34-1 (1999), p. 23

大阪ガス(株)におけるガスタービンコージェネレーション研究開発

若林 努^{*1}

WAKABAYASHI Tsutomu

1. はじめに

大阪ガス(株)には約400名の研究開発従事者が在籍しており、ガス製造分野、ガス輸送・供給分野、ガス利用分野、情報通信分野、環境保全分野等における研究開発を行っている。

特に、コージェネレーション機器の高効率化・低NO_x化、家庭用小型ガスエアコン・ガス空調の高効率化や個別空調システムの改良、省エネルギー機器の開発、天然ガス自動車・燃料電池に関する技術開発、また保安水準の向上やコストダウンに寄与する導管材料・工法の開発や情報ネットワークシステムの構築等の実用化研究を積極的に進めている。

さらに、快適で豊かな暮らしを創造し、かつ環境負荷を低減するためのエネルギー関連技術、インフラ形成や機器等の信頼性を向上させる材料技術、各部門の事業推進を支えるエネルギー情報解析・数値解析等の情報技術に関する基礎研究も実施している。

ガスタービンコージェネレーションの研究開発は、主に営業技術部と開発研究部が担当しており、信頼性向上技術および中長期的視野に立った新技術の開発を行っている。

営業技術部では、主として現行システムの信頼性向上を目的に、家庭用・業務用・産業用のガス利用機器やシステム等に関する技術開発・商品化、エンジニアリングおよびメンテナンスを実施している。

開発研究部では、営業技術部をサポートするための新しい計測技術の開発や現行商品の信頼性を向上できる新技術の開発を行っている。

今回は、開発研究部で行っているガスタービン燃焼器に関する最近の話題を2つ紹介する(本内容は科学技術庁航空宇宙技術研究所との共同研究である)。

2. 二流体ガスタービンの信頼性向上

当社では、排熱で得られる蒸気を燃焼器へ再投入することで、出力および発電効率を大幅に向上できる二流体ガスタービンを用いたコージェネレーションシステムを主力商品と位置づけている。このガスタービンの静翼・動翼や燃焼器等の高温部品の信頼性を向上させるために、開発研究部において蒸気投入時の燃焼器出口部温度分布

および水蒸気濃度分布の計測技術を開発し、現状品の解析・改良品の検討を行ってきた。さらに営業技術部にて改良品のフィールドテストを実施してきた。ここではこの中から、蒸気投入時の燃焼器出口部温度および水蒸気濃度分布の計測技術の概要について紹介する。

用いた原理は「レーザラマン法」と呼ばれる手法である。燃焼排ガス中に存在する窒素および水蒸気分子に入射光を当てることで散乱されるラマン光を検出することで、熱電対計測で問題となる輻射・熱伝導損失のない燃焼器出口温度や、これまで簡便に計測することができなかった燃焼器出口部の水蒸気濃度の計測を可能にしたものである。入射光および散乱光の光路を、ステージを使って2次元で走査することで、燃焼器出口部の任意の位置での計測ができるという利点も有する。

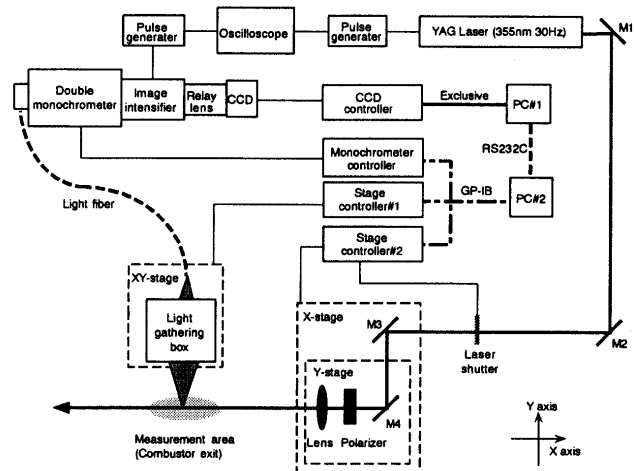


図1 レーザラマン計測システム

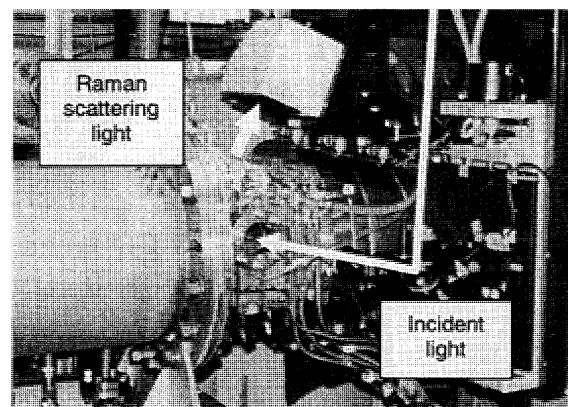


図2 計測装置概観写真

原稿受付 2000年5月22日

*1 大阪ガス(株) 開発研究部

〒554-0051 大阪府大阪市此花区西島6-19-9

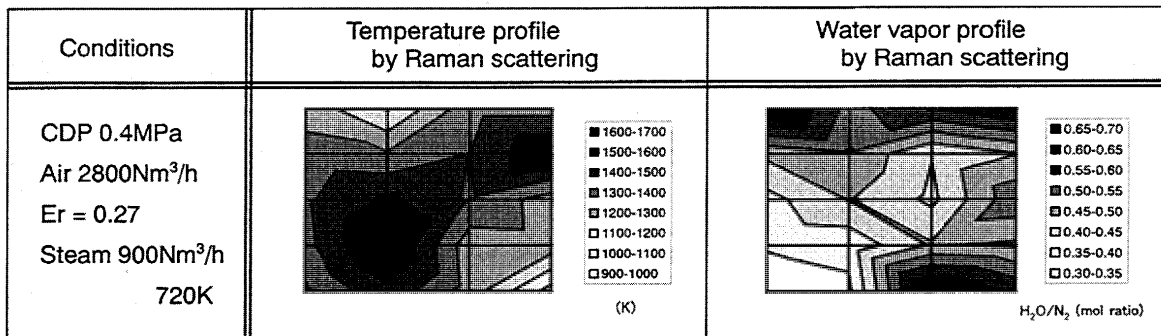


図3 燃焼器出口温度分布および水蒸気濃度分布の一例

図1に計測システム, 図2に計測装置概観写真を示す。本計測ではカンニュラ型の1つの燃焼器を納めることができるケーシングを使用した。このケーシングには光を通す2層の窓が取り付けられており, 内側の窓で燃焼ガスの流れを形成させ, 外側の窓で圧力を保持した。

蒸気を投入した条件での燃焼器出口部の温度分布ならびにその時同時に計測した水蒸気濃度分布の一例を図3に示す(下流側から見た状態)。本来の燃焼器出口部の形状は扇形状であるが, 表示ソフトの都合上, 長方形で示してある。この結果より, 水蒸気濃度が低い左下部で燃焼器出口温度は高くなっており, 逆に水蒸気濃度が高い左上および右下部で温度が低くなっていることがわかる。このように水蒸気濃度分布は燃焼器出口温度分布に大きな影響を及ぼしていることがわかった。

現在, この計測法で得られた情報をもとに, 蒸気投入時の温度分布平準化を目指し, 蒸気投入方法の最適化を行っている。

3. 広作動域低 NOx 燃焼器の開発

ガスタービン燃焼器からの NOx 排出の低減は, 環境保全の面から重要かつ緊急の課題である。この有効な方法の一つとして希薄予混合燃焼法があるが, この方法を単純に採用した燃焼器では, 広い作動範囲で使用する時に問題がある。低負荷時つまり燃料を絞る時に混合気が

希薄になり過ぎて燃焼効率が低下し, さらには失火する可能性がある。

そこで, 燃料供給が1系統にもかかわらず, 定格負荷時には低 NOx を目的とした希薄予混合燃焼方式となり, 低負荷時には保炎を重視した拡散燃焼に自動的に切り替わる新しい燃料供給構造を考案した。燃料供給原理の概念を図4に示す。燃料供給ラインの途中にパイロット空気が流れるスリットを設けることで, 負荷追従性向上をねらったものである。高負荷時はパイロット空気の影響を受けずに燃料は希薄予混合燃焼するメイン側まで到達し低 NOx となり, 逆に低負荷時はパイロット空気の影響を大きく受け燃料はパイロット側に流れ込み安定燃焼を可能にするものである。

これまでに燃料としてメタンガスを用いた加圧下での燃焼試験を実施し, 意図した特性を確認することができた。

現在, さらなる低 NOx 化および負荷追従性向上を目指し, 本燃焼器の最適化を行っている。

4. おわりに

以上, 当社の主に開発研究部でのガスタービン研究について紹介した。今後は省エネルギー・環境保全に優れた特性を持つガスタービンの導入を推進し, 社会的ニーズに応えていきたいと考えている。

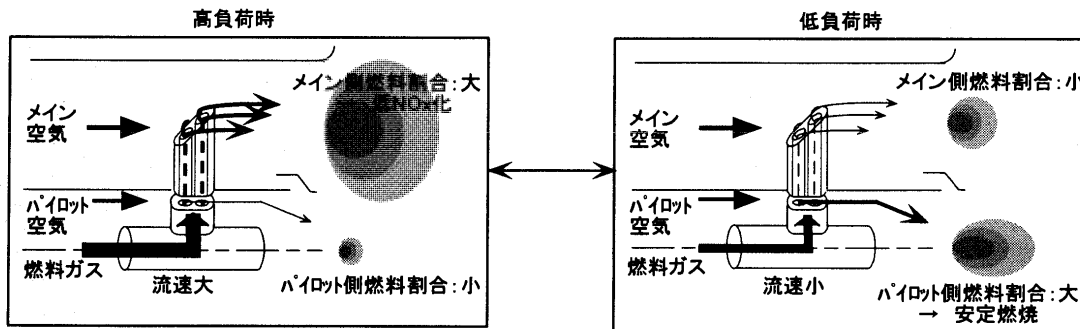


図4 燃料供給原理の概念図



♡ガスタービンを100倍面白くできる♡



単位や数字を感覚的に捉える(I)

高原 北雄*1

TAKAHARA Kitao

1. はじめに

昔から人類は大きな数も小さい数も十分にイメージできなかったが、生活技術を支える「ものづくり」をしてきた。しかし科学や技術が進むと、デジタル数字が多く使われるようになってきた。現代の社会ではコンピュータ化が進むに従って、実生活の中で「ものづくり」の体験が少なくなっている。そして今や度量衡や物理量の数字は抽象化した単なる記号に変わり、物作りを基本にする工学部でさえ感覚量から遠ざかってしまったようだ。そのためか私が接する学生達は複雑な物理現象を感覚的にあるがままに捉えられず単価関数的な単純な現象と誤認しているように感じている。今や電子機器の裏方ではデジタル技術が進歩し急速に技術文化社会に変わってきている。しかし人間に接する表方では画像や音楽なども含めてデジタル技術に支えられながらもヒューマン・フレンドリーなアナログ技術が極めて大切な時代になってきている。私達はデジタルとアナログの特性と役割を十分に認識して工学を考えておく必要があるのではないだろうか。

私達が日々使っている度量衡の基本の1m、水1リッター、1分(60秒)を自分の感覚で測ってみると案外誤差が大きいことが判る。そのためにここで扱う感覚量の数字は幾らか誤差を含んで取扱っている。より詳細な数字が必要な時にはハンドブックなどを参照して有効数字を考えながら扱う必要があることは言うまでもない。

2. 接頭語の意味

通常使う接頭語より少し広い領域まで記しておく。

エクサ(E: exa, 10^{18} , 語源: 6), ペタ(P: peta, 10^{15} , 語源: 5), テラ(T: tera, 10^{12} , 語源: 妖怪), ギガ(G: giga, 10^9 , 語源: 巨人), メガ(M: mega, 10^6 , 語源: 大きい), キロ(k: kilo, 10^3 , 語源: 1000), ヘクト(h: hecto, 10^2 , 語源: 100), デカ(da: deka, 10^1 , 語源: 10), ここまではギリシャ文字。デシ(d: deci, 10^{-1} , 語源: 10), センチ(c: centi, 10^{-2} , 語源: 100), ミリ(m: milli, 10^{-3} , 語源: 1000), マイクロ(μ : micro, 10^{-6} , 語源: 微小), ナノ(n: nano, 10^{-9} , 語源: 小人), ピ

コ(p: pico, 10^{-12} , 語源: 少量), ここまではラテン語。フェムト(f: femto, 10^{-15} , 語源: 15), アト(a: atto, 10^{-18} , 語源: 18), ここまではスカンジナビア語。なおエクサからメガまでの記号は大文字でそれ以外は小文字。☆接頭語の扱い方

10^3 は1000, 10^{-3} は1/1000又は0.001で0が3つ, 10^6 は1000,000, 10^{-6} は0.000001と0が6個並ぶ。指数は0の数と理解しておけば取扱いやすい。しかし日本の接頭語は万(10^4), 億(10^8), 兆(10^{12}), 京(10^{16})とSI単位と混用して使うが, 万×万は億, 万×億は兆, 億×億は京(10^{16})として理解しておけば取扱いやすい。

3. 基本単位

☆質量(kg)は水1リットルの質量である。その微小量が最近使われだした。ピコグラムオーダーの微小量の計測が実用上可能になり, ダイオキシンやPCB等は微小量でも健康に悪影響を及ぼすことが判り, 新聞記事にも良く登場するようになった。1gは水で一辺1cmの正立方体の質量なので, 1ピコグラム(10^{-12} グラム)は1辺が1cmの1万分の1cm(10^{-4} cm)である $1\mu\text{m}$ の正立方体(水)の質量を意味する。 $1\mu\text{m}$ は家庭にあるアルミ箔の厚さ $15\mu\text{m}$ を15枚に均等にスライスした厚さに相当する。昨年(平成11年)3月27日の朝日新聞に大阪府能勢町の焼却場で煙の洗浄設備の排水1リットル中から30億ピコグラム…が検出されたと記されていた。これを判り易く書くと「排水1トンの中にダイオキシンが3グラム混入していた」ことを意味する。前代未聞のダイオキシン水が作業員の身近にあったことが判り私は大変驚いた。この数字は微小単位と巨大数字が混在しており判りにくく, 新聞記者も判断できなかったようだ。また平成12年の早春に神奈川県にある企業の工事ミスで河川への排水口から8,000ピコグラム/リッターを検出したと報道されていた。NHKもこのダイオキシン濃度の汚水は前代未聞と報道していた。このことから判るように度量衡の数字が記号化して感覚量として判らなくなってしまったようだ。このような社会状況を醸し出したのは学校教育も影響しているのではないだろうか。私達がガスタービン技術者も数字を感覚量として常に判断できる能力をもつよう肝に銘じておくべきだろう。

原稿受付 2000年3月14日

*1 高原総合研究所

〒206-0803 東京都稲城市向陽台4-2-B-809

☆長さ (m) と時間 (s)

長さも時間も電磁波の波長と光速から厳密に導き出されるが、長さは地球の円周 (4 万 km) から導き出して扱えばよいし、時間は電波で送られてくる時刻で測れば特殊な場合を除いて十分過ぎる精度だろう。その時間は秒 (s) が基本だが、分 (60 秒), 時間 (60 分: 3600 秒), 年 (365.25 日, 8766 時間) も使われている。

4. 誘導単位

☆力の単位: 1 N (1 ニュートン = 102 g : 地上で)

従来は地表面での加速度 9.8 m/s^2 を基準にした重量単位が使われてきた。最近では SI 単位が使われ、加速度 1 m/s^2 を基準に質量 1 kg ($1 \text{ kg} = 1000 \text{ g}$) に働く力を 1 ニュートンと定義している。工学者もこの単位を感覚的に把握できていないようだ。そのため私は 1 ニュートンを感覚的になじみやすいように、地表面での加速度場 (9.8 m/s^2) に換算して使っている。即ち 1 ニュートンは質量 1 kg (1000 g) を 9.8 で割った約 102 g の質量に働く力 (地上で) と私は条件反射のように理解してきた。10 N は地上で約 1 kg , 1 万 N は地上で約 1 トンの力に相当する。

☆圧力と応力: 1 パスカル ($1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$)

面積 1 m^2 上に水 102 cc を流し込んだ時の平均圧力が 1 パスカルで、水柱圧で約 0.1 mmAq になる。その百倍の 1 ヘクトパスカル (約 1 cmAq) は従来から使ってきたミリバルに近いので気圧単位として使っている。更に強度の単位に使われる千倍のキロパスカルや 100 万倍のメガパスカルは 1 m^2 に水を 0.102 m^3 ($102 \times 10^3 \text{ cc}$), 102 m^3 ($102 \times 10^6 \text{ cc}$) 流し込んだ水柱圧約 10 cmAq や水圧 100 mAq に相当する応力の単位になる。

☆エネルギー単位

約 230 年前にジェームス・ワットにより化石エネルギーを機械エネルギーに変換できる実用的な動力機械が開発された。その後、人類は機械エネルギーを図 1 のように大量に使い始め快適な生活をはじめた。今やこのため世界人口は図 2 に示すように爆発現象を起こしている。エネルギー資源の消費は人類にとって今や麻薬のように止められなくなっている。しかし何時かはバブルがはじける時期が到来する。その時には人類に禁断症状が現れると私は大変心配している。

エネルギー源として化石燃料や原子力燃料等を使い、熱量、位置のエネルギー、圧力エネルギー、機械エネルギー、電力エネルギーと百面相のように変化させて使っている。ガスタービン技術者はそれぞれのエネルギーを瞬時に変換できる能力を培っておく必要がある。その変換効率も時代と共に技術が進み改善されてきている。

①仕事: ジュール ($1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot \text{m} = 1 \text{ ワット} \cdot \text{秒}$), 仕事割合; ワット ($1 \text{ W} = 1 \text{ J/秒}$)

機械仕事の 1 ジュール (J) は 102 g の物体 1 m 持ち上げるエネルギー量である。1 ワットは 1 秒間に 102 g

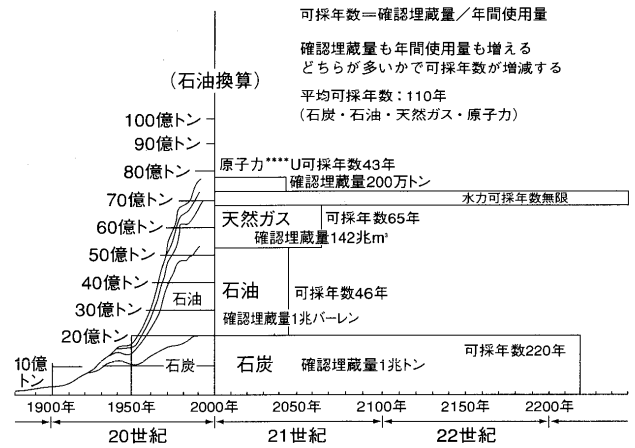


図 1 世界のエネルギー消費と可採年数
このグラフでは人類 (猿人) 誕生は左に 850 m

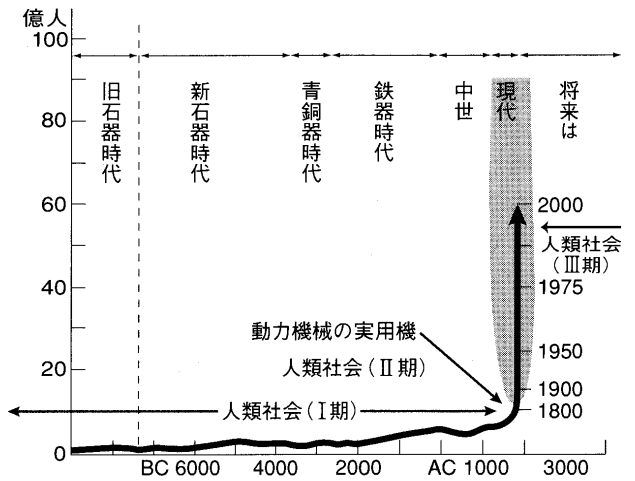


図 2 世界人口の推移
このグラフでは人類 (猿人) 誕生は左に 22 m

の物体を 1 m 持ち上げる仕事割合を意味する。1 kW は約 1 トンを 0.1 m 持ち上げるエネルギー割合になる。また、1 W は 0.03 mm^3 の、1 kW は 30 mm^3 の石油が毎秒燃え続けて出す熱量でもある。このように 1 ジュール (J) や 1 ワットの感覚量をイメージしておけば取り扱いやすい。また 1 kg の石油が燃焼すると発熱量 $10,000 \text{ kcal} \approx 42,000 \text{ kJ}$ の熱エネルギーを放出する。その 50% を機械仕事に変換できれば、21 トンの物体を 1 km 持ち上げる仕事になる。1 kcal (約 4.2 kJ) の熱量は水 1 リットルを温度 1°C 上げる能力を意味し、1 kWh ($1 \text{ kWh} = 3.6 \text{ MJ} \approx 860 \text{ kcal}$) は 1 W 秒 (1 ジュール) の 3.6×10^6 倍のエネルギーになる。このことは 102 kg の物体を 3600 m 持ち上げる仕事でもあり、また約 1 トンの物体を 360 m 持ち上げる仕事でもある。また 100 万 kW の発電所は効率を度外視すれば毎秒 100 トンの物体を 1 km 持ち上げる機械仕事を生み出し続けている工場を意味する。日本では国民 1 人が電力を年間平均で約 0.9 kW の大きな電力エネルギーを消費している。最近の技術でも 100 万 kW の発電所が全国で消費する 1

年間の消費燃料は原子燃料（3%強の U^{235} と97%の U^{238} ）で約30トン（100%の純粋 U^{235} に換算すると約1トン）、LNG（液化天然ガス）で110万トン、石油で140万トン、石炭で220万トンが消費されている計算になる。そのうちの電力1kWhを使いポンプ効率80%のポンプを使えば1トンの水を288m（ 0.8×360 m）持ち上げる仕事ができ、電気代は約25円程度と案外安いことも皮膚感覚で判る必要がある。

私はそのため単一乾電池（約100g）に1円玉（1g）を2個つけたものを数個作り、大学の授業で学生達に手渡し、10回程度上げ下げさせ、1ニュートン、1ジュール、1ワットを感覚量として伝えている。

②高位/低位の発熱量

水素成分を含んだ化石燃料が燃えると水蒸気ができる。この水蒸気は 100°C 以下になると液化し蒸発潜熱（540kcal/kg）を顕熱として吐き出す。そのため燃料を燃して排熱温度が 100°C 以下まで利用できる蒸気機関では高位発熱量が使われている。また 100°C 以上で排出するジェットエンジンでは低位発熱量が使われている。石油の発熱量（10000kcal/kg）から判断すると水素成分の多い燃料では潜熱の影響は無視できない。

③原油の体積（バレル）と価格

体積は m^3 やリッターやccが使われているが、昔から液体は樽（バレル）で運ばれ販売されてきたこのため今でも原油の売買は\$/バレル（159リッター）が使われている。私達は日本円で考えるので為替（円/\$）の変動にも関心を持っておく必要がある。更に将来のガスタービン技術を考えておくために原油価格の時代変遷も覚えておくことも大切だろう。1973年より前には2\$/バレル程度だったものが、第一次オイルショックで高騰した。1979年ごろには40\$/バレルまで高くなったが、その後幾らか原油価格は落ち着いていた。しかし、最近はまだ高騰しはじめ30\$/バレルを超えた。その後、欧米の政治手腕で少し安くなりだした。平成12年5月10日の原油は32\$/バレル（159リッター）で為替が1\$=105円なので、輸入原油は約20円/リッターになる。天然ガスは原油価格に追従して価格は変動するが、液化天然ガスは巨大な設備投資があるので長期契約で価格変動は比較的少ない。そのエネルギー源を都市ガスや電力に加工して取扱いやすくなるに従い価格は高くなっている。またその用途によっても税金も違う。

④原油と石油や水素

原油は地殻内で長期間にわたって創られ保存されてきた。私達はその原油を採掘して利用しているので、地殻内で揮発成分が気化し大気に放出されるものもあり採油された組成は場所により違う。そのため売買基準が作られ揮発成分の比較的多いアラビアンライトが基準価格になっている。炭素系の多い流動性の悪いものの発熱量は低く、価格も安い。その逆に炭素系の少ない流動性のある原油の発熱量は高く、価格も高い。原油を購入して利

用目的に合わせ、温度による気化特性を利用して蒸留塔で精製分留している。更に使用目的に合わせた製品はカクテルのように調合している[注：私は石油連盟に連絡して教育用の石油資料（原油2種、ガソリン、ジェット燃料、軽油、灯油等）を頂き教材に使っている]。

水素燃料は天然に産出しないので他のエネルギーから作られる2次エネルギーで、一般にエネルギー価格は高くなる。水素は常温常圧で気体なので、同一体積では固体や液体のエネルギーに比べ、エネルギー密度は低い。このため水素を幾らか高密度にするために沸点温度（20K）以下にして液化し、特殊な用途に使っている。それでも液体水素は原子番号が低いので石油に比較して同一発熱量あたり36%と軽く、約4倍の体積になる。液体ロケットでは液体水素も使われており発射時刻が延期されると大気との温度差が大きいので断熱性が優れた貯蔵庫に戻されている。水素航空機も検討されているが、私は断熱性と価格の点から実用化は無理と考えている。

⑤消費エネルギー

今から約100年前の世界の年間消費エネルギー（石油換算）のデータは信頼性が低くこの100年間に何倍に増えたのか正確には判らない。しかしエネルギー関連の研究所から多くの推定値が出ている。私は数十倍程度になったのではと推定している。それに関連してエネルギーの可採年数は石炭213年、石油45年、天然ガス64年、ウラン74年と公表されている。この計算の根拠は現在のエネルギー消費が今後伸びないという仮定値であるので急速に消費が増大している現在の状況を理解していないと誤算する可能性がある。この可採年数は多くの仮定の上での計算値であることを十分に理解しておく必要がある。

世界の年間消費エネルギー量（石油換算）は85億トンと記されている。世界人口60億人で割ると一人あたり1.4トンになる。日本の年間消費エネルギー量は約4.4億トン（石油換算）にもなる。比重0.8として4.4億トン日本国土全面に均一に流し込むと石油の厚さは約1.4mmになる。なお1人あたり日本の年間消費エネルギー量は約3.5トン（石油換算）になる。更にその4割程度を電力に使っており日本の1人あたり年間消費電力量は約0.9kW・年になっている。

なお現在の世界の確認埋蔵量は1兆トンと算出されているが多くの制約がある。石油1兆トンの体積は一辺10kmの正立方体に近い巨大な体積のように感じるが、地球を直径1.27mにした地球儀上ではその体積は約1 mm^3 にしかならない。

⑥燃費1km/リッター

液体燃料1リッターを素麺の如く1kmに伸ばすと平均断面積は1 mm^2 になる。このため燃費を幅を1mmに固定し、高さ（高さ）に反比例して距離が伸びると私は考えている。普通車の燃費を約10km/リッターとすると幅1mmで厚さ0.1mm（100 μm ）になる。世界的

な省エネカーの記録は2000 km/リッターにもなるので幅1 mmで0.5 μmの厚さの燃料を道路に撒いて走行したことになる。鈴鹿サーキットでの記録は約1000 km/リッター(ほぼ1リッターで東京/鹿児島間走行)であった。これらの省エネ・カーは使い勝手が悪く、実用車にはならない。少くくらい使い勝手が悪くとも50 km/リッター程度の車が登場すれば自家用車には十分使えると感じている。最近の航空機も次第に燃費は改善されてきた。以前JASの航空会社に行った時、B747の燃費は70 m/リッターだったが、B777の燃費は改善され、100 mになったと標示してあった。多くの乗客を乗せての値だか

ら省エネルギー技術が随分進んだようだ。1馬力は約0.75 kW (0.75 トンを1秒間に10 m持ち上げる能力)なので、自動車に100馬力のエンジンがあると1トンを毎秒7.5 m持ち上げる能力を持っている。しかし現実的には市内走行に要する馬力は5馬力程度であり、高速道路を100 kmで走行している時でさえ30馬力程度といわれている。ただ加速時のゆとりを持たせるために大型エンジンを積む傾向がある。もう少し省エネを心がけて欲しいものだ。

次回：その他の単位系についても記す予定。

▶ 入会者名簿 ◀

〔正会員〕	水谷 智昭 (I H I)	高橋 正 (川重ガスタービン研究所)	〔学生会員〕
久保 和敏 (関西電力)	鈴木 孝和 (I H I)	岸 武行 (船舶技研)	王 鉄夫 (神戸商船大)
野口 俊英 (三菱重工)	高橋 輝雄 (I H I)	君島 真仁 (東大)	永山 健俊 (東京電機大)
白石 隆 (三菱重工)	上田 健一郎 (I H I)	幡宮 重雄 (日立製作所)	三田 慶一 (法政大)
貴志 公博 (三菱重工)	井頭 賢一郎 (川崎重工)	〔学生会員から正会員へ〕	〔賛助会員〕
渡邊 康司 (三菱重工)	吉村 孝信 (川崎重工)	西 秀幸 (I H I)	石川島検査計測 (株)
西野 義一 (山武)	岸 健一 (川崎重工)		上村 航機 (株)

な省エネカーの記録は2000 km/リッターにもなるので幅1 mmで0.5 μmの厚さの燃料を道路に撒いて走行したことになる。鈴鹿サーキットでの記録は約1000 km/リッター(ほぼ1リッターで東京/鹿児島間走行)であった。これらの省エネ・カーは使い勝手が悪く、実用車にはならない。少くくらい使い勝手が悪くとも50 km/リッター程度の車が出現すれば自家用車には十分使えると感じている。最近の航空機も次第に燃費は改善されてきた。以前JASの航空会社に行った時、B747の燃費は70 m/リッターだったが、B777の燃費は改善され、100 mになったと標示してあった。多くの乗客を乗せての値だか

ら省エネルギー技術が随分進んだようだ。1馬力は約0.75 kW(0.75 トンを1秒間に10 m持ち上げる能力)なので、自動車に100馬力のエンジンがあると1トンを毎秒7.5 m持ち上げる能力を持っている。しかし現実的には市内走行に要する馬力は5馬力程度であり、高速道路を100 kmで走行している時でさえ30馬力程度といわれている。ただ加速時のゆとりを持たせるために大型エンジンを積む傾向がある。もう少し省エネを心がけて欲しいものだ。

次回：その他の単位系についても記す予定。

▶ 入会者名簿 ◀

〔正会員〕	水谷 智昭(I H I)	高橋 正(川重ガスタービン研究所)	〔学生会員〕
久保 和敏(関西電力)	鈴木 孝和(I H I)	岸 武行(船舶技研)	王 鉄夫(神戸商船大)
野口 俊英(三菱重工)	高橋 輝雄(I H I)	君島 真仁(東大)	永山 健俊(東京電機大)
白石 隆(三菱重工)	上田 健一郎(I H I)	幡宮 重雄(日立製作所)	三田 慶一(法政大)
貴志 公博(三菱重工)	井頭 賢一郎(川崎重工)	〔学生会員から正会員へ〕	〔賛助会員〕
渡邊 康司(三菱重工)	吉村 孝信(川崎重工)	西 秀幸(I H I)	石川島検査計測(株)
西野 義一(山武)	岸 健一(川崎重工)		上村 航機(株)

ISROMAC-8 に出席して

安達 勤*1

ADACHI Tsutomu

1. ISROMAC とは

3月27日より4日間 Hawaii Honolulu で開催された ISROMAC-8 (8th International Symposium on Transport Phenomena and Dynamics on Rotating Machinery -8) に出席した。この会議は Pacific Center of Thermal Fluids Engineering により開催されているので、始めにこのセンターについて述べておきたい。このセンターは熱流体に関するシンポジウム、ワークショップ、継続的な講座シリーズの開催や研究者間の研究交流を主眼として1985年に設立されたもので、本拠をハワイに置いている。センターの主な仕事としては、①Transport Phenomenaに関する国際シンポジウム (ISTP)、②回転機械の Transport Phenomena および動力学に関する国際シンポジウム (ISROMAC)、③Pacific Symposium on Flow Visualization and Image Processing (PSFVIP)、④International Conference on Medicine and Biology (ICMMB) など各種の会議を開催し、また、Journal of Flow Visualization and Image Processing, International Journal of Rotating Machinery, International Journal of Transport Phenomena などの雑誌の発行も行っている。Michigan 大学の W. J. Yang 教授, Electric Power Research Institute の Kim 博士や東京農工大の望月教授らが中心となって運営されてきている。ところで ISROMAC-8 という名前からもわかるようにこの国際会議は今回8回目を迎えた。1985年に初回が行われ、以後1年おきに大体2月末~5月初めに行われてきている。今回の ISROMAC-8 ではレセプションとバンケットを Sheraton Princes Kaiulani Hotel で、また、講演会は Royal Hawaiian Hotel で開催した。Dynamics of Rotating Machinery という語が示すようにこれまでは回転機械の動的現象に関する論文が多かった。また、大学教育に関する研究や設計に関する論文も取り扱われていた。

2. ISROMAC-8

今回の会議の Chairman は Texas A & M Univ. の Je-Chin Han 教授で、40名ほどの Organizer のもとで1年ほど前から論文の募集と審査を行い、その結果選ばれた論文によって開催された。3月26日の夕方に Registration およびウエルカムレセプションが Sheraton Princes

Kaiulani Hotel において行われ、その時までには到着した人達が顔を揃えた。翌27日8時より3題の特別講演 (Plenary invited papers for all participants) があった。最初の講演は MIT の A. H. Epstein 教授による 'Shirt Button Gasturbine' と題するもので、タービン羽根車の直径2cm、厚さ3mm、出力10Wまたは、推力0.1Nのマイクロガスタービンに関するものである。これは Si または SiC 製で、15g/hの水素を燃料とする。小さくても出力密度は大きいものと変わらない。製造技術には半導体の製造技術が活用される。将来の用途として小型で移動可能な電源、たとえば、コンピュータ用など電池では不足になる場合の用途が考えられる。また、将来炭化水素を燃料として出力100W程度にすることも可能とのことであった。本講演ではこのプロジェクトの展望と小型回転機械の設計と製造に関する流体力学的、構造的および回転力学的問題点を述べた。次の講演は ETI の Dr. Japikse によるターボ機械の設計に Agile 工学設計ツールと称するソフトウェアの利用に関する講演である。従来この方法は大容量、多数の製造に適していたが、最近では製造と組み立てのための計画法の開発により小

表 ISROMAC-8 のプログラム

	Room A (Fluid Dynamics)	Room B (Heat Transfer)	Room C (Dynamics & Seals)
	Plenary Invited Papers for all participants		
3月 27日(月)	Specific Flow Problems in Turbomachinery- I	Deveolp. of Very High Temp. Gas Turbine Systems in Japan	Non Linear Vibration and Rotor Stability
	Compressor Aerodynamics and Instabilities	Blade Tip Flow and Heat Transfer	Dynamics and Control of Rotating Machinery with Interaction Effects
	Unsteady Aerodynamics and Fluid-Structure Interaction	Professor GJ Hwang's Memorial: Turbine Blade Internal Cooling	Rotor dynamics/ Computational Code
28日(火)	Fluid Flow in Pumps and Water Turbines	Cleaner Power and Propulsion	Dynamics and Control of Rotating Machinery
	Specific Flow Problems in Turbomachinery- II	Gas Turbine Heat Transfer and Film Cooling- I	Rotor Made of New Materials
	Numerical Optimization of Turbomachinery	Flow and Heat Transfer in Rotating Systems- I	Seals and Rotor dynamics- I
	Design and Performance of Turbomachinery	Turbine Blade Internal Cooling	Seals and Rotor dynamics- II
29日(水)	Symposium Special Activity-Demonstration Flight will be held at Capitolan Park about 15 minutes walk from the hotel		
	Fluid Flow in Fans	Gas Turbine Heat Transfer and Film Cooling- II	Signal Processing and Identification in Rotating Machinery
	New Development of Pumping Device	CFD Validation in Turbine Blade Cooling	Modeling of Rotor-Bearing System Dynamics
	Turbine Performance and Flow Control	Flow and Heat Transfer in Rotating Systems- II	Seals and Rotor dynamics- III
30日(木)	Fluid Flow in Compressors- I	New Applications of Turbochargers and Gas Turbines	Diagnostic System and Health Monitoring Method- I
	Fluid Flow in Compressors- II	General Topics in Transport Phenomena	Diagnostic System and Health Monitoring Method- II
	Unsteady Flows in Turbomachinery	New Applications for Cryogenic and Micro Systems	Seals and Rotor dynamic Systems
	Recent Advances in Aerodynamics of Turbomachinery	Gas Turbine Combustion	Non Linear Vibration and Diagnosis of Rotating Machinery

原稿受付 2000年5月1日

*1 大阪産業大学 工学部

〒574-8530 大阪府大東市中垣内3-1-1

容量機械の設計にも利用できるようになったようである。即時利用可能な、正確な、低コスト製造が可能なように市場に出回っているデータベースを利用して市場競争力まで考慮した設計ソフトウェアの開発を目指しているとのことであった。三つ目のものは摂南大学の赤松教授による人工心臓ポンプに低比速度、低レイノルズ数の遠心ポンプ使用の展望と長時間使用可能なようにシャフトシールとベアリングを省略するための二つの工夫を示し、そしてその一つである教授の開発中の外付きマグネット利用による装置の研究結果を述べられた。その後3室に分かれ講演会が行われた。A室は Fluid Dynamics, B室は Heat Transfer, C室は Dynamics and Seals であった。そのプログラムを表に示す。初日 A 室の最初の講演に 'Various new application of turbomachinery' と題する三菱重工の川田裕氏による invited lecture が行われた。特に水力ターボ機械の分野における最近の進歩について、①水力タービン羽根車の翼間にスプリット翼を一枚おきに入れることによる、設計点を離れた運転状態における性能改善の効果、②ガスタービン駆動の大型ドレインポンプの建屋を縮小して建設費用を縮小するための試みとして L 形ガスタービンの採用、③水車の吸出管内にエックスデューサの取付けキャビテーションを減らし、有効ヘッドを増す試み、などが示された。全般的には A 室では主としてターボ機械内の定常および非定常流れや、特性に関する問題が取り扱われた。また、B 室では高温ガスタービンおよび各種の翼面冷却など過酷な条件下におけるガスタービンやその環境問題などに関する研究発表の他に、小型ガスタービンの運転とこれを大学教育に使用した効果についての研究発表も行われた。小型ガスタービンの実例として後に述べる小型ガスタービン使用のヘリコプタの実演も行われ、大型とともに、Epstein 教授の講演にもあったように、超小型のガスタービンも発展しつつあることが示された。C 室では回転体の非線形振動、構造物との干渉を伴う回転機械の動的制御、新素材による回転体、軸シール、可撓ベアリングなどの講演が行われた。今回の会議ではアメリカやヨーロッパから参加の著名な学者達の講演や討論を随分多く聞くことができた。ISROMAC Award を受賞した Fleeter 教授による遷音速羽根車による案内羽根に働く

非定常力のオイラーシミュレーションの講演や、インデューサキャビテーションに及ぼす前縁スイープの効果に関する Acosta, Cooper および辻本教授の共同講演、A 室最終日の最後に満員の聴衆の中で行われた Krain 教授の遷音速遠心圧縮機内の非定常デイクレーザ流れの研究などがあった。

28日18時より Banquet が行われ、この席で ISROMAC Award の表彰式があり、Purdue 大学の S. Fleeter 教授と T. U. Munich の R. Schilling 教授が受賞した。Special activity として小型ジェットエンジン (ソフィアプレジオン製、重量 1.4 kg, 106 mm×330 mm, 推力 8.5 kgf) を動力源としたロータ直径 2 m の小型ヘリコプター飛行実演が付近の Capiolani 公園で行われ、多数の参加者があった。また、29日の晩に Bently Rotor Corporation による技術講演会も行われた。

今回の参加者は 136 名 (アメリカ 39, 日本 31, ドイツ 26, イタリア 7, 韓国 5, オーストリー, 英国各 4, 台湾, スウェーデン 各 3, フランス, スイス, 中国, ポルトガル各 2, インド, デンマーク, メキシコ, カナダ, 各 1) で、全講演論文数は 161 編であった。アメリカと日本が多いのはそれらの位置関係からうなずけるが、ヨーロッパ諸国からの参加者が随分多いことがわかる。なお、この会議の発表論文のうち審査を経て適当と認められたものは Journal of Rotating Machinery (年 4 回発行) に掲載される。

3. 次回の ISROMAC

次回の ISROMAC-9 は 2002 年 2 月中旬ごろ開催されることになっていて、大阪大学の辻本教授が Chairman を勤めることになっている。今回の会議ではガスタービンやターボ機械に関する立派な論文や、著名な学者の出席が目立つようになってきている。会員の皆様も次回は非参加されることを期待したい。また、このセンターが行っている関連の会議として Pacific Symposium on Flow Visualization and Image Processing がある。この会議もやはりハワイを根拠地として行われており、次回は 2001 年に行われる予定であることもお伝えしておく (この方の Chairman は東京大学 小林教授)。

SB5 ガスタービン都市ガス用低 NO_x 燃焼器高木 俊幸^{*1}

TAKAGI Toshiyuki

キーワード：ガスタービン，低 NO_x 燃焼器，予混合燃焼，84 ppm

1. はじめに

COP3 を初めとして環境問題への対応が急がれているが、この度、84 ppm (O₂ 0% 換算) に対応できるドライ低 NO_x 燃焼器の開発に成功し、この最新型燃焼器を装着したガスタービンコージェネレーション発電システム GP1000 (表1) を99年5月に客先納入し、直ちに営業運転に入った。

本 GP1000 は SB5 型 1 MW 級ガスタービンを用いたコージェネレーション発電システムとして都市ガス3社 (東京ガス(株)，大阪ガス(株)，東邦ガス(株)) と三井造船(株) によって共同開発され、1988年に1号機を出荷以来、既に常用発電システムとして50台近くの実績を挙げ、その高効率 (クラス最高レベルの25%)、省スペース性 (ガス圧縮機を発電パッケージと一体化) 並びに高信頼性 (年8000時間連続運転) の点からベースロード電源設備として好評を博している。

既に、ガスタービンの特性を生かし、環境適合性に優れた低 NO_x 燃焼器の開発を積極的に行っており、1992年に小型ガスタービンとしては初めて、150 ppm (O₂ 0% 換算) 対応型ドライ低 NO_x 燃焼器 (三井スーパープレミックス) の開発に成功している。1993年に150 ppm 対応1号機を出荷して以来、13台のドライ低 NO_x 機が稼動しており、実績を積み上げてきている。今回納入された低 NO_x 燃焼器は、この150 ppm ドライ低 NO_x 燃焼器の技術をベースに、燃焼器内部の希薄予混合燃焼場の改良を行うことにより開発され、SB5 型ガスタービンに組み込まれた (図1)。

2. 概要

性能的には排出 NO_x 量を従来の150 ppm 仕様と比べて約半分に下げること、構造的には従来の150 ppm 仕様内筒を84 ppm 仕様内筒に載せ替えることができることなどを主眼として開発された (図2, 表2)。

低 NO_x 化を行うために、燃焼空気量の配分の見直し、特に、内筒冷却空気量の削減による予混合空気量の増加、滞留速度の低下による燃焼効率及び燃焼安定性の確保などを行い、所要性能を達成した。

表1 GP1000 コージェネレーション発電設備主要目

発電出力	1090 kW (吸気温度 15°C)
発電熱効率	25.0 %
排出 NO _x	84 ppm 以下 (O ₂ 0% 換算): 75% 負荷以上
発生蒸気量	3010 kg/h (0.8 MPa 飽和)
ガスタービン	SB5 型 (一軸式)
発電機	自由通風型同期発電機
廃熱ボイラ	多管貫流式
燃料ガス圧縮機	スクリュー式 (発電機軸端駆動)

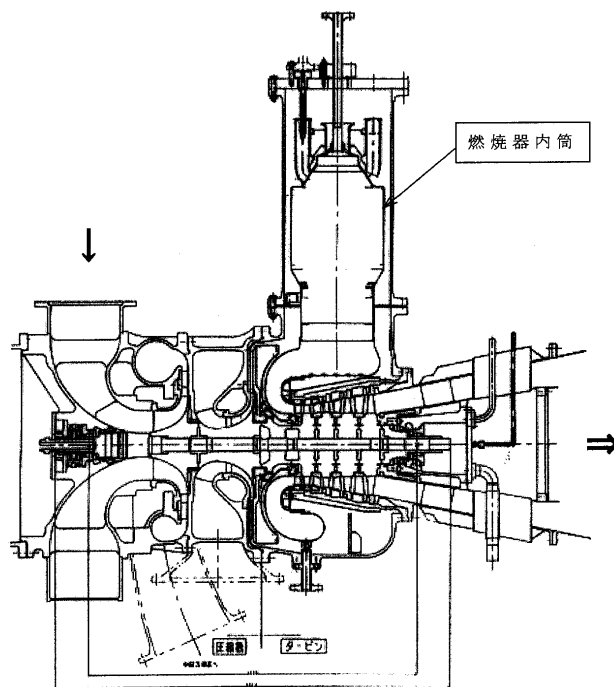


図1 SB5 型ガスタービン (84 ppm 仕様)

表2 ドライ低 NO_x 燃焼器主要目

型式	単筒式
燃料	都市ガス 13A
燃焼方式	拡散予混合 2 段燃焼
燃焼制御方式	メイン燃料噴射弁本数多段階制御
入口空気温度	210°C
出口空気温度	1000°C
排出 NO _x	84 ppm 以下 (O ₂ 0% 換算)
パイロット燃料噴射弁	1 本
メイン燃料噴射弁	6 本

原稿受付 2000年6月7日

*1 三井造船(株) 機械・システム事業本部機械工場 回転機設計部
〒706-8651 岡山県玉野市玉 3-1-1

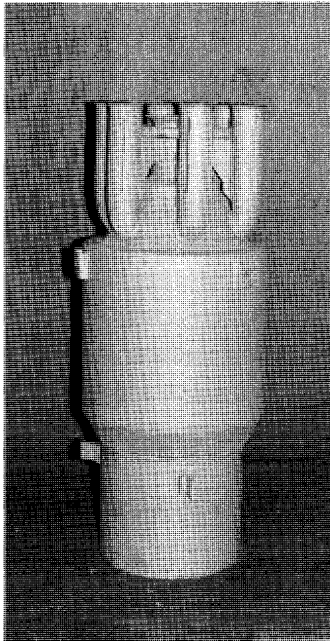


図2 低 NO_x 燃焼器内筒 (84 ppm 仕様)

また、部分負荷での燃焼効率及び燃焼安定性の確保を図るため、メイン燃料噴射弁の切替えステップ数を増やし、すなわち、負荷の増加と共に、従来3段階であったものを2本>4本>5本>6本と4段階とし、より木目の細かい制御を行っている(図3)。

3. 特徴

- (1) 排出 NO_x 規制が厳しい地域(規制値 84 ppm 及び 100 ppm)においても、脱硝設備などを追加するこ

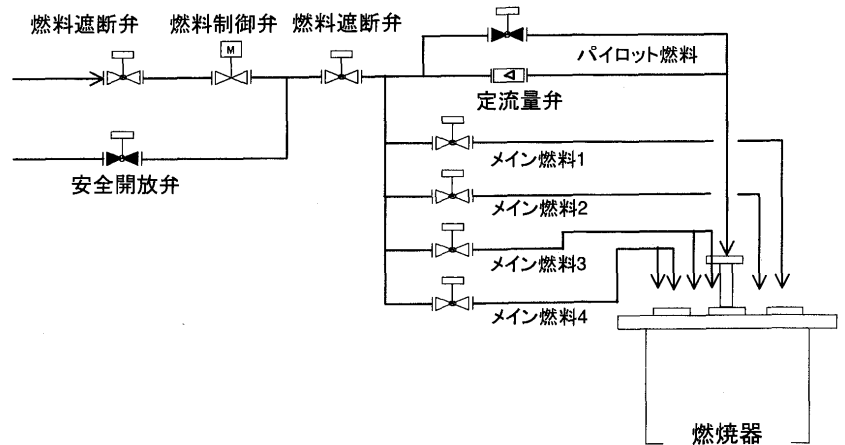


図3 燃料分配システム

とが不要となり、設備費の低減、ランニング費用の削減が図れる。

- (2) 燃焼器の主要部品は 150 ppm 仕様機と同じ部品(燃焼器外筒、燃料噴射弁、燃料制御装置など)を使用しており、互換性に優れている。
- (3) 燃料制御システムは、150 ppm 仕様機と同じメイン燃料噴射弁の本数制御方式を採用し、シンプルなシステムとなっている。

4. あとがき

今後とも、環境問題への積極的な取り組みより、その社会的な要請に応えと共に、機器・システムの簡素化や熱電可変システムなど、需要家の要求に幅広く応えて行く予定である。

IGT 60 型汎用小型ガスタービン

荒木 巍*¹

ARAKI Takashi

1. はじめに

小型ガスタービンは軽量大出力、起動および取扱容易という特長により 1950 年代にアメリカ/Solar, イギリス/Rover などで可搬式または移動式の 30~40 kW 級のものが相次いで開発された。石川島播磨重工業 (IHI) でも 60 PS (45 kW) の汎用小型ガスタービン IGT 60 が護衛艦搭載の消防ポンプ駆動用として 1954 年に開発着手された。当時、この用途の消防ポンプはガソリンエンジン駆動であったが、起動信頼性、高い吸水水頭、ガソリンより引火性の低い燃料という点でガスタービンはこれに代わるものとして有望視された。基本的な要求仕様は次の 4 点である。

- ポンプ込完備重量：100 kg 以下 (2 名で運搬可能)
- 急速起動：1 分以内
- 出力：60 PS (45 kW)
- ポンプ吸上げ高さ：5 m

当時、技術提携はなやかなりし頃であったが、このガスタービンは完全に IHI 独自の開発により完成された。主な開発要素としては、遠心式圧縮機・輻流タービン・逆流缶型燃焼器・燃料制御装置・高速歯車減速装置・ガスタービンの高圧空気を抽気して利用するエゼクタによる自吸式ポンプなどがあり、当時の先端技術を結集してまとめられた。IGT 60 の断面図を図 1 に、また主要目を表 1 に示す。

2. IGT 60 の開発

IGT 60 は小型にまとめるため定格回転数は 40,000 rpm という高速であり、タービン・圧縮機一体のインペラの強度設計に細心の注意が払われた (図 2)。当時は技術計算にはまだほとんど電算機が導入されておらず、複雑な応力解析は線図と手動計算機・計算尺を使って行われ、その計算のためには相当の設計時間を要した。このロータは 2 つのころがり軸受で支持される構造で、とくにタービンインペラに近いローラ軸受は高速、オーバハンク支持の高荷重・高温に耐えるようにするため、クリアランスの大きい超精密級が採用された。軸受内輪内径での DN 値 80 万 mm・rpm は設計上の critical points

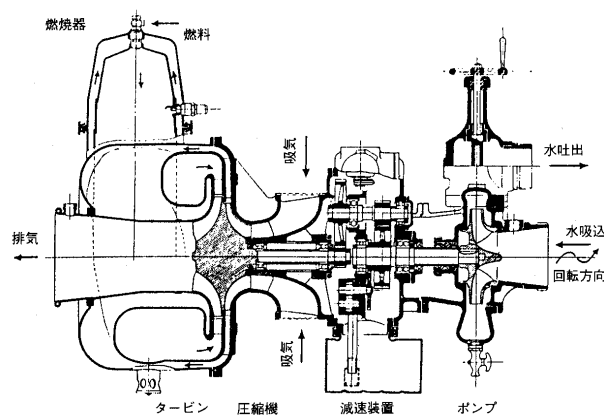


図 1 ガスタービン消防ポンプ組立図

表 1 IGT 60 ガスタービンの主要目

型 式	開放一軸式サイクル
最大出力	60PS (標準大気状態にて)
圧力比	約 2.7
タービン入口温度	800°C (最高)
タービン回転数	40,000rpm
出力軸回転数	4,560rpm (消防ポンプの場合)
燃 料	軽油または灯油
燃料消費量	約 55 kg/h
起 動 方 式	人力クランク方式 (または起動電動機による)
潤 滑 方 式	タービン油強制潤滑方式
寸 法	約 L650 x W440 x H690 mm
乾 燥 重 量	約 65 kg (減速装置, 補機を含む)

原稿受付 2000年6月15日

* 1 石川島播磨重工業(株) 技術開発本部
〒135-8733 東京都江東区豊洲 3-2-16

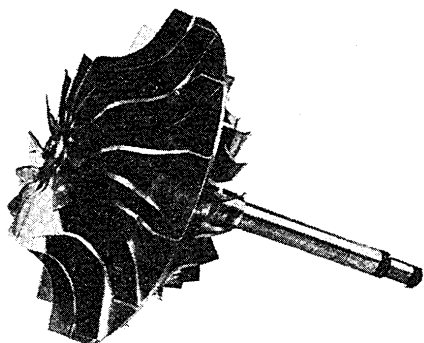


図2 圧縮機およびタービンインペラ

の一つであった。

タービン・圧縮機の性能についても輻流式という複雑な流路形状のためその解析は難しく、流線解析を手計算で進めた。とくにインペラ強度との兼ね合いで trial & error 方式により形状を求めた。輻流式のタービン・圧縮機は現在の小型過給機のものと同じような形状であるが、当時は高温回転体に精密鋳造品を使うことは材料強度上信頼性が乏しく、鍛造ブロックから羽根部分を平面的に削り出したあとで曲げ加工してスロート幅を合わせるといった手法で、解析手段と併せて現在に比べて設計・製造上の大きな制約であったが、なんとか初期目標を達成する形状が得られた。

燃焼器も独自の開発が技術研究所を中心にすすめられ、ライナ、燃焼特性、燃料噴射弁などの仕様が基礎試験を通してかためられた。とくに小型化のため燃焼域の長さを短くすることに努力が払われた。燃料制御装置も開発に苦労した項目の一つである。試作機では遮断弁・加速制御弁・燃料制御弁・燃料ポンプなどが機能別に別体で製作されたが、量産機では compact 化のためにこれらは一つのユニットとする設計改良が行なわれた。

このガスタービンのユニークな設計の一つとして手動起動方式があげられる。重量 100 kg という制限のため、バッテリーによらず人力による起動方式とした。人力によるクランキングでタービンロータに回転力を与えると同時に、マグネトーにより電力を発生させて燃料点火栓の電源とした。この原始的な起動システムは起動信頼性が高く、従来のガソリンエンジン式消防ポンプの起動失敗に泣かされていた心配が軽減されることになった。このクランクハンドルはエンジンの両側に設けられ、2 人の人手によりガスタービンの自立回転数まで約 30 秒クランキングを行うものであり、我々 IGT 60 の開発に携わった者は交替でこの労働を担当した。

消防用水ポンプについてもガスタービンと並行して開発が進められた。ガスタービンが 40,000 rpm の高速回転であり、減速機の数値比にも限界があるため、ポンプ回転数も 4,560 rpm という高速の設計がなされた。このポンプは片吸込半径流式であり、高い吸込水頭、高速という条件のためランナ羽根入口部のキャビテーション対策に細心の注意が払われた。

3. 量産機

全体装置の試作機は 1956 年に完成し、起動性能・定格性能などほぼ初期の目的が達成されたことを確認し、量産機のために一部改良設計を行った。とくに試作機は 20 kg 以上重量が超過していたため、徹底的に重量削減対策がとられた。各部品に対して 10~20 g の単位で余肉の削減がチェックされた。もう一つの重要な改善は先に述べた如く制御装置のユニット化であり、これは量産性と軽量化の両面から導入された。

量産 1 号機は 1961 年に組立完成したが、軽量化対策に無理があったためか試作機ではみられなかった 2 つのトラブルが発生した。その一つはインペラ外径の伸びである。タービン部と圧縮機部が背中合わせの一体型インペラは特殊耐熱鋼の LCN-155 材を使用していたが、高遠心力による降伏のため連続運転の後外径に永久伸びを生じ、外周部のラビリンスフィンに接触するようになった。これはラビリンス隙間を変え、冷却空気量、ロータ材の熱処理などにより辛うじて納めることができた。しかし、品質が安定せず、後に材料は一段階高級な S 816 材に変更された。サイクル最高温度 800°C は現在のガスタービンでは高くないが、当時の解析技術、市場性のある耐熱材料からみてこの形式ではほぼ限界であったといえる。もう一つのトラブルはガバナの stick の問題である。一体化された燃料制御装置の Al 鋳物本体には細かい複雑な燃料の通路が縦横無尽に開けられている。このうち燃料ガバナの可動部分に異物をかみ込んで運転中の燃料制御を不能にする故障が発生した。この問題も苦労して燃料フィルタ、通路の大きさなどを改良することにより解決することができた。

このようにして完成した IGT 60 の 1 号機は 1962 年めでたく防衛庁の給油艦“はまな”に搭載され、以後防衛庁護衛艦に採用されている。また学生の教材用で大学の工学部に、室内の酸素成分を下げる窒息消火装置として消防研究所に納入された。これらのガスタービンでの経験は徹底的にフィードバックし、第 2 次量産設計を 1964 年に実施し、またタービン・圧縮機両インペラ一体の鍛造削り出しの構造はそれぞれ別体精密鋳造とし、フラッシュバット溶接で一体化するよう改善された。後年パワーアップ型の 90 PS のモデルが開発・商品化され、上記用途のほか非常電源装置など合計 70 台以上が販売された。

4. おわりに

小型ガスタービンは流体解析、機械要素、材料、制御など当時の日本における先端技術を結集してまとめられたもので、販売の総額は十分大きかったとはいえないが、自主技術による開発という点で開発に携わった者には新しい技術についての大きな自信となり、また社内・関係業界にも大きな波及効果があったと思う。

1999年ガスタービン及び過給機生産統計

ガスタービン統計作成委員会

ガスタービン統計作成委員会（西原昭義委員長，他委員9名）は，関係各社の協力を得て1999年1月から12月の間におけるガスタービン及び過給機を生産状況を調査・集計し，生産統計資料を作成した。資料提供は，陸船用ガスタービンについては13社，航空用ガスタービンは4社，過給機は12社に依頼した。過給機はすべて排気タービン方式のターボチャージャであり，機械駆動によるものではない。

1. 1999年陸船用ガスタービン生産統計概要

(1) 総台数は前年に比べ小型・大型が減少し，結果として10%の減少となった。出力も大型の減少が大きく影響して前年比42%の減少となった。

小型（735 kW以下）は台数が前年と比べて15%減少し，出力も21%の減少を示した。

中型（736～22,064 kW）は台数が7%，出力も11%減少した。

大型（22,065 kW以上）は台数が47%，出力も50%と共に減少した。本年度の統計数値を左右する大きな要因である。

(2) 用途別にみると，台数では64%が非常用発電用，出力では85%がベースロード発電用である。これは前年度とほぼ同じである。

非常用は前年に比べ台数で20%減少したが，出力で8%増加している。この原因は大型機種が増加傾向による。小型，中型で比べると台数で小型が30%減少しているのに対し，中型は横這い，出力では，小型が25%の減少しているのに対し，中型は25%の増加となっており，中型機種の大型化が目立つ。

(3) 燃料の種類別生産台数では，前年より10%減少したが，本年の燃料種類におけるガス燃料生産台数は，液体燃料の台数も10%減少したため，前年の比率と比べ燃料種類における台数比率はかわらなかった。液体燃料内訳において，液化天然ガスは50%減少したが，都市ガスは，60%の増加となった。台数が少ないものの天然ガスが台数比率で8倍となった。また出力では，前年と比べ中型では変わらないものの大型の減少影響が大きいいため，全体として43%の大幅減少となったが，液体燃料も減少しているため，燃料種別におけるガス燃料の出力比率は，前年の比率と比べ横這

いの82%になった。出力比率の内訳では，液化天然ガスが前年度に対し23%となり77%の大幅減少となったこと及び天然ガスが液化天然ガスより多くなったことが特長である。

液体燃料の生産台数は，前年と比べて10%減少し，灯油が20%，重油1種が12%と共に減少となっている。燃料比率においては，前年の燃料比率と比較し，重油1種が1.2%，灯油が2.5%減少し，軽油は4.3%増加し，高炉ガスが再登場した。

出力では，台数が軽油を除きすべて減少したため，前年と比べ45%の減少となった。ガス及び液体の燃料種別生産台数比率を多い順に並べると，小型では重油1種・軽油・灯油が48・35・15%となり中型では重油1種・灯油・軽油が46・23・16%，大型では液化天然ガス・天然ガス・都市ガスが42・32・16%の割合となった。一方出力比率においては，小型では重油1種・灯油・軽油が73・17・9%，中型では灯油・軽油・重油1種が26・25・24%，大型では天然ガス・液化天然ガス・高炉ガスがそれぞれ53・38・6%の割合となった。

(4) 国内向けは台数で，前年と比べ8%減少の542台で，減少したが，減少分は，小型であり，出力で見ると大型の減少（80%の減）が大きく影響し前年比63%の減少となった。大型が前年と比べ，台数で2台減，出力で1019 MW減少した。中国で107 MW増えたものの中部及び関東で1004 MWと減少したのが大きく前年の結果と同様の結果となった。中型は前年と比べ台数では21台の増加であり出力でも82 MW（18%）の増加になった。地域的には，近畿が台数で17台，出力55 MW，九州で台数6台，出力24 MWの増加が目立つ。小型は台数58台の減少，出力で20%減少となっており関東での37台の増加はあるものの近畿での27台，中部での25台の減少が目立つ。輸出は総台数の4.2%，全出力の73%を占めたが，前年より台数では7台（23%），出力でも1,487 MW（40%）の減少となった。中型では，台数は2台増加したが出力では半減し又，大型でも大幅減（台数で40%，出力で39%の減少）となり，全ての出力区分で減少となった。輸出大型の増減が，出力で見ると統計全体の出力の増減を左右するのは，前年と変わらない。輸出仕向先別では，アジアが台数で7年連続してトップを続け，出力でも前年比2.2倍と増加しトップを占めた。また，

今回は、中東、大洋州向けが皆無となった。全体としては、台数は前年と比べ10%減の566台、出力は43%減の3,222 MWであった。輸出の大型の減少が今回の特長である。

- (5) 被駆動機械別ではこれまでと同様に、台数、出力とも発電機がほとんどを占め、96%であった。表5に示す出力区分では、前年とは異なり台数では小型クラス(0~735 kW)大幅減が特長。台数の多い順では、736~4,412 kW, 368~735 kW, 147~367 kW, 出力の多い順では44,130 kW以上, 736~4,412 kW, 4,413~10,296 kWとなった。
- (6) 発電用ガスタービンの台数と出力を前年と比較すると、事業用では国内(10台/1,270 MW→2台/79 MW), 輸出(17台/3,541 MW→5台/757 MW)とも台数及び出力で激減した。一方、自家用では国内(480台/448 MW→410台/692 MW), 輸出(14台/284 MW→19台/1,580 MW)と国内の台数減はあるものの出力ではともに大幅増加し事業用とは、逆の結果となった。総計では台数が17%減少(521台→436台)であったが、出力では、事業用の激変(4,810 MW→837 MW)が大きく影響し、2,435 MW減少の3,108 MWとなった。

2. 1999年航空用ガスタービンエンジン生産統計概要

- (1) ターボジェット/ターボファン・エンジンは、前年に比べて合計台数で約20%増加し、99年台数の増加合計推力では約2倍に増加した。99年台数の増加は防衛庁のF-2支援戦闘機用エンジンであるF110の

ライセンス国産開始によるものであり、合計推力の増加も最大推力129 kNのF110エンジンの寄与が大きい。

- (2) ターボシャフト/ターボプロップ・エンジンは、前年に比べて合計台数で約18%増加し、合計出力でも約20%増加した。台数の増加は防衛庁のOH-1小型ヘリコプタ用エンジンであるTS1の生産が本格的に開始されたことや、民間ヘリコプタ用エンジンのMG5の生産によるものであり、合計出力の増加も、新規機種であるこれらのエンジン台数の増加によるものである。
- (3) 5カ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、199台生産され、1988年の生産開始以来の累計は1,369台になった。前年比で見れば67台の減少ではあるが、民間航空業界の需要は昨年引き続き好調である。なお、V2500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。

3. 1999年過給機生産統計概要

- (1) 生産されている形式数は昨年とほぼ同様の157形式であった。
- (2) コンプレッサ翼車外形100 mm以下の過給機の実数台数は前年比約15%増加した。
- (3) コンプレッサ翼車外形100 mm以上の過給機の実数台数は前年比約11%減少した。

◇ 2000年度会費納入のお願い ◇

2000年度の会費をお納めいただいておりますが、未納の方は下記金額を所定の口座或いは事務局宛お送り下さい。

尚、既に銀行引落しの手続きをなさった方は、2000年4月24日貴口座より引落しさせていただきました。

賛助会員	1口	70,000円
正会員		5,000円
学生会員		2,500円

郵便為替	00170-9-179578
銀行	第一勧業銀行西新宿支店
	普通預金口座 1703707
いずれも口座名は(株)日本ガスタービン学会です。	

※かねてより会費自動振替のご協力をお願い致しておりますが、未だ手続きをなさっていない方は巻末の振替依頼書に御記入の上、事務局宛お送り下さい。自動振替をご利用されますと振込手数料は学会負担となります。皆様のご協力お願い致します。

II. 統計

1. 最近6年間のガスタービン生産推移

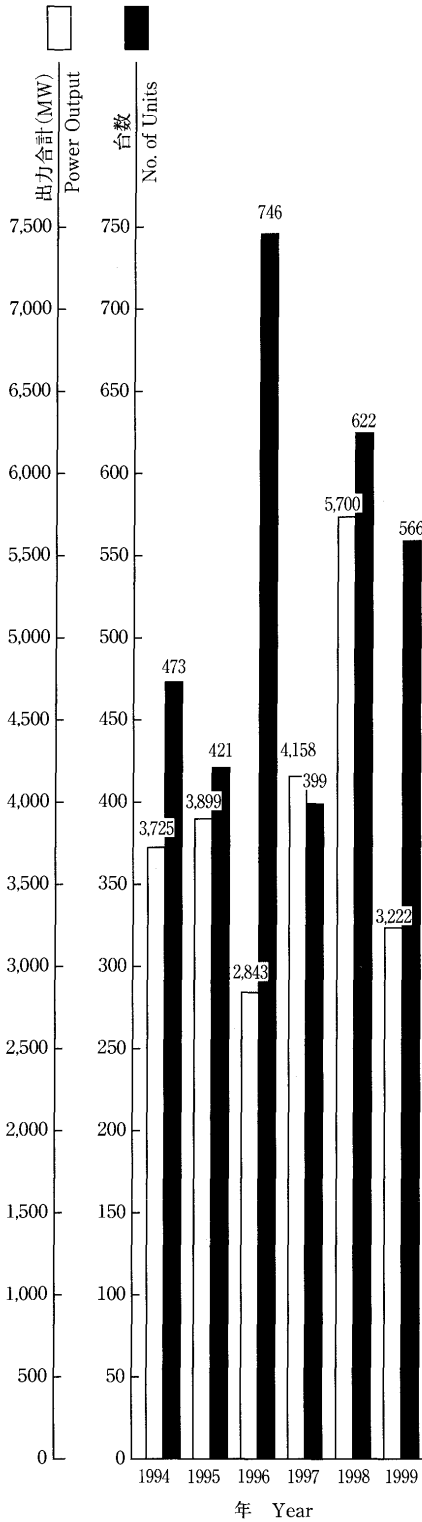


図1 陸船用ガスタービン

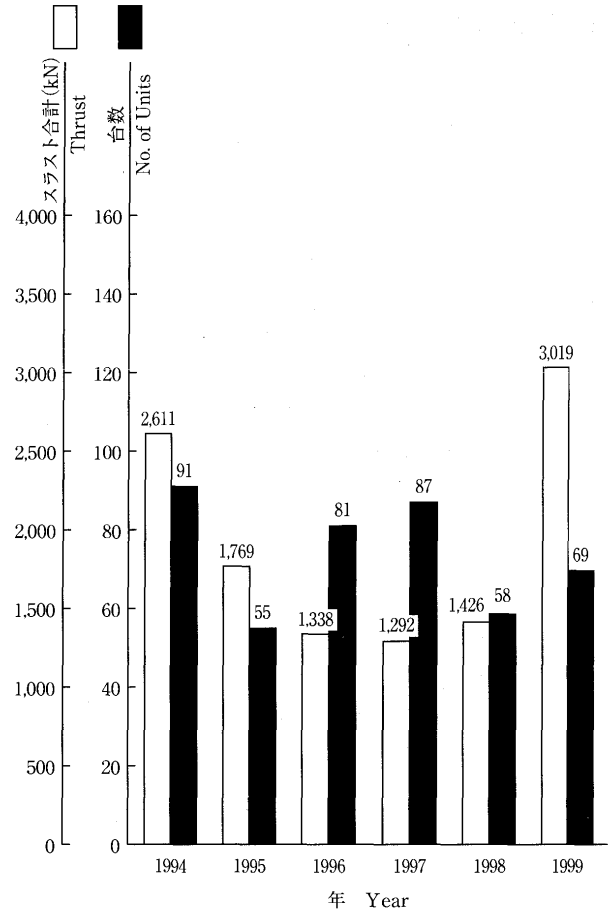


図2 ターボジェット/ターボファン・エンジン

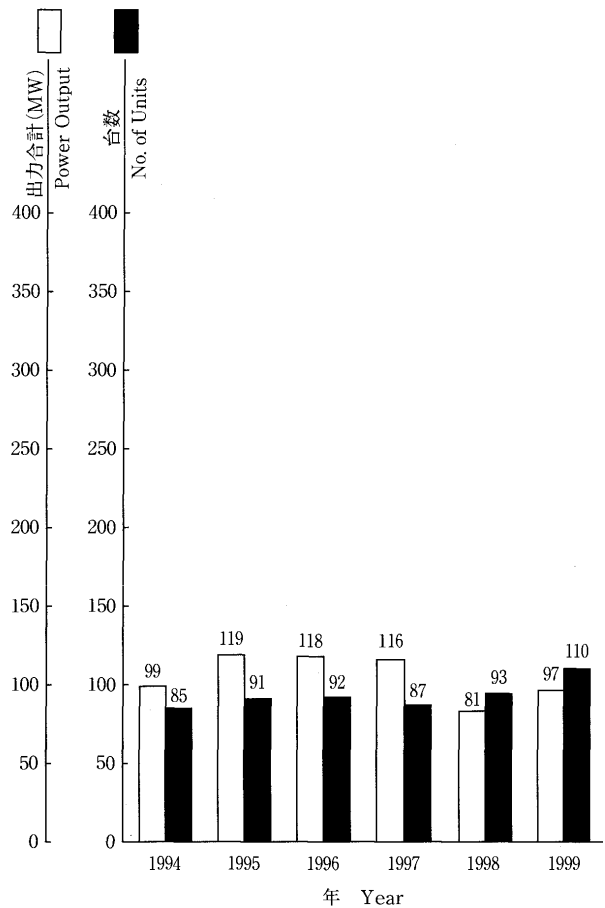


図3 ターボシャフト/ターボプロップ・エンジン

2. 陸船用ガスタービン

表1 1999年用途別生産台数及び出力(kW)

用途 Application	区分 Code	小型 Small Unit 0~735 kW		中型 Medium Unit 736~22,064 kW		大型 Large Unit 22,065 kW~		全出力 Total	
		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	5	1,210	44	194,005	19	2,563,920	68	2,759,135
ピークロード発電用 Generator Drive for Peak Load	PL	1	400	2	6,800	0	0	3	7,200
非常用発電用 Generator Drive for Emergency	EM	213	80,782	149	257,680	0	0	362	338,462
商船用 Merchant Marine	M	0	0	0	0	0	0	0	0
艦隊用 Military Marine	MM	0	0	9	102,652	0	0	9	102,652
その他プロセス用 Miscellaneous Chemical Process	PR	0	0	1	1,500	0	0	1	1,500
教育用 Education	XP	0	0	1	1,000	0	0	1	1,000
冷凍用 Refrigerating	RC	3	635	0	0	0	0	3	635
その他 Miscellaneous	MC	115	3,976	4	7,420	0	0	119	11,396
合計 Total		337	87,003	210	571,057	19	2,563,920	566	3,221,980

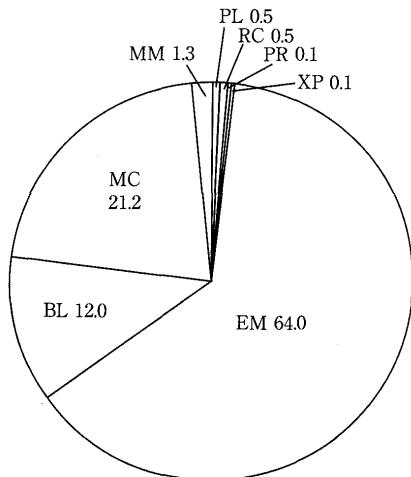


図4 1999年用途別生産台数割合 (%)

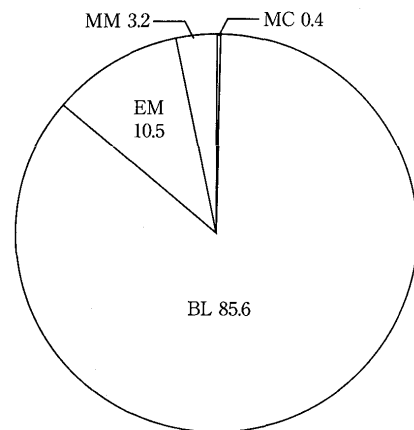


図5 1999年用途別出力割合 (%)

表2 1999年燃料別生産台数及び出力(kW)

区分		Size	小型 Small Unit 0~735 kW		中型 Medium Unit 736~22,064 kW		大型 Large Unit 22,065 kW~		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 Liquified Natural Gas	LNG	0	0	8	44,790	8	969,500	16	1,014,290
	天然ガス Natural Gas	GNG	0	0	2	8,500	6	1,348,500	8	1,357,000
	石炭(ガス化)ガス Coal Gas	GCG	0	0	0	0	0	0	0	0
	液化石油ガス Liquified Petroleum Gas	LPG	0	0	5	26,430	0	0	5	26,430
	都市ガス Town Gas	GTW	4	920	17	60,770	3	26,000	24	87,690
	高炉ガス Blast Furnace Gas	GBF	0	0	0	0	1	144,000	1	144,000
	プロパンガス Propane Gas	GPR	0	0	0	0	0	0	0	0
小計 Sub Total			4	920	32	140,490	18	2,488,000	54	2,629,410
液体燃料 Liquid Fuel	灯油 Kerosene	T	52	14,641	49	149,410	0	0	101	164,051
	軽油 Gas Oil	K	118	8,157	33	144,162	0	0	151	152,319
	重油1種 Heavy Oil No.1	H1	163	63,285	96	136,995	1	75,920	260	276,200
	ナフサ Naphtha	LN	0	0	0	0	0	0	0	0
	小計 Sub Total			333	86,083	178	430,567	1	75,920	512
合計 Total			337	87,003	210	571,057	19	2,563,920	566	3,221,980

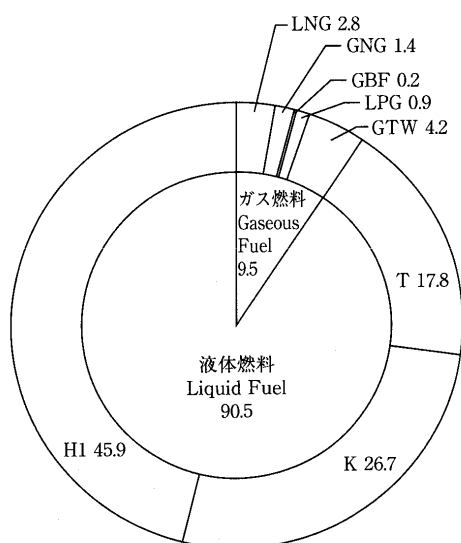


図6 1999年燃料別生産台数割合(%)

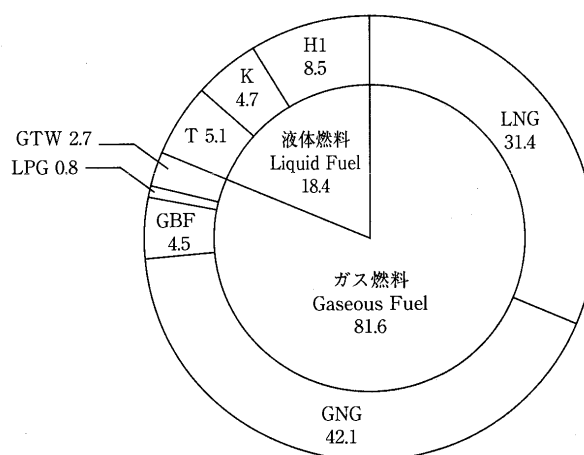


図7 1999年燃料別出力割合(%)

表3 1999年地域別納入台数及び出力(kW)

地域 Location		区分 Size	小型 Small Unit 0~735 kW		中型 Medium Unit 736~22,064 kW		大型 Large Unit 22,065 kW~		全出力 Total	
			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)
国内向け Domestic Use	北海道 Hokkaido		12	3,535	4	18,400	0	0	16	21,935
	東北 Tohoku		26	9,848	8	13,500	0	0	34	23,348
	関東 Kantoh		166	25,645	70	152,650	1	75,920	237	254,215
	中部 Chubu		49	17,025	28	70,485	0	0	77	87,510
	近畿 Kinki		38	13,695	47	117,520	3	26,000	88	157,215
	中国 Chuugoku		12	4,460	7	17,700	1	144,000	20	166,160
	四国 Shikoku		6	2,075	5	8,650	0	0	11	10,725
	九州 Kyuushuu		25	9,680	16	36,600	0	0	41	46,280
	沖縄 Okinawa		2	840	7	13,400	0	0	9	14,240
	船用主機 Marine Propulsion		0	0	6	99,052	0	0	6	99,052
船用補機 Marine Auxilliaries		0	0	3	3,600	0	0	3	3,600	
小計 Sub Total			336	86,803	201	551,557	5	245,920	542	884,280
輸出向け For Export	北米 North America		0	0	0	0	2	230,000	2	230,000
	中南米 South and Central America		0	0	1	7,000	3	552,160	4	559,160
	アジア Asia		1	200	7	11,000	5	787,440	13	798,640
	大洋州 Oceania		0	0	0	0	0	0	0	0
	欧州 Europe		0	0	1	1,500	4	748,400	5	749,900
	旧ソ連 Former Soviet Union		0	0	0	0	0	0	0	0
	中東 Middle East		0	0	0	0	0	0	0	0
	アフリカ Africa		0	0	0	0	0	0	0	0
	未定 Unknown		0	0	0	0	0	0	0	0
小計 Sub Total			1	200	9	19,500	14	2,318,000	24	2,337,700
合計 Total			337	87,003	210	571,057	19	2,563,920	566	3,221,980

表4 1999年被駆動機械別生産台数及び出力 (kW)

被駆動機械 Driven Machinery	区分 Size コード Code	小型 Small Unit 0~735 kW		中型 Medium Unit 736~22,064 kW		大型 Large Unit 22,065 kW~		全出力 Total	
		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	324	82,663	198	462,085	19	2,563,920	541	3,108,668
推進機 Propeller	PRR	0	0	6	99,052	0	0	6	99,052
水ポンプ Water Pump	W	10	3,705	4	7,420	0	0	14	11,125
空気圧縮機 Air Compressor	AC	0	0	1	1,500	0	0	1	1,500
その他 Miscellaneous use	MC	3	635	1	1,000	0	0	4	1,635
合計 Total		337	87,003	210	571,057	19	2,563,920	566	3,221,980

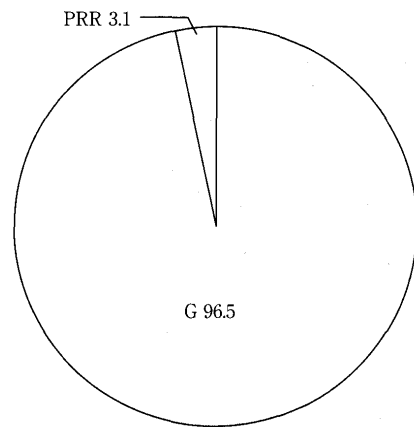
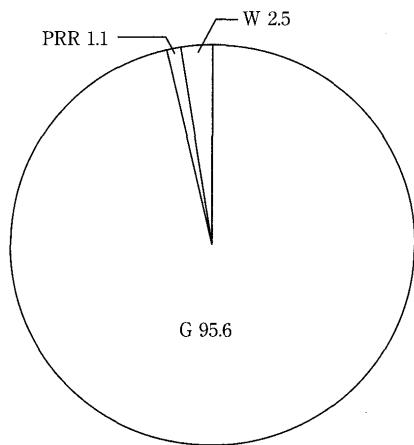


図8 1999年被駆動機械別生産台数割合 (%)

図9 1999年被駆動機械別出力割合 (%)

表5 1999年出力区分別生産台数及び出力 (kW)

出力区分 (kW) Unit Output		台数 Units	出力 Output(kW)
小型 Small Units 0~735 kW	0~ 146	111	865
	147~ 367	104	25,001
	368~ 735	122	61,137
	小計 Sub Total	337	87,003
中型 Medium Units 736~22,064 kW	736~ 4,412	178	274,775
	4,413~10,296	21	129,780
	10,297~16,180	3	39,950
	16,181~22,064	8	126,552
	小計 Sub Total	210	571,057
大型 Large Units 22,065 kW~	22,065~44,129	3	26,000
	44,130~	16	2,537,920
	小計 Sub Total	19	2,563,920
合計 Total		566	3,221,980

表6 1999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	小型 Small Unit 0~735 kW		中型 Medium Unit 736~22,064 kW		大型 Large Unit 22,065 kW~		全出力 Total	
		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	1	75,920	1	75,920
	ピークロード発電用	PL	0	0	1	3,200	0	0	1	3,200
	非常用発電用	EM	0	0	0	0	0	0	0	0
Domestic/Public Use 小計 Sub Total			0	0	1	3,200	1	75,920	2	79,120
国内 自家 用	ベースロード発電用	BL	5	1,210	45	189,105	4	170,000	54	360,315
	ピークロード発電用	PL	1	400	1	3,600	0	0	2	4,000
	非常用発電用	EM	212	80,582	142	246,680	0	0	354	327,262
Domestic/Private Use 小計 Sub Total			218	82,192	188	439,385	4	170,000	410	691,577
国内合計 Domestic Use Total			218	82,192	189	442,585	5	245,920	412	770,697
輸出 事業 用	ベースロード発電用	BL	0	0	0	0	5	757,440	5	757,440
	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	5	757,440	5	757,440
輸出 自家 用	ベースロード発電用	BL	0	0	2	8,500	9	1,560,560	11	1,569,060
	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	1	200	7	11,000	0	0	8	11,200
For Export/Private Use 小計 Sub Total			1	200	9	19,500	9	1,560,560	19	1,580,260
輸出合計 For Export Total			1	200	9	19,500	14	2,318,000	24	2,337,700
事 業 用	ベースロード発電用	BL	0	0	0	0	6	833,360	6	833,360
	ピークロード発電用	PL	0	0	1	3,200	0	0	1	3,200
	非常用発電用	EM	0	0	0	0	0	0	0	0
Public Use 合計 Total			0	0	1	3,200	6	833,360	7	836,560
自 家 用	ベースロード発電用	BL	5	1,210	47	197,605	13	1,730,560	65	1,929,375
	ピークロード発電用	PL	1	400	1	3,600	0	0	2	4,000
	非常用発電用	EM	213	80,782	149	257,680	0	0	362	338,462
Private Use 合計 Total			219	82,392	197	458,885	13	1,730,560	429	2,271,837
総計 Grand Total			219	82,392	198	462,085	19	2,563,920	436	3,108,397

Note: Code Explanation BL: for Base Load PL: for Peak Load EM: for Emergency

3. 航空用ガスタービン

表7 1999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(kN)

生産台数 No. of Units	69*1	スラスト合計*2 Thrust (kN)	3,079
----------------------	------	-------------------------	-------

- *1 V 2500 ファン部 (199 台) は含まない。
Excluding 199 Units of V 2500 Fan Modules
- *2 海面上静止最大スラスト
Maximum Thrust at Sea Level Static Condition

表8 1999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(kW)

区分 Size	0~735 kW		736 kW~		全出力(kW) Total Output	
	台数 Units	出力*3 Output	台数 Units	出力*3 Output	台数 Units	出力*3 Output
用途 Application						
固定翼機用 Fixed Wing Aircraft	0	0	0	0	0	0
ヘリコプタ用 Helicopter	18	11,730	55	82,534	73	94,264
補助機関駆動 Aux. Drive Units	37	2,452	0	0	37	2,452
合計 Total	55	14,182	55	82,534	110	96,716

- *3 海面上静止常用出力
Normal Output at Sea Level Static Condition

4. 過給機

表9 1999年過給機生産台数及び形式数

区分 Class	Size	台数 No. of Units	型式数 No. of Models
	圧縮機翼車外径(mm) Outside Diameter of Compressor Impeller		
Class 1	0~ 100	2,491,382	76
Class 2	101~ 200	32,758	27
Class 3	201~ 300	411	17
Class 4	301~ 400	196	8
Class 5	401~ 500	73	6
Class 6	501~ 600	155	8
Class 7	601~ 700	179	8
Class 8	701~ 800	13	1
Class 9	801~ 900	63	6
Class 10	901~1,000	0	0
合計 Total		33,848*5	80*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。
The figure shows total number of superchargers over 100 mm in impeller diameter.

- *6 圧縮機翼車外径100mmを越す分を示す
The figure shows the total number of superchargers over 100 mm in impeller diameter.

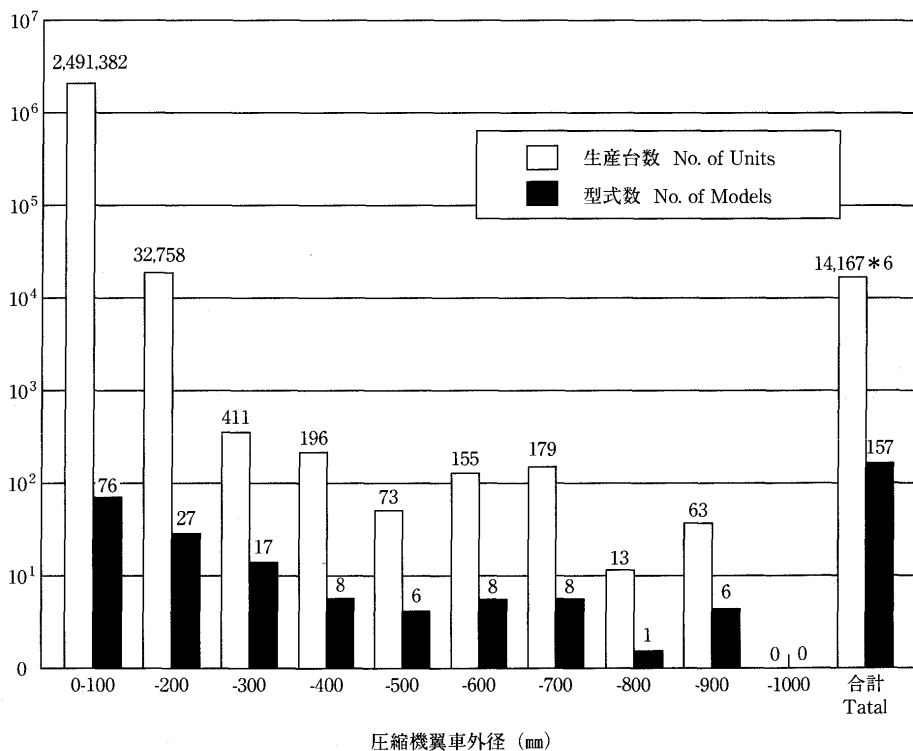


図10 1999年過給機生産台数及び型式数

今回は、中東、大洋州向けが皆無となった。全体としては、台数は前年と比べ10%減の566台、出力は43%減の3,222 MWであった。輸出の大型の減少が今回の特長である。

- (5) 被駆動機械別ではこれまでと同様に、台数、出力とも発電機がほとんどを占め、96%であった。表5に示す出力区分では、前年とは異なり台数では小型クラス(0~735 kW)大幅減が特長。台数の多い順では、736~4,412 kW, 368~735 kW, 147~367 kW, 出力の多い順では44,130 kW以上, 736~4,412 kW, 4,413~10,296 kWとなった。
- (6) 発電用ガスタービンの台数と出力を前年と比較すると、事業用では国内(10台/1,270 MW→2台/79 MW), 輸出(17台/3,541 MW→5台/757 MW)とも台数及び出力で激減した。一方、自家用では国内(480台/448 MW→410台/692 MW), 輸出(14台/284 MW→19台/1,580 MW)と国内の台数減はあるものの出力ではともに大幅増加し事業用とは、逆の結果となった。総計では台数が17%減少(521台→436台)であったが、出力では、事業用の激変(4,810 MW→837 MW)が大きく影響し、2,435 MW減少の3,108 MWとなった。

2. 1999年航空用ガスタービンエンジン生産統計概要

- (1) ターボジェット/ターボファン・エンジンは、前年に比べて合計台数で約20%増加し、99年台数の増加合計推力では約2倍に増加した。99年台数の増加は防衛庁のF-2支援戦闘機用エンジンであるF110の

ライセンス国産開始によるものであり、合計推力の増加も最大推力129 kNのF110エンジンの寄与が大きい。

- (2) ターボシャフト/ターボプロップ・エンジンは、前年に比べて合計台数で約18%増加し、合計出力でも約20%増加した。台数の増加は防衛庁のOH-1小型ヘリコプタ用エンジンであるTS1の生産が本格的に開始されたことや、民間ヘリコプタ用エンジンのMG5の生産によるものであり、合計出力の増加も、新規機種であるこれらのエンジン台数の増加によるものである。
- (3) 5カ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、199台生産され、1988年の生産開始以来の累計は1,369台になった。前年比で見れば67台の減少ではあるが、民間航空業界の需要は昨年引き続き好調である。なお、V2500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。

3. 1999年過給機生産統計概要

- (1) 生産されている形式数は昨年とほぼ同様の157形式であった。
- (2) コンプレッサ翼車外形100 mm以下の過給機の実産台数は前年比約15%増加した。
- (3) コンプレッサ翼車外形100 mm以上の過給機の実産台数は前年比約11%減少した。

◇ 2000年度会費納入のお願い ◇

2000年度の会費をお納めいただいておりますが、未納の方は下記金額を所定の口座或いは事務局宛お送り下さい。

尚、既に銀行引落しの手続きをなさった方は、2000年4月24日貴口座より引落しさせていただきました。

賛助会員	1口	70,000円
正会員		5,000円
学生会員		2,500円

郵便為替	00170-9-179578
銀行	第一勧業銀行西新宿支店
	普通預金口座 1703707
いずれも口座名は(社)日本ガスタービン学会です。	

※かねてより会費自動振替のご協力をお願い致しておりますが、未だ手続きをなさっていない方は巻末の振替依頼書に御記入の上、事務局宛お送り下さい。自動振替をご利用されますと振込手数料は学会負担となります。皆様のご協力お願い致します。

(社)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20日に東京の機械振興会館において開催された。第24期第2回評議員会は同会館地下3階研修2号室にて10時15分より開かれ、評議員の互選により川口修君が議長になり、議事が進められた。評議員会への出席者12名、委任状提出者50名、合計62名で同会が成立することが宣言された。定款・細則変更(案)につき審議が行われ、承認された。次いで、第24期事業報告(案)、同期決算報告書(案)につき審議が行われ、何れも承認された。なお、同案については大島亮一郎、葉山真治両監事による監査結果が水木新平総務委員長より報告された。次いで、各答会推薦案を総会に諮ることが承認された。引き続き第25期事業計画(案)及び予算書(案)の審議が行われ、いずれも総会に諮ることが承認された。議事録署名者を選出して閉会した。

第25期第1回評議員会は同日11時40分より同会場で開かれ、評議員の互選により吉澤晴夫君が議長になり、議事が進められた。最初に、出席者22名、委任状提出者55名、合計77名の出席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われた。すなわち、第25期監事・評議員選挙結果に基づく第25期役員候補者の審議を行い、総会に諮ることが承認された。次に、第26期事業計画及び予算案を平成12年度内に文部省へ提出するための審議手続きが審議され、承認された。最後に予定されていた第25期事業計画・予算案の報告は第24期評議員会の議事と重なるため、賛成多数により省略され、議事録署名者を選出して閉会した。

第24期第2回通常総会は、同日13時より開催された。第24期会長菅進君の開会挨拶の後、同君を議長に選出され、議事が進められた。同総会への出席者35名、委任状提出者1460名、合計1495名(会員数1972名の1/5以上)の出席で同総会の成立が宣言された後、以下の議案の審議が行われた。すなわち、定款・細則の変更について審議が行われ、出席者35名、委任状提出者1460名、合計1495名(会員数1972名の2/3以上)により承認された。引き続き第24期事業報告、同期決算報告につき、水木新平総務(主担当)理事及び土屋利明総務(財務担当)理事による説明の後、大島亮一郎、葉山真治両監事による監査の結果、適正であることが水木新平総務理事より報告された。その後、各答会推薦につき菅会長より提案があり、有賀一朗氏、佐藤文夫氏、高田浩之氏、Heinz E. Gallus氏を各答会員とすることが承認された。ついで、第25期事業計画と予算につき、水木総務理事、土屋総務理事による説明の後、それぞれ承認された。ついで、第25期事業計画と予算につき、水木総務理事、土屋総務理事による説明の後、それぞれ承認された。議事録署名者を選出した後、第24期会長の菅進君より閉会の挨拶があり、第24期第2回通常総会を終了した。

第25期第1回通常総会は、同日14時45分より開催された。第25期会長が選出されるまでは第24期会長が代行することが承認され、菅進君を議長として、議事が進められた。出席者47名、委任状提出者1460名、合計1507名(会員数1972名の1/5以上)で同総会の成立が宣言された後、以下の議事が行われた。第25期監事・評議員選挙結果の報告の後、第25期会長の選出が行われ、伊藤誠嗣君が会長に選出された。菅、伊藤の旧新会長より退任、就任の挨拶が述べられた後、第25期の伊藤会長が議長になり、第25期役員選出が行われ、別場通り議決された。引き続き第26期事業計画及び予算案を平成12年度内に文部省へ提出するための審議手続きが審議され、承認された。第25期事業計画と予算については、既に第24期総会において承認されているので、報告の省略が承認された。議事録署名者を選出した後、第25期第1回通常総会を閉会した。

総会に続いて各答会員推薦状と記念品贈呈式が行われ、前記有賀氏に第24期菅会長より推薦状と記念品が贈呈された。なお、佐藤氏、高田氏及びGallus氏は欠席のため、推薦状と記念品は郵送することとなった。Gallus氏からはメッセージが届いていたので第24期会長がこれを代読した。これらに応じて、有賀氏より挨拶が述べられた。最後に、学会賞授与式が行われ、宮地敏雄学会賞選考委員会委員長より、論文賞(3件)、技術賞(3件)、奨励賞(1件)の選考経過が説明された後、第24期菅進会長より受賞者に学会賞が授与された。

第24期(平成11年度)事業報告

I. 事業の概要

定款に定める諸事業を下記のように実施した。

1. 研究発表会及び学術講演会等の開催(集事業)

Table with 6 columns: 時期, 場所, 名称, 発表内容, 参加者数, 演題数. Lists various academic events and their details.

2. 学会誌及び学術書の刊行(出版事業)

Table with 3 columns: 図書名, 発行年月日, 発行部数. Lists publications and their distribution.

3. 内外関連学協会との連携並びに協力(国際交流事業等)

平成11年度に継続して協賛した行事は19件であり、新規のものは下記の1件である。

Table with 5 columns: 連携の種類, 開催時期, 名称, 場所, 関連団体名. Lists international exchange activities.

4. ガスタービンに関する研究、調査(調査研究事業)

Table with 3 columns: 名称, 実施期間, 調査内容. Lists research projects and their details.

5. 研究の奨励及び研究業績の表彰(表彰事業)

ガスタービンに関連した研究及び技術開発を奨励するため2年に一度、優れた研究、技術に対してガスタービン学会賞(論文賞、技術賞、研究奨励賞)を授与している。平成11年度は表彰の年度に当たり、学会賞審査委員会より、論文賞が三件、技術賞が三件、研究奨励賞が一名推薦された。

6. その他目的を達成するために必要な事業

1999年国際ガスタービン会議神戸大会を幹事学会として支援し、600名を超える参加者が集まり、成功裡に終了した。

II. 処務の概要

1. 役員等に関する事項

1.1 役員(理事、監事)

Table with 2 columns: 職務, 氏名. Lists board members and their positions.

1.2 評議員

監事及び評議員の選出は、定款第15条、第16条、細則第20条、第22条から第27条の各条に基づき実施した。監事には前記2名が選出された。また、前項1.1に記載の理事は、定款第16条及び細則第20条により評議員から除かれた。第24期評議員は下記の6名である。

- List of names of council members: 宇治茂一, 斎藤正泰, 永野進, 中村昌雄, 綿貫一男, 小林利夫, 城敏彦, 星野昭史, 山本肇, 阪口哲也, 弘松幹雄, 大原久良, 岩井益美, 佐々木洋二, 宮坂明, 古瀬裕, 飯田義夫, 梶佐彰一, 本間文博, 松田健, 斎藤浩平, 関英夫, 斎藤哲郎, 猪木恒夫, 藤川泰雄, 熱田正男, 大田原康彦, 川池和彦, 西嶋晴正, 園田豊隆, 伊佐治浩彦, 萩田浩司, 菅本素直, 小原一朗, 塚越敏三, 堀江一郎, 若佐照久, 三宅裕, 筒井賢一, 池上尚, 手島清美, 井上雅弘, 龍波昌伸, 川口修, 長島厚, 原田広史, 遠藤征紀, 佐々木誠, 田丸卓, 角家義樹, 石澤和彦, 伊藤高祖, 神本武臣, 山根隆一郎, 荒川忠一, 柳沢次郎, 長島利夫, 永野三郎, 宮地敏雄, 酒井俊道, 田辺達, 青木千明, 荒木達雄, 眞下俊雄, 大田英輔.

2. 職員に関する事項

Table with 5 columns: 職務, 氏名, 就任年月日, 担当事務, 備考. Lists staff members.

3. 役員会等に関する事項

3.1 理事会

8回開催され、定款・細則改正案、第24期評議員会報告、第24期事業実施に伴う業務、第24期事業報告案・決算案、第24期第2回及び第25期第1回総会議案、第24期第2回及び第25期第1回評議員会議案、第25期事業計画・予算案を審議し、決定した。

3.2 評議員会

第24期第1回評議員会は平成11年4月23日に開催され、第24期評議員・監事選挙結果、第24期役員案、第25期事業計画・予算案を平成11年度内に文部省へ提出するための審議手続きが審議され、総会に諮ることが承認された。

第24期第2回評議員会は平成12年4月20日に開催され、定款・細則の改正案、第24期事業報告・決算案、各答会員候補者推薦、第25期事業計画・予算案が審議され、総会に諮ることが承認された。

3.3 総会

第24期第1回通常総会は、平成11年4月23日に開催され、第24期役員、第24期事業計画・予算を平成11年度内に文部省へ提出するためのしんぎ手続きが審議され、承認された。

第24期第2回通常総会は、平成12年4月20日に開催され、定款・細則の改正、第24期事業報告・決算、各答会員の推薦、第25期事業計画・予算案が審議され、承認された。

4. 許可、認可、承認、証明等に関する事項

Table with 4 columns: 申請月日, 申請事項, 許可年月日, 備考. Lists application items.

5. 契約に関する事項

Table with 3 columns: 契約年月日, 相手方, 契約の概要. Lists contracts.

6. 寄付金に関する事項

Table with 5 columns: 寄付の目的, 寄付者, 申込み金額, 領収金額, 備考. Lists donation items.

7. 主務官庁指示に関する事項

Table with 3 columns: 指示年月日, 指示事項, 履行状況. Rows include H11/01/20 (事務連絡) regarding GTSJ's transition to a public interest corporation and H12/02/21 regarding internal retention levels.

8. 各委員会の活動

- 8.1 総務委員会: 委員長 水木 新平 他10名 開催8回. 8.2 企画委員会: 委員長 佐藤 幹夫 他18名 開催5回. 8.3 編集委員会: 委員長 益田 重明 他19名 開催6回. 8.4 ガスタービン統計作成委員会: 委員長 西原 昭雄 他10名 開催5回. 8.5 学術講演会委員会: 委員長 湯浅 三郎 他10名 開催4回. 8.6 ガスタービン技術情報センター運営委員会: 委員長 山本 誠 他4名. 8.7 地方委員会: 委員長 逆水 洋 他14名 開催3回. 8.8 Bulletin 編集委員会: 委員長 渡辺 紀徳 他8名 開催5回. 8.9 組織検討委員会: 今年度休会. 8.10 会員委員会: 今年度休会. 8.11 選挙管理委員会: 委員長 森田 光弘 他6名 開催3回. 8.12 調査研究委員会: 委員長 手島 清美 他18名 開催5回. 8.13 学会賞審査委員会: 委員長 宮地 敏雄 他15名 開催3回. 8.14 国際交流委員会: 委員長 長島 利夫 他9名 開催1回. 8.15 規則改定委員会: 委員長 吉藤 晴夫 他2名 開催3回. 8.16 ワーキング委員会: CGT出版検討WG(委員長 伊藤 高根)を設置し、CGTの成果を出版することに對して検討を行った。

9. 会員の異動状況

Table showing membership changes: 本年度末 (平成12年3月31日現在) vs 昨年度末 (平成11年3月31日現在). Categories include 正会員, 賛助会員, 学生会員, and 計.

第24期(平成11年度)収支決算

1. 収支計算総括表

平成11年4月1日から平成12年3月31日まで

Summary income statement table with columns: 科目, 合計, 一般会計, 特別会計. Rows include 1. 基本財産運用収入, 2. 会費・入金収入, 3. 事業収入, 4. 補助金収入, 5. 雑収入, 6. 繰入金収入.

Summary income statement table with columns: 当期収入合計, 前期繰越収支差額, 収入合計, 支出の部 (1. 事業費, 2. 管理費, 3. 特定預金支出), 当期支出合計, 当期収支差額, 次期繰越収支差額.

2. 正味財産計算書総括表

平成11年4月1日から平成12年3月31日まで

Summary net asset statement table with columns: 科目, 合計, 一般会計, 特別会計. Rows include 増加の部 (資産増加額, 負債減少額) and 減少の部 (資産減少額, 負債増加額).

3. 貸借対照表総括表

平成12年3月31日現在

Summary balance sheet table with columns: 科目, 合計, 一般会計, 特別会計. Rows include 流動資産, 固定資産, 負債, 正味財産 (うち基本金).

4. 一般会計

4.1 収支計算書

平成11年4月1日から平成12年3月31日まで

(単位:円)

Detailed income statement table with columns: 科目, 予算額, 決算額, 差異, 備考. Rows include 基本財産運用収入, 預金利息, 入会金収入, 正学生会員費収入, 学費収入, 事業収入, 定期講演会, 見学会技術講演会, G T セミナー, 教育シンポジウム, 秋季講演会収入, 出版事業, 会誌広告, 統計資料販売, 統計資料広告, 補助金等収入, 雑収入, 運用資産定期預金, 運用資産普通預金, 表彰事業基金定期預金, 雑収入, 特定預金取崩収入, 事務所整備預金取崩.

科 目	予 算 額	決 算 額	差 異	備考
当期収入合計(A)	38,251,000	38,348,800	△ 97,800	
前期末繰越収支差額	25,358,486	25,358,486	0	
収入合計(B)	63,609,486	63,707,286	△ 97,800	
【支出の部】				
出版事業費	11,678,000	10,423,585	[1,254,415]	
(会費)	(120,000)	(121,242)	(△ 1,242)	
編集委員会	(120,000)	(121,242)	(△ 1,242)	
(通信運搬費)	(1,180,000)	(1,101,823)	(△ 78,177)	
会誌	1,080,000	1,101,823	△ 21,823	
統計資料集	100,000	0	100,000	
(印刷製本費)	(9,540,000)	(8,532,810)	(1,007,190)	
学生会誌	7,740,000	7,360,110	379,890	
学生会広報誌	100,000	140,700	△ 40,700	
統計資料集	1,700,000	1,032,000	668,000	
(原料)	(838,000)	(667,710)	(170,290)	
学生会誌	838,000	667,710	170,290	
編集事業費	3,870,000	3,135,083	[734,917]	
(会費)	(255,000)	(321,300)	(△ 66,300)	
学術講演会委員会	55,000	30,000	25,000	
学術委員会	100,000	72,000	28,000	
地方委員会	100,000	219,300	△ 119,300	
(臨時預貸金)	(30,000)	0	30,000	
定期講演会	10,000	0	10,000	
秋季講演会	10,000	0	10,000	
G T セミナ	10,000	0	10,000	
(旅費交通費)	(135,000)	(164,020)	(△ 29,020)	
定期講演会	5,000	0	5,000	
G T セミナ	10,000	0	10,000	
秋季講演会	50,000	132,740	△ 82,740	
特別講演会	20,000	0	20,000	
教育シンポジ	50,000	31,280	18,720	
(通信運搬費)	(215,000)	(147,570)	(67,430)	
特別講演会	5,000	0	5,000	
見学会技術懇談会	10,000	6,190	3,810	
シンポジウ	5,000	0	5,000	
定期講演会	10,000	14,800	△ 4,800	
G T セミナ	120,000	61,610	58,390	
秋季講演会	10,000	19,840	△ 9,840	
フォー	5,000	0	5,000	
教育シンポジ	50,000	45,130	4,870	
(印刷製本費)	(980,000)	(770,700)	(209,300)	
定期講演会	250,000	218,400	31,600	
G T セミナ	220,000	150,150	150,150	
秋季講演会	350,000	217,350	132,650	
特別講演会	10,000	0	10,000	
シンポジウ	10,000	0	10,000	
見学会技術懇談会	10,000	0	10,000	
フォー	10,000	0	10,000	
教育シンポジ	120,000	184,800	△ 64,800	
(賃借料)	(430,000)	(168,655)	(261,345)	
特別講演会	20,000	10,000	10,000	
シンポジウ	40,000	0	40,000	
定期講演会	100,000	78,225	21,775	
G T セミナ	100,000	0	100,000	
秋季講演会	150,000	80,430	69,570	
教育シンポジ	20,000	0	20,000	
(謝礼金)	(410,000)	(358,236)	(51,764)	
特別講演会	10,000	11,111	△ 1,111	
技術懇談会	10,000	11,110	△ 1,110	
シンポジウ	20,000	0	20,000	
G T セミナ	230,000	222,220	7,780	
定期講演会	25,000	11,111	13,889	
秋季講演会	25,000	30,464	△ 5,464	
フォー	30,000	16,665	13,335	
教育シンポジ	60,000	55,555	4,445	
(雑費)	(1,415,000)	(1,204,602)	(210,398)	
特別講演会	10,000	0	10,000	
見学会技術懇談会	50,000	75,557	△ 25,557	
シンポジウ	10,000	0	10,000	
定期講演会	400,000	318,150	81,850	
G T セミナ	100,000	91,240	8,760	
秋季講演会	720,000	388,501	331,499	
フォー	25,000	4,000	21,000	
教育シンポジ	100,000	327,154	△ 227,154	
調査研究事業費	410,000	150,520	[259,480]	
(会費)	(260,000)	(150,520)	(109,480)	
生産統計委員会	40,000	0	40,000	
技術情報センター委員会	20,000	0	20,000	
調査研究委員会	200,000	150,520	49,480	
(通信運搬費)	(40,000)	0	40,000	
生産統計	10,000	0	10,000	
技術情報センター	10,000	0	10,000	
調査研究	20,000	0	20,000	
(雑費)	(110,000)	0	110,000	
生産統計関係	50,000	0	50,000	
技術情報センター関係	10,000	0	10,000	
調査研究関係	50,000	0	50,000	
表彰事業費	160,000	30,868	[129,132]	
委員会費	50,000	20,000	30,000	
通信運搬費	10,000	0	10,000	
雑費	100,000	10,868	89,132	
管理費	23,068,000	22,798,258	[269,742]	
給与手当	11,300,000	10,667,779	632,221	
事務委託費	70,000	85,234	△ 15,234	
事務委託費	1,764,000	1,764,000	0	
事務合理化費	300,000	13,990	286,010	
社会保険費	1,000,000	1,409,664	△ 409,664	
理事会費	230,000	235,440	△ 5,440	
評議員会費	120,000	82,650	37,350	
総務委員会費	450,000	517,197	△ 67,197	
総務委員会費	100,000	99,150	50	
組織委員会費	30,000	0	30,000	
委員会費	30,000	0	30,000	
選挙管理委員会費	30,000	16,000	14,000	
規則改定委員会費	30,000	3,000	27,000	
評議員選挙費	400,000	331,130	68,870	
旅費	200,000	60,912	139,088	
文通費	50,000	33,920	16,080	
什器備品費	200,000	0	200,000	
図書費	5,000	5,000	0	
消耗品費	1,200,000	1,208,351	△ 8,351	
印刷費	100,000	95,050	4,950	
通信運搬費	600,000	1,365,114	△ 765,114	

科 目	予 算 額	決 算 額	差 異	備考
事務所費用	4,140,000	3,990,000	150,000	
光熱水料	200,000	211,346	△ 11,346	
繕	45,000	60,700	△ 15,700	
日内運金	140,000	140,000	0	
共費分担金	10,000	0	10,000	
日本工学会会費	34,000	35,100	△ 1,100	
雑	300,000	267,531	32,469	
特定預金支出	800,000	800,000	0	
退職給与引当金支出	800,000	800,000	0	
当期支出合計(C)	39,986,000	37,338,314	2,647,686	
当期収支差額(A)-(C)	△ 1,735,000	1,010,486	△ 2,745,486	
次期繰越収支差額(B)-(C)	23,623,486	26,368,972	△ 2,745,486	

4.2 正味財産増減計算書

平成11年 4月 1日 から平成12年 3月 31日まで (単位:円)

科 目	金 額		
【増加の部】			
資産増加額			
当期収支差額	1,010,486		
退職給与引当金増加額	800,000	1,810,486	
負債減少額			
増加額合計			1,810,486
【減少の部】			
資産減少額			
負債増加額	800,000	800,000	
退職給与引当金繰入額			
減少額合計			800,000
当期正味財産増加額			1,010,486
前期末繰越正味財産額			45,870,529
期末正味財産合計額			46,881,015

4.3 貸借対照表

平成12年 3月 31日現在 (単位:円)

科 目	金 額		
【資産の部】			
流動資産			
現金預金	27,451,382		
流動資産合計			27,451,382
固定資産			
基本財産			
基本財産引当預金	6,014,266		
基本財産合計			6,014,266
その他の固定資産			
什器備品	865,777		
敷金	1,032,000		
記念事業準備積立預金	500,000		
助成事業準備積立預金	500,000		
退職給与引当預金	20,700,000		
表彰事業基金	8,000,000		
事務所整備準備金	3,600,000		
その他の固定資産合計	35,197,777		
固定資産合計			41,212,043
資産合計			68,663,425
【負債の部】			
流動負債			
前受会費	1,037,700		
その他預り金	7,000		
雇用保険預り	37,710		
流動負債合計			1,082,410
固定負債			
退職給与引当金	20,700,000		
固定負債合計			20,700,000
負債合計			21,782,410
【正味財産の部】			
正味財産			46,881,015
(うち基本財産)			(6,014,266)
(うち当期正味財産増加額)			(1,010,486)
負債及び正味財産合計			68,663,425

4.4 会計方針

- (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を充当でき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、前受会費及び預り金を含むこととしている。
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。

(単位:円)

科 目	前期末残高	当期末残高
現金・預金	25,893,837	27,451,382
前受会費及び預り金	535,351	1,082,410
次期繰越収支差額	25,358,486	26,368,972

5. 特別会計

5.1 収支計算書

平成11年 4月 1日 から平成12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	1,090,000	1,063,000	[27,000]	
プレティン広告収入	790,000	825,000	△ 35,000	
プレティン販売収入	300,000	238,000	62,000	
雑収入	101,000	37,303	[63,697]	
普通預金受取利息	1,000	966	34	
定期預金受取利息	50,000	9,337	40,663	
国際交流基金受取利息	50,000	27,000	23,000	
特定預金取崩収入	1,500,000	0	1,500,000	
国際交流基金取崩収入	1,500,000	0	1,500,000	
繰入金収入	6,900,000	8,560,000	△ 1,660,000	
国際会議作業受託金	400,000	3,560,000	△ 3,160,000	
国際会議返戻金	6,500,000	5,000,000	1,500,000	

(単位:円)

科目	予算額	決算額	差異	備考
当期収入合計(A)	9,591,000	9,660,303	△ 69,303	
前期繰越収支差額	6,959,522	6,959,522	0	
収入合計(B)	16,550,522	16,619,825	△ 69,303	
【支出の部】				
出版事業費	2,410,000	22,000	2,388,000	
ブレイク制作費	1,750,000	0	1,750,000	
ブレイク発送費	460,000	0	460,000	
ブレイク原稿料	140,000	0	140,000	
ブレイク編集委員会費	60,000	22,000	38,000	
管理費	1,430,000	1,289,296	140,702	
船賃	700,000	1,287,798	△ 587,798	
会議費	240,000	0	240,000	
印刷費	120,000	0	120,000	
通信費	80,000	0	80,000	
雑費	290,000	1,500	288,500	
国際会議貸出金	1,500,000	0	1,500,000	
国際会議貸入金	1,500,000	0	1,500,000	
国際交流事業費	750,000	13,149	736,851	
国際交流会費	250,000	0	250,000	
雑費	500,000	13,149	486,851	
特定預金支出	6,500,000	6,500,000	0	
国際交流基金積立預金支出	6,500,000	6,500,000	0	
当期支出合計(C)	12,590,000	7,824,447	4,765,553	
当期収支差額(A)-(C)	△ 2,999,000	1,835,856	△ 4,834,856	
次期繰越収支差額(B)-(C)	3,960,522	8,795,378	△ 4,834,856	

5.2 正味財産増減計算書

平成11年 4月 1日 から 平成12年 3月 31日まで

(単位:円)

科目	金額	金額	金額
【増加の部】			
資産増加額			
当期収支差額	1,835,856		
国際交流基金積立金増加額	6,500,000	8,335,856	
負債減少額			
増加額合計			8,335,856
【減少の部】			
資産減少額			
負債増加額			
減少額合計			0
当期正味財産増加額			8,335,856
前期繰越正味財産額			11,459,522
期末正味財産合計額			19,795,378

5.3 貸借対照表

平成12年 3月 31日 現在

(単位:円)

科目	金額	金額	金額
【資産の部】			
流動資産			
現金・預金	9,129,878		
流動資産合計		9,129,878	
固定資産			
その他の固定資産			
国際交流基金積立預金			
三井貸付債権	11,000,000		
その他の固定資産合計		11,000,000	
固定資産合計		11,000,000	
資産合計		20,129,878	
【負債の部】			
流動負債			
預り金	334,500		
流動負債合計		334,500	
負債合計		334,500	
【正味財産の部】			
正味財産			19,795,378
(うち当期正味財産増加額)			(8,335,856)
負債及び正味財産合計			20,129,878

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、前受会費及び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。

(単位:円)

科目	前期末残高	当期末残高
現金・預金	6,959,522	9,129,878
前受会費及び預り金	0	334,500
次期繰越収支差額	6,959,522	8,795,378

6. 財産目録

平成12年 3月 31日現在

【資産の部】

1. 銀行預金

貸付信託	中央三井信託銀行新宿西口支店 (注1)	25,000,000 円
定期預金	中央三井信託銀行新宿西口支店 (注2)	25,314,266 円
普通預金	第一勧業銀行西新宿支店 (注3)	4,645,896 円
	第一勧業銀行西新宿支店 (注4)	3,541,639 円
	中央三井信託銀行新宿西口支店 (注3)	100,858 円
	野村證券 (注3)	22,189,958 円
	野村證券 (注4)	5,588,239 円
	(注3)	514,670 円
	(注5)	1,032,000 円
什器備品	パーソナルコンピューター	865,777 円
資産合計		88,793,303 円

【負債の部】

1. 預り金

1,416,910 円

2. 退職給付引当金

20,700,000 円

負債合計

22,116,910 円

【正味財産の部】

正味財産

66,676,393 円

- (注1) 基本財産 6,000,000 円
 国際交流基金 11,000,000 円
 表彰事業基金 8,000,000 円
- (注2) 基本財産 14,266 円
 退職給付引当金 20,700,000 円
 事務所整備準備金 3,600,000 円
 記念事業準備金積立金 500,000 円
 助成事業準備金積立金 500,000 円
- (注3) 一般会計運用財産
- (注4) 特別会計運用財産
- (注5) 第3工新ビル301号室, 402号室敷金

平成12年 4月 13日

社団法人 日本ガスタービン学会
会長 菅 進 殿

社団法人 日本ガスタービン学会

監事 大島 亮一郎 印

監事 葉山 眞治 印

監 査 報 告

平成11年度事業報告書、収支計算書、及び財産目録等について、関係書類とともにその内容を監査した結果、法令および定款に照らして正当であることを認めます。

第25期 監事・評議員選挙結果

・監事 (氏名:五十音順・敬称略)			番号	氏名	勤務先	番号	氏名	勤務先
番号	氏名	勤務先	31	宮地 敏雄	東京電機大学	66	青藤 浩平	東芝エンジニアリング(株)
1	有賀 一郎	千葉工業大学	32	酒井 俊道	東京理科大学	67	三賢 憲治	東電設計(株)
2	能瀬 弘幸	海洋科学技術センター	33	本阿弥 慎治	東京理科大学	68	青木 康芳	東北電力(株)
・評議員 (候補者番号順・敬称略)			34	竹野 忠夫	名古屋大学	69	加藤 利夫	(株)新沼鉄工所
番号	氏名	勤務先	35	田辺 清	日本航空機エンジン協会	70	佐々木 直人	日産自動車(株)
1	船崎 健一	岩手大学	36	水木 新平	法政大学	71	臼井 俊一	日本鋼管(株)
2	三宅 裕	大阪大学	37	荒木 達雄	武蔵工業大学	72	吉岡 俊彦	日本航空(株)
3	筒井 康賢	機械技術研究所	38	大田 (吉岡) 英輔	早稲田大学	73	熱田 正房	(株)日立製作所
4	濱 純	機械技術研究所	39	伊藤 源嗣	石川島播磨重工業(株)	74	大田原 謙彦	(株)日立製作所
5	手島 清美	京都大学	40	川嶋 鏡裕	石川島播磨重工業(株)	75	川池 和彦	(株)日立製作所
6	水谷 幸夫	近畿大学	41	永野 進	石川島播磨重工業(株)	76	中村 昭三	(株)日立製作所

監事 (氏名:五十音順・敬称略)	番号	氏名	勤務先	番号	氏名	勤務先															
7 井上 雅弘	九州大学	42 真家 孝	石川島播磨重工業(株)	77 西嶋 康正	(株)日立製作所																
8 速水 洋	九州大学	43 宮下 和也	石川島播磨重工業(株)	78 吉川 修平	(株)富士機械ガスタービン研究所																
9 藤波 昌伸	熊本工業大学	44 井上 良夫	石川島汎用機械(株)	79 磯部 信一	三井造船(株)																
10 川口 修	慶心義塾大学	45 植草 久雄	(株)花原製作所	80 高木 俊幸	三井造船(株)																
11 長島 昭	慶心義塾大学	46 城 敏彦	大阪ガス(株)	81 青木 素直	三菱重工業(株)																
12 益田 重明	慶心義塾大学	47 岩本 敏昭	川崎重工業(株)	82 小原 一郎	三菱重工業(株)																
13 原田 広史	金属材料技術研究所	48 杉本 隆雄	川崎重工業(株)	83 塚越 敬三	三菱重工業(株)																
14 遠藤 征紀	航空宇宙技術研究所	49 長谷川 聡	川崎重工業(株)	84 長谷川 清	三菱重工業(株)																
15 杉山 七架	航空宇宙技術研究所	50 星野 昭史	川崎重工業(株)	85 福江 一郎	三菱重工業(株)																
16 田丸 卓	航空宇宙技術研究所	51 森 建二	川崎重工業(株)	次点者																	
17 吉田 豊明	航空宇宙技術研究所	52 水野 孝則	関西電力(株)	1 湯浅 三郎	東京都立科学技術大学																
18 角家 義樹	摂南大学	53 井上 誠	(株)コマツ	2 亀本 喬司	横浜国立大学																
19 平岡 克英	船舶技術研究所	54 弘松 幹雄	(株)先進材料利用ガスジェネレータ研究所	3 藤川 泰雄	日産自動車(株)																
20 石澤 和彦	超音速輸送機用推進システム技術研究組合	55 野村 卓三	全日本空輸(株)	<table border="1"> <tr><td>投票数</td><td colspan="2">843票</td></tr> <tr><td></td><td>評議員</td><td>監事</td></tr> <tr><td>有効票</td><td>839</td><td>824</td></tr> <tr><td>無効票</td><td>2</td><td>10</td></tr> <tr><td>白票</td><td>2</td><td>9</td></tr> </table>			投票数	843票			評議員	監事	有効票	839	824	無効票	2	10	白票	2	9
投票数	843票																				
	評議員	監事																			
有効票	839	824																			
無効票	2	10																			
白票	2	9																			
21 新田 明人	電力中央研究所	56 大原 久宜	中部電力(株)																		
22 三巻 利夫	電力中央研究所	57 佐々木洋二	トヨタ自動車(株)																		
23 伊藤 高根	東海大学	58 宮坂 明	東京ガス(株)																		
24 佐野 妙子	東海大学	59 土屋 利明	東京電力(株)																		
25 山根隆一郎	東京工業大学	60 古瀬 裕	東京電力(株)																		
26 荒川 忠一	東京大学	61 飯田 義亮	(株)東芝																		
27 梶 昭次郎	東京大学	62 和泉 敏彦	(株)東芝																		
28 長島 利夫	東京大学	63 岡村 隆成	(株)東芝																		
29 永野 三郎	東京大学	64 檜佐 彰一	(株)東芝																		
30 吉謙 晴夫	東京大学	65 松田 健	(株)東芝																		

第25期(平成12年度)役員および評議員

理事・会長 伊藤源嗣
 副会長 酒井俊道
 総務理事 川口 修(主担当)、熱田正房(財務)、岡村隆成、森建二、真家 孝
 企画理事 吉川修平(主担当)、遠藤征紀、筒井康賢、竹内崇雄、古瀬 裕、吉岡俊彦
 編集理事 益田重明(主担当)、荒川忠一、和泉敏彦、高木俊幸、長谷川清、三巻利夫、山本勝弘
 監事 有賀一郎、能瀬弘幸
 評議員 前期選挙結果のうち、上記理事に就任した方を除く65名

第25期(平成12年度)事業計画

1. 事業の概要

平成12年度(第25期:平成12年4月1日から平成13年2月28日まで)は、前年度に引き続き、定款に定める下記諸事業を行う計画である。第25期においては学会誌の年間6回の発行体制を維持すると共に、会員名簿の発行を行う予定である。さらに、学会設立30周年記念事業の準備、4年後の次期国際会議に向けての準備、学会及び事務局の一層の合理化や会員へのサービス改善ならびに財務体質の強化を行う予定である。

(1) 研究発表会及び学術講演会等の開催(集金事業)

名 称	予 定 回 数	開 催 予 定 時 期
定期講演会	1回	平成12年6月
見学会・技術懇談会	2回	6月他
教育シンポジウム	1回	7月
秋季講演会	1回	11月
セミナー	1回	平成13年1月
フォーラム	1回	未定
シンポジウム	1回	未定

(2) 学会誌及び学術図書の刊行(出版事業)

図 書 名	発 行 予 定 時 期	予 定 部 数
ガスタービン学会誌	平成12年5月、7月、9月、 11月、平成13年1月	約2,300
定期講演会論文集	平成12年6月	200
秋季講演会論文集	平成12年11月	200
セミナー資料集	平成13年1月	230
Bulletin of GTSJ	平成12年4月、平成13年2月	800

(3) 内外関連学協会との連携並びに協力(国際協力事業)

2003年に開催される次期国際会議に向けて 海外関連学協会及び国際会議の海外アドバイザーコミッテとの連携の強化を図る。また、Bulletin of GTSJを刊行して海外関連学協会へ配布し、学会の活動状況を紹介することにより情報交換を密にする。
 国内については昨年度と同様に、関連学協会(約25団体)との共催及び協賛により学術講演会、セミナー等を計画、実施するとともに、必要に応じて関連学協会の行事を協賛する予定である。

(4) ガスタービンに関する研究・調査(調査研究事業)

一昨年度より実施中の「ガスタービンのモニタリング技術に関する調査研究」を引き続き実施し、遠隔モニタリングに関する技術動向を明らかにし、資料集を発行する。また、平成12年のわが国におけるガスタービン及び過給機の生産実績の統計資料を収集、集計し、学会誌及びBulletin of GTSJに掲載する。

(5) 研究の奨励及び研究業績の表彰(表彰事業)

ガスタービンに関連する研究及び技術開発を奨励するために、優れた研究と技術に対して毎年ガスタービン学会賞を授与している。昨年度は表彰年度に該当し、その表彰を平成12年4月に開催される総会で行う。

(6) その他目的を達成するために必要な事業

ガスタービン学会名簿を発行し、会員相互の交流に役立てる。

2. 委員会の設置

以上の諸事業を実施するため、下記の常置及び臨時委員会を設置する。

- 常置委員会: (1)総務委員会
 (2)企画委員会
 (3)編集委員会
 (4)ガスタービン統計作成委員会
 (5)学術講演会委員会
 (6)ガスタービン技術情報センター運営委員会
 (7)地方委員会
 (8)Bulletin編集委員会
 (9)国際交流委員会
- 臨時委員会: (1)組織検討委員会
 (2)会員委員会
 (3)選挙管理委員会
 (4)調査研究委員会
 (5)学会賞審査委員会
 (6)財務検討委員会
 (7)30周年準備委員会
 (8)その他

第25期(平成12年度)収支予算

1. 予算総括表

平成12年4月1日から平成13年2月28日まで

科 目	合 計	一 般 会 計	特 別 会 計
I. 収入の部	円	円	円
1. 基本財産運用収入	40,000	40,000	0
2. 会費・入会金収入	22,853,000	22,853,000	0
3. 事業収入	13,130,000	12,040,000	1,090,000
4. 補助金等収入	0	0	0
5. 雑収入	3,991,000	2,160,000	1,831,000
6. 繰入金収入	9,160,000	0	9,160,000
7. 特定預金収入	0	0	0
当期収入合計	49,174,000	37,093,000	12,081,000
前期繰越収支差額	35,164,350	26,368,972	8,795,378
収入合計	84,338,350	63,461,972	20,876,378
II. 支出の部			
1. 事業費	19,770,000	15,810,000	3,960,000
2. 管理費	24,658,000	23,218,000	1,440,000
3. 敷金・保証金	0	0	0
4. 国際会議貸出金	0	0	0
5. 繰入金支出	0	0	0
6. 特定預金支出	17,285,734	9,285,734	8,000,000
当期支出合計	61,713,734	48,313,734	13,400,000
当期収支差額	-12,539,734	-11,220,734	-1,319,000
次期繰越収支差額	22,624,616	15,148,238	7,476,378

2. 一般会計 収支予算書

平成12年 4月 1日から平成13年 2月 28日まで

(単位:円)

Table with 5 columns: 科目, 予算額, 前年度予算額, 増減, 備考. It details the general account budget for the period from April 1, 2000, to February 28, 2001, including income and expenditure items.

Table with 5 columns: 科目, 予算額, 前年度予算額, 増減, 備考. It details the special account budget for the period from April 1, 2000, to February 28, 2001, including items like performance fees and administrative costs.

3. 特別会計 収支予算書

平成12年 4月 1日から平成13年 2月 28日まで

(単位:円)

Table with 5 columns: 科目, 予算額, 前年度予算額, 増減, 備考. It details the special account budget for the period from April 1, 2000, to February 28, 2001, including items like publishing fees and international exchange funds.

2000年度第1回見学会報告

長谷川好道

HASEGAWA Yoshimichi

平成12年5月26日(金)にハウメット・ジャパン株式会社殿寺井工場の見学会が開催された。大学関係、ガスタービンメーカー等から総勢35名の参加者があり、今回の見学の調整をいただいた佃地方委員の進行で始められた。

まず、太田副社長殿のご挨拶に引き続き、ハンブルトン社長殿による会社概要および精密鑄造工程、特に品質管理の現状等について英語による説明がなされた。

本工場は、1962年(株)小松製作所が米国ハウメット社と技術提携を結び、1972年両社各々50%出資による小松ハウメット(株)を小松製作所大阪工場内に設立、1995年に現在の寺井工場へ移行、2000年にハウメット社の100%出資となり、社名もハウメット・ジャパン(株)と改名され、現在に至っているとのことである。品質管理は従来のゲージ管理と人の技量に頼っていたものを、デジタル管理化による6 σ 、工程は一括工程管理、開発はコンカレントエンジニアリングによる期間短縮を計る等種々の試みが行い入れられている。

概要説明後、工場見学に移り、精密鑄造工程に従い、ワックス成形、鑄型成形、鑄込み、検査と順々に説明頂

き、大変わかりやすい内容で、質疑応答も活発に行われた。近年、製品データを電子化し、品質向上、コスト削減に役立っているとのこと、各工程毎にデータを入力していき一括管理による共有化を計るというもので、ペーパーレスの効果と統計手法を用いたデータ管理を行うことで品質の向上が得られるということである。また、寸法計測値の自動入力化や許容公差をはずれたデータは一目で判るように色分けするなどして、品質の管理を行うと同時に、単純な作業ミスを防ぎ、作業効率を向上させる工夫が色々とされていた。また、鑄造工場に抱く一般の認識に反し、非常にクリーンな工場との印象を強く持った。

見学後も活発な質疑応答があり、最後に橋本地方委員会委員長より、今回の見学会が非常に有意義であった旨の謝辞が述べられ、閉会となった。

最後に、ご多忙中のところ、見学の準備および当日いろいろお世話いただきましたハウメット・ジャパン(株)の方々に厚くお礼申し上げます。

(ダイハツディーゼル(株)、地方委員会委員)

○ 本会協賛・共催行事 ○

会 合 名	開催日・会場	詳細問合せ先
第32回高温材料技術講習会	2000/7/26 日本セラミックス協会 3F会議室	日本セラミックス協会 高温材料技術講習会係 TEL 03-3362-5232 FAX 03-3362-5714
第9回日本エネルギー学会大会	2000/8/2-4 工学院大学新宿校舎	日本エネルギー学会 担当 森寺弘充 TEL 03-3834-6456 FAX 03-3834-6458 E-MAIL: moridera@jie.or.jp
第243回講習会 技術開発におけるタグチメソッドの有効活用と実施例	2000/9/7-8 大阪科学技術センター 8階 中ホール	日本機械学会関西支部 TEL 06-6443-2073 FAX 06-6443-6049 E-MAIL: jsme@butaman.ne.jp
MEMS ワークショップ「MEMSの可能性と混相流」	2000/9/26 日本大学理工学部駿河台校舎	日本大学理工学部機械工学科 木村元昭 TEL 03-3259-0750 FAX 03-3293-8254 E-MAIL: kimura@mech.cst.nihon-u.ac.jp
第8回機械材料・材料加工技術講演会「M&P 2000」	2000/11/27-28 早稲田大学国際会議場	日本機械学会 担当 佐藤秋雄 TEL 03-5360-3505 FAX 03-5360-3509
第14回数値流体力学シンポジウム	2000/12/21-23 中央大学 理工学部 春日キャンパス	東京理科大学工学部機械工学科 山本誠 TEL 03-3260-4272 (ex. 3352) FAX 03-3260-4291

2000年度第1回見学会報告

長谷川好道

HASEGAWA Yoshimichi

平成12年5月26日(金)にハウメット・ジャパン株式会社殿寺井工場の見学会が開催された。大学関係、ガスタービンメーカー等から総勢35名の参加者があり、今回の見学の調整をいただいた佃地方委員の進行で始められた。

まず、太田副社長殿のご挨拶に引き続き、ハンブルトン社長殿による会社概要および精密鑄造工程、特に品質管理の現状等について英語による説明がなされた。

本工場は、1962年(株)小松製作所が米国ハウメット社と技術提携を結び、1972年両社各々50%出資による小松ハウメット(株)を小松製作所大阪工場内に設立、1995年に現在の寺井工場へ移行、2000年にハウメット社の100%出資となり、社名もハウメット・ジャパン(株)と改名され、現在に至っているとのことである。品質管理は従来のゲージ管理と人の技量に頼っていたものを、デジタル管理化による6 σ 、工程は一括工程管理、開発はコンカレントエンジニアリングによる期間短縮を計る等種々の試みが行い入れられている。

概要説明後、工場見学に移り、精密鑄造工程に従い、ワックス成形、鑄型成形、鑄込み、検査と順々に説明頂

き、大変わかりやすい内容で、質疑応答も活発に行われた。近年、製品データを電子化し、品質向上、コスト削減に役立っているとのこと、各工程毎にデータを入力していき一括管理による共有化を計るというもので、ペーパーレスの効果と統計手法を用いたデータ管理を行うことで品質の向上が得られるということである。また、寸法計測値の自動入力化や許容公差はずれたデータは一目で判るように色分けするなどして、品質の管理を行うと同時に、単純な作業ミスを防ぎ、作業効率を向上させる工夫が色々とされていた。また、鑄造工場に抱く一般の認識に反し、非常にクリーンな工場との印象を強く持った。

見学後も活発な質疑応答があり、最後に橋本地方委員会委員長より、今回の見学会が非常に有意義であった旨の謝辞が述べられ、閉会となった。

最後に、ご多忙中のところ、見学の準備および当日いろいろお世話いただきましたハウメット・ジャパン(株)の方々に厚くお礼申し上げます。

(ダイハツディーゼル(株)、地方委員会委員)

○ 本会協賛・共催行事 ○

会 合 名	開催日・会場	詳細問合せ先
第32回高温材料技術講習会	2000/7/26 日本セラミックス協会 3F会議室	日本セラミックス協会 高温材料技術講習会係 TEL 03-3362-5232 FAX 03-3362-5714
第9回日本エネルギー学会大会	2000/8/2-4 工学院大学新宿校舎	日本エネルギー学会 担当 森寺弘充 TEL 03-3834-6456 FAX 03-3834-6458 E-MAIL: moridera@jie.or.jp
第243回講習会 技術開発におけるタグチメソッドの有効活用と実施例	2000/9/7-8 大阪科学技術センター 8階 中ホール	日本機械学会関西支部 TEL 06-6443-2073 FAX 06-6443-6049 E-MAIL: jsme@butaman.ne.jp
MEMS ワークショップ「MEMSの可能性と混相流」	2000/9/26 日本大学理工学部駿河台校舎	日本大学理工学部機械工学科 木村元昭 TEL 03-3259-0750 FAX 03-3293-8254 E-MAIL: kimura@mech.cst.nihon-u.ac.jp
第8回機械材料・材料加工技術講演会「M&P 2000」	2000/11/27-28 早稲田大学国際会議場	日本機械学会 担当 佐藤秋雄 TEL 03-5360-3505 FAX 03-5360-3509
第14回数値流体力学シンポジウム	2000/12/21-23 中央大学 理工学部 春日キャンパス	東京理科大学工学部機械工学科 山本誠 TEL 03-3260-4272 (ex. 3352) FAX 03-3260-4291

第 28 回ガスタービン定期講演会報告

井 亀 優
IKAME Masaru

6月2日に、東京都日野市にある東京都立科学技術大学の科学技術交流センターにおいて、第28回ガスタービン定期講演会が開催されました。今回の講演会では、一般講演24件と特別講演の発表がありました。参加者は125名と、最近にはない多数に上りました。その所属・人数は、大学関係が7大学40名、会社関係が16社45名、国立研が3研究所32名、その他の団体が2団体2名、その他個人6名でした。また、講演会にあわせて開催した見学会にも47名の参加があり、盛会のうちに終了しました。

24件の講演を分野別に見ると、翼列特性関係6件、伝熱・材料関係4件、空気力学関係3件、燃焼器関係7件、計測1件、ガスタービンの性能関係3件となっています。テーマ別では低NO_x燃焼技術に関連する発表が最多の6件でした。特別講演では、株式会社タクマの井上梅夫氏に「マイクロガスタービンスステムの現状と課題」と題してご講演をいただきました。この講演では、マイクロガスタービンの特徴と用途、キャプストン社のマイクロガスタービンMODEL 330の構造とその特徴の紹介、MODEL 330を使ったTCP 30マイクロコージェネ・パッケージの開発について詳しく解説していただきました。今回、定期講演会では初めての企画として、講演終了後、東京都立科学技術大学の研究室の見学を行いました。2班に分かれて湯浅・後藤研究室ではジェットエンジン、ハイブリッドロケットを、白鳥・桜井研究室では超・遷音速風洞を、小西研究室ではレシプロエンジンの過給特性実験装置や廃油燃焼ディーゼルエンジン等

を見学させていただきました。研究施設、実験装置を前に研究の裏話などをうかがうことができ、講演発表とは別の意味で有益だったことと思います。見学会終了後、科学技術交流センターの中庭で、約70名が参加して懇親会を開催しました。菅前会長の挨拶、東京都立科学技術大学の原島学長の乾杯音頭で始まり、和やかな雰囲気の下、情報交換、交流等で参加者の皆さんにとって有意義な場となったことと思います。

ところで定期講演会の発表件数は、ここ数年は20から30件程度で、以前に比べて減っています。経済情勢の影響あるいは日本のガスタービン技術が成熟期に入った証かも知れませんが、ガスタービン技術の新たなブレークスルーを目指した研究が活発になり再び講演数が増えることを一委員として願うとともに、参加者に興味を持っていただけるような企画にチャレンジする必要があると感じています。

今期の学術講演会委員会では、定期講演会に合わせて見学会を開催する新しい試みをしてみました。結果としてここ数年では最高の参加人数を達成できました。時間、開催場所などの制約から毎回このような企画に取り組むことは難しいと思いますが、機会があれば“講演会に行ってみよう”と願っていたような企画にも取り組んでみたいと思います。

最後になりましたが、講演会運営にあたってご協力いただいた東京都立科学技術大学の学生の皆さんにこの場を借りてお礼を申し上げます。

(船舶技術研究所、学術講演会委員会委員)

第 15 回ガスタービン秋季講演会講演論文募集中

下記の日程で、日本ガスタービン学会（幹事学会）と日本機械学会の共催による第15回ガスタービン秋季講演会を北九州市で開催します。講演申込期限が迫りますので、講演発表を希望される方は、お早めに所定の手続により申し込みをお願いします。

開 催 日 2000年（平成12年）11月9日（木）
開 催 場 所 北九州国際会議場
北九州市小倉北区浅野三丁目9番30号
講 演 会 一般講演、特別講演

見 学 会 講演会にあわせて、11月10日（金）に、日本鑄鍛鋼株式会社の工場見学を予定しています

講演申込締切 2000年（平成12年）7月31日（月）

講演原稿締切 2000年（平成12年）9月20日（水）

詳しい講演募集要項、申込書は、学会誌（Vol. 28, No. 3, 2000.5）または学会ホームページをご覧ください。（<http://wwwsoc.nacsis.ac.jp/gtsj/>）

第 28 回ガスタービン定期講演会報告

井 亀 優
IKAME Masaru

6月2日に、東京都日野市にある東京都立科学技術大学の科学技術交流センターにおいて、第28回ガスタービン定期講演会が開催されました。今回の講演会では、一般講演24件と特別講演の発表がありました。参加者は125名と、最近にはない多数に上りました。その所属・人数は、大学関係が7大学40名、会社関係が16社45名、国立研が3研究所32名、その他の団体が2団体2名、その他個人6名でした。また、講演会にあわせて開催した見学会にも47名の参加があり、盛会のうちに終了しました。

24件の講演を分野別に見ると、翼列特性関係6件、伝熱・材料関係4件、空気力学関係3件、燃焼器関係7件、計測1件、ガスタービンの性能関係3件となっています。テーマ別では低NO_x燃焼技術に関連する発表が最多の6件でした。特別講演では、株式会社タクマの井上梅夫氏に「マイクロガスタービンスステムの現状と課題」と題してご講演をいただきました。この講演では、マイクロガスタービンの特徴と用途、キャプストン社のマイクロガスタービンMODEL 330の構造とその特徴の紹介、MODEL 330を使ったTCP 30マイクロコージェネ・パッケージの開発について詳しく解説していただきました。今回、定期講演会では初めての企画として、講演終了後、東京都立科学技術大学の研究室の見学を行いました。2班に分かれて湯浅・後藤研究室ではジェットエンジン、ハイブリッドロケットを、白鳥・桜井研究室では超・遷音速風洞を、小西研究室ではレシプロエンジンの過給特性実験装置や廃油燃焼ディーゼルエンジン等

を見学させていただきました。研究施設、実験装置を前に研究の裏話などをうかがうことができ、講演発表とは別の意味で有益だったことと思います。見学会終了後、科学技術交流センターの中庭で、約70名が参加して懇親会を開催しました。菅前会長の挨拶、東京都立科学技術大学の原島学長の乾杯音頭で始まり、和やかな雰囲気の下、情報交換、交流等で参加者の皆さんにとって有意義な場となったことと思います。

ところで定期講演会の発表件数は、ここ数年は20から30件程度で、以前に比べて減っています。経済情勢の影響あるいは日本のガスタービン技術が成熟期に入った証かも知れませんが、ガスタービン技術の新たなブレークスルーを目指した研究が活発になり再び講演数が増えることを一委員として願うとともに、参加者に興味を持っていただけるような企画にチャレンジする必要があると感じています。

今期の学術講演会委員会では、定期講演会に合わせて見学会を開催する新しい試みをしてみました。結果としてここ数年では最高の参加人数を達成できました。時間、開催場所などの制約から毎回このような企画に取り組むことは難しいと思いますが、機会があれば“講演会に行ってみよう”と願っていたような企画にも取り組んでみたいと思います。

最後になりましたが、講演会運営にあたってご協力いただいた東京都立科学技術大学の学生の皆さんにこの場を借りてお礼を申し上げます。

(船舶技術研究所、学術講演会委員会委員)

第 15 回ガスタービン秋季講演会講演論文募集中

下記の日程で、日本ガスタービン学会（幹事学会）と日本機械学会の共催による第15回ガスタービン秋季講演会を北九州市で開催します。講演申込期限が迫っていますので、講演発表を希望される方は、お早めに所定の手続により申し込みをお願いします。

開 催 日 2000年（平成12年）11月9日（木）
開 催 場 所 北九州国際会議場
北九州市小倉北区浅野三丁目9番30号
講 演 会 一般講演、特別講演

見 学 会 講演会にあわせて、11月10日（金）に、日本鑄鍛鋼株式会社の工場見学を予定しています

講演申込締切 2000年（平成12年）7月31日（月）

講演原稿締切 2000年（平成12年）9月20日（水）

詳しい講演募集要項、申込書は、学会誌（Vol. 28, No. 3, 2000.5）または学会ホームページをご覧ください。（<http://wwwsoc.nacsis.ac.jp/gtsj/>）

GTSJ 第 25 期委員名簿 (順不同)

総務委員会

川口 修(慶 大)	熱田正房(日 立)	岡村隆成(八戸工大)	真家 孝(I H I)
森 建二(川崎重工)	江田武司(川崎重工)	園 尚弥(I H I)	林 茂(航技研)
福泉靖史(三菱重工)	水木新平(法政大)	山本 誠(東理大)	

企画委員会

吉川修平(富士電機)	遠藤征紀(航技研)	竹内崇雄(荏 原)	筒井康賢(機械技研)
古瀬 裕(東京電力)	吉岡俊彦(日 航)	青柳 稔(I H I)	古賀 勉(三菱重工)
渋谷幸生(東 芝)	庄司不二雄(東京ガス)	杉本隆雄(川崎重工)	杉山勝彦(豊田中研)
西土井章(三井造船)	橋本良作(航技研)	長谷川武治(電力中研)	松沼孝幸(機械技研)
三嶋英裕(日 立)	室田光春(ヤンマー)	若原剛人(新潟鉄工)	

編集委員会

益田重明(慶 大)	荒川忠一(東 大)	和泉敦彦(東 芝)	高木俊幸(三井造船)
長谷川清(三菱重工)	三卷利夫(電力中研)	山本勝弘(早 大)	飯島活巳(日 立)
伊東正雄(東 芝)	遠崎良樹(川崎重工)	小河昭紀(航技研)	小川泰規(東京電力)
榊田 勝(I H I)	辻田星歩(法政大)	中村修三(荏 原)	西村英彦(三菱重工)
長谷川好道(ダイハツ)	服部学明(三井造船)	濱崎浩志(I H I)	山根隆一郎(国土館大)

地方委員会

橋本正孝(神戸商船大)	伊藤吉幸(ヤンマー)	大庭康二(日立造船)	佐藤隆郎(川崎重工)
城 敏彦(大阪ガス)	高木俊幸(三井造船)	竹野忠夫(名 大)	佃 嘉章(三菱重工)
辻川吉春(大阪府大)	西 亮(放送大)	長谷川好道(ダイハツ)	速水 洋(九 大)
樋口新一郎(トヨタ・ビンディシステム)	三宅 裕(阪 大)	山下直之(関西電力)	

訃 報

終身会員 谷口修君 88才 平成12年5月14日逝去

謹んで哀悼の意を表します

GTSJ 第 25 期委員名簿 (順不同)

総務委員会

川口 修(慶 大)	熱田正房(日 立)	岡村隆成(八戸工大)	真家 孝(I H I)
森 建二(川崎重工)	江田武司(川崎重工)	園 尚弥(I H I)	林 茂(航技研)
福泉靖史(三菱重工)	水木新平(法政大)	山本 誠(東理大)	

企画委員会

吉川修平(富士電機)	遠藤征紀(航技研)	竹内崇雄(荏 原)	筒井康賢(機械技研)
古瀬 裕(東京電力)	吉岡俊彦(日 航)	青柳 稔(I H I)	古賀 勉(三菱重工)
渋谷幸生(東 芝)	庄司不二雄(東京ガス)	杉本隆雄(川崎重工)	杉山勝彦(豊田中研)
西土井章(三井造船)	橋本良作(航技研)	長谷川武治(電力中研)	松沼孝幸(機械技研)
三嶋英裕(日 立)	室田光春(ヤンマー)	若原剛人(新潟鉄工)	

編集委員会

益田重明(慶 大)	荒川忠一(東 大)	和泉敦彦(東 芝)	高木俊幸(三井造船)
長谷川清(三菱重工)	三卷利夫(電力中研)	山本勝弘(早 大)	飯島活巳(日 立)
伊東正雄(東 芝)	遠崎良樹(川崎重工)	小河昭紀(航技研)	小川泰規(東京電力)
榊田 勝(I H I)	辻田星歩(法政大)	中村修三(荏 原)	西村英彦(三菱重工)
長谷川好道(ダイハツ)	服部学明(三井造船)	濱崎浩志(I H I)	山根隆一郎(国土館大)

地方委員会

橋本正孝(神戸商船大)	伊藤吉幸(ヤンマー)	大庭康二(日立造船)	佐藤隆郎(川崎重工)
城 敏彦(大阪ガス)	高木俊幸(三井造船)	竹野忠夫(名 大)	佃 嘉章(三菱重工)
辻川吉春(大阪府大)	西 亮(放送大)	長谷川好道(ダイハツ)	速水 洋(九 大)
樋口新一郎(トヨタ・ビンディシステム)	三宅 裕(阪 大)	山下直之(関西電力)	

訃 報

終身会員 谷口修君 88才 平成12年5月14日逝去

謹んで哀悼の意を表します

7月号(普通号)をお届けします。梅雨でうっとうしい日が続いていますが、仕事の手を少し休めてご一読頂ければ幸いです。

まず、河田氏の随筆から始まりますが、日本でのガスタービン技術の立ち上がり時期の貴重な経験が紹介されており、日々の仕事に追われる中、心改まる思いを抱かれる方も多いのではないのでしょうか。論説・解説として、ガスタービンの吸気冷却システム関係の解説、ご好評を頂いたガスタービンセミナーの中からシステム、材料関係など基礎的な内容のものを掲載させて頂くことを計画致しました。吸気冷却システムは各方面から注目を集めつつあり、既設の冷熱源がある場合は勿論、無い場合でも冷却が行える工夫が提案されてきています。また、他にも幾つかのシステムがあり、ご紹介できればと考えていましたが、今回は残念ながら紹介することができませんでした。次の機会に期待したいと思います。

基礎講座は、新田氏による「ガスタービン材料工学」の1回目が始まりました。高温ガスタービンの基本をじっくりと解説して頂いています。「喫茶室」と命名された新しい記事の掲載が5月号から始まりましたが、7月号は高原氏による「ガスタービンを100倍面白くできるか」の2回目の話題提供を頂きました。どうしても硬くなりがちな学会誌が少しでも読みやすく、親しみやす

い雑誌にしてほしいという会員の皆様のご要望に応じて始まった企画ですが、読者の皆さんをはじめ、OBの方々の応援を頂きたいと思っています。

最後に、今月号発行に当たってご多忙の折り、ご執筆頂いた方々に心より御礼申し上げます。なお、本号の編集には、伊藤和行委員(日立)、伊東正雄委員(東芝)、小河昭紀委員(航技研)と高木(三井造船)の4名にて担当致しました。

(高木俊幸)

〈表紙写真〉

IGT 60 ガスタービン

説明：この写真は1962年防衛庁の給油艦に搭載された60 PS ガスタービン消防ポンプで、一軸単純サイクルのガスタービンは石川島播磨重工業株が1954年から独自技術により開発した量産機である。可搬式、人力起動、60 PSで65 kgという当時としては画期的な製品で、汎用エンジンとして各種用途の原動機に使用された。

(提供 石川島播磨重工業株式会社)

だより
♣事務局 ☒ ♣

事務局のあるここ東京新宿は5月には、まるで真夏のような暑さが続いていましたが、梅雨入りしてからは、梅雨寒というのでしょうか、すっかり春に逆戻りのお天気になってしまいました。

暑かったり寒かったりと不順な天候のため、風邪もはやっているようで、花粉症からやっと解放されたと思ったのもつかの間、相変わらずティッシュを手放せない状態です。

新年度もハウメットジャパンの見学会をはじめとし、定期講演会や日本航空の見学会、教育シンポジウムなど次々に行事が開催されています。

最近、期限が過ぎてからの申し込み問い合わせが多いようですが、学会誌、ホームページなどでかなり前からご案内しておりますので、お見逃しないう、時間的余裕をみてお申し込み下さい。

今年の秋季講演会は会告にもありますように、北九州の小倉で11月9、10日に行われます。「秋の九州は、“フグ”をはじめ美味しい物がたくさんあり、楽しみ！」という声があちらこちらから聞こえています。是非、皆様

をお誘い合わせてお出かけ下さい。

毎年、秋季講演会は東京以外の全国各都市を巡っていますが、会場、見学先、宿泊場所など、いろいろ条件があるので、今年で15年ともなると何処がいいのか頭を悩ませています。良い候補地がございましたら、事務局までご一報いただけると幸いです。

[A]

お詫びと訂正

第28巻第3号(Vol.28.3)技術論文「1700℃水素燃焼タービン用燃焼器のガス温度計測プローブの開発」に以下の誤りがありました。お詫びし訂正させていただきます。

通算238ページ、左段下脚注
原稿受付 2000年11月2日は
1999年の誤りでした。

7月号(普通号)をお届けします。梅雨でうっとうしい日が続いていますが、仕事の手を少し休めてご一読頂ければ幸いです。

まず、河田氏の随筆から始まりますが、日本でのガスタービン技術の立ち上がり時期の貴重な経験が紹介されており、日々の仕事に追われる中、心改まる思いを抱かれる方も多いのではないのでしょうか。論説・解説として、ガスタービンの吸気冷却システム関係の解説、ご好評を頂いたガスタービンセミナーの中からシステム、材料関係など基礎的な内容のものを掲載させて頂くことを計画致しました。吸気冷却システムは各方面から注目を集めつつあり、既設の冷熱源がある場合は勿論、無い場合でも冷却が行える工夫が提案されてきています。また、他にも幾つかのシステムがあり、ご紹介できればと考えていましたが、今回は残念ながら紹介することができませんでした。次の機会に期待したいと思います。

基礎講座は、新田氏による「ガスタービン材料工学」の1回目が始まりました。高温ガスタービンの基本をじっくりと解説して頂いています。「喫茶室」と命名された新しい記事の掲載が5月号から始まりましたが、7月号は高原氏による「ガスタービンを100倍面白くできるか」の2回目の話題提供を頂きました。どうしても硬くなりがちな学会誌が少しでも読みやすく、親しみやす

い雑誌にしてほしいという会員の皆様のご要望に応じて始まった企画ですが、読者の皆さんをはじめ、OBの方々の応援を頂きたいと思っています。

最後に、今月号発行に当たってご多忙の折り、ご執筆頂いた方々に心より御礼申し上げます。なお、本号の編集には、伊藤和行委員(日立)、伊東正雄委員(東芝)、小河昭紀委員(航技研)と高木(三井造船)の4名にて担当致しました。

(高木俊幸)

〈表紙写真〉

IGT 60 ガスタービン

説明：この写真は1962年防衛庁の給油艦に搭載された60 PS ガスタービン消防ポンプで、一軸単純サイクルのガスタービンは石川島播磨重工業株が1954年から独自技術により開発した量産機である。可搬式、人力起動、60 PSで65 kgという当時としては画期的な製品で、汎用エンジンとして各種用途の原動機に使用された。

(提供 石川島播磨重工業株式会社)

だより

事務局

事務局のあるここ東京新宿は5月には、まるで真夏のような暑さが続いていましたが、梅雨入りしてからは、梅雨寒というのでしょうか、すっかり春に逆戻りのお天気になってしまいました。

暑かったり寒かったりと不順な天候のため、風邪もはやっているようで、花粉症からやっと解放されたと思ったのもつかの間、相変わらずティッシュを手放せない状態です。

新年度もハウメットジャパンの見学会をはじめとし、定期講演会や日本航空の見学会、教育シンポジウムなど次々に行事が開催されています。

最近、期限が過ぎてからの申し込み問い合わせが多いようですが、学会誌、ホームページなどでかなり前からご案内しておりますので、お見逃しないう、時間的余裕をみてお申し込み下さい。

今年の秋季講演会は会告にもありますように、北九州の小倉で11月9、10日に行われます。「秋の九州は、“フグ”をはじめ美味しい物がたくさんあり、楽しみ！」という声がアチラコチラから聞こえています。是非、皆様

をお誘い合わせてお出かけ下さい。

毎年、秋季講演会は東京以外の全国各都市を巡っていますが、会場、見学先、宿泊場所など、いろいろ条件があるので、今年で15年ともなると何処がいいのか頭を悩ませています。良い候補地がございましたら、事務局までご一報いただけると幸いです。

[A]

お詫びと訂正

第28巻第3号(Vol.28.3)技術論文「1700℃水素燃焼タービン用燃焼器のガス温度計測プローブの開発」に以下の誤りがありました。お詫びし訂正させていただきます。

通算238ページ、左段下脚注
原稿受付 2000年11月2日は
1999年の誤りでした。

学会誌編集規定

1996.2.8改訂

1. 本学会誌の原稿はつぎの3区分とする。
 - A. 投稿原稿会員から自由に随時投稿される原稿。執筆者は会員に限る。
 - B. 依頼原稿本学会編集委員会がテーマを定めて特定の人に執筆を依頼する原稿。執筆者は会員外でもよい。
 - C. 学会原稿学会の運営・活動に関する記事(報告、会告等)および学会による調査・研究活動の成果等の報告。
2. 依頼原稿および投稿原稿は、ガスタービン及び過給機に関連のある論説・解説、講義、技術論文、速報(研究速報、技術速報)、寄書(研究だより、見聞記、新製品・新設備紹介)、随筆、書評、情報欄記事、その他とする。刷り上がりページ数は原則として、1編につき次のページ数以内とする。

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

3. 執筆者は編集委員会が定める原稿執筆要領に従って原稿を執筆し、編集委員会事務局まで原稿を送付する。事務局の所在は付記1に示す。
4. 会員は本学会誌に投稿することができる。投稿された原稿は、編集委員会が定める方法により審査され、編集委員会の承認を得て、学会誌に掲載される。技術論文の投稿に関しては、別に技術論文投稿規定を定める。
5. 依頼原稿および学会原稿についても、編集委員会は委員会の定める方法により原稿の査読を行う。編集委員会は、査読の結果に基づいて執筆者に原稿の修正を依頼する場合がある。
6. 依頼原稿には定められた原稿料を支払う。投稿原稿および学会原稿には原則として原稿料は支払わないものとする。原稿料の単価は理事会の承認を受けて定める。
7. 本学会誌に掲載される記事・論文などの著作権は原則として本学会に帰属する。
8. 著作者本人が自ら書いた記事・論文などの全文または一部を、本学会誌に掲載されたことを明記したうえで、転載、翻訳、翻案などの形で利用する場合、本会は原則としてこれを妨げない。ただし、著作者本人であっても学会誌を複製する形で全文を他の著作物に利用する場合、文書で本会に許諾を求めなければならない。

付記1. 原稿送付先および原稿執筆要領請求先
〒105-0003 東京都港区西新橋1-17-5
Tel. 03-3508-9061 Fax. 03-3580-9217
ニッセイエプロ(株) 制作部デジタル編集課
学会誌担当 越司 昭

技術論文投稿規定

1997.1.28改訂

1. 本学会誌に技術論文として投稿する原稿は次の条件を満たすものであること。
 - 1) 主たる著者は本学会会員であること。
 - 2) 投稿原稿は著者の原著で、ガスタービン及び過給機の技術に関連するものであること。
 - 3) 投稿原稿は、一般に公表されている刊行物に未投稿のものであること。ただし、要旨または抄録として発表されたものは差し支えない。
2. 使用言語は原則として日本語とする。ただし、著者が外国人会員であって日本語による論文執筆が困難な場合は英語による投稿を認める。
3. 投稿原稿の規定ページ数は原則として図表を含めてA4版刷り上がり6ページ以内とする。ただし、1ページにつき12,000円の著者負担で4ページ以内の増ページをすることができる。
4. 図・写真等について、著者が実費差額を負担する場合にはカラー印刷とすることができる。
5. 投稿者は原稿執筆要領に従い執筆し、正原稿1部副原稿(コピー)2部を学会編集委員会に提出する。原稿には英文アブストラクトおよび所定の論文表紙を添付する。
6. 原稿受付日は原稿が事務局で受理された日とする。
7. 投稿原稿は技術論文校閲基準に基づいて校閲し、編集委員会で採否を決定する。
8. 論文内容についての責任は、すべて著者が負う。
9. 本学会誌に掲載される技術論文の著作権に関しては、学会誌編集規定7.および8.を適用する。

日本ガスタービン学会誌

Vol. 28 No. 4 2000.7

発行日 2000年7月20日
発行所 社団法人日本ガスタービン学会
編集者 益田重明
発行者 伊藤源嗣
〒160-0023 東京都新宿区西新宿7-5-13
第3工新ビル402
Tel. 03-3365-0095 Fax. 03-3365-0387
郵便振替 00170-9-179578
印刷所 ニッセイエプロ(株)
〒105-0003 東京都港区西新橋2-5-10
Tel. 03-3501-5151 Fax. 03-3501-5717

©2000, (株)日本ガスタービン学会

複写される方へ

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

〒170-0052 東京都港区赤坂9-6-41 乃木坂ビル
学術著作権協会
TEL: 03-3475-5618 FAX: 03-3475-5619
E-mail: kammori@msh.biglobe.ne.jp