

## (社)日本ガスタービン学会 名誉会員の紹介

(社)日本ガスタービン学会ではガスタービン及び関連技術に関し功績顕著な方、又は本学会に対し功労のあった方のうちから理事会の推薦により総会において承認された方が名誉会員になることになっております。去る昭和61年4月25日第11期通常総会において次の方が本学会の名誉会員になられましたので、ご紹介致します。



入江正彦君

(大正4年10月30日生)



須之部量寛君

(大正4年12月10日生)

昭和14年3月 東京帝国大学工学部機械工学科卒業  
昭和14年4月 三井造船(株)〔当時の社名(株)玉造船所〕入社  
昭和41年7月 同社 研究開発部長  
昭和43年7月 同社 技術本部長  
昭和47年5月 同社 取締役  
昭和51年6月 同社 常務取締役  
昭和53年7月 同社 特別顧問  
昭和59年3月 同社 辞任(現在に至る)

### 本会関係略歴

- (1) 昭和47年6月入会
- (2) 会長 (GTCJ 4, GTSJ 1)  
副会長 (GTCJ 3)  
評議員 (GTSJ 1, 2, 3, 4)  
監事 (GTSJ 6)

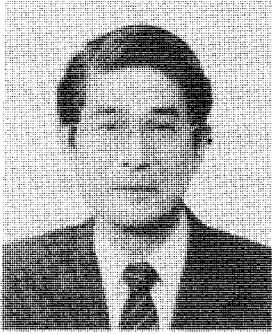
現住所 東京都町田市能ヶ谷 1521-87

昭和16年3月 東京帝国大学工学部機械工学科卒業  
昭和16年4月 逓信省 中央航空研究所  
昭和21年4月 鉄道省 鉄道技術研究所  
昭和25年4月 運輸省 運輸技術研究所  
昭和37年3月 (株)日立製作所 中央研究所  
昭和41年2月 同社 機械研究所 第3部長  
昭和43年3月 同社 機械研究所 副所長  
昭和46年6月 同社 機械研究所 所長  
昭和50年9月 同社 退社  
昭和50年10月 東京理科大学教授  
(現在に去る)

### 本会関係略歴

- (1) 昭和47年6月入会
- (2) 会長 (GTSJ 8)  
副会長 (GTSJ 7)  
理事 (GTSJ 1, 2)  
評議員 (GTSJ 1, 3, 5, 6, 7)  
監事 (GTSJ 4, 10)

現住所 埼玉県浦和市仲町 4-11-6



## 第11期会長就任挨拶

佐藤 豪

第11期の通常総会において会長に選出され、誠に光栄に存じており、その任務の重大さを痛感致しております。

幸いにも、歴代の会長はじめ理事の皆様の卓抜した組織力と企画力とによって、当学会の基礎は確立され、進むべき方向も明確に定まっておりますので、今後、経験豊かな理事諸君のご協力を得て、当学会の一層の発展のために微力を尽す所存でございます。

ガスタービンには幾多の消長があり、苦しい時代もありました。しかし、近年、単に軽量大出力というだけでなく、エネルギーの有効利用や燃料の多様化に対するガスタービンの特質が一般にも認識されるようになり、ガスタービンを取り巻く環境は著しく好転しております。

航空エンジンでは、軽量大推力とエネルギーの有効利用という点で、既に確固とした地位を築いています。これとはほぼ同じ理由で、艦艇用でも主機や補機に圧倒的に用いられるようになってきています。

発電用の内、緊急用は多くの利点が認められ、それなりの市場が形成されて、数社が競ってその市場に参入するような活況を呈しています。ベースロード用では、エネルギーの有効利用という点で蒸気-ガス複合発電の実用化が実現し、その効果が実証され、次々と新しい計画が実行に移されています。エネルギーをさら十分に有効利用するために、排熱による暖冷房や温水供給を伴う、いわゆるコージェネレーション式発電も、実証プラントの完成によって、今後広い需要が期待されています。燃料の多様化という観点からは、石炭のガス化発電も研究開発が進められています。産業廃ガスによる発電もガスタービンの燃料の多様化の特質により、次第に浸透しています。

このような状況は、本会の前身であるガスタービン会議発足の頃に比べると、予想もできなかったことです。当時は、研究の場においても業界にあっても、ガスタービン技術に対する周囲の理解度は低く、また、新しい技術といえば欧米との技術提携によるものが大部分でした。これが、国産技術を中心にして今日のような状態にまで進展した要因は、今日までよく不遇に耐えて、ガスタービンの火を守り抜いたガスタービン技術者各位の熱意とご努力に負うところが多大であり、ここに改めて深い敬意を表わす次第です。

昨年、私は本学会のご推挙によって今井兼一郎君と共に、日本学術会議の第13期会員に選出されました。日本学術会議では、今期の活動の重点目標として「人類の福祉・平和及び自然との係わりにおける科学の振興」「創造性豊かな基礎的研究の推進と諸科学の整合的発展」「学術研究の国際性の重視と国際的視野の確立」を掲げています。

ガスタービンの技術についても、欧米との技術交流が次第に困難になると共に、技術の先端を自ら開拓することになり、正に「創造性豊かな基礎的研究の推進と諸科学の整合的発展」が、急務となっております。このことは、産・官・学の協力によって、また機械技術者のみならず他の多くの分野の科学者・技術者の協力によって、初めて達成できることです。このような協力の場を提供することが本学会の重要な使命と信じています。

日本学術会議の重点目標の一つの「学術研究の国際性の重視と国際的視野の確立」についても、本学会は、1977年と1983年にガスタービン国際会議を開催していますが、1987年10月に次のガスタービン国際会議を開催する準備を始めています。また今期から、本学会の諸情報を海外に伝えるために、Bulletinの発行を企画しております。

す。

本学会が、わが国のガスタービンの技術の確立のために果たして役割は非常に大きいものがあります。最近の会誌の内容も、レベルが高い情報を豊富に提供しており、学会の情報知識の交換の場の役割を十分に果たしています。しかし、わが国のガスタービン技術が、独自にその道を開くために、本学会は、さらに広く高い内外の情報の交換の場

として、また各分野の会員の語らいの場として、ふさわしい学会に発展する必要があります。理事諸君と共にこのような方向で努力いたしますので、会員諸君の御協力と御鞭達を期待します。

終わりに、内外で御多忙の身で、学会発展のために精力的に取り組まれ、多くの成果を挙げられました谷村前会長に心からお礼を申し上げます。

# 日本ガスタービン学会賞（第3回）報告

学会賞審査委員会委員長 窪田雅男

日本ガスタービン学会賞は本学会創立10周年を記念して昭和57年に制定され、2年毎にガスタービン及び過給機に関する優れた論文ならびに技術に対して贈られるものであります。今回（第3回）は、論文については昭和56年11月以降昭和60年10月迄に日本ガスタービン学会誌または国際会議Proceedingsに公表された論文、また技術についてはガスタービンまたは過給機に関連し、同上期間に完成された新技術が選考の対象とされました。

学会誌昭和60年6月号に募集公告をし、編集委員会が推薦した論文4篇ならびに応募した技術2件に対し、学・業界の権威者13名から成る審査委員会によって慎重かつ公正な審査が行われ、理事会の議を経て、下記のとおり論文1件、技術1件の受賞が決定されました。

## 受賞論文，技術の抄録

### 論文賞

#### 遷音速流れの中で振動する圧縮機環状翼列の非定常空力特性

航空宇宙技術研究所 小林 紘

〔日本ガスタービン学会誌13巻49号（昭和60-3）〕

軸流流体機械のフラッタや強制振動の空力弾性問題を解明するためには、振動する翼列翼のまわりの流れの挙動を知り、翼に働く非定常空気の特性を明らかにすることは重要なことである。特に現在、遷音速流れと高い無次元振動数での非定常空力特性が必要とされている。両実験条件を満足する環状翼列風洞とその計測技術を開発し、遷音速流れで作動する圧縮機やタービンの翼列に関する研究を進めており、本論文はその研究の一環として行われた、圧縮機翼列の非定常空力特性に関するものである。

振動する環状翼列翼の翼表面に配備した小型圧力センサーを用いて、振動翼に作用する非定常圧力分布を計測した。これにより、空力減衰力及び翼面局所部での流体力の挙動、並びに翼振動に伴う衝撃波変位に起因する変動圧力を、流入速度や無次元振動数の広い範囲で調べ、二重円弧圧縮機

翼列の非定常空力特性に関して、次の(i)と(ii)の事実等を明らかにした。

- (i) 流入マッハ数が高亜音速から超音速へと変化するにつれて、非定常空力は翼振動を不安定領域に近づける働きをすること。
- (ii) 翼面上の衝撃波の位置変動は翼振動を不安定化する変動空気を翼に与えること。

さらに本論文の継続研究により、低背圧時の非失速、超音速振り翼列フラッタの発生領域、並びにフラッタに対する流速等のパラメータの影響の重要性等が明らかにされている。

# 日本ガスタービン学会賞（第3回）報告

学会賞審査委員会委員長 窪田雅男

日本ガスタービン学会賞は本学会創立10周年を記念して昭和57年に制定され、2年毎にガスタービン及び過給機に関する優れた論文ならびに技術に対して贈られるものであります。今回（第3回）は、論文については昭和56年11月以降昭和60年10月迄に日本ガスタービン学会誌または国際会議Proceedingsに公表された論文、また技術についてはガスタービンまたは過給機に関連し、同上期間に完成された新技術が選考の対象とされました。

学会誌昭和60年6月号に募集公告をし、編集委員会が推薦した論文4篇ならびに応募した技術2件に対し、学・業界の権威者13名から成る審査委員会によって慎重かつ公正な審査が行われ、理事会の議を経て、下記のとおり論文1件、技術1件の受賞が決定されました。

## 受賞論文，技術の抄録

### 論文賞

#### 遷音速流れの中で振動する圧縮機環状翼列の非定常空力特性

航空宇宙技術研究所 小林 紘

〔日本ガスタービン学会誌13巻49号（昭和60-3）〕

軸流流体機械のフラッタや強制振動の空力弾性問題を解明するためには、振動する翼列翼のまわりの流れの挙動を知り、翼に働く非定常空気の特性を明らかにすることは重要なことである。特に現在、遷音速流れと高い無次元振動数での非定常空力特性が必要とされている。両実験条件を満足する環状翼列風洞とその計測技術を開発し、遷音速流れで作動する圧縮機やタービンの翼列に関する研究を進めており、本論文はその研究の一環として行われた、圧縮機翼列の非定常空力特性に関するものである。

振動する環状翼列翼の翼表面に配備した小型圧力センサーを用いて、振動翼に作用する非定常圧力分布を計測した。これにより、空力減衰力及び翼面局所部での流体力の挙動、並びに翼振動に伴う衝撃波変位に起因する変動圧力を、流入速度や無次元振動数の広い範囲で調べ、二重円弧圧縮機

翼列の非定常空力特性に関して、次の(i)と(ii)の事実等を明らかにした。

- (i) 流入マッハ数が高亜音速から超音速へと変化するにつれて、非定常空力は翼振動を不安定領域に近づける働きをすること。
- (ii) 翼面上の衝撃波の位置変動は翼振動を不安定化する変動空気を翼に与えること。

さらに本論文の継続研究により、低背圧時の非失速、超音速振り翼列フラッタの発生領域、並びにフラッタに対する流速等のパラメータの影響の重要性等が明らかにされている。

## 技術賞

自動車用ターボチャージャーのタービンロータ  
へのセラミックス適用技術の開発日産自動車(株) 山崎 慎一, 川崎 肇, 渡辺 亜夫  
片山 薫, 川瀬 道彦

ターボチャージャー装着車の加速応答性の向上をはかるため従来のニッケルベースの耐熱合金製タービンロータに対し, 比重が半分以下と軽くターボチャージャー回転体の慣性モーメントの低減できるセラミックスをタービンロータへ適用する技術開発を行なった。

セラミック材料のような脆性材料をタービンロータのごとく高温, 高強度, 複雑形状部品に適用するにあたり主に以下の課題を中心にとり組み実用化した。

- (1) 局所応力集中を極力排除し, 従来の金属ロータとは異なる低応力化設計および耐異物衝突性の高い形状設計。
- (2) 高温高速回転実験による, テストピースとは

異なるロータ実体の強度および信頼性の評価。

- (3) ロータ実体の過回転実験による疲労寿命の予測。
- (4) あらゆる過酷な使用条件を考慮したエンジン実装実験による評価。
- (5) 製品の品質を保証するための保証試験(プルーフテスト)の方法と基準の設定。

今回開発したタービンロータは2~3リッターエンジン用であり, 定格状態は900°C,  $11 \times 10^4$  rpm, ロータ外径φ62, 材料は常圧焼結窒化珪素( $\text{Si}_3\text{N}_4$ )である。

本ロータは量販車へのセラミックスの適用では世界初であり, 昭和60年10月発売のフェアレディ-Zに搭載され, 市場でも高い評価を得ている。



## 非常用ガスタービン特集号の 発刊に当たって

第10期編集委員長 葉山真治(東京大学)

ガスタービンは最近各方面から注目を集めており、本学会ならびに会員にとっては誠に同慶の至りである。

本学会では、毎年6月に特集号を出しており、昨年は(13巻49号)「コンバインドサイクルとコジェネレーション」特集号を発刊し好評を得た。これに刺激されたのかどうかは不明であるが、筆者の大学でも節電対策の一つとして、ガスタービンの導入が検討されているところである。

昨年は $10^4 \sim 10^5$  KW オーダの大出力のガスタービンを対象にしたので、今年は小出力にして小型ガスタービン特集号としてはどうかとの提案もあったが、種々検討の結果、 $10^3 \sim 10^4$  KW オーダのガスタービンに的を絞ったところ、「非常用ガスタービン」ということで話がまとまった。

「非常用」という用語には、補欠の選手といったイメージがなきにしもあらずであるが、大事なときに登板して難局を切り抜けるという重要な役割を担ったりリーフピッチャと考えたい。その証拠に、わが国のガスタービン生産台数の中で非常用ガスタービンが最も多くを占め、メーカーにとってもユーザにとっても大事な製品であることが分かる。

非常用ガスタービンの用途も最近ではビル用、コンピュータセンター用、上・下水道用、あるいは

機械駆動用とその範囲は一段と広がっている。そこで、この機会に非常用ガスタービンについての最近の動向、およびユーザ、メーカーの立場から見た非常用ガスタービンについて、一度整理をして置くのも有意義なことであろうということで、本特集号を企画、編集することになった。折りしも、ソ連のチェルノブイリ原子力発電所で事故が発生し、同型の原子炉の多くが運転を停止したと伝えられている。これに伴う電力不足を直ちに補うにはやはりガスタービンが登場することになるであろう。

編集委員会を代表して筆者が巻頭のご挨拶を書いているが、この特集号は第10期編集委員会の中に設けられた特集号担当小委員会が中心になって企画し、編集委員各位のご協力のもとにまとめられたものである。原稿の執筆をご快諾いただき、貴重な原稿をお寄せいただいた執筆者の方々ならびに第9期編集委員各位に謝意を表して巻頭の言葉としたい。

なお、特集号担当小委員会のメンバーは伊藤高根理事(日産自動車)を小委員長として、佐藤晃理事(トヨタ自動車)、井上誠(小松製作所)、大穂竹史(川崎重工)、杉山晃(三菱重工)の各委員であったことを記してお礼申上げる。

# 非常用ガスタービンの動向

(社)日本内燃力発電設備協会 秀島 紀一郎

## 1. まえがき

非常用ガスタービンを原動機とする非常用発電設備について、(社)日本内燃力発電設備協会(以下内発協という。)が実施している自主認定制度とこれの活用を図る行政の簡素・合理化の動向について概略を紹介する。

## 2. 自家発電設備の技術基準

発電設備には、常用発電設備と非常用発電設備とがあり、非常用発電設備は、コンピュータセンタ用、上・下水道用などの一般保安電力を確保するために設置するものと、ビル用などの防災電力を確保するために設置するものに大別される。

前者は、電気事業法による需要設備の付帯設備としての非常用予備発電装置として通商産業省令で定める技術基準(発電用火力設備に関する技術基準を定める省令・発電用火力設備に関する技術基準の細目を定める告示・電気設備に関する技術基準を定める省令・電気設備に関する技術基準の細目を定める告示)の適用を受け、後者は、更に、消防法による消防用設備等の非常電源として消防庁長官が定める基準(告示基準・自家発電設備の基準)と建築基準法による避難施設の予備電源としてそれぞれ告示で定める基準の適用を受けるものである。

これらの技術基準をすべて包含して作成されたものが内発協が実施している自主認定制度における認定基準であり、これに基づく認定試験に合格したのものには、認定基準適合を証する認定証票が貼付されて市場に供給されている。

認定証票は、図1に示すもので、認定基準に適合する旨の形式認定を受けているものは、表1に示す9社50機種である。

## 3. 自主認定制度

内発協が実施している自主認定制度は、昭和49年4月から自治省消防庁の要請により開始し、昭和51年3月通商産業省から社団法人として許可されたことを機に、通商産業省資源エネルギー庁(発電課)及び建設省住宅局(建築指導課)の参加を得て、自家発電設備に係る三省庁の合意による認

表示板(標式第28)(記載例)


自家発電装置		認定証票
認定区分	長時間形	
定格容量	350. kVA ( 280 kW)	
定格電圧	440 V 周波数 60 Hz	
力率	0.8 周囲温度 40 ℃	
製造番号	1234	
製造年月	1980 年 1 月	
製造者名	日本内燃力発電設備株式会社 (社団法人日本内燃力発電設備協会認定品)	

図1 認定証票と表示板

定品として位置付けされた。

これにより、認定証票が貼付されている認定品は、電気事業法、消防法及び建築基準法に基づく使用前検査、完成検査、定期検査などの簡素・合理化に大いに活用されている。

## 4. 認定品の動向

4-1 認定証票の総交付枚数 昭和49年の自主認定制度実施以来、形式認定品に貼付するために内発協から交付された認定証票(正証票)の枚数は、表2及び図2~4に示すとおりで、ガスタービンを原動機とするものは、年度別では、0.06~4.68%、昭和59年度末では、合計45,627枚に対して1,041枚、即ち、2.28%のシェアとなっている。

4-2 構造区分による分析 オープン式かキュービクル式(屋内形と屋外形)かという構造区分別に見ると、表3及び図5に示すとおりで、Lクラスの場合は、小形・軽量で冷却水不要という特色を生かしたキュービクル式(屋外形)の屋上設置の傾向が見られる。

ここでいうキュービクル式とは、消防法令による消防庁長官が定める基準に適合するキュービクル式自家発電設備で、消防法令により不燃材料で区画された変電設備室、発電設備室、機械室、ポンプ室その他これらに類する室又は屋外若しくは屋上に設置できるものをいう。



表 1 長時間形ガスタービン性能表

(五十音順)

認定 取得者	メーカー形式 (機種種)	出力ps (於 40C)	形式	始動方式	燃料	燃費 g/ps h	吸気流量 m <sup>3</sup> /ps mm	真荷投入量 % mm A g	吸気抵抗 /排気抵抗 mm A g	G 極 数	吸気 温度 C	設置 高度 m
石川 島 播 磨 重 工 業	IM100-2 G	1,040	F	E	灯	346	0.260	75	100/150	2P-4P	40	150
	IM100-4 G	1,255	"	"	"	308	0.301	"	"	"	"	"
	IM100-5 G	1,320	"	"	"	308	0.301	"	"	"	"	"
	IM310-1 G	1,750	"	A	"	269	0.522	"	"	"	"	"
	IM310-2 G	2,070	"	"	"	257	0.542	"	"	"	"	"
	IM400-2 G	2,240	S	"	"	293	0.338	100	"	4 P	"	"
	IM400-3 G	2,770	"	"	"	264	0.267	"	"	"	"	"
	IM400-4 G	3,360	"	"	"	245	0.222	"	"	"	"	"
	IM400-5 G	3,990	"	"	"	234	0.189	85	"	"	"	"
	SI A-01	150	"	E, A, Q	灯	363 372 372	0.309	100	100/100	"	"	"
川 崎 重 工 業	SI A-01	260	"	"	"	363 373 372	0.309	"	"	"	"	"
	SI A-02	275	"	"	"	353 362 361	0.291	"	"	"	"	"
	SI B-02	275	"	"	"	353 362 361	0.291	"	"	2 P	"	"
	SI A-03	310	"	"	"	366 374 374	0.315	"	"	4 P	"	"
	SI T-02	530	"	"	"	382 392 391	0.636	"	"	"	"	"
	SI T-03	600	"	"	"	379 388 388	0.628	"	"	"	"	"
	SI A-01	750	"	"	"	348 356 356	0.326	"	"	"	"	"
	SI A-01	900	"	"	"	309 316 316	0.255	"	"	"	"	"
	MI A-01	1,460	"	"	"	316 323 323	0.246	"	"	"	"	"
	MI A-03	1,810	"	"	"	319 326 326	0.233	"	"	"	"	"
神 戶 製 鋼 所	MI T-01	2,630	"	"	"	323 330 330	0.270	"	"	"	"	"
	MI T-01 S	3,100	"	"	"	328 335 336	0.280	"	"	"	"	"
	TF-35	3,100	F	"	"	244 250 250	0.186	70	"	2 P	"	"
	MI T-03	3,530	S	"	"	321 330 329	0.242	100	"	4 P	"	"
	GT1 (LOヒータ付)	1,180	"	E, A	軽	374	0.247	"	100/250	"	"	"
	KG2-3 C (LOヒータ付)	1,800	"	A	"	441	0.350	"	150/250	"	"	"
	KG2-Z (LOヒータ付)	2,325	"	"	"	415	0.288	"	150/250	"	"	"
	IE831-800	610	"	E, A	灯	297	0.265	70	"	"	"	"
	IM831-800	610	"	"	"	297	0.265	"	"	"	"	"

備考：1. Sは一軸式，Fは二軸式を示す。  
 2. Eは電気式，Aは空気式，Qは油圧式を示す。  
 3. 灯は灯油（比重0.78），軽は軽油（比重0.83），重はA重油（比重0.85）を示す。

タイプ	型式	重量	寸法	吸気温度	設置高度	燃費	吸気流量	真荷投入量	吸気抵抗	G極数	吸気温度	設置高度
G-33A	TS-01	300	100	0.314	100/150	300	0.314	"	"	"	"	"
日 比 合 備	IE831-800	610	S	"	"	297	0.263	"	"	250/250	4 P	"
	IM831-800	610	"	"	"	296	0.263	"	"	"	"	"
	GT22	227	"	E, A, Q	"	605 604 602	0.383	100	"	350/120	2 P 4 P	"
	GT22-W	425	"	"	"	652 654 646	0.824	"	"	"	"	"
	AT-600	480	"	E	"	353 370 374	0.325	"	"	100/300	4 P	"
	AT-600 S	610	"	"	"	324 340 343	0.249	"	"	"	"	"
	AT-900	750	"	"	"	343 360 364	0.321	"	"	"	"	"
	AT-1200 D	750	"	"	"	402 423 426	0.424	"	"	"	"	"
	AT-900 S	900	"	"	"	316 331 335	0.265	"	"	"	"	"
	AT-1200	1,050	"	"	"	343 360 364	0.295	"	"	"	"	"
ヤ ン マ ー チ イ ー ゼ ル	AT-1200 S	1,200	"	"	"	324 340 343	0.249	"	"	"	"	"
	AT-1800	1,500	"	"	"	343 360 364	0.321	"	"	"	"	"
	AT-1800 S	1,800	"	"	"	316 331 335	0.265	"	"	"	"	"

表2 年度別設定証票枚数

年度 区分	年度											計	
	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59		
自家 発電 装置	F		917	2,047	2,168	2,483	2,149	1,384	1,368	1,341	1,312	1,407	16,576
	S	2	1,813	1,909	2,456	2,850	2,166	1,527	1,534	1,384	1,609	1,595	18,845
	M		648	1,117	1,017	1,112	1,017	852	834	713	727	758	8,795
	L		66	159	128	130	262	134	125	173	167	67	1,411
	合計		2,344	5,232	5,769	6,575	5,594	3,897	3,861	3,611	3,815	3,827	45,627
自家 (ガスタービン) 発電装置	S							1		1		2	
	M		2	18	29	74	88	130	110	124	113	117	805
	L			2		9	51	30	30	45	41	26	234
	合計		2	20	29	83	139	160	141	169	155	143	1,041

備考 クラス欄のFは24 kw以下, Sは24 kwを超え100 kw以下, Mは100 kwを超え500 kw以下, Lは500 kwを超えるものを示す。

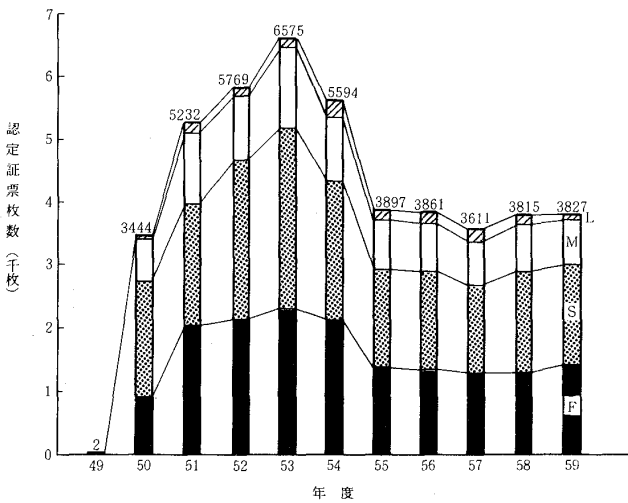


図2 自家発電装置

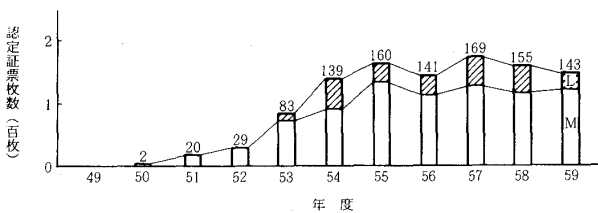


図3 ガスタービン発電装置

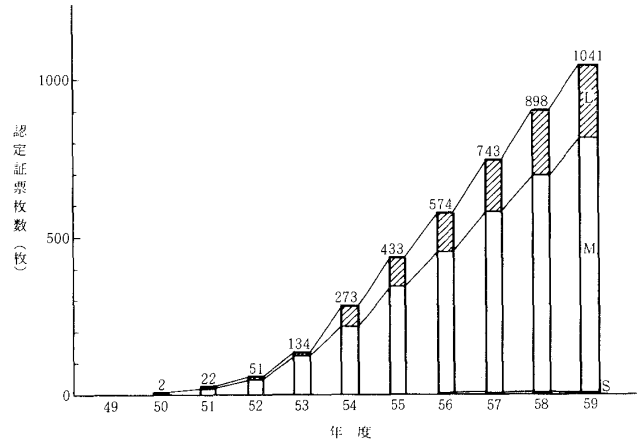


図4 認定証票の累計枚数

表3 構造区分による分類

年度 区分	年度											計	
	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59		
M	O								1		1	2	
	S		2	16	24	22	28	42	41	37	45	42	299
	R			1		27	29	42	25	30	13	28	195
	O			1	5	25	31	46	44	57	55	47	311
	計		2	18	29	74	88	130	110	124	113	117	805
L	S			2		8	51	25	27	42	32	24	211
	R												0
	O					1		5	3	3	9	2	23
	計			2		9	51	30	30	45	41	26	234
合計		2	20	29	83	139	160	141	169	155	143	1,041	

備考 区分欄のSはオープン式, Rはキュービクル式(屋内形), Oはキュービクル式(屋外形)を示す。

4-3 用途区分による分析 長時間形か即時長時間形か普通形か即時普通形かという用途区分別に見ると, 表4及び図6に示すとおりで, 即時形はごくわずかで, 普通形は昭和57年度以降は出荷されていない。

ここでいう長時間形とは, 40秒以内に負荷に電力を供給できる10時間定格のもので, 防災用と一般保安用の共用機として使用されるものをいい, 1時間定格のもので防災用の専用機として使用されるものを普通形と称している。

また, 10秒以内に負荷に電力を供給できるものを即時形と称している。

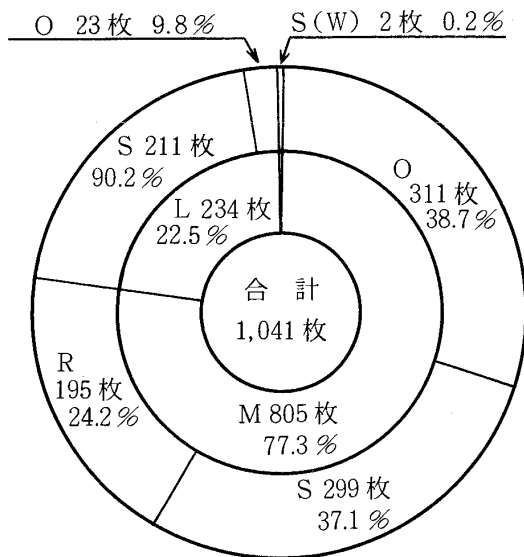


図5 構造区分による分析

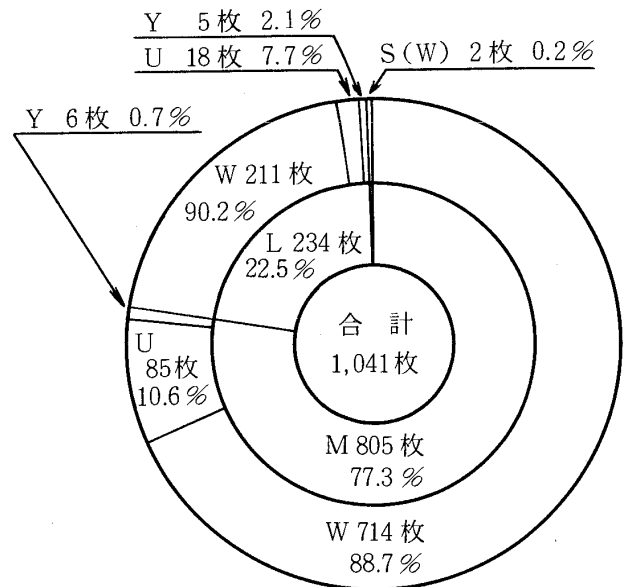


図6 用途区分による分析

表4 用途区分

年度 区分	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	計
S												
W												
Y												
M												
U												
X												
計												
L												
W												
Y												
U												
X												
計												
合計												

備考 Wは長時間形, Yは即時長時間形, Uは普通形, Xは即時普通形を示す。

### 5. まとめ

現在実施している自主認定制度は、防災用の専用機と防災用と一般保安用の共用機を形式認定の対象としているが、今後、一般保安用のみのもの更に常用発電設備のものも形式認定の対象とすべく技術的検討に入っており、自家用発電設備に関する行政の簡素・合理化に大いに活用願うこととしている。

## ビル用非常用ガスタービン

ヤンマーディーゼル(株) 大泉 治 朗

### 1. まえがき

国内の非常用発電設備、または防災用発電装置には、従来ディーゼル発電機が用いられていたが、ここ数年来ガスタービン発電機が採用される場合

が多くなって来ている。その理由としてよく言われるように、ガスタービンは冷却水を必要とせず、電力の周波数変動が小さいなど、発電装置用原動機として本質的な長所がいくつかある。しかしそ

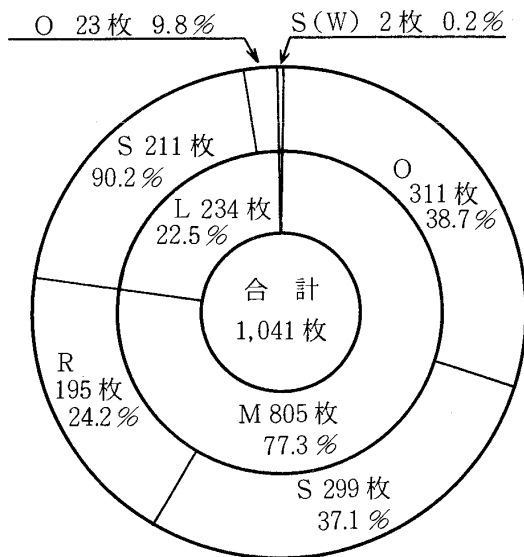


図5 構造区分による分析

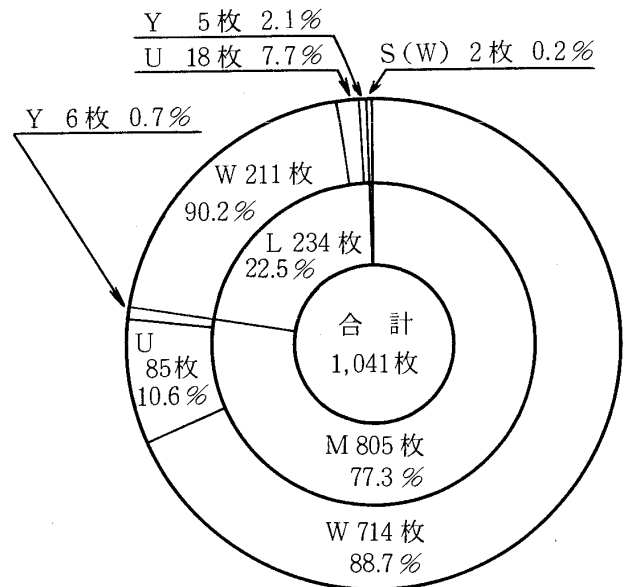


図6 用途区分による分析

表4 用途区分

年度 区分	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	計
S									1		1	2
M	W			5	50	76	128	101	124	113	117	714
	Y					2		4				6
	U	2	18	24	24	10	2	5				85
	X											0
	計	2	18	29	74	88	130	110	124	113	117	805
L	W				6	38	30	30	45	41	21	211
	Y										5	5
	U		2		3	13						18
	X											0
計		2		9	51	30	30	45	41	26	234	
合計		2	20	29	83	139	160	141	169	155	143	1,041

備考 Wは長時間形, Yは即時長時間形, Uは普通形, Xは即時普通形を示す。

### 5. まとめ

現在実施している自主認定制度は、防災用の専用機と防災用と一般保安用の共用機を形式認定の対象としているが、今後、一般保安用のみのもの更に常用発電設備のものも形式認定の対象とすべく技術的検討に入っており、自家用発電設備に関する行政の簡素・合理化に大いに活用願うこととしている。

## ビル用非常用ガスタービン

ヤンマーディーゼル(株) 大泉 治 朗

### 1. まえがき

国内の非常用発電設備、または防災用発電装置には、従来ディーゼル発電機が用いられていたが、ここ数年来ガスタービン発電機が採用される場合

が多くなって来ている。その理由としてよく言われるように、ガスタービンは冷却水を必要とせず、電力の周波数変動が小さいなど、発電装置用原動機として本質的な長所がいくつかある。しかしそ

の背景として、信頼出来るガスタービンを開発・生産出来るようになった国産技術の向上と、ガスタービンの普及に払われた諸先輩の努力を忘れることは出来ない。

ヤンマーディーゼル機は、従来、ディーゼルエンジンの専門メーカーとして、長年にわたり常用・非常用ディーゼル発電装置を生産して来たが、ガスタービンの本質的特長と社会の需要動向に応え、ディーゼルエンジンに加えて、昭和58年秋よりガスタービンも供給出来る体制を整えて来た。現在、250 KVA から 1500 KVA 迄を5機種のカスタービンでカバーし、相当数のガスタービン発電装置を市場に供給している。

今回、非常用ガスタービン特集の一部として、ビル用非常用発電装置をメーカーの立場から紹介するに当り、ディーゼルとガスタービンの両方を供給できるという立場を生かして、ユーザー（ビルのオーナー、または設備設計担当者）の方々に参考となると考えられる事項を記してみたい。即ち、ディーゼルとガスタービンの公平な長短所比較、ガスタービン発電装置設置上の注意事項、弊社ガスタービンの設計方針などを以下に述べる。

## 2. ビル用非常用発電設備

### 2-1 ビル用非常用発電設備とその特徴

標記設備の「ビル用」という言葉は、はっきり定義されたものではないと思われるが、通常のビルディングに設置される防災用ないし自衛用自家発電設備と考えることとする。但し蓄電池設備を除く。

表1は、国内で新設された非常用発電設備約420台の内訳例を示す。分類方法は必ずしも適切とは云えないが、非常用発電設備の約40%が、

表1 非常用発電設備市場の内訳例

納入先	比率	納入先	比率
病院	20.6%	上下水道	9.2%
一般ビル	12.3	工場	7.3
会館・劇場	6.4	デパート	6.9
金融関係	3.8	電力関係	3.1
計	43.1	船舶	2.6
		その他	27.8

通常に云われる「ビル用」と解釈してよい。ビル用の特徴はどの様に考えられるだろうか。

#### (1) 年間稼働率、稼働時間

ガスタービンが非常用発電設備として市場に進出するようになったキッカケの一つとして、1971年アメリカ・ニューヨークの大停電、昭和53年の国内・宮城県沖地震がある。前者は、一旦電源が途絶すると仲々再起出来ないという超巨大化した最新式発電所のもろさを、後者は、冷却水系の損傷という些細なトラブルが非常の場合の発電を妨げという複雑さのもつ弱点を告発した。しかし現在の日本の電力網は非常に整備されて居り、特に大都会では送電網が環状化されているので、停電の起る確率は非常に少い。地震・台風・火災等の災害時に稼働するだけで、通常は保守運転が唯一の運転だと考えがちである。しかし実際に市場に設置してみると、短時間ではあるが停電回数は案外多いという事実を知らされる。ビル用電源はコンピュータ回線や人命など、停止することの許されない重要な使命を負わされていることと併せ考えると、非常用発電装置が極めて大切な装置であることを再確認させられる。

我々が最初ガスタービンを開発するに際して想定した非常用自家発の年間稼働条件は、起動回数10~25回、運転時間は通常の保守運転が年間1~10時間、台風等災害発生時連続運転50時間、平均年間稼働時間20~30時間であった。その後実際に市場に納入してみた実測値も、大略上記の値で誤りはないが（但し災害による連続運転の経験なし）ばらつきが非常に大きいことを実感している。特に起動回数は、年間130回を越える場合（これは見学者にデモンストレーション運転するものと思われる）から、年間1~2回（計画停電の際には、装置が自動起動しないようわざわざ「手動」にしている模様）迄、千差万別である。そして年間数回の実停電が相当の割合で経験されている。但しその場合でも、1回の停電時間は1分ないし10分間程度の短いものである。

以上のように、よく言われるようにビル用非常用発電装置にあっては、運転時間は極めて短く、エンジン選定の際、燃料消費率を問題にする必要はない。最も大切なことは、当然ながら、停電の場合に確実に電力を供給し、病人やコンピュータ

一、或は重要設備を守ること、即ち電源設備としての高い信頼性をもつことである。

(2) 低公害性

一般に都会のビル設備では、ビル内部の居住性およびビル周辺の問題から、エンジンの振動・騒音・エミッション等の公害に対して、十分な配慮が要求される。

騒音に関する環境基準としては、一般基準（昭46.5閣議決定）、工場・事業場騒音規制（昭46改、騒音規制法）があるが、付近住民との関係で

実際には更に厳しい要求が出される場合もある。境界線との距離、音の反射・屈折、排気放出方向、音の上下方向拡散特性など、実際の設置場所の条件に基づいて騒音評価を行い、発電装置に対する騒音仕様（通常は機側1m、および排気出口斜45度1mにおける騒音値）を定める必要がある。過剰な要求品質は装置の価格を不必要に高くする。表2に各種ビル空間の騒音振動レベル設計目標例（許容値）を示す。

表2 種々の環境における振動および騒音の許容値

振動	V L (dB)	45		50		55		60		65
	不快さ	無感		僅かの人々が振動を感じはじめる		特に気にならない		不快であると感じはじめる		
騒音	d B (A)	20	25	30	35	40	45	50	55	60
	N C ~ N R	10~15	15~20	20~25	25~30	30~35	35~40	40~45	45~50	50~55
音	うるささ	無音感		非常に静か		特に気にならない		騒音を感じる		騒音を無視できない
	会話・電話への影響			5m離れてささやき声が聞こえる		10m離れて会話可能 電話は支障なし		普通会話(3m以内) 電話は可能		大声会話(3m) 電話やや困難
空間用途	スタジオ	無音室	アコースティックスタジオ	ラジオスタジオ	テレビスタジオ	主調整室	一般事務室	一般事務室		
	集会・ホール		音楽堂	劇場(中)	舞台劇場	映画館		ホールロビー		
	病院		聴力試験室	特別病院	雑音・雑音	診療室	検査室	待合室		タイプ・計算機室
	ホテル・住宅				書斎	寝室・客室	宴会場	ロビー		
	一般事務室				重役室・大会議室	応接室	小会議室		一般事務所	
	公共建物				公会堂	美術館・博物館	図書閲覧	公会堂	納スポーツ館(並)	
	学校・教会				音楽教室	講堂・礼拝堂	研究室	普通教室	廊下	
	商業建物					音楽	書籍店	一般	一般商店	
					喫茶店	美術品店	銀行・レストラン	食堂		
					宝石店					

振動は、多くはビル内部の居住性との関連で検討されるが、ディーゼルの場合には低周波振動が発生するので、大きな設備ではビル外部に及ぼす影響も配慮する必要がある。回転原動機であるガスタービンは、本質的に振動に関して有利であるが、屋上又は途中階に設置する場合、床面梁との共振有無程度は予め検討しておく方が無難である。最近ではビル構造の解析も進歩していて、過剰な剛性を削除した軽量ビルが多く、思わぬ所に影響が出たりする。

排気エミッションは非常用設備としては通常規制されないが、市の環境局等への排出量報告が義務づけられている所がある。今後は低エミッションが、エンジンの基本的義務として要求される方向にある。

（3）ビル固有の要求事項

ビルの用途上、固有の要求事項がある場合がある。例えばコンピューター電源にあっては周波数変動の少いことが必要であり、製品の性質上負荷の大小にかかわらず一定周波数が要求される場合にはアイソクロナス制御の出来る電源設備でなければならない。その他設置スペースの関係で寸法重量が制限される場合、あるいは既設電源に増設して並列運転する場合、等々が考えられるが、何

れにしても、これらの条件から使用原動機は必然的に決ってしまう。

2-2 非常用発電設備原動機の選定 (ディーゼル/ガスタービン)

ビル用非常用電源として原動機を選定する場合、原動機の一般的な比較検討はあまり意味がない。ディーゼル、ガスタービン共に幾つかのメーカー、機種があり、夫々特徴・体質を持っている。例えばガスタービンにしても、航空機転用型の超軽量形、長時間運転に適した重負荷形、あるいはその中間産業用形などで夫々体質が非常に異り、長短所や運転保守取扱性も異なる。従って一般的な比較資料ではなく、対象と考える機種についての正確な資料をとり寄せて、同一条件のもとで比較することが大切である。

以下に参考として述べるものは、弊社で生産している 500 KVA 級原動機として、中間型産業用一軸ガスタービンと、高速 (1500~1800 rpm) 高出力 (正味平均有効圧 15.2 kg/cm<sup>2</sup>) 過給ディーゼルとを対象を選び、両者を比較する。

(1) 燃料消費率

2-1(1)項で述べたように、ビル用非常用発電設備にあっては燃料消費率はあまり重要ではない。しかし燃費率が原動機性能を表す代表的特性であるので、エンジンの技術水準の指標として、要検討項目に入れられる。但しその場合、ディーゼル同志あるいはガスタービン同志の比較として意味があるのであって、ディーゼルとガスタービンの比較は最初から答は決っている。

図1に弊社ガスタービンの性能曲線を示す。これを40℃における燃費率で分力負荷別にディーゼルと比較したのが図2である。明らかなように、ガスタービンの燃費率は悪く、定格点 (4/4) でもディーゼルの約2倍、分力時にはその差は更に大きくなる。

非常用では實際上無負荷運転が殆んどであるので、燃料消費に関しては無負荷時燃料流量がむしろ大切な特性である。図2に示すガスタービンの無負荷時燃料流量は 110 l/h、ディーゼルのそれは約 20 l/h である。但しディーゼルの場合は長時間無負荷運転することは、あまり望ましいことではない。

ガスタービンの出力性能および燃費率は環境条

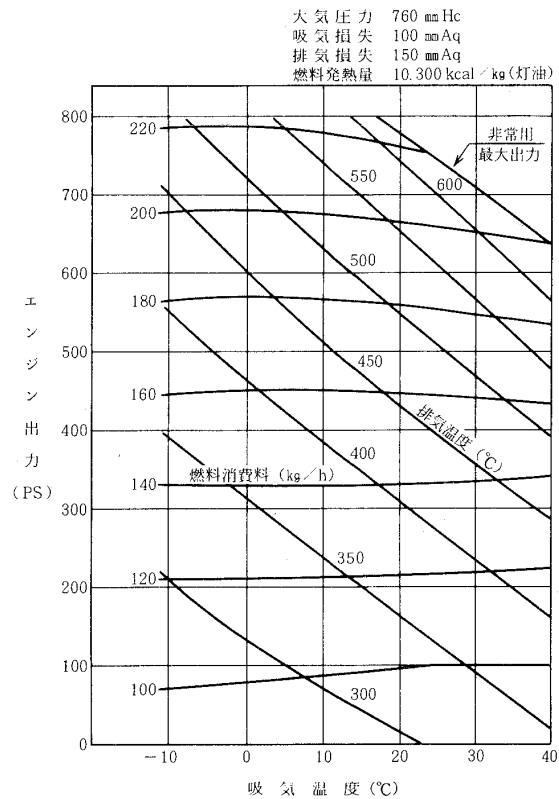


図1 AT 600 (S) 形ガスタービン性能曲線

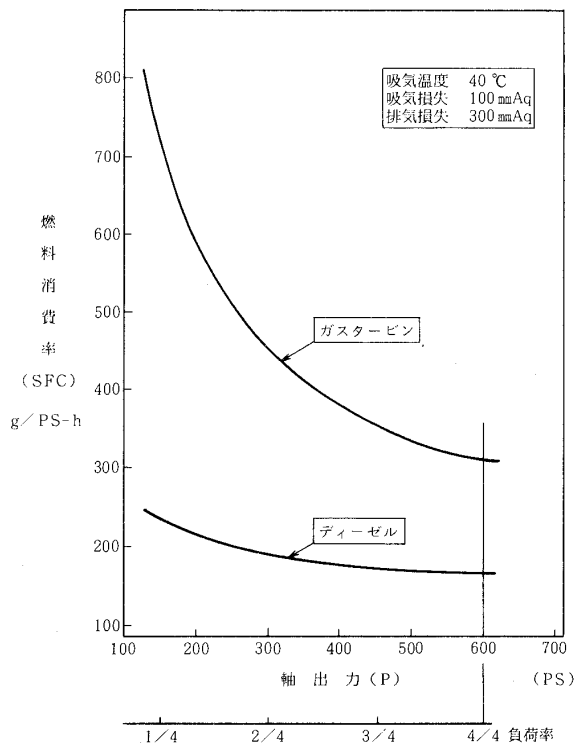


図2 燃費性能比較

件 (吸気温度、吸排気抵抗、高度) により大きく影響されるので、メーカー資料によりその条件が

異なる場合は同一条件に統一して比較することが大切である。燃料の種類（灯油・軽油・A重油等）による差は、発熱量による差だけと考えるとよい。

(2) 負荷応答特性

過給ディーゼル機関は低負荷時の過剰空気が少ないので、0から100%負荷投入は出来ない。又慣性質量が小さく、負荷投入、遮断時の回転数変動も大きい。これに対してガスタービンは、過剰空気、慣性質量ともに大きいので100%負荷投入・遮断にも回転数変動が少なく、良質の電気が得られる。図3に両者の負荷投入許容線図を、又表3に両者の平均的な特性値を示す。

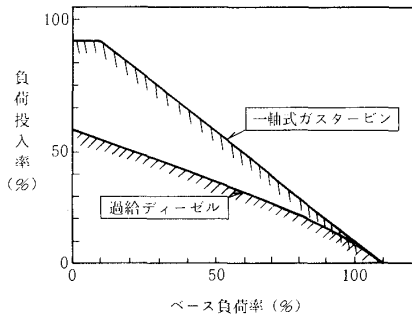


図3 負荷投入率

表3 負荷応答特性例

		ディーゼル	ガスタービン
0 ← 最大投入負荷率	%	60~75	100
同 瞬時速度変動率	%	8~10	4
同 整定速度変動率	%	4~5	2~3
同 整定秒時	秒	6~7	3
定常時速度変動率	%	0.4~0.5	0.1~0.3

(3) 振動・騒音

騒音について両者を平等に比較することは案外むずかしい。何故ならば、ガスタービンは高周波音を出すので防音パッケージに収納した形で使用し、ディーゼルでは通常エンジン露出の状態で使用。この状態では当然ガスタービンの方がはるかに低騒音であるが、その為に費用をかけている事になる。逆にディーゼルを防音パッケージに入れても低周波音が多い為減音効果は少ない。結局両者の使用条件の差異をそのまま認めて、騒音値とコストを併せて比較するより仕方がない。

図4にディーゼル原音、ガスタービン原音、ガ

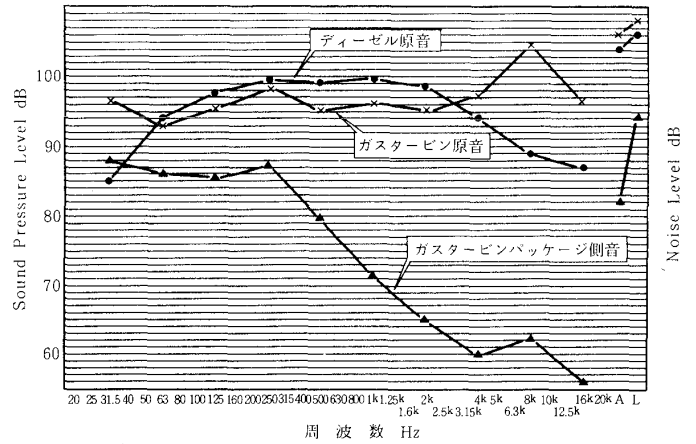


図4 騒音比較例

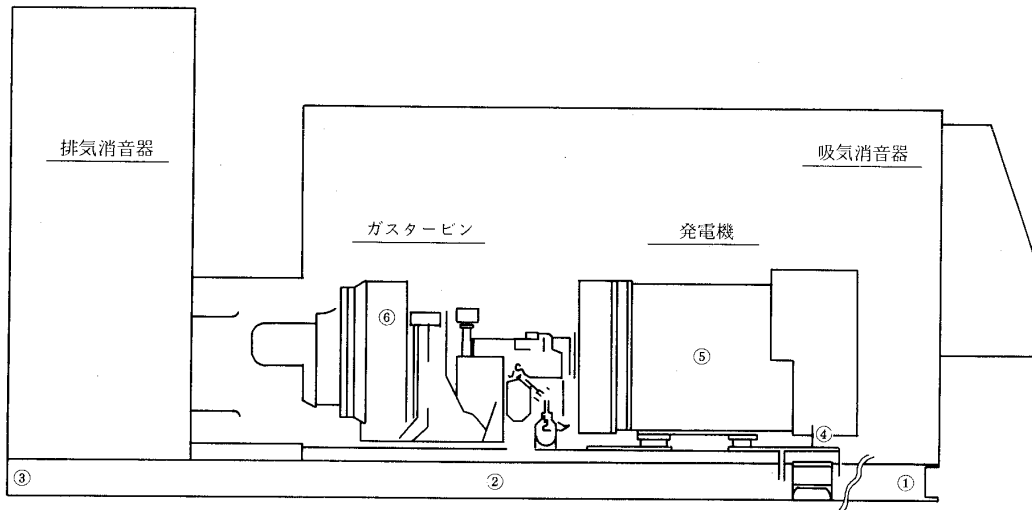
スタービン防音パッケージ騒音（全て500KVA）の分析例を示す。ガスタービンは高周波音が多いので吸音しやすく、90~70 dB(A)程度迄容易に減音出来る。排気消音器については、ガスタービンは排気量が大きく、又あまり抵抗をつけられないので、ディーゼルに較べて相当大きくなる。抵抗が少なく且つコンパクトな消音器の開発が待たれる。

振動については、回転原動機であるガスタービンが明らかに有利である。又遮音の必要上防振ゴムを介して据付けるので、外部に出る起振力は非常に小さい。実測値から算定すると台床を通じて外部に伝わる振動力は装置静荷重の0.5~1%、周波数は発電機回転速度（1500又は1800 cpm）に一致する。図5にガスタービン発電パッケージの各部振巾計測例を示す。ディーゼルの場合、防振ゴムを介する場合と介しない場合がある。防振ゴムを設けない場合は、台床や基礎の質量・剛性により伝達される力・振巾が異なるので問題は複雑となる。エンジンの起振力そのものも、理論上はともかく実際の値は仲々想定困難で、振巾・系質量・周波数の実測値から逆算するのが実用的である。ディーゼルをビル途中階に設置する場合は、詳細な振動計算をしておく必要がある。

(4) 排気エミッション

先述のように非常用設備としては排気エミッションの規制はないが、無視してはならない項目である。図6に一般的なNOx排出率の比較を示す。ディーゼルの場合、直噴式と副室式とでは排出率に相当の差がある。図7に弊社ガスタービンの排





全振巾 (mm)				機関番号 0103BC	
測定位置	上下方向	左右方向	前後方向	測定番号	1800 rpm 400 kw
1	0.0005	0.0006	0.0006	測定単位	mm
2	0.0035	0.0015	—	測定器具	電気式振動計
3	0.0009	0.0020	0.0006		
4	0.0830	0.0960	0.0120		
5	0.0150	0.0490	0.0240		
6	0.0890	0.0970	0.0420		

図5 500 KVA 発電パッケージ振動振巾計測例 (屋上設置時)

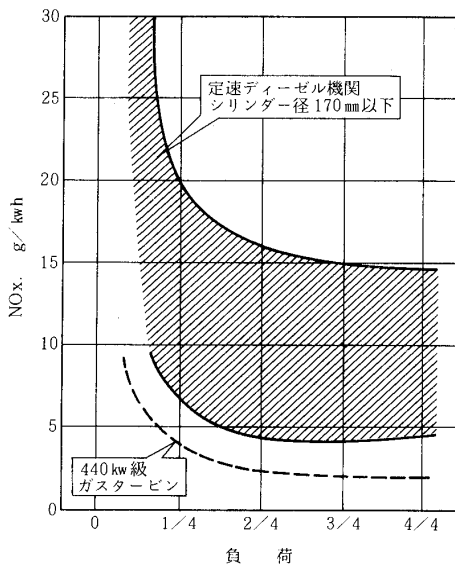


図6 発電用機関のNOx 排出率

出濃度測定例を示す。排重率に換算すると定格負荷で約 2.5~2.7 g/psh である。これに対し直噴式ディーゼルは 6~10 g/psh, 濃度で 600~800 ppm 程度である。

- (5) 寸法・取扱性, その他
- 500KVA級のエンジン寸法・重量比較例を表4

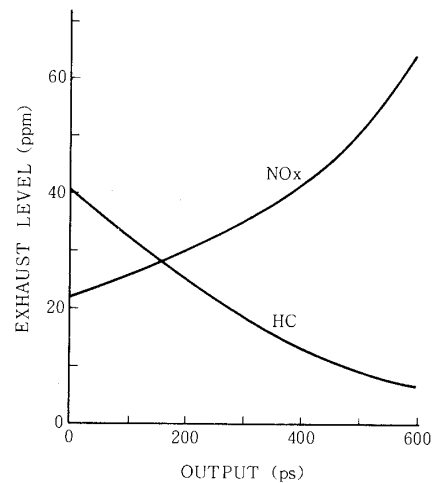


図7 ガスタービンの排気エミッション

に示すが, 大切なことは発電装置全体として (パッケージや消音器も含めて) 比較することである。その際騒音や振動等の特性も切離すことは出来ない。

運転取扱性に関しては, ディーゼルはスキマやタイミングの調整など多少の調整を要するのに対し, ガスタービンは殆んど全自動運転されるので手を加える余地がないのが通常である。

表4 500KVA級エンジンの寸法・重量等比較

		ディーゼル	ガスタービン
寸法 (L×W×H)	mm	1903×1070×1600	1853×802×890
重量	kg	2500	670
馬力当り投影面積	cm <sup>2</sup> /PS	34	28
重量	kg/PS	4.2	1.1
部品点数			
ボルト・ナットを除く	ヶ	2217	307
ボルト・ナットを含む	ヶ	3237	898

保守運転に関連し、ディーゼルでは無負荷で長時間運転すると、潤滑油消費が増したり、カーボンを堆積したりする場合がある。又排気系を計画する際、排気ミストが万一たまった時の安全性を確認しておく必要がある。

#### (6) 原動機の選定

以上幾つかの特性を述べたが、一般的に次のようにまとめられよう。

##### (イ) ガスタービンに適する条件

- 寒冷地又は給水上の制限で冷却水が使えない場合。
- コンピュータ電源等良質の電気を必要とする場合。
- 屋外・屋上・途中階に据付ける場合。
- 振動・騒音の制限が厳しい場合。
- 大きな、且つ分割出来ない電力負荷のある場合。

##### (ロ) ディーゼルに適する条件

- 起動立上り時間を10～15秒程度迄とする場合。
- 地下機械室から排気煙道が非常に長い場合。
- 騒音・振動に制限ない場合。

何れにしても、非常の場合必ず稼動出来る高い信頼性のあるもので、メンテナンス費も含めて費用が低廉でなければならない。

### 3. ガスタービン発電装置設置上の注意事項

発電装置は多くの構成要素から成立っていて、その内の些細な部分の不具合でも装置全体が作動しないという事になる。トラブルの原因が精密機械であるガスタービン内部にあるよりも、むしろ外まわりのシステム構成部分にあることの方が多い。その意味で周辺設備設計は大切である。

**3-1 吸排気系** ガスタービンは吸排気量が多く、また吸気温度、吸排気抵抗がエンジンに大きな影響を与えるので、吸排気系の設計には特に注意を要する。考えられるトラブルを列挙して参考にしたい。

#### (1) 吸気系のトラブル例

- 吸気抵抗過大によるサージング発生
- 屋上の吸気取入部の夏期異常高温による出力低下（吸気取入部の設計不良）
- 排気消音器・排気管からの放熱の為、室内吸気温度上昇による出力低下（室内換気不良）
- 吸気フィルター汚れによる出力低下
- 雨水混合吸入によるパッケージ吸音材の劣化

#### (2) 排気系のトラブル例

- 煙道からの強風逆流によるエンジン着火失敗
- 煙道ダンパ不良によるエンジン起動失敗
- 排煙による壁の汚損、コンクリート・タイルの熱損傷、人や器物への危険（出口設計不良）
- 共通煙道からの排煙逆流
- 煙道出口形状は積雪、降水、暴風、鳥の巣等に対し考慮が払われていること。

**3-2 燃料系統** 燃料ポンプ入口部に適当な燃料圧がないと、必要燃料噴射圧が得られず、その為に起動時間が長くなったり、負荷変動に対する応答が悪くなり回転低下を起したりする事がある。特に最近燃料成分中のワックス分が析出しやすいものがあり、こし器の流動抵抗が大きくなる。夏期に購入した暖候用燃料（A重油、軽油）を冬期に使用すると問題を起すことがあるので注意を要する。

**3-3 電気系統** ガスタービン制御装置にコンピューターを用いるシステムにあつては、ノイズの混入を防ぐ事が非常に大切となる。

- センサー信号をコンピューターに導く制御ケーブルは専用シースケーブルとするのが望ましい。
- 制御ケーブルと高圧電力ケーブルとは同一ピット内を通さない。
- 制御ケーブルは高圧遮断器等ノイズ発生源の近傍を通さない。
- 必要に応じ、電源入出力部にノイズキラーを設けること。

**3-4 建物との関連** 先に述べた様に、振動・騒音についてはビル内外への影響を予測しておくことが必要である。ガスタービンの振動は発電機と同一次数の正弦波のみが外部に出るので、建築物骨枠との共振有無を検討するのは比較的易しい。図8は屋上に設置した発電装置の共振検出例である。

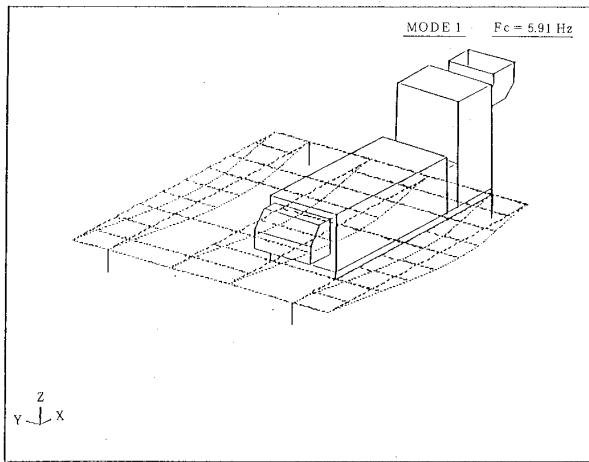


図8 建築物骨枠との共振モード解析例

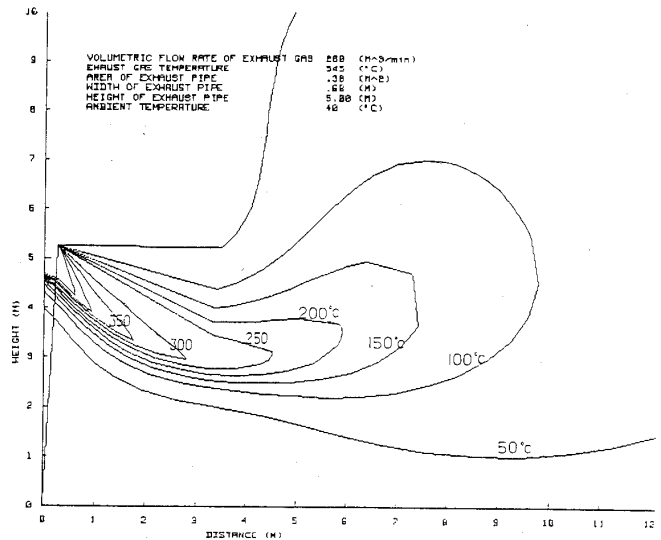


図9 排気煙道出口後流の温度分布解析例 (45°C 下方吹出し)

又排気出口の選定も、周囲への影響を検討して行く必要がある。図9は煙道出口の排気後流の温度分布を、実験を含む詳細解析により算定した例を示す。風や障害物(建物)の影響迄含めたより高度の解析が望まれている。

#### 4. ガスタービンの構造

ヤンマーディーゼルでは昭和55年ガスタービンの開発を決定、一部社外の協力を得ながら開発は順調に進み、昭和59年1月に1000KVAの初号機を納入した。その後表5に示す5機種を揃え、現在納入予定も含め約80台余りの実績を得ている。

図10に基本機種であるAT 600 S型 600 PS機

表5 ヤンマーATシリーズ

名称	形式	40°C出力	適用発電機容量
AT 360(S)	単純開放 一軸式	360PS	250~300 kVA
AT 600(S)		600PS	400~500 kVA
AT 900(S)		900PS	625~750 kVA
AT 1200(S)		1200PS	875~1000 kVA
AT 1800(S)		1800PS	1250~1500 kVA

関の断面を示す。この構造の特徴について簡単に紹介する。

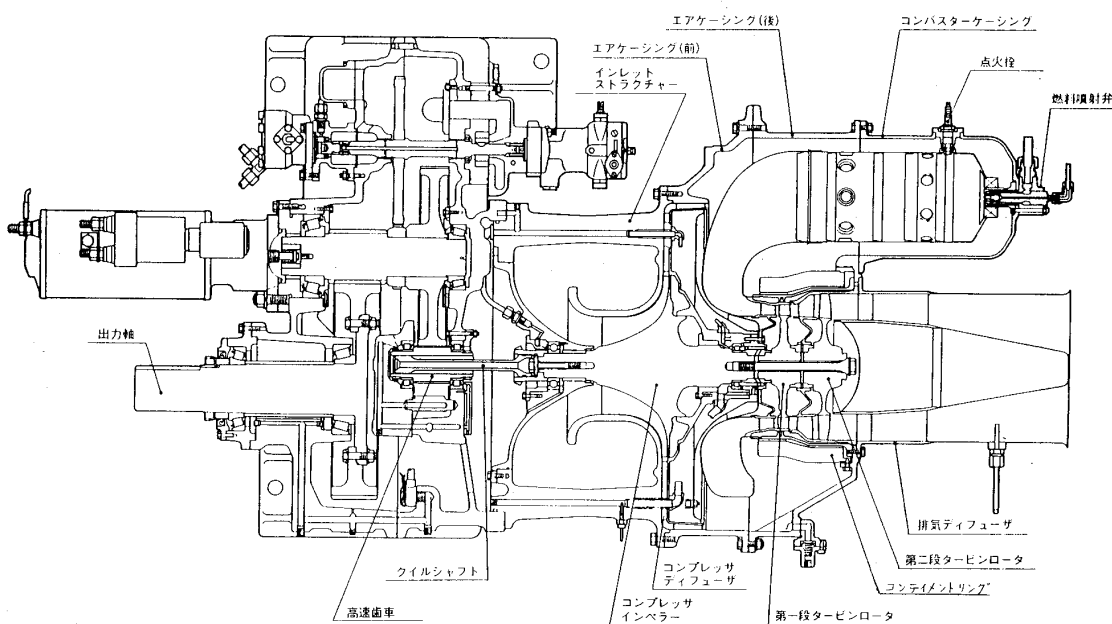


図10 AT-600(S)型機関(断面)

4-1 一段遠心圧縮機 非常用では燃料消費率は実用上問題にならないのは事実ではあるが、ガスタービン開発の際に設定する目標性能として人並みよりも悪い燃費率を設定することは技術者としては耐えがたいことである。弊社でも開発目標として「一般遠心圧縮機方式で、人並み以上の燃費性能を出すこと」を基本方針とした。最終的に圧力比約8、タービン入口温度約1000℃、燃費率約280 g/ps.h (ISO)として開発が進められた。圧力比8.1、断熱効率81.2%、且つサージングに対して広い運転範囲をもつ一段遠心圧縮機が得られたが、これは実用機としてはトップ水準にあると考えている。高周速(620 m/s)に耐える為、ステンレス系特殊鍛造品から削り出された翼車は十分な強度と、変形量の少ない形状をもっていて、図10からも判るように、軸状に伸びた両端が直接軸受で支えられて高速回転系を形成している。

4-2 単純な回転系構成 上述のように回転主軸は遠心圧縮機そのものであり、これに2段軸流タービンがボルト結合されている極めて単純な回転系となっている。これは遠心圧縮機が一段で済む事から生ずる大きな特長である。即ち両軸受間の距離が短く主軸の剛性が高い為、一次の危険回転速度は運転速度の1.25~1.3倍と高く、起動時の共振や停止後のタービン温度分布に気を必要はない。翼先端スキマも充分小さく設定出来る。又タービン側軸受が高温ガス雰囲気中にないので、運転直後の軸受部高温問題から解放されている。そして何よりも、構成部品点数が少ないという事は信頼性が高いことを意味する。

ただし圧縮機の太い両端を支える転り軸受は周速が非常に高く、軸受平均径  $dm$  と回転速度  $n$  との積  $dm \cdot n$  値は、約  $240 \times 10^4$  (mm・rpm) に達し、且つラジアル荷重が小さいので、軸受の開発には大きな努力を必要とした。

4-3 安全防護設計 回転部分には充分安

全性が考慮され、且つテストで確認済であるが、万一の事故にも人身を含めた重大な損傷を生じることがあってはならない。圧縮機収納ケースは特に厚肉構造とし、タービン外周には強固な防護環を設けて、安全防護を重視した設計としている。

4-4 補助空気噴霧式燃料噴射弁 燃料弁は図11に示すような補助空気噴霧式を採用している。

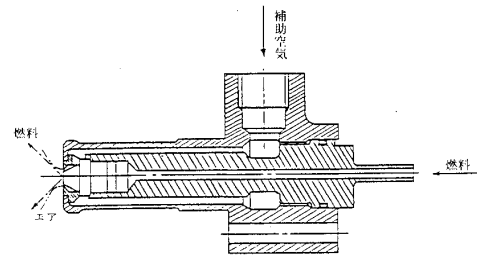


図11 補助空気噴霧式燃料弁

ノズルは長期放置や高温にも目詰りのしない単孔式とし、噴孔周囲に補助空気を吹込むことにより燃料を微粒化し着火を確実にしている。補助空気は、起動時には補助電動ポンプから、起動後は遠心圧縮機出口から直接供給される。

4-5 エンジン制御装置 マイクロコンピュータを用いた弊社ガスタービン専用の制御装置(EACと略称している)を開発、停電から送電(遮断器投入)まで、全自動的に制御する他、保安監視、警報機能、自己診断機能をもち、要すれば運転事象の記録、定期的自動保守運転も行わせることが出来る。

## 5. あとがき

ビル用非常用ガスタービンに関連して、主としてユーザーの方々が非常用発電設備を選定される時のことを念頭において述べた結果、ガスタービン内部のことよりも基礎的な周辺エンジニアリングに終始した。我々はまだ短い経験を経たばかりであり、また私自身の偏見も含まれていることを怖れる。御気付きの点御教示戴ければ幸である。

## ビル用非常用ガスタービン利用の状況

日本経済新聞社 佐藤敏雄

### はじめに

昨今の非常用自家発電設備を考えると、電力事情の良好さと電力会社側の地震災害に関する対策を聞くにつけ、需要家としてのその必要性和規模について深慮を求められるようになって来た。昭和40年代前半は20kV系統の受電でも、数は少ないが年に1～2度は停電があり、その当時は新しくビルを建設する場合に、停電対策としてそれ相当の非常用自家発電設備を設置することが通常とされていた。しかしその後の十数年間に亘り、弊社のビルでは1度も停電がないという状態が続いている。このように買電の供給信頼が高まるにつれ、新規の計画に際し停電対策としての非常用自家発電設備は、諸法規の規定範囲内のものとするか、または社業上から必要な規模のものとするか、慎重に検討する時機に来ていると思われる。最近担当したビル建設の非常用自家発電設備について考え方を述べてみたい。

### 1. 用途と機種選定

#### 1) 用途

弊社は関連企業であるテレビ東京の新社屋として日経電波会館を建設し、昨年12月12日に移転しここから放送を開始した。テレビ東京は東京を中心として大阪、名古屋、岡山、高松と関連グループのテレビ局に対しネットワークを形成し、そのキー局としての重要な役割を演じている。またテレビ局という公共性から日常の放送は勿論のこと、地震、災害その他社会的ニュース等の非常時の情報を伝える手段としての使命が課せられているために、停電により電波が停止することは避けなければならない。この点から万一長時間の停電が発生した場合の対応として、法規上の容量の他に最少限の放送を維持出来る発電設備とする必要がある。またテレビ放送設備は電波を送出する設備機器と、番組を製作するスタジオ設備機器とに大別される。地震、災害等による長時間の停電が発生した場合は、ニュース・スタジオなどの必要なものを除き、恐らく一般のスタジオを使用しての生放送は中止されるであろうと予想して、非常時の

発電電力は電波の送出に必要なマスター関係機器、送信所への送出関係機器およびニュース取材用や編集関係機器に優先供給する。またこれらの設備機器は電子機器で構成されているため、関連の各室に対し空調運転も行う必要がある。ここで非常事態の発生が冬期ならば余り問題はないが、夏期の場合は冷房用の冷凍機を自家発電によって運転するとなると、相当大容量の発電機となり、非常用として考えると経済的な面から一考を要する。そこで今回の計画では地下の蓄熱槽を可能な限り大きくし、通常時に出来るだけ蓄熱して、自家発電の運転中は冷凍機を停止することにした。テレビ放送としては瞬時でも電波の停止は防がなければならないので、CVCV装置（無停電方式定電圧定周波装置）を導入して重要な機器に供給しているが、これから生じる波形の歪が、発電機の容量に余裕を要求することがあるので、仕様を決定する時に考慮する必要がある。

#### 2) 機種の選定

テレビ局の性格から先に述べたように、短時間でも放送の停止を回避したいという要望から、過去の建物電気設備の運用管理に従事して来た経験と、宮城沖地震等の災害で生じた様々な状況を教訓として、テレビ放送の特殊性に最適なものを選定することになった。

その選定条件は、

- ①非常時は断水の確率が高いので、冷却水を使用しないもの。
- ②テレビ放送に支障を少なくするため、振動と騒音が小さいこと。
- ③設置スペースと場所の問題から、小形、軽量であること。
- ④設備要員の省力化から、日常の試運転や保全作業が少ないこと。

などが考えられる。

まず冷却水の問題であるが、宮城沖地震の際には、電力会社の電気設備に相当の被害を受けたにも拘わらず、1日位の停電で復旧しているが、水道とガスは復旧に長い時間を要している。容量の

小さいディーゼル・エンジンならば、最近はラジエータ方式で冷却するものが多くなったから特に問題はないが、1,000 kVA 級になるとラジエータの放熱換気がビル内では難かしい。また冷却水を使用するためには、給水設備や発電機室にサービス・タンクのスペースが必要となり、保全管理の手間と費用が掛かる。そればかりでなく過去の経験から、自家発電の運転で最も多いトラブルが冷却水関係にあり、冷却水の断水リレー動作や冷却水ポンプの駆動ベルト切れ、などが度々発生したため、断水リレーを二重化したり、ポンプ駆動ベルトの強度と本数を増す等の改良を加えている。しかし現在でも運転中の監視ポイントは、サービス・タンクの水位や水温上昇など冷却水関係に集中する有様である。その上最近水道料金も値上りし、試運転時にも多少は放流排出をしなければならぬので、節水という意味からも水を使用しない方が望ましい。燃料はタンクを多少大き目に設定するか、非常時でもタンク車等で燃料を運搬出来る状態ならば、相当長時間の運転が可能となるが、冷却水は一般の場合数時間程度で無くなるケースが多い。ビルの場合は冷却水を貯蔵するにも制限が大きく、またたとえ貯水が出来てもその衛生上からの管理や経済性から考えて、水の不要なガスタービンを選んだ大きな理由である。

次にテレビ放送では、放映中に騒音が音声に影響することは大きな障害となる。また振動も意外に建屋に伝播して、放送に少なからぬ支障を与えるため、振動が大きく低周波騒音の対策に問題があるディーゼル・エンジンより、回転体で構成するガスタービンはこの点からも適している。それに回数は少ないといっても、保守点検や試運転作業時に、ディーゼル・エンジンから発生する騒音は不快感が激しく、ガスタービンは防音パッケージに全体が収納されているため、作業者に対する現場での監視、チェックの作業環境は比較的に良好である。

都心部にビルを建設する場合は、スペースを可能な限り有効に利用することが大前提となる。最近既存のビルで非常用自家発電設備を導入する場合に、建屋内に設置スペースが無い場合、屋外で尚且つ屋上に置かざるを得ないことが多く見られる。小容量の発電機で済むならば、ディーゼル

発電機でも屋外形パッケージ収納で設置出来るが小形で軽量なガスタービンも、屋上という建屋の重量制限やスペースの制限から、採用されるケースが出て来た。今回は場所が虎ノ門ということと隣接してマンションや事務所が存在することも考慮して、屋内に設置することにした。当初は自家発電設備を1台とすることも考えたが、始動時や運転時に万一故障すれば、完全に放送が出来なくなるので、安全を図って2台に分けた。そうなるに設置スペースの上から、小形である方が望ましく、地階ならば重量があってもよいが、ここにスペースが取れないため、上層階に設置するとなると軽量であることが条件に合う。

以上は機能面と形状からの選定条件だが、その他に通常の試運転チェックと、定期保守点検が必要であることから両者を比較すると、ディーゼルエンジンではシリンダその他に、潤滑油を常に切らさないように維持する必要から、試運転は出来るだけ密にする方が望ましいとされている。弊社では昭和39年に設置した1,500 PS 1,250 kVAのディーゼル発電設備を、当初は毎週1回約30分間の無負荷による暖機運転を行っていた。所が2年位経過すると無負荷による不完全燃焼のため、排気管の接続部から溜った燃料が落下するようになった。この不完全燃焼はまた冷却水の温度による影響があった。冷却水の補給水は冬期で10℃前後に下がり、30分間の試運転は無負荷なため、冷却水の温度が低いのでエンジンの温度が上昇せず、不完全燃焼に拍車を掛けることになった。この結果はシリンダ・ヘッドや給気、排気の弁にカーボンが大量に付着して、分解点検の間隔が短くなり、更に温度が上がらないためシリンダが膨張せず、ピストンリングに機械的な無理が加わって、全数破損するという異常を経験した。この対策として冷却水の一部をサービス・タンクに循環させ、また試運転の時や受変電設備の定期点検で停電させた時に、負荷を出来るだけ乗せて運転した結果現在は以前に比べて安定した状態で維持している。そこで試運転も隔週に1回と倍に伸ばしたが、やはり試運転時は冷却水の温度と流量の調整等に要員が付いて行っている。これに対してガスタービンは構造上から、潤滑油や燃焼の問題が無いので毎月1回程度の始動確認のための試運転で済むた

め、設備要員の減少傾向にある此頃では、保全に要する省力化と点検費用の節減が図れることは大きい。

以上の検討結果からガスタービン発電設備を導入したわけであるが、ディーゼル・エンジン方式に比較して、設備費が割高であり、燃料消費量が大きいなどのマイナスな点もあるが、用途と諸条件によって機種と容量を慎重に選定する必要があるのではないかと思う。

尚燃料タンクの容量は、その80%が使用出来るものとして、発電機出力の平均80%負荷で24時間の運転が可能な条件とした。また燃料に特A重油を選んだのは、軽油より安価であることの他に理由はない。

## 2. 設備概要

テレビ局の電気設備としての特性に留意して、図-1に示すような系統構成にした。その理由は将来テレビ局が外国にみられるように、24時間放送になることも予想されるため、受変電設備の定期点検等の保全が容易に行うことが出来、一部の機器に万一故障が発生しても、切換えによりバックアップが可能なことなどに対処したものである。

### 1) 受変電設備

受電方式	スポットネットワーク方式 3回線受電
契約電力	2,100 kw
受電電圧	三相三線 22 kV 50 Hz
受電変圧器	モールド形 2,000kVA 3台 23, 22, 21, 20kV/6.6kV

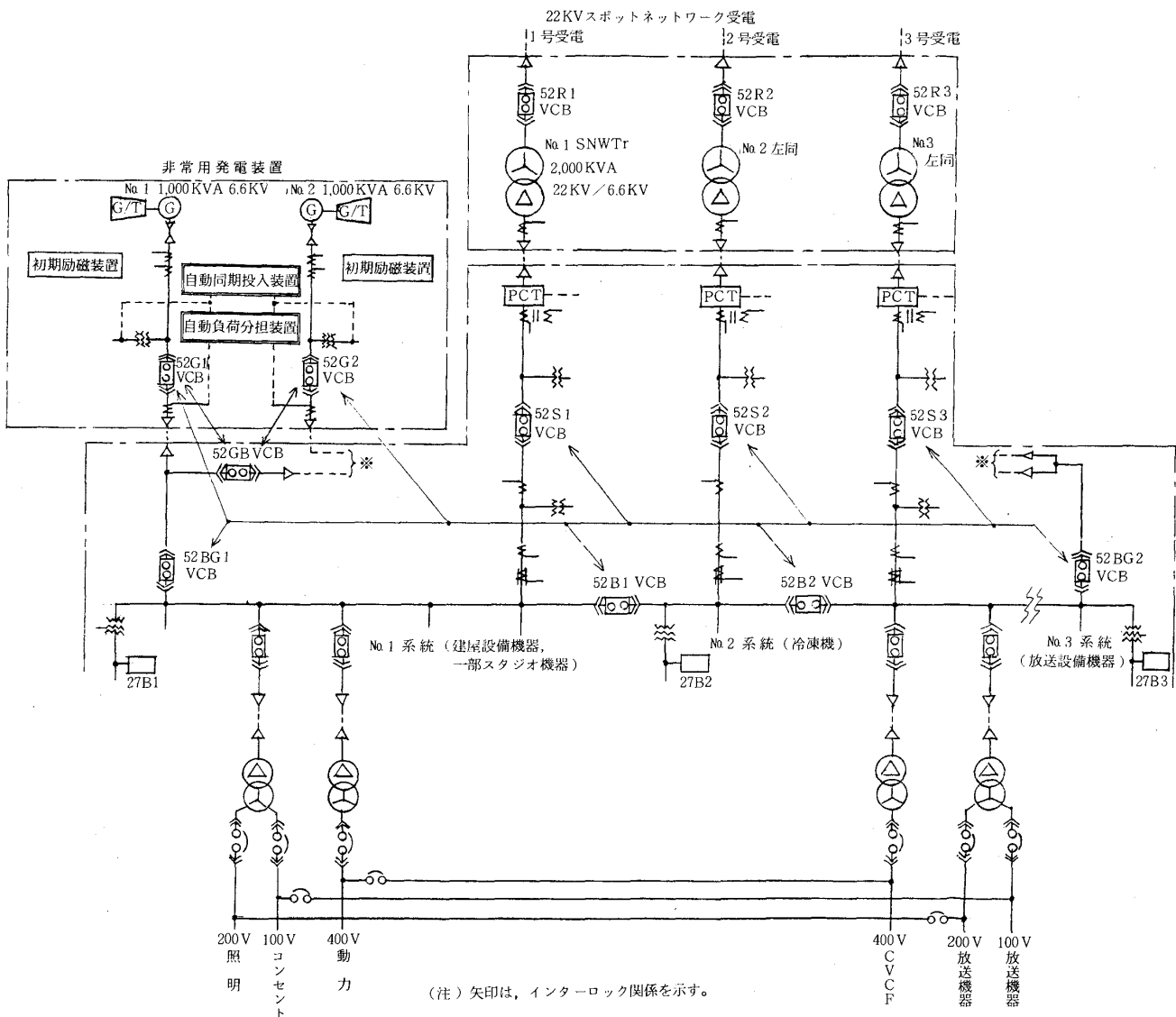


図-1. 電力系統図

降圧変圧器	モールド形	1,000kVA	2台
		750kVA	4台
		500kVA	1台
		300kVA	1台
コンデンサ	6.6kV	500kVA	2台
		400kVA	1台
		200kVA	1台
		100kVA	1台

## 2) 非常用発電設備

設備容量	1,000kVA(800kw)	2台
原動機形式	単純開放サイクル軸式 ガスタービン (AT1200S形ヤンマーディーゼル)	
定格出力	1,200PS(40℃) 1,600PS(15℃)	
回転数	39,420rpm(タービン軸) 1,500rpm(出力軸)	
调速装置	機械油圧式	
始動方式	電気式(セルモータ式)	
冷却方式	自己空冷式	
燃料	特A重油	
燃料搬送	ギヤポンプ	1.5kw 2台
燃料貯蔵	主貯油槽	20,000ℓ 1基
	小出槽	1,500ℓ 1基
発電機形式	保護形三相交流同期発電機 (CFC-D形 三菱電機)	
定格出力	1,000kVA 連続	
電圧	6,600V	
周波数	50Hz	
相数	三相三線	
力率	0.8(遅れ)	
極数	4極 Y結線	
絶縁	F種	
励磁方式	ブラシレス方式	
冷却方式	空冷自由通風自力形	
制御盤	自動始動盤	2面
	発電機盤	2面
	自動同期盤	1面
	直流電源盤	2面

## 3) 機器配置

当自家発電設備の機器は、図-2～図-5に示

す配置になっている。燃料貯蔵の主タンクは、消防設備等の関係と安全面から、図-3に示す位置で屋外地中埋設とした。燃料供給の系統と小出槽への搬送ポンプを図-6に示す。発電機本体は図-2、図-4に示すように3Fに設置したのは、B1F(第1スタジオの下)に受変電室があるため、配線経路を出来る限り短かく、また給気と排気が容易であることも条件となっている。排気ダクトは①通り～⑦通り間の低層棟の上に出し、垂直に排気することで騒音と排熱の周囲に対する影響を防止している。更に防音上から図-1に示す高さには遮音用の壁を設置してある。排気ダクトは消音器の排出側で1本に合流させた(図-5参照)。発電機室内のレイアウトは図-5に示す通りで、面積は130㎡、高さは6.5mである。また図-5に示す搬出入口は、将来の分解点検のために搬出が容易に出来るように配慮し、その大きさは本体をパッケージに組込んだ状態で搬入して、十分なものであることを確認している。当建物はこのように受変電設備や冷凍機等の機械設備も含めて、すべての機器が搬出入口を経由して搬入されている。

## 3. 運用管理

当建物の設備要員は、電気設備と機械設備の区別なしに、全部を一括管理しているが、24時間体制の勤務シフトで8人が従事している。全体的な運用に対してはコンピュータ制御の中央監視装置を導入している。

### 1) 主要負荷機器

停電発生時に自家発電によって供給される主な負荷設備としては、

① 放送設備関係	CVCF装置(無停電方式 定電圧定周波装置)	200kVA	2台
② スタジオその他		200kw	
③ 照明設備関係		200kw	
④ コンセント負荷		50kw	
⑤ 空調動力関係		250kw	
⑥ エレベータ他		100kw	

などが予想される。以上の他に防災関係設備として、消火栓ポンプ、泡消火設備、スプリンクラーポンプ、排煙ファン等で約400kwの機器があり、これらが作動した場合には当然他の負荷を制限することになる。



自家発電装置は2台共非常用としての認定を受けているが、図-1に示すようにNo.1発電機はNo.1系統フィーダに給電して、建屋設備機器を負荷とする。No.2発電機はNo.3系統フィーダの放送設備機器に供給している。通常は運転開始時に各々単独運転で、それぞれに給電するが、2台の発電機の負荷状態が著しく異なり、並列運転で供給した方が安定すると運転員が判断した時は、自動同期盤の並列運転制御スイッチを入れることによって、自動的に電圧と位相差を検出し、同期状態に達した時に並列運転用遮断器を投入するようにな

っている。並列運転になった後は、自動負荷分担装置によって各ガスタービンのガバナーを制御し、各々の発電機の負荷が均等になるように調整される。このように2台で負荷を分担出来れば、冷凍機を除いて通常時の80%近くの機器に給電が可能である。

(2) 運転方式

先にも述べたように、テレビ局の運営上から、現在でも放送終了後に受変電設備の定期点検を実施する場合に、実質2~3時間位しか無いので、これでは十分な点検も出来ないし、無理をすると

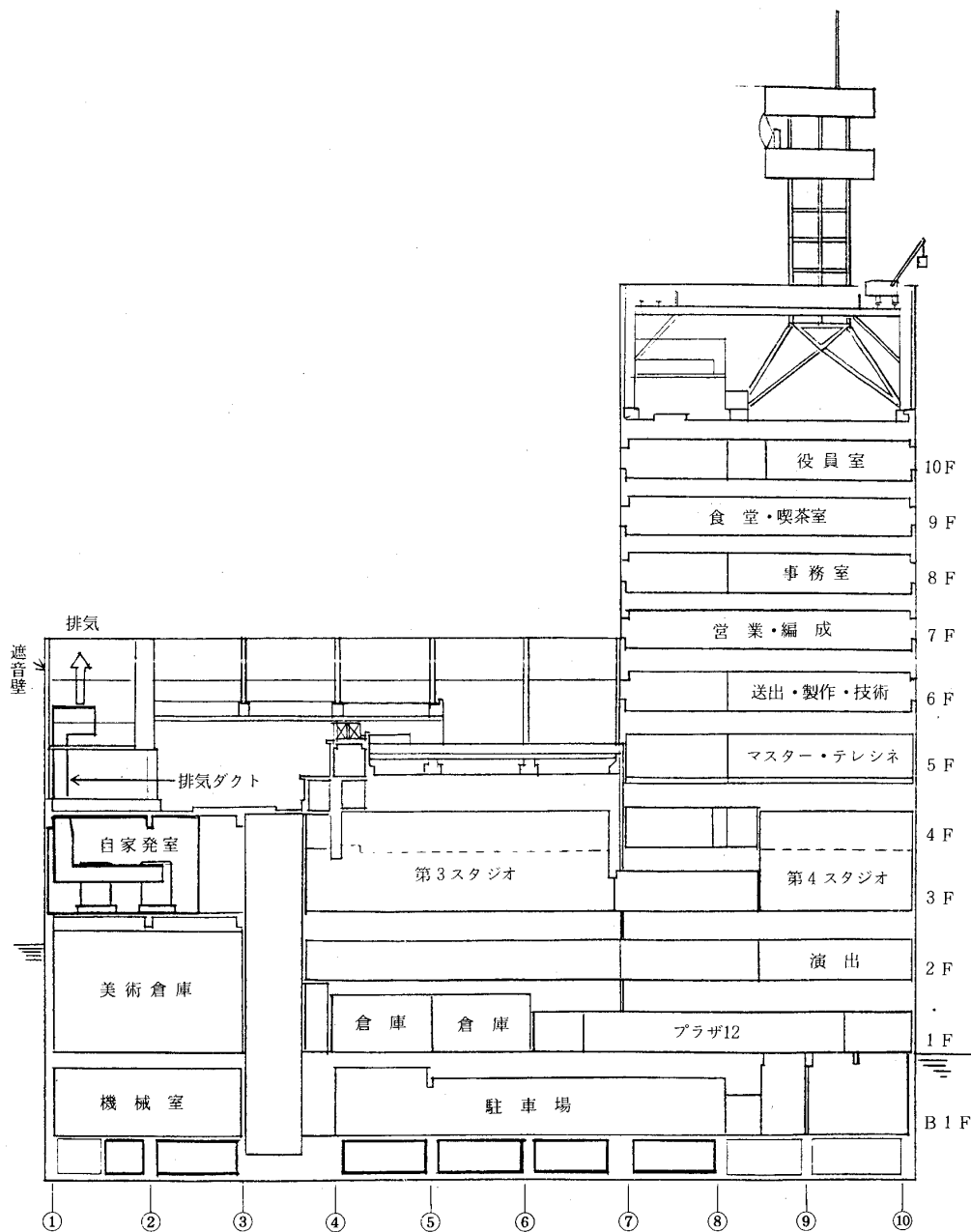


図-2. 建屋断面図

危険を伴うことになる。更に将来放送時間が延長されると、この点さえも不可能になることも予想される。そのために放送中での受変電設備を点検することが出来るよう、スポットネットワーク方式では通常設けない二次側母線に、図-1の52B1と52B2の遮断器を配置して、受電系統毎に分離出来るようにした。1号受電系統を停止する場合は、母線連絡52B1を開き、図-1に示すNo.1系統の低圧側を、バックアップを兼ねたバイパス回路を通して、その負荷側を停止することなく、並列切換えでNo.3系統に移してから、52S1と52R1を開いて行く。1号系の買電側を停止すれば日曜日等の負荷が少ない時を利用して、点検に十分な時間を掛けることが出来る。当初は受変電設

備の点検時に、自家発電により作業用の照明、空調換気の電力を供給することも検討したが、各受電系統毎に停止して点検が可能なることから、自家発電の運転は不要となった。

停電が発生した場合の運用は、停電により52S1, 52S2, 52S3の主変圧器二次側遮断器と、52B1および52B2の母線連絡遮断器(事故ではノントリップ)が自動トリップし、各フィード系統の不足電圧継電器27B1, 27B2, 27B3がすべて作動したことで、2台の自家発電機に始動指令が出される。始動時間は約35秒(法規上の40秒以内)で発電電圧が確立し、52G1, 52BG1並びに52G2, 52BG2の遮断器が自動的に投入される。No.2系統のターボ冷凍機には給電されないが、冷熱源

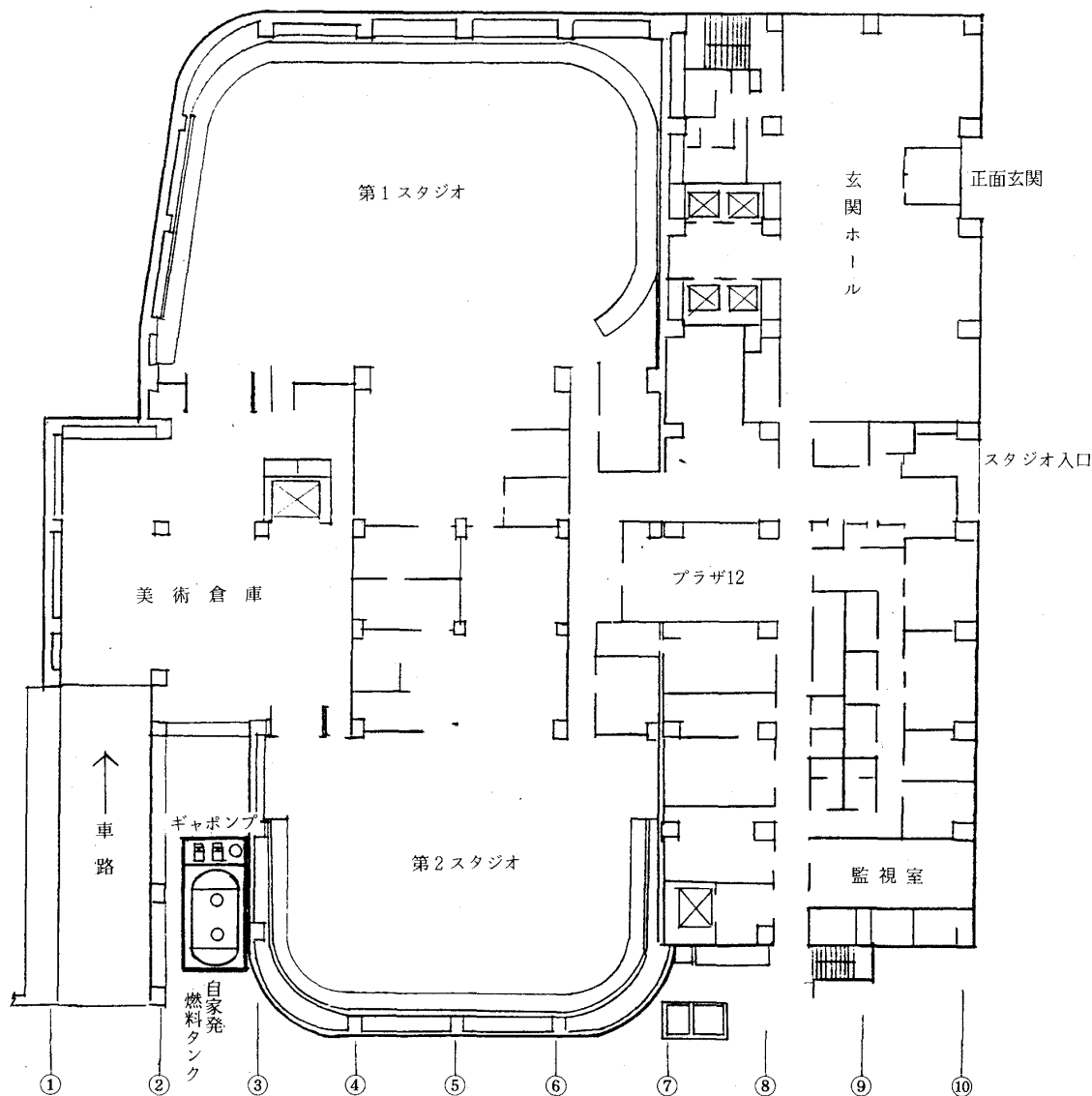


図-3. 1 F 平面図

が必要な時は、塔屋に空気熱源ヒートポンプ・チラーが3台設置されているので、No.1系統の400V動力に給電すれば運転は可能としている。

買電復旧時の操作は、前に述べた2台の発電機の並列運転を行って、並列運転(52GB投入)とする。次に母線連絡遮断器の投入インターロックが解除されたので、52B1と52B2を操作により投入して母線を接続してから、発電機の送電系統を1本にするため52BG2(または52BG1でも可)の発電機連絡遮断器を開く。最後に同じく52BG1の遮断器を開くことにより、主変圧器二次側遮断器が自動投入制御で、52S1, 52S2, 52S3の順序で投入されて、買電への切換えは完了する。

### 3) 定期試運転

ガスタービンは保守点検を兼ねた始動試運転を毎月1回行っているが、その運転時間は5分間位としている。この間にチェックする内容は始動時間の計測、発電電圧、周波数、排気温度、油圧と運転状態の音および振動の異常有無等を確認する程度である。ガスタービンはディーゼル・エンジンより60~70%多くの燃料を消費するので、試運転時間が短いことは燃料の節約と、要員の省力化には効果的であろう。現在の無負荷試運転による燃料消費量は、実測の結果5分間で約16ℓ/台である。全負荷運転時の測定では410ℓ/H・台の燃料消費となる。運転中の騒音は実測値を図-5に括弧内の数値で示す通りで、ディーゼル・エン

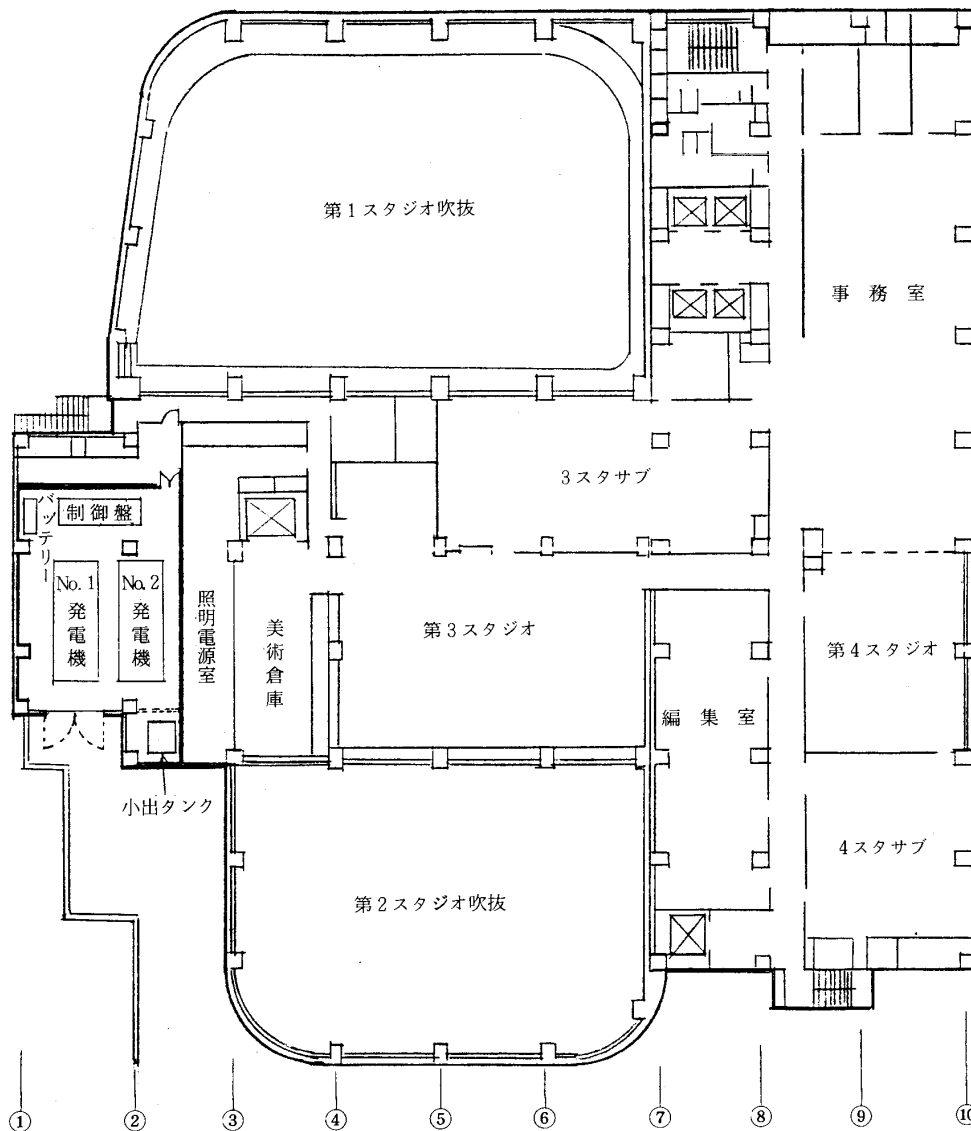


図-4. 3 F 平面図

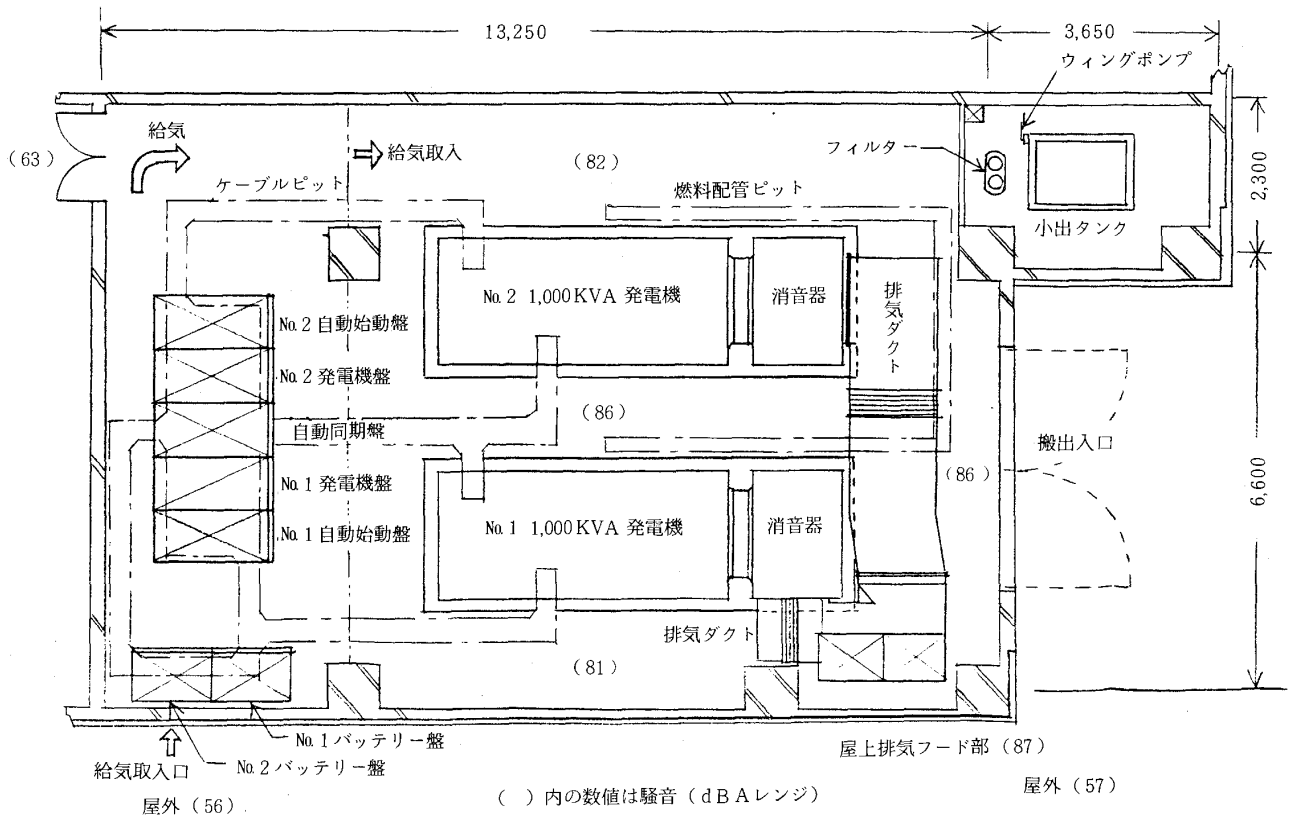


図-5. 自家発電機室機器配置図

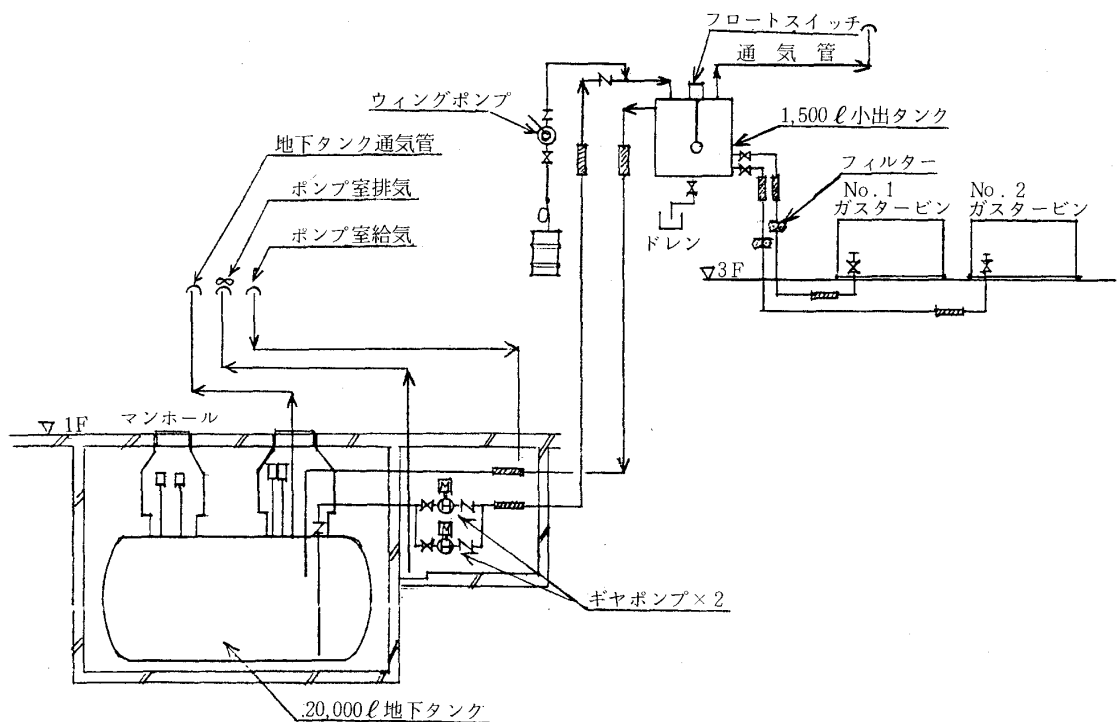


図-6. 燃料系統図

ジンに比べて作業環境は相当良好である。

おわりに

ガスタービン発電機を実際に運転してみると、

排気ガスの流速が大きいため、排気ダクトが異常に振動して大きな騒音を発し、後で補強する必要があったり、排気ガスの熱が高いので、近くのも

のに影響しないように遮蔽するなどの対策を講じた。また排気による騒音ばかりでなく、給気口からも外部に音が出るので、防音には特に留意した方がよい。ガスタービン発電機を導入してからま

だ期間が短いので、ここに述べた内容は初歩的なものとなってしまい、また間違いも多々あると思われるが、今後の計画にも出来る限りガスタービンを使う考えなので、御教示戴ければ幸いである。

## コンピュータセンター用非常用ガスタービン

川崎重工業(株) ジェットエンジン(事) 産業ガスタービンシステム部 糸井宇生

### 1. はしがき

コンピュータセンターには、停電に備え非常用予備発電装置が設けられる。最近のコンピュータセンターの規模はかなり大きなものがあり、設置される発電機容量も増大する傾向にある。コンピュータセンターは日夜の別なく運用され、一旦停電すれば直ちに非常用予備発電装置が運転され、コンピュータの機能が一時たりとも停止することのないような態勢が整えられている。このためには非常用予備発電装置の信頼性が十分高くなければならないのはもちろんの事、停電時すみやかに電力を供給できる制御方式が確立されなければならない。これらの要求に応え得るものとしてガスタービン発電装置が非常用予備電源として採用される場合が多くなってきている。以下に、ガスタービンの特性がコンピュータセンターの電源としていかに適合しているかを、ディーゼルエンジンと比較しながら述べることにする。

### 2. コンピュータに要求される電源の品質 一般に電気機器の動作において、その機能が十

分に満足されるかどうかは、供給される電源の品質による。電気機器は多種多様にわたっており、その用途により保証すべき性能も異なっている。したがって、電源もそれぞれの電気機器に適した品質が要求される。

家庭用電気品(ラジオ、テレビ、冷蔵庫、掃除機等)に対しては精度の高い操作が要求されないため電源の品質もさほど問題とはならないが、電気時計やレコードプレーヤ等は家庭電気品であっても特に周波数精度の高さが要求される。

工場の生産設備、特に自動化を主体とした設備に対しては、機器の操作や運転が製品の品質に直接影響を及ぼすので、これらの設備を運転制御する電気装置に対しては、その用途に応じて良質の電気の供給が必要となる。

ここに、電源の品質とは、周波数および電圧の精度ならびに電圧波形の歪の程度をもって規定されるものである。

さて、コンピュータの電源にはいかなる品質が要求されるか、これを表-1に示す。表は各コン

表-1 コンピュータの電源仕様

	入力電圧許容値		周波数許容値	備考
	定常時	瞬時		
IBM	200V ± 10%	220V + 15% - 18%	50Hz ± 0.5Hz	周波数許容値を瞬時でもはずれると停止または誤動作する。
FACOM	200V ± 2%	200V ± 7%	50Hz ± 0.5Hz	
HITAC	200V ± 10%	200V + 15% - 18%	50Hz ± 0.5Hz	
UNIVAC	208V ± 2%	208V + 5% - 10%	50Hz ± 0.5Hz	
NEAC	200V ± 10%	200V ± 10%	50Hz ± 0.5Hz	

のに影響しないように遮蔽するなどの対策を講じた。また排気による騒音ばかりでなく、給気口からも外部に音が出るので、防音には特に留意した方がよい。ガスタービン発電機を導入してからま

だ期間が短いので、ここに述べた内容は初歩的なものとなってしまい、また間違いも多々あると思われるが、今後の計画にも出来る限りガスタービンを使う考えなので、御教示戴ければ幸いである。

## コンピュータセンター用非常用ガスタービン

川崎重工業(株) ジェットエンジン(事) 産業ガスタービンシステム部 糸井宇生

### 1. はしがき

コンピュータセンターには、停電に備え非常用予備発電装置が設けられる。最近のコンピュータセンターの規模はかなり大きなものがあり、設置される発電機容量も増大する傾向にある。コンピュータセンターは日夜の別なく運用され、一旦停電すれば直ちに非常用予備発電装置が運転され、コンピュータの機能が一時たりとも停止することのないような態勢が整えられている。このためには非常用予備発電装置の信頼性が十分高くなければならないのはもちろんの事、停電時すみやかに電力を供給できる制御方式が確立されなければならない。これらの要求に応え得るものとしてガスタービン発電装置が非常用予備電源として採用される場合が多くなってきている。以下に、ガスタービンの特性がコンピュータセンターの電源としていかに適合しているかを、ディーゼルエンジンと比較しながら述べることとする。

### 2. コンピュータに要求される電源の品質 一般に電気機器の動作において、その機能が十

分に満足されるかどうかは、供給される電源の品質による。電気機器は多種多様にわたっており、その用途により保証すべき性能も異なっている。したがって、電源もそれぞれの電気機器に適した品質が要求される。

家庭用電気品(ラジオ、テレビ、冷蔵庫、掃除機等)に対しては精度の高い操作が要求されないため電源の品質もさほど問題とはならないが、電気時計やレコードプレーヤ等は家庭電気品であっても特に周波数精度の高さが要求される。

工場の生産設備、特に自動化を主体とした設備に対しては、機器の操作や運転が製品の品質に直接影響を及ぼすので、これらの設備を運転制御する電気装置に対しては、その用途に応じて良質の電気の供給が必要となる。

ここに、電源の品質とは、周波数および電圧の精度ならびに電圧波形の歪の程度をもって規定されるものである。

さて、コンピュータの電源にはいかなる品質が要求されるか、これを表-1に示す。表は各コン

表-1 コンピュータの電源仕様

	入力電圧許容値		周波数許容値	備考
	定常時	瞬時		
IBM	200V ± 10%	220V + 15% - 18%	50Hz ± 0.5Hz	周波数許容値を瞬時でもはずれると停止または誤動作する。
FACOM	200V ± 2%	200V ± 7%	50Hz ± 0.5Hz	
HITAC	200V ± 10%	200V + 15% - 18%	50Hz ± 0.5Hz	
UNIVAC	208V ± 2%	208V + 5% - 10%	50Hz ± 0.5Hz	
NEAC	200V ± 10%	200V ± 10%	50Hz ± 0.5Hz	

ピュータメーカー毎に周波数および電圧について示したものである。表より分るように、他の電気機器よりも電源品質が厳しく、特に周波数の許容幅が著しく小さい。

**2.1 コンピュータ用安定化電源装置** 一般に電力会社の系統（商用電源）から需要家へ供給される電気は或る程度の周波数や電圧の変動および電圧波形歪のあるのが普通である。これらの変動幅が表-1に示す許容値内にあれば、そのままコンピュータ電源として使用できるのである。しかるに、周波数は商用電源の供給系統の特性によって変動幅が異なり、また系統の事故によって大きく変化するときがある。電圧は、受電点までの配電線が長い場合には、この配電線に接続されている他の需要家の負荷の変動、特に電動機の始動によって変化する。また、受電点の電圧歪は、電気機器から発生する高調波電流と給電線インピーダンスによって定まるものである。したがって、商用電源はコンピュータにとってきわめて不安定であるので、これをそのままコンピュータ電源とすることは、コンピュータの信頼性を著しく損うことになる。

この観点から、コンピュータに対し安定した電気を供給するため、定電圧定周波電源装置（Constant Voltage Constant Frequency Power Supply, 略してCVCF）を介して不安定な商用電源を安定した電源に変換してコンピュータへ供給するようにしている。

図-1にCVCFの概略を示す。商用電源は整流器用変圧器を通じて整流器に供給され、整流器により交流を直流に変換する。この操作で電源周波数の変動がとり除かれる。直流電圧はインバータによって電圧および周波数一定の交流電圧に変換され、変圧器を通じてコンピュータに供給される。直流フィルタは直流電圧に含まれる脈動分を

平滑にし、完全な直流を得るために設けられるものであり、交流フィルタは交流分に含まれる高調波電流を除去し、電圧歪を除くために設けられるものである。

表-2にCVCFの仕様を示す。CVCFの入力電圧は一般電気機器程度の変動が許され、商用電源へ接続される。

**2.2 直送方式** コンピュータに要求される電源の品質は表-1に示されるように厳しいものであり、このためにCVCFが使用されるのであるが、一方、需要家への電力供給系統の方式によっては品質のよい電気を供給することが可能な場合がある。このようなときには、直接商用電源をコンピュータへ供給する場合がある。これを直送方式と称している。

表-2に示すように、CVCFの効率は85~90%であるから、大形のCVCFを採用するとすれば、CVCFに発生する損失もかなりの量となるほか、この損失は熱となって放散するので冷却換気装置も大形となり、この設備に消費される電力

表-2 CVCFの仕様

項 目		仕 様
交流 入力	電 圧	200 V ± 10 %
	周 波 数	50/60 Hz ± 5 %
	相 数	3
交 流 出 力	定格容量	30 ~ 125 KVA
	相 数	3
	電 圧	200 V ± 1.5 %
	周 波 数	50/60 Hz ± 0.01 %
	波形歪率	5 %
	負荷力率	0.9 (おくれ)
効 率	85 ~ 90 %	

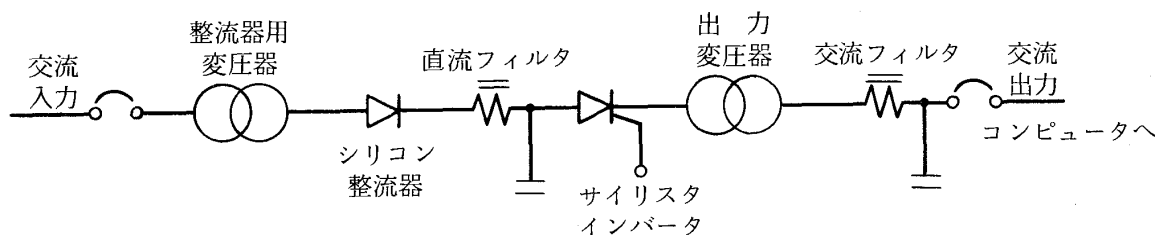


図-1 CVCFの構成

も大きなものとなる。

また、CVCFの信頼性の問題もあり、故障に備えCVCFを並列接としたり、予備切り換え方式が採用されたりするが、このための設備投資もかなりの額に達する。

このような理由により、直送方式が望ましく、不時の停電に備えてCVCFを使用する以外は、直送方式を採用しようとする試みがなされている。

### 3. コンピュータ用非常用予備発電装置に要求される特性

最近のコンピュータセンターでは、10,000 kVA程度の非常用予備発電設備をもつことも珍らしくない。この発電設備からCVCFを通じてコンピュータへ電力が供給されるのであり、発電装置の出力電圧の品質としてはCVCFの交流入力の仕様を満足すれば十分である。

しかるに、前述したように、CVCFの損失や附帯設備が発電機容量を増加させることになるので、発電装置からコンピュータへ直送する方式が考慮される場合がある。このときは当然のことながら、非常用予備発電装置はコンピュータに適した高品質の電源でなければならない。

コンピュータ専用の非常用予備発電装置の負荷は限られているから、予期せぬ周波数変動や電圧変動の生ずることはないので、負荷の運転方式を明確にしておけば、負荷による電源の品質の低下に対しては十分対策をたてることができる。

非常用予備発電装置は商用電源と異なり、負荷に対して電源容量が小さいので、負荷変動により周波数や電圧が変動しやすい。したがって、非常用予備発電装置に対しては商用電源とは異なった配慮をしなければならない。

表-3に電圧、周波数および電圧歪に影響を及

表-3 電気の品質に影響する機器

	電圧変動	周波数変動	波形歪
発電機	○	—	○
原動機	—	○	—
負荷	○	○	○

○関係する要因、—関係せず

ばず機器を示す。電圧変動は自動電圧調整器を含

む発電機の特性和負荷の大きさによって決定される。電圧変動には瞬時電圧変動と定常電圧変動とがあり、前者は発電機固有の平均過渡リアクタンス(初期過渡リアクタンスと過渡リアクタンスの平均値)と投入負荷容量とによって最大電圧降下 $\Delta V$ が決り、次式にて表わされる。

$$\Delta V = \frac{\frac{P}{PG} X_d'''}{1 + \frac{P}{PG} X_d'''} \quad (P.U) \quad (1)$$

ただし、 $P$ :投入負荷容量(kVA)、 $PG$ :発電機容量(kVA)、 $X_d'''$ :平均過渡リアクタンス(P.U)である。

後者は自動電圧調整装置の特性によって決まるものであって、精度の高い自動電圧調整装置を採用することによって、常電圧変動を小さくすることができる。

周波数変動には瞬時周波数変動と定常周波数変動とがあり、前者は原動機固有の特性と调速機の応答性ならびに投入負荷の大きさによって定まり、後者は调速機の特性によって定まる。一般に原動機の回転速度は図-2に示すように、原動機出力

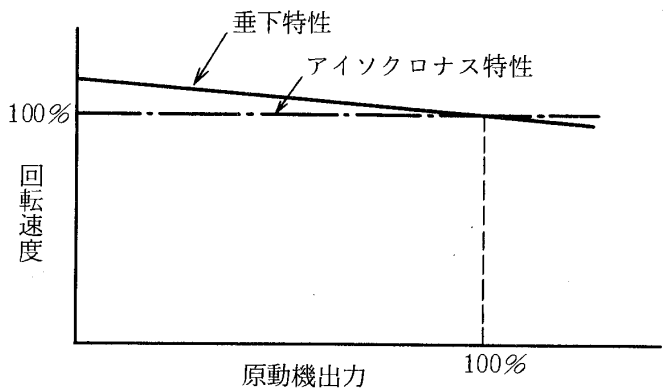


図-2 原動機の回転速度特性

とともに降下する、いわゆる垂下特性とすることが多い。これは安定した制御が容易に行なえるからである。しかし调速機によっては、原動機出力に対し回転速度を一定とする、いわゆるアイソクロナス特性を得ることもできるが、このときには瞬時速度変動が若干大きくなることがある。

発電機電圧の波形は正弦波となるのが望ましいが、発電機巻線の構成方法や負荷から発生する高



調波電流のために、必ずしも純正な正弦波とはならない。C V C Fの交流出力の波形歪の許容値は表-2に示すように5%となっているので、直送方式の場合は発電機の電圧波形歪がこの値以下となるようにしなければならない。最近の発電機では電圧の歪率を3%以下とすることは容易であって波形歪に関しては問題はない。

#### 4. コンピュータ用発電装置原動機としてのガスタービン

コンピュータ用非常用予備発電装置に要求される電源特性については前述したとおりである。この特性は発電機とこれを駆動する原動機ならびに負荷によって与えられるものであり、ここでは発電機駆動用原動機としてのガスタービンの適性についてディーゼルエンジンと対比しながら述べることとする。

**4.1 周波数変動** 直送方式を実施する場合、コンピュータ電源に要求されるもっとも厳しい条件は周波数変動であって、瞬時、定常時を問わず表-1に示す許容値を逸脱するとコンピュータは直ちに誤動作するか停止する。これはコンピュータは端末機を含み、電源周波数と同期して操作されるので、周波数の変化がコンピュータの機能に直接影響するからである。次に投入負荷容量と原動機の回転速度変動との関係について述べる。

(1) 投入負荷容量の影響 非常用予備発電装置の発電機容量は、負荷容量に対してほとんど余裕がないので、負荷投入による回転速度変動が顕著に現われる。したがって、投入負荷を分割し順次投入を行ったり、電動機始動に際しては、スター・デルタ始動方式や減電圧始動方式を採用して発電機出力の変動をできるだけ少なくして、大きな周波数変動を避けるように計画される。

しかしながら、このような方法では配電系統や負荷の制御方法が複雑となるほかに、最終の負荷投入完了までに長時間を要することになる。また、負荷の性質上分割できないものもある。したがって、原動機として出力に余裕のあるものを選ぶか、あるいは原動機の種類として、回転速度変動の小さいものを選ぶ必要が生じてくる。次に発電用原動機の投入負荷容量について説明する。

1軸式ガスタービンは発電機駆動用としてすぐれた特性を有する。その一つに全負荷投入が可能

ということがある。ガスタービン出力の大小を問わず、始動が完了すれば直ちに全負荷を投入してさしつかえない。

通常、大規模コンピュータセンターでは、1,000 kVA以上の発電機を有するので、ディーゼルエンジンを採用するとなれば過給機付のものとなる。この種のディーゼルエンジンでは平均有効圧力の大きさに応じて一度に投入できる負荷の大きさに制限があり、図-3に示すように平均有効圧力の

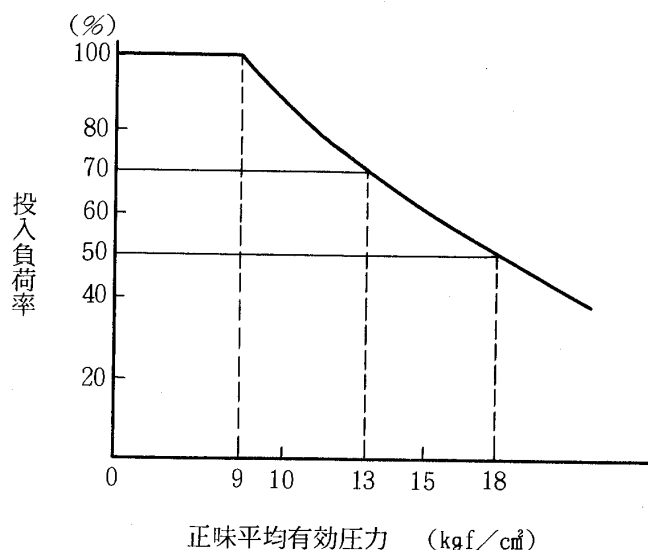


図-3 ディーゼルエンジンの負荷投入率 (LES-3001)

大きいエンジン程投入負荷容量を小さくしなければならない。しかし、ガスタービンに対してはこのような配慮はまったく不要である。

(2) 瞬時回転速度変動 1軸式ガスタービンでは全負荷投入が可能であり、このときの速度変動については一般的な規約はないが、川崎重工製の1軸式のガスタービンに対しては当社規約として瞬時4%以内としている。過給機付ディーゼルエンジンに対しては、図-3に示す負荷投入率に対して瞬時速度変動率の許容値は10%となっている(LES-3001による)。

この理由は、1軸式ガスタービンは、発電機駆動軸端における等価慣性モーメントが大きく、かつ調速機の応答性が速いため、負荷投入にともなう燃料制御性が良好であるので、瞬時速度変動が小さいのみならず整定時間も短い。これに対し、

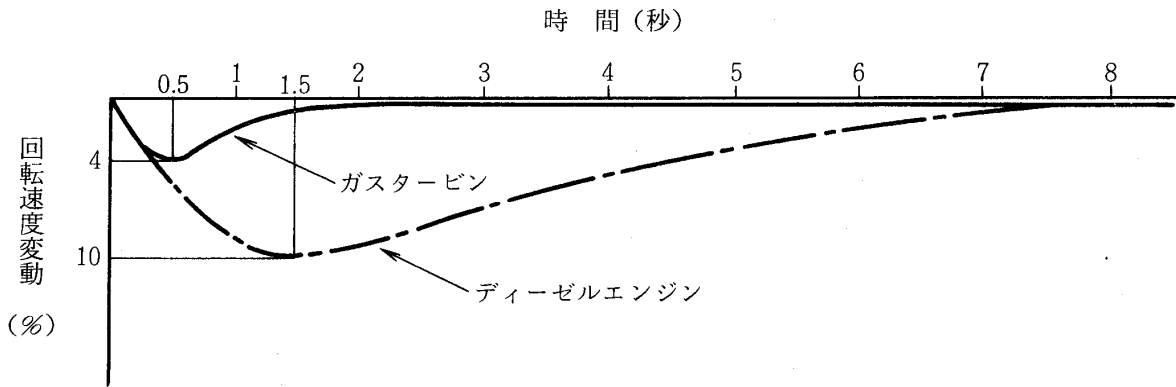


図-4 負荷投入時の回転速度変動

過給度の高いディーゼルエンジンにあっては、過給機の追従おくれのため、負荷増加にともなうエンジン出力の増加が緩慢となり、この間、出力の不足をきたし回転速度が低下する。その後、過給機の機能が回復するまでに時間を要し、したがって整定時間も長くなる。図-4に1軸式ガスタービンとディーゼルエンジンの瞬時速度変動の概略を示す。

このように、瞬時速度変動はディーゼルエンジンの方が大きいので、表-1に示す0.5 Hz (1%)の回転速度変動とするには、ディーゼルエンジンでは全負荷の10%の負荷投入しかできないことになるが、1軸式ガスタービンでは25%の負荷の投入が可能となる。したがって、全負荷投入完了までの時間は、ガスタービンの方がはるかに短くなり、また負荷の分割や制御方法もガスタービンの方が有利となる。

(3) 定常回転速度変動 定常時の回転速度変動は调速機の調整によって定めることができ、ガスタービン、ディーゼルエンジンともに同様の速度調定率を得ることができる。表-1にみられるように、速度調定率はいずれの場合にも1%以内に収めるようにしなければならない。必要ならば回転速度がまったく変化しない(速度調定率0)特性を得ることもできる(図-2参照)。ただし、発電機を並行運転する際には、安定な運転を行なうために3%程度の速度調定率を必要とするので、このときには別に一定周波数制御装置を設け、常に回転速度が一定に維持されるようにする。

4.2 回転不整の問題 発電機用ディーゼルエンジンでは行程4サイクルのものが使用される。

このエンジンは2回転毎に1回の爆発を行なうので、これが原因となるトルク変動のため1回転中の回転速度が均一にならない。図-5に示すよう

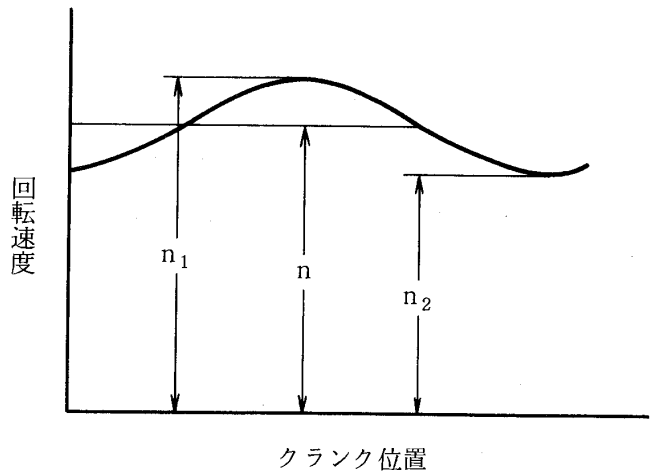


図-5 ディーゼルエンジンの回転不整

に、瞬時回転速度は平均回転速度のまわりに変動する。最高回転速度を $n_1$ 、最低回転速度を $n_2$ 、平均回転速度を $n$ とすると、回転の不均一を表わす程度は回転不整率 $\sigma$ でもって定義され次式にて表わされる。

$$\sigma = \frac{n_1 - n_2}{n} \quad (2)$$

ただし、 
$$n = \frac{n_1 + n_2}{2}$$

この回転速度の不均一の原因となるエンジン出

力トルクに含まれる高調波トルクは、4 サイクルエンジンの場合、気筒数を  $c$ 、毎分回転数を  $N$  とすれば、もっとも大きな高調波トルクは  $cN/2$  (C/min) なる周波数のものである。高調波トルクの最低周波数は  $N/2$  (C/min) で、この整数倍の高調波トルクを生ずる。

いま、1 例として、回転速度 1,000 (r/m)、気筒数 6 なる 4 サイクルディーゼルエンジンについて、最大高調波トルクの周波数を求めると、3,000 (C/min) となり、高調波トルクの最低周波数は 500 (C/min) となる。

回転不整率の許容値は気筒数ならびに毎秒着火回数によって異なる。このエンジンでは毎秒の着火回数  $\nu$  は、

$$\nu = c \frac{N}{60} \cdot \frac{1}{2} = 50 \text{ (回/秒)}$$

となって、JEM-1354 により、回転不整率の許容値は 1/75 すなわち、1.3% となる。

コンピュータ電源の周波数変動の許容値は表-1 に示すように 1% であるから、このエンジンは直送方式とするには不適であることがわかる。

ガスタービンは、その構成上本質的に高調波トルクを発生することはないから、回転不整について何ら考慮する必要はない。ただし、ディーゼルエンジンについても言えることであるが、调速機構の制御精度によって定常運転時に回転速度に変動を生ずるが、当社製のガスタービンにあっては、この値を 0.3% 以内に収めるようにしているので、直送方式が可能となる。

なお、回転不整は次に述べる並行運転においても問題となる。

## 5. 並行運転について

コンピュータセンター用の非常用予備発電設備の例として、表-4 に、当社製ガスタービン発電設備が設置されているコンピュータセンターのうち、発電機合計容量が 1,000 kVA 以上のものを示す。このうち、発電機を並行運転する例が 5 例ある。

発電機を並行運転する利点は、発電設備全体の信頼性が向上すること、負荷の需要率に応じて発電機運転台数を制御し、燃料消費の低減を図ることができること、保守点検の折、発電設備全体を休止させる必要がないこと、コンピュータの増設

表-4 ガスタービン発電設備を有するコンピュータセンターの例

納入先	容量 (kVA)	台数	備考
碧海信用金庫	1,000	1	
西日本相互銀行	1,250	1	
兵庫相互銀行	1,250	1	将来 1 台増設予定
北国銀行電算センター	1,250	2	並行運転
肥後銀行事務センター	1,250	2	並行運転
大垣共立銀行	1,250	1	
琉球銀行事務センター	1,250	1	
京都信用金庫	1,500	1	
住友銀行溝ノ口ビル	2,500	3	並行運転 将来 2 台増設予定
野村コンピュータシステム日吉センター	3,000	2	並行運転
東海銀行師勝ビル (建設中)	2,500	3	並行運転 将来 3 台増設予定

に対応して発電装置設置台数を順次増加できること、狭い場所を有効に利用して発電装置を配列することができること等であって、大規模コンピュータセンターでは発電機を並行運転する例が多い。表-4 の肥後銀行事務センターでは、負荷の増減に応じて発電機運転台数を自動的に 1 台あるいは 2 台とする制御を行なっている。

以下に、まず、ディーゼルエンジンを並行運転するときの問題点を述べ、ガスタービンと比較することとする。

発電機を安定に並行運転するためには、ディーゼルエンジンにあっては、(i) 回転系の機械的固有振動数ならびに臨界振動数が、エンジンから発生する高調波トルクと共振を生じないこと、(ii) 回転不整により各発電機の負荷角に変動を生じ発電機出力が脈動するが、これを一定値内に制御することが要求される。

**5.1 共振の問題** いま、2 台の発電機を並行運転する場合を考える。並行運転中の発電機には、回転系 (発電機、エンジンおよびはずみ車を

含む回転部分全体)自身の固有振動数のほかに、2台を並列接続することによる両発電機に共通の臨界振動数が生ずる。

固有振動数  $F$  ならびに臨界周波数  $F_c$  は次式にて表わされる。

$$F = \frac{14,400}{N} \sqrt{\frac{P_s f}{GD^2}} \quad (\text{C/min}) \quad (3)$$

$$F_c = \frac{14,400}{Na} \sqrt{\frac{Psa + f(1 + ni/nq^2)}{GD_a^2(1 + np)}} \quad (\text{C/min}) \quad (4)$$

ここに、 $N$  : 発電機回転速度 (r/m),  $Na$  : A機の回転速度 (r/m),  $P_s$  : 同期化力 (kw/elec. rad),  $Psa, Psb$  : A機およびB機の同期化力 (kw/elec. rad),  $GD^2$  : はずみ車効果 ( $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ ),  $GD_a^2, GD_b^2$  : A機およびB機のはずみ車効果 ( $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ ),  $f$  : 周波数 (Hz),  $ni : GD_b^2 / GD_a^2$ ,  $np : Psa / Psb$ ,  $nq$  : A機とB機の磁極対数の比

これら固有振動数および臨界振動数が、ディーゼルエンジンの脈動トルクと共振を生じないためには、各ディーゼルエンジンの高調波トルクの振動数が、各機の固有ならびに臨界振動数から少なくとも20%は隔たるように  $GD^2$  を選ばなければならない。すなわち、各機の最低高調波振動数  $N/2$  (C/min) が、両機の共振振動数より20%大きくなるようにすればよい。

2機の機種が異なるときの臨界振動数は、各機の固有振動数の中間に位し、容量の小さい発電機の固有振動数に著しく接近していることが知られている。同一機種の場合は、各機の固有振動数と臨海振動数とは一致する。

原動機のいかんを問わず、発電機回転系は、(3)および(4)式で表わされる固有振動ならびに臨界振動数を有するが、ガスタービンにあっては、ディーゼルエンジンのような爆発行程がないから脈動トルクの発生することはない。したがって、回転系が共振して異常振動を生ずることはないので、共振に関する検討の必要がなく、並行運転を計画する際きわめて有利となる。

**5.2 回転不整の問題** 2台の発電機が並行運転を行なっているとき、各機の負荷角が変動す

れば、それに応じて両機間に横流が生じ、発電機出力が脈動する。エンジンの回転速度の不均一が負荷角の変動の原因となるので、並行運転を行なう場合には、回転不整による磁極の最大変位角に制限を設けている。変位角とは均一の回転軸からの変位を角度で表わしたものである。JEM-1354によれば、最大変位角を  $3^\circ$  とし、次式にて計算することになっている。

$$\phi = 57.3 \frac{(\sigma\omega)}{2} \cdot \frac{f}{\nu} \quad (5)$$

ここに、 $\phi$  : 変位角 (電気用),  $\sigma\omega$  : 回転不整率。

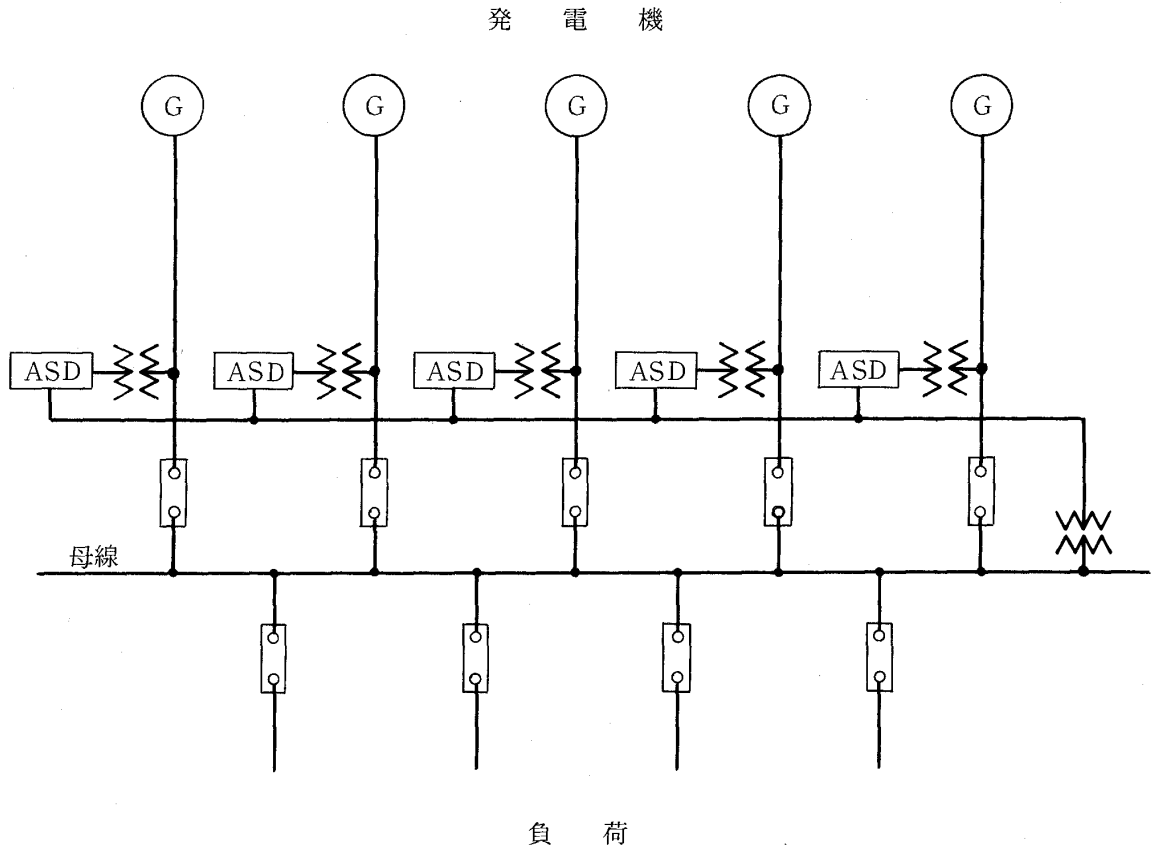
最大変位角は発電機単体運転時に  $3^\circ$  以内にあっても、並行運転時には共振の影響をうけて大きくなることがあるので注意を要する。

変位角に発電機の同期化力 (kw/電気角度) を乗じた値が電力脈動量に相当する。この値を小さくするには、はずみ車の慣性モーメントを大きくして回転不整率を小さくしなければならない。ガスタービンにあっては、もともと回転不整が発生しないので電力に脈動を生ずることはない。

**5.3 同期時間の問題** 複数台の発電機を並行運転する場合、自動同期方式が採用される。

停電が発生し、各発電機が自動始動してすべての発電機が並列投入されるまでには、ある時間を要するが、この間コンピュータへは蓄電池設備より電力が供給される。この蓄電池設備容量より規制される時間内にすべての発電機が並行運転されなければならない。この時間は通常数分以内である。これはコンピュータセンターを計画する際、問題とされる点である。したがって、発電機台数の多い場合は、図-6に示すように各機にそれぞれ自動同期投入装置を設け、いずれか1台の発電機を母線に投入した後、残りの発電機を一斉に母線と同期させ、同期完了した発電機より順次母線に投入する方式を採用している。

このとき、負荷は発電機並列台数に応じて投入され、かつ発電機出力も投入時の電圧位相差に応じて出力を瞬時に分担するので、母線周波数は絶えず変動している。この変動する母線周波数に一致するように各発電機の周波数を合わせるのであるが、母線の周波数変動が大きければ、投入可能な周波数まで発電機を調整するのに多大の時間を要



ASD : 自動周期投入装置

図 - 6 並行運転基本系統図

することになる。

ディーゼルエンジンは前述のように負荷変動による回転速度変動がガスタービンに比べて大きいので、全発電機の並列投入までにはかなりの時間を要することになり、同期投入操作においてもガスタービンが有利となる。

### 6. あとがき

コンピュータセンターの非常用予備発電装置の原動機としてガスタービンを使用する利点について解説した。通常、コンピュータ電源は、CVCF

により安定化が図られているのであるが、CVCFの損失の低減や附帯設備の縮小を目的として直送方式が試みられている。直送方式とするためには高品質の電源が要求され、特に周波数変動が厳しく規制される。ガスタービンは周波数変動を小さくすることができるので直送方式に適した電源であるといえる。また、発電機並行運転においても、ディーゼルエンジンにみられるような各種の設計条件を考慮する必要がなく、大規模コンピュータセンターに適した発電機用原動機といえよう。

# コンピュータセンター用非常用ガスタービン利用の状況

(株)日建設計 吉宮弘志

## まえがき

コンピュータセンターはデータ処理の中核としての役目を持ち、受変電設備をはじめとする電気基幹設備はコンピュータシステムを円滑に運用できる様に計画される。最近では通信の自由化と相まって情報処理と伝達の中心としても位置づけられるに至った。こうしたセンターの自家発は法規に定めるところにしたがい火災等の非常時における予備電源として安全性を確保するとともに、平常時に買電が停電したときには建物の電力デマンドをまかなうことを目指している。これまでのディーゼルエンジンにおきかわってガスタービンが多用されるに至った背景と計画する上の要件についてまとめてみた。

## 1. コンピュータセンターの機能と役割

**1.1 情報ネットワークの中核** 最近では情報化時代を反映してコンピュータセンターの新設あるいは二重化が計画され、情報授受の量の増大とともにネットワークは大きな広がりを見せている。

コンピュータセンターは、規模や運用形態にいろいろ種類がある。複数台のCPU、入出力装置それに通信制御装置等から成るコンピュータシステムを基本として外部からの様々の入力情報を取り扱っている。代表的な身近な例として銀行のコンピュータセンターをみると国内外の支店と結ばれる一方で電話回線を通じて多くの顧客と、また各種のデータバンクとも関係を保ちつつ情報のファイルあるいは送り出しを行っている。情報のネットワークは通信事業の展開に合せて情報量と距離の二つの点でますます大きくなることが予想される。

コンピュータセンターの業務は時間軸の上から見た場合次の二つに大別され、それがそのままシステムを支える電源あるいは空調設備を計画する上の要件となっている。

### (1) オンライン処理

データ処理、ファイリング及び外部との情報

・信号入出力は原則としてコンピュータシステムにより自動的かつ即時処理され、オペレータは介在しない。多量かつ高速の処理を特徴とし、機能の停止は直ちに広範な影響をひきおこすことになる。

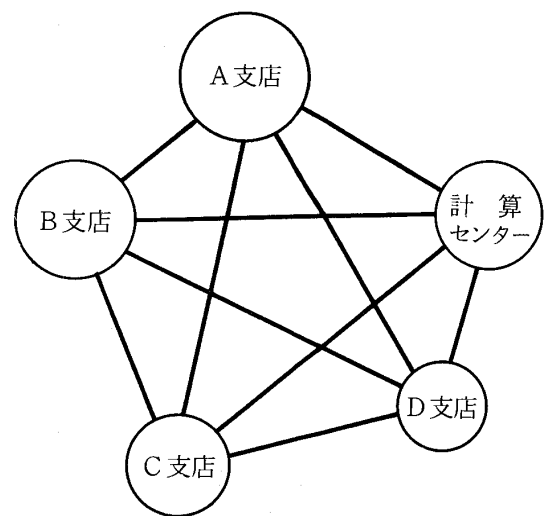


図1 コンピュータネットワーク

### (2) バッチ処理の業務

きめられた時間のスパンの中で手順に従ってオペレータの作業も含めて基本的にプログラム毎に独立して処理される。外部のデータベースとも結ばれて扱う情報の量も多く、複雑高度な科学計算などの分野においては高速コンピュータが活躍している。オンラインに比べて時間的な裕度をもつが今後は通信網の整備に裏付けされて高速かつ即時に近い形での処理が求められることになる。

**1.2 コンピュータシステムと設備** コンピュータセンターにおけるコンピュータシステムのハード及ソフトウェアそれに通信システムは上に述べたオンライン、バッチ処理についてその量の割合に応じて構成されている。自家発を含む建物側の基幹設備もまた、これらの二つの

システムの要求する信頼性や冗長性を満たす様に計画されることになる。コンピュータシステムの一部が仮に数時間の停電を許容し得るときはその量に応じてこれら基幹設備、特に予備電源としての自家発の位置づけも多少変わってくる。先にあげた銀行をはじめとする金融機関は停電を許さないオンライン業務の比率が高く、多くの窓口端末装置を通して不特定多数の顧客のアクセスに常に対応することを要求される。このためにシステムダウンが及ぼす社会的影響の大きさの点からも予備性能を高めて信頼性の向上を図り、停電のない電源設備の実現を目ざしている。

## 2. 電源基幹設備

**2.1 複エネルギー** コンピュータセンターにおいては電力の引込みは、契約電力の大きさに応じて高圧ないし特別高圧（22 kv 又は 66 kv）で受電し、運転エネルギーの大半をまかなっている。以前あったような電気使用量の制限や、エネルギーコスト等の観点から空調設備の冷温熱源のエネルギー源として電気と併せて都市ガスあるいは石油等を使用するケースもある。一般的にはひとつだけよりふたつのエネルギー源をベースとして建物を運用することは信頼性の向上に寄与するものと考えられている。ただ都市ガスは備蓄の点からまた石油は公害防止、メンテナンス性などから電

気エネルギーの補助的役割を果たしている。

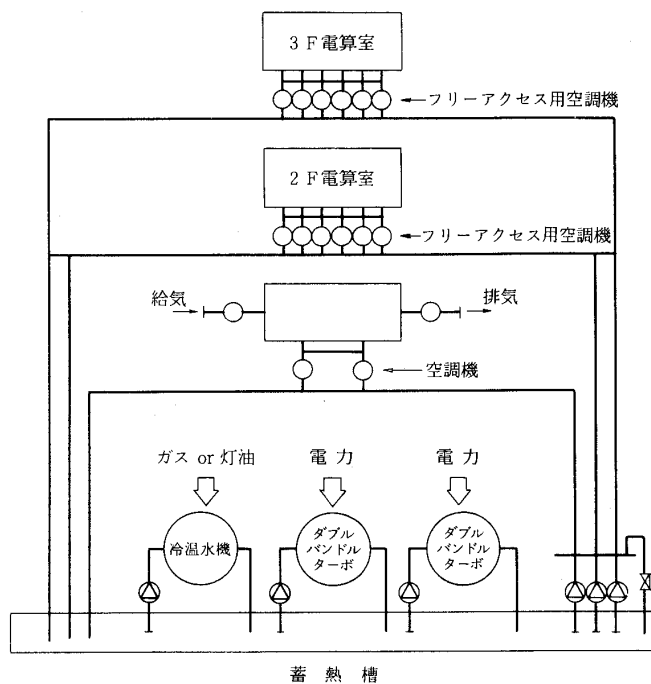


図2 複熱源による空調システム

**2.2 予備電源と商用電源** コンピュータセンターの電源は電力会社からのいわゆる商用電源を引込み、CVC F等をへてコンピュータシステムに供給される。この商用電源にも受電々圧に応

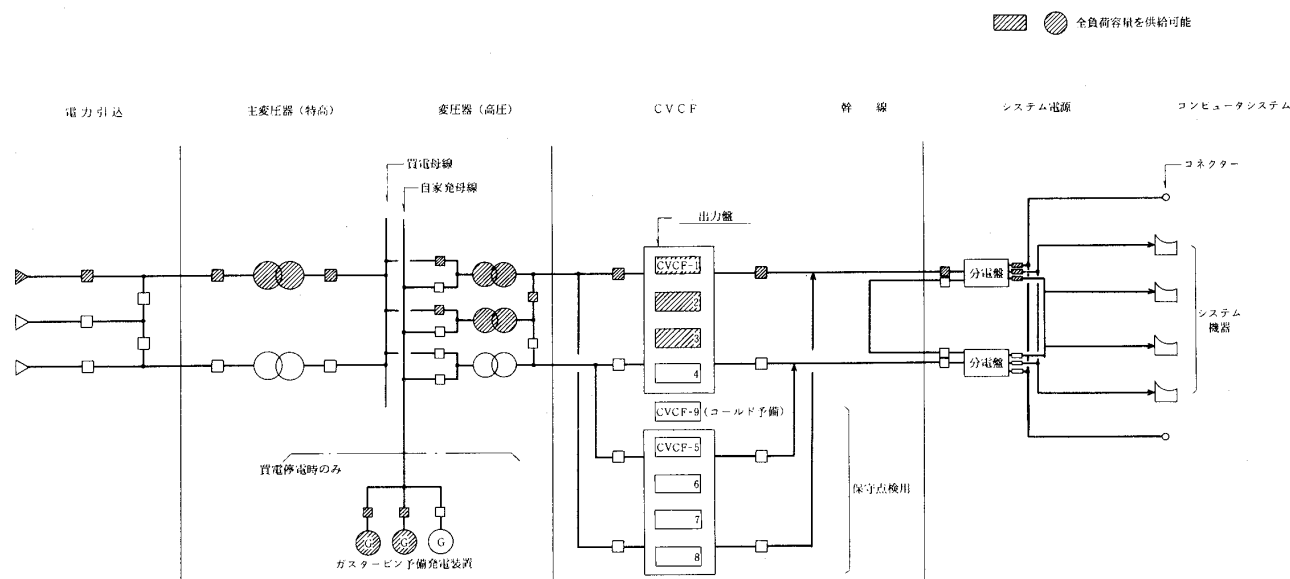


図3. 電気基幹設備の構成

じていくつかの受電方式がある。センターの敷地周辺の地域の配電事情や将来の管路計画等をもとに引込条数や途中経路の管路についてより信頼性の高い受電方式とすることが図られる。

商用電源が何らかの理由により停電したときはこれにかえて予備電源としての自家発により電力の供給を行う。コンピュータセンターの自家発は基本的には平常時における建物全体の電力デマンドに近い容量をまかなえるのが望ましい。コンピュータシステムそのものの容量とこれのための空調設備容量を合すると建物全体デマンドの70%内外を占めるために自家発容量もまた必然的に70~100%の範囲で選定することになる。

**2.3 予備電源の計画** これまでに竣功して稼働中の多くのコンピュータセンターについて面積、システム容量・密度、受変電、自家発及びCVCFについて比較してみるとバラつきが大きい。内容や性格もまたいろいろあって設備計画のむずかしい建物ではあるが、コンピュータ室面積ないしはシステム容量を基本として受変電容量、CVCF及び自家発の三者は、ある相似の関係をもつ

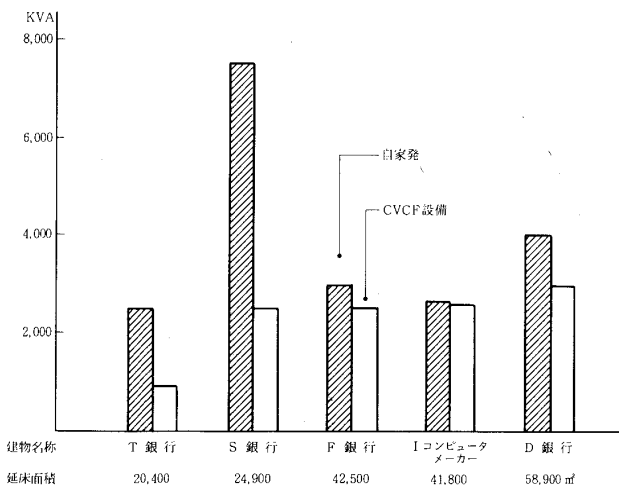


図4 基幹設備の比較

ものと考えられている。前述のようにシステムの構成や冗長度、オンライン処理のウェイトそれによってネットワークの中における位置づけの仕方などによって三者の容量比率の違いの大きいのも事実である。

特に自家発に限っていえば商用電源の信頼性を高くみるときは予備電源としての自家発の容量と構成は小さく単純なものとなり、その逆もあり得る。

### 3. ガスタービン発電装置

**3.1 ガスタービンの推移** コンピュータセンターにおける自家発としてはこれまではディーゼルエンジン方式を設置したケースが多い。またその容量は建物全体の電力デマンドの50%どまりとされている。ガスタービンが非常用予備発電装置として実用されはじめたのはここ数年のことで当初はとりわけイニシャルコストがディーゼルに比べて割高なこともあって汎用性を欠いていた。その後グレードの高い事務所ビル、病院、寒冷地といったところで実績がふえてきたのをふまえてコンピュータセンターに設置されるケースが多くなってきた。この背景には非常用予備発電装置として内発協の認定を得た容量シリーズないしメーカーの数もまたふえたことにより中小ビルから大規模複合ビルまで適用し易くなったこともあげられる。ここでガスタービンが年々ふえつつありしかもコンピュータセンターのように予備電源兼非常電源としてきわめて高い信頼性が要求される場合に活用されるようになってきたことの技術的背景と特長をとらえてみる。

#### 3.2 コンピュータセンターとガスタービン

ガスタービンの特長は次のとおりである。

1. 冷却水を必要としない。
  - (1) 長時間の運転に適している。
  - (2) 防水対策が不要である。
  - (3) 冷却水ポンプ等の補機が少く保守が容易である。
2. 寒冷地に適している。
  - (1) 冷却水システムの凍結のおそれがない。
  - (2) 入口温度が低いほどガスタービンの性能上有利。
3. 投入負荷容量が大きくとれる。
  - (1) 短時間のうちに負荷に再送電できる。
  - (2) 投入容量が大きく単機負荷を大きくとれる。
4. 設置・増設が容易
  - (1) ガスタービンセットをおくだけで周辺設備が不要。



3.3 建築計画とガスタービン コンピュータ

センターにおいてガスタービンの設置を計画に当って建築の平面及び断面に対する要件は次のとおりと考えられる。

- ① ガスタービンの設置場所は地下階、地上階あるいは屋上のいずれが適しているか：
  - ガスタービンに限らず基幹設備は地上階、中でも1階が望ましい。地下は防水対策と給排気に難点があり、屋上は安全対策上の弱点を作ることになる。
- ② 給排気のための開口はどのような形で設けるのが適当か：
  - 給気は建築の壁開口より直接送りこみ、排気はごく短いパスで外に出す。ダクトの引き回しや補機ファン類に頼ることは信頼性と性能の低下を招く。外部につながる開口は常時は閉鎖あるいは防備を固くして万が一に備える。
- ③ ガスタービンと受変電、CVCF等他の基幹設備の相互の結び付き、負荷への給電をどう位置付けるか：
  - 基幹設備は近接して設けることにより有機的な関係を図るとともに、建物の負荷中心においてインシヤルコストとランニングコストの軽減に努める。大容量の渡り幹線の巨長を短くすることは電気的性能の維持と信頼性の向上に寄与する。
- ④ 敷地全体の中でガスタービン室をどう配置するか：
  - 都市の中心部に計画される、いわゆる都心型コンピュータセンターの場合は特に敷地境界における騒音レベルを低減するための配慮が必要である。また屋外に地下タンクを設けるときにはガスタービンとの距離を短くする。

4. ガスタービンの電気的性能

4.1 発電機と高調波対策 建物の電気設備

負荷あるいは発電機負荷の中でCVCFの合計容量は大きな比率を占め、整流装置部分より発生する高調波もまた大きいものになる。整流方式によって異なるが、等価逆相容量は6相整流の場合負荷容量の44%、12相整流の場合19.6%にもなり、CVCFのほかにVVVF方式を用いたエレベータなどからの寄与分も合わせて確認しておく必要がある。

このことは発電機のみに関係のあることでガスタービン・ディーゼルなど原動機の種類、出力に影響は及ぼさない。

JECによれば発電機の逆相耐量は15%と規定されておりコンピュータセンターではこれを上回ることが多いために然るべき対策を施している。高調波が全てこの発電機で消費されるかどうかなど詳しい性状は不明のところが多いが、現に高調波によるとみられる焼損事故が報告されている。高調波が発電機容量ひいてはエンジン出力の大きさにまで影響を及ぼす因子となっている。

4.2 瞬時搭入量

コンピュータセンターのコンピュータ室の電気負荷密度は通路やメンテナンスも含めた平均で400~500 W/m<sup>2</sup>、集中ファイル装置まわりでは900~1000 W/m<sup>2</sup>に達しているのが現状である。このためCVCF無停電々源に支えられたシステムがこれだけの熱を放出しているときに、停電に伴ってコンピュータ室空調機が停止することは急激な室温の上昇につながる。室温あるいは冷却空気勾配ないし上限の設定値にもよるが、空調停止後2~3分程度でシステムダウンの事態を生じる。

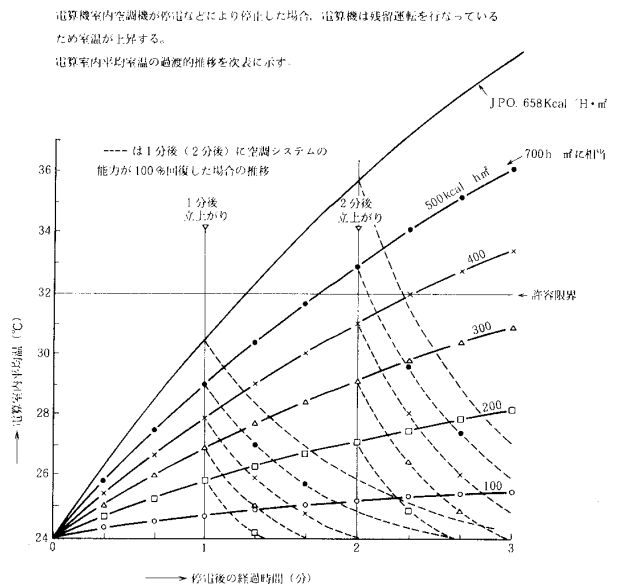


図5 電算機室空調停止に伴う室温の変化についての予測

このためにコンピュータ室の空調機はなるべく早く再起動し室温上昇を抑制する必要がある。これらの空調機は1台当りの容量が大きく台数も

また多いのが一般的であり自家発を運転して再始動する時に時間々隔を大きくとり投入量も加減すると全台を動かすまでに長い時間を要する。

ガスタービンはこの点軽負荷においてまた重負荷で運転中にも投入負荷量が大きくとれることと、投入後の整定時間が短いことから上記の要求を満たしてくれる。

**4.3 ガスタービンの並列運転** 複数台の自家発が見かけ一群となって負荷に電力を供給する場合、負荷のかけ方と並列運転の仕方は電源供給の結線方式に応じて次の様になる。

1. 単機毎に独立して運転

自家発1台に接続する負荷系統も独立しており、電圧確立後1台だけの許容投入量に応じた投入方式となる。

2. 複数台による並列運転の場合：

2-1 1台先行させておいて負荷をかけるとき：

1台だけ先に電力を供給する。ごく重要な負荷を最優先の形でい出す。そのあとに続く2号機以下は先発1号機が不安定の状態にあるために並列運転に入るまでに多少の時間を要する。

2-2 全台並列運転完了後に負荷をかけるとき：

無負荷のまま並列運転を完了した後に負荷をかけはじめる。負荷のグルーピングを行い、比較的大きい容量を短時間の内に連続的に投入する。

いずれの場合でも火災発生等の非常時には消火ポンプ、排煙ファン等のいわゆる非常電源負荷には最優先の形で電源を供給する。なおコンピュータシステムの増設や建家の増築に合わせて自家発の増設が計画され当初2台、将来は5~6台にふやすためのスペース及び設備計画を見込むケースが多い。建物の使用計画及びシステム容量の見込にしたがって最終の形を想定しておくことが大切である。

**4.4 負荷の投入順序** 単機あるいは並列運転を完了した自家発に負荷をかけるときの投入順序及び間隔については負荷の始動特性、許容電圧・周波数変動巾をふまえて計画する。

1. 変圧器の励磁突入電流

コンピュータセンターは冗長度を高くとって

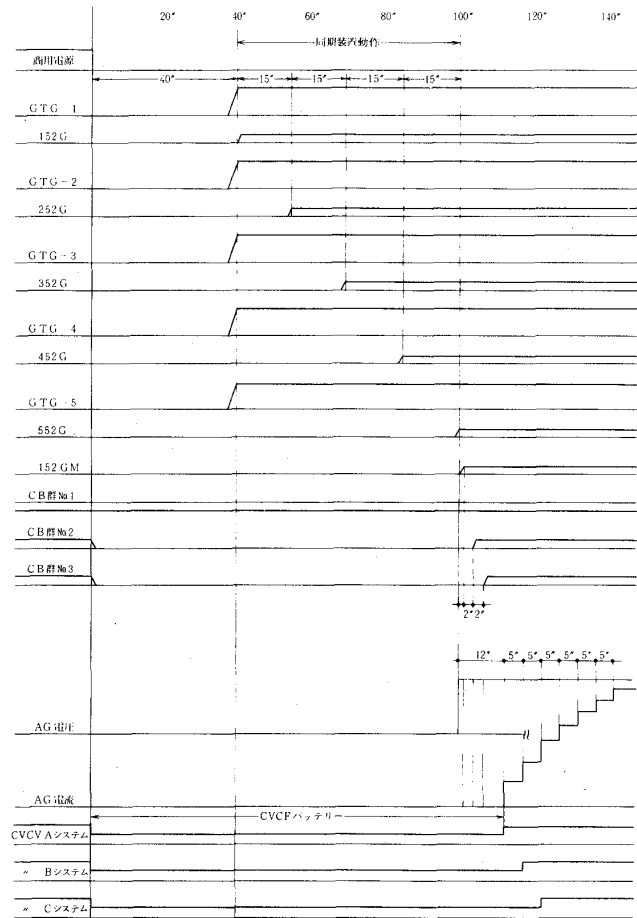


図6 並列運転と負荷投入のタイムスケジュール

信頼性をあげるために変圧器バンク数(台数)が多く、変圧器の順次投入に際しては励磁突入電流を考慮して数秒の間隔をおいて充電する。

2. CVCF

複数台より成るCVCF群についてはCVCF側で時限をもった投入回路を組込む。CVCFは予備電源としてのバッテリーを備えており5分程度迄はこのバッテリーが電力をまかなう。

3. モーター負荷

台数の多いファン、ポンプ、モーター類は容量の区分にしたがって1台毎あるいは群負荷の形なるべく短い間隔でかつ短時間の内に投入する。電動ターボ冷凍機、チラー等は装置と冷媒の安定を待って5~10分後に再始動する。始動容量も大きい。

これらの種々の負荷全体についての投入容量、投入順序及び投入間隔は自家発装置全体の定格、性能によって左右される。負荷側の性状、特に始

動特性や順序をうまくかみ合せ、かつ実運用により試運転と調整を行いながら様子を見てみるというのが実情である。台数が多く順序の組み替えやパラメータの設定変更を容易にするために、ビル監視制御用コンピュータにプログラムを組み込んで対応を図っているケースが多い。負荷パターンや時間帯などは、複雑な組合せになりオペレータの処理能力の点からマニュアル操作の範囲を越えて、また特高受電方式で停電の発生する確率はきわめて小さいためにコンピュータによる自動処理がふさわしいと考える。

投入負荷の容量と時限についていえば主に以下の要素の組合せでできる。

1. 発電機 — AVRの制御能力
2. エンジン — 電子ガバナーの性能
3. 台数制御・負荷配分装置 — 精度, 応答速度
4. 負荷 — 1台毎の許容し得る電圧, 周波数の受動範囲

**4.5 負荷投入の実際** 複数台あるガスタービン装置の並列と負荷投入をなるべくはやくおえて電力供給の上で買電停電前と同じ状態にもどすための工夫として:

1. 自動同期装置の付加

各機に自動同期装置をもち、電圧確立と同時に先発機として発電機母線に給電する。他機はこの先発機との同期並列を目ざすことにより時間の短縮を図る。

2. 発電装置側における運転状態の記録

発電装置側に記録装置を備え始動後数分間の詳細なデータ及運転中のデータロギングを行い設定パラメータの見直しが行える様にする。ビル制御用コンピュータは停(復)電時には入出力情報が多く、他のプログラムも実行するために自家発まわりの監視記録に専念することがむずかしい。

3. ビル側制御コンピュータによる負荷投入

電気、空調設備一式をとりこんだ統括管理プログラムにより停電処理を高速で実行する。

**4.6 ガスタービンのメンテナンス** ガスタービンを用いた自家発設備は特にコンピュータセンターにおいては予備電源としての重要性にかんがみて、毎週あるいは月に数時間の負荷試験を行い構成部品及び各部のデータと性能を記録し長い

時間スパンのメンテナンスに役立てることが大切である。仮にトラブルが発生してもそれ以前のデータをさかのぼって、トレンドデータを記録する装置も標準化されている。故障あるいは機能停止はコンピュータセンターでは許されないが、それが発生したときに重大な支障を生じない様にフェイルセーフのシステムが要求されている。

## 5. ガスタービンシステムの計画

**5.1 燃料** ガスタービンの燃料消費率は同じ出力・容量のディーゼルエンジンと比較して大きく、かつ軽負荷の領域においてその差の大きいことが特徴である。コンピュータセンターの重要性からガスタービンの容量、運転可能時間を数日間と設定すると保有すべき燃料の量も一般ビルよりはるかに大きなものとなる。燃料備蓄量はエンジン出力と負荷容量それに見込運転(可能)時間に比例して直線的に増える。

災害時において商用電源が復旧するのはこれまでの大きな地震災害の経験によれば3日ないし1週間程度といわれている。総体的にみて商用電源の復旧は他の都市設備、例えばガス、上・下水に比べいくらかはやく、中でも高圧より特高受電の需要家の立ち直りがはやいことが報告されている。

備蓄の量は多いほど望ましいが、コンピュータシステムの運用形態、立地条件、敷地利用計画、将来における電力需要の見込みなど多面にわたる検討をへてコンピュータセンター全体のコストバランスのとれた適正な規模が想定される。

灯油の備蓄の場合は品質の劣化などメンテナンスについても考慮を払うべきである。油モレや火災など新たな都市災害を生むことのない様、基準に合った安全な施設とすることは第一の要件である。

**5.2 騒音対策** 長時間の運転を前提とするためにコンピュータセンターのガスタービンは騒音についても普通の非常用自家発以上に配慮を施すことが必要である。建物内部及外部への騒音を低減するについて対策の要点を述べる。

1. 外部に対しては排気より給気騒音のレベルが大きい。— 特に地上に設置したときは給気ガラの開口が大きく、しかもエンジンと近接している。
2. 排気消毒ダクトは本体並みのスペースを必要

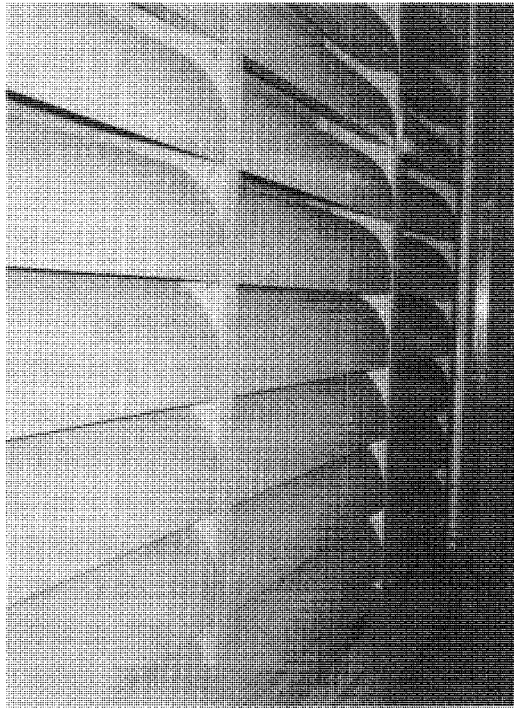


写真1

とする。— 単一あるいは二次消音器を加えた外形寸法ないし納まりについて検討を行う。

- 3. 室内吸音処理を施す — コンクリート躯体を通して建物外部へ伝播されるのを防止する。いずれにしても公害防止条例に準拠して敷地境界における騒音レベルを基準値以下とする。

5.4 換気と冷却 容量の大きいガスタービン

ンの場合、本体からの放熱によって室全体あるいは上部空間に室温上昇をきたすことがある。防犯及び安全対策上外部とつながる開口を極力小さくするためにも空調機（冷却器）による冷却を心がけて換気量を最小におさえることが望ましい。発電機盤をはじめとする構成部品・装置の信頼度を維持する上からも大切である。

6. 実施例

大規模コンピュータセンター及ガスタービン発電設備の例として最近竣工した例を紹介する。

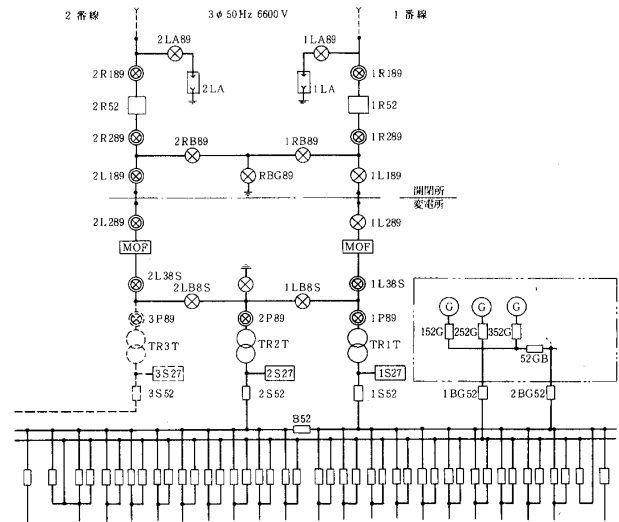


図7 電気設備単線結線図

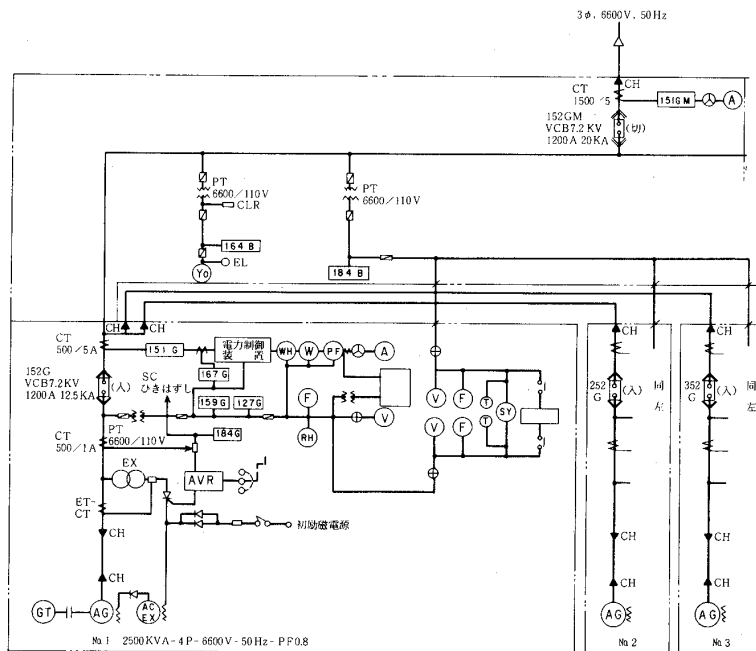


図8 ガスタービン設備単線配線図

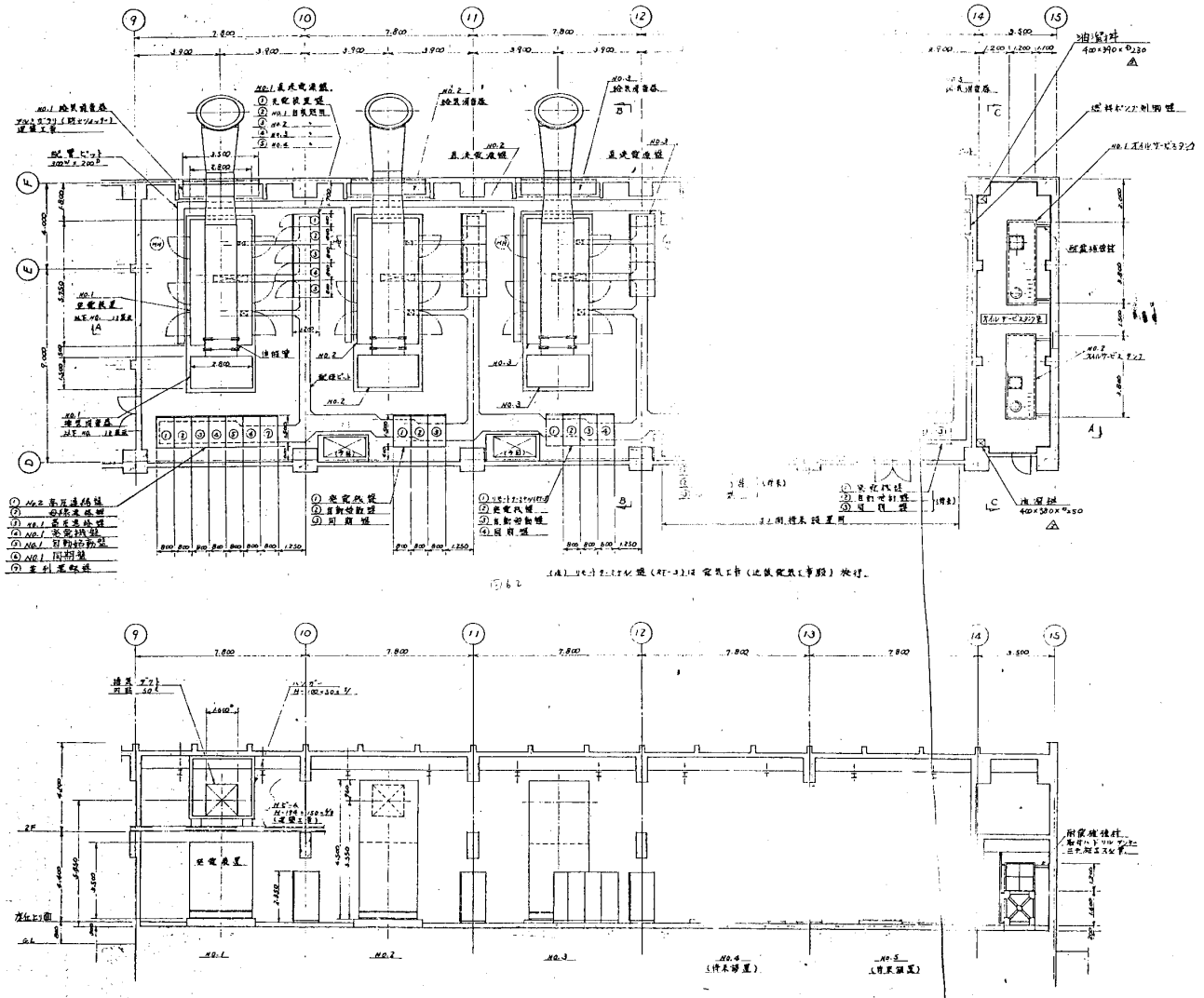


図 9

1. 建物名称 株式会社住友銀行  
新東京事務センター
2. 所在地 川崎市高津区末長 116-1
3. 規模
  - 1) 敷地面積 22,324 m<sup>2</sup>
  - 2) 延床面積 24,865 m<sup>2</sup>
  - 3) 階数 地上7階+塔屋
  - 4) 構造 鉄骨鉄筋コンクリート造
4. 電気設備概要
  - 1) 受電方式 66 kv 2回線  
特高変圧器 5000 KVA  
× 2台
  - 2) 自家発 ガスタービン  
2500 KVA × 3台
  - 3) C V C F 静止型 60 Hz  
500 KVA × 5台

ガスタービンは3台の組合せとしている。地上1階に設置したメリットを活かして給気及排気ダクトは外気と直接つなげている。配置及び断面は図に示すとおりである。

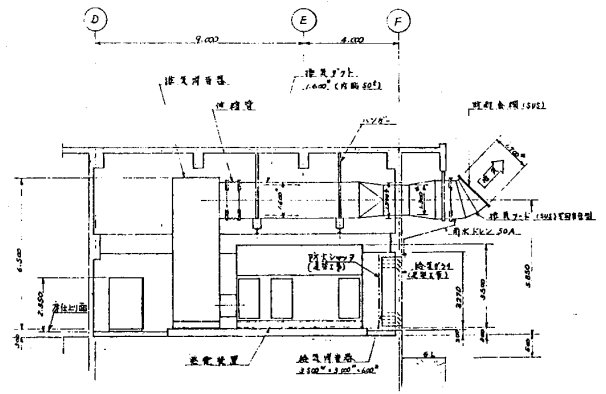


図 10

# 上・下水道用非常用ガスタービン

石川島播磨重工業(株) 松 永 光 良

## 1. はじめに

近年、各地方自治体により数多くの上・下水道施設が建設され、また既存施設の拡充も含め今後もさらに多くの建設が計画されている。これらの施設では、昼夜の別なくポンプ類など大小様々の機械装置が動いている。そのため電力供給が天災地変で停止するなどの非常事態に備えて、また台風などによる大量の雨水処理時に必要な電力を供給するために、非常用発電設備が置かれる。ここでは各種のディーゼル機関、ガスタービンが使用されているが、以下に航空転用形ガスタービンを対象に、主として10,000kWクラスの経験をもとにその適用例とシステムエンジニアリング上の特徴をのべる。さらに20,000kWクラス以上の大型ガスタービンについて紹介する。

## 2. 航空転用形の使用状況

1976年(昭51)春、山口市水道局第3水源池に、1,000kVA非常用ガスタービンが納入された。これが上・下水道施設向航空転用形ガスタービンの第1号機で、石川島播磨重工業(株)〔以下IHIと略称〕の製造したIM100形である。

1979年(昭54)には、IM310形ガスタービンが奈良市水道局木津浄水所に、IM400形が熊本市水道局沼山津配水場へ納入された。この前年、1978年夏には、出力10,000kWのIM1500形ガスタービンが東京都水道局の森ヶ崎処理場に納入された。図1に森ヶ崎処理場のガスタービン発電機棟を示す。

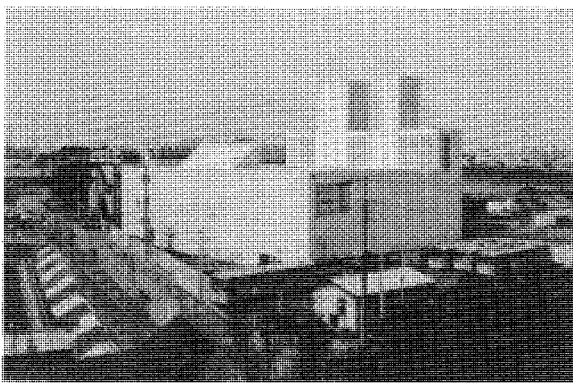


図1. ガスタービン発電機棟(森ヶ崎処理場)

現在までに7台のIM1500形が東京都、埼玉県、大阪市の各下水施設に納入され、稼動中である。なお埼玉県住宅局荒川左岸終末処理場の設備は、天然ガス燃料も併用できる。表1に上・下水道施設で使用されているガスタービンのうち、航空転用形の分類に入るものの納入実績を示す。

## 3. 中小型航空転用形ガスタービン

上・下水道施設に使用されている中小型航空転用形ガスタービンの来歴をのべる。航空エンジンの主流が、レシプロエンジンからジェットエンジン(ターボシャフト、ターボプロップ、ターボファンなどのタイプも含めて)へ移り、その信頼性耐久性が大変すぐれていることが実証され始めた1950年代から、世界の各製造会社によりジェットエンジンを船用および産業用へ転用する試みが始まり、多くの成功例を得た。国内では1967年(昭42)にIM100形が国産のT58形と呼ばれるターボシャフトエンジンから転用され、ホーバクラフト用主機に採用された。また同年国産T64形ターボプロップエンジンから転用されたIM300形ガスタービンが防衛庁魚雷艇用主機に採用された。

翌1968年(昭43)には、IM1500形ガスタービンが関西電力堺港発電所にピーク処理用として納入された。このガスタービンは18年後の1986年(昭61)、ジェットエンジン工場に持ち込まれオーバーホールされ、新品同様に再生されて再び稼動に入っている。

これらのガスタービンは、後述する大型のLM2500形およびIM5000形の出現前に実用化されたガスタービンで第1世代ガスタービンと称される。

**3-1. 小型航空転用形について** IM100形は1000kW、IM300形/310形は1800kWクラスのいずれも2軸式ガスタービンである。船用主機、ポンプ駆動などにも使用されている。発電用には定置型と車載型があり防音パッケージを含め標準化されている。

**3-2. IM400形ガスタービン** 米国Allison社製ターボプロップ用T56形エンジンの転用形で出力3000kWクラスの1軸ガスタービンである。世

〔表1〕 上・下水道向航空転用形ガスタービンの  
納入実績

1. 1,000kWクラス(IM100形)

No.	納入先	納入場所	納入年月
1	山口市水道局	第3水源池	51. 3
2	静岡県企業局	新林ポンプ場	52. 3
3	呉市建設局下水道部	広下水処理場	53. 3
4	八王子市下水道部	元八王子増圧ポンプ場	53. 3
5	静岡県企業局	於呂浄水所	54. 1
6	豊橋市水道局	下条給水所	54. 2
7	松本市下水道部	宮淵処理場	54. 7
8	釧路市下水道局	浜町ポンプ場	55. 1
9	釧路市下水道局	浜町ポンプ場	55. 1
10	春日井市下水道局	高蔵寺浄化センター	56. 3
11	小田原市下水道部	寿町終末処理場	57. 2
12	大阪市下水道局	弁天抽水所	57. 3
13	小樽市水道局	中央下水終末処理場	59. 2
14	呉市建設局下水道部	新宮下水処理場	61. 3

2. 2~3,000kWクラス(IM300/IM400形)

No.	納入先	納入場所	納入年月
1	熊本市水道局	沼山津配水場	54. 6
2	奈良市水道局	木津浄水所	54. 6
3	東京都水道局	東村山浄水場	55. 2
4	堺市建設局下水道部	石津下水処理場	56. 3
5	姫路市水政局	姫路市東部終末処理場	58. 3
6	福岡市下水道局	東部下水処理場	59. 3
7	東京都水道局	東村山浄水場	59. 10

3. 10,000kWクラス(IM1500形)

No.	納入先	納入場所	納入年月
1	東京都下水道局	森ヶ崎処理場	53. 8
2	埼玉県住宅局都市部	荒川左岸終末処理場	56. 3
3	大阪市下水道局	弁天抽水所	57. 3
4	大阪市下水道局	弁天抽水所	57. 3
5	東京都下水道局	中川下水処理場	59. 3
6	東京都下水道局	三河島下水処理場	60. 3
7	東京都下水道局	後楽ポンプ所	61. 3

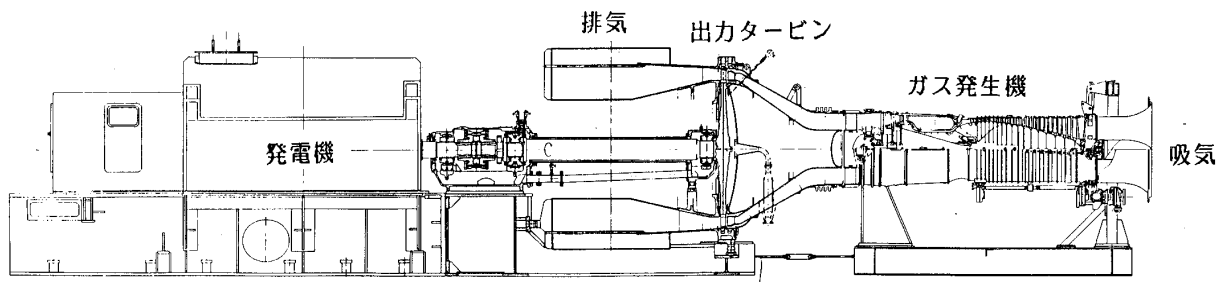


図2. IM1500ガスタービン断面図

界各国で船用主機，ポンプおよびコンプレッサ駆動，コージェネレーションプラントなどに多く使用され，発電用としては定置型，可搬型，車載型がありパッケージを含め標準化されている。母系エンジンT56形は1980年から海上自衛隊P3C形対潜哨戒機用としてIHIで生産されている。

3-3. IM1500形について 推力8tonクラスの国産J79形ターボジェットエンジンをガス発生機として，重構造形出力タービンを空力的に結合した出力10,000kWクラスの中型2軸ガスタービンである。この母系ジェットエンジンは航空自衛隊を含め世界各国でF104形戦闘機，F4形ファントム戦闘機などに搭載され総生産台数は約15,000台，うち国産台数は600台を越える。転用するにあたり制御機器，潤滑油タンクなどが若干変更された。また出力タービンは単段軸流衝動形で，減速歯車なしで発電用として3000rpm/50Hzおよび

3600rpm/60Hzの2つの型式が生産されている。定置型と車載型がある。図2にIM1500形の構造を示す。

4. IM1500形の経験

下水道用非常用発電設備に使用されているIM1500形を例として，そのシステム概要と適用上の経験をのべる。

4-1. 据付および配置 下水道用の場合，鉄骨コンクリート建屋内に置かれる例が多い。IM1500形の発電装置(ガスタービン，発電機，防音パッケージとして)は，重量も約80~100tonと他の重構造形ガスタービン，ディーゼル機関に比べて軽量で，コンパクトであり，建屋内据付に適している。図3に建屋内の他の関係設備との相互配置例を，図4にガスタービン発電機室の例を示す。

配置は下水道向設備に限らず，また出力の大小の区別なく法規上，建屋の構造上，および他の設

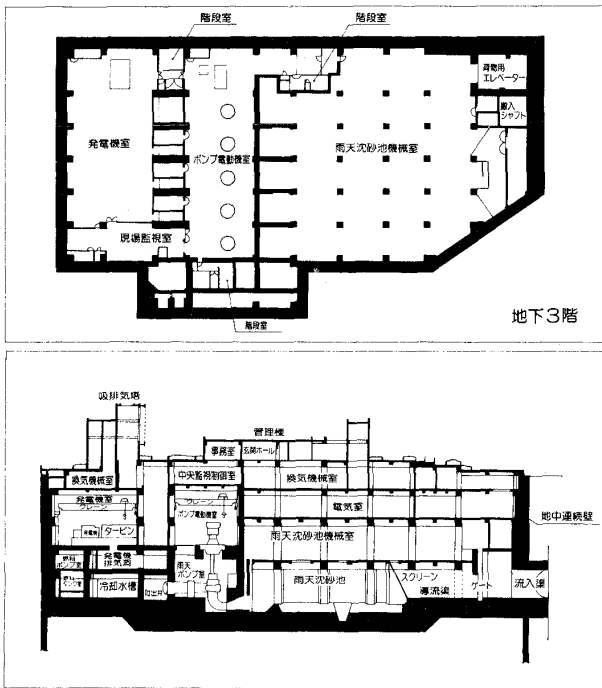


図3. 下水道施設の建屋図例(弁天抽水所)

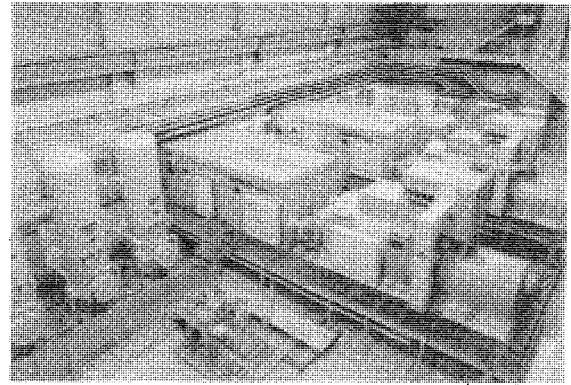


図4. 弁天抽水所発電機室

4-2. ガスタービンの吸排気方向 建屋の吸気通路, 排気通路とガスタービンとの取合い方向は, 建屋構造および他の設備の配置関連で予め決められることが多い。図5にガスタービンの吸/排気方向の自由度の例を示す。

備との関連上いろいろな要素が相互に関係する。用途および周囲の条件も含めて, 次に示す諸条件を検討する。

(1) 発電機室の条件

設置場所(室内の構造等)は, 一般に次のことを考慮する。

- ① 湿気が少なく, 浸水又は漏水がないこと。
- ② 機器の搬入, 搬出が容易にできること。
- ③ 室内の換気, ガスタービンおよび付属機器に必要な吸排気が充分にできること。
- ④ 保守点検等に必要の床面積および高さを確保すること。
- ⑤ 火災その他の災害に対処できる構造とし, 必要な消火設備をもうけること。
- ⑥ できるだけ電気室の近くにあること。

(2) 室内配置の条件

室内の機器配置は, 発電機室の大きさ, 形状および位置等により異なるが, 一般に取扱い, 保守点検が容易なように計画する。

- ① 装置の保守点検のため, 壁または各機器との必要な間隔をとる。
- ② 防音パッケージおよび配電盤の扉は容易に開閉ができるようにする。
- ③ 機側計器パネル, 配電盤および各タンクのレベルゲージ等が見易い位置にする。
- ④ 各配管および配線はできるだけ短くなるように計画する。

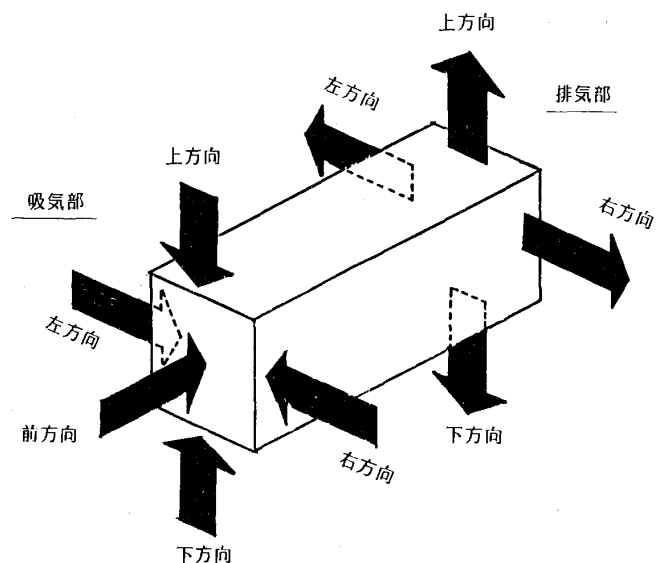


図5. IM1500/LM2500/IM5000の吸/排気方向

4-3. 消音計画および検討 建屋外および敷地境界線での騒音レベルならびに発電機室内の騒音レベルを要求値以下にすることが求められる。発電設備以外の設備も含め総合的に騒音対策をとる。ガスタービン発電設備の発生騒音には次のものがある。

(1) ガスタービンケーシング透過音

航空転用形ガスタービンの本体は, 標準として後述する防音エンクロージャ内に置く。下水道施



設ではこれにより発電機室内騒音レベルを90～95 dB(A)とすることが多い。

#### (2) 吸/排気口からの騒音

ここからの騒音を低減するためスプリット形消音器が多用される。吸気口の雨除けルーバ(ガラリ)の風切音を防ぐため流速を十分低くとる。

#### (3) 付属機器、発電機などからの騒音

屋外に置かれる機械装置、例えば空冷式潤滑油冷却器のファン、水冷却塔などの近隣への騒音について特に注意する。また換気口などについても同様である。屋内に置かれる空気圧縮機、換気通風ファン、ポンプ類からの騒音についても、場合により防音対策が必要となる。ただしこれらを遮音のためカバーなどすることは、通気上、整備上も問題が多いので避ける。発電機も開放通風式の場合には、吸/排気ダクト口からの騒音に注意する。

**4-4. 吸気系統の計画および検討** ガスタービンの性能に直接影響するので、上述の消音計画を含めて、事前に十分検討する。外気取入口は、建屋屋上、地表近くなど設備により異なる。一般に10,000kWクラスの高圧タービンでは吸気系統に吸気ルーバ(ガラリ)またはフード、吸気フィルタ、消音器、吸気金網などが設けられる。建屋内吸気通路のコンクリート肌面の仕上りを確認し、要すればコーティング処理を施し、後日のコンクリート面の欠落を防いでいる。

**4-5. 排気系統の計画および検討** 吸気系統と同じく重要なシステムである。排気は排気筒/煙突が低いと周辺の建築物、樹木などに吹きかかり悪い影響を与えることになるので、冷却空気ファン設備を置くことがある。建屋内コンクリートの排気道/筒の部分は、非常用としての運転時間にあわせた断熱材被覆などの処理をする。

**4-6. 防音エンクロージャの構造** IM1500形ガス発生機の周囲は、落下物などによる損傷からの保護とともに、ガス発生機からの騒音、放熱を遮断するためにエンクロージャを設ける。エンクロージャは保守点検整備およびガス発生機の換装などが容易にできる構造とし、内部には消火ガス装置、照明灯などがある。天井上には換気ファンが置かれ、内部の冷却/換気を行う。

エンクロージャは鉄骨型枠に外面鋼板張り、内面はパンチングメタル板張りとし、両面間に吸音

材を充填してある。内部監視窓付きのドアが両側にひとつずつある。図6に外観写真を示す。

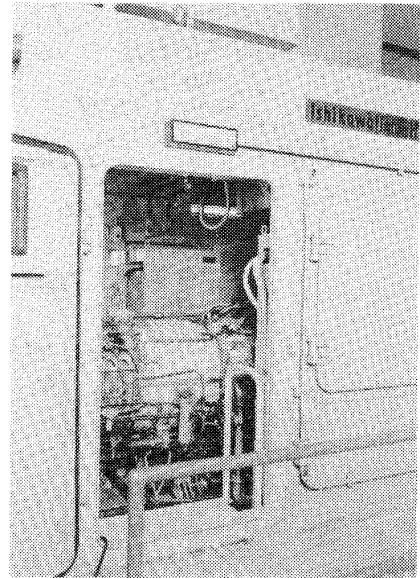


図6. エンクロージャ外観(荒川左岸終末処理場)

出力タービン部周囲は後部補機部分を除いて、タービン部、排気ケーシング部をカバーしている。外面は鋼板、内面に防熱/吸音材を要所に取付けている。

**4-7. 起動方式とその特性** IM1500ガスタービンは停電時起動を考慮し、空気タービンスタータを採用している。大型のLM2500形/IM5000形も同様である。その説明図を図7に示す。空気は、予め空気圧縮機で高圧空気槽に充填しておき、ガスタービンの起動時に減圧(通常30～50kg/cm<sup>2</sup>gの空気を2～3kg/cm<sup>2</sup>gに減圧)して、ガス発生機の補機歯車箱に装着されているスタータに送る。起動特性の例を図8に示す。

**4-8. 燃料供給および燃料制御方式** 燃料は貯蔵タンクから移送ポンプで小出槽(サービスタンク)に一旦貯えられた後、ガスタービンへ供給される。燃料はガスタービン直結の燃料ポンプで加圧され、燃料制御装置内の燃料制御弁で必要量を計量し燃焼器中へ噴射される。

燃料には灯油が多用されるが、軽油も使用できる。燃料中への異物の混入防止、性状、粘度などの管理が重要である。

IM1500形の燃料制御は電気油圧式で、発電機

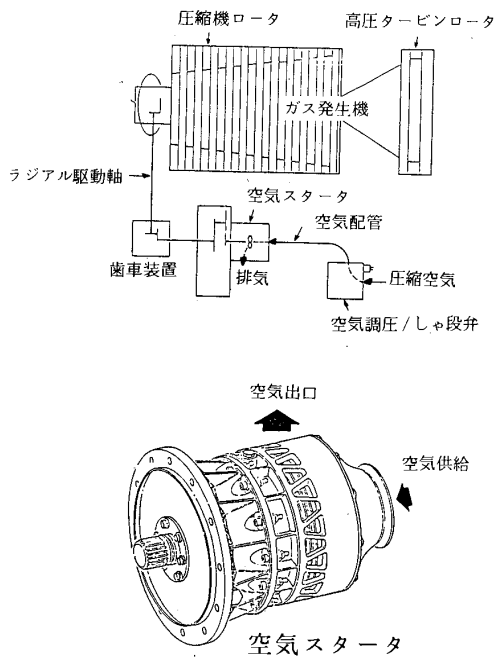


図7. ガスタービン空気起動システム

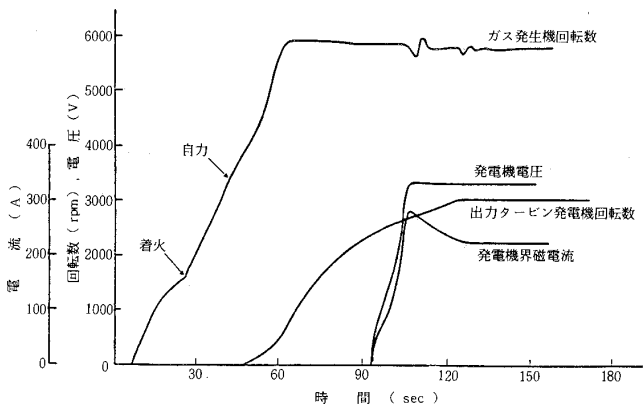


図8. 起動特性

周波数を検出し演算を行い燃料増減の信号を発生する電気制御系と、その信号を受けて電気—油圧変換し実際の燃料流量を増減する油圧制御系に大別される。電気制御系の部分はガスタービン発電機制御盤に納められ、油圧制御系の部分は各機器をユニット(燃料制御装置)にまとめている。次の機能を有する。

- (1) 負荷の全範囲において出力タービン回転数を一定に保つ(ただしドループを有す)。
- (2) ガス発生機の加速時にガス発生機のサージおよびガス温度の過昇を防ぐため、加速燃料流量の制限を行う。

(3) ガス発生機の減速時に燃料の吹消えを防ぐため、減速燃料流量の制限を行う。

(4) 着火からアイドルまでの燃料流量を制限する。

**4-9. 潤滑油装置** IM1500形の場合、その潤滑油系はガス発生機系統と出力タービン/発電機系統の2つの独立した系統からなる。ガス発生機はころがり軸受を使用していて、市販の航空エンジン用潤滑油MIL-7808規格の合成油を用いる。潤滑油タンクがエンクロージャ内に本体とは別体に置かれている以外は、ガス発生機潤滑油系の機器はポンプを含め本体に装着されている。

出力タービン/発電機はすべり軸受を使用していて、JIS規格のタービン油を用いる。出力タービンの後部補機歯車装置に直結ポンプ、機械台上に補助電動ポンプ類があり、潤滑油タンクも機械台に内蔵されている。

**4-10. 冷却方式の検討** 潤滑油の冷却と発電機の冷却は、水冷却を採用する場合と空気冷却による場合がある。冷却方式はユーザが決定することが多いが、それぞれ一長一短がある。なお水冷却方式の場合には、冷却水放流式、水槽循環式、冷却塔式などその冷却水供給条件に注意し、かつ凍結、水質保全にも留意する。

IM1500形を例にとると、ガス発生機用潤滑油は本体装着の液冷冷却器(燃焼器へ噴射される前の燃料で冷却する)を通して冷却される。出力タービンと発電機の潤滑油は、別置きの水冷または空冷式冷却器で冷却する。その他に発電機本体、起動用空気圧縮機などの冷却が必要である。

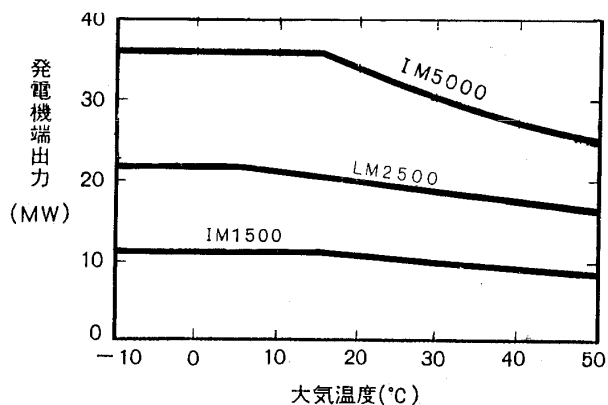
**5. ガスタービンの性能**

上・下水道施設向ガスタービンに最適な軽量、コンパクトな中大型航空転用形ガスタービンの出力特性の例を図9に示す。

**6. 生産過程と工場設備**

ガス発生機など航空転用形ガスタービンは、航空エンジン工場生産され、その製造/検査過程は航空エンジンの規格と品質保証体系に準拠している。ガス発生機はジェットエンジン用テストセルで最終完成品としての機械/性能上の試験を受け出荷される。

IM1500形を例にとると、ガス発生機は東京、西多摩の航空エンジン工場、出力タービンは東京、



条件：大気圧力=760mmHg 発電機効率 0.98  
 吸・排気損失=100/150mmHg 周波数 60Hz  
 燃料発熱量=10,200 kcal/kg 50Hz  
 力率 0.8

図9. 中・大型航空転用形ガスタービンの出力特性

江東区の風水力機械工場で製造される。ガス発生機はエンクロージャに据付けて艤装後、出力タービンの製造工場附設の試験運転場へ陸送し、出力タービンと結合の上、水動力計を使用して性能確認/耐久試験をうけた後、現地へ搬入される。ユーザによっては、この結合運転を現地で実施する例もある。

7. アフタサービス体制

ガスタービン納入後の点検整備，修理，オーバーホールなどは，製造会社または点検整備を専業とするサービス会社とユーザが協力して作業レベルに応じて分担し実施している。非常時の緊急起動に支障のないよう，技術員が契約に基づき定期的にユーザを訪問し，作業を行う場合が多い。

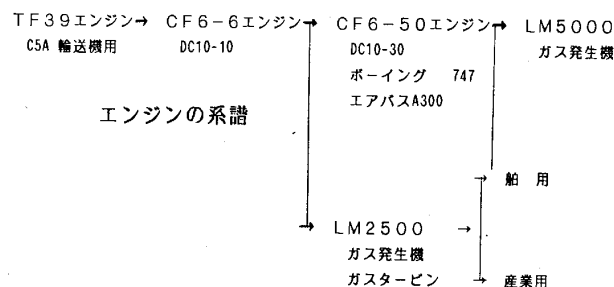
8. 大型ガスタービンの適用について

現在使用されている上・下水道用非常用ガスタービンは，重構造形，航空転用形とも10,000kWクラスが上限である。この出力を上廻る非常用発電設備が必要な場合は，10,000kWクラスを複数台設置し，併列運転するか，スペース上これが許されない場合は20,000kW，30,000kWクラスのガスタービンが必要となる。このクラスの航空転用形はその機種も限られ，IHI-GE社の下記のもの，RR社のRB211形，UTC社のFT4形などがある。

IHI-GE社の場合を例にとると，20,000kWクラスにLM2500形，30,000kWクラスにIM5000形がある。これらの大型ガスタービンは第2世代エンジンと呼ばれ，現用のガスタービンとして性能上，

整備性などの点で最先端をいくもので，かつ信頼性の実証されたものである。LM2500形と，IM5000形は，母系航空エンジンを同一としていて，多くの共通性をもつ姉妹エンジンで，母系エンジンと合せてファミリーエンジンと呼ばれる。表2にその実績と開発転用の系譜を示す。

表2. ファミリエンジンの運航/運転実績 (1985年10月現在)



	運航台数	運航実績 (hr)	
TF39	456	2,953,137	
CF6-6	463	12,359,397	
CF6-50	1,673	30,032,346	
	運航台数	運航実績 (hr)	
LM2500			
産業用	178	1,637,130	
船用	508	1,510,468	
LM5000			
産業用	14*	80,511	1985年12月現在

\*出荷台数を示します。

8-1. LM2500形ガスタービン 航空用大型ファンエンジンGE-TF39形およびCF6形の転用形であり1969年第1号機が出荷されて以来，艦船用主機，パイプライン用圧縮機駆動，発電用などに多用されている。世界各地のいろいろな環境で使用され，その経験がフィードバックされていて現在では最も信頼性の高いガスタービンといわれる。図10にその構造図を示す。

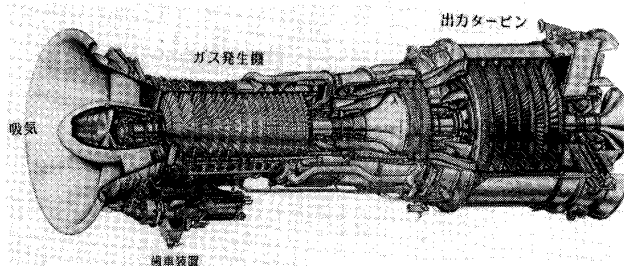


図10. LM2500形ガスタービン

8-2. IM5000形ガスタービン 世界最大級の航空転用形ガスタービンで、3軸式である。ガス発生機は推力20 tonクラスのCF6-50形エンジンの転用形で、LM2500形の技術と経験を組込んで開発された。ガス発生機は性能向上のため2スプール(2軸)とし、低圧軸系と高圧軸系に分けている。出力タービンはIM1500形の流れをくむ3段タービンである。1978年(昭53)第1号機が出荷された。図11に試験運転中のガス発生機、図12に生産中の出力タービンを示す。

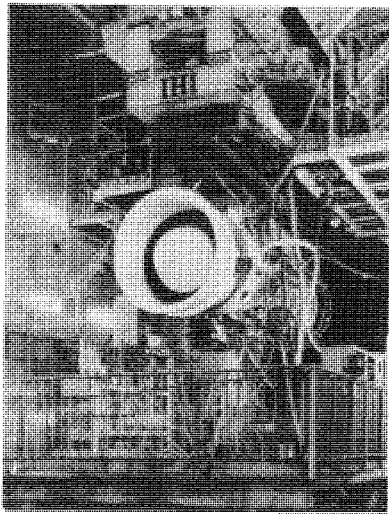


図11. IM5000用ガス発生機の試験運転

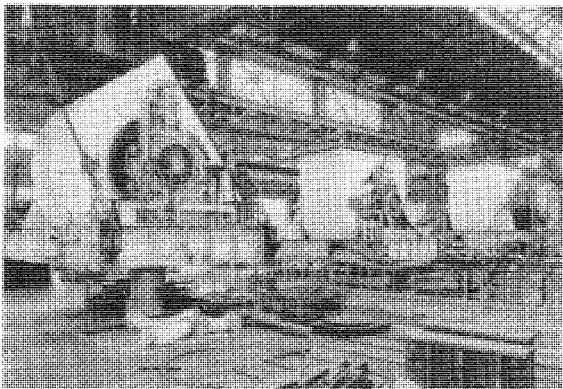


図12. IM5000ガスタービン用出力タービン

## 9. おわりに

非常用発電設備に使用されるガスタービンは、出力が10,000 kWクラスまたはそれをこすような場合、航空転用形が全負荷まできわめて短時間で起動でき、かつ起動信頼性が高いことから、その主流となっている。それに加え軽量、コンパクトであるのでビル内の据付にも有利である。さらに航空転用形は、熱効率、耐久性もすぐれていることが実証され、最近ではベースロードまたはピークロード用にも使用されている。

ここでは主として航空転用形の紹介となったが、上・下水道関係者を含め、ユーザ、エンジニアリングなどの関係者の御意見をとり入れて、よりよいガスタービンプラントの発展に努力していきたい。関係各位の参考にしていただければ幸いである。

## 文 献

- (1) 竹生, 他, 石川島播磨技報, 14-3(昭50-5), 330.
- (2) 仁科, 石川島播磨技報, 22-3(昭57-5), 177.
- (3) 竹生, 石川島播磨技報, 19-2(昭54-3), 1.
- (4) Industrial & Marine Gas Turbine Engines of the World, 1985-86, Second Edition.

## 下水道用非常用ガスタービン

東京都下水道局 早野克雄\*  
 “ 山浦武\*

### 1. まえがき

雨水を速やかに排除することは、東京都の下水道事業の使命の1つである。その使命を全うするには、それなりの信頼性のある管渠と機械装置等が確立していることが不可欠である。

集中豪雨や台風時は、下水道施設の全機能を発揮するときであり、電力を最も必要とするときでもある。しかも、このときは、電力系統が不安定で不測の事故が起き易い状態にあるともいえる。

もとより、電力系統の信頼性は、ほとんど不安定な状態におかれているが、一方では、61年3月、関東地方の大雪で送電線鉄塔が倒れ、某上水場がその機能を停止し、市民の日常生活に混乱をもたらしたことは、記憶に新しい。不幸にして、このような事故が下水道施設に発生した場合は、東京の低地帯では、侵水事故を引き起こし住民に多大な迷惑をかけることになる。住民を水害から守るため、一刻も早くポンプ所、処理場を自力で再起動させなければならない。

最近、都市化現象が著しく進み、雨水が鉄砲水となって下水道施設に押し寄せてきている。一分一秒を争って揚水設備を稼動しなければならない。まさしく、ポンプ所、処理場は戦場と化し、一瞬のうちに平常時電力量の3～10倍の負荷量となる。

このように、公共の安全と環境をまもる下水道施設には、非常用電源設備の設置が不可避的な存在であることに異論はない。

非常用電源設備は、水害から住民の生命・財産を守る保険のようなものであると考えられる。

### 2. 非常用ガスタービンの導入経緯

非常用電源設備の動力源は、天災などの停電に対しても、非常時の電力を確保し、ポンプ所、処理場の維持管理に支障なく、万全を期するように極力短時間に全負荷をとれる装置が強く望まれる。

下水道局が、非常用発電設備を計画する段階で発電機の駆動機用としてディーゼルとガスタービンを比較評価した。それは、主として次の項目について検討した。

① 機関の構造、性能における信頼性、安定性について

② 主機関をとりまく補機類（冷却装置など）の留意点について

③ 操作・制御方式の中の始動特性、待機運転への対応について

④ 維持管理として、保守点検項目、点検周期、部品調達の高難易度について

⑤ 経済性として、イニシャルコスト、ランニングコスト、設置スペース、重量等による建設費への負担について

⑥ 環境への適応、騒音、振動、排ガス対策（SO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub>の低減、排熱等）について

⑦ 法的取り扱い、常用、非常用の別、建築基準法、消防法からの制約、電気事業法の規制について

⑧ サービス体制について  
 などである。

このように、機関の選定にあたっては、技術的に検討を重ねるとともに、地域的条件、設置場所の条件、経済性、維持管理性について総合的評価を加え、その建設ごとに決めるものである。

評価の結果、ディーゼル機関の方が優れている項目も数点あるが、東京都のような大都市で、大容量設備については、建設スペースと近隣住民への騒音対策の問題のために、小型軽量でなおかつ大出力(10,000kw)が得られ、冷却水が不要で、振動及び大気汚染の比較的少ない構造など、種々の特長を有しているガスタービンを以下の場所で採用することとなった。

ここに、東京都下水道がガスタービンを採用した年次を示すとともに、最近、後楽ポンプ所(図-1)に設置したガスタービンの概要を述べる。

当局が最初に導入したのは、昭和53年、森ヶ崎処理場で、形式 開放単純サイクル式、出力10,000kw 1基である。

昭和58年	中川 処理場	同形式	1 基
昭和59年	三河島処理場	“	1 基
昭和60年	後楽ポンプ所	“(8,000kw)	1 基

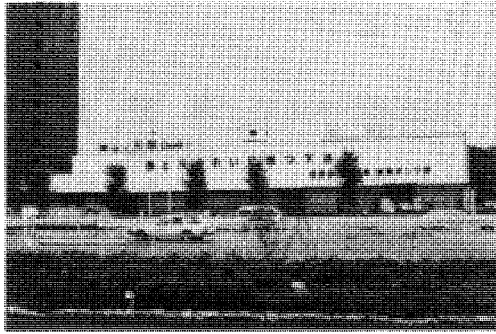


図-1. 後楽ポンプ所全景

### 3. 後楽ポンプ所に導入されたガスタービンの概要について

#### 3-1. 導入した機器の仕様

ガスタービン

形式	開放単純サイクル式
定格出力	発電機端 8000 kw
	ガス発生機回転数 : 7600rpm
	以下
	出力タービン入口温度 : 640℃
	以下
周波数	50 Hz
出力タービン回転数	3000 rpm
始動方式	空気始動式

燃料油	灯油
燃料消費率	定格出力において 415g/kwH以下

#### 発電機

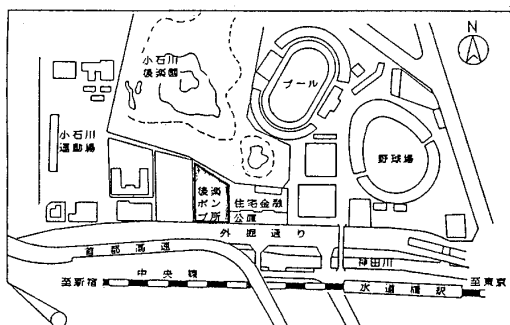
容量	10,000 kVA
電圧	6,300V
電流	916 A
極数	2
周波数	50 Hz
回転数	3000 rpm
力率	0.8(遅れ)

3-2. 全体構成 この発電設備の機器配置平面図を図-2, 総合系統図を図-3に示す。

後楽ポンプ所は、民間ビルに隣接しているため臭気、騒音、振動など2次公害を考慮する必要のある所である。また、敷地スペースが狭いことを合せて考慮し、地下(地上3階、地下6階)を最大限に利用した設計となっている。

ガスタービン発電設備は図-2, 3に示す通り全て地下4階に設置し、振動防止、騒音対策の効果をあげている。

吸気、排気設備の消音については、ルーバ形と、スプリッター形の消音器を二重に設置し減音した。



案内図

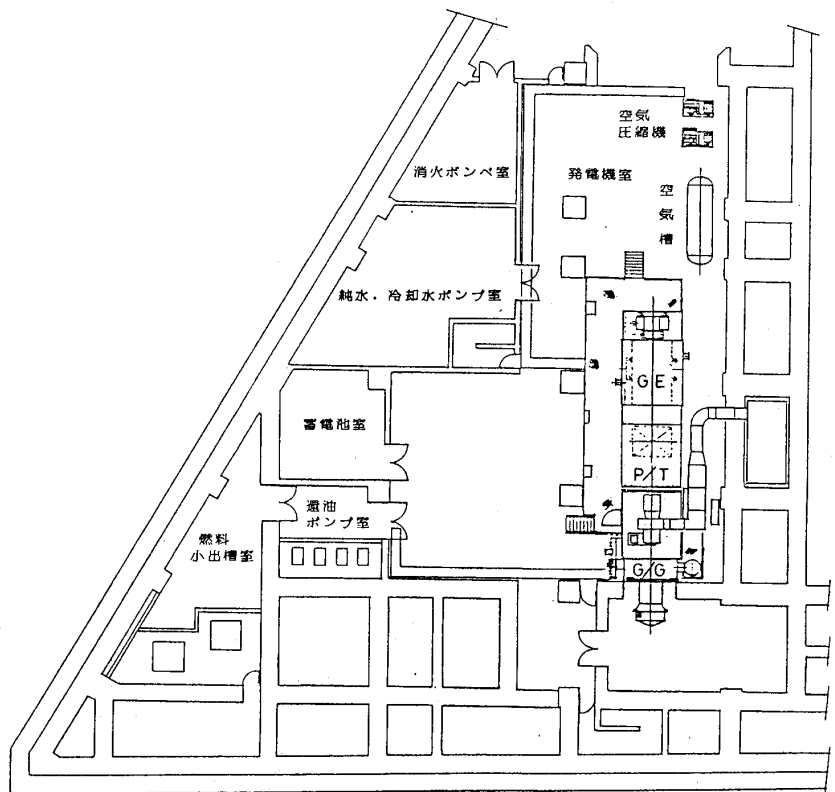


図-2. 機器配置図(平面図)

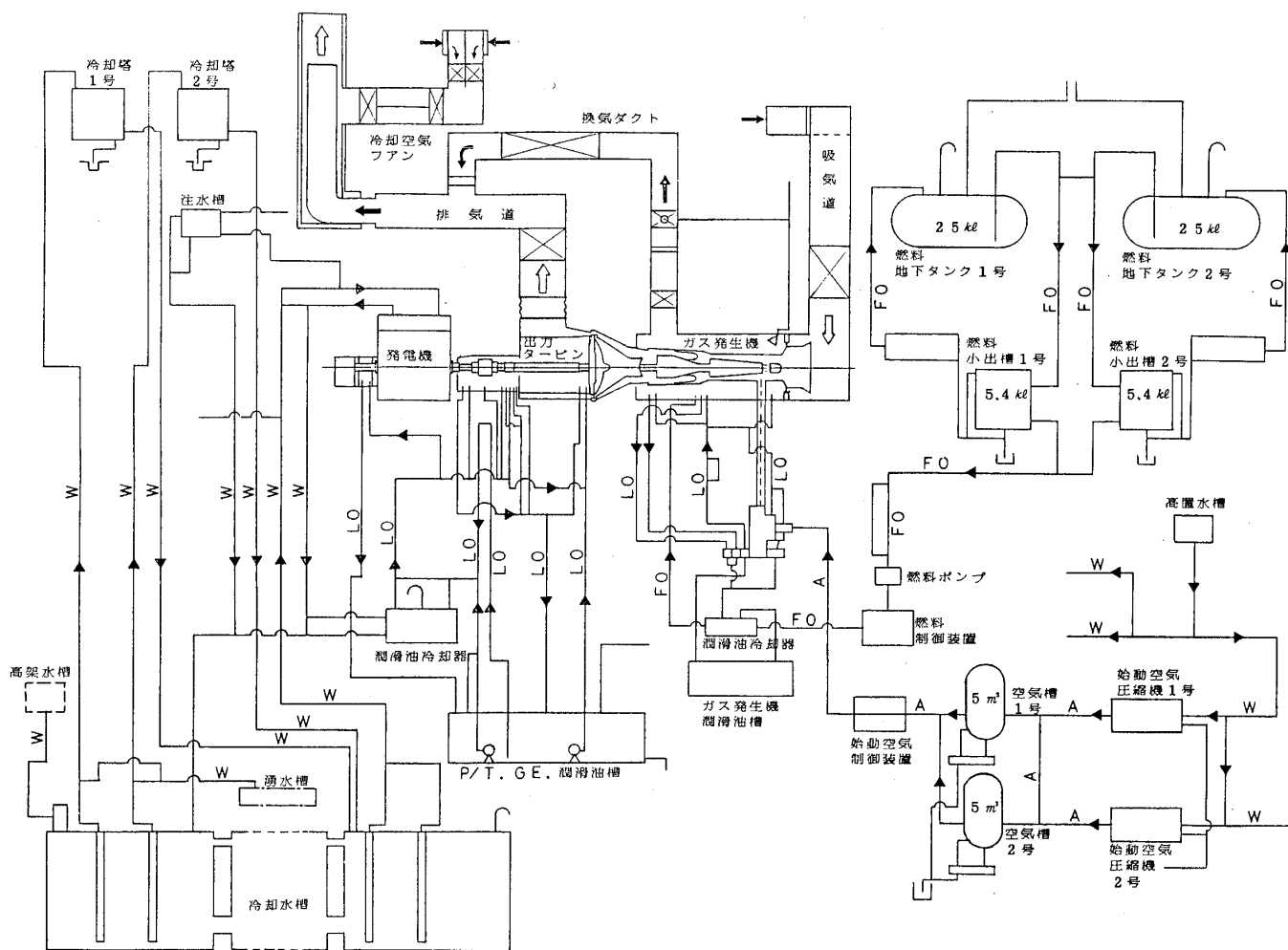


図-3. ガスタービン発電装置総合系統図

特に排気設備については、隣接ビルに対し、排気ガス温度を低減させる必要があるため冷却空気ファン2台を地下2階に設置し、冷却空気を排気筒内に送り、排気ガス温度を低減させているのが特徴となっている。

3-3. 制御、運転、停止について ガスタービン発電装置の制御系統は下記の4系統に別れている。

- (1) 始動 — 停止のシーケンス制御
- (2) 周波数制御
- (3) 電圧制御
- (4) 異状時の保安装置

ガスタービン発電装置の始動、停止はスイッチ操作のみで自動的に行えるようにシーケンス制御されている。また、停電時には停電信号により自動始動が行えるようにシーケンス回路を設けている。

本装置の電気ガバナーは発電機主回路のPTから周波数信号(速度信号)を検出すると同時に制

御電源としている。更にCTからの電流信号を受け、負荷信号を算出し、直流電圧信号に変換する。この2個の信号と周波数設定用ポテンションメータからの設定信号の偏差信号が増幅されて、油圧アクチュエータに送られ角変位に変えられる。

始動時には電気ガバナーの電圧信号がないため、模擬信号を作りガスタービン入口温度と圧縮機出口圧力より決められた始動燃料スケジュールに従って始動燃料が決められ、ガス発生機が始動する。

出力タービンは、ガス発生機始動後回転を始めるが始動時の過回転を防止するため、アイドル保持装置にてガス発生機の回転をおさえ、2分以内に定格速度に達するように制御されている。

発電機回転数が80%に達すると発電機に初期励磁を加え、電圧が確立する。電圧が立上った後は電気ガバナー制御に切り換わる。

保守装置は発電装置の運転状態を常時監視し、異状を生じた場合には警報を発生し、機器を自動停止させるもので無人運転を前提とする場合、非常

に大切なものである。

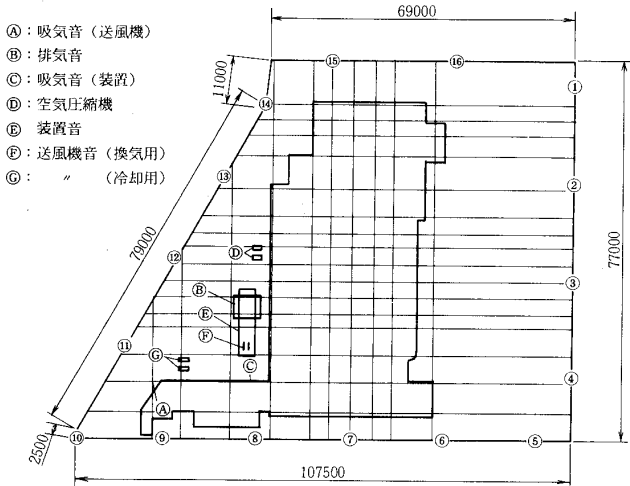
3-4. 試運転結果について 試運転結果については騒音測定結果を表-1, 負荷投入遮断試験を表-2, ガスタービン始動特性を図-4に示す通り通商産業局の「使用前検査」に合格した。

非常用ガスタービンの最大の使命は「非常時に短時間で確実に全負荷運転が出来る」ことであり失敗は許されない。従って, 日常の保守点検および定期点検が必要である。

表-1. 騒音測定結果

規制値		測定結果	
指定地域の区分	規制基準	時間	実施日
第三種区域 商業地域	午前6時~午前8時	55ホン(A)	14:00~16:30
	午前8時~午後8時	60ホン(A)	21:30~22:30
	午後8時~午後11時	55ホン(A)	23:30~24:30
	午後11時~午前8時	50ホン(A)	6:30~7:30

時間	14:00~16:30	21:30~22:30	23:30~24:30	6:30~7:30
実施日				
測定点	暗騒音	合成騒音	暗騒音	合成騒音
1	62	63	61	61
2	63	65	61	63
3	61	63	60	60
4	63	65	62	63
5	62	64	61	61
6	61	63	60	61
7	59	62	56	57
8	55	58	54	54
9	55	57	49	49
10	56	58	50	54
11	53	56	49	54
12	53	56	48	51
13	52	56	49	51
14	53	56	51	52
15	54	57	51	53
16	58	61	56	58



特定施設設置境界線図(騒音)

測定条件  
 ・使用測定器:騒音計  
 ・製作者:リオン(株) 型式 NA-09  
 No.10870065

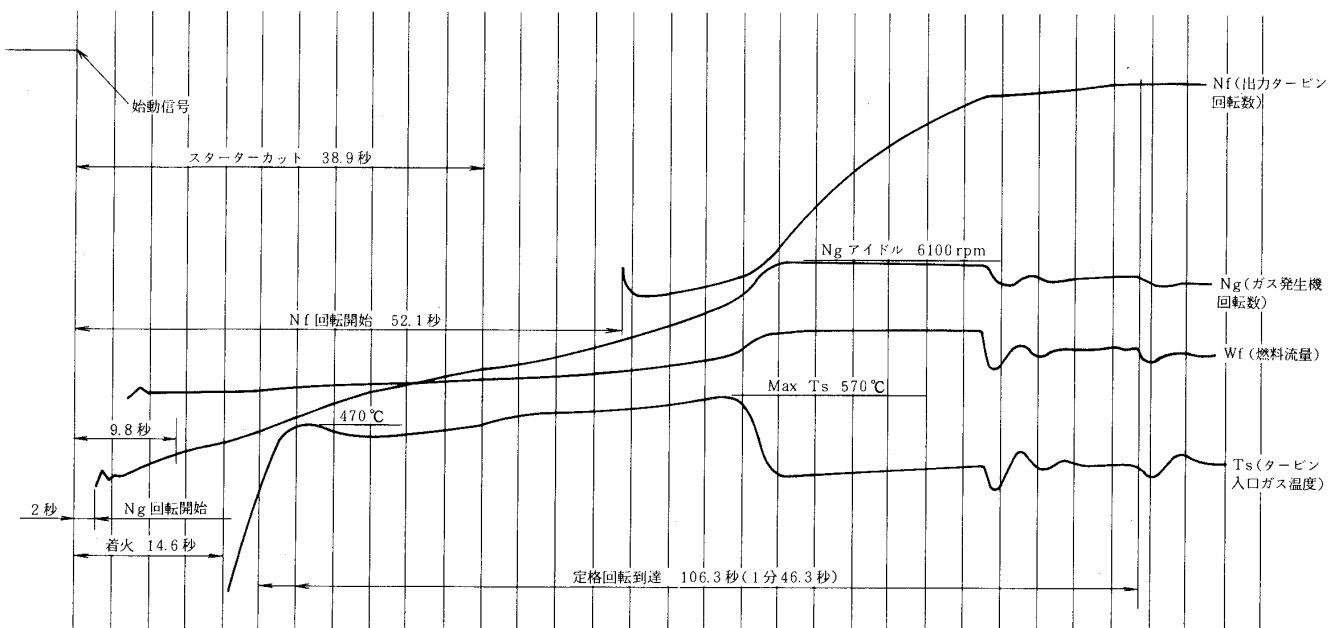
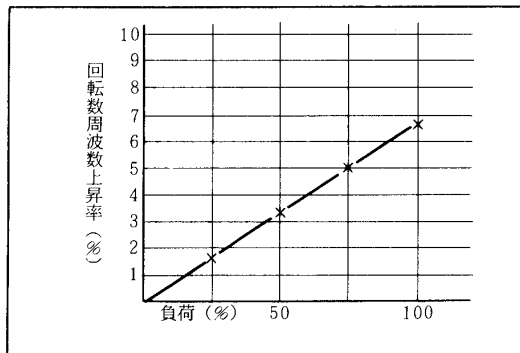


図-4. ガスタービン始動特性



表-2. 負荷投入遮断試験

項目		負荷 (kw)				
		1/4 (2000 kw)	1/4 (2000 kw)	2/4 (4000 kw)	3/4 (6000 kw)	4/4 (8000 kw)
		第 1 回	第2 (再投入) 回	第 3 回	第 4 回	第 5 回
回転数 (rpm)	負 荷 時	3000	—	3000	3000	3000
	無負荷時最大	3050	—	3100	3150	3200
	整 定 後	3020	3020	3050	3070	3090
	再 投 入 瞬 時	—	2950	—	—	—
	整 定 後	—	3000	—	—	—
	上 昇 率 (%)	1.7	-1.7	3.3	5.0	6.7
時間 (sec)	しゃ断時から整定まで	5.0	4.0	6.6	9.0	12.6
電 圧 (V)	負 荷 時	6300	—	6300	6300	6300
	無負荷時最大	6420	—	6430	6600	6800
	整 定 後	6300	6300	6300	6300	6300
	再 投 入 瞬 時	—	6420	—	—	—
	整 定 後	—	6300	—	—	—
電機子電流 (A)		180	180	360	550	743
界磁電流 (A)		1.9	1.9	2.25	2.8	3.35
力 率 (%)		100	100	100	100	100
回 転 数 (rpm)						



$$\text{回転数上昇率}(\%) = \frac{n_2 - n_1}{n_1} \times 100$$

$n_1$  : 負荷時の定格回転速度 (r.p.m.)  
 $n_2$  : 負荷しゃ断時の最高回転速度 (r.p.m.)  
 周波数上昇率も同様に算出のこと。

負 荷 の 方 法  
水 抵 抗

4. 維持管理について

当局では、ガスタービン発電機設備及びこれに関する付帯設備等の正常な機能を維持するとともに、故障を未然に防止するため、専門業者に保守点検作業を委託している。

この作業内容は、機器についての点検調整、精密点検、無負荷性能確認運転・実負荷性能確認運転を行い、運転制御性、表示及び計装装置等の機能を個別的・総合的に点検を実施するものである。

性能確認運転点検は、年間26回以上、精密点検は、年間1回以上行うもので、点検調整は、性能

確認運転点検時に合わせて実施している。

運転中の点検では、運転状況によりガスタービンに異常がないかどうかを調査するものであり、主として、ガス発生機本体、出力タービン本体の起動・停止の状態の良否などである。また、燃焼器及びタービンのケーシングに熱変色や熱変形はないか。さらに、ガスタービンの付帯設備（燃料系統、始動空気系統、冷却水系統、潤滑油系統）では、油や水の漏洩個所の有無、ボルト、ナット等のゆるみ、冷却水管の腐蝕・変形・発錆などの点検作業である。

精密点検は、主として燃料制御装置の点検、フ

フィルターの交換、燃料ノズルの点検、燃焼器及びタービン部の点検などある程度機関を停止して、必要により機器の分解調査を行うものである。

非常用ガスタービンは、利用率は低いが起動に対する信頼性が重要である。そのために定期的な試験起動を行い、異常がないことを確認しておくことが大切である。

### 5. 故障と対策について

設置してから今日までの運転時間は、非常用ガスタービンだけに、実負荷運転は少なく、ほとんど試運転のためのものである。

設備は設置してから時間を経過するに従って、ある程度の初期故障を経て、設備の不具合を改善しながら次第に信頼性の成長が増して来ることは周知のとおりである。

初期改善も含めたこれまでの故障を見てみると、補機関係が多く、3処理場、1ポンプ所含めて十数件となっている。

後楽ポンプ所において、ガスタービン始動試運転時、「出力タービン入口温度過昇トリップ」現象が生じた。これは極めて不定期的に発生する旋回失速による温度高トリップであり、すでに是正対策がたてられている。

また、その他の故障内容の一部を見ると、若干詳細になるが、始動用空気圧縮機の冷却水の圧力スイッチの設定問題、入口フィルタの目詰り、電磁弁の動作不良、燃料ポンプ逆止弁の動作不良など周辺機器が多い。

センサー関係の故障では、機関運転中にG/G過速度現象で、トリップするという事故が発生した。原因調査の結果、速度スイッチの電源部のコンデンサー（アルミ電解）の容量低下が原因と判明した。このように原因が明らかなものは、対策もとれるが、遮断器故障など不定期的に発生し、原因究明に時間がかかるものもある。

機関の信頼性を向上させるための一策として、機器の実状に応ずる適切な環境作りと、構成部品の劣化等を事前に見つけ出すことが必要である。

機器環境の気くばりと、定期点検（動作点の点検、絶縁抵抗など）見直しで、予防保全体制を整えることも一つの対策と考える。

思わぬ不良部品のため、ガスタービン全体が信頼性に欠けることのないように、メーカーとして

機関本体にも優る構成部品を選ぶべきである。

まして、誤動作など、くり返しているものについては、何らかの外乱が影響している場合が考えられるので、ユーザ側の立場を考慮してノイズ動作対策を早期に実施するなど、サービス体制の確立が望まれる。

### 6. 結 言

地震などの災害時には、水道水などの確保が困難となる。冷却水を必要としない動力機関は、非常時として最大の利点といえよう。

ジェットエンジン形ガスタービンは、下水道事業における、非常用発電設備の動力源として、確立しつつある。

しかしガスタービンは航空機用として開発されていて、精密部品より構成されているため、その内容が複雑で専門的、技術的であり、維持管理や補修は、専門業者で行うことになる。ユーザ側にとってブラックボックス的存在となり、維持管理に不安の部分が残る。

すなわち非常時、ガスタービンにトラブルが発生したら、運転操作員が直接タッチできる範囲が非常に狭く限定されるところに問題がある。

従って非常用発電設備が、非常用として役立つためには、始動失敗や稼働中のトラブルがあってはならない。機関の信頼性が最も要求させるところである。

ガスタービン本体そのものは、航空機用には、高い信頼があっても、陸上の非常用発電設備としては、そのプラントを構成している補機や部品が、本体と同等の品質でないと、発電設備として信頼性が半減する結果となる。補機、センサー等を含めた全体がガスタービンであるとの考えのもとに、より安全性と信頼性をめざしメーカーの絶えざる研究開発を期待したい。

\* 東京都下水道局施設管理部 副主幹

\*\*東京都下水道局施設管理部施設第二課設備改良調査担当主査

# 機械駆動用非常用ガスタービン

神戸製鋼所 小林 武  
木下 史郎

## 1. はじめに

近年の我が国におけるガスタービンの普及は、めざましいものがあり、非常用原動機としても着実にその需要がふえている。機械駆動非常用ガスタービン設備としても、高い信頼性、小形軽量で大出力というガスタービンの特徴を生かし、大型消火船、石油コンビナートなどの大型消火ポンプ、石油類の船積ポンプ、下水処理場の雨水ポンプ等に应用されている。ここでは、神戸製鋼所で製造している産業用ガスタービンを応用した非常用発電設備等の非常用ガスタービン装置のうち、ガスタービン駆動ポンプ設備の内容とポンプ設備の設置例について紹介する。

## 2. ガスタービンポンプ設備

KG2ガスタービンポンプ設備は、KG2ガスタービン、ポンプ、クラッチ、機側配管を一体形共通台板上に組立てたガスタービンポンプユニット、タービン補機、制御盤等から構成される。

ガスタービンポンプユニットの例を図1に示す。

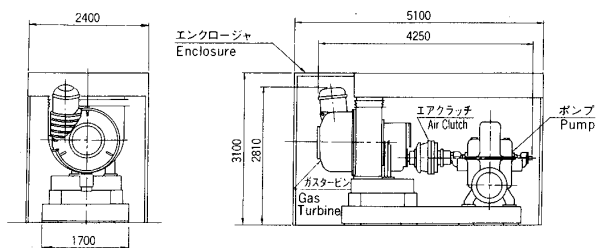


図1. ガスタービンポンプユニット

パッケージは、屋内設置形、屋外設置形とあり、又、屋内専用室内に設置する場合には、パッケージなしとすることもできる。ポンプユニットの主要諸元を表1に示す。本ガスタービンポンプユニットは下記のような特徴を持つ。

- ① ガスタービンの重量は、減速機を含め約1900kgfと小型軽量である。又、ユニット化しているため、据付工事が短期間で済む。
- ② 圧縮機及びタービンは、共に1段ラジアル式で部品点数が少なく、また軸受はティルトイン

表1. 主要諸元

ガスタービン		
名称	KG2-3C	
形式	単純開放サイクル1軸式	
出力(非常用定格)	2235PS (ISO状態)	
回転数	18000 rpm	
燃料	灯油, 軽油, A重油, 天然ガス, プロパン	
オイルクーラ	空冷式	
潤滑油	添加タービン油VG32相当	
ガバナ	電気油圧式	
起動方式	空気起動式または電気起動式	
クラッチ	エアクラッチまたはオイルクラッチ	
ポンプ		
形式	両吸込形遠心ポンプ	
定格揚量	3000 m <sup>3</sup> /h	
全揚程	130 m	
定格回転数	1500 rpm	
軸受	コロガリ軸受	

グバッド形で機械の低温部に設けてあるため寿命が長く信頼性が高い。軸受が低温部にあるため、通常のタービン油を潤滑油として使用できる。

- ③ 起動の信頼性がきわめて高く、また起動指令から約60秒で送水開始できる。このため非常用設備として最適である。
- ④ 燃料として、灯油、軽油、A重油などの液体燃料のほか、天然ガス、都市ガス等のガス体燃料も使用できる。更に必要に応じてガス体、液体燃料の両方を切換えて使用することができる。
- ⑤ 運転操作が簡単で、起動停止、運転が自動操作および遠隔操作できる。
- ⑥ 構造が簡単で耐久性、信頼性にすぐれているため保守が簡単かつ容易である。
- ⑦ 回転機械のため振動がほとんどなく、非常に簡単な基礎工事で済む。

## 3. ガスタービン

本設備の中心機器であるKG2-3形ガスタービンは、純産業用として、コングスベルグ社(ノルウエー)により開発設計されたもので、1段ラジ

アルコンプレッサー及び1段ラジアルタービンという非常にシンプルな組合せで構成されている。KG2ガスタービンは、既に700台以上生産され、総運転時間300万時間以上という非常に信頼性の高いガスタービンである。

3-1. 構造 単純開放サイクル1軸式で減速機一体構造となっている。図2にガスタービンの構造図を示し、図3に分解図を示す。

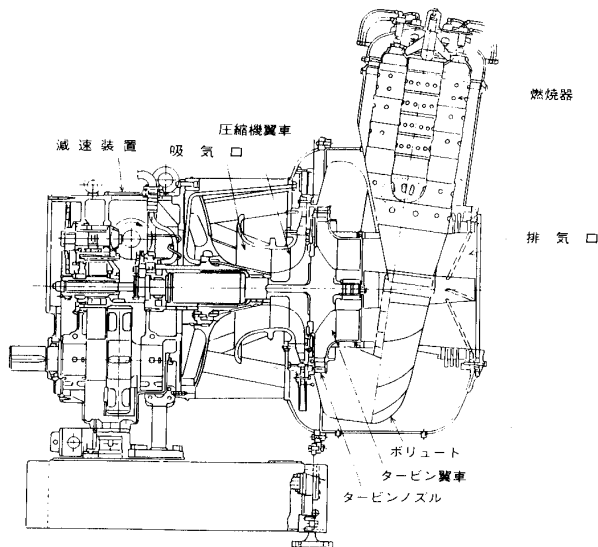
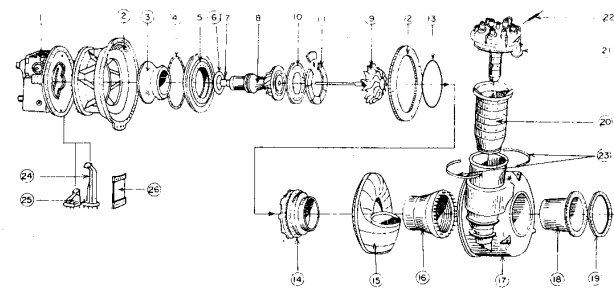


図2. ガスタービン構造図



符号	部品名称	符号	部品名称
1	減速装置	14	タービンハウジング
2	インレットハウジング	15	ポリウレタン
3	圧縮機カバー	16	インナプレッシャベシセル
4	シム	17	アウトプレッシャベシセル
5	ディフューザ	18	排気ディフューザ
6	シム	19	温度センサ取付フランジ
7	ナット	20	フレームチューブ
8	圧縮機及び輪受ハウジング	21	コンバスタヘッド
9	輪付タービン	22	点火プラグ
10	バックプレート	23	V-バンド・カップリング
11	ヒートシールド	24	支脚 (I)
12	プレートディフューザ	25	支脚 (II)
13	シールリング	26	支脚 (III)

図3. ガスタービン分解図

A) 圧縮機部

KG2ガスタービンは、1段ラジアルコンプレッ

サーを採用しており、圧縮機部は、圧縮機翼車及びディフューザより構成される。翼車は、高クロム析出硬化鋼の精密鋳造品であるインデューサと同様に高クロム析出硬化鋼の鍛造材を機械加工した翼車を組み立てたものである。又、ディフューザは、3段セグメント組立式となっており、高いコンプレッサ効率を確保している。

B) タービン部

タービン部は、1段ラジアルタービンで、タービンノズル、タービン翼車、タービンハウジングヒートシールド及び排気ディフューザより構成される。タービンノズルは、コバルト基耐熱合金を使用し、耐食性についても十分考慮されている。又、ベーン内部に冷却空気を通し、高温となるガスに対する配慮がなされている。タービン翼車はCr-Co-Ni合金の鍛造品を機械加工したタービンホイールと、Cr-Ni合金の精密鋳造品であるエクステューサを組み立てたものである。

ラジアルタービンの特徴の一つとして、タービン通路が比較的広くとられており、空力性能上あまりクリティカルでないことがあげられる。このため低カロリーガスへの対応が比較的容易でありKG2ガスタービンでは燃焼器を改造することなしに約4000 kcal/Nm<sup>3</sup>程度のガスを燃料とすることができ、又燃焼器に多少の改造を加えることにより約1000 kcal/Nm<sup>3</sup>程度のガスも燃料として使用できるというメリットを持つ。

C) 燃焼器

燃焼器は、逆流単筒缶形を使用しており、ケーシングに対して接線方向に取りつけられ、カバーをVバンドカップリングで固定しているため、燃焼器の点検等のメンテナンスが非常に簡単に行える構造となっている。

D) 減速機部

高速のタービン回転数を被駆動機に適した回転数まで減速するもので、主として発電機と結合されるため出力軸の回転数は標準として1500 rpm、1800 rpmが用意されている。減速機は、2段平行軸形で、減速を行っており、減速比は各々11.9、10である。又、減速機にはタービン補機が取り付けられるようになっており、燃料/潤滑油ポンプ及び起動機が各々取り付けられる。起動機は用途に合わせ、エアモータ、DCモータ、ACモータ、ガソ

リンエンジンが取り付け可能で、これらの起動機は、タイミングベルト、ワンウェイクラッチを介して減速機の補機軸と結合されている。

E) 保守

先に述べたように、KG2ガスタービンは、1段ラジアルタービン、1段ラジアルコンプレッサとシンプルであるため次のように保守が非常に容易でありメンテナンスコストも安くおさえることができる。

- ① 断面図からもわかるように、タービン排気中に軸受がないため、タービン排気口の構造が簡単であり高温となるタービンの点検が排気口から容易に行える。
- ② タービン及びコンプレッサが単段であるためタービンを分解することなしに、空気通路がホアスコープで点検可能である。
- ③ 構造が簡単のため、工場に持ち帰ることなしに現地にてオーバーホールを行うことができる

3-2. 潤滑油系統

潤滑油系統図を図4に示す。起動及び停止時には、エアモータ又はDCモータにより駆動される補助潤滑油ポンプにより、運転中には減速機に直結された主潤滑油ポンプにより、潤滑油がガスタービン、減速機のほか、電気油圧式アクチュエータにも供給される。タービン、減速機への給油温度は潤滑油冷却器及び温度調整弁により一定に保たれている。タービン及び減速機、電気油圧式アクチュエータの入口には、フィルターが設けられており、潤滑油中の異物を

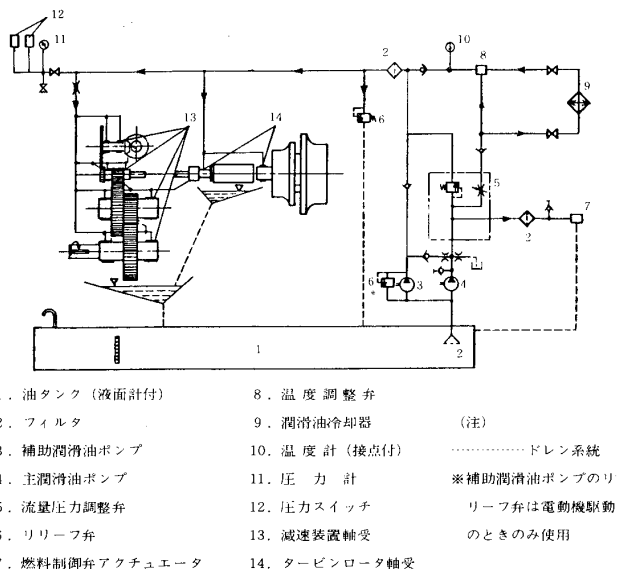


図4. 潤滑油系統図

取り除いている。又、タービンの入口には、圧カスイッチが設けられ、タービンの保護を行っている。

3-3. 燃料系統

図5に標準的な液体燃料系統図を示す。起動時の燃料流量の制御は、燃料制御弁にて圧縮機の吐出圧力により自動的に行われ、空気量に対する燃料流量が最適となるように調整しながら加速する。定格回転における運転時は、ガスタービンの速度を検出し増幅器および電気油圧式アクチュエータにより燃料制御弁の開度を制御している。

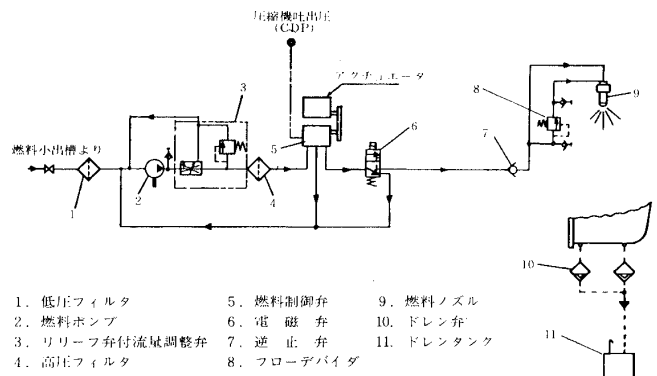


図5. 液体燃料系統図

燃料の噴射系統は、プライマリ、セカンダリーの2系統あり、フローデバイダにより点火時に噴射するプライマリーノズルの圧力を約10kgf/cm<sup>2</sup>高くしている。このため、起動時の霧化性もよく十分な着火性能を得ている。

3-4. 制御システム

本ガスタービンは、定格速度制御システム、起動停止制御システム及び運転監視制御システムを装備し、全自動運転が可能である。以下に各システムについて述べる。

A) 定格速度制御システム

図6に定格運転時の速度制御システムの概念図を示す。ガスタービンのロータの回転数を直接電磁ピックアップで検出し、速度設定ポテンシオメータの設定値と比較し、その制御信号がアクチュエータに送られる。ここで制御信号は油圧により機械的変位に変えられ、レバーの動きにより燃料制御弁の開度を制御してガスタービンに供給する燃料の流量を制御する。このように減速装置を介して負荷と直結した高速軸で速度を検出しているため非常にシビアな速度制御が可能である。

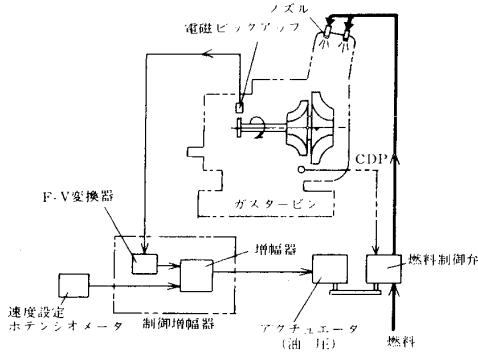


図6. 速度制御系統図

B) 起動停止システム

図7に起動・停止スケジュールの例を示す。起動指令により補助潤滑油ポンプがスタートし、初期油圧確立(0.3kgf/cm<sup>2</sup>G)後 起動モータが始動し、15%速度で点火装置、燃料電磁弁が動作する。定格回転に達したあと、クラッチによりポンプとタービンを結合し、ポンプは定格回転に達する。このように起動指令からポンプ送水開始まで約1分間である。本例はオイルクラッチの例を示したがエアクラッチを使用した場合もほぼ同様となる。

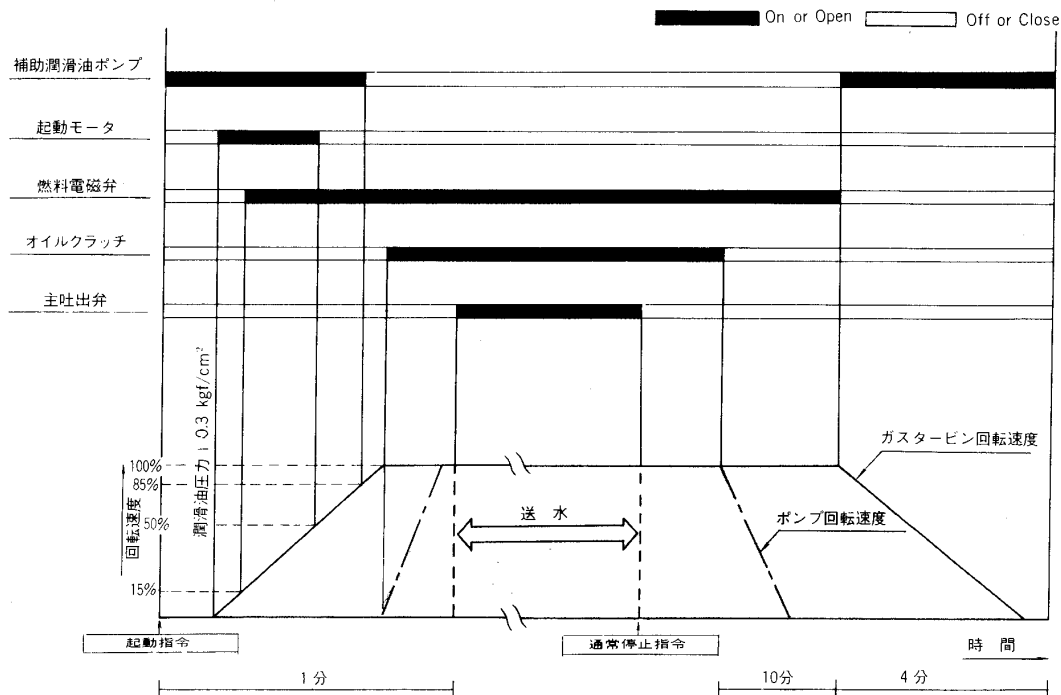


図7. 起動・停止スケジュール

C) 監視警報システム

表2. 保護装置一覧表

保護装置名	設定値	警報ランプ表示	タービン停止
過速度	107%または105%	○	○
着火失敗	200℃	○	○
失火	200℃	○	○
排気温度高	約600～700℃	○	○
潤滑油圧力低	起動時0.3kgf/cm <sup>2</sup> 運転時0.8kgf/cm <sup>2</sup>	○	○
タービン入口油温度高	60℃	○	—
軸受排油温度高	前部軸受 97℃ 後部軸受 87℃	○	○
非常停止		○	○

本ガスタービンには表2に示すような保護装置を設けている。万一故障が発生した場合には、タービンを停止すると共にランプ表示を行えるようにしてあり、無人での自動運転が行えるようになっている(表に示した以外にも、燃料系統、制御電源系統等の異常に対する保護装置も必要により設けることができる)。

4. 設置例

ガスタービン駆動ポンプ設備は、様々な応用が可能であるが、図8は、主にプラットホームでの大型の火災に備えて、大能力の消防用ポンプを搭載して、北海で活躍中の大型消防艇(seaway falcon号)である。本船には図9に示すようなコング

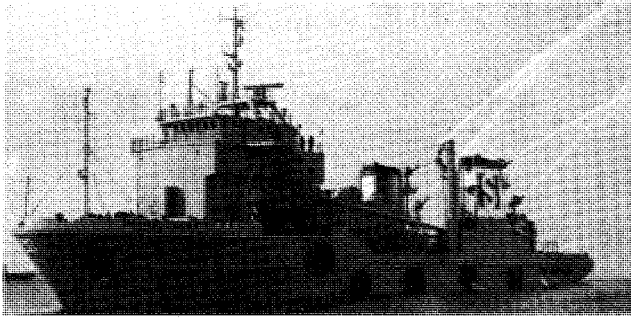


図8. 大型消防艇

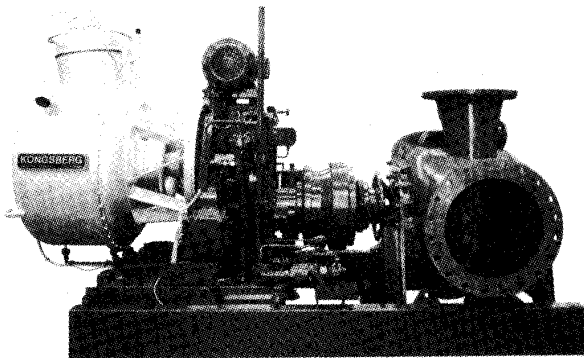


図9. ガスタービンポンプユニット

スベルグ社により製作されたKG2 ガスタービンポンプセット(4000 m<sup>3</sup>/h)×2台が搭載されており、遠隔操作可能な放水銃(2000 m<sup>3</sup>/h)×4本を装備している。

船の主要諸元を表3に示す。

又、定置式ポンプセットの例として、当社より昭和シェル石油(株)碧南LPG基地殿へ納入したガス

表3. 主要諸元

全長	80.65 m
幅	16 m
高さ	7.1 m
総トン数	1800 ton
速力	14.5 ノット
航行用機関出力	4200 HP

タービンポンプセットの様子を図10に示す。ポンプのちがいにより図9と多少外観はちがっている。本設備は、基地の消防散水設備として使用されており、この仕様を表4に示す。

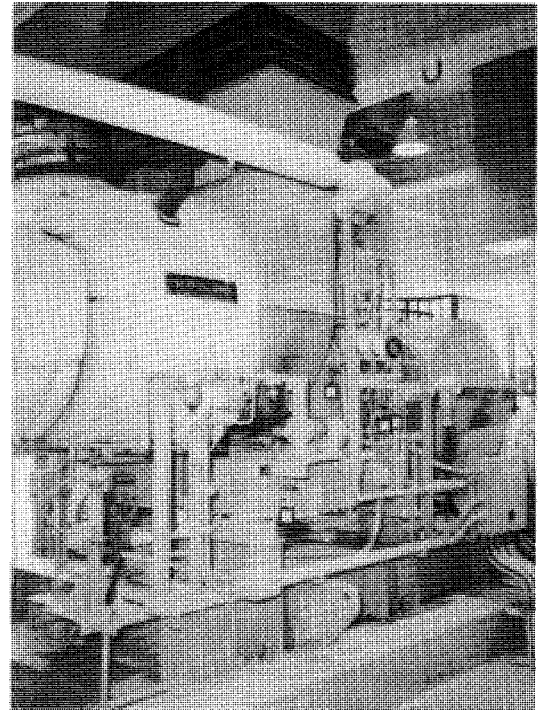


図10. ガスタービンポンプユニット

表 4

ガスタービン	
名称	KG2-3C ガスタービン
出力	1500 PS
燃料	灯油
起動方式	空気起動式
クラッチ	エアクラッチ
ポンプ	
定格揚量	3500 m <sup>3</sup> /h
全揚程	85 m
定格回転数	1500 rpm

### 5. おわりに

以上、KG2 ガスタービンポンプ設備についてその概要を述べたが、本装置はガスタービンの持つ様々な長所を生かしたものであり、今後活躍の場が広がっていくものと期待している。さらに、多用化する市場のニーズに応えるため、機械駆動ガスタービンに限らず、各種応用システムの開発をはかっていくつもりである。

## 機械駆動用非常用ガスタービン利用の状況

昭和シェル石油(株) 永田茂穂

### 1. 緒言

当社の碧南LPG基地はLPガスの受入より出荷まで取扱うエネルギー基地である。基地の性格上保安対策には万全を期しているが、その中心機器の一つである消火散水設備としてガスタービン駆動ポンプを使用しているため、その概要を紹介する。

### 2. 基地概要

碧南LPG基地は敷地約165,000㎡で、昭和55年3月より稼働を開始した。取扱数量は輸入船入港回数が約20船/年で、出荷数量は約45万トン/年となっている。基地配置図を図1に、外観を図2に示す。設備内容の主なものとして下記のものがあ

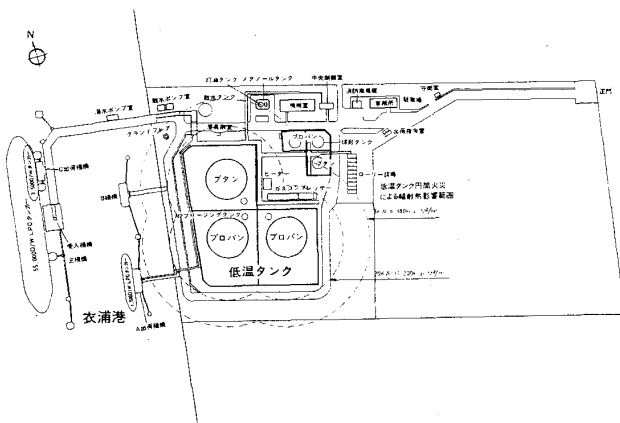


図1. 基地配置図

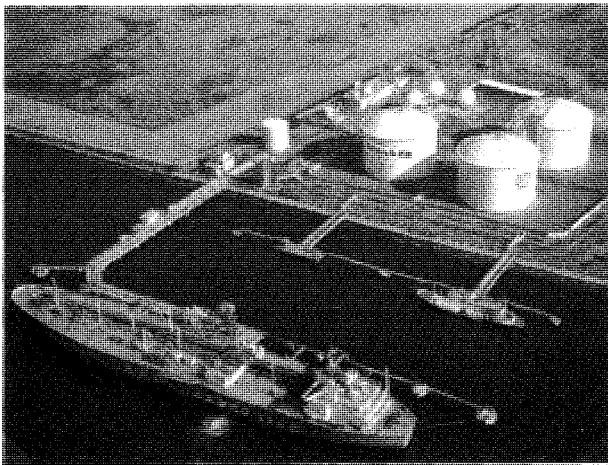


図2. 基地外観

る。

#### (1) 貯蔵設備

##### a) 低温タンク

プロパンガス用 26,000トン×2基

ブタンガス用 26,000トン×1基

当基地の最も重要な設備で大量の低温LPガス(プロパン-42℃, ブタン-2℃)が貯蔵されている。タンクの内槽と外槽の間には高性能の保冷材が充填され、外部の熱によるボイルオフガスの発生を抑制している。

##### b) 常温球形タンク

プロパンガス用 700トン×2基

ブタンガス用 700トン×1基

球形タンクは、低温タンク内の液中ポンプで圧送された低温LPGを、ガスヒーターで加温して貯蔵し、これを出荷ポンプでローリー及びコースタルタンカーに積込む。

#### (2) 受入及び出荷設備

##### a) オーシャンタンカー(低温)受入設備

55,000 DWT 1式

##### b) コースタルタンカー(常温)出荷設備

3,500 DWT及び1,500 DWT各1式

##### c) タンクローリー(常温)出荷設備 10ヶ所

#### (3) N<sub>2</sub>ガス発生設備

#### (4) ガスコンプレッサ設備

#### (5) エアコンプレッサ設備

#### (6) 着臭装置

#### (7) メタノール添加装置

#### (8) 保安設備

##### a) 普通消防車(2トン粉末消火剤) 1台

##### b) 散水設備

イ. 低温タンクスプリンクラー

ロ. 常温タンクスプリンクラー

ハ. ウォーターカーテン; 出荷ポンプ場,

コンプレッサ室, ローリー詰場, 主栈橋

ニ. 放水銃(リモートコントロール方式); 栈橋部

ホ. 消火栓 19基

##### c) 散水ポンプ

イ. 清水ポンプ(ガスタービン駆動)



- 3,500 m<sup>3</sup>/H×1基
- ロ. 海水ポンプ（モーター駆動）  
1,000 m<sup>3</sup>/H×2基
- d) 清水タンク 3,800 m<sup>3</sup>×1基
- e) 消火設備  
2トン粉末消火剤固定設備（棧橋用） 2基
- f) 自動警報及び遮断設備  
感震器，ガス漏洩検知器，温度検知器，緊急遮断弁
- g) グランドフレアー 5トン/時
- h) 非常用発電機（ガスタービン駆動）  
1,200kw×1基
- i) 通信設備 ページング 20箇所
- j) オーシャンタンカー緊急離棧用カップリング  
1式
- k) 着棧用保安装置  
着棧速度計，風向風速計，クイックリリースフック

一方基地中央制御室では常に設備の運転を把握し，また，緊急時には非常用発電設備，防・消火設備等の各種保安設備を遠隔操作できるよう必要な計装機能を集中させている。

### 3. ポンプ駆動用ガスタービンの概要

ガスタービンは軽量，コンパクト，冷却水不要，高い起動信頼性，燃料の多様性といった特徴があるが，当基地ではボイラー設備に使用している灯油が使用できる点でガスタービンを選定し，消火ポンプと非常用発電機の原動機として採用した。

消火ポンプ用ガスタービンの主要目を表1に示す。KG2-3Cガスタービンは圧縮機，タービン共

1. 名称	神戸製鋼-コングスベルグ ガスタービン KG2-3C
2. 形式	単純開放サイクル1軸式
3. 出力	1,500 PS
4. 定格	連続
5. タービン	ラジアル形 1段
6. 圧縮機	ラジアル形 1段
7. 燃焼器	キャン形
8. 回転数	17,845 rpm
9. 空気流量	12.3 kg/s
10. 燃料	灯油
11. 起動方式	空気起動
12. 潤滑方式	強制潤滑式
13. 调速機	電気式
14. 減速機	2段減速, 入力軸17,845rpm 出力軸 1,500rpm
15. 機関重量	2,500 kg

単段で全ラジアル式であり，簡単で頑丈な構造となっている上，船用での実績も多く耐食性の面でも優れている。しかし1軸式であるため，起動トルクの大きいポンプ等の機械駆動用にはクラッチを必要とする。当該ガスタービンでは最もコンパクトなエアークラッチを使用している。図3にガスタービンポンプセットの外観を，図4にエアークラッチの結合状況を示す。

ガスタービンポンプは図5に示すようなポンプ室に附属機器と共に配置されている。運転操作の説明のために，基本的な清水配管系統図を図6に

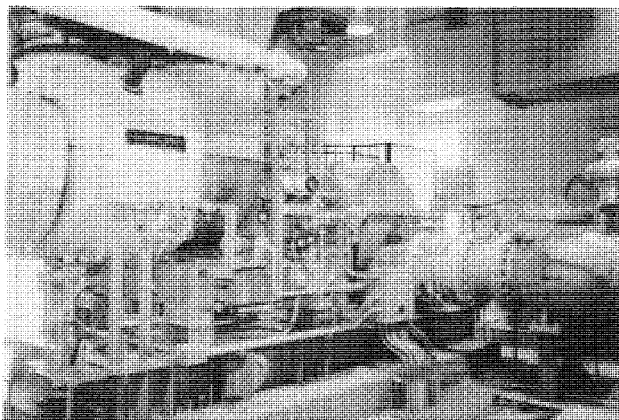


図3. ガスタービン消火ポンプ外観

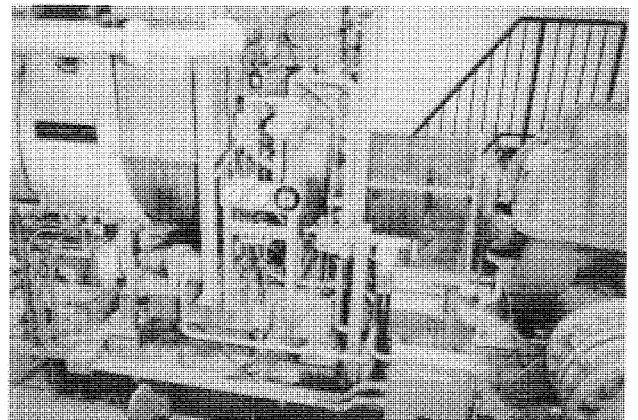


図4. エアークラッチ

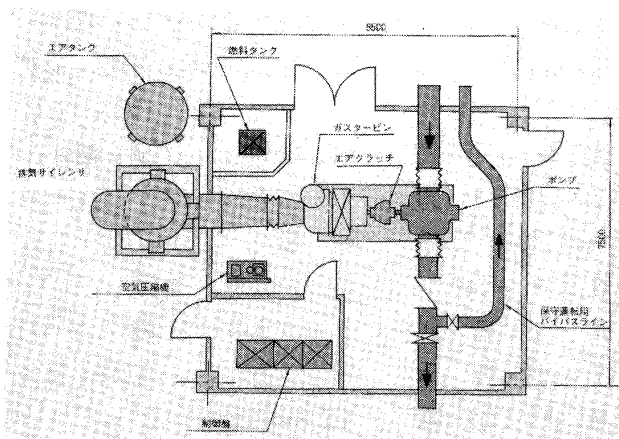


図5. ポンプ室配置図

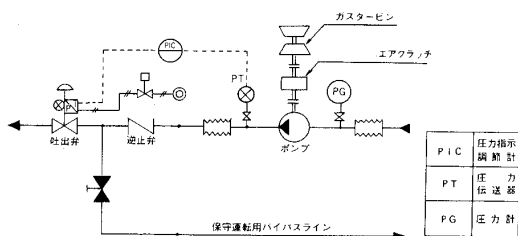


図6. 清水配管系統図

示しているが、通常ガスタービンは起動して定格速度に達する直前で、クラッチがONとなりポンプと自動的に結合される。この時吐出弁とバイパス弁は閉じており、クラッチ結合によりガスタービンには約70%の負荷がかかる。散水時には吐出弁を徐々に開くことにより全負荷となるが、吐出弁開度は吐出圧力によりPICを経て調節される。また、保守運転時にはバイパス弁を開いて、バイパスラインを利用することにより、ガスタービンの無負荷並びに負荷運転を行うことができる。

4. 使用実績

昭和55年3月稼動開始以来現在まで、防災訓練および試運転で使用しており、延運転時間は86時間、起動回数119回となっている。

この間ガスタービンの保守として、年1回の定期メンテナンスにて燃焼筒の開放を主に各部点検を実施している。

消火ポンプの使命上原動機の信頼性は絶対条件であり、この点でのKG2-3Cガスタービンは満足できる機種と言える。

— 完 —



# ファインセラミックス (その2)

(株)東芝 米屋 勝利

## 1. はじめに

前回はファインセラミックスについて、電子セラミックスも含めて概要を紹介し、後半で、構造用セラミックスの種類、製造プロセス技術を簡単に述べた。今回はそれに引続いて、接合技術と材料の特性について解説する。

## 2. 接合技術<sup>(1)</sup>

セラミックスが構造体の中で独立して用いられることは少ない。通常、金属と組合せて機能がえられるため、締結技術の一つとして接合は不可欠である。セラミックス同志を接合する必要もある。セラミックスの接合方法は次のように大別される。<sup>(2)</sup>

①接着剤による接合(有機、無機接着剤)、②機械的接合(焼ばめ、鋳ぐるみ等)、③化学的接合(固相接合、メタライズ等)、セラミックスは一般に金属に比べて熱膨張係数が小さいので接合する上で、温度変化に伴って発生する応力の緩和が重要な課題の一つとなっている。いずれの方法もこの点を十分考慮して適用する必要がある。それぞれが状況に応じて適在適用いられるが、最近の開発が③に傾注しているため、化学的接合を中心に述べ後半で①、②にも若干触れておく。

2-1 化学的接合法 化学的接合法は表-1に示すように、直接的接合法、無機物介在接合

表1 化学的接合法の分類と窒化ケイ素、炭化ケイ素への事例

接合法	内容と特徴	Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> 接合系		SiC 接合系		
		Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> /Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> /金属	SiC/SiC	SiC/金属	
直接的接合	①接合材料を直接接合させる。 ②温度 $0.5T_m < T < T_m$ ( $T_m$ :融点) ③加圧 0.1~15MPa, HIP または超高压加圧 3GPa の場合もある。 ④高融点金属、耐熱合金相手が多い。	• Hot Press 法 • HIP 法	• Hot Press 法 • 固体圧縮法 (Ti, Fe, Co, Ni など)	• Hot Press 法	• Hot Press 法 (Mo, Fe, Nimonic 80A など)	
無機物介在接合	中間物質介在	①接合体両者の構成成分混合物、両者の化合物など中間的特性を持つ層を介在させる。 ②強固な接合が得られる。	• Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> • Si • Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> -Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> • Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> -Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -La <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -MgO • Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> -SiO <sub>2</sub> -MgO-CaO • ZrO <sub>2</sub> , ZrSiO <sub>4</sub> • C • CaF <sub>2</sub> +カオリン • SiO <sub>2</sub> -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -MgO ガラス • CaO-SiO-TiO <sub>2</sub> • Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -ケイ酸塩ガラスなど	• Mo-Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> (Mo)	• SiC-C-Si • SiC-Al-B-C • Organosilane-SiC	
	異種物質介在	①接合体構成成分とは異種の物質を介在させる。 ②酸化物、ふっ化物、窒化物、炭化物またはこれらの混合がある。	• TiN (Fe, SUS) • SiC, SiC-Ni (Fe-Ni)	• ハロゲン化物+カリオン • C	• TiN • SiC-TiN-Fe (Fe, SUS)	
	銅直付け法	①セラミックス表面にガラス相主体の酸化物を形成させCuと結合 ②無加圧接合		• Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> • 2SiO <sub>2</sub> +ガラス (Cu)		
活性金属法	①IV族元素(Ti, Zr)を単独またはCu, Agなど共晶元素を添加した合金をインサート ②Al, GeなどIV族以外の元素をインサート ③非晶質、水素化合物の場合もある。	• Ti-Cu • Ti-Ni <非晶質含む> • Zr • Hf • Nb • Al • Al/Ti, Zr, Ni/Al • Fe-Ni-Cr	• Ti • Ti-Cu • Ti-Ni • Ti-Cu-Ag (S45C, SUS) • Ti-Al-V (Nimonic 80 A) • Al (Fe-Ni, Steel) • Al-Si/Al/Al-Si (WC-Co, SCM435) • Fe-Ni-Cr (WC-Co)	• Ti • Ti-Cu <非晶質含む> • Ti-Ni • Zr • Ni • Al • Al/Ti/Al • Ge • Gu-Mn	• Ti (SUS) • Ti-Cu (Cu) • Ti-Cu-Ag (SUS, 鋳鉄) • Cu, KOV, Ti-Al-V (Nimonic 80 A) • Cu-Mn (Cu, Al) • Al (KOV) • Al-Si/Al/Al-Si (SCM435, KOV) • Al-Si-Cu (Fe-Ni-Cr)	
メタライズ法	①セラミックス表面に導電層を形成し、ろう材を作用させる2段階プロセス ②塗布焼成還元、蒸気拡散など		• Cu <sub>2</sub> S-カオリン (Cu) • Mn <sup>E</sup> , Cr <sup>E</sup> , Al <sup>E</sup> (SUS) • Ti-N <sup>+</sup> イオン (鋳鉄) • Ni-20Cr (Mo) • Mo酸塩+TiO <sub>2</sub> (S45C)		• Cu <sub>2</sub> S+カオリン (Cu) • Mn <sup>E</sup> , Cr <sup>E</sup> (SUS) • Cu-Mn • Mo	

(注) ( ) 内は接合相手金属

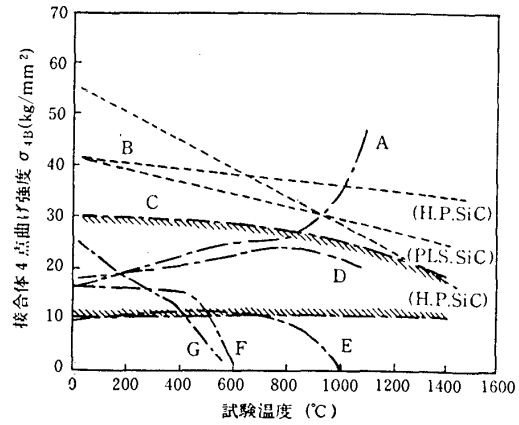
(昭和61年5月19日原稿受付)

法、活性金属法、メタライズ法の4つに大別される。

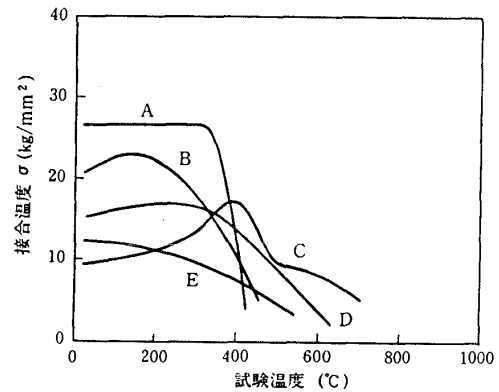
- ① 直接的接合：従来固相接合、拡散接合といわれたもので同材質の場合は余り問題が生じないが、異物質では膨張差の影響が大きい。高温、高圧を必要とするが、高い強度がえられる事例が多い。
- ② 無機物介在：接合体構成部分を介在させるもの、異種の物質を介在させるもの、銅直付け法がある。銅直付け法は中間物質を介在する方法に類似するが、酸化物とCuが強固に接合する特殊の方法であり、半導体基板などには広く応用されている。
- ③ 活性金属法：周期率表4族のチタン(Ti)、ジルコニウム(Zr)などの元素は非酸化物セラミックスによくぬれるので、銅(Cu)、銀(Ag)などを添加して融点を下げて使用される。アルミニウム(Al)やゲルマニウム(Ge)も同様である。ただし中間緩衝層を用いないとはく離する場合もある。酸化物でもよく適用されている方法である。
- ④ メタライズ法：セラミックスの表面に導電性の層を形成し、ロウ付する方法である。非酸化物セラミックスの場合は、酸化物セラミックスより反応性に富む方法がとられている。

接合法の報告事例はセラミックスとしての期待度に応じており、とりわけ窒化ケイ素( $\text{Si}_3\text{N}_4$ )、炭化ケイ素( $\text{SiC}$ )が多い。表1には主な接合例もまとめて示した。また図1は窒化ケイ素/窒化ケイ素、窒化ケイ素/金属、炭化ケイ素/炭化ケイ素の各接合系の種類と強度に関する報告例を挙げたものである。<sup>(1)</sup> 金属との接合に比べて、同材質の接合の方が高い強度がえられている例が多い。窒化ケイ素系については高温では素材自体の高温強度低下が直接影響することも認められる。セラミックスと金属との接合系を高温で使用する場合も多いので図1からみる限り、さらに耐熱性の高い接着剤の開発も必要であろう。また上記は瞬時破壊強度を示したに過ぎない。実用上はその他に熱衝撃、クリープ、サイクル疲労などの諸特性も必要であるが、公表例は極めて少ないのが現状である。接合界面の状態を把握することも重要であり、<sup>(3)</sup> 今後これらの研究も活発化するものと思わ

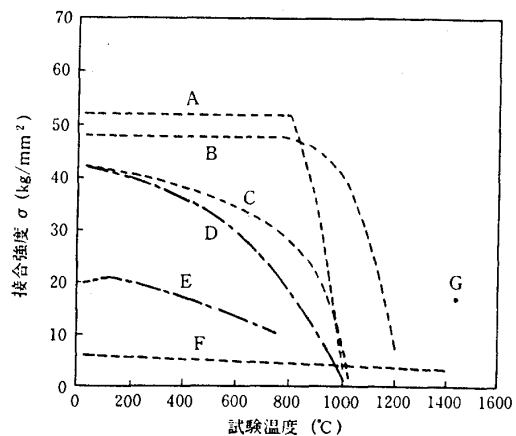
れる。



(3) SiC/SiC



(2)  $\text{Si}_3\text{N}_4$ /金属



(1)  $\text{Si}_3\text{N}_4$ / $\text{Si}_3\text{N}_4$

図1 接合体の高温強さ<sup>(1)</sup>

接合体界面に発生する残留応力問題は、有限要素法による応力解析で研究されている。中間緩和層の最適設計の開発が重要なブレイクスルーの鍵とされている。表2に代表的な緩和層をまとめて示す。(1)

表2 非酸化物セラミックス接合に用いられた残留応力緩和

	中間の熱膨張係数材料による緩和	塑性変形による緩和(延性, 超塑性)
金属材料	<ul style="list-style-type: none"> <li>WC-Co</li> <li>Super Invar</li> <li>Invar</li> <li>KOVAR</li> <li>Ti合金 (Ti-Mo, Ti-W等)</li> <li>Nb/Mo など</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cu</li> <li>Al</li> <li>Ni</li> <li>Ti</li> <li>Ag-Cu などのソフトメタル</li> </ul>
複合材料	<ul style="list-style-type: none"> <li>サーメット</li> <li>Cu-C</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>サーメット (Cu-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>等)</li> </ul>

2-2 他の接合法

1) 接着剤による接合法

有機接着剤は高温域への適用は難しいが延性に富み経済的に有利であるという特長を生かし、広く適用される。

無機接着剤は脆いものが多かったが最近ハロゲン化合物添加の製品も現れその拡大が期待されている。

2) 機械的接合法

①焼きばめ・冷しばめ：熱膨張差の大きい組み合わせでは比較的容易であり、非酸化物の窒化ケイ素や炭化ケイ素にもよく適用される。しかし残留応力の発生に対する注意が必要である。

②鑄ぐるみ：セラミックスの周囲に金属を鑄込んで一体化する方法である。界面でのセラミックスと金属の反応が重要である。チタン酸アルミニウム製のエグゾレストポートをアルミニウム合金で鑄ぐるんだ例など部品化への適用が進められている。

③かん合法：上述の方法とは反対にセラミックスと金属間に応力緩和層を置いてクッション効果

をねらうか、両者を単に接触する程度にとどめるものである。ガスタービン用にも新しい設計法の要素として積極的なノウハウの蓄積がなされている。(4)

3) シュービング接合

局部加熱とプレスとを複合化させたプロセスによるものである。窒化ケイ素とアルミニウムとの接合例があり、形状においては広く利用できそうである。

4) 摩擦圧接

高速回転により、つきあわせて接合する方法である。アルミニウム合金で引張強さ18 kg/㎠の報告例もある。

以上接合法について少し詳しく述べてきたが、今後重視すべきプロセス技術である。どの方法にも長所短所があり、各々を組合わせた複合化接合法も研究されている。

3. 評価技術の動向

評価技術は、①工程検査、②材料特性データ、③部品評価試験、④非破壊検査の4つに大別される。これらは前回に述べた破壊の本質に基づいて図2のような形で体系づけられる。材料データとし

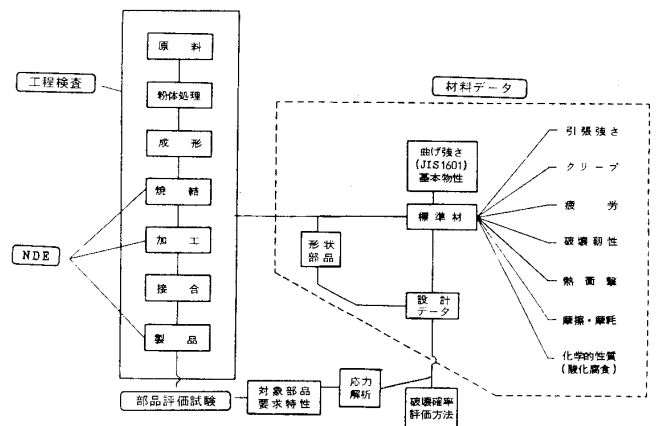


図2 評価技術体系図

て設計に耐えうるだけの精度の高い評価技術の確立にはまだかなりの年月を要するであろう。現在、常温の曲げ強さと弾性率の試験法はJISされた。(5)(6) その後、高温の曲げ強さ、常温引張強さ、常温破壊靱性、などの試験法が検討されており、今後共少しづつではあるが体系化されてゆくとと思われる。尚材料データについて注意すべき点は、

このデータがどのレベルのものかである。材料の物性とくに強度データは組織に依存する。組織はプロセスに依存するため素材と部品では必ずしも一致しないのが通例で素材より部品の方が強度が低くなり易い。この点を十分注意する必要がある。大まかにセラミックスと金属の特性を比較すると表3のようである。以下、材料特性についてそれぞれ試験法にも触れつつ概述する。

表3 金属とセラミックスの一般的な違い

項 目	セラミックス	金 属
比 重	小	大
ヤング率	大	小
熱膨張係数	小	大
硬 さ	大	小
強 さ { 常温	中	大
{ 高温	中	小
伸 び	極 小	大
衝 撃 強 度	小	大
破 壊 靱 性	小	大
耐 熱 性	大	小~中
耐 食 性	大	中
耐 摩 性	大	小~中
加 工 性	難	易

4. 機械的・熱的性質

4-1 常温曲げ強さ 金属材料での標準的

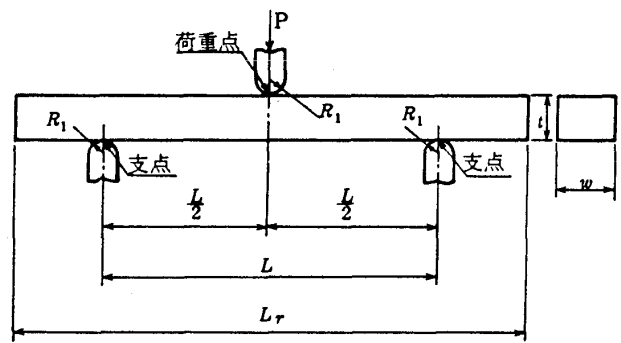
な強度試験は引張試験であるが、セラミックスでは引張試験がむずかしいため、測定精度、再現性、簡便さなどから曲げ試験が使われている。曲げ試験法としては3点曲げと4点曲げがあり、その測定法はJIS 1601「ファインセラミックスの曲げ強さ試験法」として制定されている。その概要は図3の通りである。欧米の場合も類似形状の試片が使われるが若干スパンが広くとられているようである。ここで静的加重下での曲げ強さは次式で表わされる。

$$\sigma_{3p} = \frac{3 PL}{2 wt^2} \dots\dots\dots ①$$

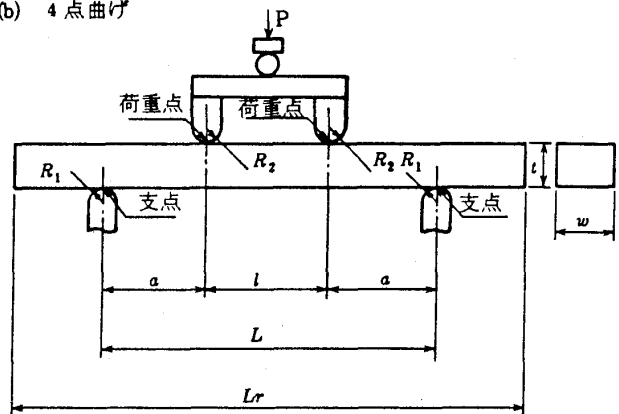
$$\sigma_{4p} = \frac{3 P (L-t)}{2 wt^2} \dots\dots\dots ②$$

いずれにおいても破壊は内部あるいは表面に存在する欠陥に由来するものでこれは先に述べたよ

(a) 3点曲げ



(b) 4点曲げ



$R_1 : 2.0 \sim 3.0 \text{ mm}$      $L : 30 \pm 0.5$     全長  $L_r : 36 \text{ mm}$ 以上  
 $R_2 : 0.5 \sim 3.0 \text{ mm}$      $l : 10 \pm 0.5$     幅  $w : 4.0 \pm 0.1 \text{ mm}$   
 $a : 10 \pm 0.5$     厚さ  $t : 3.0 \pm 0.1 \text{ mm}$

図3 JIS (R 1601) における曲げ試験法と試験片寸法<sup>(5)</sup>

うに原料、成形、焼結・加工といった各プロセスによって大きく左右される。このような破壊強度に直接影響する欠陥の分布は通常確率的に整理される。表面欠陥が破壊の要因となる場合は強度は表面積に依存し内部欠陥が破壊の起点となる場合は、体積の関数になるのが通例であり、いわゆる寸法効果を示す。そのため材料強度はばらつきを前提として次のように考えることができる。

$$\sigma_f = f_1 (\text{形・大きさに対するプロセス上の変動効果}) \times f_2 (\text{組織形態 (含欠陥) のばらつきによる寸法効果}) \dots\dots ③$$

このことは、小片のテストピースでのデータで実部品の許容値と判断し勝ちであることへの留意点を示すものである。これは本項の曲げ強さのみでなく広く一般に適用される話である。

セラミックスの破壊は最弱リング理論に基づく次式のワイブル分布に従うと考えられている。(7)

$$F(\sigma) = 1 - \exp\left\{-\int_v \left(\frac{\sigma - \sigma_u}{\sigma_0}\right)^m dv\right\} \dots \text{④}$$

ここで、 $F(\sigma)$ :破壊確率、 $m$ :ワイブル係数、 $\sigma_u$ :破壊しない応力限界値、 $\sigma_0$ :定数、通常 $\sigma_u$

:0 として扱われている。強度はその平均値とワイブル係数で表示され、これから許容応力、寸法効果などの算定が可能である。この種のデータは最近非常に多くの報告例がある。いちいち紹介することは省略し、窒化ケイ素の1例を図4に示すにとどめる。ここに示す常圧焼結の事例は同系

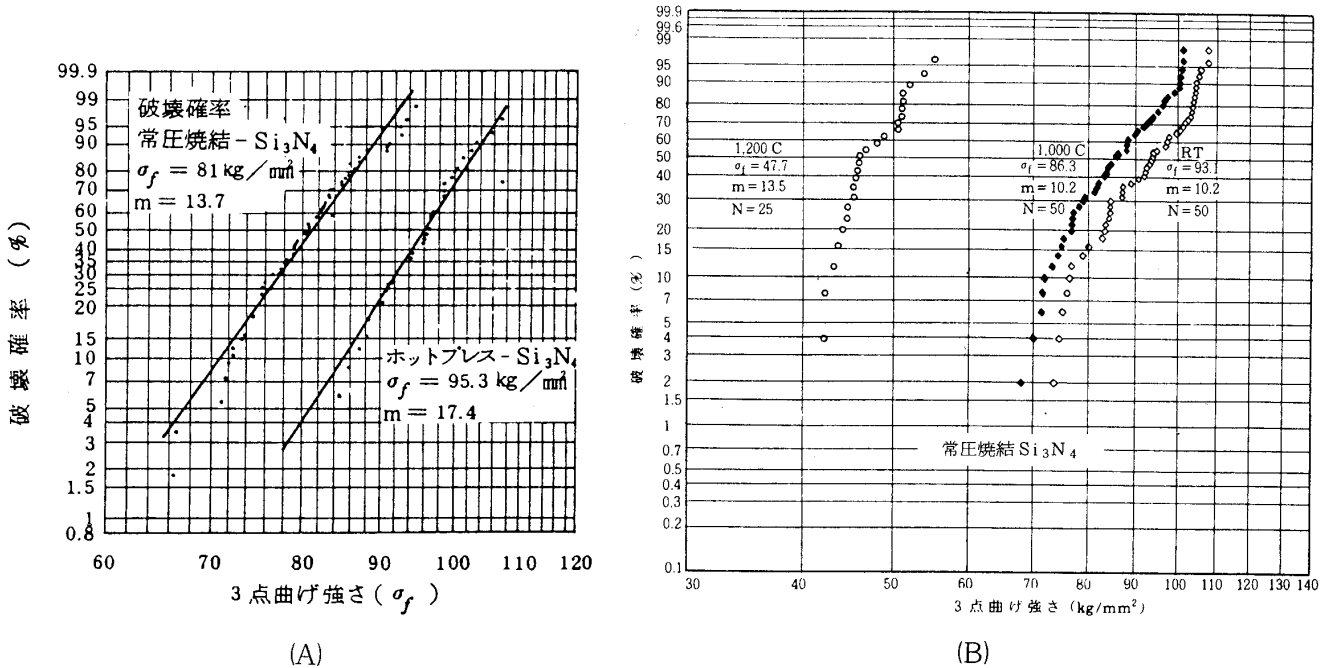


図4 3点曲げ強さのワイブルプロットの例

の材料であるが、開発初期の(A)のデータに比べて、(B)の方が材料の組織制御技術が進歩している。その結果として④式の  $\sigma_u = 0$  とした2母数では直線性がえられず、最小強度値を有限とすることが必要であることが示唆される。

強度値自体は前回に示した代表的なセラミックスでは、部分安定化ジルコニア>緻密化した窒化ケイ素>緻密化した炭化ケイ素、或いは、Si-SiC>反応焼結窒化ケイ素、両結晶炭化ケイ素、アルミナ、最近では複合材料の開発あるいは $Al_2O_3-ZrO_2$ 系などで強度改善が見られるが、現段階では読めないのを省いた。

尚図5に寸法効果の測定例を示しておく。(8)これにはあとでのべる引張強さからのデータも含めた。

4-2 加工と強度 セラミックスの破壊強度は表面及び内部に存在する欠陥に依存することは再三述べた通りであり、その臨界欠陥サイズは金属に比べて2オーダーも小さい数10umといわれ

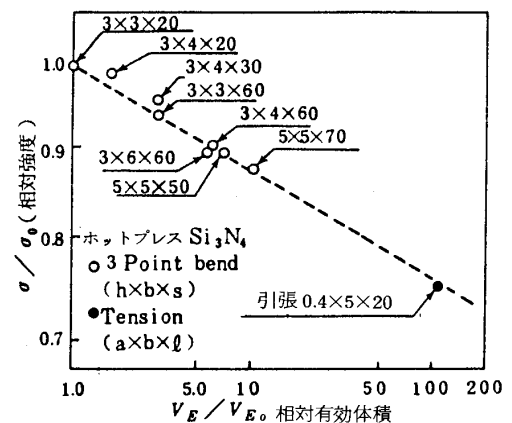


図5 曲げおよび引張強度の寸法効果(8)

ている。セラミック製品の製造に当たって最終的に仕上げ加工が避け難い以上その加工による損傷の度合いが強度に影響を及ぼす。図6はセラミックスの強度と加工後の表面粗さの関係の一例を示した

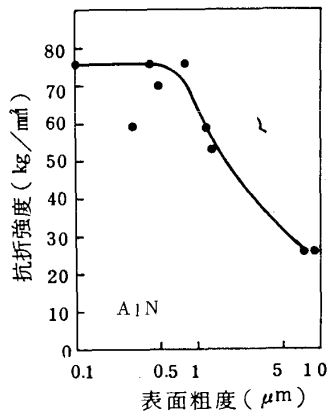


図6 表面粗度に対する強度変化<sup>(9)</sup>

ものであるが<sup>(9)</sup>、この様にある表面粗さ以上になると強度が低下することがわかる。この変化は  $\sigma_f \propto C^{-\frac{1}{2}}$  に由来することは定性的には理解できよう。しかし表面粗さが直接欠陥サイズや残留歪を表わすものではない。センサーの感度には限界があるため、強度に対応する欠陥サイズを表わすことはできない。いずれにしても表面の加工傷の大小が直接強度に影響することは確かである。そのため砥石の砥粒の大小、加工履歴、加工方法などが重要な条件である。図7<sup>(10)</sup>、図8<sup>(11)</sup>はそれぞれ窒化ケ

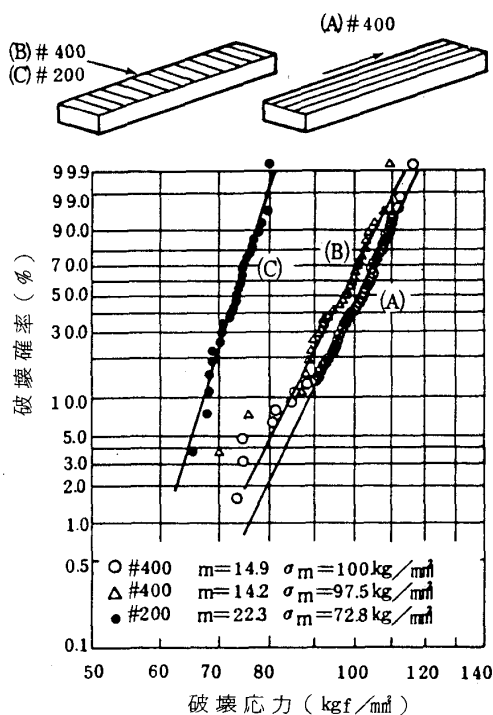


図7 ホットプレス窒化ケイ素の研削方向と強度<sup>(10)</sup>

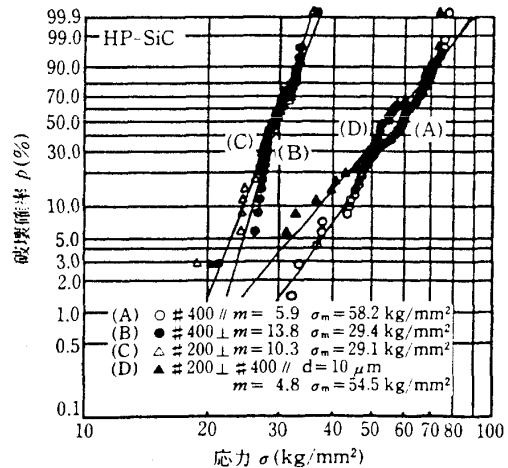


図8 炭化ケイ素における使用砥石の粒度と研削方向が強度とそのばらつきに及ぼす影響<sup>(10)</sup>

イ素と炭化ケイ素材料について砥粒サイズ、加工方向と強度の関係をワイブルプロットしたものである。同一材料でも加工の条件によって強度値は変化する。この例の窒化ケイ素の場合、加工傷が原因で破壊が起る割合は(A)の8%に対し、(B)で44%、(C)で89%となり、平均強度は(C)で(A)の73%に比べ低下している<sup>(10)</sup>。ワイブル係数も変化し、加工傷が原因となっている(C)でかなり高い値となっている。加工傷による強度の低下は炭化ケイ素の場合は窒化ケイ素よりも顕著に現われている。このように加工条件に対する影響は材質によって異なる。通常は破壊靱性が大きく、臨界欠陥サイズが大きい程加工条件に鈍感である。高温、強さについてはあとで述べる塑性変形域が大きい程鈍化され表面加工傷の影響は小さい。表面粗さを極力小さくして、鏡面仕上げしたもので逆に残留応力の発生により強度が低下することがあるので注意する必要がある(図9)<sup>(10)</sup>。

以上述べたように加工プロセスは材料特性に重要な影響を与えるため、この点を十分考慮した部品設計と加工条件の選定が必要である。前項のテストピースに対して他の試験片や形状部品では応々にして異なった加工条件を使わざるをえないことが多いので留意すべきである。レーザ加工や複合加工においても常に材料がうける“damage”に対する強度への影響を把握する必要がある。

4-3 引張強さ 最も基本となる数値であ



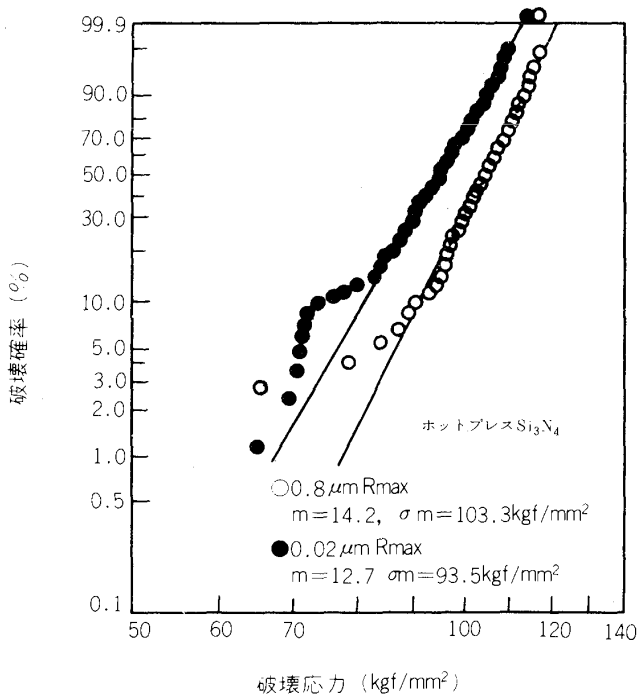


図9 加工法の差異による表面粗さと曲げ強度との関係<sup>(10)</sup>

るが、軸合せのむずかしさや加工コストが高いなどから曲げ強さ程行なわれていない。試験片の形状としては円柱状とたんざく状がある。曲げやねじりの成分を極力排除するために治具構造と試験片の装着に種々の工夫がなされている。例えば松本らの比較的簡便な方法<sup>(11)</sup> 薄板試片を平型のチャックでゴム板を介して保持する方法<sup>(12)</sup> やアルミニウム管を使用して応力を一軸にあわせたり、<sup>(13)</sup> 光弾性での位置決め、歪ゲージによる軸合せを行なうなど様々である。しかし完全に一軸一様の応力場にすることはむずかしい。そのため他の方法として、円筒試験への圧力加重による内圧破壊試験などがある。

図10<sup>(14)</sup>に窒化ケイ素の引張強さのワイブルプロットの例を図11に引張強さと曲げ強さ及び圧縮強さの関係を示す<sup>(15)</sup>曲げ強さとの比はワイブル係数に依存するが、同材質でも加工履歴の影響にも由来してワイブル係数自体一致しないことも多い。まだ試験法自体が開発の途上にある。

**4-4 圧縮強さ** 金属のような延性材料では引張強さと圧縮強さの間に大きな差はないが、セラミックスのような脆性材料では大きな差が生じる。これは当然両者の破壊のモードの違いによるものである。セラミックスの場合引張応力下で

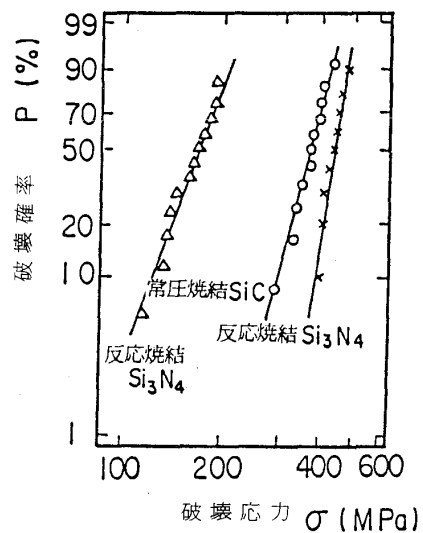


図10 セラミックスの引張強度<sup>(14)</sup>

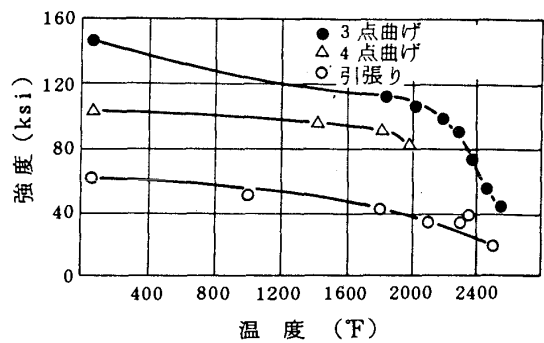


図11 ホットプレス窒化ケイ素 (NC 132) の曲げおよび引張強さ比較<sup>(15)</sup>

はき裂先端への応力集中度が大きい欠陥の存在に極めて敏感であるが、圧縮応力下では応力方向が逆になるため耐性は大きい。ラフに見て脆性域での圧縮応力/引張応力の比は約10といわれている。図12は、窒化ケイ素の圧縮強度の1例である<sup>(14)</sup>設計上圧縮応力下を利用することのメリットがここにある。高温で塑性変形が起るようになるとまた違った挙動を示すようになる。

**4-5 弾性定数** 測定法としては静的な方法と動的な方法とがある。前者は応力-歪曲線から弾性定数を求める方法であり、後者には共振周波数から求める共振法と超音波の伝播速度から求める超音波法がある。セラミックスでは高温の物性値が要求されるので、高温測定まで延長できることも重要である。

常温弾性定数についてはファインセラミックス

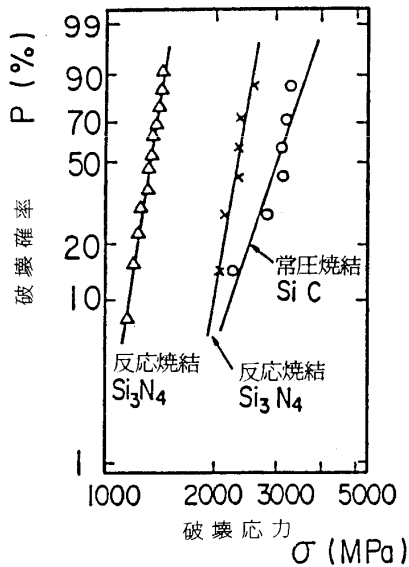
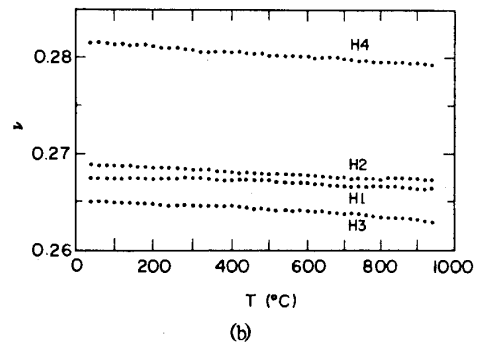
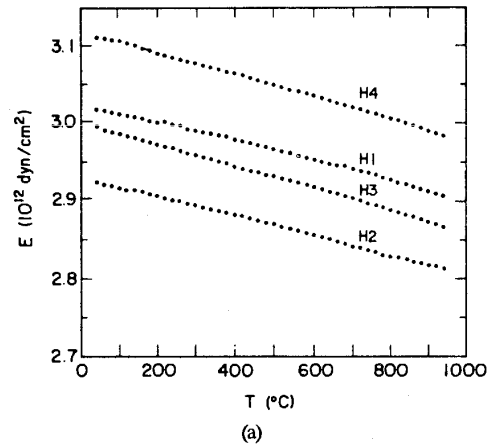


図12 セラミックスの圧縮強度例<sup>(14)</sup>

で第2番目の JIS (1602) として制定されている。構造用セラミックスで値を比較すると、炭化ケイ素>アルミナ>窒化ケイ素>ジルコニア、の順である。密度値の異なる窒化ケイ素の弾性率とポアソン比の位相比較法による測定例を図13に示しておく<sup>(16)</sup>。ジルコニアが  $2 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$  であることも特筆すべき特徴の一つである。

**4-6 硬さ** 硬質性もセラミックスの特徴の一つである。硬さは弾性率との相関関係からわかるように変形に対する抵抗性とみることが出来る。硬さは測定する方法によって、(1)ロックウェル、(2)ビッカース、(3)ヌープ、などで表わされる。(1)は比較的簡単で迅速な方法である。(2)、(3)は一般に測定荷重を 50 ~ 1000 g の範囲で行なうが、測定値に荷重依存性があり、測定荷重は比較的大きい方が良いとされている。表4はセラミックス



サンプル	添加物 (wt. %)	密度 (g/cm <sup>3</sup> )
H-1	0.5% MgO	3.104
H-2	5% MgO	3.130
H-3	2% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +5% Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.216
H-4	2% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +5% Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.252

図13 窒化ケイ素の弾性定数<sup>(16)</sup> (位相比較法による) (a)ヤング率, (b)ポアソン比

の代表的値である<sup>(17)</sup>。硬さは高温になる程低下するが、その度合は材料を構成する物質の化学結合の状態に直接関係する。多結晶体の場合、例えば窒化ケイ素などでは粒界に存在する粒子間層の性状

表4 セラミックスの硬さの測定例<sup>(17)</sup>

材料 硬さ	S-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	RB-Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	S-Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	HP-Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	RB-SiC	HP-SiC
HRA	92	86	91	92	92	96
HR45N	87	74	85			92
Hv (0.5)		1040	1460	1690	2300	2960
Hv (1)		930	1390	1650	1980	2610
Hk (0.5)		970	1360	1610	1930	2020
Hk (1)		890	1210	1460	1630	1880

HRA : Aスケールロックウェル硬さ  
HR45N : ロックウェルスーパーフィッショナル硬さ

Hv : ビッカース硬さ  
Hk : ヌープ硬さ

に直接左右される。

4-7 破壊靱性<sup>(18)</sup> セラミックスの瞬時破壊においては破壊強度が材料表面の状況に左右されるのに対して破壊靱性は、より本質的な物性値として考えることができる。しかしその測定法は非常に多く、方法によって同一材料でも違った値がえられるなど測定法自体が研究の段階にある。

測定法のおもなものを挙げると

- ① Single Edge Notched Beam法
- ② Double Torsion法
- ③ Double Cantilever Beam法
- ④ Chevron Notched Beam法
- ⑤ Controlled Flaw法
- ⑥ Microvickers Indentation法
- ⑦ Indentation Fracture法

などがあり、⑦についてはさらに多くの計算式が提案されている。

こうした状況から現在では絶対値の精度については十分ではないため、相対的な値としてみざるをえない。高温域での測定では窒化ケイ素-添加物系など材料によってSlow crack growthの影響による加重速度依存性が見られるため、基本データとしては問題になる。

セラミックスの破壊靱性値の向上は構造材料としての最大の願望であり、前回の解説の図3にも示したように研究の一つの方向も高靱性化指向である。最近では常温近傍での高い靱性をもつジルコニア系材料に加えて繊維強化複合セラミックス材料(FRC)の開発への注力度が高い。現状レベルで構造材料主体にセラミックスの破壊靱性値を比較すると、前回の表6からもわかるように一般に部分安定化ジルコニア $\sim$ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-ZrO<sub>2</sub> > 窒化ケイ素 > アルミナ, コージェライト > チタン酸アルミニウム, の順になる。高靱性化についてはその他種々の材料が開発中であり、繊維強化材料はジルコニアの上に位置するものと期待されている。

4-8 高温強さ 高温強さとしては曲げ強さの測定が一般に行なわれている。これは試験片の加熱装置を試験機に装着するだけでよいので、本質的には常温の場合と大した違いはない。しかし高温下では、試料の雰囲気との反応、試料の支持具の選定、試料と治具材との反応、高温での塑性変形など留意すべき問題も多い。治具材料とし

ては大気中ではアルミナ, 窒化ケイ素, 炭化ケイ素などが使われる。真空や不活性下では上記材料の他にタングステン, 黒鉛などを使うこともある。一般に強度と温度の関係は図14に見られるように常温から高温に向けて、破壊機構が(I)(II)(III)と変

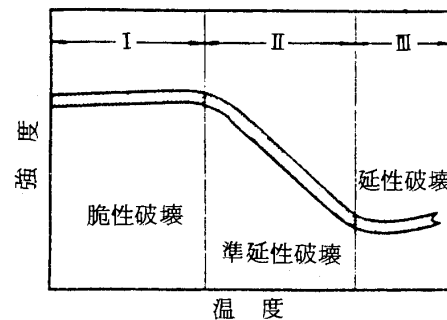


図14 セラミックスにおける強度-温度曲線の模式図<sup>(19)</sup>

化する<sup>(19)</sup>(I)は脆性破壊領域、(II)は準延性破壊を示す領域である。すでに前回示した図2も典型的な強度-温度曲線である。一般に炭化ケイ素, 窒化ケイ素は本質的にすぐれた高温強さを示すはずだが、焼結体の場合、窒化ケイ素では粒界相が高温で軟化するため炭化ケイ素に比べて強度は低い。粒界相の耐熱度が高温強さに直接関係することから結晶化処理などによって高温強さが向上することが確認されている<sup>(20)</sup>しかし高温での低下はまぬがれないようである。1000℃と1200℃以上で強度を比較すると一般に次のように認識される。

1000℃: 窒化ケイ素 > 炭化ケイ素 > ジルコニア $\sim$ アルミナ > 1200℃: 炭化ケイ素 > 窒化ケイ素 > ジルコニア $\sim$ アルミナ

高温で塑性変形を起こす材料では例えば図15の

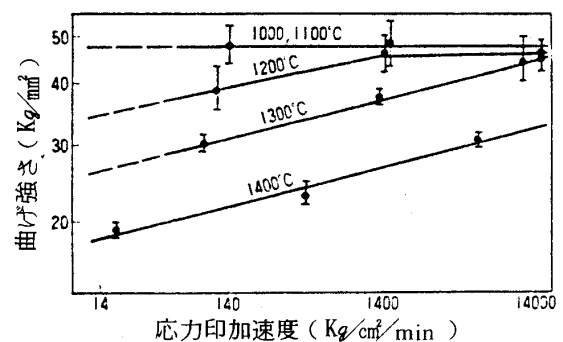


図15 応力印加速度に対する高温強度の変化(窒化ケイ素)<sup>(21)</sup>

ように加重速度によって強度が変化する<sup>(21)</sup>。脆性から準延性への移行も加重速度によって変化するの  
で、塑性変形が生ずる領域で絶対値を明確にす  
ることはむずかしい。

図4から常圧焼結窒化ケイ素の高温強さのワイ  
ブルプロットの例をみることができる。他にも多  
くの報告がなされているが、これらを総括すると  
粒界相が軟化し塑性変形を生ずる程、ワイブル係  
数は大きくなることがわかる。引張試験につい  
ても測定が行なわれているがまだデータは少ない。  
とくに治具の構造や材質の選択に工夫が必要であ  
り、前述の窒化ホウ素粉を使用することもノウハ  
ウの一つとなっている。

4-9 耐クリープ性 高温下で材料に一定  
の応力を与えると時間の経過に伴って変形する。  
この過程をクリープと呼んでいる。この場合も曲  
げクリープ、圧縮クリープなど応力印加の仕方  
によって分けられる。図16に典型的なクリープ曲線

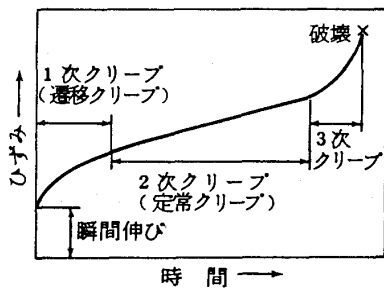


図16 典型的なクリープ曲線

を示す。時間に対する変形過程は、①瞬間伸び、  
②定常クリープに入る前の遷移クリープ、③定常  
クリープ、④変形速度が急増し破断に到る3次ク  
リープ、に分けることができる。クリープ試験は  
定常クリープ速度とクリープ破断強度に関するも  
のが多い。前者はクリープ機構の追跡に使われる。  
セラミックスは破壊までの変形量が小さいので  
(ジルコニアの様な例外もある)クリープ破断強  
度の把握がとくに重要である。

クリープ試験法としては、実験の容易さと試験  
片コストから、曲げクリープ、あるいは圧縮ク  
リープが多かった。しかし非弾性変形であるク  
リープにおいては、曲げのように応力勾配がある場合、  
データの解析と位置付けに難があり、設計用とし

て採用できるかどうか疑問である。そのため近年  
では、一軸の引張法で行なう例が多くなってきた。  
しかし試験法自体まだ開発途上にある。試験片形状  
は円柱あるいはたんざく形で、寸法は一定しない。  
定常クリープのデータの例を図17に示しておく<sup>(22)</sup>  
高温クリープ強度は一般に、炭化ケイ素>窒化ケ  
イ素、である。非酸化物セラミックスは空気中  
では酸化するため同系でも組成によって異なり、  
環境に応じてクリープ特性も変化する。

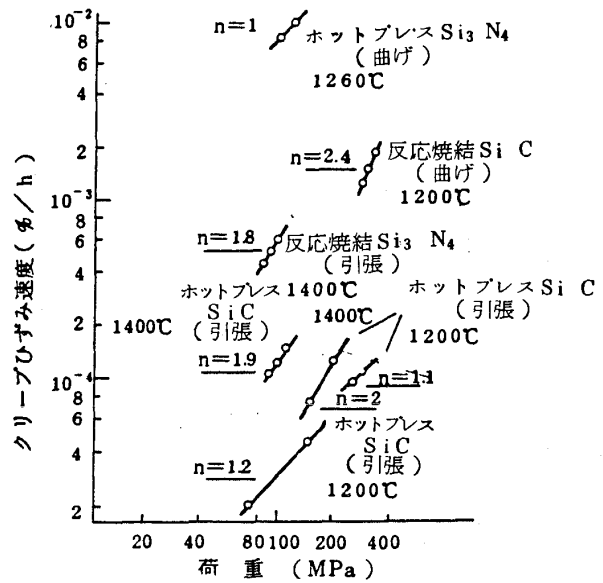


図17 各種セラミックスのクリープひずみ速  
度に及ぼす引張りおよび曲げ荷重の影響<sup>(22)</sup>

4-10 耐熱衝撃性 セラミックスのような  
脆性材料は、外部からの機械応力あるいは熱応力  
によって材料内に存在するフラックの先端に応力  
集中を受け、応力値が材料の最弱結合強度を越  
えると破壊が起る。熱応力に由来する熱衝撃抵  
抗性は材料の形状や熱衝撃の与え方によって、  
材料に発生する熱応力のパターンも、その時間  
変化も異なることを考えると複雑であり、それ  
ぞれが部品、環境毎に解析さるべきものである。  
しかし相対的には熱膨張係数、熱伝導率、比熱、  
強度、弾性率、ポアソン比などの基本物性によ  
って決まる。中でも熱特性としての熱膨張、熱  
伝導の影響は大きい。

熱衝撃抵抗に関しては、クラックの発生に対  
する抵抗性を示す熱衝撃破壊抵抗とクラックが  
発達し損傷してゆく割合を示す熱衝撃損傷抵抗  
に分け

ることができる。

構造材料としてセラミックスを使用する場合は前者がまず問題になる。熱衝撃抵抗の材料間の比較には通常熱衝撃破壊抵抗が用いられる。これは熱衝撃条件の与え方によって異なるため各種の係数が求められる。急激な温度変化に対する破壊抵抗係数(R)は  $R = \sigma_s (1 - \nu) / \alpha E$  で表わされる<sup>(23)</sup>ここで、

$\sigma_s$  : 破壊強度,  $E$  : ヤング率,  $\nu$  : ポアソン比,  $\alpha$  : 熱膨張係数

これをセラミックスの物性をもとに比較すると

$$R_{Si_3N_4} > R_{SiC} > R_{Al_2O_3}$$

となる。加熱試片を水中投入して強度低下が生じる臨界温度差 ( $\Delta T_c$ ) を求めた結果も

$$\Delta T_c_{Si_3N_4} > \Delta T_c_{SiC} > \Delta T_c_{Al_2O_3}$$

となり, R と  $\Delta T_c$  の間に良い相関を示すことがわかる。

ゆるい加熱の場合は  $R' = R \cdot K$  ( $K$  は熱伝導度) で表わされる<sup>(23)</sup> 各種セラミックスの R と R' の値及び R と  $\Delta T_c$  の関係をそれぞれ図 18 と表 5 に示

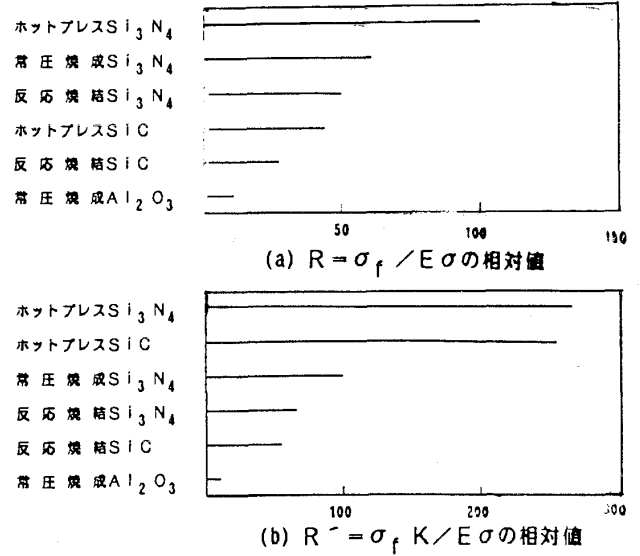


図18 セラミックスの耐熱衝撃性比較<sup>(25)</sup>

す。<sup>(24)(25)</sup> 窒化ケイ素が急熱急冷に最も有利であり、比較的ゆるやかな熱伝達条件では炭化ケイ素もすぐれた耐熱衝撃抵抗性を示す。比較例には入れなかったが、熱膨張係数の極めて小さい石英ガラス、コージュライト、チタン酸アルミニウムなどは、

表5 各種セラミックスの R と  $\Delta T_c$  の比較<sup>(24)</sup>

材 料	$\sigma_t \times 10^8$ (N/m <sup>2</sup> )	$E \times 10^{11}$ (N/m <sup>2</sup> )	$\nu$	$\alpha \times 10^{-6}$ (°C <sup>-1</sup> )	R (°C)	$\Delta T_c$ (°C)	製 法
SiC-1*	1.161	2.361	0.14	4.8	88	265	再結晶
SiC-2*	2.128	3.593	0.15	4.0	126	305	反応焼結
Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> -1*	1.225	1.258	0.27	3.2	222	460	反応焼結
B <sub>4</sub> C-1*	4.515	4.109	0.26	2.4	339	160	ホットプレス
B <sub>4</sub> C-2*	4.515	4.012	0.24	2.4	356	200	ホットプレス
SiC-3*	6.127	4.160	0.15	3.4	368	415	ホットプレス
Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> -2*	5.160	2.973	0.25	2.8	465	>900	ホットプレス
AlN <sup>+</sup>	7.42	2.79	0.25	4.9	407	250	ホットプレス
Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> <sup>+</sup>	10.10	3.13 <sup>+</sup>	0.26	2.6	918	1000	ホットプレス

寸法 \*6.35 mm × 3.175 mm : +3 mm × 3 mm × 30 mm .

すぐれた熱衝撃抵抗を示す材料として評価され利用されている。

4-11 サイクル疲労 セラミックスの疲労現象については、これまでガラス、アルミナなどで研究され、常温では大気中の湿気による応力腐食の影響が大きいことが知られている。繰返し微小変形からの損傷による金属疲労に対して、セラ

ミックスの疲労現象はむしろ金属における応力腐食われなどに相当すると考えられる。そのため、セラミックスではき裂伝播の過程が重要である。

機械的疲労に関しては一定の荷重下での静的疲労及び繰返しの応力下での動的疲労に分けられる。

1) 静的疲労

セラミックスでは常にき裂が存在する。疲労は

そのき裂先端の応力と伝播に関する破壊力学によって考察される。セラミックスの疲労を評価するには  $K_I - V$  の関係を求めればよい。測定例を図19に示す<sup>(26)</sup>この場合、各々の勾配が重要である。

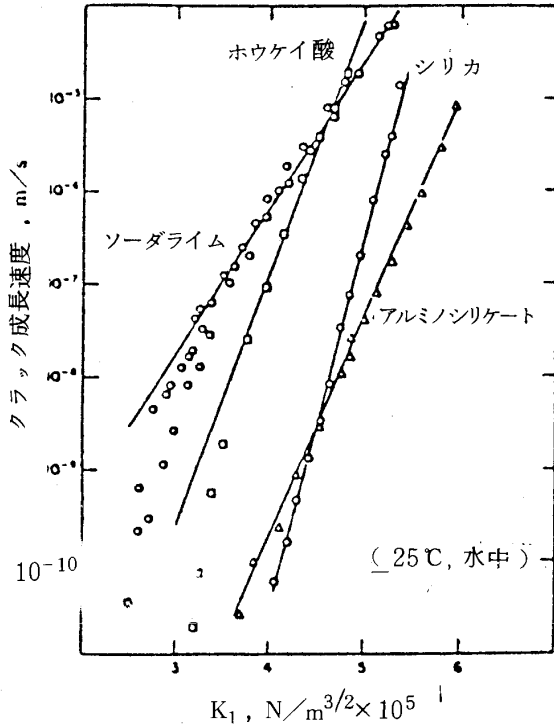
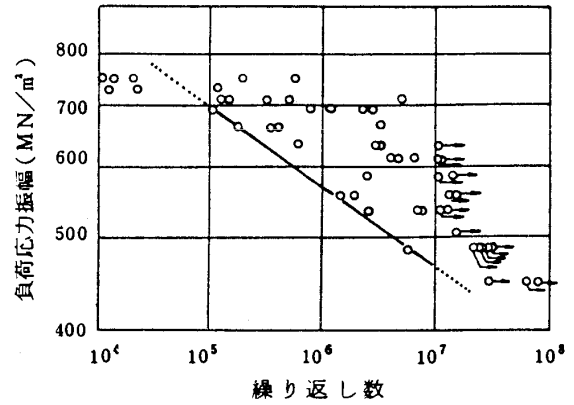


図19 ダブルカンチレバー法によるガラスの  $K_I - V$  曲線<sup>(26)</sup>

2) 動的疲労

動的疲労についても考え方は静的疲労と同じである。試験法としては曲げ、引張、回転曲げ等が行なわれる。窒化ケイ素について平均曲げ強度より若干低い応力で足切りして4点曲げ両振りと片振りを行なった例<sup>(26)</sup>を図20に、あらかじめビッカス圧子を入れて同様のテストをした結果を図21に示す<sup>(27)</sup>これらのデータから両振りよりも片振りの方が寿命が長いことや、応力と寿命の間に逆S状の傾向が見られることがわかる。後者のデータは  $K_I - V$  曲線と形が類似していることから、その機構を類推することができる。

しかし通常の材料では図22<sup>(28)</sup>に示すようなデータが多く、疲労強度も瞬時破壊強度と同様にばらつきが生ずるため許容下限値を設定するのがむずかしい。金属材料との現時点での違いがここにある。加熱下での試験も行なわれている。今後も試験法の開発もあわせてデータの蓄積がさらに進め



試験条件：両振り4点曲げ，30Hz，正弦波  
予負荷値：80 kg f / mm<sup>2</sup> (784 MN / m<sup>2</sup>)  
試験片：ホットプレス - Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>

図20 両振り四点曲げによる繰返し疲労特性<sup>(27)</sup>

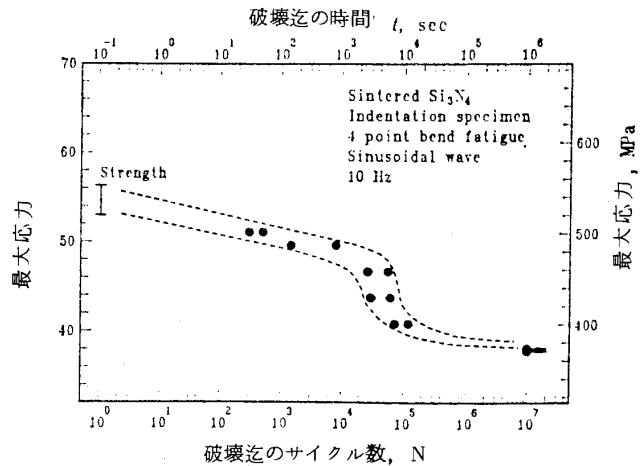


図21 常圧焼結窒化ケイ素の常温繰返し疲労の S - N 曲線<sup>(28)</sup>

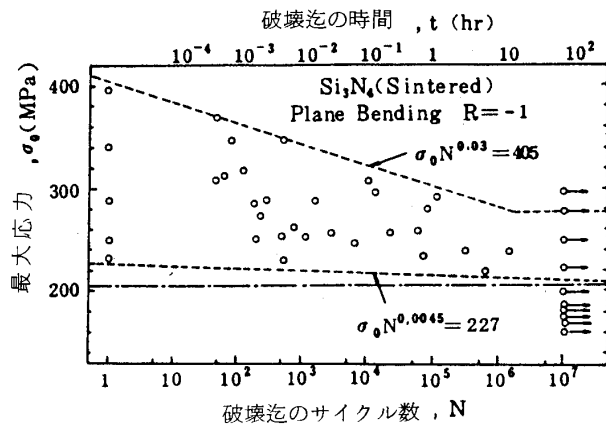


図22 常圧焼窒化ケイ素の片振り曲げ疲労特性<sup>(29)</sup>

られようが、その際、形状や環境についても考慮する必要がある。

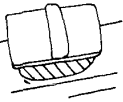
## 5. おわりに

以上今回はプロセスの残分としての接合技術と材料特性を中心に述べてきた。後者の内、摩擦、摩擦、摩擦、化学的性質については次回にゆずることにした。

今回の内容はまさに日進月歩であり非常に多くの文献や報告例が存在する。それらを十分フォローされない状態での解析であり、著者の未熟さについては御了承願いたい。

## 参考文献

- (1) 田中, 材料技術, 4-2 (昭60), 26
- (2) 杉本, 日本金属学会会報, 22 (昭58), 112
- (3) 石田, 市野瀬, 田中, 日本金属学会講演概要集, (昭60-10), 313
- (4) 阿部, 石川, 電力中央所研究報告
- (5) JIS R 1601
- (6) JIS R 1602
- (7) Weibnel, Wo, J. Appl, Mech., 18, (1951), 293
- (8) 伊藤, 伊藤, 酒井, 昭和56年度窯業協会, 東海支部研究発表会要旨集, (昭56), 37
- (9) 柘植, 米屋他, 昭和48年度窯業協会年会講演要旨集, (昭48), 114
- (10) 伊藤, 「ファインセラミックス精密加工」シンポジウム資料, (昭57), 42 他
- (11) 松本他, 窯協誌, 91 (7), (昭58), 324
- (12) 伊藤他, 第25回材料研究連合講演会前刷等, (昭56), 165
- (13) 田中他: 日本材料学会学術講演会 (昭59.5), 147
- (14) 古賀, 佐々, 栗田, 昭和57年度窯業協会年会講演予稿集, (昭57-5), C-25
- (15) Tree, D. J., Kington, H. L., Proc. 1977 DARPA/NAVSEA Ceram. Gas Turbine Demonstration Engine, ed. by Fainbaks, (1977), 41
- (16) Tomeno, I., J. J. A. P. 20, (1981), 1751
- (17) 奥田, 大久保, 若井, 松野, 伊藤, 山内, エンジニアリングセラミックス, 鈴木編, (昭58), 148
- (18) ファインセラミックスの標準化に関する調査研究報告書, ファインセラミックス協会, (昭58)
- (19) Davidge, R. W., Evans, A. G., Mat. Sci. and Eng., 6 (1970) 281
- (20) Tsuge, A., Nishida, K., Komatsu, M., J. Am. Ceram. Soc., 58, (1975), 323
- (21) Lange, F.F., Private Communication
- (22) Gebhard, W., DFVLR-Mitt, 81-03
- (23) Hasselman, P. P. H., Am. Ceram. Sod. Bull., 49-12, (1970), 1033
- (24) 中山, 阿部, 材料, 32-357, (昭58), 683
- (25) Anzai, K., Hashimoto, H, J. Mat. Sci.
- (26) 山内, 酒井, 伊藤, 伊藤, 昭和58年度窯業協会年会講演予稿集, (昭58), 475
- (27) 川久保, 米屋, 材料, 34-387, (昭60-12), 1460
- (28) 山田, 星出, 学振136委員会, 無機焼結体加工技術小委員会, 第12回研究会資料, (昭57), 1



## 1. 流れの可視化によって何を知なのか

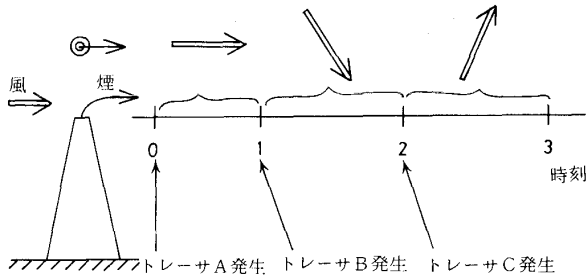
1883年、O.Reynoldsは円管内の水流を染料によって可視化し、管内流に層流と乱流の二つの状態が存在することを明確にした。また、1966年にS.J.Klineは壁乱流場において壁のごく近傍に現われる筋(streak)を水素気泡法によって観察し、一見すると乱雑で混沌とした乱流の中に規則性が隠されていることを見出している。このように、流れの可視化技術は流れの構造を明らかにする上で有効な手段といえよう。もう少し具体的に表現すると、可視化技術の特徴は第1に、流れの基本的性質を直観的概観的に把握し、複雑な流れ現象を理解しやすくすることにあり、第2に、広い空間の流れの情報を同時刻に採取できることにある。この技術が自然科学の広い分野において流れ現象の解析の手段として注目されるようになった契機は1960年のアメリカ機械学会のシンポジウムであろう。それ以後、流れ現象の把握が機器装置の設計において重視されてきたこと、風洞・水槽などの試験設備が充実してきたことなどもあって適用対象も広がり研究発表例も増加してきた。わが国でも1973年以来、流れの可視化に関するシンポジウムが継続して開催され、そこで発表された成果を主体に可視化技術の体系化が試みられている。<sup>(1)</sup>このような流れの可視化技術の展開は従来までは主として上述の第1の特徴に依存していた。しかし昨今のコンピュータを土台とする情報処理技術の急速な進歩は可視化技術に新たな活力を与えようとしている。すなわち、デジタル画像処理技術との結合によって上記の第2の特徴を十分に活用し、流れの可視化技術を定量計測の一手段として再構築する時期にさしかかっている。

しかしながら、如何にコンピュータが発達し流れに関するすべての種類の情報が蓄積され画像と

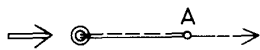
して表示されるようになったとしても、流れ現象の真の理解のためには可視化されるものを超えての深い洞察が必要である。繰返すが、流れの最終のイメージは研究者、技術者個々の所産であって、可視化された画像に対する深い考察が肝要である。この理解の下に通常の可視化技術もCAFV(Computer Aided Flow Visualization)もイメージ構築のための有効な補助手段として機能することになる。

さて、流れの可視化は流体粒子の運動を目に見えるようにすることである。そのための基本的な方策は流れとともに運動し、しかも識別可能なトレーサを用いることである。このトレーサの運動は、観察の仕方によって種々の線として観察される。すなわち、流脈(streak line)、流跡(path line)あるいはタイムライン(time line)などである。これらの線をまず整理しておこう。流脈は流れ場の中の特定な点を次々に通過した流体粒子がある瞬間に描く曲線であり、流跡は特定の流体粒子が時間の経過とともにたどる経路である。流れを考える際にはこの他に重要な線=流線がある。流線はいわば仮想的な線であり、流れ場の中に曲線を描き、曲線上のすべての点における接線の方向がその点の液体粒子の速度の方向と一致するときこの曲線が流線であると定義される。これらの流脈、流跡、流線は定常流の場合には一致し、可視化された流れパターンの解釈が容易となるが、非定常流の場合にはそれぞれ異なる曲線となる。このことを簡単な非常定流を仮定して区別してみよう。煙突まわりの流れが図1(a)に示すように水平面内で時刻1および2において急に方向変化をする場合を想定する。時刻0において煙突より煙を発生させ、また時刻0, 1, 2においてそれぞれトレーサA, B, Cを発生させる。このとき時刻1, 2, 3における流脈、流跡および流線は図1(b)~(d)に示すように異なったものになる。非定常流を可視化する場合、流脈、流

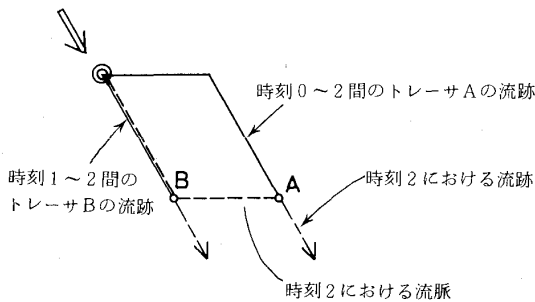




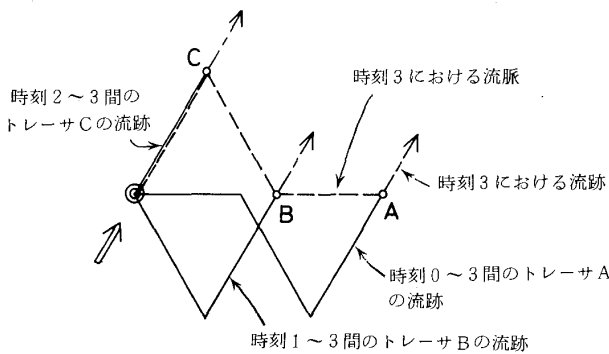
(a) 風向の変化



(b) 時刻0～1間のトレーサAの流跡と時刻1における流脈、流線  
(三者は一致する)



(c) 時刻2



(d) 時刻3

図1 流脈、流跡と流線

跡、流線のいずれを観察したのかを明確に把握することが重要である。

流脈、流跡、流線の他に固体境界面での限界流線、付着線、剥離線などしばしば話題となる。物体まわりの三次元流においては速度の方向が表面からの距離によって変化することがある。このような場合には流線自体も表面からの距離に応じ

て変化する。このとき、表面からの距離を0に近づけた限界の流線を限界流線 (limiting stream line) とよぶ。限界流線の接線はその点における表面摩擦応力の方向と一致する。図2に二次元楕円柱まわりの流れのイメージを示す。流れは前

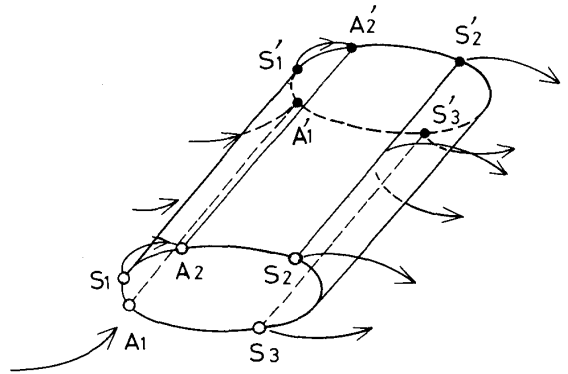


図2 二次元楕円柱まわりの流れの付着線と剥離線

方よどみ点 (付着点  $A_1$ ) で楕円柱の表面に付着し、下面の流れは表面に沿って流れ、剥離点  $S_3$  で剥離する。上面の流れは剥離点  $S_1$  でまず層流剥離を起こし、 $A_2$  で再付着し  $S_2$  で乱流剥離をする。これらの点は下流の変動に伴ない周期的に移動するが、時間平均的イメージは図2のようになる。図中で  $A_1 A'_1$  が付着線、 $A_2 A'_2$  が再付着線、 $S_1 S'_1$ ,  $S_2 S'_2$ ,  $S_3 S'_3$  が剥離線ということになる。一方、三次元流の場合は、たとえば図3の迎え角をもつデルタ翼に示すように、前方よどみ点  $A_1$  は翼先

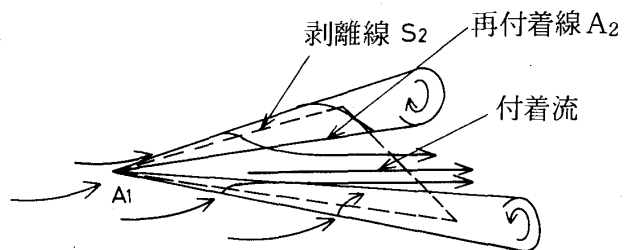


図3 大きな迎え角をもつデルタ翼まわりの流れの再付着と剥離

端に近い下面の一点だけとなり、また、再付着線、剥離線上の点ではそれぞれの曲線の接線方向に速度をもっているなど二次元流とは著しく異なるパターンとなる。三次元流では境界面上の特異性を十分に考慮することが必要である。(2)(3)

タイムラインは流れの中に（通常は直線状に）配置されたトレーサ源から短時間に一斉に発生させられたトレーサの描く曲線をいう。図4に一方の壁上に矩形状柱体が置かれたチャンネル流れにおいて上流側のトレーサ源T-T'からトレーサを

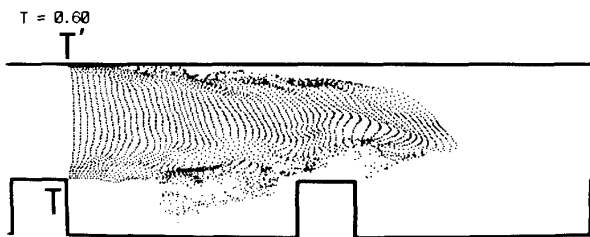


図4 コンピュータによるタイムライン  
( $Re = 1.1 \times 10^4$ )

短い時間間隔で発生し得られたタイムライン群を示す<sup>(4)</sup> 図はコンピュータシミュレーション結果である。

流れの可視化に関係する線としてこの他に各種の等値線がある。たとえば、等圧線、等温線、等密度線、等渦度線などがある。これらはCAFVの導入により非定常流においても容易に求められるようになり、通常の可視化法では求められない量の表示も原理的には可能となっている。

## 2. 可視化法を如何に選択すべきか

流れの可視化には様々な方法が用いられているが、通常それらは壁面トレース法、タフト法、化学反応トレーサ法、注入トレーサ法、電気制御トレーサ法および光学的方法に大別される。それぞれの方法については後述するとして、ここでは可視化法の選択にあたって考慮すべき要点を略述する。第1は可視化の目的をはっきり把握することである。行おうとする可視化が流れ現象の発見や法則の実証などのような理学的研究なのか、製品開発・改良などの開発研究なのか、あるいは教育や広報のための作業であるのかによって重点の置き方が変わってくる。第2は可視化対象の把握である。現象は二次元か三次元か、定常か非定常か、層流か乱流か、流体の温度、圧力、物性値はどの程度か、観察する空間は全体か局所か、瞬時の観察か時間経過を必要とするかなどを十分理解しておくことが必要である。第3は可視化結果への要求を

把握することである。定性的観察でよいのか定量計測を必要とするのか、速度ベクトルが必要か流れの方向が必要のかなどが問題となる。第4は可視化実験に対する制約条件の把握である。実物試験が可能か、風洞・水槽による模型実験の方がよいのか、各種トレーサ材料の毒性や実験装置の汚染がないか、可視化実験に要する費用や結果を得るまでの時間も考慮すべき事項であろう。第5は記録・解析方法の検討である。可視化結果の記録はスチール撮影か、高速・微速撮影か、ビデオ画像か、あるいはスケッチでよいのか、コンピュータによるデータ処理を必要とするのかなどが考慮すべき主要項目となる。

これらの考慮すべき要点が明らかにされれば、それらに適った可視化方法が一つ定まる訳ではない。上記の要件のうち、観察すべき空間位置、可視化の対象に応じてどのような可視化手法の選択が可能であるかの一例を表1に示す<sup>(5)</sup>。

次に観察しようとする流れの速度と可視化手法との関係を調べてみる。可視化技術の進歩と適用分野の拡がりによって各手法ともに適用流速範囲が大幅に拡大しつつある。適用流速範囲は可視化したい流れの内容（たとえば、定性的観察であるのか定量的測定であるのか、あるいは精度をどの程度必要とするのかなど）によって異なるものであるが、それを無視して主として過去10年間の流れの可視化シンポジウムでの講演から手法別の流速適用範囲を調べてみると図5のようになる<sup>(6)</sup>。手法の分類は文献(1)に依っている。わが国においては油膜法、注入流脈法、注入流跡法、懸濁法や水素気泡法等がよく使われ、その常用範囲は油膜法で水流に対して0.1~3 m/s、空気流に対して数cm/s~数百m/s、水素気泡法で1 mm/s~数m/sのようである。これらの適用範囲は可視化技術およびその周辺技術の進歩によって拡大しつつある。たとえば、煙注入法は煙の拡散等のため30 m/s程度の空気流速が限界であるといわれている。しかしながら、最近では煙発生装置の改良、煙トレーサ自体の改善、照明方法および記録写真の分解能の向上によって400 m/s程度の空気流速にまで適用されている<sup>(7)</sup>。また、自然対流等非常に遅い流れを観察するための工夫もなされている。電解沈殿法とよばれる方法もその一つで、

表 1 流れの可視化手法の選択

(a) 可視化位置	(b) 可視化像	(c) 可視化法	(d) 使用流体	(e) 主な材料, トレーサ	(f) 可視化法大分類
物体表面 近傍 内壁上 の 流れ	状態 (限界線など) 方向 速さ 流脈	油膜法	○	気流: デイゼル油, シリコン油, 流動パラフィン + 酸化チタン + オレイン酸	壁面 トレース法
		油点法	○	水流: モービル油 + 四三酸化鉛 + カーボンブラック	
		液面塗膜法	●	ハイドロキノンセテート, 安息香酸	
		電解腐食法	●	陽極: 黄銅製の試験体の表面にハンダを溶着	
		感温液晶法	○	コレステリック液晶, 色変化塗料	
		表面タフト法	○	気流: 日本刺しゅう用絹糸, 純羊毛糸, ナイロン単繊維	
		タフト法	○	二段(ツイン)タフトでは色を変える	
		タフトグリッド法	○	グリッド素線: ヒアノ線, 釣り糸	
		タフトステック法	○	水流: ナイロン糸, 竹, 檜, ABS樹脂	
		物体表面塗膜発色法	○	pH指示薬(プロムチモールブルー他), アンモニア法	
二流体境界の流れの状態	流脈	物体表面トレース法	●	鉛白・酸化アンモニウム法	化学反応 トレース法
		物体表面トレース発生法	○	四塩化チタン・湿り空気法	
		流体間反応消色法	★	金属チモールアル塩水法	
		流体間反応発色法	●	フェノールフタレン法, チモールブルー法, 過マンガン酸カリ法	
		流体間反応発色法	○	アンモニア塩化水素法, フッ化ホウ酸湿り空気法	
		電解粒子発生法	★	ルミノール反応法, pH指示薬法	
		電解発色法	●	電解沈澱法, テルル法	
		電解発色法	★	電解指示薬法, 電解ルミノール反応法, 電解ヨウ化カリデンブレン法	
		電解法	○	糖(たばこ, 綿香), ミスト(ケロシン, 流動パラフィン)	
		流脈法	●	色素, コンデンサミルック, インキ, 食紅	
物体内部 の 流れ	方向 流脈 流跡 タイム ライン 密度変化 表面高低	流脈法	○	シヤボン玉, メタアルデヒド, 炭素火粉, 炭酸マグネシウム	注入 トレース法
		流跡法	●	空気泡, 油滴, 発光粒子, アルミ粉, ポリスチレン粒子, ナイロン粒子	
		表面浮遊法	○	メタアルデヒド, ステアリン酸亜鉛, 炭素火粉, 炭酸マグネシウム	
		注入タイムライン法	●	ポリスチレン粒子, アルミ粉, グラファイト粉, 空気泡	
		水素気泡法	○	アルミ粉, おが屑, 発泡スチロール, ベークライト, スキンミルック, ポリスチレン粒子	
		火花追跡法	○	煙タイムライン法(四塩化チタン)	
		スモークワイヤ法	○	色素タイムライン法(水溶性染料)	
		シヤドウグラフ法	○	直線形電極, キンク形電極, はしご形電極, 直流電圧印加, パルス電圧印加	
		シユリーレン法	○	針状電極(針, ビーズ針, タングステン線), 線状電極	
		マッハツェンダ干涉法	○	塗布液: 流動パラフィン, オリーブ油, シリコン油	
物体内部 の 流れ	表面高低	レーザーホログラフ法	○	光源: 単色(モノクロ用), 白色(カラー用)	電気 制御法
		モアレ法	○	等密度干渉縞法, 移動干渉縞法	
● 水流	○ 気流	★ 液流	○ 気流		光学 可視化法

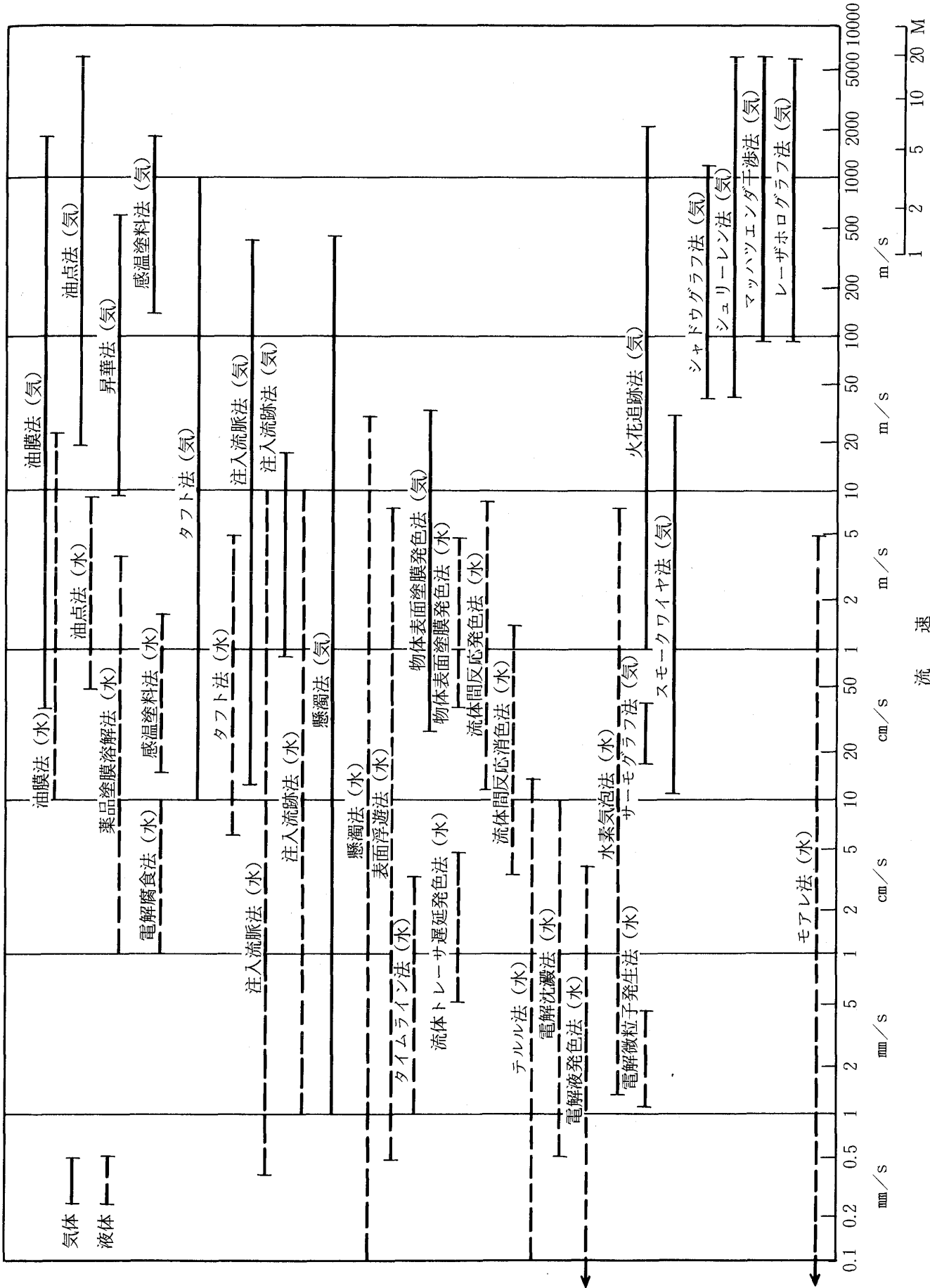


図 5 常用流速範囲

水を電気分解する際に陽極近くに生成される直径 10 μm程度の白色沈殿粒子をトレーサとするもので流子の沈殿速度はかなり遅く、数 mm/s の微流速の測定が試みられている。<sup>(8)</sup>

これらの情報から目的に適う手法を総合的に判断して選択することになるが、他の間接的測定手段や可視化手法を併用することが望ましい。特に複雑な流れでは種々の側面からそれぞれ適した手法で観察してはじめて目的を達することも少なくない。

### 3. 断面トレース法

壁面トレース法は境界層の挙動を壁面におけるせん断応力、熱あるいは物質伝達量、圧力などの

物理量の分布から観察しようとするものである。そのために物体表面に塗布する物質によって表1 ㉔欄のように細分される。この中で最もポピュラーな手法は油膜法である。油膜法は油と顔料の混合物を薄く物体（壁）表面に塗布し、流れによって生じる油膜のパターンから表面近傍の流れの時間平均的な方向、流速の程度、境界層の遷移や剥離などを調べる方法である。油点法は同様の油膜材料を表面に点状に配置し、油点から流れ出た油膜筋の傾きと長さから流れの方向とせん断応力の大きさの程度を調べる方法である。油膜の組成と適用例を表2に示す。

次に油膜法、油点法の適用例を示す。図6はデ

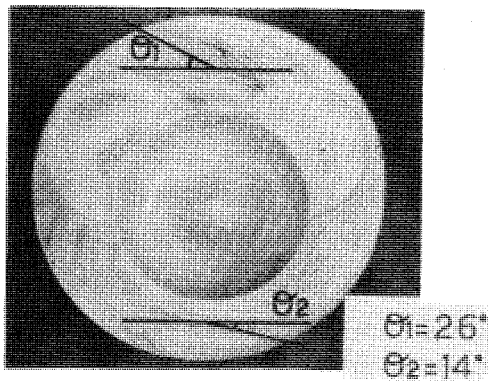
表2 油膜の組成と適用例

流体	油	顔料	添加剤	混 合 比	流 速	適 用 例	文 献
空	軽いディーゼル油 (Dieselene)	酸化チタン	オレイン酸	100 g : 135 cm <sup>3</sup> : 2 cm <sup>3</sup>	300 ft/s	後退翼	(9)
	Shell Vitrea 72	酸化チタン	ラウリン酸	2 : 1 : 微量 (V)	M = 0.6 ~ 1.2	後退翼	(10)
	Shell Vitrea 72	酸化チタン	オレイン酸	2 : 1 : 微量 (V)	M = 1.68, 1.19	後退翼	(11)
	流動パラフィン	油煙	オレイン酸	3 : 1 : 微量 (V)	M = 0.45	デルタ翼	(12)
	Shell Vitrea 72 + Shell Limea 931	酸化チタン	オレイン酸	(4+2) cm <sup>3</sup> : 3 cm <sup>3</sup> : 2 滴	M = 0.2	航空機の翼	(13)
気	シリコン油	油煙	なし	—	M = 5, 6	航空機の翼	(14)
	流動パラフィン + アマニ油	酸化チタン	オレイン酸	(30+5) cm <sup>3</sup> : 25 g : 5 cm <sup>3</sup>	50 m/s	壁面噴流	(15)
	インジェクションポンプ油	四三酸化鉛 クロム酸鉛 酸化チタン	(オレイン酸)	2 ~ 10 : 10 } 5 ~ 15 : 10 } (W) 10 ~ 30 : 10 }	3 ~ 15 m/s	後退翼 ポンプ	(16)
水	モービル油 (SAE 20#)	四三酸化鉛 + カーボングリース	—	2 : (3+3) 1 : (1+2 ~ 4) } (W)	2 m/s	流体継手 円柱群	(17)
	ひまし油	四三酸化鉛	—	3 : 1 (V) 1 : 5 (W)	10 m/s 5.5 m/s	斜流ポンプ 流体継手	(18)

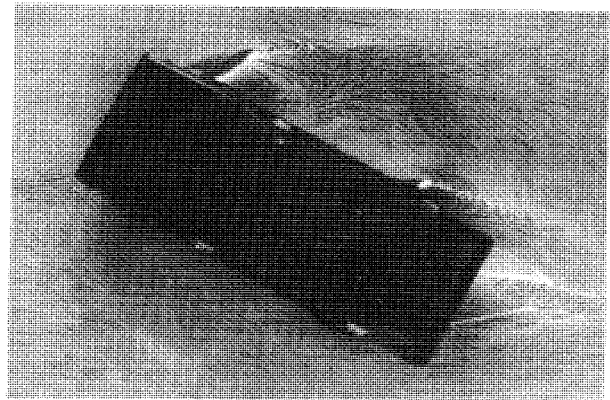
V : 体積比, W : 重量比

ディーゼルエンジンのピストン頂面に形成される燃焼室（キャビティ）内の流れを、酸化チタンとオレイン酸の油膜で可視化したもので、ピストン頂面におけるシリンダ軸を中心とする旋回流（スワール流）とシリンダ壁からキャビティ中心に向うスキッシュ流とで合成された流れが存在することが観察される。<sup>(19)</sup> 複雑な三次元流れを解明するためにピストン頂面は白色、キャビティ底面は赤色、キャビティ円周壁面に黄色の顔料を使用し、圧縮行程と膨張行程における流れの相違を観察してい

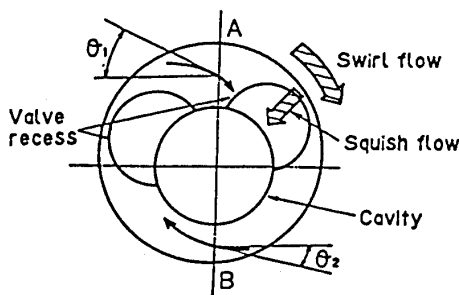
る。図7は鈍頭円錐型回収カプセルまわりの極超音流 ( $Re_\infty = 4.5 \times 10^5$ ,  $M_\infty = 7.1$ ) による三次元剥離を油点法で可視化したもので、迎え角は 20° である。頭部直後の腹面に主流方向の剥離が生じ、これから剥離線が背面に伸びている様子が観察される。流れの軌跡を明確に捕えるため、油の粘度を5段階に変化させている。<sup>(20)</sup> 図8は自動車風洞試験における自動車模型付近の地面上の流れ模様を蛍光物質を含んだ油膜材で可視化したものである。<sup>(21)</sup> A重油とシリコン油を体積比 1 : 1 で混



(a) ピストン頂面の流脈パターン

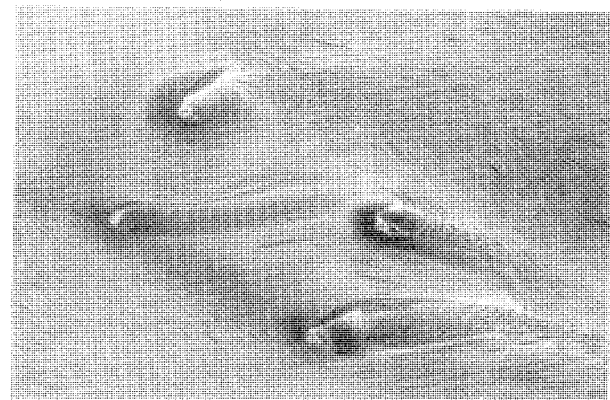


(a) 車体模型まわりの流れ



(b) スケッチ図

図6 ディーゼルエンジンのトロイダル型キャビティにおける油膜パターン



(b) 車体下の地面盤上の流れ

図8 蛍光油膜法による車体付近の地面盤上の流れの観察

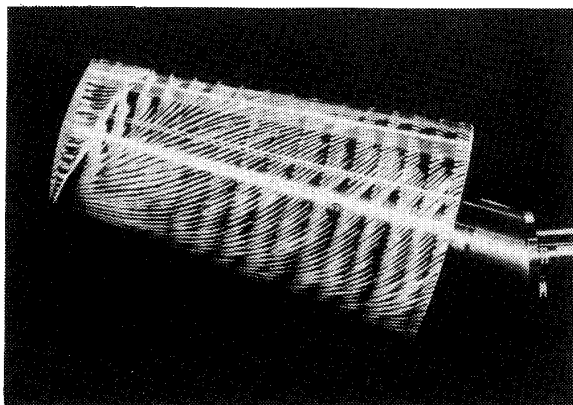


図7 油点法による回収カプセルまわりの極超音速三次元剥離流の観察 (迎え角 $20^\circ$  マッハ数 7.1 )

合した油膜材はそれ自体蛍光物質を含んでおり、これを紫外線写真法<sup>(22)</sup>で撮影することにより鮮明な油膜写真が容易に得られる。

表面塗膜法は油膜材の代りに単一組成の微溶性

不透明薬品を用いる方法で、ハイドロキノンジアセテートや安息香酸が利用されることが多い。

電解腐食法は、試験物体としてすずまたはすず合金を使用しこれを陽極として水流中で電気分解すると陽極表面が次第に浸食され陽極付近に白色の沈殿物が生じ、これが流れによって筋模様を形成することを利用したものである。1 cm/s ~ 10 cm/s 程度の流速の水流の時間平均量の可視化に適する。

コレステリック液晶は光の選択性散乱を生じるが、この散乱波長は温度によって変化する。そこで液晶の微小カプセルを液体中に浮遊させたり、固体面に塗布すれば温度分布の可視化から、その場の伝熱形態や流れの構造について情報を得ることができる。これを感温液晶法とよぶ<sup>(23)</sup> 較正された高感度の液晶は $\pm 0.1^\circ\text{C}$ 程度の精度を比較的容易に達成でき、また温度変動の識別可能な周波数

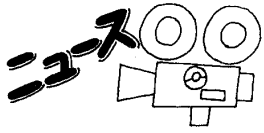
は数Hzといわれている。

この他に、圧力を色濃度に変化し圧力分布を測定する“プレスケール”が開発されている。これは、発色剤を塗布したAフィルムと顕色剤を塗布したCフィルムとを密着させて圧力測定部に貼布し、Aフィルム側に圧力をかけるとAフィルムに塗布されているマイクロカプセルが破壊され、その中の無色染料がCフィルムの顕色剤に吸着されて反応しCフィルムの表面が発色する仕組みである。現在のところ、超低圧用(0.5~2.5MPa) 低圧用(1~10MPa)、中圧用(7~25MPa)、高圧用(20~70MPa)の4種類が準備され、それぞれのフィルムについて圧力-色濃度特性曲線が用意されているが、測定精度は約±10%である。

壁面トレース法は感温液晶法およびプレスケール(感圧紙法)を除いて古い歴史をもち、豊富な適用例がある。しかも簡便であるため多くの分野で利用価値の高い方法であろう。しかしながら、時間平均的な流れ状態の観察であること、油膜筋の生成機構が未だ明確でなく、したがって二次流れの影響や回転の影響などを正確に評価することが難しいなどの難点をもつことに留意する必要がある。非定常流への壁面トレース法の適用は今のところ、感温液晶法にしか可能性を見出すことができない。(つづく)

## 文 献

- (1) 浅沼強編, 流れの可視化ハンドブック, (昭52), 朝倉書店
- (2) Rosenhead, L. ed., *Laminar Boundary Layer*, (1963), 63-82, Oxford Univ. Press.
- (3) Nakaguchi, H., *Aerodynamic Drag Mechanics of Bluff Bodies and Road Vehicles*, (1978), 227-252, Plenum Press.
- (4) Kobayashi, T. ほか2名, *Proc. Fluid Control and Measurement*, Tokyo (1985), 763-768, Pergamon Press.
- (5) 明石, 第1回流れの可視化学会講習会教材(1984) 49.
- (6) 小林, 機械学会関西支部第129回講習会教材(1985), 93.
- (7) Batill, S.M., AFWAL-TR 81-3002 (1981), 1.
- (8) Eichelbrenner, E. A. ed., *Recent Research on Unsteady Boundary Layer*, 2 (1972), 1165.
- (9) Haines, A. B. & Rhodes, C.W., R & M, Aeron. Res. Council, No 3114 (1957)
- (10) Rogers, E. W. E. ほか2名, R & M, Aeron. Res. Council, No 3270 (1960)
- (11) Hall, I.M. & Rogers, E. W. E., R & M, Aeron. Res. Council, No 3271 (1960)
- (12) Earnshaw, P. B. & Lawford, J. A., R & M Aeron. Res. Council, No 3424 (1966)
- (13) Isaacs, D., R & M, Aeron. Res. Council, No 3608 (1968).
- (14) Rao, D.M. & Whitehead, A.H. Jr., *AIAA J.* 10-11 (1972), 1458-1465.
- (15) 鳥居, 流れの可視化シンポジウム(第1回)講演集(1973), 33.
- (16) 村井, 機械学会誌 70-578 (1967), 359.
- (17) 石原ほか2名, 機械学会781回講演論文集(1968), 39.
- (18) 内山, ターボ機械, 3-3 (1975), 664.
- (19) 鈴木ほか2名, 流れの可視化 4-増刊(1984), 27.
- (20) 和田, 流れの可視化写真集 No.1 (1984), 40.
- (21) 湊, 鬼頭, 流れの可視化 6-21 (1985), 170.
- (22) 佐賀ほか2名, 流れの可視化 5-増刊(1985), 87.
- (23) 笠木, 機械学会誌, 87-783 (1984), 145.



# 東北電力・東新潟火力発電所見学会を終えて

川崎重工業(株) 大槻 幸雄

昭和60年度の第3回見学会と技術懇談会は、61年3月14日(金)の午後、谷村会長、八田名誉会員以下定員を越える52名が参加して、予定通り盛会裏に終了した。同所は国鉄新潟駅よりバスで約1時間の新潟市の東北約30kmの聖籠町に日本海に面して設けられて居り、同所の送迎バスを利用させて頂いた。

見学した第3号系列コンバインド・サイクルプラントは109万kwで、各々60万kwの第1号、第2号汽力発電プラントに隣接している。

見学会は同所はまなす館で、谷村会長の挨拶で始まり、同発電所の山下所長より歓迎の挨拶のあと、同所波多野技術課長がスライドを用いて、懇切丁寧に概要の説明があった。即ち、このプラントの建設理由は

- 1) 脱石油、省エネルギー、又公害対策上も有利なLNGを燃料とする。
- 2) 従来の汽力発電方式に較べて熱効率が低い。特にガスタービンが6台あることによって、部分負荷で顕著である。
- 3) 停止状態から短時間で全負荷に達することが出来るため、負荷変化の即応性がある。

このプラントの構成はガスタービンと廃熱ボイラは各1台ずつ組になっており、これらの3組を1台の蒸気タービンと組合わせた系列とし、全体で2系列から成り立っている。システムの構成状態を図1に示す。

昭和57年3月建設工事を着工し、3-1系列は59年12月、3-2系列は60年10月に1/2容量毎に営業運転を開始した。出力は15℃において、ガスタービンが  $6 \times 118,000 = 708,000$  kw、蒸気タービンが  $2 \times 191,000 = 382,000$  kw、合計1,090,000 kwである。熱効率は43.7% (発電機端)で、6台のガスタービンの運転台数を適切に切り替えることにより、定格負荷時と同様に部分負

(昭和61年5月6日原稿受付)

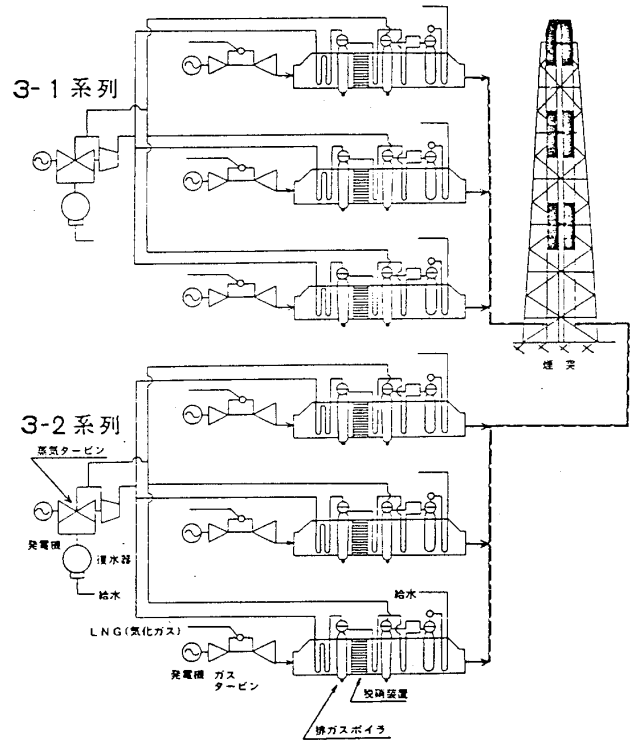


図1 システム構成

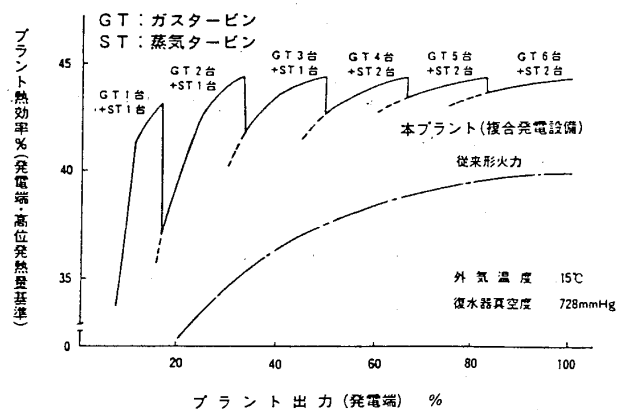


図2 プラント熱効率

荷時においても図2のごとく高い熱効率が得られる。

本設備に採用したガスタービンは最新の動静翼冷却技術を採用し、タービン入口ガス温度を世界最高水準の1,154℃ (従来機は1,021℃) に向上



させ、出力アップ（98.5 → 133 MW）、効率アップ（30.3 → 32.6%）を図った。この他、ガスタービンにおける低NO<sub>x</sub>化対策として、水または蒸気噴射によらない世界初の低NO<sub>x</sub>予混合燃焼器の開発実用化に成功した。

本プラントは原動機の数が多いことから原動機間の協調を図りながらプラント全体を総合的に制御する必要があるため、総合デジタル計算機制御システム方式を採用し、プラント全体の監視を行う監視用計算機と制御を司る協調制御用計算機が設けられている。

この講演の後、本プラントの機器の製作から建設までの状況を記録した映画が上映された。品質の向上、工期短縮および工事費節約を図るため、約200 tonのガスタービン、約600 tonの発熱ボイラ、蒸気タービン等は全て工場で組立てられ、海上輸送にて現地に搬入され据付けられた様子がよく分った。特にボイラは、従来のブロック工法に代り、モジュール工法が採用されていた。

此の後、4班に分れて約45分間、プラントの見学を行った。ゆったりとした建屋の中に、6台のガスタービン、高圧蒸気タービン、低圧蒸気ター

ビンが整然と据付けられて居り、ガスタービンの運転中の騒音は低かった。幸に3-2系列の第4ガスタービンが開放点検中であり、圧縮機、タービン、燃焼器等を詳しく見学することができた。運転制御室では、各々の機器の運転状況が計器を通して自動的に監視されていた。短時間ではあったが、ガスタービン本体の分解状況を目の当りに見学でき、学会員にとって甚だ有意義であったと思う。

見学後、約30分間にわたり、9人の質問者により活発に質疑応答がなされた。ガスタービンの定検には37日間かかっており、ガスタービンと蒸気タービンを定検する場合は、1台のガスタービンを先行して定検し、それに引き続いて45日間を使って、蒸気タービンと2台のガスタービンを定検する。又、稼働率は70%以上で、効率がよいのでベース負荷はこの3号プラントで行い、負荷変動は従来の1、2号汽力発電で行っている。

終に、この見学会に当り、山下所長を始め各関係者の示された御厚意に対し、厚く御礼を申し上げます。（企画委員）

## 1985年ガスタービン及び過給機生産統計

統計作成委員会<sup>(1)</sup>

## I. 生産統計の概要

## 1. 統計作成委員会の活動について

- (1) 例年にならい、1985年のわが国ガスタービンの生産統計に関して、また前年に引き続き1985年のわが国過給機生産統計に関して、それぞれ統計資料の蒐集及び集計を行って統計を作成し、会誌の本号に掲載した。
- (2) 過給機生産統計は、はじめてからまだ2年目であるが、今回は約90%の回答率を得て、前年の約70%に比し、各社から多くの統計資料の提供をいただいた。しかし、過給機の用途からみて、実際に提供いただいた統計資料でも、その一部には生産台数の公表を回避されている場合があり、特に翼車外径100mm以下の型式の生産台数について不明なものが多い。推定では少なくとも数十万台の生産に及ぶものとみられ、統計内容充実のため、今後の各社の協力をさらにお願ひして行きたい。

## 2. 1985年ガスタービン生産統計

- (1) 陸船用ガスタービンでは、小型(1,000PS未満)の国内向け非常用発電用を中心に台数が前年より12%増加した。しかし、大出力(30,000PS以上)の発電用のものが減少したため、全出力では前年より12%減少した。
- (2) 国内向け非常用発電用では、小型のもので燃料として重油1種を使用するものが増加している。
- (3) 国内向け大型発電用としては、複合サイクル発電用大出力ガスタービンが1台にとどまったため、出力も前年の半分以下になった。
- (4) 輸出向けガスタービンでは、北米向けが増加していると共に、中型(1,000PS以上

30,000PS未満)発電用のものが中東向けとアジア特に韓国向けとで増加している。

- (5) バンカーC焚きガスタービンが1台あるが、これはインド向けのもので、不純物の少い特殊燃料を使用している。
- (6) 航空用ガスタービンでは、ターボジェット/ターボファンエンジンは前年からほぼ横這いであり、ターボシャフト/ターボプロップエンジンは台数で前年より23%減少したが、出力で前年より23%増加した。これは、対潜哨戒機P-3C用T56エンジンの増加によるものである。
- (7) 5ヶ国共同開発の民間航空機用ターボファンエンジンV2500の試作機用ファン部(日本担当部分)2台分が、1985年10月の初号機にはじまり、日本航空機エンジン協会から出荷された。なお、これはエンジン組立でないため、生産統計には加えていない。

## 3. 1985年過給機生産統計

- (1) 資料提供社数が前年の9社から12社に増えたため、型式数は36%増加した。
- (2) 翼車外径100mmを越す過給機の台数は、前年より14%減少した。

- 
- |         |                |
|---------|----------------|
| (1) 委員長 | 青木 千明(石川島播磨重工) |
| 委員      | 石川 庄一(日立製作所)   |
|         | 臼井 俊一(日本鋼管)    |
|         | 内田 晴記(川崎重工)    |
|         | 渋谷 剛(石川島播磨重工)  |
|         | 三賢 憲治(三菱重工)    |
|         | 村尾 麟一(青山学院大)   |
|         | 吉識 晴夫(東大生研)    |
|         | 青木 庸治(新潟鉄工)    |
|         | 岡崎洋一郎(三菱重工)    |
|         | 綿貫 一男(石川島播磨重工) |

(昭和61年5月10日原稿受付)

(3) 型式数のうち、約 1/3は翼車外径 100 mm 以下のものである。しかし、この区分に入る過給機の生産台数は、少くとも数十万台はある

と推定され、台数ではこの区分のものが大半を占めるものとみられる。

## II. 統 計

### 1. 最近 5 年間のガスタービン生産推移

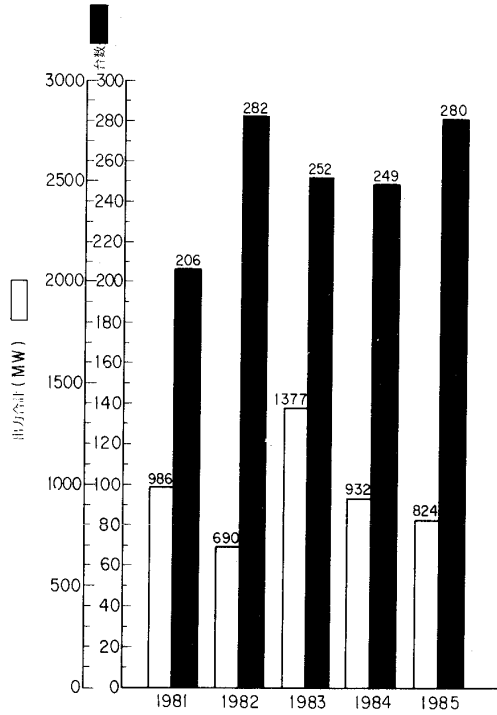


図 1 陸船用ガスタービン

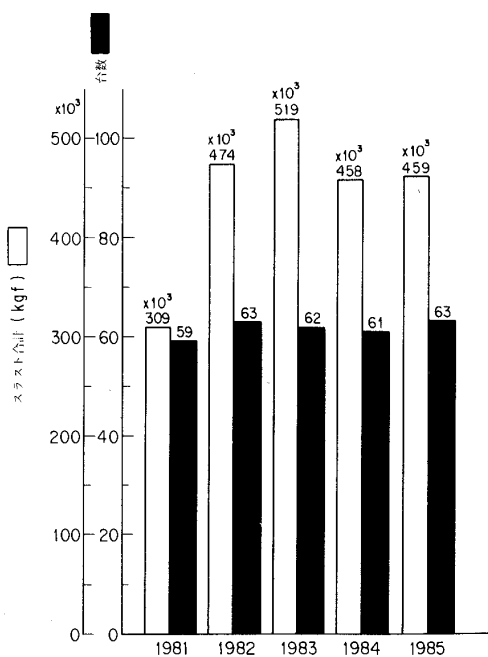


図 2 ターボジェット / ターボファンエンジン

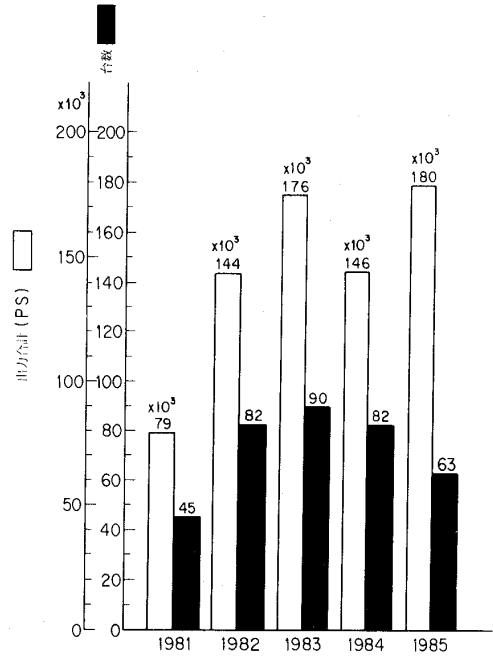


図 3 ターボシャフト / ターボプロップエンジン

#### 〔 備 考 〕

- (1) 暦年（1～12月）に納入されたガスタービンまたは過給機を対象とした。
- (2) 出力及びスラストの基準状態は、入口空気条件を圧力 1.013 bar（760 mm Hg），温度 15℃とした。
- (3) 出力は、陸船用ガスタービンでは常用出力で、ターボジェット / ターボファンエンジンでは海面上静止最大スラストで、ターボシャフト / ターボプロップエンジンでは海面上静止常用出力で集計した。
- (4) メートル馬力 (PS)，英馬力 (HP) とキロワット (kW) との間の換算は下記によった。  
 $1 \text{ PS} = 0.7355 \text{ kW}$   
 $1 \text{ HP} = 0.7457 \text{ kW}$   
 $= 1.0139 \text{ PS}$
- (5) 1981～1983年の統計については、国産ガスタービン資料集〔1984年版〕のデータによった。（資料集作成時の見直しにより、この分については、1984年6月号会誌に掲載した統計から一部修正されたものがある。）
- (6) 各統計表の間で、四捨五入により最小桁が異なっているものもある。

2. 陸船用ガスタービン

表1 1985年用途別生産台数及び出力(kW)

区 分		1,000PS未満		1,000PS以上 30,000PS未満		30,000PS以上		全出力	
		台数	出力	台数	出力	台数	出力	台数	出力
ベースロード発電用	BL	3	1,839	20	102,164	10	414,650	33	518,653
ピークロード発電用	PL	2	1,324	1	750	0	0	3	2,074
非常用発電用	EM	176	66,837	56	87,622	0	0	232	154,459
艦艇用	MM	0	0	12	149,160	0	0	12	149,160
合 計		181	70,000	89	339,696	10	414,650	280	824,346

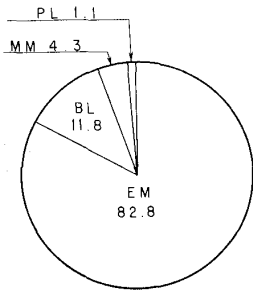


図4 1985年用途別台数割合 (%)

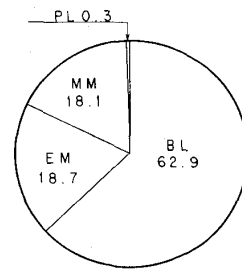


図5 1985年用途別出力割合 (%)

表2 1985年燃料別生産台数及び出力(kW)

燃料別		1,000PS未満		1,000PS以上 30,000PS未満		30,000PS以上		全出力		
		台数	出力	台数	出力	台数	出力	台数	出力	
ガス燃料	液化天然ガス	LNG	0	0	1	1,815	1	111,850	2	113,665
	天然ガス	GNG	3	1,839	10	60,729	5	143,400	18	205,968
	石油プラントオフガス	GOG	0	0	2	15,470	0	0	2	15,470
	炭坑ガス	GMG	0	0	1	14,700	0	0	1	14,700
	小 計		3	1,839	14	92,714	6	255,250	23	349,803
液体燃料	灯油	T	39	12,371	13	29,206	0	0	52	41,577
	軽油	K	28	8,373	30	174,990	4	159,400	62	342,763
	重油1種	H1	111	47,417	31	38,876	0	0	142	86,293
	バンカーC	HBC	0	0	1	3,910	0	0	1	3,910
	小 計		178	68,161	75	246,982	4	159,400	257	474,543
ガス/液体燃料		0	0	0	0	0	0	0	0	
固体燃料		0	0	0	0	0	0	0	0	
合 計		181	70,000	89	339,696	10	414,650	280	824,346	

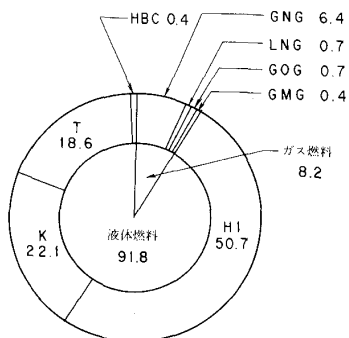


図6 1985年燃料別台数割合 (%)

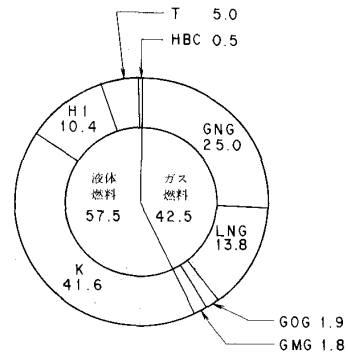


図7 1985年燃料別出力割合 (%)

表3 1985年地域別納入台数及び出力(kW)

区分		1,000PS 未満		1,000PS 以上 30,000PS 未満		30,000PS 以上		全出力	
		台数	出力	台数	出力	台数	出力	台数	出力
国内向け	北海道	4	868	0	0	0	0	4	868
	東北	23	9,076	1	925	0	0	24	10,001
	関東	41	15,703	24	58,123	1	111,850	66	185,676
	中部	33	13,151	4	5,345	0	0	37	18,496
	近畿	35	14,849	8	9,047	0	0	43	23,896
	中国	7	2,663	3	3,126	0	0	10	5,789
	四国	8	2,339	0	0	0	0	8	2,339
	九州	17	6,332	6	7,601	0	0	23	13,933
	沖縄	4	1,809	1	800	0	0	5	2,609
	船用主機	0	0	12	149,160	0	0	12	149,160
	船用補機	0	0	3	3,530	0	0	3	3,530
	小計	172	66,790	62	237,657	1	111,850	235	416,297
	輸出向け	北米	2	47	7	10,297	1	35,200	10
中南米		0	0	0	0	0	0	0	0
アジア		4	1,324	11	60,550	2	48,000	17	109,874
大洋州		0	0	1	14,700	0	0	1	14,700
欧州		3	1,839	1	1,177	1	35,200	5	38,216
ソ連		0	0	0	0	0	0	0	0
中東		0	0	5	8,284	4	159,400	9	167,684
アフリカ		0	0	2	7,031	1	25,000	3	32,031
小計	9	3,210	27	102,039	9	302,800	45	408,049	
合計	181	70,000	89	339,696	10	414,650	280	824,346	

表4 1985年被駆動機械別生産台数及び出力(kW)

区分		1,000PS 未満		1,000PS 以上 30,000PS 未満		30,000PS 以上		全出力	
		台数	出力	台数	出力	台数	出力	台数	出力
被駆動機械	コード	台数	出力	台数	出力	台数	出力	台数	出力
発電機	G	181	70,000	77	190,537	10	414,650	268	675,187
軸出力	SP	0	0	12	149,159	0	0	12	149,159
合計		181	70,000	89	339,696	10	414,650	280	824,346

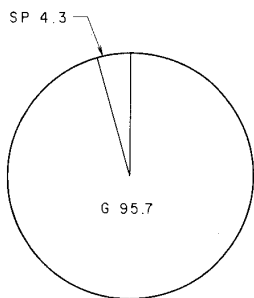


図8 1985年被駆動機械別台数割合 (%)

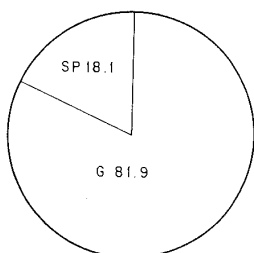


図9 1985年被駆動機械別出力割合 (%)

表5 1985年出力区分別生産台数及び出力(kW)

出力区分 (PS)		台数	出力
1,000PS 未満	0 ~ 199	2	47
	200 ~ 499	82	19,388
	500 ~ 999	97	50,565
小計		181	70,000
1,000PS 以上	1,000 ~ 5,999	75	121,461
	6,000 ~ 13,999	3	19,460
	14,000 ~ 21,999	3	39,870
30,000PS 未満	22,000 ~ 29,999	8	158,905
	小計	89	339,696
30,000PS 以上	30,000 ~ 59,999	9	302,800
	60,000 ~	1	111,850
小計		10	414,650
合計		280	824,346

表6 1985年発電用ガスタービン用途別生産台数及び出力(kW)

発電用途別		区 分 用 途	1,000PS未満		1,000PS以上 30,000PS未満		30,000PS以上		全 出 力	
			台数	出 力	台数	出 力	台数	出 力	台数	出 力
国内 事業用	ベースロード発電用	BL	0	0	0	0	1	111,850	1	111,850
	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
	小 計			0	0	0	0	1	111,850	1
国内 自家用	ベースロード発電用	BL	0	0	5	17,777	0	0	5	17,777
	ピークロード発電用	PL	2	1,324	1	750	0	0	3	2,074
	非常用発電用	EM	170	65,466	44	69,970	0	0	214	135,436
	小 計			172	66,790	50	88,497	0	0	222
国内 合 計			172	66,790	50	88,497	1	111,850	223	267,137
輸出 事業用	ベースロード発電用	BL	0	0	2	13,900	4	159,400	6	173,300
	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
	小 計			0	0	2	13,900	4	159,400	6
輸出 自家用	ベースロード発電用	BL	3	1,839	13	70,487	5	143,400	21	215,726
	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	6	1,371	12	17,652	0	0	18	19,023
	小 計			9	3,210	25	88,139	5	143,400	39
輸 出 合 計			9	3,210	27	102,039	9	302,800	45	408,049
事 業 用	ベースロード発電用	BL	0	0	2	13,900	5	271,250	7	285,150
	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
	合 計			0	0	2	13,900	5	271,250	7
自 家 用	ベースロード発電用	BL	3	1,839	18	88,264	5	143,400	26	233,503
	ピークロード発電用	PL	2	1,324	1	750	0	0	3	2,074
	非常用発電用	EM	176	66,837	56	87,622	0	0	232	154,459
	合 計			181	70,000	75	176,636	5	143,400	261
総 計			181	70,000	77	190,536	10	414,650	268	675,186

3. 航空用ガスタービン

表7 1985年ターボジェット/ターボファンエンジン  
生産台数及びスラスト(kgf)

生産台数	63	スラスト合計 <sup>*1</sup>	458,750
------	----	----------------------	---------

\*1 海面上静止最大スラスト

表8 1985年ターボシャフト/ターボプロップエンジン  
生産台数及び出力(PS)

区分	1,000PS未満		1,000PS以上		全出力	
	台数	出力 <sup>*2</sup>	台数	出力 <sup>*2</sup>	台数	出力 <sup>*2</sup>
固定翼機用	0	0	31	137,206	31	137,206
ヘリコプタ用	0	0	32	42,677	32	42,677
補助機関駆動	0	0	0	0	0	0
合計	0	0	63	179,883	63	179,883

\*2 海面上静止常用出力

4. 過給機

表9 1985年過給機生産台数及び型式数

区分	台数	型式数	
圧縮機翼車外径(mm)	0~100	不明	48
	~200	2,451	21
	~300	1,234	13
	~400	674	16
	~500	98	11
	~600	212	12
	~700	169	13
	~800	1	3
	~900	65	8
~1000	0	1	
合計	4,904 <sup>*4</sup>	146 <sup>*3</sup>	
資料提供社数	12社		

\*3 形式はいずれも排気タービン式である。

\*4 一部不明分を除く。

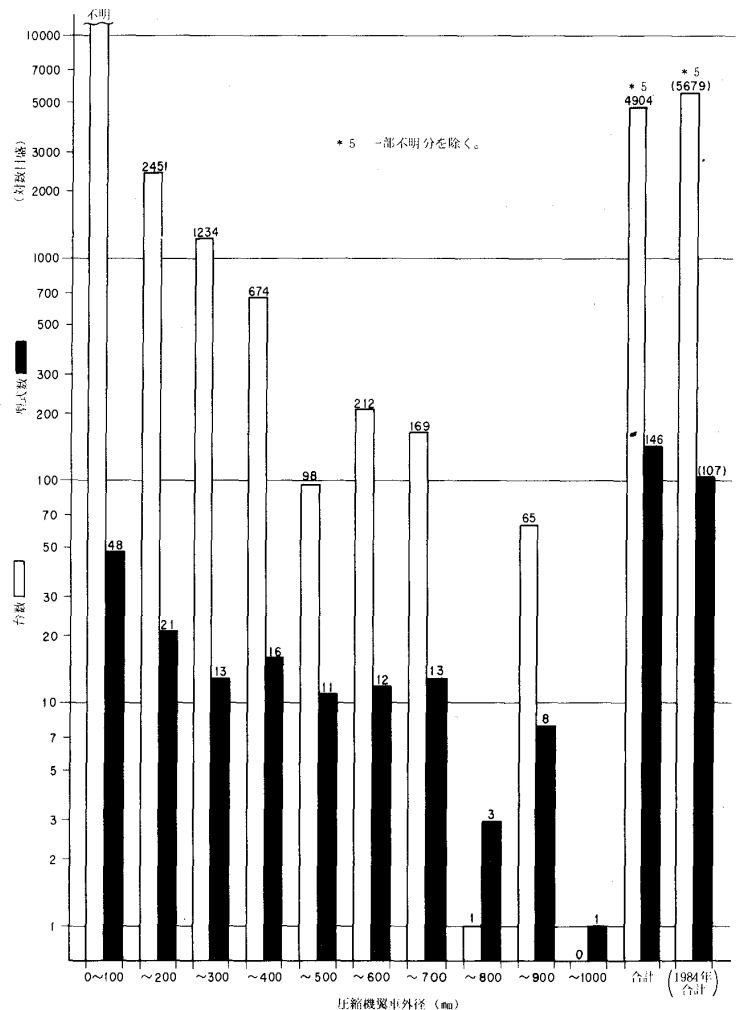
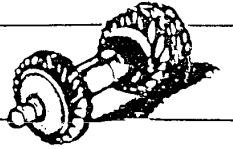


図10 1985年過給機生産台数及び型式数



## (社) 日本ガスタービン学会 評議員会・総会報告

去る4月25日(金)、本学会の評議員会および通常総会が東京、機械振興会館において開催された。

まず、第10期第2回評議員会は10時30分より開かれ、評議員の互選により松本正勝君が議長となり、議事が進められた。第10期会長の谷村輝治君による開会挨拶に引き続き、最初に出席12名、委任状提出49名で同評議員が成立することが宣言されたのち、以下の議案につき審議が行われ、いずれも承認された。すなわち、第10期事業報告、第10期収支決算報告の各案を総会にはかることが認められた。同上の決算案については須之部量寛、矢野巍両監事による監査結果が須之部監事より報告された。次いで、会員入会資格に関する細則第3条などについての改正案が審議され、原案通り、承認された。さらに名誉会員推薦案など総会にはかることが承認された。

第11期第1回評議員会が、11時20分より同会場で開催され、第11期評議員である松本正勝君を議長に選任、議事が進められた。まず、出席12名、委任状提出者41名で評議員会が成立することが宣言されたのち、以下の議案の審議が行われ、いずれも承認された。すなわち、第11期役員、第11期評議員、監事選挙結果報告、第11期事業計画、第11期予算などの諸案を総会にはかることになった。

同日、13時より第11期通常総会が機械振興会館地下2階ホールで開催された。すなわち、第10期谷村輝治会長の開会挨拶のあと、同君を総会議長に選出し、議事が進められた。同総会への出席36名、委任状提出者360名(会員数1,340名の $\frac{1}{3}$ 以上)で同総会成立が宣言されたのち、以下の議案の審議が行われた。すなわち、第10期事業報告、第10期収支決算報告につき、田中英穂総務(主担当)理事および久保田道雄総務(財務担当)理事(第10期)より説明があり、承認された。収支決算については須之部、矢野両監事による監査結果として適正であるむね矢野監事より報告された。次いで第10期第2回評議員会で承認された上記細則改正について報告された。

後半は第11期に関する諸件の審議が行われた。まず、第11期役員選出の件では別掲どおり議決された。なお、第11期評議員・監事選挙結果もあわせて報告された。次いで入江正彦君および須之部量寛君を名誉会員とすることが承認された。

以上により第11期会長に佐藤豪君が選出され、第10期谷村会長の退任の挨拶に引き続き、就任の挨拶がのべられた。ここで谷村議長に代り、佐藤新会長が議長となり以下の議事が進められた。総会の成立につき再確認が行われ、第11期事業計画、第11期予算に関し田中英穂総務(主担当)理事および中西健一総務(財務担当)理事(いずれも第11期)より説明があり、別掲どおり承認された。

引き続き議事録署名者の件がはかられ、最後に田中総務理事より稲葉興作副会長代理として閉会の挨拶が述べられ、総会を終了した。

総会に続いて、名誉会員推薦状及び学会賞授与式が行われた。

まず、上記入江正彦および須之部量寛両君に対し、第10期谷村会長より推薦状と記念品が贈呈され、これに応じて両君より挨拶が述べられた。次に、日本ガスタービン学会賞授与式に移ったが、初めに同賞の審査経過が窪田審査委員長より報告された。次いで、航空宇宙技術研究所の小林紘君の「遷音速流の中で振動する圧縮機環状翼列の非定常空力特性」へ論文賞が、また、日産自動車㈱の山崎慎一、川崎肇、渡辺亜夫、片山薫、川瀬道彦君らによる「自動車用ターボチャージャのタービンロータへのセラミックス適用技術の開発」に技術賞がそれぞれ授与された。

### 第10期(昭和60年度)事業報告

#### 1. 役員に関する事項

##### 1.1 役員・評議員

##### 1.2 監事・評議員の選出

第10期評議員・監事の選出は定款第15条、第16条、細則第19条、第21条、

第22条、第23条、第24条、第25条により選出した。

#### 2. 会務処理に関する各種会合

##### 2.1 理事会

会長・副会長他18名(内、総務担当5名、企画担当6名、編集担当7名)、開催9回。

会議事項：第10期総会報告、第10期評議員会報告、第10期諸事業実施もなう業務、第10期事業報告案、同決算案、第11期総会議案、第11期評議員会議案、同事業計画案、同予算案など。

##### 2.2 評議員会

評議員69名、開催2回〔内訳：第10期第1回評議員会(出席17名、委任状提出者45名)(60.4.26)、第10期第2回評議員会(61.4.25)〕

会議事項：第10期役員案、第10期事業計画案、同予算案、第10期事業報告案、同決算案細則変更などの件の審議、承認。

##### 2.3 総会

正会員全員、開催1回〔内訳：第10期通常総会(出席33名、委任状提出者534名(会員数1,317名の $\frac{1}{3}$ 以上))(60.4.26)〕

会議事項：第10期役員、評議員選出、第10期事業計画、同予算、第9期事業報告、同決算などの件の審議、承認。

##### 2.4 部門別理事・委員会

###### 1) 総務

主担当理事 田中英穂 他12名 開催8回

###### 2) 企画

主担当理事 鳥崎忠雄 他13名 開催7回

###### 3) 編集

主担当理事 葉山真治 他18名 開催8回

##### 2.5 選挙管理委員会

委員長 円城寺 一 他6名 開催3回

#### 3. 調査研究事業

##### 3.1 ガスタービン統計作成委員会

委員長 青木千明 他10名 開催2回

会議事項：わが国ガスタービン及び過給機生産に関する統計資料の蒐集および集計。

##### 3.2 ガスタービン技術情報センター運営委員会

委員長 高原北雄 他5名 開催2回

会議事項：同センター運営および整理その他資料蒐集。

##### 3.3 組織検討委員会

委員長 田中英穂 他11名 開催5回

会議事項：前期審議事項の整理及び今後の方針の検討。

##### 3.4 地方委員会

委員長 沢田照夫 他9名 開催1回

会議事項：地方における見学会、技術懇談会の企画実施、地方行事に関する打合せ。

##### 3.5 調査研究委員会

委員長 須之部量寛 他9名 開催回

会議事項：燃焼ガスの物性値に関する資料の蒐集及び整理。

##### 3.6 定期講演会委員会

委員長 葉山真治 他5名 開催2回

会議事項：第14回定期講演会の企画、次第書作成。

##### 3.7 学会賞審査委員会

委員長 窪田雅男 他12名 開催3回

会議事項：学会賞該当論文及び技術の審査。

##### 3.8 次期国際会議検討委員会

委員長 松本正勝 他19名 開催1回



会議事項：次期国際会議開催に関する検討及びその準備。

3.9 秋季大会鹿児島地区講演会

委員長 平山直道 他6名 開催3回

会議事項：秋季大会講演会の準備および実施。

4. 集會事業

特別講演会1回, 定期講演会1回, 秋季講演会1回, 技術懇談会4回, 見学会4回, ガスタービンセミナー1回, シンポジウム1回, 特別講座1回。

Table with 5 columns: No., Name, Speaker, Date, Location. Lists various conferences and seminars.

5. 出版事業

5.1 会誌

本期発行した会誌は、13巻49号(1985-6)、13巻50号(1985-9)、13巻51号(1985-12)、13巻52号(1986-3)で本文総ページ340、うち報告、行事内容、会告、後記など44ページである。

内容は下表のとおりである。(数字はページ数、括弧内は編数)

Table with 10 columns: Issue No., Tech Paper, Article, Interview, etc. Shows page counts and numbers of articles.

5.2 Gas Turbine Newsletter

ASME Gas Turbine Division より発行されている同誌を同部門の了解のもとに4回にわたり複写配布した。

- 1985-4 pp. 1-4
1985-8 pp. 1-4
1985-11 pp. 1-4
1986-2 pp. 1-4

5.3 日本ガスタービン学会講演論文集

第13回定期講演会の講演論文集(168ページ)を発行した。

5.4 日本ガスタービン学会秋季大会鹿児島地区講演会講演論文集

秋季大会の講演論文集(114ページ)を発行した。

5.5 ガスタービンセミナー資料集

第14回ガスタービンセミナーのセミナー資料集(75ページ)を発行した。

6. 表彰事業

通常総会において学会賞の授与を行うべく審査を行った。

7. 会員数の異動状況

Table with 4 columns: Summary, Regular Members, Student Members, Associate Members. Shows membership changes.

第10期(昭和60年度)収支決算

1. 収支計算書総括表

自 昭和60年4月1日 至 昭和61年3月31日

1.1 収入の部

Income Statement Table with 4 columns: Item, Total, General Account, International Conference Special Account.

1.2 支出の部

Expense Statement Table with 4 columns: Item, Total, General Account, International Conference Special Account.

2. 貸借対照表総括表

(昭和61年3月31日現在)

2.1 資産の部

Assets Statement Table with 4 columns: Item, Total, General Account, International Conference Special Account.

2.2 負債の部

Liabilities Statement Table with 4 columns: Item, Total, General Account, International Conference Special Account.

2.3 正味財産の部

Net Assets Statement Table with 4 columns: Item, Total, General Account, International Conference Special Account.

3. 一般会計の部

3.1 収支計算の部

1) 収入の部

自 昭和60年4月1日 至 昭和61年3月31日

Detailed Income Statement Table with multiple columns: Major/Minor Items, Budget, Actual, etc.

2) 支出の部

Table with columns: 勘定科目, 大科目, 中科目, 小科目, 予算額, 決算額, 差異, 備考. It lists various expenses such as salaries, travel, and administrative costs.

3.2 正味財産増減計算の部

1) 増加の部

Table showing asset increase details: 勘定科目, 大科目, 中科目, 決算額, 備考. Includes items like '基本財産受入額' and '前期繰越増減差額'.

2) 減少の部

Table showing asset decrease details: 勘定科目, 大科目, 中科目, 決算額, 備考. Includes items like '備品償却額' and '減少額合計'.

(注) 留守番電話及び宛名印刷機評価価値喪失のため

3.3 貸借対照表

(昭和61年3月31日現在)

Balance Sheet table with columns: (資産の部), (負債の部), (正味財産の部), and amounts. Includes sections for '流動資産', '固定資産', '流動負債', and '固定負債'.

注1: 基金たる資産

4. 国際会議特別会計の部

4.1 収支計算の部

1) 収入の部

自 昭和60年4月 1日  
至 昭和61年3月31日

勘定科目			予算額	決算額	差異	備考
大科目	中科目	小科目				
雑収入	受取利息		800,000円	1,131,496円	△ 331,496円	
		普通預金利息	600,000	769,765	△ 169,765	
			600,000	769,765	△ 169,765	
雑収入	雑収入		200,000	361,731	△ 161,731	
			200,000	361,731	△ 161,731	
前期繰越収支差額	前期繰越収支差額		14,171,038	14,171,038	0	
次期繰越収支差額	次期繰越収支差額		14,171,038	14,171,038	0	
収入合計			14,971,038	15,302,534	△ 331,496	

2) 支出の部

勘定科目			予算額	決算額	差異	備考
大科目	中科目	小科目				
雑費	雑費		200,000円	133,060円	66,940円	
			200,000	133,060	66,940	
			200,000	133,060	66,940	
子備費	子備費		1,000,000	253,889	746,111	
			1,000,000	253,889	746,111	
			1,000,000	253,889	746,111	
支出合計			1,200,000	386,949	813,051	
次期繰越収支差額			13,771,038	14,915,585	△ 1,144,547	

4.2 正味財産増減計算の部

1) 増加の部

勘定科目		決算額	備考
大科目	中科目		
資産増加額		0円	
	備品増加額	0	
前期繰越増減差額		0	
	前期繰越増減差額	0	
増加額合計		0	

2) 減少の部

勘定科目		決算額	備考
大科目	中科目		
資産減少額		0円	
	備品償却額	0	
減少額合計		0	
次期繰越増減差額		0	
剰余金合計		14,915,585	

4.3 貸借対照表

(昭和61年3月31日現在)

(資産の部)		
I 流動資産		
1. 現金預金		14,915,585円
流動資産合計		14,915,585
II 固定資産		
1. 有形固定資産		0
有形固定資産合計		0
2. その他の固定資産		0
その他の固定資産合計		0
固定資産合計		0
資産の部合計		14,915,585
(負債の部)		
I 流動負債		0円
流動負債合計		0
II 固定負債		0
固定負債合計		0
負債の部合計		0
(正味財産の部)		
I 基金		0円
II 剰余金		
次期繰越収支差額		14,915,585
次期繰越増減差額		0
剰余金合計		14,915,585
正味財産合計		14,915,585
負債及び正味財産の部合計		14,915,585

5. 財産目録

(昭和61年3月31日現在)

(資産の部)

1. 銀行預金		
貸付信託	三井信託銀行新宿西口支店(注1)	600,000.00円
定期預金	三井信託銀行新宿西口支店(注1)	14,266
普通預金	三井信託銀行新宿西口支店(注2)	459,084
	第一勧業銀行西新宿支店(注2)	1,565,732
	第一勧業銀行西新宿支店(注3)	160,227
2. 振替貯金	西新宿七郵便局(注2)	8,000
3. 中期国債ファンド	野村証券(注2)	10,681,297
	野村証券(注3)	14,755,358
4. 権利金(注4)		512,000
計		34,155,964

(負債の部)

1. 預り金		461,006円
2. 退職給付引当金		4,200,000
計		4,661,006
差引正味財産		29,494,958

(注1) 基本財産たる資産

(注2) 一般会計運用財産たる資産

退職給付引当金たる資産(420万円)

次期国際会議準備引当金たる資産(120万円)

(注3) 特別会計資産

(注4) 第3工新ビル4F402号室敷金

6. 預り金

(昭和61年3月31日現在)

科目	金額	預り金の種類
前受会費	429,200円	61年度会費
雇用保険料	31,806	60年度雇用保険料
合計	461,006	

監査の結果、ここに報告された決算報告書は、適正に表示していることを認める。

監事 須之部 量

矢野

第11期(昭和61年度)役員および評議員

(敬称略、五十音順)

理 事

- 会 長 佐藤 豪  
 副会長 稲葉興作  
 総 務 田中英穂(主担当)、一井博夫、大田英輔、加藤正敏、中西健一  
 企 画 平山直道(主担当)、大槻幸雄、沢田照夫、高原北雄、竹矢一雄、吉識晴夫  
 編 集 森下輝夫(主担当)、伊藤高根、岩井益美、表義則、谷田好通、大宮司久明、村島完治  
 評議員 青木千明、秋葉雅史、浅沼強、荒木達雄、有賀一郎、安藤常世、伊藤源嗣、飯島孝、飯田庸太郎、生井武文、井上雅弘、今井鉄、宇多小路豊、近江敏明、大島亮一郎、大塚新太郎、大橋秀雄、大山耕一、梶木康夫、岡崎卓郎、奥原巖、笈陽、梶岡次郎、甲藤好郎、河田修、久保田道雄、窪田雅男、神津正男、小竹進、佐藤玉太郎、佐藤友彦、佐野恵保、酒井俊道、塩入淳平、妹尾泰利、高田浩之、谷村篤秀、谷村輝治、辻村隆雄、豊倉富太郎、鳥崎忠雄、永野三郎、難波昌伸、西尾健二、能瀬弘幸、野村雅宣、葉山真治、浜中全美、平田賢、藤江邦男、古浜庄一、堀昭史、本間友博、松木正勝、松尾芳郎、水谷幸夫、水町長生、養田光弘、宮内諄二、宮地敏雄、三輪光砂、村尾麟一、村田暹、森康夫、矢野巍、吉開勝義

第11期（昭和61年度）事業計画書

自 昭和61年4月1日
至 昭和62年3月31日

1. 概 要

前年度に引続き、研究発表会、学術講演会、技術懇談会、見学会、シンポジウム、セミナー、特別講座などを開催すると共に学会誌の定期的刊行並びに上記諸事業に関連した事業を刊行する。

また、昭和61年次のわが国におけるガスタービン及び過給機の生産統計を作成すると共にガスタービンに関する資料を蒐集、保管し、会員の利用に供することを計画する。

調査研究委員会においては、ガスタービンに関する特定課題につき調査、研究を行う。

上記の他に翌年度実施予定の1987年国際ガスタービン東京大会の準備を引き続き行う。

2. 調査・研究事業

- (1) 昭和61年次におけるわが国のガスタービン及び過給機生産に関する統計資料を蒐集、集計し、その結果を学会誌に掲載発表する。
(2) 調査研究に関しては、前記に引き続き燃焼ガスの物性値に関する資料の蒐集及び整理を行う。

3. 出版事業

- (1) 定期刊行物
学会誌：年4回刊行する。
Newsletter：米国機械学会ガスタービン部門発行のNewsletterを配布する。
(2) 不定期刊行物
講演論文集：講演会における講演論文集を刊行する。
セミナー資料集：ガスタービンセミナーにおける資料集を刊行する。
Bulletin：学会の活動状況を海外に紹介するためのBulletin（英文）を刊行する。この費用の一部をまかなうために特別会計内に国際交流基金（500万円）を設立し、その果実を一般会計に繰り入れる。

4. 表彰事業

次回学会費の準備を行う。表彰事業の円滑な運用のため一般会計内に表彰事業基金（500万円）を設立する。

5. 集会事業

以下の集会を行う。
(予定回数) (予定開催年月)

- (1) 定期講演会 1回 昭和61年6月
(2) 秋季講演会（広島） 1回 61年11月
(3) 特別講演会 1回 61年4月
(4) 技術懇談会 3回 61年6月、10月、62年2月
(5) 見学会 3回 61年6月、10月、62年2月
(6) ガスタービン・シンポジウム 1回 61年10月
(7) ガスタービンセミナー 1回 62年1月
(8) 特別講座 1回 61年9月

6. 1987年国際ガスタービン会議開催準備

準備委員会の活動を継続し、昭和61年度中に組織委員会、実行委員会を発足させる。

7. 委員会活動

以下の委員会を設け、各事業の実施にあたる。

- (1) 総務委員会（常置）
(2) 編集委員会（常置）
(3) 企画委員会（常置）
(4) ガスタービン統計作成委員会（常置）
(5) 定期講演会委員会（常置）
(6) ガスタービン技術情報センター運営委員会（常置）
(7) 地方委員会（常置）
(8) 組織検討委員会（臨時）
(9) 秋季講演会準備委員会（臨時）
(10) 調査研究委員会（臨時）
(11) 学会賞審査委員会（臨時）

第11期（昭和61年度）予算書

1. 予算書総括表

自 昭和61年4月1日
至 昭和62年3月31日

1.1 収入の部

Table with 4 columns: 勘定科目, 合計, 一般会計, 国際会議特別会計. Rows include 基本財産運用収入, 会費収入, 入会金収入, etc.

1.2 支出の部

Table with 4 columns: 勘定科目, 合計, 一般会計, 国際会議特別会計. Rows include 管理費, 出版事業費, 集会事業費, etc.

2. 一般会計

2.1 収入の部

(自 昭和61年4月1日 至 昭和62年3月31日)

Large table with 7 columns: 勘定科目, 中科目, 小科目, 予算額, 前年度額, 増減, 備考. Rows include 基本財産運用収入, 事業収入, 出版事業収入, etc.

2.2 支出の部

勘定科目			予算額	前年度額	増減	備考
大科目	中科目	小科目				
管理費	給料手当		18191000円	12305000円	5886000円	
		給 手 当	7130000	6700000	430000	
		給 手 当	6930000	6600000	330000	
	退職給与引当金繰入額		400000	300000	100000	
		退職給与引当金繰入額	400000	300000	100000	
	福利厚生費		300000	300000	0	
		社会保険費	300000	300000	0	
	会議費		1100000	1000000	0	
		理事会費	400000	400000	0	
		評議員会費	100000	100000	0	
		委員会費	200000	100000	100000	
		委員会費	400000	400000	0	
	選挙費		300000	300000	0	
		評議員選挙費	300000	300000	0	
	旅費・交通費		550000	500000	50000	
		旅 交 通 費	250000	300000	△ 50000	
		旅 交 通 費	300000	200000	100000	
	什器・備品費		35000	35000	0	
		什 器 ・ 備 品 費	30000	30000	0	
		図 書 費	5000	5000	0	
	消耗品費		300000	250000	50000	
		消 耗 品 費	300000	250000	50000	
	印刷費		180000	180000	0	
		印 刷 費	180000	180000	0	
	通信運搬費		540000	540000	0	
通 信 運 搬 費		540000	540000	0		
貸借費		1866000	1710000	156000		
	事務所借出費	1716000	1560000	156000		
	光熱水料費	150000	150000	0		
諸謝金		35000	35000	0		
	諸 謝 金	35000	35000	0		
負担金		125000	125000	0		
	日 内 連 会 費	120000	120000	0		
	共 催 分 担 金	5000	5000	0		
雑費		330000	330000	0		
	雑 費	330000	330000	0		
表彰事業基金繰入額			5,000,000	0	5,000,000	
表彰事業基金繰入額			5,000,000	5,000,000	0	
出版事業費	会議費		4,400,000	4,290,000	110,000	
		編集委員会費	100,000	100,000	0	
	通信運搬費		350,000	350,000	0	
		会誌発送費	350,000	350,000	0	
	印刷製本費		3,500,000	3,390,000	110,000	
		会誌製作費	3,500,000	3,390,000	110,000	
諸謝金		450,000	450,000	0		
	会誌原稿料	450,000	450,000	0		
集会事業費	会議費		3,810,000	3,624,000	186,000	
		企画委員会費	100,000	150,000	△ 50,000	
		企画委員会費	100,000	150,000	△ 50,000	
	臨時雇賃金		20,000	20,000	0	
		定期講演会臨時雇賃金	20,000	20,000	0	
	旅費・交通費		120,000	220,000	△ 100,000	
		定期講演会旅費交通費	30,000	30,000	0	
		G/Tセミナー旅費交通費	30,000	30,000	0	
		特別講演会旅費交通費	60,000	160,000	△ 100,000	
		特別講演会旅費交通費	60,000	160,000	△ 100,000	
	通信運搬費		550,000	664,000	△ 114,000	
		特別講演会通信費	54,000	54,000	0	
		見学会技術懇話会通信費	162,000	162,000	0	
		シンポジウム通信費	54,000	54,000	0	
		定期講演会通信運搬費	60,000	60,000	0	
G/Tセミナー通信運搬費		130,000	130,000	0		
特別講演会通信運搬費	50,000	150,000	△ 100,000			
特別講演会通信運搬費	40,000	54,000	△ 14,000			
印刷製本費		580,000	590,000	△ 10,000		
	定期講演会印刷製本費	250,000	250,000	0		
	G/Tセミナー印刷製本費	180,000	180,000	0		
	特別講演会印刷製本費	150,000	160,000	△ 10,000		
	特別講演会印刷製本費	150,000	160,000	△ 10,000		
貸借料		500,000	510,000	△ 10,000		
	特別講演会会場費	30,000	30,000	0		
	シンポジウム会場費	30,000	30,000	0		
	定期講演会会場費	150,000	150,000	0		
	G/Tセミナー会場費	200,000	200,000	0		
	特別講演会会場費	49,000	49,000	0		
特別講演会会場費	50,000	60,000	△ 10,000			
諸謝金		636,000	646,000	△ 10,000		
	特別講演会謝礼	59,000	59,000	0		
	技術懇話会謝礼	67,000	67,000	0		
	シンポジウム謝礼	30,000	30,000	0		
	G/Tセミナー謝礼	250,000	250,000	0		
	特別講演会謝礼	180,000	180,000	0		
特別講演会謝礼	50,000	60,000	△ 10,000			
雑費		1,295,000	815,000	480,000		
	特別講演会雑費	40,000	40,000	0		
	見学会技術懇話会雑費	35,000	35,000	0		
	シンポジウム雑費	20,000	20,000	0		
	定期講演会雑費	300,000	200,000	100,000		
	G/Tセミナー雑費	100,000	100,000	0		

勘定科目			予算額	前年度額	増減	備考
大科目	中科目	小科目				
集金事業費	雑 費	特別講座雑費	200,000円	200,000円	0円	
		秋季講演会雑費	600,000	220,000	380,000	
調査研究事業費	合 議 費		268,000	318,000	△ 50,000	
		生産統計作成委員会費	168,000	218,000	△ 50,000	
		技術情報センター委員会費	30,000	80,000	△ 50,000	
		調査研究委員会費	28,000	28,000	0	
		調査研究委員会費	110,000	110,000	0	
	通 信 運 搬 費		25,000	25,000	0	
		生産統計発送費	20,000	20,000	0	
		技術情報センター通信費	5,000	5,000	0	
	資 料 費		5,000	5,000	0	
		技術情報センター資料費	5,000	5,000	0	
雑 費		70,000	70,000	0		
	生産統計関係雑費	10,000	10,000	0		
	技術情報センター関係雑費	20,000	20,000	0		
	調査研究関係雑費	40,000	40,000	0		
	調査研究関係雑費	40,000	40,000	0		
表彰事業費	委 員 会 費		215,000	550,000	△ 335,000	
		委員会費	200,000	100,000	△ 100,000	
	通 信 運 搬 費		15,000	50,000	△ 35,000	
		通信運搬費	15,000	50,000	△ 35,000	
雑 費		0	400,000	△ 400,000		
	雑 費	0	400,000	△ 400,000		
予備費	予 備 費		300,000	200,000	100,000	
			300,000	200,000	100,000	
			300,000	200,000	100,000	
次期繰越収支差額	次期繰越収支差額		4,726,107	2,768,537	1,957,570	
			4,726,107	2,768,537	1,957,570	
支 出 合 計			31,910,107	24,055,537	7,854,570	

3. 特別会計

3.1 収入の部

(自 昭和61年4月1日 至 昭和62年3月31日)

勘定科目			予算額	前年度額	増減	備考
大科目	中科目	小科目				
雑収入	受 取 利 息		460,000円	800,000円	△ 340,000円	
		普通預金利息	360,000	600,000	△ 240,000	
		定期預金利息	60,000	600,000	△ 540,000	
	雑 収 入		100,000	200,000	△ 100,000	
		雑 収 入	100,000	200,000	△ 100,000	
前期繰越収支差額	前期繰越収支差額		14,915,585	14,171,038	744,547	
			14,915,585	14,171,038	744,547	
			14,915,585	14,171,038	744,547	
収 入 合 計			15,375,585	14,971,038	404,547	

3.2 支出の部

勘定科目			予算額	前年度額	増減	備考
大科目	中科目	小科目				
管理費	合 議 費		1,800,000円	2,000,000円	1,600,000円	
		会議費	500,000	0	500,000	
		会議費	500,000	0	500,000	
印 刷 費	印 刷 費		1,000,000	0	1,000,000	
		印刷費	1,000,000	0	1,000,000	
通 信 費	通 信 費		100,000	0	100,000	
		通信費	100,000	0	100,000	
雑 費	雑 費		200,000	200,000	0	
		雑費	200,000	200,000	0	
予備費	予 備 費		1,000,000	1,000,000	0	
			1,000,000	1,000,000	0	
			1,000,000	1,000,000	0	
支出金	支 出 金		3,800,000	0	3,800,000	報告書へ 支出
			3,800,000	0	3,800,000	
			3,800,000	0	3,800,000	
引当金	国 際 交 流 基 金 引 当 金		5,000,000	0	5,000,000	
			5,000,000	0	5,000,000	
			5,000,000	0	5,000,000	
次期繰越収支差額	次期繰越収支差額		3,775,585	13,771,038	△ 9,995,453	
			3,775,585	13,771,038	△ 9,995,453	
			3,775,585	13,771,038	△ 9,995,453	
支 出 合 計			15,375,585	14,971,038	404,547	

第 11 期 (昭和 61 年度) 監事・評議員・役員候補者選挙結果

先に行われた標記選挙結果は下記の通りである。

○監 事				(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												
1	一色尚次	日本大学	31	河田修	富士電機	65	平山直道	東京都立大学												
2	今井兼一郎	石川島播磨重工業	32	久保田道雄	日立製作所	66	藤江邦男	日立製作所												
○評議員・役員候補者																				
1	青木千明	石川島播磨重工業	33	窪田雅男	機械振興協会	67	古浜庄一	武蔵工業大学												
2	秋葉雅史	東芝	34	神津正男	防衛庁技術研究本部	68	堀昭史	電力中央研究所												
3	浅沼強	東海大学	35	小竹進	東京大学	69	本間友博	東芝												
4	荒木達雄	東芝	36	佐藤豪	慶応義塾大学	70	松木正勝	日本工業大学												
5	有賀一郎	慶応義塾大学	37	佐藤玉太郎	日本鋼管	71	松尾芳郎	日本航空												
6	安藤常世	慶応義塾大学	38	佐藤友彦	三菱重工業	72	水谷幸夫	大阪大学												
7	伊藤源嗣	日本航空機エンジン協会	39	佐野恵保	高効率ガスタービン技術研究組合	73	水町長生	千葉工業大学												
8	飯島孝	石川島防音工業	40	酒井俊道	東京理科大学	74	養田光弘	航空宇宙技術研究所												
9	飯田庸太郎	三菱重工業	41	沢田照夫	大阪府立大学	75	宮内諄二	三菱自動車工業												
10	生井武文	三亜大学	42	塩入淳平	法政大学	76	宮地敏雄	航空宇宙技術研究所												
11	一井博夫	東芝	43	鈴木那男	機械技術研究所	77	三輪光砂	日立造船												
12	稲葉興作	石川島播磨重工業	44	妹尾泰利	九州大学	78	村尾麟一	青山学院大学												
13	井上雅弘	九州大学	45	田中英穂	東海大学	79	村島完治	石川島播磨重工業												
14	今井鉄	高効率ガスタービン技術研究組合	46	大宮司久明	東北大学	80	村田 暹	豊田工業大学												
15	岩井益美	トヨタ自動車	47	高田浩之	東京大学	81	森 康夫	電気通信大学												
16	宇多小路豊	三菱重工業	48	竹矢一雄	高効率ガスタービン技術研究組合	82	森下輝夫	船舶技術研究所												
17	近江敏明	小松ハウメット	49	高原北雄	航空宇宙技術研究所	83	矢野 纈	三菱重工業												
18	大島亮一郎	日立製作所	50	谷田好通	東京大学	84	吉開勝義	高効率ガスタービン技術研究組合												
19	大田英輔	早稲田大学	51	谷村篤秀	川崎重工業	85	吉識晴夫	東京大学												
20	大塚新太郎	福井工業大学	52	谷村輝治	川崎重工業	次点者														
21	大槻幸雄	川崎重工業	53	辻村玄隆	三菱重工業	1	川上英彦	東芝												
22	大橋秀雄	東京大学	54	豊倉富太郎	横浜国立大学	2	永井康男	三菱重工業												
23	大山耕一	航空宇宙技術研究所	55	鳥崎忠雄	航空宇宙技術研究所	3	天野晋輔	防衛庁技術研究本部												
24	橋本康夫	茨城県工業技術センター	56	中西健一	三菱重工業	投票総数 649票 <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>評 議 員</th> <th>監 事</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>有効票</td> <td>641</td> <td>627</td> </tr> <tr> <td>無効票</td> <td>5</td> <td>8</td> </tr> <tr> <td>白 票</td> <td>3</td> <td>14</td> </tr> </tbody> </table>				評 議 員	監 事	有効票	641	627	無効票	5	8	白 票	3	14
	評 議 員	監 事																		
有効票	641	627																		
無効票	5	8																		
白 票	3	14																		
25	岡崎卓郎	日本大学	57	永野三郎	東京大学															
26	奥原 巖	東芝	58	難波昌伸	九州大学															
27	寛 陽	防衛庁技術研究本部	59	西尾健二	航空宇宙技術研究所															
28	梶 昭次郎	東京大学	60	能瀬弘幸	航空宇宙技術研究所															
29	甲藤好郎	日本大学	61	野村雅宣	船舶技術研究所															
30	加藤正敏	日立製作所	62	葉山真治	東京大学															
			63	浜中全美	石川島播磨重工業															
			64	平田 賢	東京大学															

上記評議員当選者中、一井博夫、稲葉興作、岩井益美、大田英輔、大槻幸雄、加藤正敏、佐藤豪、沢田照夫、田中英穂、大宮司久明、竹矢一雄、高原北雄、谷田好通、中西健一、平山直道、村島完治、森下輝夫、吉識晴夫の各氏は先の通常総会で第 11 期理事に選任されましたので評議員を辞退されました。



第10期編集委員会もこの6月号の企画をもって最後の仕事を終ることになる。何時の頃からか、6月号は「特集号」と言う性格付けがなされており、今回もその線にそって昨年10月頃より企画の検討が始まった。前回は「コンバインドサイクルとコジェネレーション」特集と、大型をやったので「小型にしよう」、「いやターボチャージャが良い」、「いや小型は集まらないぞ」等々の意見が飛びかい、結局「非常用ガスタービン特集」に決まったのは1月末であったかと思う。ガスタービンの軽量小型、起動性、信頼性等の特徴を活かし、いざというときの助人としても着実に需要をのばしている姿をユーザーおよびメーカーの両方の立場から御紹介して見ようと試みたものである。紙面の都合上、ビル用、コンピュータセンタ用、上下水道用、機械駆動用と4つに分けてみたが、かならずしも適当

な分け方ではなかったかも知れない。

今月号から「流れの可視化」の技術について小林敏雄氏に講義をお願いした。近年コンピュータの発達により計測からデータ処理に至るまで何から何までコンピュータにたよりきって物理現象をあまり見ないという傾向が、特に若い技術者、研究者に見られるとの声を聞く。複雑な流れの現象を我が目でしっかりと観察し、新しい発想を生み出すきっかけにでもなれば望外の喜びである。

この6月号がお手元に届くころは、次期の新しい編集委員の諸氏がまた新しい観点から編集企画に頭をひねっていることと思う。この1年間大過なく、合計300余頁の編集を終えることができたのも、御多忙中にもかかわらず執筆の労を心よくお引き受けいただいた方々をはじめ、会員の皆様々の御理解、御協力によるものと心より御礼申し上げます。（伊藤高根）



### 〈事務局だより〉

東京は本格的な梅雨入りの前に菜種梅雨に悩まされ、なかなか五月晴れのさわやかなお天気恵まれない毎日です。

新しい年度を無事迎え、また学会活動の中心の行事がはじまりつつあります。恒例の定期講演会を筆頭に今月末の東京電力富津火力発電所の見学会、9月には一泊の特別講座、10月には関西地区の見学会、11月末には秋季大会講演会（今年は広島です）があり、その間にはシンポジウムも開催される予定です。次から次へと行事が企画されておりますが、前からお願い申し上げますようにどうぞ参加要領にのっとってお申し込み、参加費の入金等お願い致します。特に参加費の入金につきましては、銀行に会社名でポンと振込なさいませても、当方ではそれに該当するものが何なのか、どなたの何の会費なのかを調べるのに大変手間どります。特に今年のように正会員の年会費と定期講演会の参加登録費が同じ場合などずい分混乱致しました。ですから振込まれる時は個人名を入れて下さるか、又は何らかの都合でいられない時は電話なり、ハガキなりでご一報下さい。それによってどんなに事務がスムーズに行くかしれません。何分人手不足の小さな学会ですので、是非ご協力お願い致します。

又、今頃は移動も多い時で、お出した郵便物が戻って来ることがありますので住所変更、所属変更なども速みやかにご連絡下さいますように。

お願いばかりになってしまいましたが、当学会の事務運営を少しでもスムーズに手際よく進めるためにも皆様のご協力が必要ですので、どうぞよろしくお願い申し上げます。

〔A〕



第10期編集委員会もこの6月号の企画をもって最後の仕事を終ることになる。何時の頃からか、6月号は「特集号」と言う性格付けがなされており、今回もその線にそって昨年10月頃より企画の検討が始まった。前回は「コンバインドサイクルとコジェネレーション」特集と、大型をやったので「小型にしよう」、「いやターボチャージャが良い」、「いや小型は集まらないぞ」等々の意見が飛びかい、結局「非常用ガスタービン特集」に決まったのは1月末であったかと思う。ガスタービンの軽量小型、起動性、信頼性等の特徴を活かし、いざというときの助人としても着実に需要をのばしている姿をユーザーおよびメーカーの両方の立場から御紹介して見ようと試みたものである。紙面の都合上、ビル用、コンピュータセンタ用、上下水道用、機械駆動用と4つに分けてみたが、かならずしも適当

な分け方ではなかったかも知れない。

今月号から「流れの可視化」の技術について小林敏雄氏に講義をお願いした。近年コンピュータの発達により計測からデータ処理に至るまで何から何までコンピュータにたよりきって物理現象をあまり見ないという傾向が、特に若い技術者、研究者に見られるとの声を聞く。複雑な流れの現象を我が目でしっかりと観察し、新しい発想を生み出すきっかけにでもなれば望外の喜びである。

この6月号がお手元に届くころは、次期の新しい編集委員の諸氏がまた新しい観点から編集企画に頭をひねっていることと思う。この1年間大過なく、合計300余頁の編集を終えることができたのも、御多忙中にもかかわらず執筆の労を心よくお引き受けいただいた方々をはじめ、会員の皆様々の御理解、御協力によるものと心より御礼申し上げます。（伊藤高根）



### 〈 事 務 局 だ よ り 〉

東京は本格的な梅雨入りの前に菜種梅雨に悩まされ、なかなか五月晴れのさわやかなお天気恵まれない毎日です。

新しい年度を無事迎え、また学会活動の中心の行事がはじまりつつあります。恒例の定期講演会を筆頭に今月末の東京電力富津火力発電所の見学会、9月には一泊の特別講座、10月には関西地区の見学会、11月末には秋季大会講演会（今年は広島です）があり、その間にはシンポジウムも開催される予定です。次から次へと行事が企画されておりますが、前からお願い申し上げますようにどうぞ参加要領にのっとってお申し込み、参加費の入金等お願い致します。特に参加費の入金につきましては、銀行に会社名でポンと振込なさいませても、当方ではそれに該当するものが何なのか、どなたの何の会費なのかを調べるのに大変手間どります。特に今年のように正会員の年会費と定期講演会の参加登録費が同じ場合などずい分混乱致しました。ですから振込まれる時は個人名を入れて下さるか、又は何らかの都合でいられない時は電話なり、ハガキなりでご一報下さい。それによってどんなに事務がスムーズに行くかしれません。何分人手不足の小さな学会ですので、是非ご協力お願い致します。

又、今頃は移動も多い時で、お出した郵便物が戻って来ることがありますので住所変更、所属変更なども速みやかにご連絡下さいますように。

お願いばかりになってしまいましたが、当学会の事務運営を少しでもスムーズに手際よく進めるためにも皆様のご協力が必要ですので、どうぞよろしくお願い申し上げます。

{ A }



## § 入 会 者 名 簿 §

### 正会員

小出俊輔（防衛庁） 川口達見，三浦千太郎（東京ガス） 杉山善幸（名古屋大）  
岡島 厚（金沢大） 浜崎和則（鹿児島大） 杉山勝彦（豊田中研） 岡野芳樹（川崎重工）  
浜野徹三（川崎重工） 富家純一郎（川崎重工） 林 重雄（日産） 岡村一男（日産）  
山根公高（日産） 石田 昇（日本特殊陶業） 久本 方（久本技術士事務所）  
後藤新一（機械研） 國尾 武（慶大） 有江幹男（北大） 尾本敏孝（大阪ガス）  
親川兼俊（日本自動車研） 金 栄吉（日本自動車研） 鈴木仁治（日本自動車研）  
堀 政彦（日本自動車研） 今井英幸（ダイハツ） 日下 巖（日立バブコック）

### 学生会員

水越 潮

### 賛助会員

マツダ(株) 帝人製機(株) (株)オリンパス 東亜燃料工業(株) 横河北辰電機(株)  
石川島防音工業(株)

## 死 去 会 員

正会員 鈴木邦男君 51才 工業技術院 機械技術研究所

昭和61年4月11日 逝去

ご遺族 我孫子市つくし野5-11-2

鈴木建子 殿

本会に関する記事

昭和51年4月入会

GTSJ第3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10期各評議員

謹しんで哀悼の意を表します。

## § 入 会 者 名 簿 §

### 正会員

小出俊輔（防衛庁） 川口達見，三浦千太郎（東京ガス） 杉山善幸（名古屋大）  
岡島 厚（金沢大） 浜崎和則（鹿児島大） 杉山勝彦（豊田中研） 岡野芳樹（川崎重工）  
浜野徹三（川崎重工） 富家純一郎（川崎重工） 林 重雄（日産） 岡村一男（日産）  
山根公高（日産） 石田 昇（日本特殊陶業） 久本 方（久本技術士事務所）  
後藤新一（機械研） 國尾 武（慶大） 有江幹男（北大） 尾本敏孝（大阪ガス）  
親川兼俊（日本自動車研） 金 栄吉（日本自動車研） 鈴木仁治（日本自動車研）  
堀 政彦（日本自動車研） 今井英幸（ダイハツ） 日下 巖（日立バブコック）

### 学生会員

水越 潮

### 賛助会員

マツダ(株) 帝人製機(株) (株)オリンパス 東亜燃料工業(株) 横河北辰電機(株)  
石川島防音工業(株)

## 死 去 会 員

正会員 鈴木邦男君 51才 工業技術院 機械技術研究所

昭和61年4月11日 逝去

ご遺族 我孫子市つくし野5-11-2

鈴木建子 殿

本会に関する記事

昭和51年4月入会

GTSJ第3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10期各評議員

謹しんで哀悼の意を表します。

## 第2回ガスタービン秋季講演会（広島）についてのご案内

{ 共催 日本ガスタービン学会（幹事学会） 日本機械学会 }

### 講演論文募集：

開催日 昭和61年11月27日（木）

会場 広島工業大学

講演論文の内容 (1) ガスタービン（すべての用途を含む）及び過給機並びにそれらの応用に関連する理論及び技術をあつかったものすべて。ガスタービンの本来のみならず補機・付属品，ガスタービンを含むシステム及びユーザー使用実績等も歓迎します。  
(2) 最近の研究で未発表のもの。一部既発表のものを含む場合は未発表部分が主体となるものに限ります。

講演者 講演者は，日本ガスタービン学会会員または日本機械学会会員とし，1名1題目を原則とします。

申込方法 (1) はがき大の用紙に「広島講演会講演申込み」と題記し下記事項を記入し，日本ガスタービン学会（〒160 東京都新宿区西新宿7～5～13第3工新ビル402）宛申し込んで下さい。  
a) 講演題目 b) 著者氏名（連名の場合は講演者に○印を付けて下さい）及び勤務先 c) 所属学会及び会員資格 d) 連絡者氏名，住所 e) 100～200字程度の概要  
(2) 講演申込み書と講演論文原稿に記載の講演題目，講演者及び連名者氏名は一致のこと。いずれも提出後の変更等は受け付けません。

申込締切 昭和61年8月15日（金）

講演論文の原稿 (1) 講演論文執筆用の原稿用紙を連絡者にお送りします。講演論文は1292字づつ原稿用紙4ページ以上6ページ以内とします。  
(2) 原稿提出期限 昭和61年10月20日（月）  
(3) 講演発表の採否は両学会に御一任願います。

技術論文等への投稿 (1) ガスタービン学会会員の講演発表は，ガスタービン学会誌に技術論文として投稿できます。  
(2) 機械学会会員（講演者）で日本機械学会の定期刊行物，論文集，Bulletin of the JSME に投稿希望の方は申込み用紙の写，2部を日本機械学会事業課（〒151 東京都渋谷区代々木2～4～6三信北星ビル内）宛お送り下さい。

### 見学会および参加申込など：

#### 見学会

月日 昭和61年11月28日（金）

見学会（予定） マツダ㈱（但し，同業者はご遠慮願います）

三菱重工業㈱広島製作所

（見学会参加費，その他詳細は会誌9月号参照）

#### 懇親会

月日 昭和61年11月27日（木）夕方

参加費 無料

講演会参加登録料 未定

参加予備申込 準備の都合上なるべく昭和61年8月15日（金）迄にお願い致します。

## ガスタービン特別講座（第3回）開催のお知らせ

日本のガスタービンの生産は現在、小型緊急発電用、コンバインドサイクル発電用、航空用エンジン等を中心に目覚ましい発展を遂げております。この機会にガスタービンの一層の躍進を目指して、下記のような特別講座を開催することになりました。

主な内容はガスタービンメーカー、ガスタービンユーザー、ガスタービンと競合するエンジンメーカーからの約10名ずつのパネリストによる全体討論会を行い、その後大型ガスタービン、小型ガスタービン、航空および航空転用ガスタービンの小グループに別れ、分野のパネル討論会を行う予定であります。また、翌日には分野別討論会を総括する全体討論会を行う予定であります。

テーマ： ガスタービンの新しい発展を探る

日時： 昭和61年9月26日（金）午後より  
27日（土）午後まで

場所： 湯河原厚生年金会館  
〒413 静岡県熱海市泉107  
0465-63-3721

参加登録料： 会 員 20,000円  
会 員 外 25,000円

宿泊料：（3食付き） 約7,000円

また交通費は各自ご負担ねがいます。

詳細は追ってご案内いたしますので、皆様の御参加をお願いします。

### 協賛シンポジウム

## 第7回日本熱物性シンポジウム 開催のご案内と講演募集

開催日 昭和61年10月22日（水）・23日（木）・24日（金）  
会場 通商産業省工業技術院、筑波研究センター貯蔵研究室  
〒305 茨城県筑波群谷田部町東1-1-4  
Tel 0298-54-2095

講演申し込み〆切 6月28日

申し込み先 〒305 茨城県新治群桜村梅園1-1-4  
電子技術総合研究所エネルギー貯蔵研究室  
第7回日本熱物性シンポジウム実行委員会  
Tel 0298-54-5402（小沢）

詳細は上記実行委員会へお問い合わせ下さい。

## ガスタービン特別講座（第3回）開催のお知らせ

日本のガスタービンの生産は現在、小型緊急発電用、コンバインドサイクル発電用、航空用エンジン等を中心に目覚ましい発展を遂げております。この機会にガスタービンの一層の躍進を目指して、下記のような特別講座を開催することになりました。

主な内容はガスタービンメーカー、ガスタービンユーザー、ガスタービンと競合するエンジンメーカーからの約10名ずつのパネリストによる全体討論会を行い、その後大型ガスタービン、小型ガスタービン、航空および航空転用ガスタービンの小グループに別れ、分野のパネル討論会を行う予定であります。また、翌日には分野別討論会を総括する全体討論会を行う予定であります。

テーマ： ガスタービンの新しい発展を探る

日時： 昭和61年9月26日（金）午後より  
27日（土）午後まで

場所： 湯河原厚生年金会館  
〒413 静岡県熱海市泉107  
0465-63-3721

参加登録料： 会 員 20,000円  
会 員 外 25,000円

宿泊料：（3食付き） 約7,000円

また交通費は各自ご負担ねがいます。

詳細は追ってご案内いたしますので、皆様の御参加をお願いします。

### 協賛シンポジウム

## 第7回日本熱物性シンポジウム 開催のご案内と講演募集

開催日 昭和61年10月22日（水）・23日（木）・24日（金）  
会場 通商産業省工業技術院、筑波研究センター貯蔵研究室  
〒305 茨城県筑波群谷田部町東1-1-4  
Tel 0298-54-2095

講演申し込み〆切 6月28日

申し込み先 〒305 茨城県新治群桜村梅園1-1-4  
電子技術総合研究所エネルギー貯蔵研究室  
第7回日本熱物性シンポジウム実行委員会  
Tel 0298-54-5402（小沢）

詳細は上記実行委員会へお問い合わせ下さい。

## 学 会 誌 編 集 規 定

1. 本学会誌の原稿は依頼原稿と会員の自由投稿原稿の2種類とする。依頼原稿とは本学会よりあるテーマについて特定の方に執筆を依頼した原稿、自由投稿原稿とは会員から自由に随時投稿された原稿である。
2. 原稿の内容は、ガスタービンおよび過給機に関連のある論説、解説、技術論文、速報（研究速報、技術速報）、寄書、随筆、見聞記、ニュース、新製品の紹介および書評などとする。
3. 原稿は都合により修正を依頼する場合がある。また、用済み後は執筆者に返却する。
4. 原稿用紙は、原則として本会指定の横書440字詰（22×20）を使用する。本原稿用紙4枚で刷上り約1頁となる。
5. 刷上り頁数は1編につき、図表を含めてそれぞれ次の通りとする。論説4～5頁、解説および技術論文6～8頁、見聞記、速報および寄書3～4頁、随筆2～3頁、ニュース、新製品紹介、書評等1頁以内。超過する場合は短縮を依頼することがある。技術論文については別に定める技術論文投稿規定による。
6. 依頼原稿には規定の原稿料を支払う。
7. 自由投稿原稿の採否は編集委員会で決定する。
8. 自由投稿原稿には原稿料は支払わない。
9. 原稿は下記宛に送付する。  
〒160 東京都新宿区西新宿7-5-13、  
第3工新ビル  
(社)日本ガスタービン学会事務局

## 技 術 論 文 投 稿 規 定

1. 本学会誌に技術論文として投稿する原稿は次の条件を満たすものであること。
  - 1) 投稿原稿は邦文で書かれた著書の原著で、ガスタービンおよび過給機の技術に関連するものであること。
  - 2) 投稿原稿は、一般に公表されている刊行物に未投稿のものに限る。ただし、要旨または抄録として発表されたものは差し支えない。
2. 投稿原稿の規定頁数は原則として図表を含めて刷上り8頁以内とする。ただし、1頁につき15,000円の著者負担で4頁以内の増頁をすることができる。
3. 投稿原稿は原稿執筆要領に従って執筆し、正原稿1部、副原稿（コピー）2部を提出する。
4. 投稿原稿の採否は技術論文校閲基準に基づいて校閲し、編集委員会で決定する。

日 本 ガ ス タ ー ビ ン 学 会 誌

第14巻 第53号

昭和61年 6月10日

編 集 者 森 下 輝 夫

発 行 者 佐 藤 豪

(社) 日本ガスタービン学会

〒160 東京都新宿区西新宿7-5-13

第3工新ビル

TEL (03) 365-0095

振替 東京7-179578

印刷所 日青工業株式会社

東京都港区西新橋2の5の10

TEL (03) 501-5151