

## J3からF3まで

神津 正男\*1  
KOZU Masao

## 1. まえがき

J3とは、昭和30年代初頭に、我国ではじめて開発量産されたジェットエンジンであり、航空自衛隊のパイロット養成のためのT1練習機に装着されている。更にこのエンジンは、すでに退役した海上自衛隊対潜哨戒機P2Jにも装着され、全部で約250基生産された。

J3の開発から約20年を経た昭和50年に、F3は試作を開始したが、今年4月にT2高等練習機のをうけて航空自衛隊のブルーインパルスとしてデビューしたT4練習機のエンジンとして用いられており、国産初の実用ターボファンエンジンとなったものである。

昭和30年に、当時の防衛庁技術研究所(現在の技術研究本部)に入所した私は、将に発足しようとしていたJ3エンジンの開発に参加し、主として運転試験の現場で開発完了まで約10有余年従事した。平成2年に技術研究本部を退職したが、この間の約30年間、航空ガスタービンの研究開発にたずさわって、最後の10年間はF3エンジンの開発に参画した。

したがって、私の技術研究本部勤務は、J3にはじまってF3で終わったとも言えるが、この間に対艦誘導弾用の超小型ジェットエンジンJ4(このエンジンは無人標的機のエンジンとしても用いられている)の研究開発、またいくつかのエンジン事故調査をはじめ、昭和51年には函館に亡命飛来したソ連のミグ25戦闘機のエンジン調査への参加など、我国のジェットエンジン戦後史の一面面を歩んで来たとも言えよう。

## 2. J3の時のこと

我国ではじめてジェット機が飛んだのは、太平洋戦争に敗れる約一週間前、昭和20年8月7日に木更津飛行場でのことであった。海軍の試作機「橘花」が高岡迪少佐の操縦によって試験飛行に成功したが、「橘花」に装着されていたネ20は、海軍の種子島時休大佐を中心にしたグループにより研究開発されたターボジェットエンジンであった。

敗戦後、連合軍によって禁止された我国の航空事業は昭和27年に再開の運びとなった。その機運のもり上る中

でJ3の開発がはじめられたが、10年間の空白をいかにとりもどすか、またこの間に飛躍的に進展した世界の技術レベルにいかについつき、追い越すかと言うきびしいスタートとなった。

昭和31年8月に、1号エンジンの初回運転が大宮富士重工の、ボイラー室を改造した運転場で行なわれた。恐らく、ガスタービンの初期の開発では誰もが経験したのではないかと想像されるあらゆる問題に遭遇しながら、それでも運転開始後半年の間に、計画出力(1200 kgf)をほぼ達成することが出来たが、この間に発生した主要な問題点は次のようなものであった。

- 圧縮機サージング
- エンジン振動
- ラビリンスシール機能不良
- 圧縮機-タービンマッチングの不良(タービン流量過少)
- 燃焼器ライナーの変形、亀裂
- 軸受破損
- 圧縮機/タービン静翼亀裂
- 燃料消費率(SFC)の過大

初号機の第1回運転から半年余経過し、上記問題点と取り組みながら、それでもようやく前途に希望が見えはじめた昭和32年3月に、防衛庁発注の2号機が、納入後はじめて12,000 RPMに達したとき、「ドン」と言う鈍い音を発して、約300枚の圧縮機動翼が1枚残らずロータから外れ、アルミの圧縮機ケースを突き破って飛散するという不具合が発生した。関係者の不眠不休の調査の結果、動翼のロータへの固定法が適切でないことがわかり、3ヶ月後の6月には対策も樹てられて運転試験が再開された。私の30年余にわたるガスタービンとの関わりの中で、これ程大きな事故には、其後2度とめぐり会うことはなかった。

J3は其後、空中試験、耐久試験、寒地試験など、実用化に向けての試験が行なわれたが、これらの試験中には前記問題点に加えて更に

- 空中再着火不能
- 圧縮機動翼の亀裂、切損
- タービン動翼の亀裂、切損
- 燃料管制装置の作動不安定

など発生したが、それでも昭和35年5月17日、J3を装

原稿受付 1996年6月14日

\*1 元防衛大学校講師 〒215 川崎市麻生区王禅寺 1581-24

着した T1 が宇都宮で初飛行に成功した。

### 3. F3 のこと

J3 の開発から F3 の開発開始まで、約 20 年の歳月が経過していた。したがってこの間の航空ガスタービンの技術の進歩には目覚ましいものがあった。J3 の圧縮機では亜音速翼列の設計であったが、F3 では遷音速翼列となり、段当り仕事も飛躍的に増大し、タービン入口温度も J3 では 800°C であったものが、F3 では 1000°C をこえた。この頃、F15 戦闘機用 F100 エンジンでは 1400°C にも達していた。

そのような技術的な進歩にもかかわらず、J3 の開発時に発生した、前節で述べたような問題点の多くが、F3 の開発時にも起った。とりわけ、エンジンの振動に関しては、開発初期の運転場における性能試験時に、圧縮機ロータ及びシャフトの締付方法に起因する過大振動が発生したばかりでなく、中盤における高空性能試験室(ATF)での試験においては、エンジン室内のガス流れによって惹き起される振動が問題となった。

私が 30 年にわたる試験現場の中で、J3 や F3 の開発のみでなく、多くのエンジン試験においてもっとも問題が多く、解決に困難をとまったのが振動である。振動には、エンジン本体に起因するものと、運転場の構造に因るものがあり、そのいずれであるかを見極めが非常に難しい。

幸いなことに、F3 の開発時には、J3 の 2 号機に発生したような、大きな破損事故は起らなかったが、それがこの 20 年間のもっとも大きな技術の進歩によるものだったのかも知れない。

### 4. 経験の尊さ

技術において経験が如何に重要であるかは、今更論をまつまでもない。しかし J3 から F3 に至る間に、私が特につよく「経験」の意義として感じた 2 つのことがある。その一つは、さきに述べたように、J3 と F3 の開発時には、技術は格段に進歩していたとは言え、似たような問題が発生することが多かった。したがって、経験があれば次にどのような問題が起るかを、かなり適確に予測できるため、設計時あるいは試験時にそれに対処し易いと言うことである。

しかし、それにもまして「経験」の意義をつよく感じたのは、問題が生じた時の対応の仕方である。問題が起ったとき、それは経験の有無にかかわらず途方に暮れるものである。しかし経験をしていると「あの時でも解決できた…」「今度も何とかやるさ…」と言う気持ちになれることが多い。J3 で 2 号エンジンが破損したことはさきに述べたが、其後はどんなことが起っても、あわてず、驚かずにあった。又、開発には理屈だけで判断できないことが屢々ある。無謀は慎むべきであるが、時には度胸が必要になることもある。そのときどのように振舞えるか

は、技術者がどのような経験を有しているかに大きく依存すると思われる。

### 5. 思いやる心

ガスタービンとの約 30 年にわたる関わりの中で、もし「ガスタービンでもっとも難しいことは何か」と問われれば「高速回転体(エンジン)をサージリングフリーで振動なくまわすこと」と私は答える。勿論、この答えは私が主として運転試験の現場でガスタービンの開発にたずさわったと言う立場からのものである。

ガスタービンは回転機械であり、ピストンエンジンのような往復動のものにくらべれば、振動は発生しにくい。理屈の上ではそうであっても、実際には作動範囲の中にいくつかの共振点があり、更に最近のように薄肉になれば、変形し易い回転体を高速で振動なしにまわすと言うことは非常に難しい。振動は、エンジンが「もっと回り易いようにしてほしい…」と言っている切なる願いではなからうか。

ガスタービンはまた、空気機械でもある。流れは元来、圧力の高い方から低い方へ流れるのが自然の理である。それにもかかわらず、圧縮機ではその理に逆って、圧力の低い方から高い方へ押し込もうとする。それが空気の気持も考えずに度をこすとサージングをおこす、つまりサージングは空気の怒りの声ではないかと思う。

こう考えると、振動にしてもサージングにしても、機械や空気の必死の訴えのように思えてくる。そのためには、人は機械や空気の身になって考え、即ち現物や現象をよく観察し、現場をよく知り、それはとりも直さずエンジンを愛し思いやることによって、はじめて解決できるのではないかと思う。

### 6. あとがき

最近のことである。J3 以来、F3 に至る間一緒に開発にたずさわった、現在超音速輸送機用推進システム技術研究組合におられる村島完治氏、又 F3 で共にその開発に取り組んだ、現在先進材料利用ガスジェネレータ研究所の弘松幹雄氏から、現在推進している研究について概要をきかせていただく機会があった。共にタービン入口温度 1700°C を目指していると言う。私がエンジンの研究開発から離れて 10 余年経過したが、この温度が象徴しているように、この間の技術の進歩には目覚ましいものがある。このような不断の研究が、技術の発展には不可欠であることは言うまでもない。

一方、エンジン関係者の長年にわたる悲願とも言うべき高空性能試験室(ATF)の計画が、防衛庁技術研究本部で進行中であると言う。技術の発展には研究も設備も必要不可欠ではあるが、本当の技術力は実用品をつくり上げてはじめて達成できるものであることは、過去の歴史が雄辯に物語っている。そして、それをやり遂げるのは“人”だと言うことを、あらためて痛感している。

## ガスタービンに関わる標準化活動の最近の動向

日本内燃機関連合会\*<sup>1</sup>

ISO 対策内燃機関委員会 (ガスタービン部門)

### 1. はじめに

ガスタービンに関わる標準化活動としては、国際標準規格の作成と国内標準規格の作成の2つに大別される。前者は、国際標準化機構 ISO (International Organization for Standardization/本部はスイスのジュネーブ) が行っている国際標準規格 ISO (International Standard) であり、後者は、日本工業標準調査会 JISC (Japan Industrial Standards Committee/事務局は通商産業省工業技術院標準部) が行っている日本工業標準規格 JIS (Japanese Industrial Standard) である。

ISO でのガスタービン関係の活動は、遡れば 1969 年に ISO/TC 70 (内燃機関)/WG 6 (ガスタービン) として発足して以来、1971 年に ISO/TC 70/SC 6 (ガスタービン) になり、さらに 1988 年に TC 192 (ガスタービン) として独立するなどの変遷を経ながら、永年にわたって継続的に活動を続けてきている。このような ISO での国際標準化活動は、ガスタービンという新しい世界的な技術領域においては、その標準化活動の根幹をなしているといつてよい。

なお、ISO では、専門委員会 TC (Technical Committee) が各大テーマごとの審議組織の最上部に置かれ、設置順に番号が付けられ、TC 192 がガスタービンの専門委員会となっている。TC の下には、分科会 SC (Sub-Committee) または作業グループ WG (Working Group) を区分テーマごとに置くことが認められ、また SC の下に WG を置くこともできる。SC は TC に準じた権限を与えられ、TC または SC は、ISO 原案 DIS (Draft International Standard) を承認して ISO 評議会 (ISO Council) に提出することができる。WG は、ISO の原案である DIS にする前の素案をまとめて、上部の TC または SC に出すことが役割となる。

TC、SC には幹事国 (Secretariat) 及びその国から出される議長 (Chairman) が決められ、WG では幹事 (Convenor) が決められる。

ISO には、各国が国単位で各 TC または SC に参加することができ、日本は JISC がその参加組織である。参加に際しては、投票権のある P メンバー (Participant) ま

たはオブザーバとしての O メンバー (Observer) を選ぶことができ、TC 192 の日本の位置は、P メンバーである。

日本では、参加した TC ごとに対応して、国内での国際規格原案に対する調査・審議・回答などの活動を行う「国内対策委員会」が JISC のもとに置かれる。その事務局には、TC のテーマに近い位置にあり、かつ国際会議への参加者派遣などで財的援助が可能な団体等となり、その事務局が通商産業省工業技術院の事業委託を日本規格協会経由で受けている。「ISO/TC 192 国内対策委員会」では、日本内燃機関連合会が事務局であり、工業技術院の担当部署は標準部機械規格課一般機械担当である。国内対策委員会は、中立者、使用者、生産者の3つの立場の委員をバランスよく選ぶことになっている。

JIS でのガスタービン関係の活動は、その技術の新しさの故に、比較的歴史は新しく、ISO 活動と同等である。最初は、火力原子力発電技術協会が事務局となつて行った JIS「火力発電用語—ガスタービン及び附属装置」(JIS B 0128) の制定 (1970 年) であった。その後、ガスタービン関係では、制定される ISO 国際規格に合わせて国内規格 JIS を制定することが最適であるという観点に立って、JIS 制定の作業が行われた。その結果、制定された ISO に整合化したさらに2つの JIS (ガスタービン—試験方法 (JIS B 8041)、及び、調達仕様 (JIS B 8042)) が制定され、ISO の改正に合わせて JIS の改正も行ってきた。

JIS 原案 (または改正原案) 調査作成のためには、対象となる JIS ごとに、JISC のもとに「JIS 原案 (または改正原案) 調査作成委員会」が置かれ、事務局が決められ、そこが工業技術院の事業委託を日本規格協会経由で受けることになる。

ISO 対応の JIS 原案 (または改正原案) 調査作成については、その ISO/TC の国内対策委員会の事務局が、原則的に対応する JIS の原案 (または改正原案) 調査作成委員会の事務局も行うことになっている。従って、ガスタービン関係の JIS の場合には、ISO 対応のものが多いため、ISO/TC 192 国内対策委員会の事務局を行っている日本内燃機関連合会が、JIS 原案 (または改正原案) 調査作成委員会の事務局となって実施することが多い。

原稿受付 1996 年 7 月 19 日

\* 1 〒105 東京都港区新橋 1-11-5 吉野ビル 4 階

最近、国内の規制緩和政策の一環として、国内規格の国際規格への整合化推進施策が平成7年度からの3か年計画で進められている。ガスタービン関係の標準化活動はまさにこのような考え方を先取りしたものといえよう。

一方、ISOでも近年新しい規格の制定や、既存規格へのパート制導入により全面的見直しと内容充実化を図りつつあり、このような動きに遅れないような対応を迫られている。そのためには、ISOの国際会議には、WGの国際会議も含め、日本から確実に出席参加し、我が国の意見を規格原案作成に早い段階から反映させることが、非常に大切である。幸い、ガスタービン関係では関係者のご理解とご努力で殆どの国際会議に出席してきているが、殆どの国際会議は日本から遠いヨーロッパかアメリカで開催されており、参加者の旅費などの費用負担と往復に使う日程も含めた時間的負担はきわめて大きい。こ

れに対する公的補助は、実質10～20%に過ぎない現状であり、より充実した公的補助により積極的な国際会議への参加派遣ができるようになることを望みたい。

今年1996年9月に、ISO/TC 192/JWG 4及びWG 6の国際会議が初めて日本(東京)で開催されることになったが、これも非常に意義のあることであり、会議の成功を期したい。

ガスタービンの領域では、国際貿易の増加と国際的な技術交流の発展はめざましく、これからのガスタービンの進歩・発達に対して、標準化活動はその大きな一助になるものと思われる。今後ますますの関係者のご支援を得ながら、国際規格、国内規格共に活発な標準化活動を進め、成果をあげていくことを期待している。

(文責 田中英穂(東京大学名誉教授))

## 2. 経過及び概要

### (1) ISOに関する主なる経過

ガスタービンに関わる国際標準化機構ISOでの活動は、当初1969年に「ISO/TC 70(内燃機関)/WG 6(ガスタービン)」としてスタートし、陸船用ガスタービンを対象に幹事国はイギリスで運営された。その後、1971年になり「ISO/TC 70/SC 6」に格上げされ、1969年以降1974年迄に参加国(Pメンバー)による国際会議がWG 6として2回、SC 6として6回開催された。この間に、ISO 2314(ガスタービン—受取試験方法)と、ISO 3977(ガスタービン—調達仕様)の2つの国際規格を制定した。

しかし、1975年以降1986年に至る迄の11年間は、TC 70/SC 6の活動は休眠状態となってしまった。これには、同じ内燃機関とはいえ、ガスタービンではその技術的内容及び関連技術者が往復動内燃機関のそれらとは異なっており、国際会議の開催もその会議への出席者もSC 6固有のものとなり、TC 70の中で別個の取扱いを受けていたこともある。

このため、1986年になってガスタービンとして新しい独立したTCを作る動きが出始め、幹事国も新たにアメリカに移した。1986年から1988年迄さらに3回のTC 70/SC 6の国際会議を行い、1988年のTC 70/SC 6第9回会議で新たに「TC 192(ガスタービン)」を発足してそれに移行することが認められ、同会議がTC 192第1回会議となった。同時に、対象も“すべてのガスタービン(コンバインドサイクルを含む)”とした。1988年以降は毎年1回の割合でこのTC 192国際会議が開催され、1996年で9回目となる(当初からの通算では19回目になる)。最初からのTC 70/WG 6、TC 70/SC 6及びTC 192の国際会議開催状況は、表2-1の通りである。

### (2) ISO/TC 192の概要

ISOとして決められているISO/TC 192の活動範囲は、次の通りである。

“TC 192は、すべての形式・用途のガスタービン(コンバインドサイクルのシステムを含む)での、装置、運転、保全、ならびに定義、調達、受取、性能、環境(外部環境を含む)、試験方法などに関する標準化を行う。また、すべての形式のガスタービンに関わる標準の作成に責任を持つ。なお、航空用ガスタービンに関わる標準化については、その主務である航空機専門委員会(TC 20)と良く連携して行う。”

また、ISO/TC 192の参加国は、1996年5月現在で、Pメンバーが10か国、Oメンバーが10か国で、次の通りである。

#### ・Pメンバー(投票権のある国)

|        |      |
|--------|------|
| アルジェリア | フランス |
| ドイツ    | イタリー |
| 日本     | オランダ |
| ロシア    | スイス  |
| イギリス   | アメリカ |

#### ・Oメンバー(オブザーバ国)

|        |         |
|--------|---------|
| ベルギー   | 中国      |
| コロンビア  | チェコ     |
| デンマーク  | インド     |
| シンガポール | スペイン    |
| スウェーデン | ユーゴスラビア |

幹事国はアメリカで、議長(Chairman)はMr. George OPDYKE(コンサルタント)、事務局は米国規格協会ANSIのMr. G. W. BOWENである。

現在、ISO/TC 192の中には、次の7つの作業グループWGが設置されて、活動を行っている。各WGの国際会

議は、WG ごとに審議段階によって異なるが、TC 192 国際会議と同時期に行うものを含め、年に 2 乃至 3 回開催されている。その開催状況は、表 2-2 の通りである。

- ・ WG 1: 騒音
- ・ WG 2: 排気ガス計測法
- ・ WG 3: コンバインドサイクル
- ・ WG 4: 用途
- ・ WG 5: 運転・保全
- ・ WG 6: 制御・計装・補機
- ・ WG 7: 燃料・環境

### (3) ISO/TC 192 国内対策委員会の概要

ISO/TC 192 に対応して国内での国際規格原案に対する調査・審議・回答などの活動を行う「ISO/TC 192 国内対策委員会」は、日本内燃機関連合会を事務局として、工業術院、日本規格協会、学識経験者、ガスタービン使用者、ガスタービン生産者の代表から成る 26 名で構成され、表 2-3 の通りである。現在、委員長は田中英穂先生（東京大学名誉教授）、主査は青木千明（日本内燃機関連合会）であり、委員会委員の中から 14 名の委員で小委員会を構成し、詳細審議等に当たっている。また、その中から各 WG の国内の幹事役を務める担当主査の委員を決め、WG ごとの審議等のとりまとめ及び WG 国際会議出席の調整をお願いしている。

TC 192 及び各 WG の国際会議の開催や国際規格原案の審議に対応して、年 6 乃至 8 回の国内委員会及び小委員会を開催して活発な活動を行っている。

この国内対策委員会は、1969 年に発足した当初は日本機械学会と日本内燃機関連合会との合同委員会であったが、昭和 60 年代からこの関連の ISO 標準化事業を日本機械学会がとりやめたため、その後は日本内燃機関連合会が事務局となって進めている。当初の合同委員会の委員長は、渡部一郎先生（故、慶応義塾大学名誉教授）であり、その後、井口泉先生（元防衛大学教授）が委員長をされ、1994 年度から田中英穂先生が委員長をされている。

また、日本内燃機関連合会（日内連・JICEF/Japan Internal Combustion Engine Federation）では、その中に「ISO 対策内燃機関委員会」（JICESC/Japan Internal Combustion Engine Standards Committee for ISO）〔委員長：今井清（日本内燃機関連合会参与）〕を設置し、ISO/TC 70（往復動内燃機関）と ISO/TC 192（ガスタービン）ならびに両方に関連する JIS の原案調査作成の各事業を行っている。

TC 192 及びその各 WG が取り扱っているテーマは、いずれも日本にとっても非常に重要なものであり、また日本が大いに貢献できる領域でもある。現在ガスタービンの分野では、日本は生産者の立場から使用の立場からも、世界の 3 極の重要な一角を占めてきている。

初めて TC 192/JWG 4 及び WG 6 の国際会議が、日本で 1996 年 9 月に開催されることになったので、このような場合も有効に活用して、関係者間の交流を深めたい。

以前から日本のコメント・提案・発言等は、比較的緻密で妥当性・合理性が高く、中庸的で各国に受け入れられ易く、ISO 原案に取り上げられることが多く、国際的な貢献を大きく果たしてきている。近年は、この分野での日本の技術発達と先進性があいまって、ますます世界的な注目を集めるようになってきているため、それぞれの国際会議には毎回日本からの代表者を送るようにし、国際的協調を考慮しながら、これからも国際的貢献を続け、良い関係を保って行くことが大切である。

### (4) ガスタービン関係の JIS の経過と概要

ガスタービンに関わる日本工業規格 JIS の原案調査作成（改正原案調査作成を含む）は、直接的なものは現在 2 か所を事務局として行われているが、ISO/TC 192 が制定する国際規格 ISO（DIS を含む）に対応する国内規格 JIS の「JIS 原案（または改正原案）調査作成委員会」は日本内燃機関連合会が事務局となっていて行っている。また、発電用に関わる独自の国内規格 JIS に対する「JIS 原案（または改正原案）調査作成委員会」は、(株)火力原子力発電技術協会が事務局となって実施している。

この他に、ガスタービンに関連する ISO としては TC 43（音響）で行っているものなどもあり、これに対応する国内対策委員会事務局との調整も、これからは重要になってきている。

日本内燃機関連合会が現在行っている JIS 原案調査作成事業は、当初は日本機械学会が行っていたが、ISO 関連の事業と共に昭和 60 年代から日本内燃機関連合会が正式に事業を引き継いで単独で行っている。

現在既に制定されているガスタービン関連の JIS は、次の通りである。

- ・ JIS B 8041 「ガスタービン試験方法」  
（ISO 2314 対応、事務局：日本内燃機関連合会）
- ・ JIS B 8042 「ガスタービン—調達仕様」  
（ISO 3977 対応、事務局：日本内燃機関連合会）
- ・ JIS B 0128 「火力発電用語—ガスタービン及び附属装置」  
（日本独自、事務局：火力原子力発電技術協会）

これからの計画としては、政府が進めている平成 9 年度迄の国内規格の国際規格への国際整合化推進計画の一環として、また今年度からの 5 か年計画として、日本内燃機関連合会が事務局となって、「ガスタービン—排気排出物測定方法及び監視方法」、「コンバインドサイクル—試験方法」、「ガスタービン—調達仕様—信頼性、稼働性、保全性、安全性」などの ISO 対応の JIS 原案調査作成を行う予定である。

（文責 青木千明（日本内燃機関連合会））

表 2-1 ISO/TC 192 (ガスタービン) 国際会議開催状況  
(TC 70/WG 6, TC 70/SC 6 を含み, TC 192/WG を除く)

| 通算回数 | 開催年月    | 開 催 場 所        | 会議種別        | 日本の参加者数 | 参加者氏名 (所属)                                              |
|------|---------|----------------|-------------|---------|---------------------------------------------------------|
| 1    | 1969-10 | ロンドン イギリス      | TC70/WG6第1回 | 3       | 井口 泉 (東 芝)<br>河田 修 (富士電)<br>丹羽 高尚 (三菱重)                 |
| 2    | 1970-5  | ブラッセル ベルギー     | /WG6 第2回    | 4       | 井口 泉 (東 芝)<br>丹羽 高尚 (三菱重)<br>加藤 正敏 (日 立)<br>渡部 一郎 (慶応大) |
| 3    | 1971-5  | ストックホルム スウェーデン | /SC6 第1回    | 2       | 川田 正秋 (東京大)<br>樗木 康夫 (日 立)                              |
| 4    | 1972-2  | パリ フランス        | /SC6 第2回    | 2       | 井口 泉 (防衛大)<br>樗木 康夫 (日 立)                               |
| 5    | 1972-11 | フランクフルト 西ドイツ   | /SC6 第3回    | 3       | 井口 泉 (防衛大)<br>青木 千明 (石 播)<br>渡部 一郎 (慶応大)                |
| 6    | 1973-5  | ロンドン イギリス      | /SC6 第4回    | 1       | 井口 泉 (防衛大)                                              |
| 7    | 1973-11 | レニングラード ソ連     | /SC6 第5回    | 3       | 井口 泉 (防衛大)<br>青木 千明 (石 播)<br>丹羽 高尚 (三菱重)                |
| 8    | 1974-9  | チューリッヒ スイス     | /SC6 第6回    | 2       | 井口 泉 (防衛大)<br>丹羽 高尚 (三菱重)                               |
| 9    | 1986-6  | フランクフルト 西ドイツ   | /SC6 第7回    | 1       | 青木 千明 (石 播)                                             |
| 10   | 1987-9  | モントルー スイス      | /SC6 第8回    | 1       | 青木 千明 (石 播)                                             |
| 11   | 1988-8  | モントルー スイス      | /SC6 第9回    | 1       | 青木 千明 (石 播)                                             |
|      |         |                | (TC192 第1回) |         |                                                         |
| 12   | 1989-6  | トロント カナダ       | TC192 第2回   | 1       | 徳永 賢治 (日 立)                                             |
| 13   | 1990-6  | ブラッセル ベルギー     | TC192 第3回   | 1       | 三賢 憲治 (三菱重)                                             |
| 14   | 1991-5  | ベルリン ドイツ       | TC192 第4回   | 2       | 青木 千明 (石 播)<br>安田 耕二 (日 立)                              |
| 15   | 1992-6  | ケルン ドイツ        | TC192 第5回   | 3       | 青木 千明 (石 播)<br>表 義則 (三井造)<br>奥原 巖 (東 芝)                 |
| 16   | 1993-5  | シンシナチ アメリカ     | TC192 第6回   | 3       | 青木 千明 (石 播)<br>星野 和貞 (日 立)<br>奥原 巖 (東 芝)                |
| 17   | 1994-6  | ハーグ オランダ       | TC192 第7回   | 3       | 青木 千明 (石 播)<br>安田 耕二 (日 立)<br>巽 哲男 (川崎重)                |
| 18   | 1995-6  | ヒューストン アメリカ    | TC192 第8回   | 2       | 安田 耕二 (日 立)<br>巽 哲男 (川崎重)                               |
| 19   | 1996-6  | バーミンガム イギリス    | TC192 第9回   | 3       | 安田 耕二 (日 立)<br>巽 哲男 (川崎重)<br>手島 清美 (三井造)                |
| 20   | 1997-6  | オーランド アメリカ     | TC192 第10回  | (予定)    |                                                         |

表 2-2 ISO/TC 192 (ガスタービン) 作業グループ (TC 192/WG) 国際会議開催状況

| 会議種別 | 開催年月    | 開催場所    |        | 日本の参加者数 | 参加者氏名(所属)     |
|------|---------|---------|--------|---------|---------------|
| WG 2 | 1989-9  | フランクフルト | 西ドイツ   | 1       | 森 信男 (三菱重)    |
| WG 2 | 1990-12 | フランクフルト | ドイツ    | 1       | 三島 浩史 (三菱重)   |
| WG 2 | 1991-5  | ベルリン    | ドイツ    | 1       | 青木 千明 (石 播)   |
| WG 3 | 1991-5  | ベルリン    | ドイツ    | 1       | 安田 耕二 (日 立)   |
| WG 2 | 1991-9  | ブダペスト   | ハンガリー  | 1       | 森 義孝 (三菱重)    |
| WG 3 | 1991-11 | バーデン    | スイス    | 1       | 安田 耕二 (日 立)   |
| WG 2 | 1992-6  | ケルン     | ドイツ    | 1       | 青木 千明 (石 播)   |
| WG 3 | 1992-6  | ケルン     | ドイツ    | 1       | 熱田 正房 (日 立)   |
| WG 4 | 1992-6  | ケルン     | ドイツ    | 1       | 表 義則 (三井造)    |
| WG 5 | 1992-6  | ケルン     | ドイツ    | 1       | 奥原 巖 (東 芝)    |
| WG 2 | 1992-11 | フランクフルト | ドイツ    | 1       | 青木 千明 (石 播)   |
| WG 4 | 1992-11 | フランクフルト | ドイツ    | 1       | 青木 千明 (石 播)   |
| WG 5 | 1992-11 | フランクフルト | ドイツ    | 1       | 青木 千明 (石 播)   |
| WG 3 | 1992-11 | バーデン    | スイス    | 1       | 星野 和貞 (日 立)   |
| WG 2 | 1993-3  | フランクフルト | ドイツ    | 1       | 奥原 巖 (東 芝)    |
| WG 4 | 1993-3  | フランクフルト | ドイツ    | 1       | 奥原 巖 (東 芝)    |
| WG 5 | 1993-3  | フランクフルト | ドイツ    | 1       | 奥原 巖 (東 芝)    |
| WG 2 | 1993-5  | シンシナチ   | アメリカ   | 1       | 青木 千明 (石 播)   |
| WG 3 | 1993-5  | シンシナチ   | アメリカ   | 1       | 星野 和貞 (日 立)   |
| WG 4 | 1993-5  | シンシナチ   | アメリカ   | 1       | 安部 利男 (三井造)   |
| WG 5 | 1993-5  | シンシナチ   | アメリカ   | 1       | 奥原 巖 (東 芝)    |
| WG 3 | 1993-9  | ボーンマス   | イギリス   | 1       | 安田 耕二 (日 立)   |
| WG 4 | 1993-9  | ボーンマス   | イギリス   | 1       | 奥原 巖 (東 芝)    |
| WG 5 | 1993-9  | ボーンマス   | イギリス   | 1       | 奥原 巖 (東 芝)    |
| WG 3 | 1994-1  | バーデン    | スイス    | 1       | 安田 耕二 (日 立)   |
| WG 4 | 1994-3  | フランクフルト | ドイツ    | 1       | 手島 清美 (三井造)   |
| WG 5 | 1994-3  | フランクフルト | ドイツ    | 1       | 手島 清美 (三井造)   |
| WG 3 | 1994-6  | ハーグ     | オランダ   | 1       | 安田 耕二 (日 立)   |
| WG 4 | 1994-6  | ハーグ     | オランダ   | 1       | 青木 千明 (石 播)   |
| WG 6 | 1994-6  | ハーグ     | オランダ   | 1       | 巽 哲男 (川崎重)    |
| WG 4 | 1994-10 | ポートランド  | アメリカ   | 1       | 手島 清美 (三井造)   |
| WG 6 | 1994-10 | ポートランド  | アメリカ   | 1       | 乃村 春雄 (川崎重)   |
| WG 3 | 1994-12 | フランクフルト | ドイツ    | 1       | 安田 耕二 (日 立)   |
| WG 4 | 1995-2  | エッセン    | ドイツ    | 1       | 手島 清美 (三井造)   |
| WG 6 | 1995-2  | エッセン    | ドイツ    | 1       | 手島 清美 (三井造)   |
| WG 4 | 1995-4  | バーデン    | スイス    | 1       | 長妻 宏 (東 芝)    |
| WG 4 | 1995-6  | ヒューストン  | アメリカ   | 2       | 巽 哲男 (川崎重)    |
|      |         |         |        |         | 安田 耕二 (日 立)   |
| WG 6 | 1995-6  | ヒューストン  | アメリカ   | 2       | 巽 哲男 (川崎重)    |
|      |         |         |        |         | 安田 耕二 (日 立)   |
| WG 3 | 1995-8  | ウィーン    | オーストリー | —       | [急な通知のため出席不可] |
| WG 4 | 1995-11 | フランクフルト | ドイツ    | 1       | 手島 清美 (三井造)   |
| WG 4 | 1996-3  | フランクフルト | ドイツ    | 1       | 手島 清美 (三井造)   |
| WG 3 | 1996-6  | バーミンガム  | イギリス   | 1       | 安田 耕二 (日 立)   |
| WG 4 | 1996-6  | バーミンガム  | イギリス   | 2       | 手島 清美 (三井造)   |
|      |         |         |        |         | 安田 耕二 (日 立)   |
| WG 7 | 1996-6  | バーミンガム  | イギリス   | 2       | 岩崎 洋一 (三菱重)   |
|      |         |         |        |         | 安田 耕二 (日 立)   |
| WG 4 | 1996-9  | 東京      | 日本     | (予定)    |               |
| WG 6 | 1996-9  | 東京      | 日本     | (予定)    |               |
| WG 3 | 1996-11 | ミラノ     | イタリア   | (予定)    |               |

表 2-3 ISO/TC 192 国内対策委員会

(1996 年度) 委員名簿

〔26 名, ○は小委員会委員 14 名, WG 名はその WG の担当主査〕

|             |           |                 |
|-------------|-----------|-----------------|
| 委員長 (中立者) : | ○ 田 中 英 穂 | (東京大学名誉教授)      |
| 主 査 (中立者) : | ○ 青 木 千 明 | (日本内燃機関連会)      |
| 中立者委員 :     | 本 間 清     | (通産省工業技術院)      |
|             | 加 山 英 男   | (日本規格協会)        |
|             | 内 山 芳 忠   | (機械技術研究所)       |
|             | 平 岡 克 英   | (船舶技術研究所)       |
|             | 井 口 泉     | (元防衛大学)         |
|             | 有 賀 一 郎   | (千葉工業大学)        |
| 使用者委員 :     | 井 上 新 二   | (火力原子力発電技術協会)   |
|             | ○ 花 島 脩 太 | (昭和シェル石油/石油連盟)  |
|             | 鈴 木 教 太   | (電気事業連合会)       |
|             | 深 田 智 久   | (電力中央研究所)       |
|             | 相 沢 善 吾   | (東京電力)          |
|             | ○ 三 賢 治   | (東電設計)          |
| 生産者委員 :     | ○ 鈴 木 章 夫 | (石川島播磨重工業)      |
| WG6         | ○ 巽 哲 男   | (川崎重工業)         |
| WG5         | ○ 塩 見 肇   | (東芝)            |
|             | ○ 毛 利 幸 雄 | (新潟鉄工所)         |
| WG3         | ○ 安 田 耕 二 | (日立製作所)         |
|             | 加 藤 剛     | (日立造船)          |
|             | ○ 河 田 修 平 | (富士電機ガスタービン研究所) |
|             | ○ 吉 川 修 平 | (富士電機)          |
| WG1, 4      | ○ 手 島 清 美 | (三井造船)          |
| WG2, 7      | ○ 池 上 寿 和 | (三菱重工業)         |
|             | 西 原 昭 義   | (ヤンマーディーゼル)     |
| 事務局委員 :     | ○ 丸 山 倉 平 | (日本内燃機関連会)      |

### 3. ISO/TC 192 専門委員会及び各 WG 作業グループの活動

#### 3.1 TC 192 ガスタービン

##### (1) 活動内容

ISO/TC 192 専門委員会は、毎年 1 回の P メンバーによる国際会議を開催して関連国際規格の審議を行っている。また、7 つの作業グループ WG を持ち、各 WG ごとに別途国際会議を行って、それぞれの担当の国際規格の審議を進め、TC 192 国際会議に報告、答申を行っている。WG の国際会議は、審議段階によって異なるが、活発な WG では年に 3 乃至 4 回開催されており、そのうちの 1 回は TC 192 国際会議と同じ時期に同じ会場で行っている。

ISO/TC 192 で既に制定した規格は 2 つであり、ISO 原案 DIS (改正を含む) として参加国の投票を終えた規格もいくつかある。この他に、既存規格の改正を含めて審議中の規格があり、活発な審議が進められている。また、作業グループの中には、JWG 4 (Joint WG) のように他の TC との合同審議が行われているものもある。

##### (a) ISO/TC 192 の制定規格

ISO/TC 192 で制定した ISO 規格は、次の通りである。

- ① ISO 2314: ガスタービン受取試験方法  
(Gas turbines—Acceptance tests)  
—1973 年制定, 1989 年全面改正
- ② ISO 3977: ガスタービン調達仕様  
(Gas turbines—Procurement)  
—1978 年制定, 1991 年全面改正
- ③ ISO 3977/Amd. 1: ガスタービン調達仕様—追補  
1: コンバインドサイクル—基本調達情報  
(Gas turbines—Combined cycles—Basic procurement information for combined cycle plants)  
—ISO 3977 の Annex として原案が作られ、参加国の投票を 1994 年 5 月に行って承認され、1995 年制定。
- ④ ISO 3977-1: ガスタービン調達仕様—第 1 部: 一般事項及び用語の定義

(Gas turbines-Procurement-Part 1: General, definitions)

—パート制導入により, 1996 年制定。

⑤ ISO 3977-2: ガスタービン—調達仕様—第 2 部: 比較基準条件及び定格

(Gas turbines-Procurement-Part 2: Standard reference conditions and ratings)

—パート制導入により, 1996 年制定。

(b) DIS となっている規格

ISO/TC 192 で ISO 原案 DIS となっている規格は, 次の通りである。

① ISO/DIS 11086: ガスタービン用語

(Gas turbines-Vocabulary)

—参加国の投票を 1993 年 8 月に行い承認された。

② ISO/DIS 11042-1: ガスタービン排気ガス計測法

(Gas turbines-Exhaust gas emissions-Part 1: Measurement and evaluation)

—参加国の投票を 1994 年 1 月に行い, 承認された。

③ ISO/DIS 11042-2: ガスタービン排気ガス監視法  
(Gas turbines-Exhaust gas emissions-Part 2: Automated emission monitoring)

—参加国の投票を 1994 年 5 月に行い, 承認された。

④ ISO/DIS 2314-A: コンバインドサイクル—試験方法

(Gas turbines-Combined cycles-Acceptance tests for combined cycles)

—ISO 2314 の Annex として原案が作られ, 参加国の投票を 1996 年 5 月に行い, 承認された。

⑤ ISO/DIS 39977-11: ガスタービン—調達仕様—第 11 部: 信頼性, 稼働性, 保全性, 安全性

(Gas turbines-Procurement-Part 11: Reliability, availability, maintainability and safety)

—ISO 3977 の Part 11 として原案が作られ, 参加国の投票を 1996 年 8 月に行った。

(c) 審議中の主な規格

現在, ISO/TC 192 で審議を行っている主な規格案は

表 3.1-1 ISO 3977 “Gas turbines-Procurement” 「ガスタービン—調達仕様」  
パート制を導入して改正中の新構成案 (1996 年決定の再改正案併記)

| 1994年 6 月以降審議中の構成案 |                                                              | 1996年 6 月再改正の構成案 |                                                                      |
|--------------------|--------------------------------------------------------------|------------------|----------------------------------------------------------------------|
| 部(Part)            | 規 格 表 題                                                      | 部(Part)          | 規 格 表 題                                                              |
| Part 1:            | General, definitions                                         | Part 1:          | General, definitions                                                 |
| Part 2:            | Standard reference conditions and ratings                    | Part 2:          | Standard reference conditions and ratings                            |
| Part 3:            | Basic requirements                                           | Part 3:          | Design requirements                                                  |
|                    | —Mechanical drive                                            |                  | —To include old Parts 3, 4 & 5                                       |
|                    | —Electric drive                                              |                  |                                                                      |
| Part 4:            | Packaging and auxiliary equipment                            | Part 4:          | Fuels, environment                                                   |
| Part 5:            | Controls and instrumentation                                 | Part 5:          | Application                                                          |
| Part 6:            | Fuels, environment                                           |                  | —To include: Petrochemical, emergency stand-by equipment, and others |
| Part 7:            | Gas turbine application                                      | Part 6:          | Combined cycles                                                      |
|                    | 7.1 Petrochemical                                            | Part 7:          | Technical information                                                |
|                    | —Mechanical drive                                            | Part 8:          | Inspection, testing and commissioning                                |
|                    | —Electric drive                                              |                  | —To include storage requirements                                     |
|                    | 7.2 Others to be added                                       | Part 9:          | Reliability, availability, maintainability and safety (RAMS)         |
| Part 8:            | Combined cycles                                              |                  |                                                                      |
| Part 9:            | Technical information                                        |                  |                                                                      |
| Part 10:           | Delivery, installation and commissioning                     |                  |                                                                      |
| Part 11:           | Reliability, availability, maintainability and safety (RAMS) |                  |                                                                      |
| Part 12:           | Preparation for storage and shipment                         |                  |                                                                      |

次の通りである。

- ① ガスタービン—調達仕様—基本要素事項  
(Gas turbines-Procurement: Basic requirements)
  - ② ガスタービン—調達仕様—産業用・機械駆動用等用途  
(Gas turbines-Procurement: Application to petrochemical-Mechanical and electric drive)
  - ③ ガスタービン—調達仕様—パッケージング及び補機  
(Gas turbines-Procurement: Packaging and auxiliary equipment)
  - ④ ガスタービン—調達仕様—制御及び計装  
(Gas turbines-Procurement: Controls and instrumentation)
  - ⑤ ガスタービン—調達仕様—燃料及び環境  
(Gas turbines-Procurement: Fuels, environment)
  - ⑥ ガスタービン—調達仕様—コンバインドサイクル  
(Gas turbines-Procurement: Combined cycles)
  - ⑦ ガスタービン—調達仕様—技術情報  
(Gas turbines-Procurement: Technical information)
- ①から⑦は、いずれも ISO 3977 の各 Part として、素案審議を進めている。

(d) 他の TC との合同審議規格

ISO/TC 192 は、他の TC、例えば TC 43 (音響)、TC 108 (機械振動と衝撃)、TC 208 (産業用熱タービン) などと合同または連携しながら、関連する ISO 規格の作成に当たっている。一例は次の通りである。

- ① ISO/DIS 10494: ガスタービン周辺騒音計測法  
(Measurement of airborne sound emitted by gas turbine sets-Engineering/survey methods)  
—TC 43 に TC 192 が協力し DIS を作成・承認した。
- ② ISO 2372-Part 4 の改正: ガスタービンの振動  
(Vibration of gas turbines)  
TC 108 と TC 192 の合同 WG により改正を行った。

(2) ISO/TC 192 の WG と日本の担当委員

現在、ISO/TC 192 の中に次の 7 つの WG が設置されており、幹事国及び「ISO/TC 192 国内対策委員会」の中での WG ごとの担当主査の委員は次の通りである。

- ・ WG 1: 騒音  
(Near field noise emission)  
—幹事: フランス, 委員: 手島清美 (三井造船)
- ・ WG 2: 排気ガス計測法  
(Gas emissions measurement)  
—幹事: ドイツ, 委員: 池上寿和 (三菱重工)
- ・ WG 3: コンバインドサイクル  
(Combined cycles)  
—幹事: スイス, 委員: 安田耕二 (日立)
- ・ WG 4: 用途  
(Gas turbine use (Application))  
—幹事: ドイツ, 委員: 手島清美 (三井造船)
- ・ WG 5: 運転・保全  
(Operation and maintenance)

—幹事: ドイツ, 委員: 塩見 肇 (東芝)

- ・ WG 6: 制御・計装・補機  
(Controls, instrumentation & auxiliary equipment) —幹事: イギリス, 委員: 巽 哲男 (川崎重工)
- ・ WG 7: 燃料・環境  
(Fuels, environment)  
—幹事: アメリカ, 委員: 池上寿和 (三菱重工)

各 WG の活動状況については、3.2 項以降に詳細を述べる。

(3) TC 192/JWG 4 及び WG 6 国際会議東京会議の開催

1996 年 9 月 9～12 日に、ISO/TC 192/JWG 4 及び WG 6 国際会議が東京で開催されることになった。ガスタービンの ISO/TC 192 関係の国際会議が日本で開かれるのは、初めてであり、日本の多くの関係委員が同時に参加して外国の関係委員と討議を行い、交流を深めることができることは、きわめて意義深い。

会場は、東京の新橋にある蔵前工業会館の会議室とし、受入れ事務局である日本内燃機関連合会の事務所にきわめて近い地の利を活かして、効果的な会議としたい。

遠方から来る外国人参加者のために、簡単な行事も計画しており、関係者の多大なご支援をお願いする。

(4) 今後の審議の動向

(a) 1992 年頃に ISO 評議会の決定として、各専門委員会 TC に「地球環境に関わる国際規格の作成を最優先事項として、その制定を急ぐこと」という指針が出された。これに基づき、TC 192 においては排気ガス計測法に関わる規格制定を急ぐことにし、上述の(1)-(b)項の②、③の規格を早期に DIS 化した。最近の ISO 14000 シリーズの環境に関する国際規格の制定にもみられるように、これからの関連の標準化は重要課題であろう。

(b) 現存規格の ISO 3977 (ガスタービン—調達仕様) をさらに内容を充実させるために、その構成を見直し、表 3.1-1 に示すようなパート (Part/部) 制を導入し、12 部にわたる新しい構成に変更していくことにしている (なお、1996 年 6 月の国際会議で、いくつかのパートを合体してこのパートの数を 9 部にすることを決定した。)。現在審議されている規格案の多くは、このための新設のパートに対するものである。

(c) 近年、ヨーロッパ連合がヨーロッパ統合規格 (CEN または CENELEC (電気機器規格)) の制定を急激に進めており、ISO と CEN との整合・調整が、国際規格での一つの焦点となっている。ガスタービン関係では、今の所では CEN 規格は ISO 規格と整合しているようであり、CEN と ISO/TC 192 との調整も行われている。

しかし、CEN 規格が先行した場合には、必要に応じて ISO がそれを後追いで認めていく方式も ISO と CEN との間で協定され、ガスタービン関係でも CEN の動向を注目していく必要がある。

(d) このような状況の中で、当面重要視されているテーマとしては、コンバインドサイクルに関わる規格の充実

化があり、また用途別の調達仕様の整備・充実、ならびに燃料及び環境に関わる仕様の整備などがあげられる。なお、これらは WG 3, JWG 4, WG 6, WG 7 でそれぞれ既に取組みをはじめており、一部には成果が出つつあるものもある。

(文責 青木千明 (日本内燃機関連合会))

### 3.2 TC 192/WG 1 騒音

#### (1) 設立の経過

1987 年初頭 ISO/TC 43 音響専門委員会よりガスタービン分科会 (当時 TC 70/SC 6) に対し DIS 6190-2 Acoustics (ガスタービン設置周辺の騒音計測法) についての見解が求められた。TC 70/SC 6 メンバーの見解は騒音計測のガイドとして必要性は認めるが、具体的な計測点などについてはガスタービン設備の実状に即さない点が多いなどの反論が多かった。

1987 年 9 月のスイスのモントルーにおける TC 70/SC 6 国際会議で、前記 DIS は騒音スペクトルや吸気・排気騒音計測などの面でガスタービンとしては適切でないと結論した。

さらに、同会議で、アドホックグループを作りフランスを幹事国とし、イギリス、ドイツの専門家が参加・協力して、別途 SC 6 としての規格案を作成することが決定された。

TC 43 事務局からは、DIS 6190-2 は TC 43 参加 18 か国から賛成されているので、予定通り ISO 化したく、ガスタービン設備の目的に即した規格を別途 TC 70/SC 6 で作成することは、TC 43 として問題ないとの回答を得た。

日本は規格案作成メンバーには参加せず、規格案入手後、これを審議することとした。

1988 年 9 月スイスのモントルーでの新 TC 192 国際会議において、騒音規格作業は TC 192/WG 1 となり、前記 3 か国での新規格作成作業状況が報告され、最初の原案は 1989 年初頭までに作成される予定と報告された。

#### (2) 作業内容

1989 年 6 月のトロントでの国際会議では原案 (TC 192-N 15 Measurement of airborne sound emitted by gas turbine and gas turbine sets-Engineering/survey method) が提示され、審議・検討された。各国はさらに内容を詳細に検討の上、10 月までにコメントすることが決まった。

国内においてはトロント会議の後、1989 年 7 月に国内委員会の中に WG 1 (騒音、幹事: 三井造船) を発足し、原案を審議の上、日本側のコメントを提出することとした。

1989 年 10 月の国内対策委員会において原案が審議され、結果は次のようであった。原案は、機械表面、吸・排気口などの種々の音源からの音の計測法としては基本的に適切である。しかし、原案は、Sound power level を

求める計測法であるが、ISO 3977 (Procurement) は本来 Sound pressure level の計測を規定していること、また原案は開発・試験などにおいて理想的な音場に設置される機械の騒音計測には適切であるが、条件の異なるフィールドに設置されるコンバインドサイクル発電やコージェネレーションの実装置の騒音計測には適用しがたい。従って、本規格は ISO 3977 や ISO 2314 の音源、騒音に関する引用計測法としては認め難く、理想に近い音場に設置するガスタービン設備の音源強さの計測、試験に、用途を限定すべきである。なお、本原案が採用される場合を考慮し、騒音計測時のガスタービン運転条件や、暗騒音の補正はすでに制定されている ISO 規格に合わせることを、具体的に指摘、提案した。

1990 年 6 月のブラッセルでの国際会議では、各国コメントを考慮した改正案について審議された。本規格をガスタービン本体に限定し、周辺機器、補機は対象外とするか否かで意見が分かれたが、排気側設備を除く全システムを対象として DIS 原案を作ることが決定した。

1991 年 5 月のベルリンでの国際会議で DIS 原案 (DIS 10494) は承認され、6 か月以内に参加国の投票を実施することになった。

日本は賛成することとし、工業技術院への手続きを行って賛成の投票を行った。

本原案は、イギリスとアメリカから一部内容につきコメントがあったが、5 年後の見直しで考慮することとして、P メンバー (10 か国) の賛同を得、1991 年末に DIS 化され、さらに 1993 年に ISO 10494 "Gas turbines and gas turbine sets-Measurement of emitted airborne noise-Engineering/survey method" として制定された。

(文責 手島清美 (三井造船(株)))

### 3.3 TC 192/WG 2 排気ガス計測法

#### (1) 設立の経過

TC 70/SC 6 第 8 回国際会議 (1987 年、モントルー) で、"Exhaust smoke measurement, Gas turbine" の ISO 規格を制定することが決定した。翌年、ガスタービンの専門委員会が独立して、アメリカを幹事国とする TC 192 となり、その第 1 回国際会議 (1988 年、モントルー) では、"The measurement of particulate and pollutants" についても前述の規格に統合した形で規格化することが決定された。

また、規格原案作成に関しても、作業グループ TC 192/WG 2 を西ドイツ (当時) が幹事国となっており、フランス、イギリス、アメリカで構成することが決定され、日本にも参加の申し入れがあった。これに対して、ISO/TC 192 ガスタービン国内対策委員会が受け皿となっており、日本からも委員を参加させることとし、現在に至っている。なお、WG 2 の国内における幹事は三菱重工業が担当している。

#### (2) 作業内容

WG 2 は、国際的に共通する陸船用ガスタービンの排気ガス計測法に関する ISO 規格を制定することを基本方針とし、その対象とする物質は窒素酸化物、一酸化炭素、二酸化炭素、硫黄酸化物、炭化水素、アンモニア、酸素、排煙及びばいじんの 9 種類である。ISO 規格制定に当たっては、CIMAC や SAE が参考となっているが、ISO の場合は各分析計器に対し性能仕様を厳しく定めようとしていることがその特徴となっている。

WG 2 の設立以降これまでに次の通り国際会議が開かれ、規格制定に関わる審議が行われた。

- ・第 1 回 1989 年 9 月 13 日 フランクフルト (西ドイツ)
- ・第 2 回 1990 年 12 月 4 日 フランクフルト (ドイツ)
- ・第 3 回 1991 年 5 月 2 日 ベルリン (ドイツ)
- ・第 4 回 1991 年 9 月 4 日 ブダペスト (ハンガリー)
- ・第 5 回 1991 年 6 月 3 日 ケルン (ドイツ)
- ・第 6 回 1992 年 11 月 30 日 フランクフルト (ドイツ)
- ・第 7 回 1993 年 3 月 9 日 フランクフルト (ドイツ)
- ・第 8 回 1993 年 5 月 27 日 シンシナチ (アメリカ)

WG 2 における具体的な作業は、当初、「排気ガス計測 (評価) 法」(Measurement and evaluation) の規格化を中心に進められ、その原案は 1991 年にまとまった。それを基に ISO 原案 (DIS) が作成されており、その後、1992 年 6 月に一部修正が加えられ、これが DIS 11042-1 となった (1993 年 7 月)。

これに次いで 1991 年に「排気ガス連続計測法」(Continuous Monitoring) に関する規格制定の提案があり、引き続き素案作成のための作業を開始した。本件については未だ開発要素が多いことも考慮して、実用的な規格を早急にまとめあげることが重要との認識に立ち、審議が行われた。1992 年 11 月には英文表題を “Automated emission monitoring” と改め、こちらは DIS 11042-2 となった (1994 年 2 月)。

### (3) 投票結果

これまで WG 2 にて審議されてきた「排気ガス計測 (評価) 法」及び「排気ガス (自動) 監視法」は、既に ISO 原案 (DIS) として次のようにまとまっている。

#### ① ISO/DIS 11042-1

Gas turbines-Exhaust gas emissions-  
Part 1: Measurement and evaluation

#### ② ISO/DIS 11042-2

Gas turbines-Exhaust gas emissions-  
Part 2: Automated emission monitoring

ISO/DIS 11042-1 については 1993 年 7 月から 1994 年 1 月にかけて、また、ISO/DIS 11042-2 については 1994 年 1 月にかけて、また、ISO/DIS 11042-2 については 1994 年 2 月から 8 月にかけて、P メンバー (投票権のある国) 及び O メンバー (オブザーバ国) から成る参加国による投票が実施された。投票の結果は次表に示す通りであり、いずれも規約に基づき承認された。

ISO/DIS 11042-1 投票結果

| 投票国                     | 投票結果                  | 判定基準   |
|-------------------------|-----------------------|--------|
| P メンバー                  | 投票総数 7, うち賛成 7 (100%) | ≥66.7% |
| 参加国<br>(P 及び O<br>メンバー) | 投票総数 10, うち反対 0 (0%)  | ≤25%   |

ISO/DIS 11042-2 投票結果

| 投票国                     | 投票結果                 | 判定基準   |
|-------------------------|----------------------|--------|
| P メンバー                  | 投票総数 7, うち賛成 6 (86%) | ≥66.7% |
| 参加国<br>(P 及び O<br>メンバー) | 投票総数 14, うち反対 1 (7%) | ≤25%   |

なお、日本としては、いずれも一部編集上のコメントを付した上で、賛成の投票を行った。

これらの DIS は、現在、ISO 事務局で正式規格として制定するための準備が行われている。

### (4) 最近の活動状況

WG 2 としては当初の目的を達成したため、第 8 回国際会議 (1993 年、シンシナチ) 以降は国際会議が招集されておらず、投票にあたっての協議を行うための国内会議を数回行ったのみである。なお、WG 2 に関連した国内の新しい動きとして、ISO/DIS 11042-1, -2 に対応した JIS 規格原案の作成を行う「ガスタービン JIS 整合化原案調査委員会」が 1996 年 6 月に発足している。この委員会は中立者 10 名、生産者 12 名、使用者 8 名及び事務局 1 名の合計 31 名の委員から構成され、平成 8 年度中に国際整合化した「ガスタービン-排気排出物の測定方法及び監視方法」の原案をまとめあげることになっている。

(文責 池上寿和 (三菱重工業㈱))

## 3.4 TC 192/WG 3 コンバインドサイクル

### (1) 設立の経過

ISO 3977 “Gas turbines-Procurement” の改正作業の一環として、コンバインドサイクルについての記述を追加すべく作業グループ WG 3 (コンバインドサイクル) を発足させることが、1990 年ブラッセルで行われた会議で決定された。幹事国はスイス、参加国はフランス、ドイツ、イタリア、イギリス、アメリカ、日本の合計 6 か国である。WG 3 の国内の幹事は日立製作所が担当している。

第 1 回の WG 3 の国際会議は 1991 年 1 月に予定されたが、湾岸戦争勃発により延期となり、1991 年 5 月が実質的キックオフとなった。

現在までの国際会議開催状況は次の通りである。

- ・第 1 回 1991 年 5 月 ベルリン (ドイツ)
- ・第 2 回 1991 年 11 月 バーデン (スイス)
- ・第 3 回 1992 年 6 月 ケルン (ドイツ)
- ・第 4 回 1992 年 11 月 バーデン (スイス)

- ・第5回 1993年5月 シンシナチ (アメリカ)
- ・第6回 1993年9月 ボーンマス (イギリス)
- ・第7回 1994年1月 バーデン (スイス)
- ・第8回 1994年6月 ハーグ (オランダ)
- ・第9回 1994年12月 フランクフルト (ドイツ)
- ・第10回 1995年8月 ウィーン (オーストリー)
- ・第11回 1996年6月 バーミンガム (イギリス)

## (2) 作業内容

### (a) ISO 3977 Annex F の作成

コンバインドサイクルを構成するガスタービン、蒸気タービン、排熱回収ボイラ、復水器などについて、個別の規格は存在するが、コンバインドサイクルとして全体を包含する規格は存在しなかった。

WG3は第一段階として、ガスタービンの調達仕様を規定しているISO 3977 “Gas turbines-Procurement”にAnnex Fとして“Basic procurement information for combined cycle plants”を追加する作業を行った。幹事国であるスイスが素案を作成し、各国委員がそれに対するコメントを提示し、審議を進めていく形で推進した。

基本的には、ISO 3977の本文の構成を踏襲しつつ、コンバインドサイクルを構成する機器を調達する際に規定すべき内容を検討し、Annex Fとして作成した。

#### 1) サイクル構成

コンバインドサイクルを本規格に反映するにあたり、考え得る構成をすべて反映するか否かで大きな議論がされた。多種多様な構成についてすべて検討することは、時間的問題ならびに統一した規格としてまとめることの困難さから、結果として本規格では非助燃のコンバインドサイクルに絞り込む方針とし、そのほかのサイクルについては、次の段階で考えることとした。

#### 2) Annex F 作成状況

第6回国際会議までが実質審議期間であり、1993年8月にISO/DISとしての原案がまとまり、1994年8月に参加国の投票が行われた。投票の結果賛成多数で承認され、1995年11月1日付けでISO 3977 AMENDMENT 1: Basic procurement information for combined cycle plantsとして制定された。

### (b) ISO 2314 Annex A の作成

コンバインドサイクルを構成するガスタービン、蒸気タービン、排熱回収ボイラの性能試験などに関する規格は存在するが、コンバインドサイクルとしての性能試験などを規定した規格はなく、製造者が各自の方法で購入者との合意のもとに性能試験を実施しているのが現状である。

既存の規格を検討の結果、WG3としてはISO 2314を新しい規格のベースとして最も適していると判断し、ISO 2314に対するAnnex Aとしてコンバインドサイクルの受取試験方法“Gas turbines-Combined cycles-Acceptance tests for combined cycles”の規格作成作

業を行った。

審議の過程において、ガスタービンから排熱回収ボイラに導かれる排気ガスのエネルギー測定法と計算法に、論議が集中した。世界的に統一された排気ガスのエンタルピー線図あるいは表が存在しない現況から、性能計算は相互に合意した計算方法によるという表記にとどめている。

ISO 2314 Annex Aは1996年5月締切りでISO 2314 AMENDMENT 1として投票にかけられ、日本は若干の表記上の誤記等に対するコメント付きで賛成投票した。1996年7月現在、各国のコメントはTC 192より作成元であるWG3に回され、チェックと修正作業が行われている。上記投票の結果、このISO原案は承認された。

### (3) 今後の活動

1995年6月のヒューストンでの会議において、WG3としての新しい作業としてコンバインドサイクルを構成する主要機器に対する調達仕様作成が決定され、同メンバーにて作業が開始された。

規格素案のメールでのやり取りの後、1996年6月バーミンガムで行われた作業グループ会議で本格的な作成作業に入った所であり、TC 192への審議用原案の提出を1997年3月と予定している。

TC 192はISO 3977 “Gas turbines-Procurement”について次の見直し改正に際し、9つのPartから成る新しい構成案に変更していくことにしており(1996年のバーミンガム会議でPart構成の一部修正があり、Partの数は12から9に修正された)、WG3ではISO 3977の新Part 6としてコンバインドサイクルの規格策定作業を行うことになる。

日本はコンバインドサイクルの先進国として、蒸気タービン及びボイラ側の意見等も取り入れながら、積極的に関与し貢献していきたいと考える。

(文責 安田耕二 (㈱日立製作所))

## 3.5 TC 192/WG 4 用途

### (1) 設立の経過

WG4は、1991年5月に開催されたISO/TC 192 ベルリン会議において、幹事国をドイツとして新しく設置されることが決定された。その目的はISO 3977を見直し、ガスタービンの産業用または機械駆動用などの用途への適用について検討し、その内容をISO 3977の新Annexとして追加するというものである。類似の規格として、すでにユーザ側の内部規格であるアメリカ石油化学規格API 616があり、これとの関連を含めた検討を進める必要があるとされた。

これを受けて、日本でも1991年7月のISO/TC 192 国内対策委員会において、新しくWG4を発足させ、幹事として三井造船があたることになった。

### (2) 作業内容

1992年6月にドイツのケルンにおいて、第1回国際会

議が開催された。この会議で ISO 3977 と API 616 との比較などが行われた。この会議での結果を反映して、WG 4 の事務局において第 1 次素案を作成し、これを基に実質的な審議を進めることになった。

また、専門委員会から諮問されていた「機械駆動用膨張タービン及び同蒸気タービン」については、新しい TC を設立すべきこととし、もし新しい TC ができない場合には、機械駆動用膨張タービンについては WG 4 のタスクとして引き受けることで合意した。なお、このあと新たに TC 208(産業用熱タービン)が設置され、TC 192 もこれに協力することになった。

国内では、国内対策委員会の本委員会及び小委員会で、第 1 次素案に対する審議を行い、日本側としてのコメントを作成し、WG 4 幹事国事務局に送付した。その主要点は、①商業的な事項はできるだけ避けて、内容は技術的な情報に限ること、② Normative reference は ISO とし、API は必要であれば、Supplemental reference とすること、③新設計のエンジンや定格向上の説明義務は除くこと、④用語として Responsible とか Responsibility は適切でない、などである。

第 2 回国際会議は、1992 年ドイツのフランクフルトで開催された。WG 4 登録メンバーは 18 名、うち TC 67(石油ガス工業)/SC 6 (装置及びシステム)からの参加は 6 名であり、正式にグループの活動が開始されることとなった。日本からは、青木千明、表義則(後、手島清美に交代)が登録された。この会議から実質的な審議がスタートし、先に提出していた日本側のコメントはおおむね受け入れられることとなり、各国のコメントも考慮して、事務局において第 2 次素案が作成されることになった。この素案は 1993 年 3 月にドイツのフランクフルトでの第 3 回国際会議で討議された。この会議では、全体の構成及び字句の検討が行われ、特にパッケージの定義について議論があった。その他の修正項目も加味して、第 3 次素案を作成し、1993 年 5 月にアメリカのシンシナチでの第 4 回会議において各国代表に配布された。

これに対しても、日本側で審議を行い、同年 9 月に第 2 回目のコメントを作成し、提案した。その主な内容は① Responsibility という言葉は適切でない、②余りに詳細にわたる規定は避けること、③パッケージ、供給者の責任、そのほか語句の訂正、照会など 21 項目にわたるものであった。

1993 年 9 月にイギリスのボーンマスで第 5 回国際会議が開催され、日本案も含め、各国のコメントが審議された。その結果②項を除いて日本案が受け入れられた。しかし、この会議では出席者が僅か 4 名(うち、日本から 1 名)と少なく、コメントも 2 か国のみと低調で、幹事国の議長から、会議への積極的な参加と活発な審議、ならびに TC 67(石油ガス工業)/SC 6(装置およびシステム)との合同作業(JWG)の推進が要請された。

1994 年 3 月にドイツのフランクフルトで第 6 回国際

会議が開催されたが、幹事国の議長が交代し、また、TC 67/SC 6 からの代表の参加を得て、審議の様子が大幅に変化した(写真 3.5-1 は第 6 回国際会議出席のメンバー)。すなわち、機械駆動用ガスタービンの 95%は石油化学用に使用されていること、また TC 67/SC 6 としては API 616 及び関連の石油化学用内部規格を早期に ISO 化したい意向が示され、これに加えて石油化学用としては機械駆動用でも発電用でも特に大きな差はないという理由から、ISO 3977 のパート構成も変更して、「産業用ガスタービン(機械駆動用及び発電用を含む)」を新しい一つのパートにして、WG 4 で審議を行うことが決められ、TC 192 専門委員会に提案された。



写真 3.5-1 ISO/TC 192/WG 4 のメンバー

この提案は、1994 年 6 月にオランダのハーグで開かれた TC 192 国際会議で日本の反対コメント(発電用はそれを主体とした規格にすべきという)を契機に大きな議論を呼び、日本とアメリカが反対し、ヨーロッパ各国が概ね賛成する形で、会議の大半をこの意見の調整に費やすこととなった。結果としては、TC 192 会議の合間で開かれた WG 4 の第 7 回国際会議で再検討することになり、ISO 3977 のパート構成の新改正案を作成して、TC 192 としても承認して、今後この新改正案で進むことになった。

このハーグでの TC 192 国際会議において決まったこととして、API 関連規格をそのまま ISO のガスタービン規格とはしないこととし、WG 4 が TC 67/SC 6 と協調して合同作業を行いながら、API 規格も参考にして、基本事項、石油化学用特殊事項の原案と、パッケージング、補機の基本要案を作ることになった。

さらに、パッケージング、補機の詳細要求事項の原案作成は、WG 6 が WG 4 と協調しながら作業を行うことも決められた。なお、WG 6 はこのほかに制御・計装の原案作成も行う。

これを受けて、1994 年 10 月のアメリカのポートランドの第 8 回国際会議で新しい素案が示された。この段階でのコメントとして、①他の WG との関連をどうするか(例えば WG 2 はすでに活動を行っていない)、②各国

が持っている National standard との関連をどうするか、といった基本的な問題が提起された。また次回の検討事項宿題として、API 616 のデビエーションリストの実例を持ち寄り、ドラフト作りの参考とすることが決定された。

これを受けて国内で審議を行っている期間中に、阪神淡路大震災が起これ、交通機関がマヒしたため関東側と関西側とで FAX による調整を行いながら、素案に対するコメント、API 616 のデビエーション例などをまとめた。コメントの骨子は① Part 3: Basic requirements はできるだけ、簡略化し、他の Part との重複は避ける、② ガスタービン本体以外の発電機や補機などは Part 4: Packaging and auxiliary equipment に移す、③ 本文に引用されている参照規格は、ISO 規格にするなどであった。

1995 年 2 月のドイツのエッセンにおける第 9 回国際会議において、この素案に対する審議が行われた。この会議では、各項目を逐一審議していったため量的にはあまり進まなかったが、規格の骨格が定まった。

第 10 回国際会議は、1995 年 4 月にスイスのバーデンで開催された。ここでは石油業界の要望により、API RP 11 GT (GT recommended practice) をたたき台として規格と実状の差異などを中心に議論された。ユーザ側の注意を喚起するため、ある程度妥協的な面はあるが、概ね合理的な審議が行われ、日本側のコメントにもほぼ沿った内容となった。今回の打合せで本規格の骨子となる Part 3, 4 の最終ドラフトを作成して、次回ヒューストン会議で API 側にも説明し、了解をとることになった。また日本から提案した非常用ガスタービンに関しては、独立セクションとするのが妥当であろうとの結論となった。

第 11 回国際委員会 は、1995 年 6 月にアメリカのヒューストンで開催された。この委員会には API 代表の出席があり、API としては、オイルリファイナリ以外の一般のガスタービンについても対象とするとの発言があり、ISO との関係はどうするかで議論が白熱した。結局、同じ内容になってはユーザが混乱するので、ISO を基本規格とし、これをより詳細にしたものを API とするよう申し入れ、双方で十分協調をとって進めることで合意した。なお、API は 1996 年春の完成を目標にしているとのことであった。

今回の委員会で WG 4 の担当分である Part 3, 4, 7 のドラフトの修正はほぼ完了したが、このメンバーは熱心に活動するので、まだはかどっていない Part についても担当してほしいとの要請があった。

第 12 回国際会議は、1995 年 11 月ドイツのフランクフルトで行われた。ここでは Part 3, 4, 7 の残り Part 9~12 について審議された。前者については、日本側のコメントに沿って審議が進められた。特に、Annex C の各国の規格の比較表を完成させるよう要請された。また、

後者については残り時間少なく、実質的な審議にはいたらなかった。幹事より、審議の促進に協力してほしい旨要請があった。

これを受けて、国内対策委員会で審議した結果、Annex C については、① Normative とはせず Informative とすること、② 多くの類似規格の詳細な内容を比較・検討することは実際問題として不可能であるので、必要最小限にとどめることなどをコメントすることとした。

第 13 回国際会議は、1996 年 2 月ドイツのフランクフルトで開催された。Part 3, 4, 7 については、前回までの結果を TC 192 専門委員会に答申するための CD ドラフト (Committee Draft) の形にまとめて各国に配布し、同年 5 月迄にコメントを受けることになった。この会議では Part 9 以降について集中的に審議を行った。

なお、この会議の終わりに日本側より、バーミンガムの次の国際会議は日本で開催したいとの申し出を行い、ほぼ全委員の賛同を得たが、各委員の予定等もあり、次回正式に決定することになった。

第 14 回国際会議は、1996 年 6 月にイギリスのバーミンガムで開催された。ここでは CD ドラフト案 (Part 3, 4, 7) に対する各国のコメント、各委員のコメントを集中的に審議した。そしてこれまで審議した結果とあわせて実質的な審議を終了した。概ね日本側のコメントは受け入れられたものと思われる。次回は Part 9 以降について集中的に審議することになり、1996 年 9 月に東京で開催されることになった。

### (3) 今後の活動

WG 4 は、産業用ガスタービンに対する調達仕様規格作りについて、発電用の独自性もいかしながら、また石油化学用が多くを占めるといいながらも、他用途をも考慮しながら、その作業を進めるという遠大な課題に取り組んできた。TC 67/SC 6 との調整も大切な課題であり、WG 4 の活動が TC 192 の中でも大きなウエイトを占めている。WG 4 の各委員は非常に熱心で、最近の 2 年間で 8 回というハイペースで審議を行った。これに呼応して、日本としても各委員が一致して積極的に協力を行ってきた。国内の関係各委員に感謝すると共に、より一層のご尽力をお願いしたい。

(文責 手島清美 (三井造船株))

## 3.6 TC 192/WG 5 運転・保全

### (1) 設立の経過

WG 5 は、1991 年 5 月 2~3 日にドイツのベルリンで開催された ISO/TC 192 国際会議の本委員会でドイツから提案され、次の活動内容を主目的として開始された。(a) 「ガスタービンの運転及び保全」(Gas turbine operation and maintenance) について、TC 192 が取り扱う範囲を対象として検討を行い、ISO 3977 Annex D の改訂版として完成させる。

(b) この ISO 3977 Annex D の原案作成のために、新作業グループ WG 5 を発足させる。

(c) WG 5 の幹事国はドイツとし、TC 192 のメンバー各国は 1991 年 7 月 31 日までに WG 5 に参加する委員を指名して TC 192 事務局に連絡する。

以上により、WG 5 のメンバーが決定され、下記の国際会議が開催された。なお、WG 5 の国内の幹事は東芝が担当している。

- ・第 1 回 1992 年 6 月 ケルン (ドイツ)
- ・第 2 回 1992 年 11 月 フランクフルト (ドイツ)
- ・第 3 回 1993 年 3 月 フランクフルト (ドイツ)
- ・第 4 回 1993 年 5 月 シンシナチ (アメリカ)
- ・第 5 回 1993 年 9 月 ボーンマス (イギリス)
- ・第 6 回 1994 年 3 月 フランクフルト (ドイツ)

## (2) 作業内容

上記の国際会議で実施した作業内容は下記の通りである。

(a) 第 1 回 (ケルン): メーカーとユーザの便益のために国際規格を提案し、ガイドラインを作成するという主旨から、ドイツから運転・保全に対する提案がなされたが、詳細にわたるため、より規格としてふさわしい内容を今後立案することとなった。

(b) 第 2, 3 回 (フランクフルト)

ヨーロッパのメーカー委員から起動回数を運転時間に換算して、実際の運転時間と合計して評価する「等価運転時間」(EOH = equivalent operating hours) の考え方が提案されたが、運転時間は主としてクリープ等の機械的強度、また起動回数は主として繰り返し応力寿命と関連したものであるから、別々に評価するべきだとの主張もあり、画一的な規格化は難しいとの結論となった。

(c) 第 4 回 (シンシナチ)

前回の EOH に関する提案に対し、アメリカのメーカーから修正案の提案があり、これをどのように取り入れるかが課題とされた。

なお、本委員会で WG 5 は Reliability, Availability, Maintainability 及び Safety を取り扱うこととなった。

(d) 第 5 回 (ボーンマス)

全体構成とたたき台として、前回提示された資料の検討を行った。

(e) 第 6 回 (フランクフルト)

「信頼性・稼働性・保全性・安全性」に関する用語・定義等を整理し、CD 3977-12 として TC 192 専門委員会検討用原案をまとめあげた。

## (3) 現状の作業状況

6 回の集中審議を経て国際会議は終了し、その後書類ベースでのやりとりを継続し、1996 年 8 月に DIS に対する参加各国の投票を実施した。

## (4) 記載内容の概要

記載内容について全部を紹介する紙面の余裕はないが一例としてどのような記載になっているかを、部分的に

ご紹介してみる。

### (a) General

運転・保全性に関して関係者が情報交換するためのベースを提供することが目的。

### (b) Field of application

ガスタービンのすべての要素及び附属品が対象。

### (c) Normative references

ISO 2314-Acceptance tests をあげている。

### (d) Terms, symbols, and definitions

運転・保全に関する基本的用語とその定義を要領よく述べている。

### (e) Maintainability

保守・保全に関して、特に下記の面で述べている。

#### 1) Manufacturer's responsibility

保守・保全に関して、メーカーの責任において、ユーザに点検・検査をどのようなスケジュールで実施するべきかが示されるべきであるとし、その方法として次のように運転領域をベースとする例、等価運転時間をベースとする例の 2 案が例示されている (上記において EOH に関する見解の相違がある現状を取り入れたもの)。

A: Full load continuous

B: Utility-Base load

C: Utility-Intermediate

D: Alternating base and peak load

E: Daily cycling

F: Utility-Peaking

G: Emergency standby

H: User specific

#### 2) User's responsibility

燃料の購入・保管・清浄化等の責任、引き渡しされた後の適切な運転・保全・技術・管理員等を手配することなど、ユーザ側の責任について、また予備品の保有と運転ログの管理が大切であることなどを述べている。

#### 3) Reliability and availability

Reliability acceptance tests に関し、述べている。

#### 4) Safety

プラントの安全性を確保する上でのポイントを箇条書きにして述べている。

(文責 長妻 宏 (株東芝))

## 3.7 TC 192/WG 6 制御・計装・補機

### (1) 設立の経過

本作業グループは、1993 年 5 月に開かれた ISO/TC 192 シンシナチ国際会議において設置が決定された。担当部分は Controls 及び Auxiliary equipment で、アメリカを幹事国とし、ISO 3977 改正原案の Part 4: "Auxiliary equipment" 及び Part 9: "Control and protection devices" を取り扱うこととなった。各国より委員を募った結果、幹事国アメリカのほか、ドイツ、イタリア、スイス、イギリス、及び日本で構成されることとなった。

幹事国は、後に1995年6月のヒューストン国際会議からイギリスに変更となった。WG6の国内の幹事は川崎重工業が担当することとなった。

## (2) 作業内容

第1回会議が1993年9月にイギリスのボーンマスで開かれる予定であったが、直前にキャンセルとなった。1994年6月のオランダ、ハーグ国際会議が第1回目、新たに練り直されたパート構成案の中のPart 5: Controls and instrumentationをWG6が担当すること、Part 4: Packaging and auxiliary equipmentはWG4が基本要求事項を作成しWG6は詳細要求事項を作成することなどが決定された。その後、7月にPart5の原案作成の要請がアメリカよりあり、現ISO 3977とANSI B 133.4を基に修正してはどうかとの提案を、パート構成案とともに送付した。第2回会議は1994年10月にポートランドで開催され、イギリスのメンバーが作成した“Control and instrumentation”の草案に基づいて審議が行われた。原案は、その表現に詳細すぎる部分があること、非常用発電機用途が考慮されていないことなどの問題があり、修正を申し入れた。その後は、WG4の委員も兼ねているイギリスのメンバーが修正した草案を元に、意見交換や修正作業を行ってきた。この過程で、日本より「非常用ガスタービン発電機に関する記述を盛り込むべし」との提案を行ったが、これに関して各国委員に意見の差があり、なかなか結論が出なかった。この提案を1995年6月のヒューストン国際会議にて、WG6、WG4及びTC192に対し、正式に行った。その結果、Emergency standby applicationとしてPart 5: Control and instrumentationに盛り込むと同時に、Part 7: Gas turbine applicationにもその項を設けることで合意され、日本からScope of the workとRational statementを提示した。その後、紆余曲折があったが、1996年6月のバーミンガム会議で再度審議され、結局昨年の方針通り

再確認された。ただし、日程の都合上、本年7月末までに日本が原稿を送付すべきこととなった。WG6はTC192にCD 3977-5を提出し、検討を依頼した。パート構成が再検討されたため、WG6はWG4と協調して旧Part 5を新Part 3に取り込む作業を、1996年11月1日までに行うこととなった。

(文責 巽 哲男 (川崎重工業㈱))

## 3.8 TC 192/WG 7 燃料・環境

### (1) 設立の経過

WG7はTC192の中では最も新しい作業グループで、1995年6月のヒューストンにおけるTC192第8回国際会議で設立が決定された。WG7は、燃料・環境に関する規格制定を行うもので、ISO 3977 Part 6として組み入れられることになっている。幹事国はアメリカで、国内の幹事は三菱重工業が務めることとなった。

### (2) 活動状況

1995年12月に幹事国が作成した素案を入手しており、国内の小委員会で検討の結果、コメントを付した上で基本的な内容については合意した。その後、1996年3月には各国の意見を反映した規格原案を入手した。第1回の作業グループ国際会議は、ASME Turbo Expo'96の開催にあわせ、1996年6月13日にバーミンガムで行われ、日本から参加した岩崎(池上代理(三菱重工業))及び安田(日立製作所)の両委員を含め6名が出席し、原案の内容に対する討議が行われた。

### (3) 今後の予定

バーミンガムでの打合せの結果を反映した最終原案が本年末までに幹事国のアメリカで作成される予定で、これが各国委員に再度送付されることになっている。この最終原案に対するコメントの提出期限は、1997年3月末の予定となっている。

(文責 池上寿和 (三菱重工業㈱))

## 4. 関係規格及び関連 JIS 規格の動向

### 4.1 関連 JIS 規格の動向と国際整合化

#### (1) JIS 規格の動向

ISOの参加国(Pメンバー)は、その国内工業規格をISO国際規格と整合を持たせて制定または改正を行う必要がある。

陸船用のガスタービン関連、即ち主としてISO/TC192関連のISO規格に対応する日本工業規格いわゆるJIS規格の原案作成または改正作業については、「ISO/TC192国内対策委員会」の事務局を行っている日本内燃機関連連合会が対応事務局となり、通商産業省工業技術院の事業委託を日本規格協会を経て受け、中立者としての学識経験者、使用者、生産者の各代表から構成される「JIS原案調査作成委員会(または改正原案調査作

成委員会)」を個々に編成して、作業を行うことになっている。

ガスタービンの領域では、その技術的歴史が比較的新しいこともあり、関連国内規格の制定には、早くからISO規格との整合性を持たせることに努めてきている。また、先行しているJIS規格があれば、それをISO規格の審議段階になるべく反映できるように努力が払われている。

ガスタービンに直接的に関係する既に制定されているJIS規格は、航空用を除き現在次の3つである。

#### ① JIS B 8041: ガスタービン試験方法

—1972(昭和47)年制定、

1989(平成元)年全面改正

## ② JIS B 8042: ガスタービン—調達仕様

- 1981 (昭和 56) 年制定,
- 1994 (平成 6) 年全面改正

## ③ JIS B 0128: 火力発電用語—ガスタービン及び附属装置

- 1970 (昭和 45) 年制定,
- 1983 (昭和 58) 年全面改正
- 1994 (平成 6) 年全面改正

## (2) JIS 規格と ISO 規格との関係

(a) JIS B 8041 「ガスタービン試験方法」は、国際規格原案として ISO/DIS 2314 “Gas turbines-Acceptance tests” が 1971 年に作成・承認されたことに伴い、対応する JIS の原案作成作業に入り、1972 年に制定された。

その後、ISO 2314 が 1989 年に全面改正されたため、これに対応して日本内燃機関連合会が事務局になった JIS 改正原案調査作成委員会により、1989 年に JIS B 8041 の全面改正を行っている。このため、この JIS は対応 ISO とよく整合化されている。

(b) JIS B 8042 「ガスタービン—調達仕様」は、国際規格 ISO 3977 “Gas turbines-Procurement” が 1978 年に作成・制定されたことに伴い、対応する JIS の原案作成作業に入り、1981 年に「ガスタービンの一般仕様」の表題で制定された。

その後、ISO 3977 が 1991 年に全面改正されたため、これに対応して 1993 年に日本内燃機関連合会が事務局になった JIS 改正原案調査作成委員会を設置し、ISO に準じてコンバインドサイクル関連事項を追加するなどの全面改正作業を行い、表題も ISO に合わせて「ガスタービン—調達仕様」に改正し、1994 年に改正発行された。このため、この JIS は対応 ISO とよく整合化されている。

(c) JIS B 0128 「火力発電用語—ガスタービン及び附属装置」は、火力原子力発電技術協会が事務局となった JIS 原案調査作成委員会により 1970 年に日本独自の規格として制定され、その後 1983 年に“複合サイクル”の用語を追加するなどの作業を行って全面改正されている。

一方、ISO/TC 192 では 1988 年に「ガスタービン—用語 (Gas turbines-Vocabulary)」の国際規格を作成することを決め、素案作成の幹事国にアメリカを選んだ。この際、日本からは JIS B 0128 に採用されている用語を英語で一覧にして、幹事国のアメリカの委員と ISO/TC 192 の事務局に手渡し、素案作成の参考にすることをお願いした。その結果、1993 年完成の ISO/DIS 11086 “Gas turbines-Vocabulary” では、採用された用語及び分類構成とも JIS B 0128 にきわめて類似のものになっている。

この JIS 規格は、1993 年に再度全面改正の作業が行われ、1994 年に改正発行された。この際に、“複合サイクル”の用語が“コンバインドサイクル”に変更されるなどのかなりの見直しが行われた。

## (3) 国際整合化の推進

国内規制の緩和政策の一環として、現在平成 7 年度からの 3 か年計画で、国内規格 JIS 等の国際規格 ISO または IEC (国際電気機器規格) との整合化推進施策が進められている。

また、1995 年 9 月には「JIS と国際規格との整合化の手引き」書が工業技術院と日本規格協会の名前で出され、それに則って国内規格の国際整合化を進めている。

一方、JIS Z 8031 「規格票の様式」が、1996 年 7 月に全面改正され、ISO 方式にかなりよく一致するものとなった。パート制の導入が可能となり、附属書も「(規格)」と「(参考)」の 2 本立になるなどの便利さもあるが、細部ではこの新しい JIS の様式に沿った変更が必要である。

ガスタービン関係 JIS では、上述のように既存の JIS はよく ISO と整合化されている。しかし、最近 DIS となった国際規格案があり、この中で重要な DIS については JIS 化を急ぐ必要がある。

そのため、平成 8 年度には、環境対策としても重要な JIS 「ガスタービン—排気排出物測定方法及び監視方法」を、ISO/DIS 11042-1 及び ISO/DIS 11042-2 対応国内規格として制定することにし、工業技術院の事業委託を日本規格協会を経て日本内燃機関連合会が受け、31 名の委員で構成する「ガスタービン JIS 整合化原案調査委員会」を設置し、その下部に「ガスタービン分科会」(委員 15 名)を置いて、作業に入っている。委員会及び分科会の委員を表 4.1-1 に示す。委員の約 80% は、国際整合化の趣旨から ISO/TC 192 国内対策委員会の委員を兼ねている。

さらに、翌平成 9 年度には、高度エネルギー利用としても重要な JIS 「ガスタービン—コンバインドサイクル—試験方法」を、ISO/DIS 2314-Annex 対応国内規格として制定する計画を立て、長期計画で申請している。

また、これらを含め、平成 8 年度から始まった工業技術院の第 8 次 5 か年標準化長期計画の中で、ISO/TC 192 専門委員会が現在審議を進めている DIS (ISO 3977 のパート制導入による新しいパートの部分など) についても、逐次 JIS 化を進めていくように計画している。

## (4) 今後の動向

国内規格の国際整合化は、最近の推進施策はもとより、世界の趨勢として今後共継続的に重要なこととなる。

そのためには、ISO/TC 192 専門委員会及びその WG への積極的な参加を通して国際標準への貢献を進めると共に、国内規格である JIS に対して ISO との整合性を保ちながら、なおかつ ISO の動きに対応して早め早めに原案作成または改正の作業を進めていくことが重要である。

この点からも、ガスタービン関連 ISO 及び対応 JIS の事務局を日本内燃機関連合会がまとめて行っていることは好都合であり、実質継続的に置かれている ISO/

表 4.1-1 ガスタービン JIS 整合化原案調査委員会  
(平成 8 (1996) 年度) 委員名簿  
[31 名, ○は分科会委員 15 名]

|               |                         |
|---------------|-------------------------|
| 委員長 (中立者) :   | ○ 田 中 英穂 (東京大学名誉教授)     |
| 分科会主査 (中立者) : | ○ 青 木 千 明 (日本内燃機関連協会)   |
| 中立者委員 :       | 本 間 清 (通産省工業技術院)        |
|               | 橋 本 繁晴 (日本規格協会)         |
|               | 内 山 芳忠 (機械技術研究所)        |
|               | 平 岡 克英 (船舶技術研究所)        |
|               | 井 口 泉 (元防衛大学)           |
|               | 有 賀 一郎 (千葉工業大学)         |
|               | 川 口 修 (慶応義塾大学)          |
| 使用者委員 :       | ○ 田 丸 卓 (航空宇宙技術研究所)     |
|               | 鈴 木 教太 (電気事業連合会)        |
|               | 保 科 幸雄 (日本内燃力発電設備協会)    |
|               | 井 上 新二 (火力原子力発電技術協会)    |
|               | ○ 花 島 脩 (昭和シェル石油/石油連盟)  |
|               | 深 田 智久 (電力中央研究所)        |
|               | 相 沢 善吾 (東京電力)           |
|               | ○ 三 賢 憲治 (東電設計)         |
|               | 村 地 哲寿 (日揮)             |
| 生産者委員 :       | ○ 龍 重法 (堀場製作所)          |
|               | ○ 鈴 木 章夫 (石川島播磨重工業)     |
|               | ○ 巽 哲男 (川崎重工業)          |
|               | ○ 塩 見 肇 (東芝)            |
|               | 毛 利 幸雄 (新潟鉄工所)          |
|               | ○ 安 田 耕二 (日立製作所)        |
|               | 加 藤 剛 (日立造船)            |
|               | ○ 河 田 修 (富士電機ガスタービン研究所) |
|               | ○ 吉 川 修平 (富士電機)         |
|               | ○ 手 島 清美 (三井造船)         |
| (分科会幹事) :     | ○ 池 上 寿和 (三菱重工業)        |
|               | 西 原 昭義 (ヤンマーディーゼル)      |
| 事務局委員 :       | ○ 丸 山 倉 平 (日本内燃機関連協会)   |

TC 192 国内対策委員会が、常に ISO の動向を見ながら JIS への働きかけを行っていくようにすることが大切である。

(文責 青木千明 (日本内燃機関連協会))

#### 4.2 JIS ガスタービン—調達仕様

JIS ガスタービン—調達仕様 (JIS B 8042) は、1981 年に初版が制定され、1994 年に第 1 回の改正がなされ今日に至っている。

この規格の初版制定時の背景は、次の通りである。

- ① 国外及び国内において発電用をはじめとするガスタービンを使用したプラントの需要が増え、引合及び契約仕様書作成のための指針の必要性があった。
- ② 1978 年 ISO において、日本も参加した専門委員会が ISO 規格, “Gas Turbines-Procurement” (ISO 3977) を作成, 発行した。

これを契機として、日本においても国際的に通用するガスタービンの仕様の指針とすることを意図し、JIS 規格として作成され制定されている。

制定時の本規格に対する主要な考え方は以下の通りである。

- ① 本規格には、ガスタービン及び関連補機の調達に際し、購入者の引合仕様書及び製造業者の入札仕様書に記述する技術的な事項に対する要求事項を規定する。  
基本的には指針にとどめ、より詳細な事項は、購入者と製造業者の相互合意によるものとした。
- ② 規格の国際性を考慮し、考え方及び技術的事項については ISO 3977 にできる限り忠実に準拠した。
- ③ ただし、日本特有の環境、習慣等の実状を考慮し、ISO 通りでは適当でない部分、ならびに JIS 規格としての形式及び表現に合致しない箇所は修正した。
- ④ 関連する JIS 規格, JIS B 8041 (ガスタービン試験

方法), JIS B 0128 (火力発電用語—ガスタービン及び附属装置), その他を十分参考にした。

また, 本規格の適用範囲は, ISO 3977 に準拠し, 航空機及び車両用を除く, 開放サイクルガスタービンに適用し, 密閉サイクルガスタービンにも準用できるとしている。

1988 年, それまで ISO のガスタービン関連の規格制定作業を担当していた内燃機関専門委員会の一分科会である TC 70/SC 6 がガスタービン専門委員会 TC 192 に独立し, これと同時に, ISO 3977 の見直し改正作業が実施され, 1991 年に改正版が発行された。また, TC 192 ではこれと併行して ISO 3977 をコンバインドサイクルプラントにも適用できるようにするための部分的な改正作業も実施され, 1993 年にこのための DIS (ISO 原案) がまとめられた。

以上のような ISO の動きと, 日本国内におけるコンバインドサイクルプラントの増加に伴う規格改正の必要性を考慮し, 1993 年工業技術院から日本内燃機関連合会に JIS B 8042 の改正原案調査作成作業が委託され, 1994 年に改正版が発行された。

この改正の主要な内容は次の通りである。

- ① この規格の適用範囲にコンバインドサイクルプラントを含めた。
- ② コンバインドサイクルに関する用語の定義と要素構成例を付け加えた。
- ③ プラントの比較基準条件の項にコンバインドサイクルについての記述を付け加えるとともに, 蒸気側の比較基準条件について ISO 3977 Annex-F DIS 原案抜粋を規格の解説に収録した。
- ④ 標準定格については, 従来の ISO ピーク定格 (年間運転時間 2000 時間, 起動回数 500 回以下) 及びベース定格 (年間運転時間 8760 時間, 起動回数 25 回以下) のほかに, 我が国のコンバインドサイクルプラントの運転モードの実態に合ったクラス D, レンジ II (年間運転時間 8760 時間, 起動回数 500 回以下) を追加することにより, この種プラントでの出力あるいは保全の条件を明確にできるようにした。
- ⑤ 熱影響については, 従来, 解説で取り上げていたが, コンバインドサイクルにおける冷却水排出による熱影響を重視し, 加筆修正の上, 規格本体に移した。
- ⑥ 解説に記述している振動及び騒音については, 原規格制定以後の国内外規格の大幅な変化を考慮し, 最新のものに改めた。また, 大気汚染に関しても, 大幅に修正し, 関連諸規格の改廃を反映させたほか, 制定時以降の技術の進歩を取り入れたものとした。

以上が JIS ガスタービン—調達仕様 (JIS B 8042) の動向である。

なお, 現在, ISO/TC 192 では, ISO 3977 をさらに充実させるための見直しが行われており, この審議の進捗に伴い本規格も近い将来, 再度, 見直し, 修正が実施さ

れるものと予想される。

(文責 鈴木章夫 (石川島播磨重工業㈱))

#### 4.3 JIS ガスタービン試験方法

##### (1) 制定の過程

ガスタービンは, その進歩に伴って, 様々な分野で使用されているが, ガスタービンに関する JIS が制定されたのは今から約 25 年前にさかのぼる。

1960 年後半, ガスタービンが各方面で実用化されつつある時期に, ガスタービンに関する JIS がなく, 運転条件及び試験方法の標準化が強く望まれていた。

この頃, 外国では ASME, NEMA 及び BS で規格化が行われ, CIMAC でも国際規格を作成し, ISO もそれを基にして 1971 年に Draft ISO 2314 が作成され, 後に ISO 2314 “Gas turbines-Acceptance tests” (First edition) として 1973 年に制定された。

このような背景の基に, 日本機械学会標準化部会第 4 標準化委員会は, ガスタービンの運転条件及び試験方法を明確に規定するための第一段階として原案作成のための必要事項を調査研究する目的で 1968 年 (昭和 43 年) に「JIS ガスタービンの運転条件及び, 試験方法通則の調査分科会」を設け, 海外規格の調査と, その比較検討を行い, JIS 原案作成の基本方針の決定を行った。

これらの調査を基にし, 1969 年 (昭和 44 年) に「JIS ガスタービン運転条件及び試験方法分科会」を設け JIS 原案の作成を行った。

この分科会にて作成審議された原案は, 工業技術院に答申された, それを受けて工業技術院は日本工業標準調査会一般機械部会に「ガスタービン試験方法専門委員会」を設置し, 1971 年 (昭和 46 年) に第 1 回の専門委員会を開催し, その後専門委員会の決議, 機械第一規格調整同専門委員会の決議, 日本工業標準調査会一般機械部会で決議され, JIS B 8041 「ガスタービン試験方法」として 1972 年 (昭和 47 年) 7 月 1 日に制定された。

##### (2) 改正作業

###### (a) 一般事項

1972 年 (昭和 47 年) 12 月に開催された日本工業標準調査会の標準会議において, 日本工業規格に国際単位系 (SI) を積極的に採用することが決議され, これに伴い第一段階として 1974 年 (昭和 49 年) 4 月以降に制定, 改訂される規格及び工業標準化法第 15 条に基づく 3 年ごとの見直し (現在は 5 年ごと) 期限がくる規格については, 国際単位系による数値を併記することが義務づけられた。

###### (b) ガスタービン試験方法

JIS B 8041 「ガスタービン試験方法」の対応国際規格である ISO 2314 (Gas turbines-Acceptance tests) の見直し改正が行われたので, JIS についても日本におけるガスタービンの状況変化も入れた見直しが必要となり, 1987 年 (昭和 62 年) に工業技術院から (財) 日本規格協会の

委託業務として日本内燃機関連合会に対し、JIS B 8041「ガスタービン試験方法」の改正原案調査作成事業が委託された。

日本内燃機関連合会は、改正原案作成にあたり、「JIS 改正原案調査作成委員会」を組織し、3回の本委員会、6回の小委員会を経て、改正原案をまとめて工業技術院に答申した。

この規格は1989年(昭和63年)11月に開催された日本工業標準調査会の一般機械部会で審議、議決され、翌年1990年(平成元年)3月1日付けで改正規格が制定され現在に至っている。

#### (c) コンバインドサイクル試験方法

コンバインドサイクルを構成するガスタービン、蒸気タービン、排熱回収ボイラなどの個々の試験方法についての規格は存在するが、コンバインドサイクルとして総括した規格は存在しておらず、これらに対しても規格作成の必要性があることから、ISO/TC 192にてISO 2314 “Gas turbines-Acceptance tests” をベースにし、Annex Aとしてコンバインドサイクルの受取試験方法の規格作成作業が行われた。

1992年6月にISO/TC 192 専門委員会より第3作業グループ(WG 3)が担当する旨指示が出て、具体的作業に入った。WG 3はその後5回の委員会を経て、ドラフトをTC 192 専門委員会に提出し、1996年5月締め切りでISO/DIS 2314 AMMENDMENT 1として投票にかけられ承認された。日本は若干の表記上の誤記等に対するコメント付きで賛成投票した。1996年7月現在各国のコメントは(大半がマイナーなコメントで賛成多数)、作成元であるWG 3に回されチェックと修正作業が行われている状況であり、近々ISO 2314 AMMENDMENT 1として制定される見込みである。

JISの国際規格との整合化の動きの中で、この新規制定されたISOのJIS化の作業がここ1~2年の間で行われる予定である。

(文責 安田耕二 (株)日立製作所)

## 4.4 JIS 火力発電用語—ガスタービン及び附属装置

### (1) 制定及び改正の経過

一連のJIS「火力発電用語」の初版制定は昭和45年(1970年)9月1日に遡る。規格原案作成の委託を受けた火力発電技術協会では当時既に「火力発電用語集」の審議を進めていたので、これを土台にして改めて「JIS 原案調査作成委員会」を設置して対応した。「用語集」審議開始当時は「蒸気タービン及びガスタービン」としてまとめる案があったが、ガスタービンは自己完結形の原動機(熱機関)であって独自の用語体系を持ち蒸気タービンと併列に扱うことは無理であるとの主張が認められて、別個の作業部会が設けられた。

当時(1960年代後半)我が国では発電用ガスタービンは未だ設置・稼働機数が少なく、殆んど外国からの技術

導入に依存していたから、その用語規格制定は時期尚早との意見も一部にはあった。しかし、それ故にこそ早期に統一的用語を制定すべきであるとの認識が上記作業部会の各委員に共有されていた。用語集が単なるハードウェア・コンポーネント・パーツ名の羅列にならぬよう、教育効果に配慮してできるだけ学問的に厳密な定義と体系的な分類配列であって、しかも実務上使い易い用語選定と全体構成を志向し工夫された点に特長がある。

このことが、後に(1988年)ISO/TC 192において国際規格(Gas Turbines-Vocabulary: ISO/DIS 11086)の原案作成開始にあたり、日本から提案した用語の選択と分類・配列の素案(JIS-B 0128, 1983の英語一覧)がISO原案の骨組みとしてほぼ全面的に受け入れられる遠因となったと考える。

1970年に制定されたJIS-B 0128初版は3年毎の見直しを経てほぼ10年経過したが、この間にガスタービンの国際規格「ISO 2314: 試験方法」「ISO 3977: 調達仕様」が制定され、我が国での工業規格の国際規格への整合性強化奨励策に応じて「JIS B 8041」「JIS B 8042」が制定されて、関連規格間の用語統一が改めて必要となった。また技術動向の変化に伴う実務レベルでの必要性の変化、特に環境保全・公害防止関連の用語の取り込みが急がれること、他方では複合サイクル発電プラントの普及が顕著となりつつあるなど新用語の採択が必要となり、また用語数全体が過大になる弊害を避けるために旧用語の削除を検討することとし、1982年に全般的改訂作業が実行された。この成果として発行された1983年改正版は完成度が高く、5年毎の見直しを経ながら、以後10年間良く評価に耐え、前述の様に国際規格ISO/DIS 11086原案の起草に貢献し得たことは、記憶さるべきであろう。

1993年になって、再度全面見直し改正を行うことになり、改正作業が行われ、1994年に改正版が発行された。この新しい改正版では、前の版では「複合サイクル」という用語が使用されていたものを「コンバインドサイクル」に直すなど、大幅な改正が行われた。

なお、ここで「コンバインドサイクル」という用語の変遷について述べてみる。

英語の“Combined cycle”に対応する日本語の用語については、歴史的な変遷がある。ガスタービン用語にかかわるJISが始めてできたのは、JIS B 0128-1970「火力発電用語—ガスタービン及び附属装置」が1970年に制定された時である。すでに“Combined cycle”は海外では実用化されていたが、まだ国内では昨今のような“Combined cycle”時代が到来すると予測されなかったもので、用語に“Combined cycle”は入っていなかった。しかし、10年後の見直し時期には、国内でもすでに“Combined cycle”時代になっており、改正原案調査作成委員会で“Combined cycle”とそれに関わる用語を加えることになり、1983年に“Combined cycle”の関連用語が追加されたJIS B 0128-1983が制定された。これでは

“Combined cycle”には「複合サイクル」という用語が採用された。これは、日本語に近くまた短い用語にすることを考えたためである。1993年に次の10年後見しの改正原案調査作成委員会が設置され、“Combined cycle”には電力用として最近多く使用されている「コンバインドサイクル」という用語が採用された。

ちなみに、ISO/TC 192では、専門用語としての“Combined cycle”には、排熱回収による発生蒸気を発電用に使用するプラントも、熱併給用のいわゆる「コージェネレーション」も両方含まれるものとしている。

(文責 河田 修(富士電機ガスタービン研究所))

#### 4.5 ガスタービン用燃料の国際規格とJIS化の動向

##### (1) ガスタービン用燃料の国際規格

ISOは、1993年11月に、産業用及び船用ガスタービン

燃料油の規格ISO 4261 “Petroleum products—Fuels (Class F)—Specifications of gas turbine fuels for industrial and marine applications”を制定した。このISO 4261で規定されている油種と規格値を、表4.5-1に示す。

この規格には、DST.0(ナフサ)、DST.1/DMT.1(灯油)、DST.2/DMT.2(軽油)、DST.3/DMT.3(A重油タイプ)、RST.3/RMT.3(低灰分残渣油)、RST.4/RMT.4(重質残渣油)の6油種が規定されている。

これらの油種の最初の文字は、燃料油の種類を表し、“D”は、留出油の“distillate”、“R”は、残渣油の“residual fuel”を、第2番目の文字は、用途の分野を表し、“S”は、定置用の“stationary”、“M”は、船用の“marine”を表し、第3番目の文字“T”は、最終用途のガスタービンの“turbine”を表す。

表4.5-1 ISO 4261: 使用者に対してカスタディトランスファされる場所・時点におけるガスタービン燃料油の品質規格値

| 性 状                                        | ISO - F - 11                |                                      |                        |                        |                                       |                                | 試 験 法                |                          |
|--------------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|------------------------|------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|----------------------|--------------------------|
|                                            | DST.0                       | DST.1/DMT.1                          | DST.2/DMT.2            | DST.3/DMT.3            | RST.3/RMT.3                           | RST.4/RMT.4                    | ISO                  | 相当JIS                    |
|                                            | 低引火点石油系留出燃料油<br>[ナフサタイプ]    | 中引火点石油系留出燃料油<br>[灯油タイプ]              | 石油系留出燃料油<br>[軽油タイプ]    | 低灰分留出燃料油<br>(A重油相当)    | 低灰分残渣油又は留出燃料油<br>[石油精製から得られた重質基材を含む。] | 石油系燃料油<br>[石油精製から得られた重質基材を含む。] |                      |                          |
| 引火点(密閉式), °C                               |                             | 陸用: 38 以上<br>船用: 43 以上 <sup>2)</sup> | 陸用: 56 以上<br>船用: 60 以上 | 陸用: 56 以上<br>船用: 60 以上 | 60 以上                                 | 50 以上                          | ISO 2719             | JIS-K-2765               |
| 動粘度                                        | mm <sup>2</sup> /s @ 40 °C  | 1.3 以上 <sup>4)</sup>                 | 1.3~2.4 <sup>4)</sup>  | 1.3~5.5                | 1.3~11.0                              | 1.3~20.0                       | ISO 3104             | JIS-K-2283               |
|                                            | mm <sup>2</sup> /s @ 100 °C | -                                    | -                      | -                      | -                                     | 55 以下(参照C.2.2)                 | ISO 3104             | JIS-K-2283               |
| 密度(15 °C), kg/m <sup>3</sup> <sup>5)</sup> | 報 告                         | 報 告                                  | 880 以下                 | 900 以下<br>(参照B.6)      | 920 以下<br>(参照B.6)                     | 996 以下<br>(参照B.6)              | ISO 3675             | JIS-K-2249               |
| 蒸留性状, 90%留出温度, °C                          | 288 以下                      | 288 以下                               | 365 以下                 | -                      | -                                     | -                              | ISO 3405             | JIS-K-2254               |
| 低温流動性                                      | 報 告                         | 報 告                                  | 報 告                    | 報 告                    | 報 告                                   | 報 告                            | 参照4.3                | JIS-K-2269<br>JIS-K-2280 |
| 10% 残渣の残留炭素分, 質量%                          | 0.15 以下                     | 0.15 以下                              | 0.15 以下                | -                      | -                                     | -                              | ISO 4262             | JIS-K-2270               |
| 残留炭素分, 質量%                                 | -                           | -                                    | -                      | 0.25 以下                | 1.50 以下                               | 報 告 <sup>6)</sup>              | ISO 4262             | JIS-K-2270               |
| 灰分, 質量%                                    | 0.01 以下                     | 0.01 以下                              | 0.01 以下                | 0.01 以下                | 0.03 以下                               | 0.15 以下                        | ISO 6245             | JIS-K-2279               |
| 水分, 容量%                                    | 0.05 以下                     | 0.05 以下                              | 0.05 以下                | 0.30 以下                | 0.50 以下                               | 1.0 以下                         | ISO 3733             | JIS-K-2275               |
| セジメント-抽出法, 質量%                             | 0.01 以下                     | 0.01 以下                              | 0.01 以下                | 0.05 以下                | 0.05 以下                               | 0.25 以下                        | ISO 3735             | JIS-K-XXXX<br>制定中        |
| 硫黄分, 質量%                                   | 0.5 以下<br>0.5 以下            | 0.5 以下<br>0.5 以下                     | -<br>1.3 以下            | -<br>2.0 以下            | -<br>2.0 以下                           | -<br>4.5 以下                    | ISO 4260<br>ISO 8754 | JIS-K-2541<br>JIS-K-2541 |
| 銅板腐食                                       | 1 以下                        | 1 以下                                 | 1 以下                   | -                      | -                                     | -                              | ISO 2160             | JIS-K-2513               |
| 発熱量, MJ/kg                                 | 報 告                         | 42.8 以上                              | 41.6 以上                | 40.0 以上                | 40.0 以上                               | 39.4 以上                        | 参照付属書A               | JIS-K-2279               |
| バナジウム, mg/kg                               | 0.5 以下                      | 0.5 以下                               | 0.5 以下                 | 0.5 以下                 | ガスタービンメーカーに相談のこと。                     |                                | 参照付属書B               | JIS-K-2255               |
| ナトリウム+カリウム, mg/kg                          | 0.5 以下                      | 0.5 以下                               | 0.5 以下                 | 0.5 以下                 |                                       |                                |                      |                          |
| カルシウム, mg/kg                               | 0.5 以下                      | 0.5 以下                               | 0.5 以下                 | 0.5 以下                 |                                       |                                |                      |                          |
| 鉛, mg/kg                                   | 0.5 以下                      | 0.5 以下                               | 0.5 以下                 | 0.5 以下                 |                                       |                                |                      |                          |

注: 1) : 原油は、その性状が巾広く異なるため、必ずしもある特定の種類に適合しない。若し、産業用のガスタービン燃料油として、原油を使用する場合は、ガスタービンメーカーと使用者の間で合意を得なければならない。

2) : 法律によって他の試験法が必要になるかも知れない。

3) : 船用に於いては、この種類が非常用として使用される。この種類は、ISO 8217に適合しなければならない。

4) : 40°Cに於いて、動粘度が1.3mm<sup>2</sup>/sより低い場合は、ガスタービンメーカーより承認を得た上で規格値をその値に置換する。

5) : 15°Cの密度が、kg/Lで測定されている場合は、1,000倍しなければならない。

6) : RST.4/RMT.4の残留炭素分の意義については、“C.2.6.”中に記載されている。

7) : 排ガスエコノマイザを装備しているガスタービンは、低温腐食を防止するため、更に低い硫黄分を要求するかも知れない。(参照:C.2.9)

8) : カスタディトランスファ(custody transfer)とは、商品が販売者より購入者に物理的に引き渡されて、その商品の品質管理責任が、購入者の下に置かれた場所と時間を指す。一例として、ガスタービン燃料油をローリで運搬して、購入者の燃料タンクに納入する場合には、ローリのホースの先端部分が、

カスタディトランスファの場所と考えてよいであろう。

厳密には、このカスタディトランスファの場所は、販売者と購入者の間で明確に商品の納入前に確認して置くことが望まれる。

ガスタービン燃料油の品質が規格値を満足するか否かを判断するには、このカスタディトランスファの場所で採取した試料油について分析試験を行い、その分析試験結果が、規格値を満足するか否かによって判断する。

尚、上表中に参照されている、C.2.2.、C.2.9.、B.6.、4.3.、付属書A、付属書Bの詳細は、ISO 4261を参照して戴きたい。

数字の“0～4”は、数字が大きくなるほど、燃料油が重質化する。

これらの油種を商取引上等において呼称する方法が ISO 8216-2 “Petroleum products—Fuels (Class F)—Classification—Part 2: Categories of gas turbine fuels for industrial and marine applications” に記載されている。それによると、例として、定置用ガスタービンに使用される軽油では、ISO-F-DST. 2 と表示するように推奨している。

なお、ISO-F-DST. 2 の“F”は、“fuel”を意味する。

ガスタービン燃料油の品質の中で最も重要視されるのは高温腐食や堆積物生成原因となる微量金属分である。

問題となる微量金属分には、バナジウム、ナトリウム、カリウム、カルシウム、鉛があり、それぞれ許含有量が 0.5 mg/kg 以下となっている。

この微量金属分に関して、我が国において、とりわけ問題になるのは、A 重油に相当する油種“DST. 3/DMT. 3”である。

油種“DST. 3/DMT. 3”は、諸外国にはない我が国独特の軽油引取税法上の規定によって、残留炭素分を 0.2% 以上にして製造しなければならない。

その結果、留出油に残渣油を 1.0% 前後加えなければならないため、バナジウム分が 0.5 mg/kg を超えることとなり微量金属分の規格値を守ることが困難であり、また燃料フィルタを閉塞させる原因の非常に大きな要因ともなっている。

このような使用者のメンテナンス作業量の増加や機器に障害を発生させる原因となるような税法上の規定は、我が国の製造・生活コストを上昇させる一要因となるた

め、早急に改めなければならないことであろう。

そのためには、ガスタービンメーカーやその使用者は、この税法上の規定を変更させるべく、関係官庁に具体的に要求を出していくことが必要とされる。

この我が国の独特な軽油引取税法上の規定に伴い、国内で使用されている燃料規格として、ガスタービン燃料に A 重油相当油種である“DST. 3/DMT. 3”を使用することは、非常用などの用途を別にすれば、必ずしも望ましいことではなく、軽油相当油種である“DST. 2/DMT. 2”，あるいは灯油相当油種である“DST. 1/DMT. 1”を使用することが望まれる。

さらに、油種“DST. 3/DMT. 3”を適用する場合には、この油種が季節や場所によって、低温流動性の異なる商品が供給されていることや、適切な低温流動性の評価試験法が存在しないことなどを考慮すると、燃料系統中のファインフィルタ部の油温を冬期に 10～15℃ 程度迄に加熱できる加熱装置の設備を付けることが望まれる。これらのことは、規格の国際整合化の推進と共に十分検討して行くべきものである。

## (2) JIS 化の動向

通商産業省工業技術院の委託により、ガスタービン燃料油の JIS 原案作成団体は、石油連盟になっている。

そのため石油連盟では、工業技術院が、第 7 次長期計画の中で、「JIS 規格の国際整合化」を打ち出し、これを強力に推進することを要望していることを受けて、この ISO 4261 を、1999 年頃を目標として、ISO 一致の JIS 規格とする準備を進めている。

(文責 花島 脩 (昭和シェル石油㈱/石油連盟))

## 5. あとがき

標準化活動は、生産者にとって産業活動の基盤になるものであり、また使用者にとっても製品やサービス活動を安心して受け入れるための基準になるものである。

歴史的には、伝統的製品では技術の発達と製品の流通が十分に進んでから標準が後追いすることも多かったようであるが、ガスタービンでは新しい技術の立場を利用して、世界的に比較的早い段階から標準化に取り組んできており、国際規格と各国の国内規格との整合性も高いものがあるように思われる。日本の関連 JIS 作成についても、関連 ISO との整合化を図るべく早期段階から取り組んできており、整合化の度合いは非常に高い。

近年、欧米では工業規格を経営活動戦略に組込んでいく姿勢がみられ、①規格を規制にリンクして取り込み、工業規格といえども規制に準じるものにする。②システム規格を積極的に作成して、戦略的手段とする (ISO 9000 シリーズ (品質保証/品質管理)、ISO 14000 シリーズ (環境管理・監査) など)。③国内/地域規格を

ISO 化して世界的なものにし、貿易上の有利さをかちとる。④国際規格と異なる規格については、国内規制とみなす。⑤開発途上の製品についても規格化する。などの動きが出ている。従って、標準化活動といえども、経済情勢、社会情勢、国際情勢をはなれて論ずることはできなくなっている。

このような標準化活動も、実際は ISO 国内対策委員会または JIS 原案調査作成委員会の委員、及びそれらの委員を出している各組織・会社等の並々ならぬ努力の賜物であり、細部では国際規格案に対する検討、素案作成、回答案作成などの活動や、JIS 原案の検討、作成などの活動も、委員の方々のボランティア的かつホームタスク活動でまかなわれていることが多いのが実状であるといつてよい。また、国際会議への参加は、参加委員及びその所属組織にとっても事務局にとっても負担が大きいのが現状である。

幸いにも、ガスタービン関係の標準化活動に携わって

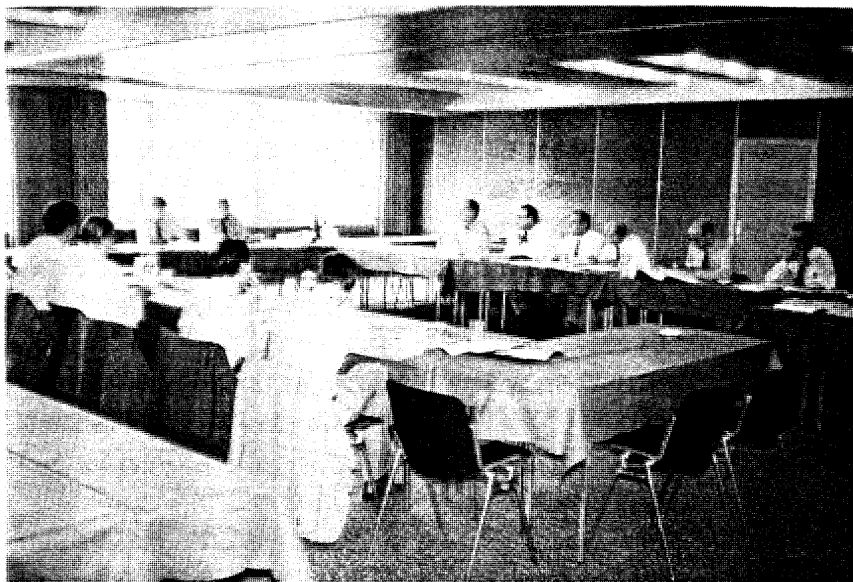
おられる方々は、いずれもきわめて熱心に活動していただき、非常に大きな成果も出しており、感謝に絶えない。

今後は、日本内燃機関連会会の会員に使用者が少ない現状も踏まえながら、さらに広く使用者の標準化活動への参加を呼び掛けていく必要がある。

標準規格の国際統合化の流れは、ますます強まりこそ

すれ弱まることはないものと思われ、一連の標準化活動は国際規格、国内規格を問わず、なお一層重要なものになっていくであろう。このような状況を踏まえて、関係者のますますの絶大なご理解とご支援をお願いする次第である。

(文責 青木千明 (日本内燃機関連会会))



ISO ガスタービン部門を独立の TC に申請することを決めたスイスのモントルーでの国際会議 (1987 年)

## 執筆者一覧

- |                                     |                                  |
|-------------------------------------|----------------------------------|
| 1. はじめに                             | 田中 英穂 (東京大学名誉教授/TC 192 国内委員会委員長) |
| 2. 経過及び概要                           | 青木 千明 (日内連/TC 192 国内委員会主査)       |
| 3. ISO/TC 192 専門委員会及び各 WG 作業グループの活動 |                                  |
| 3.1 TC 192 ガスタービン                   | 青木 千明 (日内連/TC 192 国内委員会主査)       |
| 3.2 TC 192/WG 1 騒音                  | 手島 清美 (三井造船/国内委・WG 1 担当主査)       |
| 3.3 TC 192/WG 2 排気ガス計測法             | 池上 寿和 (三菱重工業/国内委・WG 2 担当主査)      |
| 3.4 TC 192/WG 3 コンバインドサイクル          | 安田 耕二 (日立製作所/国内委・WG 3 担当主査)      |
| 3.5 TC 192/WG 4 用途                  | 手島 清美 (三井造船/国内委・WG 4 担当主査)       |
| 3.6 TC 192/WG 5 運転・保全               | 長妻 宏 (東芝/国内委・元 WG 5 担当主査)        |
| 3.7 TC 192/WG 6 制御・計装・補機            | 巽 哲男 (川崎重工業/国内委・WG 6 担当主査)       |
| 3.8 TC 192/WG 7 燃料・環境               | 池上 寿和 (三菱重工業/国内委・WG 7 担当主査)      |
| 4. 関係規格及び関連 JIS 規格の動向               |                                  |
| 4.1 関連 JIS 規格の動向と国際統合化              | 青木 千明 (日内連)                      |
| 4.2 JIS ガスタービン—調達仕様                 | 鈴木 章夫 (石川島播磨重工業)                 |
| 4.3 JIS ガスタービン試験方法                  | 安田 耕二 (日立製作所)                    |
| 4.4 JIS 火力発電用語—ガスタービン及び附属装置         | 河田 修 (富士電機ガスタービン研究所)             |
| 4.5 ガスタービン用燃料の国際規格と JIS 化の動向        | 花島 脩 (昭和シェル石油/石油連盟)              |
| 5. あとがき                             | 青木 千明 (日内連)                      |

# 能動型磁気軸受の技術と応用

横山 英二<sup>\*1</sup>,

YOKOYAMA Eiji

大嶋仁一郎<sup>\*1</sup>

OSHIMA Jin-ichiro

磯貝 登<sup>\*1</sup>

ISOGAI Noboru

キーワード: 磁気軸受, 自動バランスシステム, 冗長システム, 補助ベアリング

Magnetic Bearing, Automatic Balancing System, Redundant System, Auxiliary Bearing

## 1. はじめに

磁気軸受は回転体を磁力によって空中に浮かせることにより無接触で作動する軸受である。磁力を発生させる方法として、永久磁石ではなく電磁石を使うことにより、その電流を制御して、回転体にかかるどんな外力にも応じた力を発生させる能動型磁気軸受が一般的である。

磁気軸受は、その多くの特徴により小型から大型、低速から高速、特殊環境下など幅広く使われるようになってきた。ここではその原理・特徴・制御システムや異常時のバックアップについて解説し、次いで大型ターボ機械への応用について述べる。

## 2. 原理

### 2.1 ラジアル軸受

能動型磁気軸受では、電磁石の力によりロータを四方八方から吸引して空中に浮上させる。ラジアル軸受の場合の動作原理を図1に示す。電磁石はロータを吸引して

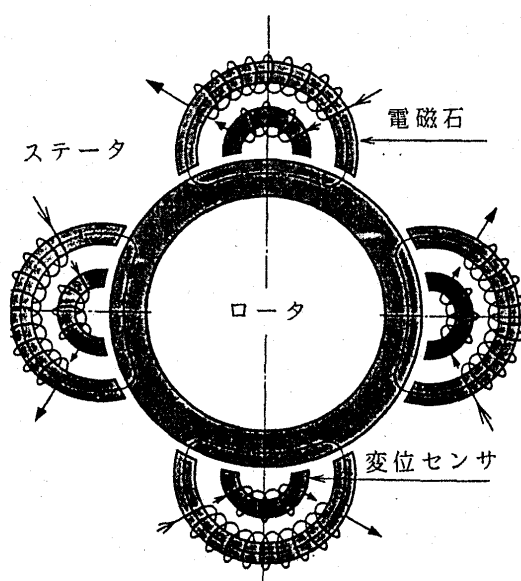


図1 能動型磁気軸受の動作原理

ステータの中心に維持しようとするが、両者の距離が狭くなればなるほど吸引力は大きくなるため、安定させるのはむずかしい。

ロータ位置を制御するために、電磁石の近くに位置センサを置いてギャップを検出し、それぞれの電磁石に流すべき電流、すなわち吸引力を制御回路で決めている。

ラジアル軸受の構成を図2に示す。

電磁石は直流で駆動されるため、ロータはその回転によりN・Sの逆極性となつぎつぎと向かい合うことになり渦電流が生じ、これが回転を妨げるので損失となる。これを防ぐために、シャフトの外周にはリング状の薄い磁性鋼板が軸方向に積層されている。外側のステータも薄いけい素鋼板が軸方向に積層され、ここにコイルが巻かれている。ステータとロータの間のギャップはロータ径にもよるが、一般に0.3~1.0 mm程度(片側)である。無接触軸受であるため速度の限界を決めているのは摩擦ではなく、ロータ材料、とくに積層鋼板の遠心強度である。標準的な材料を使った場合の周速度は約200 m/secで、この値はDN値では約4,000,000 (mm・rpm)に相当する。

負荷容量は、軸受部の投影面積当たり(軸受部直径×電磁石長さ)で5 kgf/cm<sup>2</sup>程度であり、油軸受などと比べるとやや小さいが、磁気軸受では周速度をかなり上げることができることから軸受径をそれだけ大きくすることができ、したがって、大きな負荷を支えることができる。

エアーギャップ

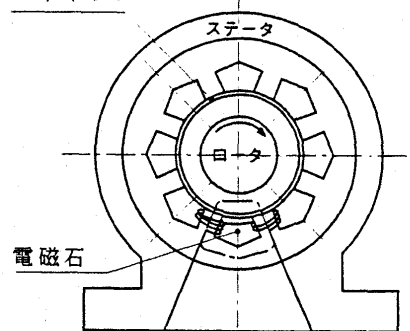


図2 ラジアル軸受の構成

原稿受付 1996年7月19日

\*1 日本磁気ベアリング㈱ 〒261 千葉県千葉市美浜区中瀬8-1

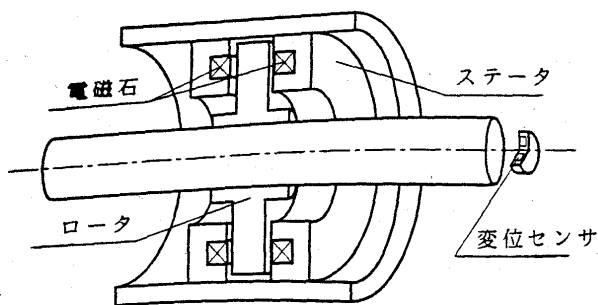


図3 スラスト軸受の構成

## 2.2 スラスト軸受

スラスト軸受も電磁石による吸引力でロータを空中に浮かせるという点ではラジアル軸受と基本的原理は同じである。図3に示すように、シャフトに固定されたディスクの両側にリング状の電磁石を対向させ、両側から吸引する。スラスト軸受の場合は、ロータ側から見た磁極の極性は変わらないので、渦電流はほとんど生じないため、ディスクは積層構造ではなく、むくの材料を使うことが出来るので、ディスク外周での周速度は400 m/secまで上げることができる。

従来の軸受ではスラスト軸受によりロータの軸方向の位置が決まるが、能動型磁気軸受では力を受ける位置とは無関係に、制御したい位置に変位センサをおくことができる。例えば、シャフトの伸びなどの影響を嫌う位置を基準に制御する、などが可能である。図3のスラスト軸受の例ではセンサはシャフトの端面に置かれている。

## 3. 特徴

### 3.1 摩擦がない

機械的に非接触であるから摩擦がなく、機械的寿命は無限といえる。

### 3.2 無潤滑

潤滑油が不要なためオイルポンプなど一切の潤滑システムが不要であり、また、それらの電力などの省エネ効果も大きい。また、潤滑油がプロセス雰囲気を汚染したり、逆にプロセスガスによりオイルが変質する心配もなく、そのためのシールも不要である。

### 3.3 周速度が大きい

ロータジャーナル部の周速度は200 m/secまで上げられることから回転速度を大きくすることができるだけでなく、軸受部の径を大きくしてロータの危険速度を上げられるという大きなメリットがある。

最高回転速度としては180,000 rpmの工作機械用スピンドルが実用化されている。最低回転速度には制限がないので回転速度ゼロ、すなわち空中に浮上しているだけという使われ方もされている。

### 3.4 軸受ロスが小さい

軸受部の摩擦は、空気摩擦以外は渦電流損失などわずかで、制御システム部での消費電力を考慮しても

トータルロスは従来の油膜軸受と比べてかなり小さい。

### 3.5 過酷な雰囲気にも耐える

無潤滑なので真空中など過酷な雰囲気にも耐えるが、特殊な材料や被覆材などの使用により、液中や放射線雰囲気など特殊な環境で動作させることができる。また、20 Kの極低温や450°Cの高温でも使われている。

### 3.6 自動バランスシステム（慣性主軸中心の回転）

ロータにアンバランスがあると、その遠心力により振動や騒音、軸受の損傷などの原因となる。

能動型磁気軸受では、従来軸受と異なりロータジャーナル部の幾何学的中心ではなく、ロータの慣性主軸（重心の軸）中心にロータを回転させることができる。アンバランスによりロータジャーナル部は偏重心量に相当する程度振れるが、重心軸は振れないのでアンバランスによる力は発生しない。ロータとステータの間にはギャップがあるため多少振れがあっても問題ない。

### 3.7 危険速度の通過

高速ターボ機械では3次危険速度（ロータの一次曲げモード）を通過することが出来なくて高速化が妨げられている例も多い。能動型磁気軸受では減衰の値を外乱周波数の関数として決めることができるので、3次危険速度周波数での減衰を特に大きくとることによって危険速度の通過を可能にしている。

### 3.8 剛性と減衰が調整可能

軸受の基本特性である剛性と減衰は制御回路で決められるが、さらに、軸受を機械に装着したあと実稼動に合わせて現地で調整することもできる。ロータにかかる大きな外力や外乱が想定される場合はその周波数に対する応答を決めておくことにより最適な軸受を作ることができる。

### 3.9 運転状態の常時モニタ

能動型磁気軸受制御システムから各種信号を出力することができる。軸受負荷（電磁石への電流値は軸受負荷を示す）とその変動、ロータ変位、アンバランスの量と位相、回転速度、故障発生時のモードや重/軽故障のレベルなどがその例である。（図4）

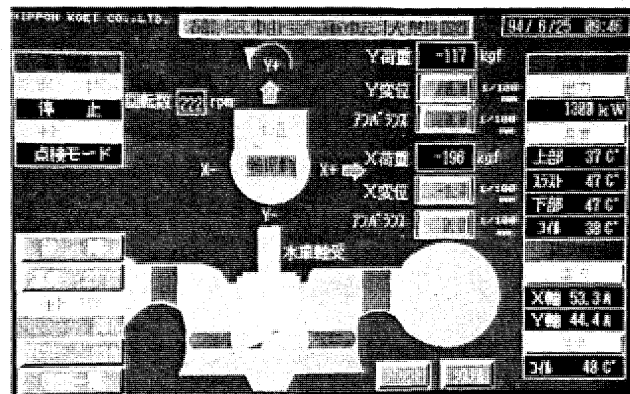


図4 運転状態のモニタ  
(日本工営㈱提供)

これらの情報は常時モニタできるので、データ履歴のメモリや遠隔監視などによる予防保全に大きな効果を発揮できる。

## 4. 制御システム

### 4.1 基本的な制御

ロータを軸受の中心に保持するために、能動型磁気軸受ではロータの位置を示す変位センサからの信号をもとに各電磁石に電流を流すための制御システムがある。

ラジアル軸受の上下方向の制御を例に、その原理図を図5に示す。ロータの位置は、上下一对の変位センサがロータとのギャップ量を測定し、上下の差が中心からのロータの偏位量として出力される。

この信号（センサ信号）は基準信号（ロータが保持されるべき目標位置）と比較され、その差（誤差信号）は信号処理されて、上下それぞれの電磁石に流すべき電流が決められる。パワーアンプで増幅された所定の電流が電磁石を駆動し、ロータは所定の剛性と減衰を持った応答特性に従って目標位置に移動される。

この閉ループ制御によってロータに加えられる様々な外乱（重力から高振動まで）に対応した電磁力が加えられ、ロータは目標位置に保持される。

軸受の基本特性である剛性 (Stiffness) と減衰 (Damping) は、従来軸受と異なり機械的な特性や構成ではなく、この信号処理システムで電氣的に決められる。

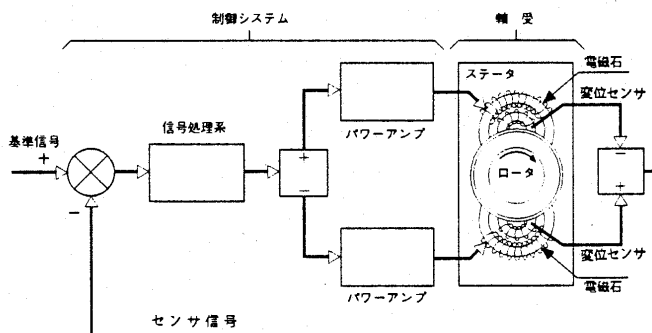


図5 能動型磁気軸受制御の原理

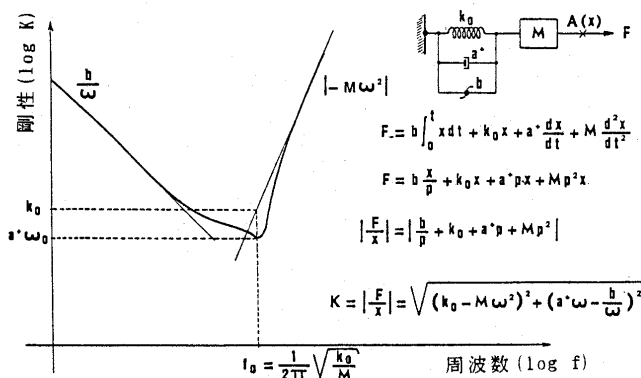


図6 能動型磁気軸受の剛性曲線

一般に能動型磁気軸受の剛性特性は外乱周波数の関数として図6のような曲線となる。従来の接触型軸受と比べて大きく違う点は、静剛性（周波数がゼロの外乱に対する剛性）が理論上無限大であることである。

### 4.2 自動バランスシステム

周波数の関数としての剛性特性は制御回路を変更することによって変えることができる。ロータを慣性主軸（重心の軸）の回りに回転させる自動バランスシステムもその一例である。

図7に示すように、ロータの回転周波数に常時一致する周波数をもつトラッキングフィルタを加えることにより、回転数に一致した外乱成分に対しては剛性がゼロにしてある。ロータは拘束力がなければ慣性主軸回りに回転しようとするので、アンバランスがあるとそれだけ振れ回りすることになり、変位センサは当然これをそのまま検出する。ところが、この成分は回転周波数に一致しているので剛性はゼロであるため電磁石からの力はゼロである。従って、ロータは引き続き慣性主軸回りに回転し続けることになる。

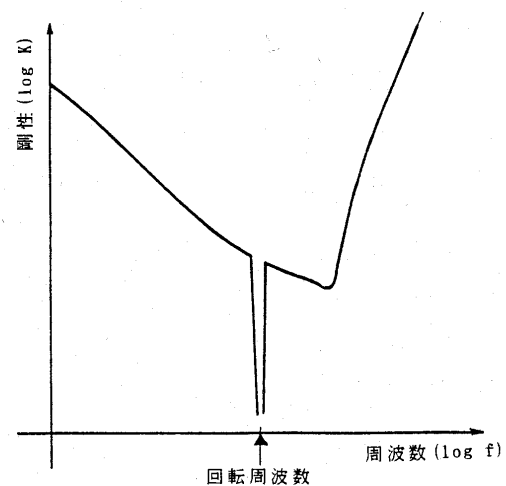


図7 自動バランスシステムの剛性曲線

## 5. 負荷容量

磁気軸受の負荷容量は下式に示すように磁束密度の2乗と軸受有効面積に比例する。単位面積当たりの負荷容量を増すには磁束密度を増加させればよいが（電磁石のアンペア・ターンを増す）、実際には磁束が磁極内で飽和するため限界がある。

磁力による吸引力は次式による。

$$F_{\text{mag}} = B^2 S / 2\mu_0 \quad (\text{N})$$

B: エアギャップでの磁束密度 (T: テスラ)

S: 軸受面有効面積 (m<sup>2</sup>)

$\mu_0$ : 真空中の透磁率 ( $4\pi \times 10^{-7}$  H/m)

従って負荷容量は、磁束密度を1 T（テスラ: 1 T = 1 Wb/m<sup>2</sup> = 10<sup>4</sup> ガウス）とした場合 4 kgf/cm<sup>2</sup> となる。材料にもよるが、最大磁束密度は一般的な電磁鋼板では 1.5 T（テスラ）まで可能なので 9 kgf/cm<sup>2</sup> が可能であ

る。また高価ではあるが良好な磁気特性を持つコバルト合金鋼板を使用すると  $16 \text{ kgf/cm}^2$  の負荷容量が得られる。一般に用いられている投影面積当たりの負荷容量は、この値の約  $1/2$  となる。

フランス S2M 社では直径  $1.25 \text{ m}$ 、負荷容量  $10 \text{ トン}$  のラジアル軸受の納入実績がある。また東京電力株式会社山崎発電所においては直径  $1 \text{ m}$ 、最大負荷容量  $25 \text{ トン}$  のスラスト軸受で総重量  $14 \text{ トン}$  の立軸水車/発電機ロータを浮上させており、96 年春から実用運転に入っている。

## 6. 異常時のバックアップ

### 6.1 補助ベアリング

機械の停止中、または磁気浮上システムに故障が生じた場合に、ロータとステータが接触して磁性鋼板が損傷するのを防止するために補助ベアリングがもうけられている。一般的にはグリース又はドライ潤滑されたボールベアリングを使用しているが、ロータが高速に回転する装置の補助ベアリングの場合は、ボールベアリングの発熱を十分考慮した選択を必要とし、またロータの振れ回りにダンピングをかけるためボールベアリングの背面に特殊なバネを設置し制振効果を出すような工夫がなされている。

補助ベアリングの内輪とロータの間のクリアランスは通常磁気軸受部のエアギャップ幅の半分であり、平常運転中は補助ベアリングは作動しない。

### 6.2 補助バッテリー

磁気で浮上しているのに電源が遮断されれば軸受機能は不能となる。そのため停電等に備えて一般的にはバッテリーが磁気軸受制御盤に内蔵されており停電時には  $5 \text{ 分} \sim 10 \text{ 分}$  磁気軸受の機能を確保し、その間にロータを停止させるシーケンスになっている。

磁気軸受の電源としては、必要信頼度に応じて自動切換方式の冗長性のある直流電源を用意する場合もある。

### 6.3 冗長システム

石油精製プラント等の装置用で、故障した場合に非常に大きい損害を及ぼす可能性のある装置用の磁気軸受には、磁気軸受ハード部に対しメイン及びサブの 2 式の制御盤で制御する方法がある。通常時はメイン制御盤の 1 式が動作しており、サブ制御盤は待機状態にある。デシジョンメーカーと称する装置がメイン制御盤の故障を感知すると自動的にサブ制御盤に切り替え、その間に保守要員がメイン制御盤の故障を直す仕組みになっている。この自動切換え冗長方式の磁気軸受は世界で初めて (株) ジャパンエナジーの水島精油所の遠心圧縮機 (株) 日立製作所製の軸受として採用され、95 年夏から実用運転に入っている。

## 7. 応用例と実績

### 7.1 各種ターボ機械への応用

磁気軸受の回転機械への応用例としては、小型のものではターボ分子ポンプや、数十 kW クラスの小型モータが多数生産されているが、ここでは中・大型の回転機械に焦点を絞って記述する。

ターボ機械に磁気軸受が採用されはじめてから 15 年を越えるが、その間、世の中の景気の影響を受けながらも実績は着実に伸びてきた。図 8 に S2M 社の磁気軸受の中・大型機械への適用台数 (累積) を示す。これらの実績の回転数と動力の関係をプロットしたのが、図 9 である。一方この実績を機種別にみると、図 10 に示すように送風機・圧縮機が  $46\%$ 、ターボエキスパンダーが  $45\%$  となっている。

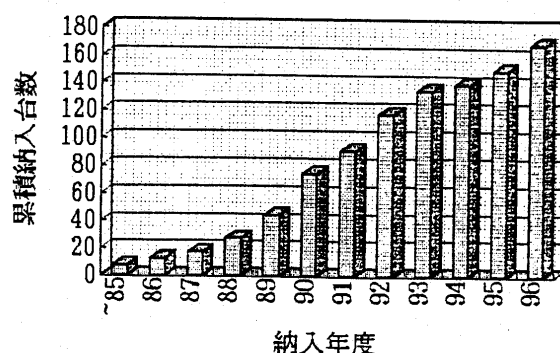


図 8 S2M 社製磁気軸受の中・大型機械への採用実績

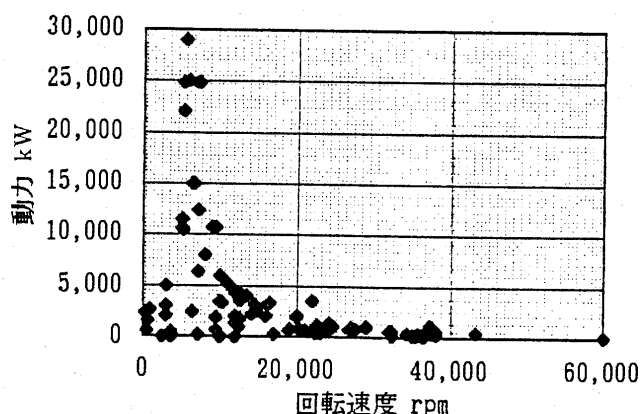


図 9 S2M 社の磁気軸受が採用された機械の回転速度と動力の分布

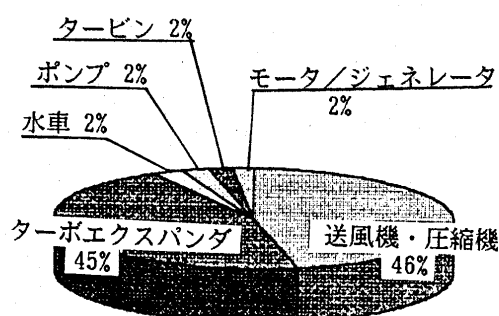


図 10 S2M 社製磁気軸受の機種別採用実績

遠心圧縮機を用途別にみると、天然ガスパイプライン用のブースター圧縮機が58%を占め、次いで石油精製用及び石油化学用がそれぞれ9%となっている。パイプライン用圧縮機は主にカナダに設置されているが、寒冷地のために従来の油膜軸受方式で必要とされた潤滑油系統に関わる運転コストやメンテナンスコストが、磁気軸受の採用によって大幅に縮減できることや、遠隔操作・モニタリングなどの利点が高く評価されたためである。

また、石油精製の例では、メンテナンスフリーのほかに磁気軸受の採用により圧縮機の高速度が可能となり、所要のガス圧力を得るために必要な圧縮機のケーシング数が少なくなり、設備費や据付けスペースの大幅な低減が得られた<sup>(1)</sup>。また、油膜軸受に比べて機械損失が少なく油ポンプの駆動動力も無くなるので省エネ効果も大きい。図11に沖縄石油精製株式会社に納入された水素ガス圧送用の圧縮機の外観を示す。

一般に大型回転機械の潤滑油供給装置においては、排油には機械とオイルタンクとのヘッド差が必要となるため、給油ユニットを1階に、機械を2階に設置するのが普通である。磁気軸受を採用すれば機械を1階に設置できるので、単に省スペースのみならず新設の場合は基

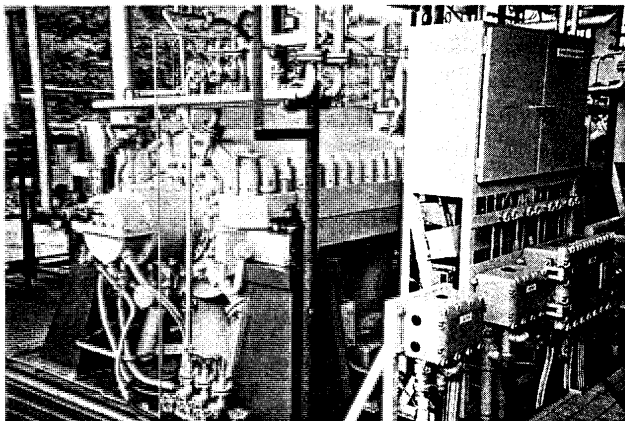
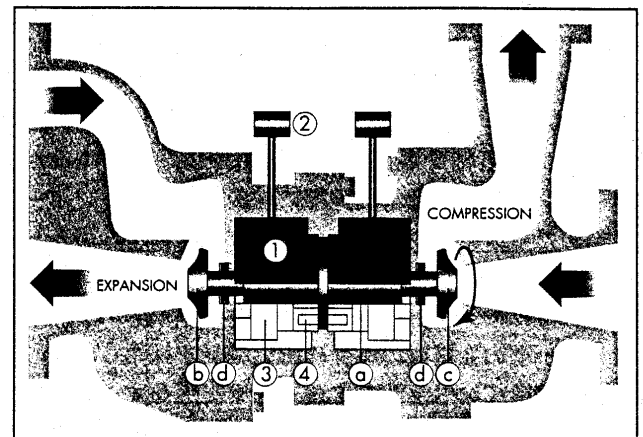


図11 石油精製プラント用遠心圧縮機（㈱日立製作所製）に磁気軸受を採用した例（沖縄石油精製株式会社提供）

礎や建物を含む建設費用の大幅な削減が期待できる。

蒸気タービンへの応用例としては、米国のエリオット社がサウジアラビアの石油化学会社向けに遠心圧縮機と駆動用タービンとともに磁気軸受を採用した、完全オイルフリーのセットを完成した。（図12）<sup>(2)</sup>

圧縮機と並んで、ターボエキスパンダーに磁気軸受が多数採用されている。図13<sup>(3)</sup>に示すように中央にスラスト軸受、その両側にラジアル軸受を配し、両軸端にタービンホイール及び圧縮機のインペラーをオーバーハングしたもので、タービンホイールでガスを膨張・冷却するとともに、発生する動力でインペラーによりガスを圧縮している。用途別にみると、空気分離装置用が75%を占め、天然ガスプラント用が17%、エチレンプラント用が7%となっている。これらの用途に多数採用されている理由としては、オイルフリー・省エネ・省スペースの他に、磁気軸受の低温雰囲気における適応性が上げられる。天然ガスプラント用のものは、高い信頼性が要求される



THE ACTIDYNE® SOLUTION  
1: two symmetrical cartridges  
2: sealed cable output  
3: radial bearing / sensor / auxiliary bearing  
speed measurement / temperature measurement  
4: 1/2 thrust bearing  
\*transmitted power ranges from 100 kW to 6.5 MW or more, depending on the machine.

図13 磁気軸受を採用したターボエキスパンダの構造（S2M社提供）

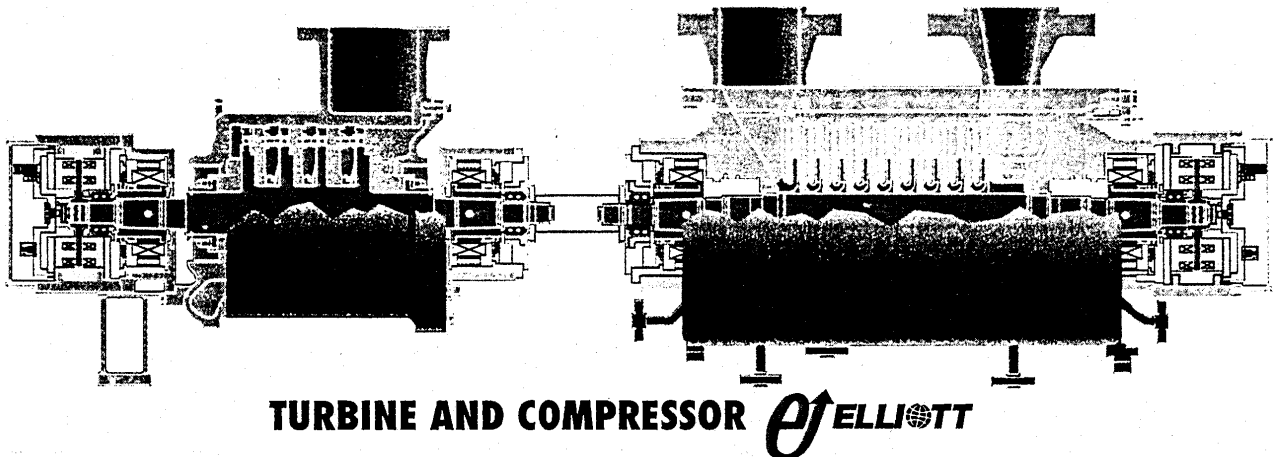


図12 遠心圧縮機及び駆動用タービン（Elliott社製）に磁気軸受を採用した例（S2M社提供）

オフショアのプラットフォームにも設置されており、省スペース、メンテナンスフリーに加えて、各用途における多くの実績により高い信頼性が評価されたものである。

上に述べた圧縮機やターボエキスパンダーの他に実プラントにおいて稼動している例としては、水車/発電機がある<sup>(4)</sup>。磁気軸受の一般的な特徴に加えて河川への油汚染の恐れのないことや、無人発電所におけるリモートモニタリング機能が評価され、東京電力株式会社に2台、関西電力株式会社に1台納入された。これらの水車は何れも3,000 kW以下の中・小容量のものであるが、運転実績の評価と技術の進歩により、大容量機への今後の展開が期待されている。

ちなみに、米国においては、火力発電プラント用にボイラー給水ポンプと、ガス再循環ファンに磁気軸受を採用し、フィールドテストが行われた。ボイラー給水ポンプは600 PSでNew York State Electric and Gas Co.のGreenridge Stationにおいて、1991年より運転に入り、各種の評価がなされている。一方ガス再循環ファンは、3,500 PSでOrange and RocklandのBowlineプラントで1992年より各種の信頼性評価が行われている<sup>(5)</sup>。

## 7.2 ガスタービンへの応用

1988年にパイプライン圧縮機駆動用のパワータービンのみに磁気軸受が採用された以外に、いわゆるガスタービンについてはまだ実際に稼動したというレポートは見あたらない。コジェネレーションシステム用としての、25 kW級ラジアルタイプの小型ガスタービンの試作については、三菱重工業㈱の長谷川らの報告がある<sup>(6)</sup>。これは、小型の発電機の軸受に磁気軸受を採用し、その軸端に圧縮機インペラ及びタービンランナをオーバハングに取りつけた構造のものである。

Storaceらは、能動型磁気軸受の特徴を最大限に利用

することによる将来の高性能ジェットエンジン(IHPTET propulsion system)に関する多面的な検討を行っている<sup>(7)</sup>。

## 8. おわりに

限られた紙面内で、磁気軸受の原理、特徴から実績、応用例までを解説した。日本国内における中・大型機械での運転実績も徐々に増えつつあり、信頼性に関する評価も高まってきている。一方API 617規格の1995年改訂版にも<sup>(8)</sup>、磁気軸受に関する記述が追加され、石油精製や石油化学業界においても磁気軸受を正式に選択肢に加える動きをしている。また、今年の8月に金沢で開催される第5回磁気軸受国際シンポジウムに、磁気軸受に関する国際規格の日本案が紹介される<sup>(9)</sup>。磁気軸受が中・大型機械に採用されはじめてから15年以上経過し、実績も着実に増え、一方デジタル制御システムの実用化や機器の小型高性能化が進み、次のステップへの更なる展開の時期にきたといえる。

## 参考文献

- (1) Fukushima, Y. et al., Revolve (1994-6)
- (2) ACTIDYNER News, No. 5 (1995-5), S2M
- (3) ACTIDYNER News, No. 4 (1994-4), S2M
- (4) Sugow, Y., Yamaishi, K., Revolve (1994-6)
- (5) McCloskey, T., Jones, G., Proc. of MAG '92, p. 3
- (6) 長谷川直幹, 森秀隆, 山下勝也, 日本ガスタービン学会誌 Vol. 22, No. 85 (1996-6) p. 22
- (7) Storace, A. F. et al., ASME Vol. 117 (1995-10) p. 665
- (8) API STANDARD 617, 6th edition, (1995-2), p. 10
- (9) Kanemitsu, Y. et al., 5th International Symposium on Magnetic Bearings, (1996-8)

## エンジンの制御 (2)

杉山 七契\*1

SUGIYAMA Nanahisa

キーワード: FADEC, ジェットエンジン, ガスタービン, 制御, 動特性  
Jet Engine, Gas Turbine, Control, Dynamics

### 3. エンジンの制御

#### 3.1 制御要求

種々の飛行条件, 環境条件下においてエンジンを正常に作動させるため, いろいろな制御が必要となる。エンジン制御の目的は, 燃焼ガス最高温度, ロータの最高回転速度, 燃焼器最高圧力の制限あるいは圧縮機がサージを起こさない限界, 等の機械的, 熱的, 空力的制限範囲内で, 安定に効率良くエンジンを作動させることである。これは, 燃料制御弁等のエンジンの操作変数を運転状況に応じて適切に操作(制御)することにより達成される。超音速エンジンの制御変数の例を図9に示す。この例では6つの制御変数があり, 離陸, 加速, 巡航, 等種々のミッションに応じてこれらを操作することになる。亜音速エンジンの制御も類似しているが, アフタバーナと可変ノズル制御は通常はない。

詳細な制御要求を表1に示す。エンジン形態の複雑化, 性能向上とミッションの多様化から, 将来のエンジンでは, 必要となる制御要求項目はさらに増加していく。同時に, 制御要求を実現するため, エンジン制御変数も増加していく(表2および図1参照)。

これらの制御のうち最も基本となるものは燃料制御である。燃料制御にはエンジン推力を指定した値に保持する定常制御, エンジン推力の速やかな変更を行う加減速制御, エンジンの起動停止制御等がある。また, エンジンの安定作動範囲を拡大させるための可変静翼(VSV)制御, 抽気制御等は重要である。以下これについて述べる。

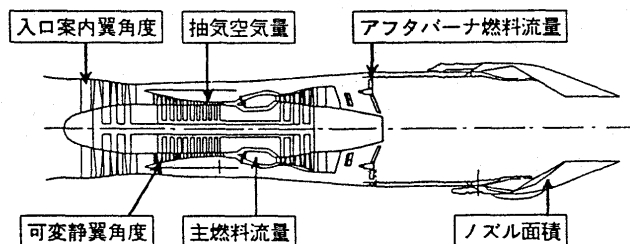


図9 超音速エンジンの制御の例

表1 ジェットエンジンの制御要求

|         |                                                                                                                                                             |
|---------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| エンジン保護  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・タービン入口温度制限</li> <li>・実・修正回転速度制限</li> <li>・燃焼器圧力制限</li> <li>・圧縮機サージ制限(可変静翼、抽気)</li> <li>・安定燃焼制限(燃料・燃料変化率)</li> </ul> |
| エンジン安定性 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・推力変動巾(例: ±1%以下)</li> <li>・ファン・圧縮機サージ余裕(例: 0.15以下)</li> </ul>                                                        |
| 定常性能    | <ul style="list-style-type: none"> <li>・推力調整</li> <li>・公称推力・燃料消費率の保証</li> <li>・エンジン性能劣化、搭載法、入口条件変化に対する制御感度</li> <li>・再現性</li> <li>・微調整機能</li> </ul>         |
| 過渡性能    | <ul style="list-style-type: none"> <li>・スロットルレバに対する推力応答</li> <li>・加減速(例: アイドル→98%最大推力 = 5秒以下)</li> <li>・燃焼安定性</li> </ul>                                    |
| 効率向上    | ・ティップクリアランス制御                                                                                                                                               |
| 起動・停止   | ・スロットルレバによる起動停止                                                                                                                                             |

表2 制御変数

|       |                     |
|-------|---------------------|
| 燃料制御弁 | 主燃料弁、アフタバーナ燃料弁等     |
| 可変静翼  | 圧縮機静翼、ファン静翼、タービン静翼等 |
| 可変ノズル | C/Dノズル、逆推力装置等       |
| 抽気弁   | 圧縮機抽気弁、キャビンエア抽気弁等   |
| 各種調整弁 | (バリエブル・サイクルエンジンで多用) |
| 各種リレー | 点火装置、スタータ装置、防水装置等   |

#### 3.2 定常制御

航空機の操縦のために, スロットルレバ位置に応じて安定したエンジン推力が得られなければならない。飛行時にエンジン推力を直接計測することは困難であり, エンジン回転速度あるいはエンジン圧力比(Engine Pressure Ratio (EPR) =  $P_{t6}/P_{t2}$  = (ノズル出口全圧)/(エンジン入口全圧), イーパーと称する)を制御することで, 間接的に推力を制御するのが普通である。エンジン回転速度あるいはイーパーは推力との間に一定の関係が

原稿受付 1996年7月16日

\*1 航空宇宙技術研究所 〒182 東京都調布市深大寺東町7-44-1

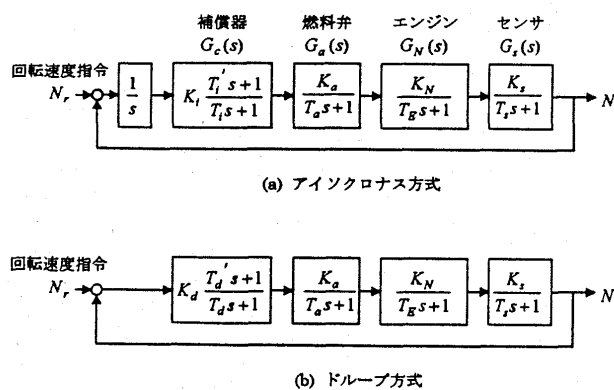


図10 回転速度制御方式

あり、計測し易いためである。ただし、エンジン回転速度と推力との関係は直線的でないため、スロットルレバ位置と推力が直線的に対応する様なスケジュールが組込まれる。イーバーと推力とは直線的関係に近い。

定常制御の例として回転速度制御方式を考える。この制御方式は大別して、アイソクロナス (isochronous) 方式とドループ (droop) 方式とがある。そのブロック線図を図10に示す。図中、エンジンの伝達関数  $G_N(s)$  は1次遅れ系 (式 (2.17) 参照) で、補償器の伝達関数  $G_c(s)$  は1次進み遅れ系で近似されている。また、燃料制御弁の伝達関数  $G_a(s)$  および回転速度センサの伝達関数  $G_s(s)$  はともに1次遅れ系で考慮されている。

アイソクロナス方式では、閉ループ伝達関数  $L_i(s)$  は、

$$L_i(s) = \frac{G_c G_a G_N G_s}{s + G_c G_a G_N G_s} \quad (3.1)$$

であるから、回転速度指令のステップ変化に対するエンジン回転速度の最終値は、

$$\lim_{s \rightarrow 0} s \frac{1}{s} L_i(s) = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{G_c G_a G_N G_s}{s + G_c G_a G_N G_s} = \frac{K_i K_a K_N K_s}{K_i K_a K_N K_s} = 1$$

$$\text{ただし、} \lim_{s \rightarrow 0} G_c(s) = K_i, \lim_{s \rightarrow 0} G_a(s) = K_a,$$

$$\lim_{s \rightarrow 0} G_N(s) = K_N, \lim_{s \rightarrow 0} G_s(s) = K_s \quad (3.2)$$

となり、制御ループ中に積分要素を含むため、定常状態では回転速度指令と実回転速度は一致する。つまり定常偏差は0になるが、安定性に欠ける。一方、ドループ方式では、閉ループ伝達関数  $L_d(s)$  は、

$$L_d(s) = \frac{G_c G_a G_N G_s}{1 + G_c G_a G_N G_s} \quad (3.3)$$

であるから、回転速度指令のステップ変化に対するエンジン回転速度の最終値は、

$$\begin{aligned} \lim_{s \rightarrow 0} s \frac{1}{s} L_d(s) &= \lim_{s \rightarrow 0} \frac{G_c G_a G_N G_s}{1 + G_c G_a G_N G_s} \\ &= \frac{K_a K_a K_N K_s}{1 + K_a K_a K_N K_s} \end{aligned}$$

$$\text{ただし、} \lim_{s \rightarrow 0} G_c(s) = K_d \quad (3.4)$$

となり、ループ中に積分要素を含まず、定常偏差が常に残るが、安定性、速応性が優れている。ドループゲイン  $K_d$  を大きくすれば、式 (3.4) は1に近付き、定常偏差

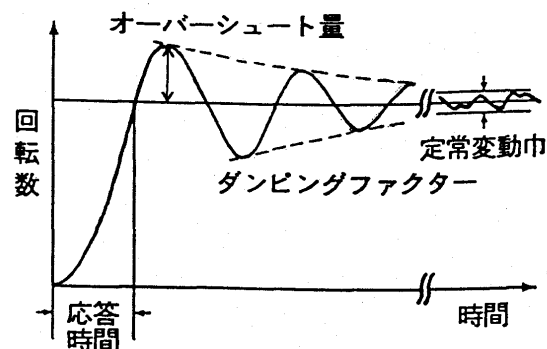


図11 定常制御系の性能

は0に近づく。現用のエンジン制御器ではドループ方式が多い。

定常制御系の性能は図11に示す様に、(i)定常状態における回転速度変動巾、(ii)定常偏差、(iii)応答時間、(iv)オーバーシュート量、(v)ダンピングファクター、等で評価される。定常制御系は工学的条件を考慮しながら、図10におけるドループゲイン  $K_d$  や積分ゲイン  $K_i$ 、補償器パラメータ ( $T_i$ ,  $T_i'$ ,  $T_d$ ,  $T_d'$ ) を調整し、適切な制御性能を持つように設計される。

ここで一軸ターボジェットエンジンの簡単な制御系設計例について考える。図10において燃料弁とセンサの応答は十分速いとみて省略する。一巡伝達関数  $G(s)$  および閉ループ伝達関数  $L(s)$  は、

$$G(s) = \frac{1}{s} \cdot K_i \cdot \frac{T_i' s + 1}{T_i s + 1} \cdot \frac{K_N}{T_e s + 1} \quad (3.5)$$

$$\begin{aligned} L(s) &= \frac{G(s)}{1 + G(s)} \\ &= \kappa \frac{(T_i' s + 1)}{s^3 + \left(\frac{1}{T_e} + \frac{1}{T_i}\right)s^2 + \left(\frac{1}{T_i T_e} + \kappa T_i'\right)s + \kappa} \end{aligned}$$

ここで、 $\kappa = K_i K_N / T_i T_e$  (3.6)

図6を参考にして  $T_e = 0.5$ ,  $K_N = 1$  とおく ITAE 基準<sup>1</sup>による設計法<sup>(5)</sup>では、 $L(s)$  の分母が、

$$(s^3 + 1.75\omega_n s^2 + 2.15\omega_n^2 s + \omega_n^3) \quad (3.7)$$

となるように設定すればよい。ダンピングおよび応答時間から  $\omega_n = 10$  が適当であるから、

$$K_i = 500/15.5, T_i = 1/15.5, T_i' = 92/500 \quad (3.8)$$

と補償器のパラメータが決まる。図12に、補償器なしの応答 a, 補償器付きの応答 b を示す。応答性は改善されたが、オーバーシュート量が多い。ここで閉ループ伝達関数は、

$$L(s) = \frac{1000 \left( \frac{92}{500} s + 1 \right)}{(s^3 + 1.75\omega_n s^2 + 2.15\omega_n^2 s + \omega_n^3)} \quad (3.9)$$

<sup>1</sup> ITAE =  $\int_0^T t |e(t)| dt$

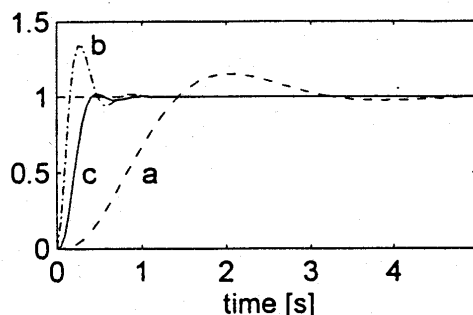


図 12 補償器による応答特性の改善

となっている。そこでこの分子の進み項を相殺するような前置補償器,

$$G_p(s) = \left( \frac{92}{500}s + 1 \right) \quad (3.10)$$

を回転速度指令  $N_r$  の直後でループの外側に挿入することにより, 図 12 中 c のような応答が得られる。応答性, オーバershoot 量 (1.4%) も良好になっている。

2.2 で述べた様にエンジン時定数  $T_E$ , エンジンゲイン  $K_N$  は出力レベルや飛行条件によって変動する。また, アクチュエータやセンサの特性も作動環境により変動する。制御系の設計はこれらの変動幅を見込んで設計されることは言うまでもない。この様にパラメータの変動にもかかわらず良質の制御を遂行することをロバスト制御 (Robust Control) と呼んでいる。

ここでは補償器  $G_c(s)$  として 1 次進み遅れ系を例示したが, より一般的には古典制御理論 (根軌跡法, ナイキスト法, 極配置法等) によるものから多変数ロバスト制御理論 ( $H^\infty$  法 ( $H$  無限大と称する),  $\mu$  シンセシス法等) によるものまで数多くの設計法がある。最近のエンジンは多変数制御系となっており, 1 入力 1 出力の系を対象にした古典制御理論では不十分であるため多変数ロバスト制御理論による設計に移行しつつある。これについては, 5. でも簡単に触れる。

### 3.3 加減速制御

エンジンを加速させるために, 燃料を急激に増加した

としよう。この時の圧縮機の作動を図 13 で考えてみる。定常作動点④で作動しているエンジンに燃料をステップ状に増加させると, 燃焼ガス温度が上昇し, タービンを通過する空気流量が急速に減少する。ロータの回転速度は急激には変化できないため, 圧縮機の作動は, 空気流量が減少し, 圧力比が増大する⑥点の方向に移動する。その後, 燃料一定線上を定常作動点④に向かう。ここで, 燃料の増加量が大いいと, ⑥点の様に圧縮機サージ領域に突入し危険な状態となる。また同様に, 定常作動点④にいるエンジンに燃料のステップ状増加を与えると, ④点を経て定常作動点④に向かう。この場合, ④点と④点は燃料流量が同じであるが, 空気流量は④点の方が少ないため, ④点の燃焼ガス温度は④点よりも高い。このため, 燃料増加量が大いいと, ④点がサージ領域でなくても, タービン入口温度の限界を越し危険な状態になってしまう。

次に, エンジンを減速させるために燃料を急激に減少したとしよう。加速時とは逆に, 定常作動点④で作動しているエンジンの燃料をステップ状に減少させると, 燃焼ガス温度が下降し, タービンを通過する空気流量が急速に増加する。ロータの回転速度は急激には変化できないため, 圧縮機の作動は, 空気流量が増加し, 圧力比が減少する⑧点の方向に移動する。その後, 燃料一定線上を定常作動点④に向かう。ここで, 燃料の減少量が大いいと⑧点では燃料/空気比が著しく低下し, 燃焼の吹消え領域に入り, エンジンが停止する状態となり得る。

エンジン加減速時には, 前述した圧縮機サージ制限, 燃焼器吹消え制限, タービン入口温度制限の他, 最大回転速度制限, 最大圧力制限, 等種々の制限が課せられている。加減速制御系は, これらの制限範囲を越すことなく, 速やかにエンジンを加減速させるもので, 圧縮機の修正パラメータ (修正回転速度  $N/\sqrt{T_2}$ , 圧力比  $P_3/P_2$  など) に対して, 最大許容燃料および最小許容燃料をスケジュールし, エンジンへの供給燃料を規制する。加速および減速時の燃料流量は次式のいずれかでスケジュールされることが多い (記号については図 3 参照, ただし,  $T_2 = T_1$ ,  $P_2 = P_1$ )。

$$(1) \quad W_f = P_3 \cdot f(N, T_2) \quad (3.11)$$

$$(2) \quad W_f = f(T_2, P_2, P_3) \quad (3.12)$$

$$(3) \quad W_f = N \cdot f(P_3, T_2) \quad (3.13)$$

圧縮機の 1 つの修正パラメータを指定すると, それに対するサージ制限線上の他の修正パラメータおよび修正燃料流量は決定される。例えば, 修正回転速度  $N/\sqrt{T_2}$  を指定すると, それに対するサージ制限線上の圧力比  $P_3/P_2$  および修正燃料流量  $W_f/P_2\sqrt{T_2}$  は,

$$\frac{P_3}{P_2} = f_1\left(\frac{N}{\sqrt{T_2}}\right) \quad (3.14)$$

$$\frac{W_f}{P_2\sqrt{T_2}} = f_2\left(\frac{N}{\sqrt{T_2}}\right) \quad (3.15)$$

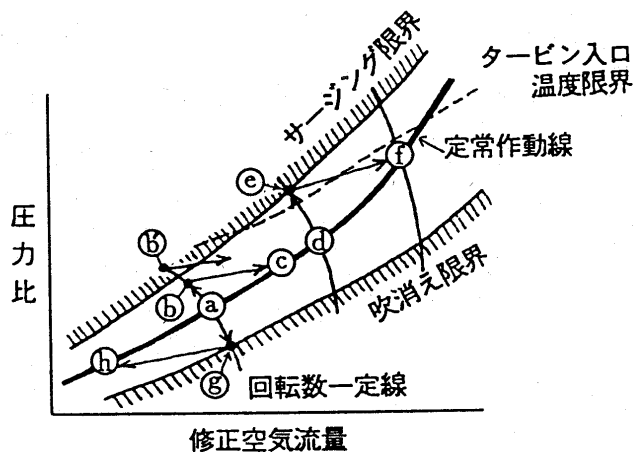


図 13 圧縮機特性マップ上での加減速経路

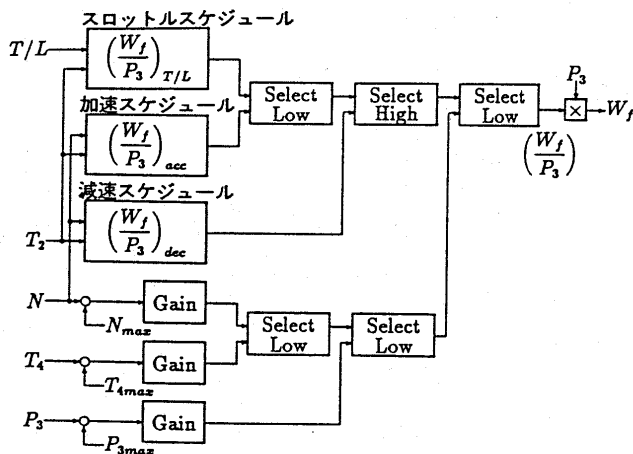


図14 加減速制御系ブロック図

と決定される。式 (3.14) (3.15) より、

$$\frac{W_f}{P_3} = \sqrt{T_2} \cdot f_2\left(\frac{N}{\sqrt{T_2}}\right) / f_1\left(\frac{N}{\sqrt{T_2}}\right) = f(N, T_2) \quad (3.16)$$

つまり、式 (3.11) が導出される。式 (3.12) (3.13) の加減速スケジュールについても同様に導出される。

式 (3.11) による加減速制御のブロック図を図14に示す。燃焼器圧力制限  $P_{3max}$ 、タービン入口温度制限  $T_{4max}$ 、回転速度制限  $N_{max}$  はその直接の計測値で燃料に制限がかけられる。一方、サージ制限と吹消え制限は、回転速度  $N$ 、圧縮機入口温度  $T_2$ 、圧縮機出口圧力  $P_3$  等を計測し、

$$\frac{W_{facc}}{P_3} = f_{acc}(N, T_2), \quad \frac{W_{fdec}}{P_3} = f_{dec}(N, T_2) \quad (3.17)$$

で最大加速燃料  $W_{facc}$  と最小減速燃料  $W_{fdec}$  を計算し、燃料指令  $W_f$  が  $W_{fdec} \leq W_f \leq W_{facc}$  となるように制限する方法がとられる。ここで式 (3.17) の左辺の (燃料)/(圧縮機出口圧力)  $W_f/P_3$  は燃焼状態の適性さを示すパラメータである (燃料)/(空気比) と関連が深いためこの計算方式が採用されることが多い。

回転速度指令をステップ状に変化させた場合の各変数の時間変化と圧縮機特性マップ上での軌跡を図15に示す。実際の燃料流量は、過渡時には時々刻々変化する最大加速燃料で制限されるためゆっくりと増加し、目標回転速度に近付くと、加減速制御系からはずれ、定常制御系により制御されることになる。圧縮機特性マップ上の作動点はサージ制限線の内側を若干の余裕をもって移動していく。この余裕はサージマージン  $S_M$  と呼ばれ次式で定義される (図15参照)。圧縮機特性マップ上で、任意の回転速度一定線において、

$$S_M = \frac{\pi_{st}}{\pi_{ol}} \frac{G_{ol}}{G_{st}} - 1 \quad (3.18)$$

ここで、 $\pi_{st}$ : サージ点圧力比、 $\pi_{ol}$ : 作動点圧力比、 $G_{st}$ : サージ点空気流量、 $G_{ol}$ : 作動点空気流量。

サージマージンを小さくするとエンジン加速は速くなる。タッチ・アンド・ゴー時には、アイドル状態から最大推力まで5秒以内に加速することが要求されるため、

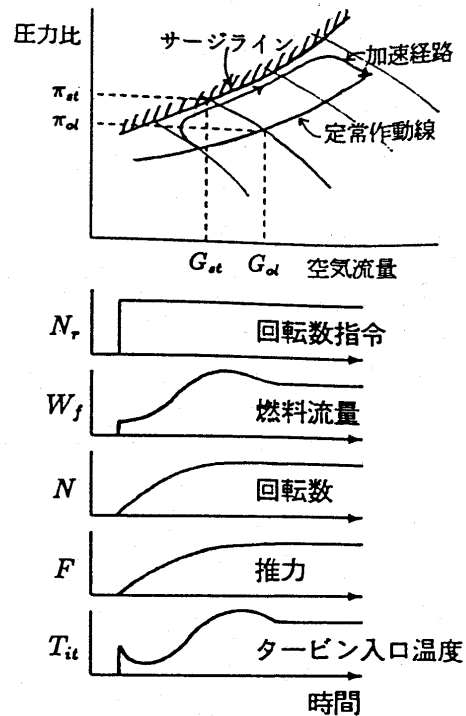


図15 加速経路と主要変数の時間応答

加速スケジュールは若干のサージマージンを見込んで、できるだけサージ制限線の近くに設定される。つまり式 (3.17) における  $f_{acc}(N, T_2)$  は加速時のサージマージンで決定される。

### 3.4 起動停止制御

起動制御はエンジンを地上で始動させアイドル回転速度 (エンジンが自力で回転を維持できる最低回転速度) に到達させるものである。また、空中で停止してしまったエンジンを再起動させる機能も必要とされる。

エンジン起動は、(i)始動機 (スタータ) でエンジンロータを回転させる、(ii)回転がある値に達したら点火装置を作動させる、(iii)燃料噴射を開始し着火させる、(iv)スケジュールに従って燃料を増加させ、エンジン回転速度は上昇し自立可能回転速度に到達したら、始動機と点火装置をきる、(v)アイドル回転速度に到達する、という手順で行われる。図16にこの手順およびロータ回転速度と排気ガス温度の時間変化を示す。起動制御はこの手順を自

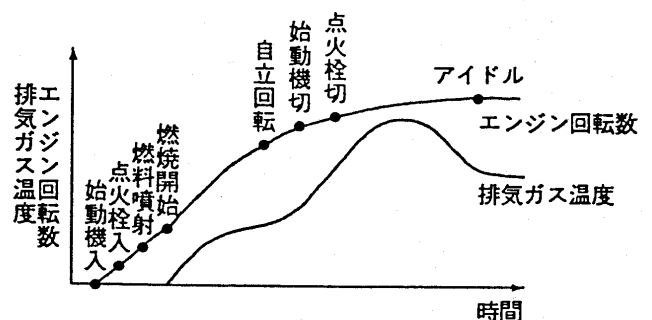
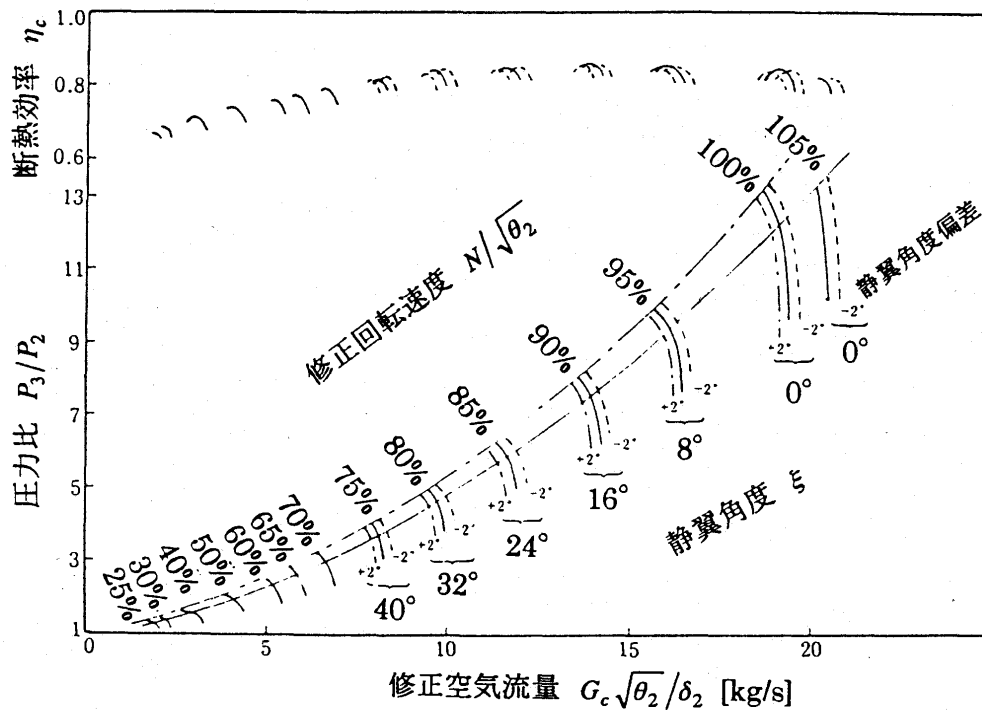


図16 起動時のエンジン回転速度および排気ガス温度の時間変化

図17 VSV 角度と圧縮機特性<sup>(6)</sup>

動的に行うものであって、スケジュールされたシーケンスに従って制御が進行する。ただし、タービン入口温度制限、圧縮機抽気制御、可変静翼制御、等が同時に行われる。

### 3.5 可変静翼 (VSV) 制御、抽気制御

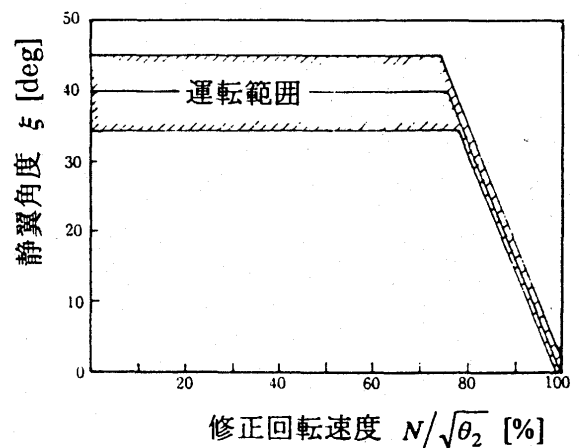
圧縮機の変静翼 (VSV, Variable Stator Vane) 制御は、設計点からはずれた作動領域における安定作動を維持するために行う。圧縮機の修正パラメータ (修正回転速度  $N/\sqrt{T_2}$ , 流入マッハ数  $M_n$ , 圧力比  $P_3/P_2$  など) に対して、圧縮機の前段のうち数段の静翼角度を失速を生じないような角度にスケジュールする。抽気制御は、中間段以降の抽気弁から抽気を行い、上流段の翼への流入角が適正になるようにする。静翼角度  $\xi$  は次式のいずれかでスケジュールされることが多い。

$$(1) \quad \xi = f(N, T_2) = f\left(\frac{N}{\sqrt{T_2}}\right) \quad (3.19)$$

$$(2) \quad \xi = f(P_{2t}, P_{2s}) = f(M_n) \quad (3.20)$$

$$(3) \quad \xi = f(P_3, P_2) = f\left(\frac{P_3}{P_2}\right) \quad (3.21)$$

実機エンジンでは、式 (3.19) によるスケジュールが採用されることが多い。これは式 (3.11) の加減速スケジュールの計測変数が利用できるからである。図 17 に可

図18 VSV スケジュール<sup>(6)</sup>

変静翼角による圧縮機特性の変化を、図 18 に実際の静翼角度  $\xi$  の修正回転速度  $N/\sqrt{T_2}$  によるスケジュールの例<sup>(6)</sup>を示す。

### 参考文献

- (5) Dorf, R.C., Bishop, R.H., *Modern Control Systems*, 7th edition, Addison-Wesley, 1995
- (6) 松木他, 航技研報告 NAL TR-741 (1982)

## 自動車用 100 kW CGT の高速軸系・減速機の開発

## Development of the High Speed Shaft and Reduction System for the 100kW Automotive Ceramic Gas Turbine

中沢 則雄<sup>\*1</sup>,  
NAKAZAWA Norio吉澤 孝昭<sup>\*1</sup>,  
YOSHIZAWA Takaaki稲葉志津雄<sup>\*1</sup>  
INABA Shizuo赤尾 好之<sup>\*1</sup>  
AKAO Yoshiyuki

## Abstract

The development program of 100kW automotive ceramic gas turbine has been promoted by Petroleum Energy Center with the support of the Ministry of International Trade and Industry. The ceramic gas turbine now under development is a regenerative single shaft engine of which the turbine inlet temperature (TIT) is 1350°C. The high speed shaft and reduction gear box is designed to operate stably throughout the wide operating range and attain the projected power loss. These design goals have been evaluated and confirmed by the component test rigs. In the full assembly test rig which have the all components assembled and have been evaluated up to TIT = 1250°C and 79kW output power, this high speed shaft and reduction gear box shows no mechanical problems and is being made optimum in lubricating conditions.

## 1. まえがき

高効率、低公害性、多種燃料適用性の特長を持つ自動車用 100 kW セラミックガスタービン (CGT) の開発が通産省資源エネルギー庁のプロジェクトとして、(財)石油産業活性化センター (PEC) で進められている<sup>(1)</sup>。

エンジン構造は、遠心圧縮機、ラジアルタービン、缶型燃焼器、2 個の回転蓄熱式熱交換器および減速機で構成する 1 軸式である。性能は定格点圧力比 = 5、最高タービン入口温度 = 1350°C、最高 (定格点) 出力 = 100 kW、最高熱効率 = 40% の開発目標値を設定している。本稿では、圧縮機インペラとセラミック製タービンロータを結合する高速軸と、車両の駆動軸に連結する無段変速機 (CVT) の入力軸に高速軸端から高減速比で動力伝達する減速機の開発について報告する。

## 2. 要求仕様と設計の考え方

高速軸系はガスタービンの基本構造を左右する基幹要素であるが、本エンジンの全体基本設計の段階でインペラとタービンロータを Back To Back に直結する定格 110,000 rpm の 1 軸式に決定している。詳細設計を進める上での構造機能面および性能面の重点項目を以下に示す。

## ①自動車用として想定されるアイドルから定格点

(35~100% 回転数) の全域で過大な振動なく安定であるとともに、摩擦と潤滑油攪拌等による動力損失を最少に抑える。

②セラミックタービンロータと金属軸側との結合部は最高タービン入口温度 TIT = 1350°C の環境の中で確実なトルク伝達と、圧縮機側への伝熱損失の低減を図る構造とする。

一方減速機の基本設計仕様は入力軸 110,000 rpm、出力軸 6,000 rpm の高減速比 (18.33) であるが、歯車、軸受とも同一サイズの金属ガスタービンに対して高速高負荷であり、要求寿命を満足するための強度確保と動力損失低減の両立を図ることが重要である。

本プロジェクトの基本設計の段階に設定された要求仕様を 1993 年の中間評価の結果により見直しを実施した。タービンセラミック材料の強度見直しと圧縮機他の各要素の中間評価性能を踏まえたサイクル性能の再検討により、定格回転数を 100,000 rpm に下げる等の見直した結果を表 1 に示す。基本設計仕様では定格点と最高熱効率点は同一であったが、それ等を分離し各要素の目標仕様を再設定した<sup>(2)</sup>。高速軸系・減速機の動力損失は表 2 に示すように中間評価時点で得られている特性値をベースに更に低減する (6.4 項参照)。

## 3. 高速軸系設計

圧縮機インペラとタービンロータの軸受配置と結合法として各種方式を検討したが、以下の設計方針により図

原稿受付 1996 年 7 月 15 日

\* 1 (財)日本自動車研究所 (JARI)

三菱自動車工業(株) 〒146 東京都大田区下丸子 4-21-1

表 1 中間評価見直し仕様

|            |            | 定格点     | 最高熱効率点 |
|------------|------------|---------|--------|
| エンジン       | 回転数 rpm    | 100,000 | 90,000 |
|            | 出力 kW      | 100     | —      |
|            | 熱効率 %      | (38)    | 40     |
| 圧縮機        | 流量 kg/s    | 0.47    | 0.34   |
|            | 圧力比        | 4.96    | 3.60   |
|            | 断熱効率 %     | 78.0    | 83.0   |
| タービン       | 入口温度 ℃     | 1350    | 1350   |
|            | 断熱効率 %     | 85.5    | 85.0   |
| 燃焼器        | 燃焼効率 %     | 99.5    | 99.5   |
|            | 圧力損失率 %    | 3.5     | 3.3    |
| 熱交換器       | 熱交換率 %     | 92.5    | 94.5   |
|            | 漏れ %       | 4.6     | 4.9    |
|            | 全通路圧力損失率 % | 7.6     | 4.7    |
| 動力損失<br>kW | 高速軸系・減速機   | 4.8     | 3.8    |
|            | 補機         | 3.4     | 3.0    |
| 熱損失 kcal/h |            | 9,500   | 6,900  |
| シール等漏れ %   |            | 1.8     | 2.0    |

表 2 高速軸系・減速機の仕様

| 項 目            |           | 基本設計仕様                            | 中間評価後<br>見直し仕様  |
|----------------|-----------|-----------------------------------|-----------------|
| 定格<br>条件       | 高速軸 (rpm) | 110,000                           | 100,000         |
|                | 出力軸 (rpm) | 6,000                             | 5,455           |
|                | 出力 (kW)   | 100                               | —               |
| 減速比            |           | 18.33                             | —               |
| 動力損失目標<br>(kW) | 定格点       | ≦6.0 (最終目標)                       | ≦4.8/100,000rpm |
|                |           | ≦7.4 (中間目標) / 110,000rpm          |                 |
|                | 最高熱効率点    | —                                 | ≦3.8/90,000rpm  |
| 機能強度目標         |           | 全作動域で過大な<br>振動なく安定<br>定格100hrの耐久性 | —               |

1の構造とした。

- ①セラミックタービンロータと金属軸との接合は締め  
嵌めとし、両材料の熱膨張差により高温側で締め代  
が減少するので、締め代を保持する温度レベルに維  
持するため、接合部は冷却雰囲気である軸受部分に  
置く。
- ②タービンロータからインペラへの熱流入による損失  
と圧縮機性能低下を防止するため、両ロータ間に軸  
受を配置し冷却するとともに、熱伝導経路である  
タービンロータ端部の接合軸径を強度上の許容範囲  
で径小化する。
- ③両ロータ間の軸受は玉軸受として、それぞれのロー  
タから最短の部位で位置決めすることにより、温度  
と圧力環境の変化にともなう翼端クリアランスの変  
動幅を最少とし、圧縮機とタービンの空力性能を確  
保する。
- ④両軸受にはオイルフィルムダンパを設け、1, 2 次

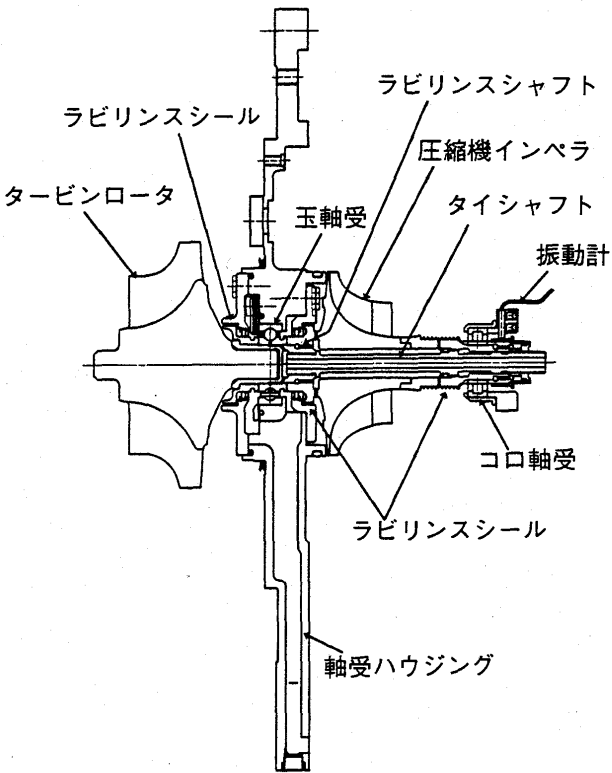


図 1 高速軸系組立断面図

平行およびクロスモードの共振は充分減衰させ、軸  
曲げをともなう3次モードは、定格点より充分上に  
離すこととし、高速軸系組立構造の高剛性化を図る。  
なお、軸系全構成部品は中心部のタイシャフトで締め  
上げ、チタン合金製インペラの前端は締め嵌め、背面は  
カービックカップリングでラビリンスシャフトと結合し  
ている。ラビリンスシャフトの内径スプラインにより、  
セラミック軸と接合している金属軸とトルク伝達する。  
両軸受はオイルジェット潤滑するが、玉軸受はdn値(内  
径mm×rpm) = 220 × 10<sup>4</sup> となりガスタービンでの従  
来実績最高レベルであることから、内輪転動面の潤滑を  
補うことを目的に、内輪からの給油通路を設けるととも  
に遠心荷重低減を狙いにセラミックボールを採用してい  
る。

4. セラミックタービンロータと金属軸との接合

接合手法として締め嵌め、ロー付けおよび両者の併用  
があるが、ロータ単体でのブルースピン試験後に軸を  
付け変えてエンジンに供試するケース、またその逆の  
ケースも想定されることから、軸の脱着が容易である締  
め嵌め方式を採用している。  
定格条件 (TIT = 1350℃, 回転数 = 110,000 rpm, 出  
力 100 kW) で要求されるタービン出力トルクの 1.8  
kg・m を摩擦係数 (μ) の想定される最小 μ = 0.1 で伝達  
することが要求される。一方金属スリーブをセラミック  
軸に焼嵌め後常温に戻した時の熱収縮差にともない増大  
する応力は、収縮時軸方向のすべり抵抗も考慮し想定最

大  $\mu = 0.5$  で許容値内とする必要がある。スリーブ材として耐熱合金であり熱膨率が低い IN 909 を採用し、表 3 に窒化珪素のタービンロータ材と比較して材料特性を示す。接合径 15 mm × 長さ 18 mm および締め代中央値 55  $\mu\text{m}$  で通常の研削加工公差幅の下限で伝達トルクの、上限で許容応力の条件を満足できる。図 2 に定格条件での温度分布と、締め代最大時の常温での応力分布の解析結果を示す。金属軸の最高温度は 550°C であり、IN 909 の強度低下が著しくなる限界温度 620°C に対し約 70°C の余裕がある。一方焼嵌後の常温での最大主応力は 510 MPa であり、表 3 の強度に対し約 2 の安全率となる。

温度分布解析はタービンロータの解析<sup>(3)</sup>とリンクして実施しており、定格条件で潤滑油に流入する熱量は約 600 kcal/h であり、燃料発熱量の 0.3% レベルに抑えられる見込みである。

表 3 接合部使用材料の物性値比較 (常温)

| 特性    | 単位                   | ロータ<br>(Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> ) | 軸<br>(IN909) |
|-------|----------------------|------------------------------------------|--------------|
| 密度    | Mg/m <sup>3</sup>    | 3.4                                      | 8.19         |
| 縦弾性係数 | GPa                  | 290                                      | 160          |
| ポアソン比 | —                    | 0.26                                     | 0.35         |
| 熱膨張率  | ×10 <sup>-6</sup> /K | 3.3                                      | 7.8          |
| 熱伝導率  | W/(m・K)              | 30                                       | 14.8         |
| 比熱    | J/(g・K)              | 1.1                                      | 0.4          |
| 引張強度  | MPa                  | —                                        | 1300         |
| 降伏強度  | MPa                  | —                                        | 1034         |

## 5. 減速機の設定

減速機構造として直列 2 段減速歯車と遊星歯車方式が考えられるが、歯車・軸受数が少なくシンプルで動力損失と補機の配置上優利な直列 2 段減速歯車方式を採用した。図 3 に高速軸系と減速機の全体構造と歯車の配置を示す。高速軸とこがり軸受で支持されるピニオン歯車

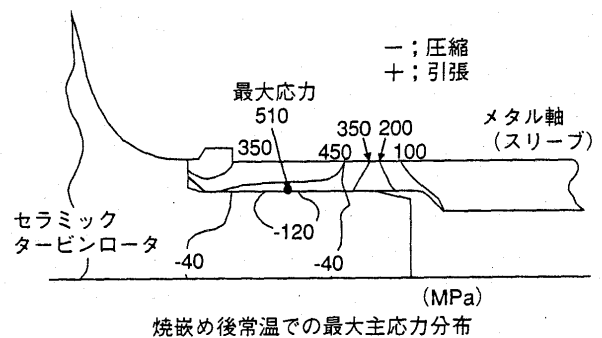
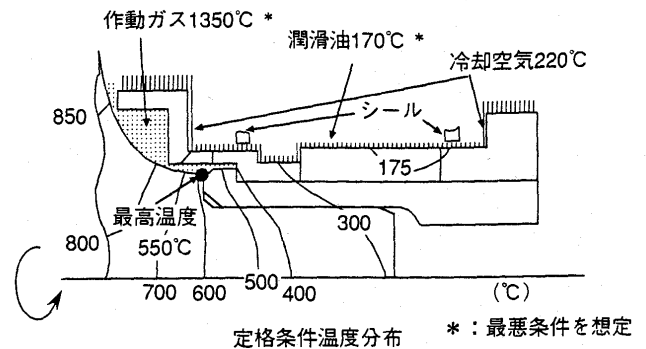


図 2 接合部温度応力分布解析結果

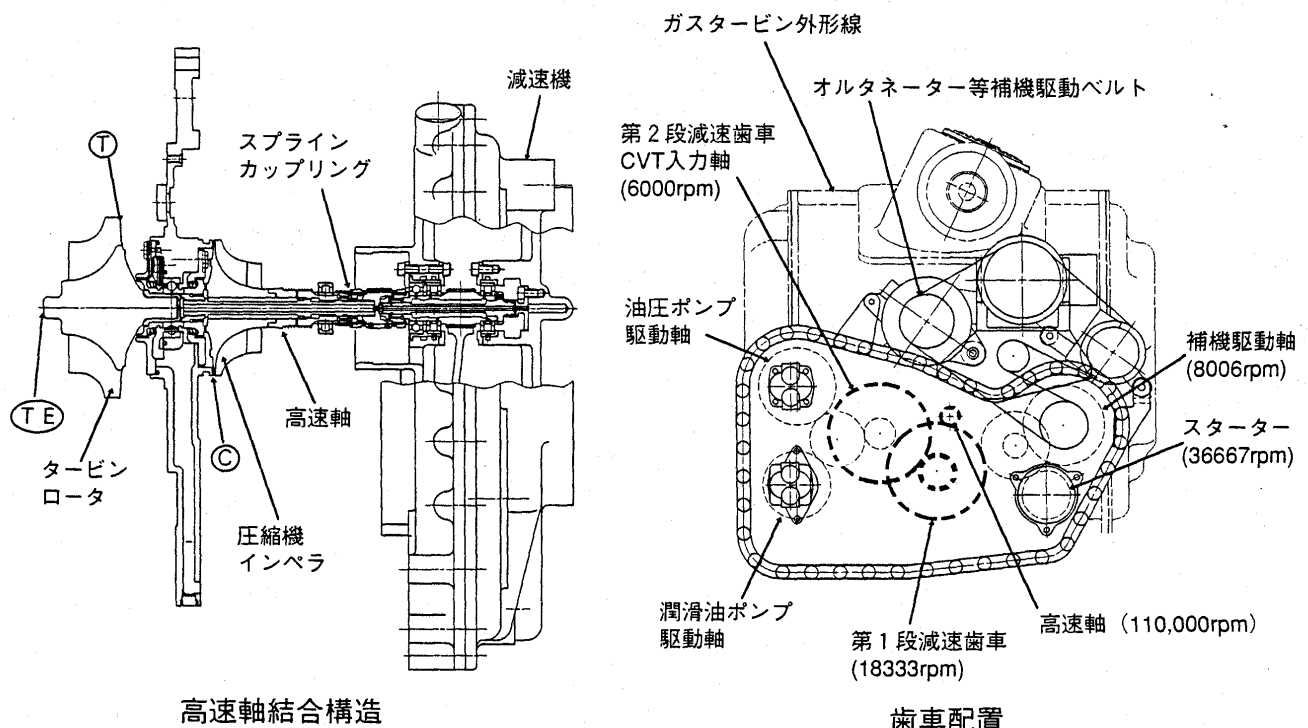
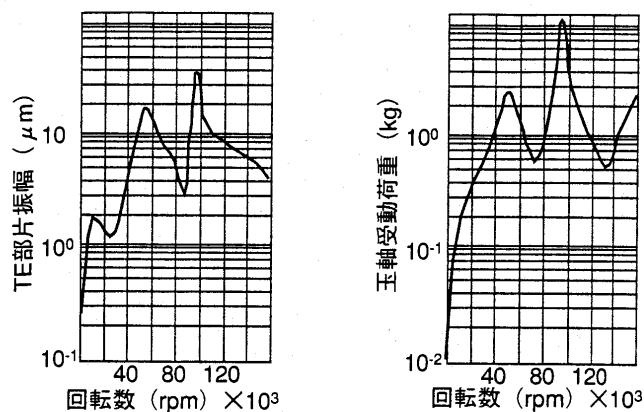
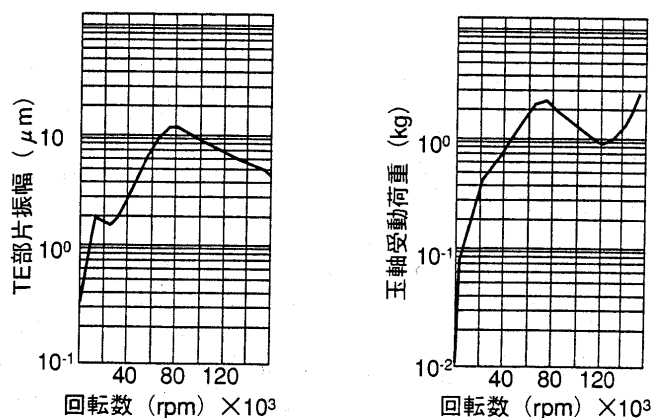


図 3 高速軸系・減速機構造



(a) ピニオン軸受ダンパーなし



(b) ピニオン軸受ダンパー付

図4 高速軸系連成振動応答解析

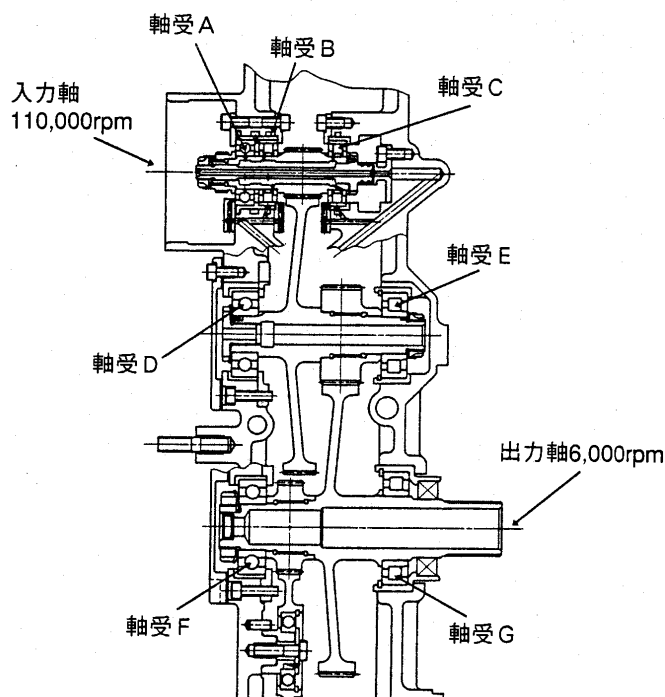


図5 減速機歯車列断面

はスプラインカップリングで結合しているが、連成モードの振動を解析評価しておく必要がある。図3に示す

表4 減速歯車の諸元

|          | 第1段減速歯車        | 第2段減速歯車      |
|----------|----------------|--------------|
| 歯車種類     | はすば歯車          |              |
| 回転数 rpm  | 110,000/18,333 | 18,333/6,000 |
| 歯数       | 23/138         | 38/116       |
| 歯幅 mm    | 18             | 20           |
| 歯直角モジュール | 1              | 1.25         |
| 圧力角 deg  | 20             | 20           |
| ねじれ角 deg | 25             | 25           |

タービンロータとインペラの①、③部に 180° 位相の異なる集中アンバランスをそれぞれ 0.25 gr-cm 置いた場合のロータ端(TE)の振幅、玉軸受の荷重の応答は図4(a)に示すように 100,000 rpm 近傍で過大なピークとなる。本連成振動対策として、ピニオン歯車軸受にオイルフィルムダンパーを付加することとし、その結果上記の振動ピークは解消できる(図4(b))。

図5に2段減速部断面を、表4に歯車の諸元を示す。歯車材料には JIS 規格 SNCM 420 の焼入れ浸炭鋼を採用し、目標寿命は達成できる。

一方軸受は各段ともコロ軸受と玉軸受の組合せとし、破損確率  $10^{-5}$  で定格条件 100 hr の寿命設計とした。ピニオン軸の高 dn 値 ( $200 \times 10^4$ ) で高負荷の A, B, C 軸受はオイルジェットと内輪側からの給油を併用し、玉軸受にはセラミックボールを採用している。また, D, E 軸受および第1段歯車噛み合い部にはオイルジェット給油する。

## 6. 評価試験

### 6.1 高速軸系単体試験

高速軸系の振動特性と動力損失を評価するためインペラとタービンロータを振動特性上等価の円盤のダミーロータに置き換え、振動特性を確認し、動力損失を計測した。試験装置は図6に示すように高速軸系に直結するラジアルタービンで駆動し、ダミータービンのチャンバー内圧によりスラスト荷重を調整し、また各軸受への潤滑とオイルフィルムダンパーへの給油は個々に独立して設定できる構造とした。動力損失は駆動タービンとダミーロータまわりの温度、圧力、流量の計測値から、タービン出力よりダミーロータの円板摩擦動力を差し引いて求める。算出法と結果を図7に示す。潤滑油は米軍規格の合成油 (MIL-L-23699) と、本プロジェクトで石油会社が共同で開発した同等特性の合成油を使用して評価し、動力損失もほぼ同等となった。

本試験装置ではタービンまわりの高温ガスからの入熱に対する軸受まわりの冷却特性は評価できないが、エンジン試験での給油条件に対応する損失動力を割り出した

めのデータを求めた。一例として、図7の①条件でオイルジェット給油量のみをそれぞれの軸受に対して変動させ、ダンパーも含めた全給油量に対する動力損失の結果を図8に示す。また、図7に示すように本軸系中心部からの玉軸受内輪への給油は回転遠心力で潤滑油をポンピングする動力損失が増大するので、エンジンの高速高負荷時のみ軸受温度の状況を見て選択的に採用することとした。

## 6.2 タービンロータと金属軸接合評価

セラミックロータ軸と金属スリーブとの締め付け接合力を評価するため、温度条件を常温から 500°C の範囲で変え引張りと捩じり試験を実施した。材料はスリーブが IN 909、セラミック軸は日本ガイシ製 SN88 として常温

の締め代  $55 \pm 10 \mu\text{m}$  のテストピースを接合後引張りと捩じりの抜け荷重を計測した。

図9に接合部温度に対して、抜け荷重（引張り力、捩じりトルク）と両材料の熱膨張差にともなう締め代の変化量より算出した面圧から求めた接合面摩擦係数を示す。設計時想定した摩擦係数  $\mu = 0.1 \sim 0.5$  の範囲の中に入っている。なお、1点  $\mu = 0.45$  の特異な点があるが、引張り時異物の噛み込みが原因と推定される。

## 6.3 減速機単体試験

減速機の軸受と歯車の潤滑条件、動力損失、振動・強度および耐久性を評価する目的で単体試験装置（図10）を製作した。2個の減速機の高速軸端をスプラインカップリングで結合し、一方を評価用供試機、他方を増速機として使用し可変速モータで駆動、動力計で伝達動力を吸収させる。動力損失の評価はトルクメータと動力計での動力差を、2個の減速機（一方は増速）の損失の相対値を示す潤滑油の“油量×温度上昇”の比で配分して求めた。

図11に定格の 50, 80, 100% 回転数で設定した伝達動力に於ける、供給潤滑油全量（各軸受と第1段歯車噛み合部のオイルジェット、オイルフィルムダンパー、内輪

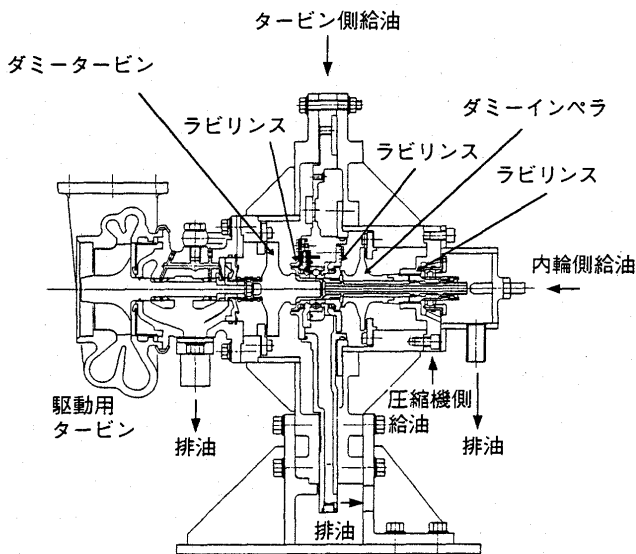


図6 高速軸系単体試験装置

・給油量 (Q/min)

|      |   | オイルジェット | 内輪給油孔 | ダンパー |
|------|---|---------|-------|------|
| 玉軸受  | ① | 0.25    | —     | 0.25 |
|      | ② | —       | 0.25  | 0.25 |
| コロ軸受 |   | 0.25    | —     | 0.25 |

・給油温度 40°C

・スラスト荷重 24.4kg

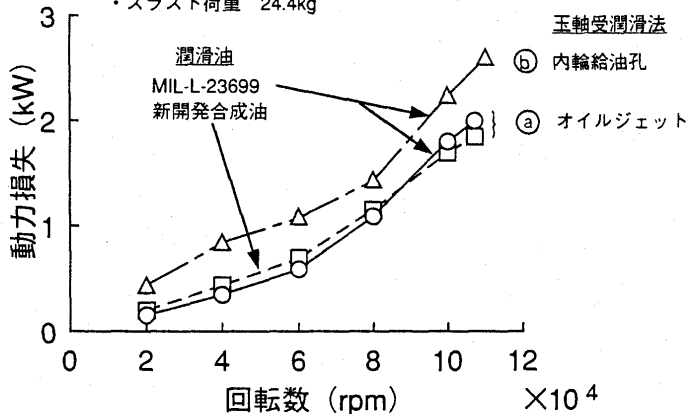


図7 高速軸系回転数と動力損失

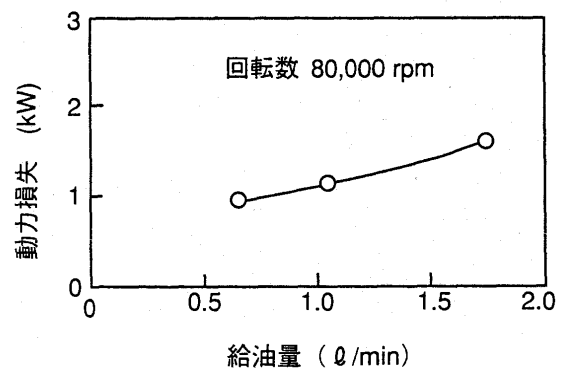
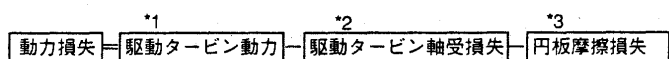


図8 高速軸系給油量と動力損失

### 軸系単体試験における動力損失算出法



\*1 駆動タービン入口、出口ガス状態量、ガス流量から

\*2 駆動タービン給排油温度、油量から

\*3 円板を囲む空気温度圧力を使用し、下記の式から

円板摩擦損失 (Stodolaの実験式)

$$Nd = K(u/100)^3 D^2 \gamma \quad (\text{P S})$$

ここで  $u$  = 円板の外周速度 (m/s)

$D$  = 円板の直径 (m)

$\gamma$  = 円板を取り囲んでいるガスの比重量 (kg/m<sup>3</sup>)

$K$  = 係数 (空気は1.44)

とスプラインカップリングへの供給全量), B 軸受外輪温度 (全軸受の中の最高) および動力損失の計測結果を示

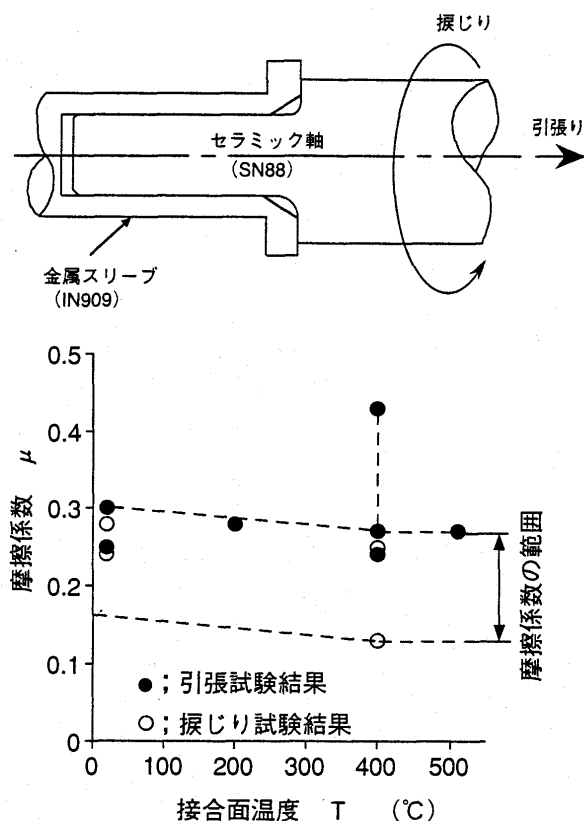
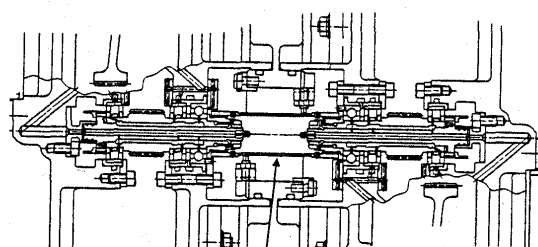


図9 軸接合部温度と摩擦係数の関係



スプラインカップリング  
ピニオン軸連結部

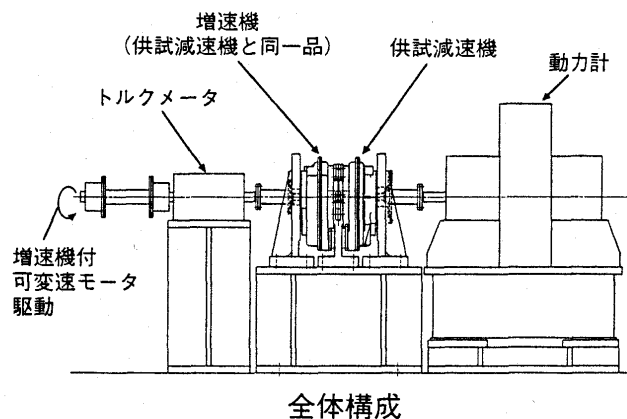


図10 減速機単体試験装置

す。エンジン実験での操作性を考慮し、供給油量は中低速で一定に保ち高速高負荷側で外輪温度の傾向をみて増量させた。定格点動力損失は4.8 kWであるが当面の外輪温度限界 140°C 以下に約 20°C の余裕をみている。

図10の試験装置で減速機単体の定格点累計50hrを目標とする耐久試験を2回に渡って実施した。第1回目は35hr時点で増速機側ピニオン軸の回転周波数の1/6~5/6次の振動が急増したため中断し分解した。C軸受の合金鋼製保持器が疲労破損(図12)しており、供試減速機のB軸受保持器にも同様なクラックが認められた。保持器の改良(コロポケットの隅R増大, コロとのクリアランス増大等)後, 第2回目の50hr耐久を問題なく終了した。

#### 6.4 動力損失の評価

高速軸系と減速機の動力損失計測値 (図7②/MIL-L

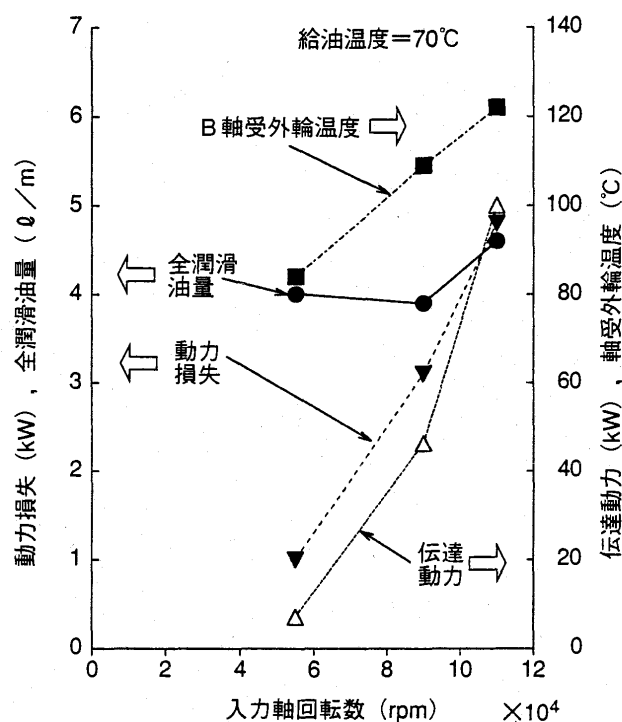


図11 減速機の潤滑条件と動力損失

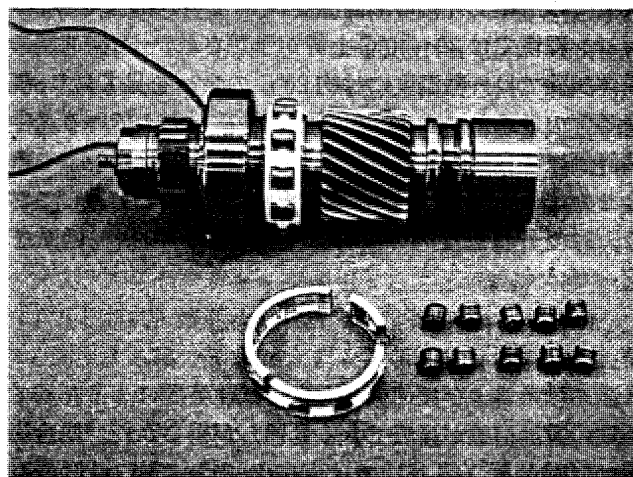


図12 増速用減速機のC軸受保持器破損状況

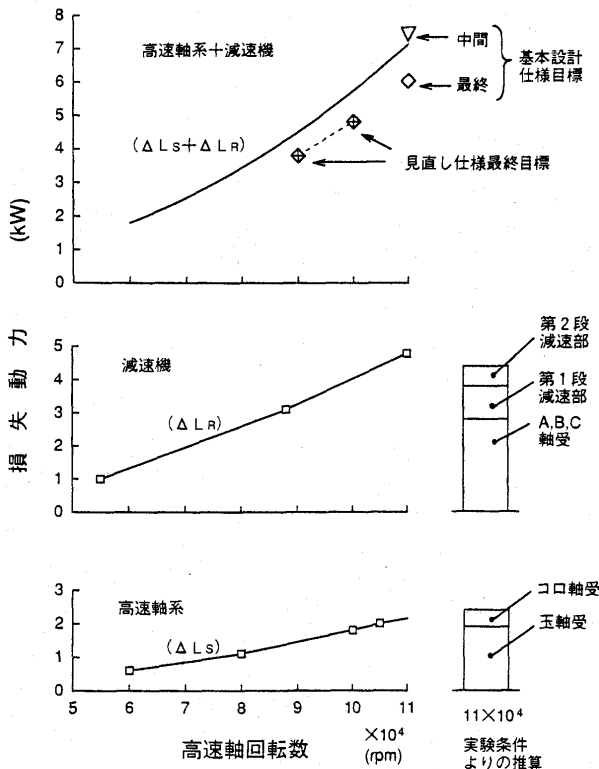


図 13 動力損失の検討

-23699 潤滑油, 図 11)と目標値および実験条件からの推算値を図 13 に示す。なお動力損失の推算値は, 玉軸受とコロ軸受については, 軸受メーカーの実験式<sup>(4)</sup>と Harris らの式<sup>(5)</sup>, 一方減速歯車部は朝鍋ら<sup>(6)</sup>の提案の式により求めた。

基本設計仕様定格点 110,000 rpm の動力損失最終目標より 1.4 kW 高く設定してある中間目標に対し, 単体試験での評価値は下回るレベルに達しているが, 見直し仕様に対しては, 更に 15% の損失低減を見込んだ。損失低減は潤滑条件の適正化により進めることとし, 代表例として損失の中で高い比率を占める玉軸受 (高速軸タービン側と減速機ピニオン軸の A 軸受, 両軸受の損失特性はほぼ同等) の潤滑条件に対する損失特性を上述の実験式により予測した結果を図 14 に示す。高速軸系単体試験装置では玉軸受外輪の最高温度は 90°C レベルであり, エンジン環境では 30~40°C 上昇が予想され, 一方減速機の単体試験では外輪温度には約 20°C の余裕を見ており, 潤滑条件の最適化により損失低減し得ると考えている。中間評価以降は高速軸系と減速機の実験評価は全要素を組合せたエンジン相当の総合組合せ試験の中で実施しており, 軸受外輪温度等の限界を見極めながら損失低減を図っていく。

## 7. まとめ

高速軸系および減速機とも単体試験装置による評価で所期の設計目標が達成できる見通しが得られた。総合組合せ試験装置 (図 15) では現在タービン入口温度最高 1250°C, 最大実出力 79 kW までの評価において振動等の

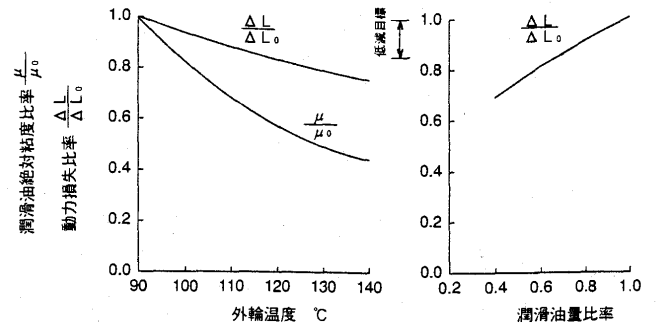


図 14 高速軸玉軸受動力損失低減予測 (100,000 rpm)

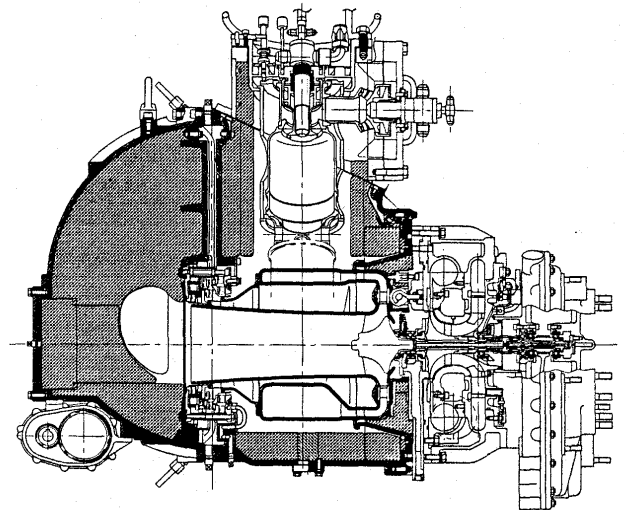


図 15 総合組合せ試験装置

問題もなく, 今後の性能向上試験の中で, 潤滑条件の適正化等による動力損失の低減を進めて行く。

## 謝辞

本研究開発の実施にあたり, 御指導と御協力を頂いた PEC ならびに JARI の関係各位, および高速軸系と減速機の単体試験にあたって御協力を頂いた三菱重工業(株)長崎研究所のトライボロジーおよび振動研究室他の関係各位に対し, 深く感謝の意を表します。

## 参考文献

- (1) 西山ほか 4 名, 100 kW 自動車用セラミックガスタービンエンジン開発の現状, 日本ガスタービン学会誌 Vol. 22, No. 87, 1994. 12, 38-57
- (2) T. Nishiyama and et al., "Status of the Automotive Ceramic Gas Turbine Development Program-Year Five Progress", ASME Paper 96-GT-36
- (3) 中沢ほか 4 名, 自動車用 100 kWCGT のタービンロータの開発, 日本ガスタービン学会誌 Vol. 24 No. 93, 1996. 6, 84-91
- (4) NSK テクニカルレポート, Pr. No. 728, 1991-9
- (5) T. A. Harris, Rolling Bearing Analysis, (1966), John Wiley & Sons
- (6) 朝鍋・松本, 歯車の潤滑設計とトラブル対策, 機械設計, 第 30 巻, 第 6 号, 1986-5

## 石炭ガス化複合発電の技術展望

## Prospect of Integrated Coal Gasification Combined Cycle

内田 聡<sup>\*1</sup>,

UCHIDA Satoshi

古屋 孝明<sup>\*1</sup>,

FURUYA Takaaki

太田 一広<sup>\*1</sup>

OHTA Kazuhiro

小林 豊明<sup>\*1</sup>

KOBAYASHI Toyooki

## Abstract

Integrated Gasification Combined Cycle (IGCC) is regarded as the most powerful candidate for new coal firing power plants in the next generation because of the following two points. One is its significantly high net thermal efficiency of 46-50 + % which can be achieved with the increase of gas turbine inlet temperature. The other is its superior environmental performance which is attained by means of the conversion process from "dirty" coal to "clean" purified gas and the ash disposal of glassy slag.

200T/D IGCC pilot plant has been tested since 1991 by the IGC Research Association under the entrust of NEDO. These essential technologies for IGCC have almost verified at this pilot plant with the achievement of one month stable and continuous operation in March 1995.

Based on these successful results, Mitsubishi has newly designed "THE IGCC system", which provides the highest net thermal plant efficiency and environment benign in cost effective manner.

## 1. はじめに

石炭ガス化複合発電 (IGCC: Integrated coal Gasification Combined Cycle) は埋蔵量が豊富な石炭を燃料として、ガスタービンの複合発電により高い発電効率と灰のスラブ処理等の高い環境性能を有する 21 世紀の火力発電の中核として世界各国で開発が推進されている。

国内で通産省資源エネルギー庁、新エネルギー産業技術総合開発機構 (NEDO) の委託事業として、石炭ガス化複合発電技術研究組合 (IGC 組合) によって 200 T/日噴流床石炭ガス発電パイロットプラント運転研究が常磐共同火力(株)勿来発電所構内で、平成 8 年 2 月 11 日までに実施され、IGCC 実用化のために各種貴重な運転データを取得する事が出来た。

このパイロットプラントは発電効率の最も高い空気吹きガス化炉と乾式ガス精製装置で組み合わせられている。運転研究では当初ガス化炉内に灰付着などの課題があったが、それらの課題を全て解決して平成 7 年 3 月には 789 時間の石炭専焼連続運転に成功した。

本論文では世界の IGCC プラントの開発状況、200 T/日石炭ガス化パイロットの概要並びにこれらの成果を元にした実証機の計画概要について述べる。

## 2. IGCC プラントの開発状況

米国では 1984 年から 89 年に亘りクールウォータープロジェクトとして、酸素吹きテキサコ炉と湿式脱硫装置と 1100°C 級のガスタービンを組み合わせた発電出力 120 MW の実証プラントの運転が行われた。また 1984 年からダウの Syngas プロジェクトとして 160 MW の自家発電プラントが 2200 時間以上 (94 年 12 月現在) 運転されている。近年では米国ではフロリダの TAMPA 電力で発電出力 320 MW の IGCC プラントが建設中で 1996 年より試運転開始の計画である。このプラントはテキサス炉と湿式ガス精製を既設油焚き MS 7001 F ガスタービンに組み合わせ、DOE から約 50% の資金援助を受け建設されている。また Wabash River Coal Gasification Repowering Project は発電出力 302 MW でダウ炉と湿式ガス精製と MS 7001 F の組み合わせで、既設発電所の蒸気タービンを使用し、やはり約 50% ほど DOE から資金援助を受け建設中である。これらのプロジェクトはいずれも IGCC の実証機の位置づけであるが、既設のインフラストラクチャーを使用することで総建設費を抑制すると共に、既設火力に比べ環境特性の向上と発電効率の向上する事でインセンティブを与えている。

一方ヨーロッパではオランダ電力庁の資金プフナムプロジェクトが 94 年度より運転中である。これは Shell 炉と湿式ガス精製並びに V 94.2 ガスタービンとの組み合わせで、NG をバックアップ燃料として有している。当初

原稿受付 1996 年 7 月 15 日

\* 1 三菱重工業(株)

〒 220-84 神奈川県横浜市西区みなとみらい 3-3-1

はガスタービンの燃焼振動が問題であったが、現在は40%から95%負荷で順調に運転を行っている。またスペインの Puertollano では EC 等（日本の銀行団からも資金が流れている）から70%の援助を受け、Penflo 炉を使用した発電端で335 MWの実証機が建設中である。

クールウォータープロジェクトとダウ Syngas プロジェクトを除き、いずれもここ数年内で運転開始する最新鋭の石炭ガス化複合発電で、欧米の石炭ガス化に掛ける意気込みが感じられると共に、欧米の補助金の使い方に感心するところである。

### 3. 200 T/日石炭ガス化パイロットプラント

本パイロットプラントはIGCCの技術開発のため、NEDOから委託を受けてIGCの組合が昭和63年1月に建設を着手して平成3年2月に完成した。このパイロットプラントは前述した欧米で開発が進められている化学用の開発から始まった酸素吹き石炭ガスく炉と湿式

ガス精製を組み合わせたシステムではなく、送電端プラント効率が高く、発電用として開発された乾式石炭供給空気吹き二段噴流床石炭ガス化炉と乾式ガス精製装置を組み合わせた先駆的なシステムを採用している。(図1) これらの各構成機器は全て国産技術でガス化炉は三菱重工業、ガス精製装置は石川島播磨重工業と川崎重工業、ガスタービンは日立製作所が製作を担当し、ガスタービン実圧燃焼試験は日立、東芝、三菱がそれぞれ試験を行った。またバイパス試験装置として電力会社の研究として20 T/日級の固定床ガス精製装置と4 T/日級の移動床ガス精製装置が技術改善のため三菱と川重により製作され試験を行った。ガス化炉の試験結果は計画性能を満足し、ガスタービンとの抽気連携運転状態での動特性試験では10%/分の負荷変化まで実証できた。スラッシングもガス化炉改造により完全に改善され長期連続試験(789時間)の成果と併せ、実証機の設計のためのデータを取得できた。(図2、表1) また灰はスラグとして回収され未燃

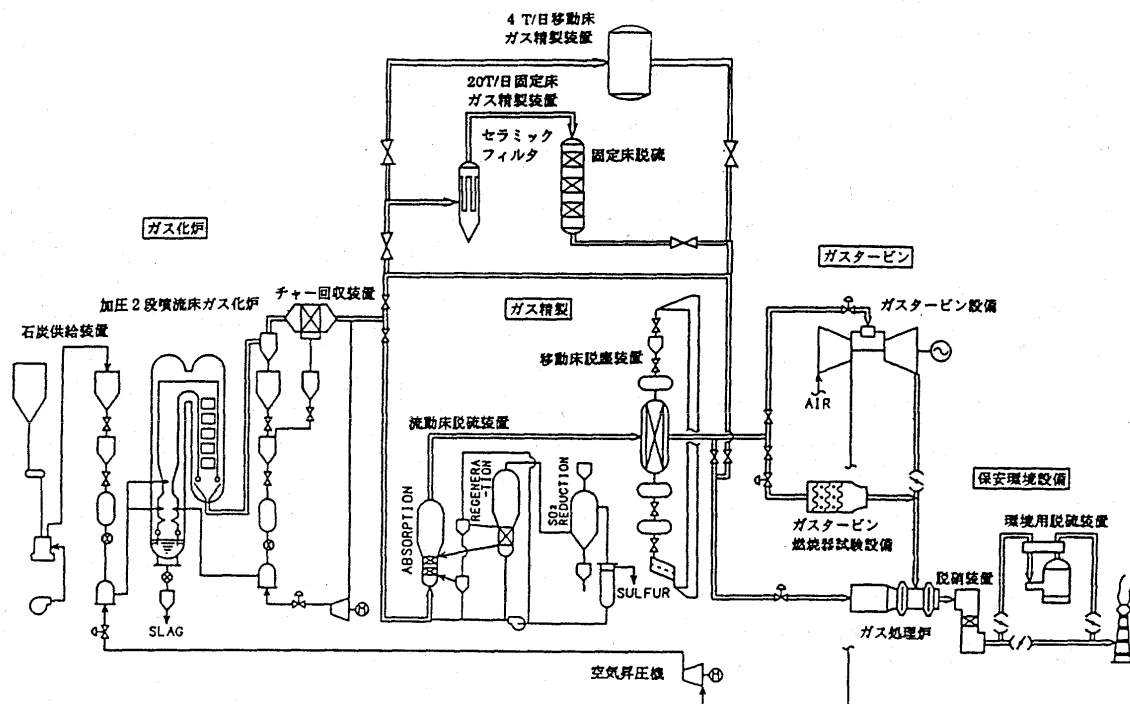


図1 200 T/日石炭ガス化パイロットプラント系統図

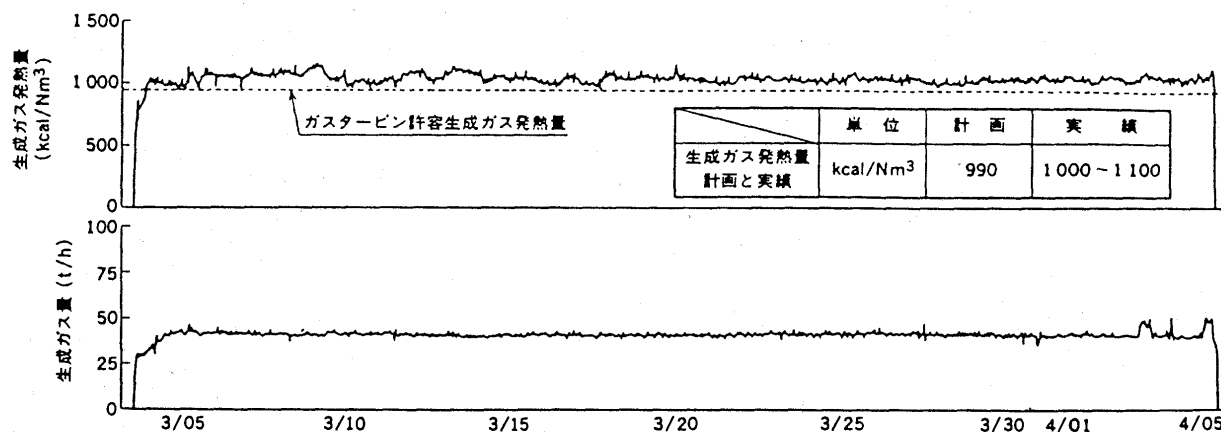


図2 石炭ガス化炉の長期連続運転実績データ

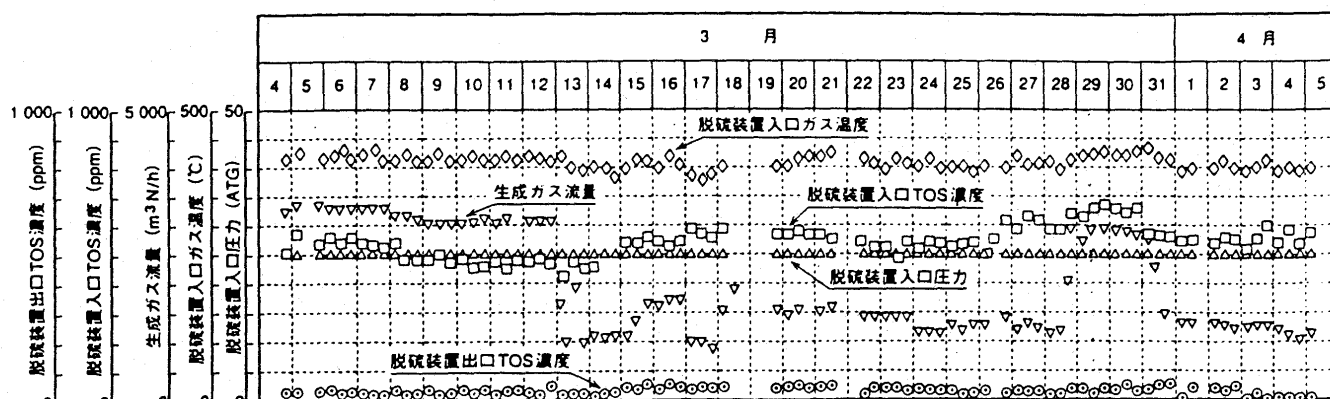


図3 固定床脱硫装置の長期連続運転実績データ

表1 200 T/日石炭ガス化パイロットプラントの性能

| 項目                         | 単位                   | 計画値  | 実績値        |
|----------------------------|----------------------|------|------------|
| 炭種                         |                      | モーク炭 | モーク炭       |
| 生成ガス発熱量                    | kcal/Nm <sup>3</sup> | 1020 | 1000から1100 |
| 冷ガス効率                      | %                    | 68以上 | 68~74      |
| 炭素転換率                      | %                    | 98以上 | 99.8~99.9  |
| チャーリサイクル                   | %                    | 100  | 100        |
| 入口全硫黄量(固定床)                | ppm                  | 1510 | 500~700    |
| 出口全硫黄量(固定床)                | ppm                  | 100  | 20~80      |
| 入口煤塵濃度(固定床)                | mg/Nm <sup>3</sup>   | 3000 | 132~390    |
| 出口煤塵濃度(固定床)                | mg/Nm <sup>3</sup>   | 10   | 1以下        |
| NO <sub>x</sub> 転換率(当社燃焼器) | %                    | 40以下 | 38以下       |

表2 実証機基本仕様

| 項目                               | 単位                 | 50 Hz 地区          |       | 60 Hz 地区 |       |
|----------------------------------|--------------------|-------------------|-------|----------|-------|
| ガスタービン                           | —                  | 701F              | 701DA | 501F     | 501DA |
| ガス化炉                             | —                  | 空気吹き2段噴流床方式(酸素富化) |       |          |       |
| 脱塵装置                             | —                  | セラミックフィルター        |       |          |       |
| 脱硫方式                             | —                  | 酸化鉄ハニカム固定床石膏回収方式  |       |          |       |
| 石炭処理量                            | T/D                | 2400              | 1600  | 1700     | 1300  |
| 発電端出力                            | MW                 | 400               | 263   | 275      | 215   |
| 送電端出力                            | MW                 | 368               | 242   | 255      | 198   |
| 送電端効率(HHV)                       | %                  | 44                | 43    | 44       | 43    |
| SO <sub>x</sub> /NO <sub>x</sub> | ppm                | 20/20             | 20/20 | 20/20    | 20/20 |
| 煤塵                               | mg/Nm <sup>3</sup> | 1                 | 1     | 1        | 1     |
| 排水                               | —                  | 一般排水処理で対応可能       |       |          |       |
| 灰                                | —                  | スラグによる回収          |       |          |       |

カーボンを含まず数 mm 程度に粉碎され、ガラス質で覆われた完全に非水溶性であることが確認された。

ガス精製装置のうち三菱重工が担当し 20 T/日固定床ガス精製装置は一月連続運転をガス化炉と併せて行っただけでなく、初期性能も計画を遙かに超える数値が得られ、(図3)または加圧下での石膏回収試験の成功などコンパクトで高性能かつ石炭ガス化複合発電に適した乾式ガス精製装置の各種データが得られた。

石炭ガス化ガスのようにカロリーの低い BFG 焚きのガスタービンの実績のある弊社のガスタービン燃焼器は部分負荷でも安定して燃焼と低 NO<sub>x</sub> が得られるように、燃焼器に空気バイパス弁を有していることが特徴である。この特徴を生かしパイロットプラントで実圧実寸燃焼試験を行った結果 1/4 負荷以上でアンモニアからの NO<sub>x</sub> 転換率 40% 以下を達成できた。

#### 4. 2000 T/日級実証機

当社は 200 T/日パイロットプラントの成果を元に、空気吹き(酸素富化)二段噴流床石炭ガス化炉とセラミックフィルターと固定床脱硫装置と 1300°C 級のガスタービンと組み合わせた 2000 T/日級 IGCC 実証機案の計画を行った。(表2, 図4, 5, 6) この実証機的主要な特徴は以下の通りである。

- ① 各主機の仕様をプラント全体の観点から見直しを行い、プラント全体で最適化を行った。
- ② システムのシンプル化を図り、経済性と信頼性を追求した。
- ③ 硫黄回収は石膏回収型として、硫黄需給状況を反映

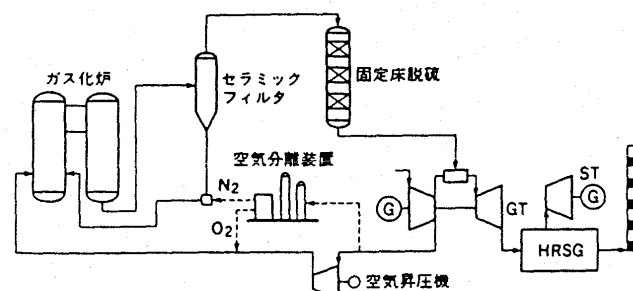


図4 IGCC 実証機概略系統図

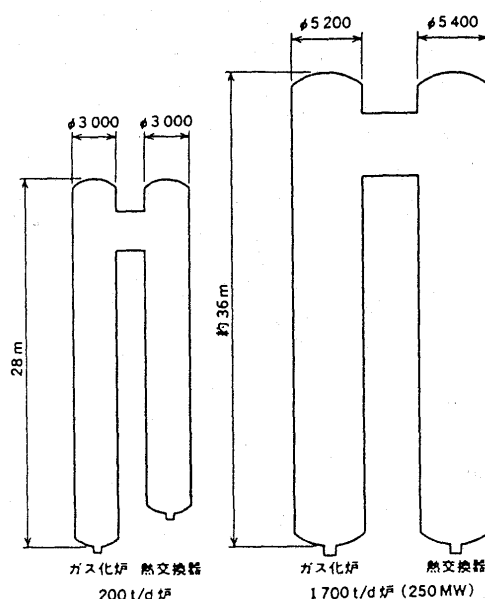


図5 実証炉の寸法比較

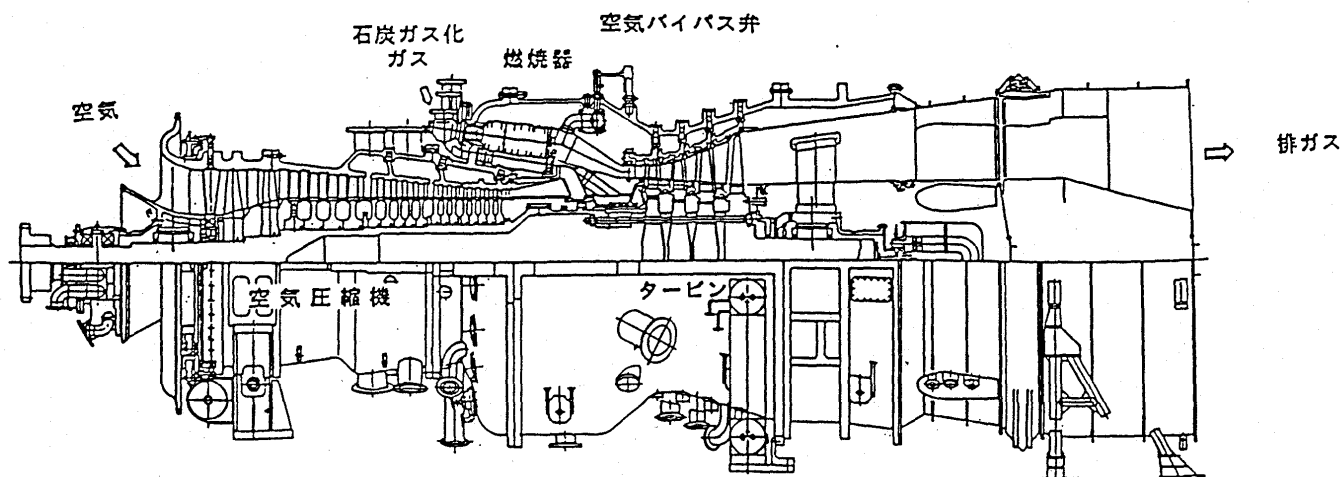


図6 石炭ガス化ガス焼き MW 701 DA ガスタービン  
組立断面図

し、かつ危険物としての取り扱いを避けた。

パイロットプラントに比べ系統が大きく簡素化された点は、ガス精製に固定床を選定したことと、それに伴いパイロットプラントで設置されていたEPが不要になったこと、また起動方法の適性化により起動用ガス処理炉が不要となった点である。送電端効率は44% (HHV)で、従来型最新鋭火力より約10%効率が低い。また灰処理は完全スラグ化で灰捨て場の容積が半分で済むだけでなく、非溶出性のため取り扱いが容易となる。

## 5. まとめ

200 T/日パイロットプラントの成功により、IGCCは実証機を建設する段階となった。今後は早期に実証機の

建設が実現され、更に商用機に繋がり、IGCCが21世紀の中核電源設備になる事を願うものである。

## 参考文献

- (1) 金子祥三他, 空気吹き二段噴流床石炭ガス化炉の開発, 三菱重工業技報 Vol. 33 No. 1 (1996-1) p. 10
- (2) 世良俊邦他, 石炭ガス化用固定床式ガス精製装置の開発, 三菱重工業技報 Vol. 33 No. 1 (1996-1) p. 10
- (3) L. O. M. Koenders, P. L. Zuideveld, The Shell Coal Gasification Process, 石炭ガス化ミニシンポジウム p. 24
- (4) 花井義春, 200 T/日噴流床石炭ガス化発電パイロットプラントの概要, 日本エネルギー学会誌 第74巻第8号 (1995-8) p. 699

## 石炭ガス化複合発電技術の実用化

## Development to Commercialize IGCC

玉蟲 文彦<sup>\*1</sup>,  
TAMAMUSHI Fumihiko阿部 高之<sup>\*1</sup>  
ABE Takayuki佐々 正<sup>\*2</sup>,  
SASA Tadashi

## Abstract

The Integrated Coal Gasification Combined Cycle (IGCC), having high efficient and excellent environmental adaptability is expected to be early commercialized in Japan. This paper will introduce IGCC's commercialization status in the world, and report about the result of research and development carried out by Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd. (IHI). IHI develops gasification and desulfurization technology which are the key technologies of IGCC. Gasification has been tested with a 6T/D Texaco Coal Gasification Pilot Plant (CGT project). By the end of March 1996, a cumulative operating time of 6300 hours through 104 test runs had been recorded. Fluidized bed type hot gas desulfurization with iron oxide has been tested at two national project; the 40T/D gasification pilot plant in Yubari and the 200T/D pilot plant in Nakoso. According to these results and trial design of total IGCC system it become available to construct a high efficient IGCC with high reliability, which will satisfy Japanese users.

## 1. 緒言

エネルギーの安定供給と地球環境保全という二つの要求が世界的にクローズアップされる中で、供給が安定している燃料を効率良く低公害で発電する技術の重要度が増している。

こうした状況において、埋蔵量が豊富である石炭を中心として、製油所における重質油残さ油やオリマルジョン<sup>TM</sup>など多様な燃料を高効率でクリーンに発電できるガス化複合発電は次世代発電技術のホープとして世界的に開発が進められている。

石川島播磨重工業株式会社 (IHI) においても長年にわ

たって石炭ガス化複合発電の実用化開発に携わってきている。以下に当社の開発状況を中心として、国内外の実用化状況を報告する。

## 2. 国内外の実用化状況

表-1にガス化複合発電の代表的なプロジェクトの一覧表を示す。

表-1から分かるように海外では石炭ガス化複合発電は既に実用化の段階を迎えつつある。また、いろいろな形式のガス化炉が建設されている中で、世界で最初の実証試験が行われたクールウォータプロジェクトを含め

表-1 ガス化複合発電の主要プロジェクト

| プロジェクト名称        | 国名   | 炉形式        | 燃料量        | 発電量    | 運転開  | 目的    |
|-----------------|------|------------|------------|--------|------|-------|
| クールウォータ         | アメリカ | TEXACO     | 1000St/d   | 120MW  | 1984 | 実証    |
| 200t/dパイロットプラント | 日本   | 電中研        | 200t/d     | 12.5MW | 1991 | パイロット |
| デムコレック          | オランダ | Shell      | 2000t/d    | 280MW  | 1993 | 実証・商用 |
| ワバシュリバー         | アメリカ | Destec/Dow | 2200t/d    | 262MW  | 1995 | 実証    |
| タンパ電力           | アメリカ | TEXACO     | 1900St/d   | 260MW  | 1996 | 商用    |
| プエルトラーノ         | スペイン | Prenflo    | 2640t/d    | 335MW  | 1996 | 実証    |
| *ISAB           | イタリア | TEXACO     | 17000bb1/d | 500MW  | 1999 | 商用    |

\*印の燃料は重質油残さ油、それ以外は石炭

原稿受付 1996年6月27日

- \*1 石川島播磨重工業(株) 電力事業部 開発部  
〒182 東京都江東区豊洲3-2-16 豊洲総合研究所  
\*2 石川島播磨重工業(株) 技術研究所

TEXACO 炉の数が多いことが分かる。

日本でも、ラボ規模の研究設備はガス化関係をはじめとして数多くあるが、石炭ガス化複合発電の開発を目的としたパイロット規模のプラントとしては石炭ガス化複合発電組合の 200 t/日噴流床石炭ガス化発電プラントが最も注目される。

1991 年より常磐共同火力(株)来発電所で試験が開始され、1996 年 2 月に試験運転を終えた。ガス化炉は乾炭供給の噴流床式で酸化剤は空気である。このプラントでは石炭ガス化炉からガスタービンまでの、発電プラントを構成する各機器の試験研究が行われた。このプラントにおいて当社は乾式法としては世界最大規模の脱硫試験設備の建設を行った。

この試験研究は電力会社が参加した国家プロジェクトとして実施されており、このプラント研究成果をふまえた今後の動向が注目される。

### 3. IHI が提案する石炭ガス化複合発電

石炭ガス化複合発電は構成機器の形式と組み合わせ方により各種のシステムが考えられるが、当社は高効率をめざす図-1 のシステムを提案している。

#### (1) ガス化炉

世界的に実績が多く、すでに実用機として使用されている TEXACO 炉を採用している。

この炉は形状が極めてシンプルである。頂部に配置された一本のバーナから石炭と酸素が噴霧されて高温でガス化反応が起き、発生したガスと溶融したスラグは炉底から下向きに排出される。この炉ではスラグ出口部がガス化ガスにより常に高温に保たれるため、スラグの冷却固化によってスラグ出口部が詰るようなトラブルは起きない。

酸化剤に酸素を使用しているので空気の場合よりもガス化性能がよく、一段のガス化で投入した燃料のほぼ

100%がガス化される。そのため、未燃チャーを回収しガス化炉へリサイクルする必要がない。また、発生したガスは空気を酸化剤とした場合に比べてカロリーが高くガス容積が小さいので硫黄回収装置を除く乾式ガス精製装置を小さくできる。発生したガスはガス化炉の下に設置される粗ガス冷却器で冷却されてガス精製設備へ送られ、スラグは同クーラ底部の水で冷却され外部へ排出される。

#### (2) ガス精製設備

ガス精製設備は、湿式脱硫装置、または乾式脱硫装置を採用している。

乾式脱硫装置は破碎鉄鉱石を脱硫剤とする流動層方式を採用し、連続かつ安定した高効率なガス処理が可能である。乾式脱硫塔の後流にはセラミック製フィルタによる乾式脱塵装置を設け、ここで石炭灰や脱硫剤の粉塵を除去する。

以上の設備により、ガスタービンの腐食や摩耗の原因となり、また環境汚染の原因ともなる硫黄分や煤塵を除去し、きれいなガスを複合発電設備へ供給する。

#### (3) 空気分離設備

ガス化に使用する酸素は深冷空気分離法により製造される。

空気分離装置に供給する空気は、外気を圧縮した空気と、高圧のガスタービン抽気空気を複合して使用する。また、分離された窒素は全量をガスタービンへ還流し、ガスタービンの出力増加と NO<sub>x</sub> の低減を図る。

#### (4) 複合発電設備

複合発電設備は主にガスタービン、排熱回収ボイラ、蒸気タービンにより構成される。

ガスタービンは 1300℃ 級を採用し効率向上を図っている。蒸気タービンは蒸気熱源として排熱回収ボイラだけでなく、粗ガス冷却器等のプロセスの熱源を効率よく利用している。

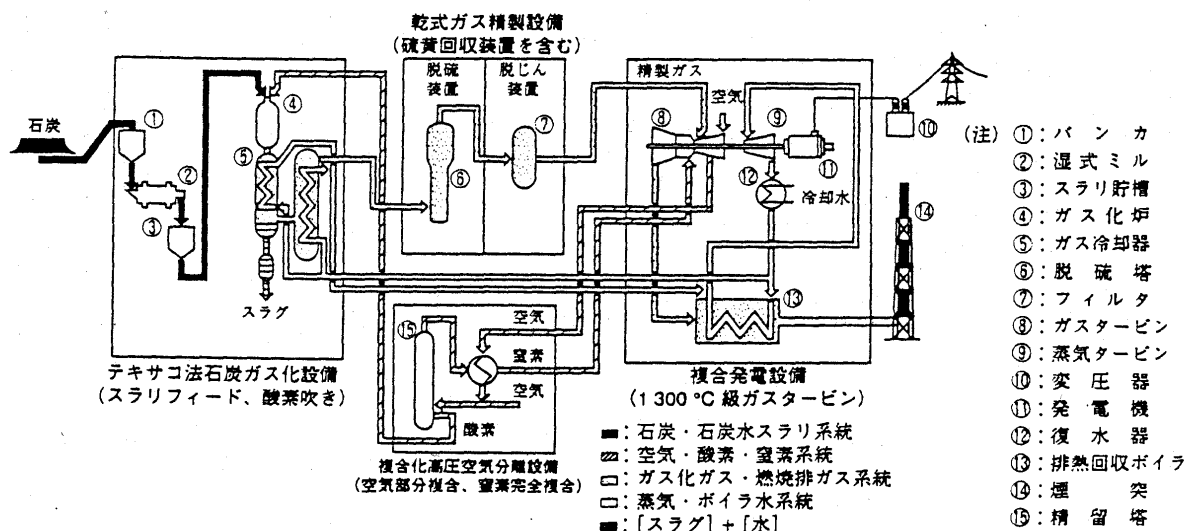


図-1 IHI が提案する石炭ガス化複合発電

表-2 IHI における石炭ガス化複合発電技術の開発スケジュール

| 年度                                    | '79 | '80 | '81 | '82 | '83 | '84 | '85 | '86 | '87 | '88 | '89 | '90 | '91 | '92 | '93 | '94 | '95 |
|---------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 項目                                    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 夕張40t/dガス化炉<br>用高温乾式脱硫装<br>置パイロットプラント |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 200t/d噴流床石炭<br>ガス化発電パイロ<br>ット乾式脱硫装置   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| クールウォーター<br>1000t/d120MW実証<br>プラント    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 石炭ガス化試験設備<br>(CGT)                    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 商用規模プラント                              |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |

#### 4. IHI における開発状況

当社における開発状況を表-2 に示す。当社では石炭ガス化複合発電の核となるガス化技術と、ガス精製技術を中心に研究開発を進めてきた。

##### (1) ガス化技術

当社はアメリカで行われたクールウォーター石炭ガス化実証試験に参加し、石炭処理量が1000 St/dのTEXACOガス化炉をはじめとする120 MW複合発電システムの各種データを入手した。その結果、TEXACOガス化の優位性が確認されたので、同形式の石炭処理量6t/dパイロットプラント (Coal Gasification Test Facility: CGT) を当社相生工場に建設し、試験研究を継続中である。

##### (2) ガス精製技術

当社が高温乾式脱硫技術の開発に取り組んだのはガス化技術よりも早く、国家プロジェクトとして実施された㈱石炭技術研究所の40 t/dガス化パイロットプラントの試験研究において高温乾式脱硫を担当した。また、石炭ガス化複合発電研究組合の200 t/d噴流床石炭ガス化発電プラントの脱硫試験研究に協力している。

この他、前述の当社CGTにも各種ガス精製試験装置を設置して試験を継続中である。

##### (3) 石炭ガス化複合発電の試設計

以上の試験成果をふまえて、石炭ガス化複合発電を実用化するための試設計を、東京電力㈱および複合発電設備を担当する㈱東芝との共同研究として1989年から実施した。その結果、後述するように既存の微粉炭焚き発電プラントに比べて発電効率を大幅に向上できることを確認した。

#### 5. 試験研究成果

##### (1) ガス化試験

表-3 CGT ガス化炉設備仕様

|          |                                            |
|----------|--------------------------------------------|
| ガス化炉型式   | : 一段噴流式, TEXACO型                           |
| 給炭方式     | : スラリー供給                                   |
| 酸化剤      | : 酸素, または空気                                |
| 石炭処理量    | : 6t/d(酸素吹き)/4t/d(空気吹き)                    |
| ガス化圧力    | : 2.0~2.9 MPa (20~30 Kg/cm <sup>2</sup> G) |
| ガス化温度    | : 約1400℃                                   |
| 発生ガス冷却方式 | : 粗ガススラリー基/水洗浄式一基                          |

当社相生工場に石炭ガス化パイロットプラント (以下CGTと称す) を1987年に建設して以来、1996年3月末までに104回、約6329時間のガス化試験を実施している。表-3にCGTガス化炉の設備仕様を示す。これまでの主な研究成果は次のとおりである。

##### ① 多炭種の石炭ガス化

合計14炭種を安定してガス化できることを確認した。これらの結果から石炭性状とガス化性能の相関性を把握し、石炭分析値からガス化性能の予測が可能となった。

##### ② ガス化条件の最適化による性能向上

石炭水スラリーの予熱やバーナ噴霧条件の最適化によるガス化性能の向上、石炭の脱灰処理による効率向上など、実機の性能向上に寄与する試験を行った。

##### ③ 良好なガス化性能

石炭中の炭素のガス化割合を示す炭素転換率と石炭の総発熱量と発生ガスの総発熱量の比である冷ガス効率率がともに良好なガス化が可能であることがわかった。表-4に酸素吹きガス化における石炭のガス化ガス性状の一覧を示す。

##### ④ 安定した連続運転

500時間の連続運転が問題なく実施できることが確認され、TEXACO式ガス化炉の安定性・信頼性が実証された。

表-4 ガス化ガス性状一覧表 (酸素吹き)

| 項目               | 種別                      | 国内炭    | 米国炭    | 豪州炭A   | 豪州炭B   | 中国炭    | オリマルジョン     |
|------------------|-------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|-------------|
| 炭素転換率            | (%)                     | 99.5   | 98.6   | 100    | 98.0   | 100    | 100         |
| 冷ガス効率            | (%)                     | 70.9   | 75.5   | 74.3   | 69.9   | 72.2   |             |
| CO               | (%)                     | 46.5   | 50.9   | 52.3   | 51.4   | 50.6   | 42.3~43.9   |
| CO <sub>2</sub>  | (%)                     | 18.5   | 14.3   | 12.7   | 15.5   | 16.2   | 9.3~12.0    |
| H <sub>2</sub>   | (%)                     | 33.9   | 34.1   | 33.2   | 31.0   | 32.4   | 43.9~45.4   |
| CH <sub>4</sub>  | (%)                     | 0.01   | 0.09   | 0.05   | 0.01   | 0.01   | 0.06~0.56   |
| H <sub>2</sub> S | (%)                     | 0.13   | 0.19   | 0.16   | 0.20   | 0.26   | 0.66~0.93   |
| ガス発熱量            | MJ/m <sup>3</sup> N     | 10.29  | 10.77  | 10.92  | 10.46  | 10.50  | 11.22~11.68 |
|                  | (kcal/m <sup>3</sup> N) | (2457) | (2573) | (2609) | (2498) | (2507) | (2680~2788) |

## ⑤ 運用性の向上

ガス化と炉の予熱を一つのバーナで行うことのできるコンビネーションバーナの開発や、混炭ガス化性能の確認などにより、運用性の向上を図った。

## ⑥ 新燃料のガス化

新燃料であるオリマルジョンを、設備をほとんど改造することなく良好にガス化できることを確認した。表-4にオリマルジョンのガス化ガス性状も併せて示す。

## (2) 乾式脱硫試験

脱硫試験についてはラボ規模から大型装置による試験まで実施してきている。

40 t/d ガス化パイロットプラント等の試験で得られた研究成果は次のとおりである。

## ① 安定した脱硫性能

ガス化する石炭の含有硫黄分にもよるが、90%から97%の脱硫率が常に得られることが確認された。図-2に示すように装置出口の総硫黄（主にH<sub>2</sub>SとCOS）濃度は入口濃度に関係なくほぼ50から200 ppmであった。

表-5に粗製石炭ガスと精製ガスの代表的な組成を示す。

## ② 安定した連続運転

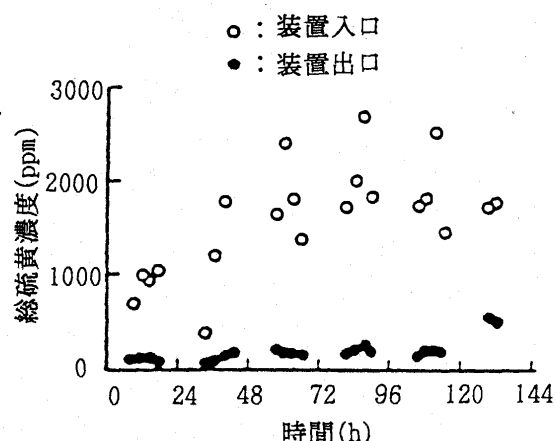
約345時間連続運転を実施した結果、その間の脱硫性能はほぼ一定していることが確認された。また、脱硫剤である鉄鉱石は、脱硫・再生の繰り返しによる強度低下もなく、長時間安定して運転できることが確認された。

## ③ スケールアップ

脱硫塔をスケールアップしても、同程度の脱硫性能が得られることを確認した。

## ④ 材質および構造の耐久性

9年間の試験を実施した40 t/d ガス化パイロットプラントの解体研究の結果では、一部を除き当初設計した材質および構造で耐久性は十分であることが確認された。一部の特殊な運転状況下の装置については、材料のグレードアップおよび運転方法の改良が必要であることがわかった。



脱硫形式：流動床 脱硫剤：破碎鉄鉱石

図-2 乾式脱硫装置の脱硫性能注：石炭ガスは空気吹き流動層ガス化炉からのもの

表-5 粗製石炭ガスと精製ガスの代表的組成

| 成分               | 脱硫塔入口<br>(粗製石炭ガス) | 脱硫塔出口<br>(精製ガス) |
|------------------|-------------------|-----------------|
| H <sub>2</sub>   | 13.27 %           | 12.21 %         |
| CO               | 12.16 %           | 10.51 %         |
| CH <sub>4</sub>  | 3.35 %            | 3.28 %          |
| CO <sub>2</sub>  | 10.91 %           | 11.11 %         |
| N <sub>2</sub>   | 44.46 %           | 47.25 %         |
| H <sub>2</sub> O | 14.5 %            | 13.7 %          |
| H <sub>2</sub> S | 1433.59 ppm       | 80.03 ppm       |
| COS              | 136.7 ppm         | 35.15 ppm       |
| SO <sub>2</sub>  | 1.88 ppm          | 0 ppm           |

注：石炭ガスは空気吹き流動層ガス化炉からのもの

## (3) 試設計

石炭ガス化複合発電システムの試設計は東京電力株式会社、株式会社東芝との共同研究として行われ、当社はガス化およびガス精製を、株式会社東芝は複合発電を担当した。

試設計のベースとして、ガス化方式にはTEXACO法一段加圧噴流方式、酸素ガス化を採用した。以下に試設計で得られた結果を示す。

## ① 湿式ガス精製を採用した試設計

1991年度に第1段階の試設計を実施し、ガス精製設備に湿式脱硫装置を用い、送電端出力 360 MW 規模の実証機において 40% 強の送電端効率を得た。

## ② 乾式ガス精製を採用した試設計

1992年度からは第2段階として乾式ガス精製方式を採用した試設計を行い、送電端効率 43% 以上を達成できることを確認した。

## ③ 石炭ガス化発電システムの負荷追従性の検討

湿式ガス精製の石炭ガス化発電システムについて負荷追従性を検討し、従来火力並の負荷変化率に対して、同等の負荷応答性があることが確認され、石炭ガス化複合発電が中間負荷運用火力電源としても十分に使用に耐え得ることが確認された。

## 6. 実用機の性能

以上の研究成果をふまえて、日本の電力をはじめとする各ユーザの要求に応じられる高効率、高環境適合性、高信頼性および高経済性を備えた石炭ガス化複合発電を、1990年代後半に建設が可能である状態になってきている。

前述の図-1に示したプラントの構成は、TEXACO 法ガス化設備、高温乾式ガス精製設備、1300°C 級大型ガスタービンを用いた複合発電設備、および、高圧用に設計された空気分離設備からなり、石炭供給量 115 t/h で送電端出力 470 MW が得られ、高位発熱量基準で 43.5% 以上の送電端効率を得られる。

NO<sub>x</sub> 対策としてはガスタービン入口のガス化ガスに窒素を注入することにより発生量を減らし、さらに環境基準が厳しい場合には排煙脱硝法を適用する。SO<sub>x</sub> 対策としては当社が開発した流動床式の高温乾式脱硫装置により対処し、環境基準が厳しい場合にはさらに高性能脱

硫剤を用いた脱硫装置を付加することも考えられる。また、煤塵対策としては高温乾式のフィルタで脱塵する。

## 7. 結 言

日本のエネルギー事情や環境規制から見て、石炭を燃料とする高効率発電である石炭ガス化複合発電の早期の実用化が望まれるところである。

本文中でも述べたように TEXACO 法ガス化システムによるガス化複合発電は、石炭以外にも製油所の残さ油や新燃料であるオリマルジョンなど多様な燃料に対応可能であり、海外ではすでに大型実用機の建設が進んでいる状況にある。当社も要求に応じて設計製作できる体制を整えており、早期の実用化を望むところである。

終わりに当社のガス化技術開発に多大なご指導とご協力をいただいている東京電力株式会社、関西電力株式会社、および共同で試設計を行った株式会社東芝に感謝の意を表する次第である。

## 参考文献

- (1) 五嶋安生他, 石炭ガス化複合発電プラントの負荷追従性の検討, 電気学会論文誌 B, 110 巻 10 号 1990 年 10 月, pp.790-796
- (2) 矢野目銃三他, 石炭ガス化技術の開発, 石川島播磨技報 31 巻第 5 号, 1991 年 9 月 pp.309-314
- (3) 小林繁鋪他, オリマルジョン TM ガス化試験結果, 火原協関東支部研究発表会, 1993 年 11 月
- (4) 杉谷恒雄, 石炭の高温ガス化とガス化発電技術, 1994 年 1 月, pp.271-283
- (5) 天池瑛他, 石炭ガス化複合発電の実用化研究成果, 石川島播磨技報第 34 巻第 2 号, 1994 年 3 月 pp.78-82
- (6) 阿部高之, 石炭ガス化複合発電実用化の現況, エネルギー (動力) 222 号, 1994 年 5 月 pp.39-45

## コンセプト ETI 社における研究

吉中 司\*1

YOSHINAKA Tsukasa

### 1. 会社の概要

デービット・ジャピクシ工学博士は、プラット・エンド・ホイットニー社、そしてクレアレ社で経験を積んだ後の1980年に、ダートマス・カレッジのあるニューハンプシャー州ハノーバ市からコネチカット川を西に渡ったバーモント州ノーウィッチ市に、コンセプト ETI 社を設立した。設立したといっても、自宅の地下室を教室にして、技術者を対象にしたターボ機械の空力設計や流れ解析についての講座を開く、といったごく小規模なものだった。因みに、社名の ETI は Engineering Education and Technology for Industry を適当に省略したもので、会社のイメージを表わしている。

事業はその後順調で、会社の規模も大きくなり、1994年の春には、ノーウィッチ市のすぐ南にあるワイルダー市に新築した総床面積約1,900平方メートルの建屋（写真1）に移転する程になった。この建屋は、地下室から二階まで使え、オフィスだけでなく機械工作場や実験室も含まれている。今年6月現在、全従業員数は39名。そのほとんどが、このワイルダー市の本社に勤務するが、ニュージャージー州パーシパニー市と、英国のロンドンにあるオフィスにも、少数ながら常勤者がいる。技術系社員について興味深いのは、ガスタービン・メーカーで経験を積んだ者が多い事だ。内分けは、社長と筆者を含

めてプラット・エンド・ホイットニー社出身が3名、ライカミング（現アライドシグナル）社出身が3名、ギャレット・エンジン（現アライドシグナル）社にいた者が2名、これにかけてロールス・ロイス社で勤務していた者が1名となる。

コンセプト ETI 社 (CETI 社)、一口で言えばターボ機械に関するコンサルティングをする会社となろうが、業務内容は結構広い。先ずターボ機械、特に遠心圧縮機、遠心ポンプ、ラジアルタービンの委託設計・実験及び開発、又は顧客のターボ機械設計に対する吟味と批評そして開発の助力。これが業務内容の中でも一番多い。次いで多いのが、ターボ機械の設計及び解析ソフトの開発と販売。そのソフトも高性能 PC をプラットフォームに使うものだけ、又、ビル・ドーズ教授やチャールス・ハーシュ教授のソフトを当社のシステム内にインテグレーションする、という点に努力を集中している。CETI 社創立当初からあるターボ機械講座も、今では流体力学だけでなく、材料や応力・振動解析も含め、又講師も、MIT のエド・グライツァー教授、CIT のクリス・ブレナン教授、上記のケンブリッジ大のビル・ドーズ教授等をも迎えている。

### 2. 研究業務

上記の業務以外に、研究業務として社内研究、顧客各社の参加による組合研究 (Consortium Projects)、米政府による小企業革新技术研究 (Small Business Innovation Research, 略して SBIR) の三つがある。以下に、こうした研究と、それらに使われる試験装置を紹介する。

CETI 社には、圧縮機試験装置が幾つかあるが、どれも、ねじ圧縮機によって発生された高圧空気をエネルギー源とするラジアル型の空気タービンで駆動される。写真2は、そのうちのひとつで、外径69mmのインペラとベーンレス・ディフューザーを持つ単段遠心圧縮機である。これは目下、米陸軍のSBIRによるサージマージン向上を目的とする研究に使われている。研究項目の一つは、サージ直前で、インペラ出口直下流のベーンレス部で局所流れ、特にシュラウド側の壁面附近の流れ、がどうなっているかを二焦点式レーザー装置を使って測る事である。これは定常流の測定と違い、時間的にも空間的にも一様でない流れを、どんな機構を使ってL2F測定をするのか、という点に技術的な課題がある。そこで、現在のフェーズIでは、社内で考えついたアイディアが



写真1 コンセプト ETI 社 本社全景

原稿受付 1996年6月25日

\* 1 Concepts ETI, Inc.

4 Billings Farm Road, Vermont 05001, USA

この課題に対する答を出す為の助けになるかどうかという、フィージビリティ・スタディーの実験が行われつつあり、8月までには結論を出す予定である。

図1に、CETI社のポンプ試験装置を示す。この試験装置の高さ約4.9メートルのタンクは、約15,000リットル

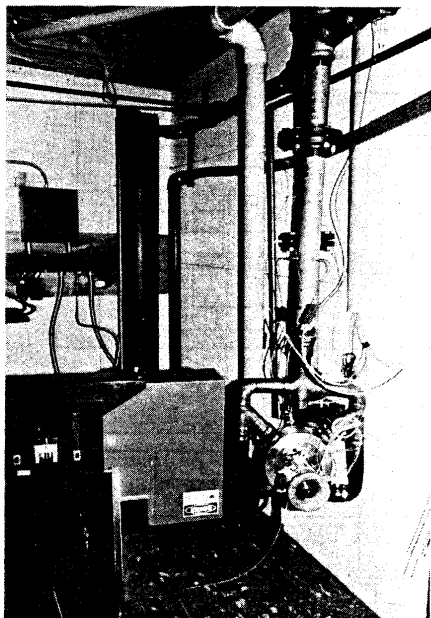


写真2 供試遠心圧縮機とL2F光学装置  
(圧縮機が床に近い為にレーザー光学装置を逆さまにして使っています。)

の容量を持ち、タンク上端の空気およびタンク下端につながった補助タンク内の圧力を調整する事によって、主タンク内の水圧を除いても約1mm水銀柱(絶対値)から2atm(ゲージ)まで変えられる。この装置を使ったポンプ・コンソーチウム・プロジェクトは、そのフェーズIを昨年暮に終り、今夏からフェーズIIに入る。フェーズIIの焦点は、翼車入口流れのインレット・ディストーションの性能に及ぼす影響と、翼車に掛かる力の測定だ。翼車に掛かる力の測定には、この供試ポンプが磁気軸受によって支えられているのを利用し、回転軸を正しい位置に保つ為の磁界の強さを測る事によって力を逆算する、というアイディアが試みられる。この磁気軸受は、径方向に140kg(駆動側)、270kg(ポンプ側)、軸方向に550kgの容量を持っている。

ポンプ・コンソーチウム・プロジェクトと並行して、スペース・シャトル用主エンジンに使われている燃料ポンプの試験をも、この装置を使って7月から始める予定だ。これは、現ポンプの運転領域を広げる為のNASAのSBIRフェーズIIの第一段階で、先ずベースラインを確認し、それからCFDによるポンプの再設計、続いて再設計されたポンプの性能実証が計画されている。この研究には、現ポンプの設計と開発にあたったプラット・エンド・ホイットニー社が協力する事になっている。

多段遠心圧縮機の戻り通路に関するコンソーチウム・プロジェクトに使われている試験装置を図2に示す。ここでは、ペーンレス・ディフューザー入口流れの旋回は、

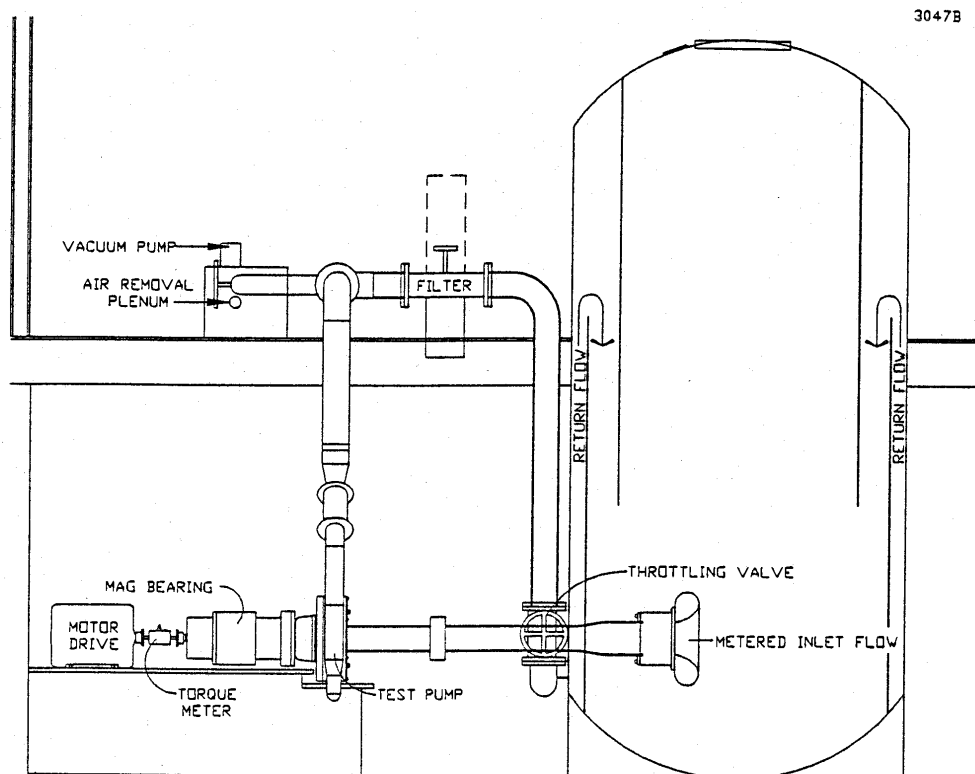


図1 ポンプ試験装置と磁気軸受

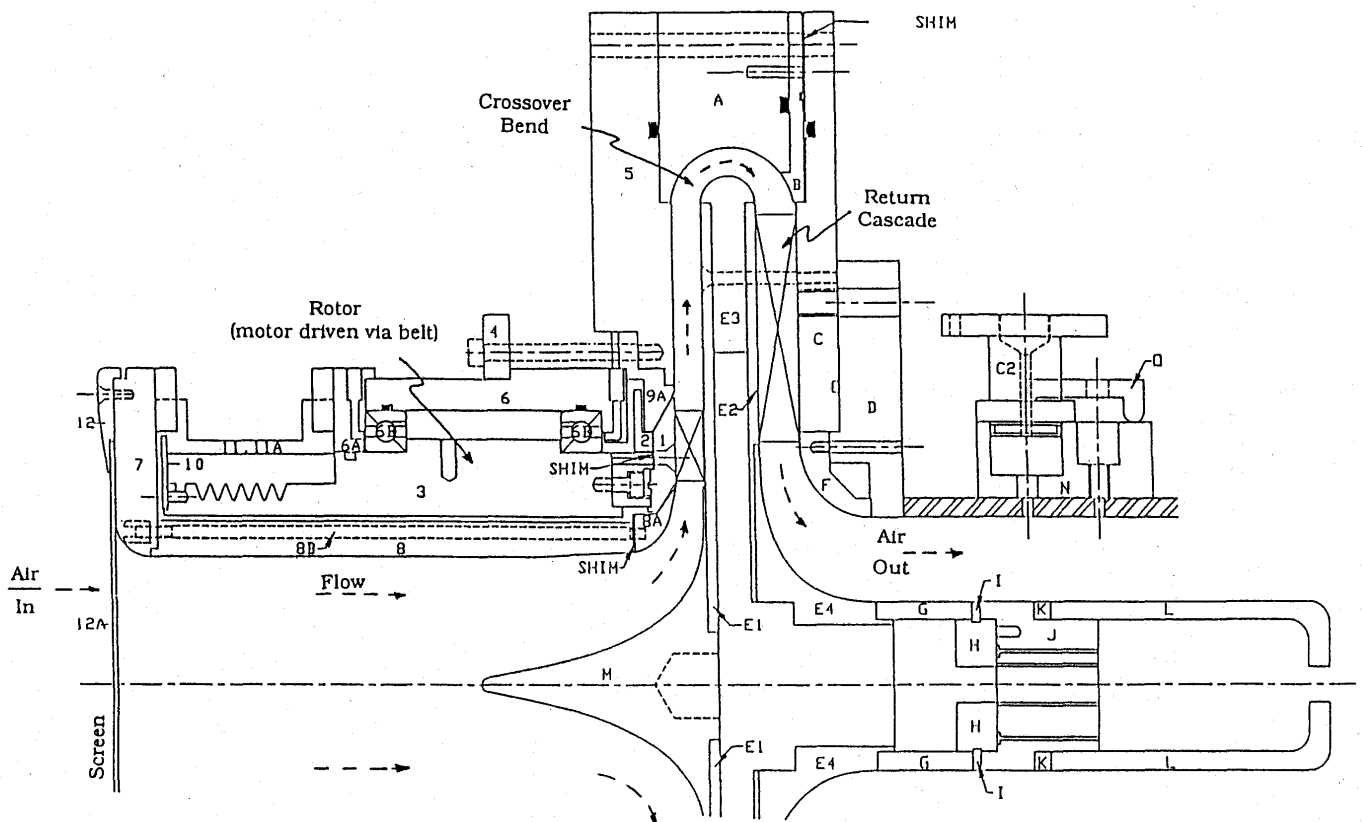


図2 戻り通路試験装置

前方わん曲羽根を持つ回転式案内羽根によって発生され、時間平均流れの観点からは、固定型案内羽根に見られる後流れがない。このプロジェクトのフェーズIIは、今春終了した。その結果、Uベンド部の圧力損失の機構と傾向は、或る流れの等価法を使うと、通常の二次元ベンドのそれらと類似している事が分かった。又、最適旋回角からはずれると、流れの軸対称性の失われる条件のある事も確認された。

コンソーチアム・プロジェクトは、上記の二つに加えて、多段遠心圧縮機のベーンレス・ディフューザー内での旋回失速に関するものと、遷音速単段遠心圧縮機のサージマージンの向上に関するものがある。前者は、レイノルズ数の影響をも調べようということで、閉回路の圧縮機試験装置を使っている。

CETI社では、社員の技術教育を重く見て、しばしば、世界の流体機械のエキスパートを招いては教えを乞うている。昨年は、妹尾先生と、最近までズルツァー・イノテック社におられたチェン工学博士に、お出を願った。妹尾先生には、二回の御講演に加えて、全てのコンソー

チアム・プロジェクトの試験結果の解析について、数々の御教示を頂いた。

### 3. おわりに

最近始まった研究プロジェクトに、米空軍のSBIRによる軍事用ターボファン・エンジンの圧縮機冷却というものがある。将来の軍事用エンジンは、エンジン回転数、サイクル圧力比とも更に増加するものと考えられ、HPC下流段と周辺回転部材にクリープが発生すると予測される。そこでCETI社では、プラット・エンド・ホイットニー社との強い連携のもとに、全く新しいアイデアによる、高性能冷却法を研究開発すべく、活動を始めている。このプロジェクトは、過去でのCETI社の研究対象が要素であったのとは違い、システムの研究であり、CETI社の技術の巾が広がった事を示している。会社設立当初を第一期、世界的な経済不況にも拘らず従業員数が2倍になった1990年代前半を第二期と考えると、深くとも狭かったCETI社の技術に巾が出て来た今、CETI社は第三の成長期に入ったと言えるのだろうか。

# 1996 年第 41 回 ASME 国際ガスタービン会議

## 1. 全 般

福山 佳孝\*1

FUKUYAMA Yoshitaka

1996 年 ASME 国際ガスタービン会議 (The 41st ASME International Gas Turbine & Aeroengine Congress, Exposition and Users Symposium) が 6 月 10 日から 13 日までイギリスのバーミンガム市近郊の NEC (National Exhibition Centre) で開催された。バーミンガムはロンドンから汽車 (Intercity Service: ディーゼル機関車) で約 1 時間半北にある工業都市である。

今回も TURBO EXPO は 250 社を越える多数の展示、117 のセッションで約 570 の講演発表、10 のパネルディスカッションを併せて世界最大の GT 関連行事である事を印象づけたが、一昨年の Westinghouse の G 型ガスタービン (以下 GT)、昨年の General Electric の H 型 GT のような大物の発表が無い大会であった。

今年の Keynote Session では Energy, Economics and Environment の 3 つの E を頭文字としたキーワードと最近発展のめざましい GT を結びつけて Rolls Royce と British Gas の 2 人の講演が行われた。生活の近代化は電気エネルギー使用量の増大をもたらし、発電設備への投資は巨大な経済効果を有する。環境問題に今以上に十分な配慮をしつつ必要とされるエネルギー供給を実現していくことは GT 関連企業の使命であろう。

講演は 17 室の平行セッションに生まれ、4 日間で 117 セッションをこなすハードスケジュールのため興味があってもいつものように多くの講演を聞き逃す事になった。表に分野別講演発表数とその推移を示す。去年までクローズサイクルと銘打たれていたセッションは今年からサイクルイノベーションと名前を替え、13 件もの講演を集めた。ガスタービンの高温化もそろそろ先が見え始め (もちろん必要な技術開発はまだ残っているが)、より高効率を目指す熱サイクルに関心が集まっていると言うことであろう。また、去年に比較すればターボ機械・空力、振動・構造そしてセラミック関係の講演数が増加し、産業用以外の GT、材料・製造関係の講演数が減少した。ここで将来型 GT のセッションでは複数社が閉ループ蒸気冷却 GT を開発目標として報告しているのが注目される。論文数 (全 548 編) を国別に見れば

アメリカが 255 編と多く、イギリス、ドイツ、日本の順でアジア諸国からの発表は合計 55 編と全体の 1 割となっていた。

展示会では、例年主役となっている General Electric, Westinghouse, Siemens, ABB 等のメーカーが展示を見合わせた (原因は定かではない)。他では European Gas Turbine の Tempest, Rolls-Royce の Industrial RB 211, Industrial TRENT, WR 21 の展示が目を引き、国内メーカーでは三菱重工業、石川島播磨重工業が展示

| 分野/年        | 93  | 94  | 95 | 96  |
|-------------|-----|-----|----|-----|
| 航空用 GT      | 25  | 23  | 28 | 18  |
| 船用 GT       | 11  | 15  | 22 | 16  |
| パイプライン用 GT  | 10  | 18  | 23 | 15  |
| 産業・コジェネ     | 46  | 56  | 42 | 46  |
| 車両用小型 GT    | 15  | 29  | 20 | 19  |
| サイクルイノベーション | 6   | 8   | 3  | 13  |
| 燃焼・燃料       | 37  | 46  | 59 | 52  |
| 石炭・バイオマス利用  | 19  | 21  | 17 | 19  |
| 伝熱・冷却       | 36  | 50  | 72 | 61  |
| ターボ機械・空力    | 127 | 111 | 84 | 138 |
| 振動・構造       | 60  | 34  | 39 | 70  |
| 材料・製造       | 18  | 31  | 44 | 25  |
| セラミック       | 13  | 10  | 10 | 29  |
| 制御          | 19  | 10  | 35 | 28  |
| 教育          | 4   |     | 12 | 19  |

| 国       | 論文件数 | 国     | 論文件数 |
|---------|------|-------|------|
| アメリカ    | 255  | スイス   | 11   |
| イギリス    | 76   | ギリシャ  | 8    |
| ドイツ     | 49   | オランダ  | 7    |
| 日本      | 32   | フランス  | 5    |
| イタリア    | 22   | インド   | 4    |
| カナダ     | 18   | ノルウェー | 4    |
| 中華人民共和国 | 14   | チェコ   | 3    |
| ベルギー    | 11   |       |      |
| スウェーデン  | 11   | その他   | 18   |

原稿受付 1996 年 6 月 28 日

\* 1 (株)東芝 京浜事業所 〒230 神奈川県横浜市鶴見区末広町 2-4

を行った。主役の一部が欠けても展示会は非常に盛況で GT 主機を取り巻く材料、製造・加工、制御、プラント技術等に関する数多くの会社が GT ビジネスを支える重要な柱である事を改めて強く感じさせられた。特に翼、燃料ノズルなどの高付加価値部品メーカーの鼻息が荒かった。数年前の目玉であった DLNC はある意味で当然の

技術となり航空転用エンジンにも搭載されてきた。

さて、ASME は欧米で交互に開催されている本イベントに加え、秋に TURBO ASIA を開催するようになった。1300°C 級低 NO<sub>x</sub> GT が実用機となった今 GT は新しい市場をアジアに求めていると言うことであろうか。

## 2. 航空用ガスタービン

池山 正隆<sup>\*1</sup>

IKEYAMA Masataka

### 1. 今年の特徴

近年の航空機業界の不振及び軍縮ムードを反映して、新規開発の航空エンジンに関する話題が乏しいためか、航空エンジン委員会主催のセッションは相変わらず少なく、他の委員会との共同開催を含めても 9 セッション(講演数 35 件)であった。しかし、昨年(7 セッション(講演数 30 件))は上回っており、一応凋落傾向も底が見えてきた感じがする。

会場ではボーイング 777 用の超大型エンジンに関する 3 大メーカ (P&W, GE, RR) の講演が人気を博していた以外は空席が目立ち、材料関係のセッションでは立ち見どころか会場内にも入れないほどの盛況ぶりを見せていたのと比較すると寂しい限りであった。

### 2. テーマ・セッション

毎年、ジェットエンジンの歴史を振り返り、IGTI 最高名誉とされる Tom Sawyer 賞の受賞者が特別講演を行うセッションであったが、今年は受賞者の Hill 氏の講演はなく、Jumo 004 の開発者で 1994 年に亡くなった Dr. Frantz を記念する、Meher-Homji 氏と Haber 氏の講演、並びに、燃焼器の大家で、今年の IGTI 航空エンジン技術賞を受賞した Lefebvre 氏の講演が行われた。

Meher-Homji 氏の講演は、故人を偲ぶというよりは Jumo 004 の紹介であり、テーマ・セッションにしては珍しくペーパーになっている (GT-457)。米軍の爆撃機のパイロットが Jumo 004 を搭載した Me 262 に遭遇し、あまりの速さに驚愕している声が入ったビデオの上映から始まり、Jumo 004 の開発の歴史、逸話及び詳細な性能について説明された。

Haber 氏は Dr. Frantz の友人として、在りし日の故人に関する逸話が多く紹介された。

Lefebvre 氏の講演では、ジェットエンジン用燃焼器の歴史について、Whittle の逆流蒸発型から最新の多段燃焼型まで紹介された。近年の排気ガス規制に対応し、特

に窒素酸化物低減のために、燃料の滴を無くし、完全に気化させてから燃焼させることが、今後の燃焼器に対する課題であるとのことであった。

### 3. ボーイング 777 搭載エンジン

人気の面ではテーマ・セッションを抜き、今や航空エンジン委員会の花形セッションとなったボーイング 777 用大型エンジンに関するセッションが昨年に引き続き行われた。朝一番というのに、150 席の会場に立ち見が出る盛り上がりであった。

P&W の PW 4084, GE の GE 90 に続いて、1996 年 6 月に RR の Trent 800 搭載の B 777 も運航を開始し、いよいよ 3 社が出揃った。IGTI のカウントでは 3 社のシェアは RR が 31.7%, P&W が 38.8%, GE が 29.1% と均衡しており、PW 4084 のみが 180 分 ETOPS を取得して運航に入り、他社も今後 ETOPS 取得予定。今後の動向がまさに気になる時期であるために人気が集まったものと思われる。

昨年との差別化のためか、推力増加計画をサブテーマにしており、民間エンジンの中でも夢のある話題を提供していた。以下に各社の講演概要を述べる。

RR は最後発であることの弱点を補強するためか、Trent 800 の弟分の A 330 搭載用 Trent 700 の実績も持ちだし、また、騒音及び排気ガスに関する規制に対し余裕をもって合格できることを強調していた。さらに、Trent 800 が世界で初めて、そして、唯一 400 kN の推力で型式承認を得たことを述べていたが、400 kN 以上の推力増加計画については具体的な説明はなかった。

P&W は講演者も昨年と同じで、PW 4084 が運航開始時に 180 分 ETOPS を適用した唯一のエンジンであること、及び、運航実績から信頼性の高さについて強調していた。推力増加は 436 kN まで計画。

最後の GE の講演では、GE 90 への ETOPS 適用は 3 社の中では最後になるが、512 kN までの推力増加を計画中であることが述べられた。また、繊維強化プラスチック製ファン動翼、チップクリアランス制御等の GE 90 に適用されている新技術についても紹介があった。

原稿受付 1996 年 7 月 1 日

\* 1 石川島播磨重工業㈱ 〒188 東京都田無市向台町 3-5-1

を行った。主役の一部が欠けても展示会は非常に盛況で GT 主機を取り巻く材料、製造・加工、制御、プラント技術等に関する数多くの会社が GT ビジネスを支える重要な柱である事を改めて強く感じさせられた。特に翼、燃料ノズルなどの高付加価値部品メーカーの鼻息が荒かった。数年前の目玉であった DLNC はある意味で当然の

技術となり航空転用エンジンにも搭載されてきた。

さて、ASME は欧米で交互に開催されている本イベントに加え、秋に TURBO ASIA を開催するようになった。1300°C 級低 NO<sub>x</sub> GT が実用機となった今 GT は新しい市場をアジアに求めていると言うことであろうか。

## 2. 航空用ガスタービン

池山 正隆<sup>\*1</sup>

IKEYAMA Masataka

### 1. 今年の特徴

近年の航空機業界の不振及び軍縮ムードを反映して、新規開発の航空エンジンに関する話題が乏しいためか、航空エンジン委員会主催のセッションは相変わらず少なく、他の委員会との共同開催を含めても 9 セッション(講演数 35 件)であった。しかし、昨年の 7 セッション(講演数 30 件)は上回っており、一応凋落傾向も底が見えてきた感じがする。

会場ではボーイング 777 用の超大型エンジンに関する 3 大メーカ (P&W, GE, RR) の講演が人気を博していた以外は空席が目立ち、材料関係のセッションでは立ち見どころか会場内にも入れないほどの盛況ぶりを見せていたのと比較すると寂しい限りであった。

### 2. テーマ・セッション

毎年、ジェットエンジンの歴史を振り返り、IGTI 最高名誉とされる Tom Sawyer 賞の受賞者が特別講演を行うセッションであったが、今年は受賞者の Hill 氏の講演はなく、Jumo 004 の開発者で 1994 年に亡くなった Dr. Frantz を記念する、Meher-Homji 氏と Haber 氏の講演、並びに、燃焼器の大家で、今年の IGTI 航空エンジン技術賞を受賞した Lefebvre 氏の講演が行われた。

Meher-Homji 氏の講演は、故人を偲ぶというよりは Jumo 004 の紹介であり、テーマ・セッションにしては珍しくペーパーになっている (GT-457)。米軍の爆撃機のパイロットが Jumo 004 を搭載した Me 262 に遭遇し、あまりの速さに驚愕している声が入ったビデオの上映から始まり、Jumo 004 の開発の歴史、逸話及び詳細な性能について説明された。

Haber 氏は Dr. Frantz の友人として、在りし日の故人に関する逸話が多く紹介された。

Lefebvre 氏の講演では、ジェットエンジン用燃焼器の歴史について、Whittle の逆流蒸発型から最新の多段燃焼型まで紹介された。近年の排気ガス規制に対応し、特

に窒素酸化物低減のために、燃料の滴を無くし、完全に気化させてから燃焼させることが、今後の燃焼器に対する課題であるとのことであった。

### 3. ボーイング 777 搭載エンジン

人気の面ではテーマ・セッションを抜き、今や航空エンジン委員会の花形セッションとなったボーイング 777 用大型エンジンに関するセッションが昨年に引き続き行われた。朝一番というのに、150 席の会場に立ち見が出る盛り上がりであった。

P&W の PW 4084, GE の GE 90 に続いて、1996 年 6 月に RR の Trent 800 搭載の B 777 も運航を開始し、いよいよ 3 社が出揃った。IGTI のカウントでは 3 社のシェアは RR が 31.7%, P&W が 38.8%, GE が 29.1% と均衡しており、PW 4084 のみが 180 分 ETOPS を取得して運航に入り、他社も今後 ETOPS 取得予定。今後の動向がまさに気になる時期であるために人気が集まったものと思われる。

昨年との差別化のためか、推力増加計画をサブテーマにしており、民間エンジンの中でも夢のある話題を提供していた。以下に各社の講演概要を述べる。

RR は最後発であることの弱点を補強するためか、Trent 800 の弟分の A 330 搭載用 Trent 700 の実績も持ちだし、また、騒音及び排気ガスに関する規制に対し余裕をもって合格できることを強調していた。さらに、Trent 800 が世界で初めて、そして、唯一 400 kN の推力で型式承認を得たことを述べていたが、400 kN 以上の推力増加計画については具体的な説明はなかった。

P&W は講演者も昨年と同じで、PW 4084 が運航開始時に 180 分 ETOPS を適用した唯一のエンジンであること、及び、運航実績から信頼性の高さについて強調していた。推力増加は 436 kN まで計画。

最後の GE の講演では、GE 90 への ETOPS 適用は 3 社の中では最後になるが、512 kN までの推力増加を計画中であることが述べられた。また、繊維強化プラスチック製ファン動翼、チップクリアランス制御等の GE 90 に適用されている新技術についても紹介があった。

原稿受付 1996 年 7 月 1 日

\* 1 石川島播磨重工業㈱ 〒188 東京都田無市向台町 3-5-1

#### 4. 高速機用エンジン

機体全体の軽量化のために、インテークを簡素化、小型化し、排気ノズルを軽量化することが研究されている。

インテークは飛行速度が増加するのに伴い複雑化の一途をたどったが、垂直衝撃波インテークにすることが重量及びコストの面から最適であること (GT-244)、また、エンジンサージ時の圧力波を解析し、インテークの強度を必要最低限にすることで重量を低減すること (GT-548) に関する講演があった。

排気ノズルに関しては、2 次空気を噴射することによってノズル面積調整及び推力偏向を実施する Fluidic ノズルの紹介があったが、2 次噴射空気量の削減が課題 (GT-244)。

#### 5. その他

新規開発エンジンの紹介や試験実施状況に関する報告はなかったが、興味深い講演が数件あったので以下に述べる。

シミュレーションのセッションでは、エンジンで発生したサージや動翼の飛散等の事象が機体にどのような影響を与えるかを、数値計算で求めたボーイングの講演があった (GT-480)。機体とエンジンとを同時に扱うもので珍しいテーマであり質疑も活発に行われていた。

また、エンジン試験及び装置のセッションでは、メタル温度の計測方法として感温発光体を用いるものが紹介され、赤外線を用いる場合より周囲の温度の影響を受けにくいという利点が述べられていた (GT-430)。同じセッションで、エンジンテストセルに関し、超大型エンジン対応のための排気部の工夫 (GT-088) 及び逆噴射の処理の仕方に関する講演 (GT-085) があった。

### 3. 産業用ガスタービン

秋田 栄司\*1  
AKITA Eiji

本大会での産業用ガスタービンに関するセッションは、発電用のセッション 8、コジェネのセッション 3、船用のセッション 4、パイプラインのセッション 3 の合計 18 セッション (内パネルセッション 3) が開催され、論文数は 66 編と例年並みであった。

事業用ガスタービンについては、昨年同様 1500°C 級ガスタービンの開発が最大のテーマとなっているが、今回の大会では各ガスタービンメーカーがその開発状況を発表した形となり、GE 社が H 型ガスタービンの開発状況について (GT-11)、三菱重工・FIAT 社が 50 Hz 向事業用ガスタービン 701 G 1 の開発について (GT-314)、ABB 社が GT 24/GT 26 の燃焼器 (SEV バーナー) の開発について (GT-315) の論文発表を行った。また同じセッションで、これら新型ガスタービンの要素技術の検証結果に関して、東芝が蒸気冷却翼の検証試験結果について (GT-16) 及び東北電力が 1500°C 級ガスタービンで適用される各種新技術の検証試験結果について (GT-294) の各発表を行った。

これに加えて、現在米国にて国家プロジェクトとして進められている ATS プログラム (Advanced Turbine System Program) について DOE 及び、Allison 社がプログラム概要を (GT-5)、Westinghouse 社が適用される技術の特徴及び ATS プログラムへの取り組み状況 (GT-6) を発表した。ATS プログラムとは、米国内産業用ガ

スタービンメーカー 4 社が国家プロジェクトとして、21 世紀に向けた高効率のガスタービンを西暦 2000 年までに開発するプロジェクトである。本プログラムでは事業用ガスタービンは GE 社、Westinghouse 社が、産業用 (コジェネ用) 小型及び機械駆動用ガスタービンは Allison 社、Solar 社が、担当している。目標として、事業用ガスタービンはコンバインド効率で 60% 以上、コジェネ用機械駆動用小型ガスタービンではシステム効率で現状より 15% のアップ、NO<sub>x</sub> は 9 ppmv 以下、コスト 10% ダウンを挙げている。プロジェクト自体は 4 段階に分かれており、現在、第 3 段階 (Technology Readiness) にあり、最終の第 4 段階では、Pre-Commercial Operation まで行うこととなっている。

その他事業用ガスタービンの論文では、GE 社が MS 7001 のアップレート (MS 7001 EC) に適用した新技術の概要について (GT-13)、Westinghouse 社が 501 G ガスタービンの開発を通して新型ガスタービン開発思想について (GT-14)、ABB 社が RAM 分析 (Reliability, Availability, Maintenanceability) を通して GT 11 N/N 1 ガスタービンの実績 (GT-416) をそれぞれ発表した。いずれの論文もガスタービンの信頼性、運用性、メンテナンス性に関するものであり、メーカー及びユーザーからたくさんの質問、意見が寄せられ、活発な討論がなされた。

パネルディスカッションでは、セッション T-15 で、ヨーロッパ及びアジアのコンバインドサイクルプラントを例に挙げ、非常に高いプラント効率を達成していると

原稿受付 1996 年 7 月 15 日

\* 1 三菱重工業㈱ 〒676 兵庫県高砂市荒井町新浜 2-1-1

#### 4. 高速機用エンジン

機体全体の軽量化のために、インテークを簡素化、小型化し、排気ノズルを軽量化することが研究されている。

インテークは飛行速度が増加するのに伴い複雑化の一途をたどったが、垂直衝撃波インテークにすることが重量及びコストの面から最適であること (GT-244)、また、エンジンサージ時の圧力波を解析し、インテークの強度を必要最低限にすることで重量を低減すること (GT-548) に関する講演があった。

排気ノズルに関しては、2 次空気を噴射することによってノズル面積調整及び推力偏向を実施する Fluidic ノズルの紹介があったが、2 次噴射空気量の削減が課題 (GT-244)。

#### 5. その他

新規開発エンジンの紹介や試験実施状況に関する報告は無かったが、興味深い講演が数件あったので以下に述べる。

シミュレーションのセッションでは、エンジンで発生したサージや動翼の飛散等の事象が機体にどのような影響を与えるかを、数値計算で求めたボーイングの講演があった (GT-480)。機体とエンジンとを同時に扱うもので珍しいテーマであり質疑も活発に行われていた。

また、エンジン試験及び装置のセッションでは、メタル温度の計測方法として感温発光体を用いるものが紹介され、赤外線を用いる場合より周囲の温度の影響を受けにくいという利点が述べられていた (GT-430)。同じセッションで、エンジンテストセルに関し、超大型エンジン対応のための排気部の工夫 (GT-088) 及び逆噴射の処理の仕方に関する講演 (GT-085) があった。

### 3. 産業用ガスタービン

秋田 栄司\*1  
AKITA Eiji

本大会での産業用ガスタービンに関するセッションは、発電用のセッション 8、コジェネのセッション 3、船用のセッション 4、パイプラインのセッション 3 の合計 18 セッション (内パネルセッション 3) が開催され、論文数は 66 編と例年並みであった。

事業用ガスタービンについては、昨年同様 1500°C 級ガスタービンの開発が最大のテーマとなっているが、今回の大会では各ガスタービンメーカーがその開発状況を発表した形となり、GE 社が H 型ガスタービンの開発状況について (GT-11)、三菱重工・FIAT 社が 50 Hz 向事業用ガスタービン 701 G 1 の開発について (GT-314)、ABB 社が GT 24/GT 26 の燃焼器 (SEV バーナー) の開発について (GT-315) の論文発表を行った。また同じセッションで、これら新型ガスタービンの要素技術の検証結果に関して、東芝が蒸気冷却翼の検証試験結果について (GT-16) 及び東北電力が 1500°C 級ガスタービンで適用される各種新技術の検証試験結果について (GT-294) の各発表を行った。

これに加えて、現在米国にて国家プロジェクトとして進められている ATS プログラム (Advanced Turbine System Program) について DOE 及び、Allison 社がプログラム概要を (GT-5)、Westinghouse 社が適用される技術の特徴及び ATS プログラムへの取り組み状況 (GT-6) を発表した。ATS プログラムとは、米国内産業用ガ

スタービンメーカー 4 社が国家プロジェクトとして、21 世紀に向けた高効率のガスタービンを西暦 2000 年までに開発するプロジェクトである。本プログラムでは事業用ガスタービンは GE 社、Westinghouse 社が、産業用 (コジェネ用) 小型及び機械駆動用ガスタービンは Allison 社、Solar 社が、担当している。目標として、事業用ガスタービンはコンバインド効率で 60% 以上、コジェネ用機械駆動用小型ガスタービンではシステム効率で現状より 15% のアップ、NO<sub>x</sub> は 9 ppmv 以下、コスト 10% ダウンを挙げている。プロジェクト自体は 4 段階に分かれており、現在、第 3 段階 (Technology Readiness) にあり、最終の第 4 段階では、Pre-Commercial Operation まで行うこととなっている。

その他事業用ガスタービンの論文では、GE 社が MS 7001 のアップレート (MS 7001 EC) に適用した新技術の概要について (GT-13)、Westinghouse 社が 501 G ガスタービンの開発を通して新型ガスタービン開発思想について (GT-14)、ABB 社が RAM 分析 (Reliability, Availability, Maintenanceability) を通して GT 11 N/N 1 ガスタービンの実績 (GT-416) をそれぞれ発表した。いずれの論文もガスタービンの信頼性、運用性、メンテナンス性に関するものであり、メーカー及びユーザーからたくさんの質問、意見が寄せられ、活発な討論がなされた。

パネルディスカッションでは、セッション T-15 で、ヨーロッパ及びアジアのコンバインドサイクルプラントを例に挙げ、非常に高いプラント効率を達成していると

原稿受付 1996 年 7 月 15 日

\* 1 三菱重工業㈱ 〒676 兵庫県高砂市荒井町新浜 2-1-1

の報告があった。一方で、高温部品に掛かるコストの低減が今後の課題という意見も多く出た。このセッションでは、ユーザーとメーカーで、ガスタービンも含めたプラント機器の運用性、信頼対比性、及びメンテナンス性について活発な質疑応答がなされ、コンバインドプラントに対する関心の高さが改めて認識された。

電力、コジェネ関係では、ガスタービン吸気冷却のシステムについて性能とコストの両面を考察した論文が 2 編発表された。(GT-298, 516)

また、コジェネ用中小型ガスタービンでは、石川島播磨重工が 2 MW クラスガスタービン IM 270 (GT-1) を、三菱重工が 25 MW-35 MW 級ガスタービン MF 221 の工場試験結果 (GT-425) を発表した。他にも、Allison 社から 6 MW 級 501-KH ガスタービンの紹介 (GT

-217), EGT 社 (European Gas Turbine) からは 7.5 MW 級テムペスト (Tempest) ガスタービンの紹介 (GT-293) もあった。

船用関係では、Rolls-Royce 社の WR-21 や GE 社の LM 2500 のメンテナンス性や運用性について述べた論文があった (GT-328, 214 等)。パイプライン関係では、新型ガス圧縮機について Nuovo Pignone 社、Solar 社、Allison 社等が発表している。(GT-145, 324, 95)

産業用ガスタービン分野での中心は、ここ数年は ATS プロジェクトを始めとする 1500°C 級次世代ガスタービンの開発になるであろうことは本大会でも強く印象づけられた。また、ガスタービンのメンテナンス性、信頼性に対する関心もより一層強まっていることが感じられた。

## 4. 小型ガスタービンおよびセラミックス

和泉 隆夫\*<sup>1</sup>

IZUMI Takao

「Vehicular & Small Turbomachines」及び「Ceramics」の Committee が主催したセッションは合計 11、発表は 50 件 (論文は 45 編) であり、昨年とほぼ同規模であったが、全体的に発表会場の聴講者はさほど多くなかったように感じられた。

発表件数 50 件のうち、米国からの発表が 24 件で例年どうり最も多く、次いで日本から 13 件、イギリス、ドイツ、オランダから各 3 件、スウェーデンから 2 件、フランスから 1 件であった。ヨーロッパで開催された 2 年前に比べ、ヨーロッパからの発表件数は 5 件から 12 件へ増加した。

今大会の特徴は、自動車用ガスタービンとセラミックス標準化のセッションが新たに設けられた点であろう。セッションの一覧を以下に示す。

- M-02 Thermal Barrier Coatings
- M-15 Fabrication Development for Ceramic Components
- T-16 Vehicular Gas Turbines
- T-18 Continuous Fiber Reinforced Ceramic Composites
- T-33 The Gas Turbine Engine as a Power Source for Hybrid Vehicles
- W-17 Ceramic Component Design Analysis and Life Prediction Methods
- W-19 Stationary Ceramic Turbines
- W-34 Supporting Technologies and Applications

原稿受付 1996 年 7 月 17 日

\* 1 日産自動車㈱総合研究所

〒237 神奈川県横浜須賀野市夏島町 1 番地

for Small Turbines

TH-01 Standards for Ceramics

TH-17 Ceramic Gas Turbine Project Development

TH-19 Life Limiting Properties

### 1. エンジン開発

日本から自動車用 100 kW と 2 つの発電用 300 kW (CGT 301 及び CGT 302) のセラミックガスタービン (CGT) プロジェクトについて進捗報告がなされた。セラミック部品、燃焼器、熱交換器等のキーとなる主要な要素技術開発の現状とタービン入口ガス温度 (TIT) 1200°C でのエンジン運転実績と性能に関する報告がなされた。特に、出力や効率等のエンジン性能に関して、目標値と比較した結果が報告され、順調に進捗している様子が伺われた (GT-036, 252, 477)。

### 2. セラミック適用技術

欧州からは再開後 3 年目を迎えた AGATA プロジェクトについて、米国からは DOE がサポートするセラミック部品実用化を狙った 2 つのプロジェクトについて報告があった。AGATA プロジェクトがエンジン開発を含まない要素開発に限定しているのに対し、米国の 2 つのプロジェクトは既存エンジンを部分的に変更してエンジン実装評価を中心とするセラミック部品の実用化に主眼が置かれている点が対照的な特徴と言える。

AGATA プロジェクトは、触媒燃焼器に関する基材と触媒の選定試験結果、タービンロータの設計と金属軸接合技術、熱交換器については 1/4 縮小モデル試験結果に関する概括的な発表に加え、開発窒化珪素材料 CSN 101

の報告があった。一方で、高温部品に掛かるコストの低減が今後の課題という意見も多く出た。このセッションでは、ユーザーとメーカーで、ガスタービンも含めたプラント機器の運用性、信頼対比性、及びメンテナンス性について活発な質疑応答がなされ、コンバインドプラントに対する関心の高さが改めて認識された。

電力、コジェネ関係では、ガスタービン吸気冷却のシステムについて性能とコストの両面を考察した論文が 2 編発表された。(GT-298, 516)

また、コジェネ用中小型ガスタービンでは、石川島播磨重工が 2 MW クラスガスタービン IM 270 (GT-1) を、三菱重工が 25 MW-35 MW 級ガスタービン MF 221 の工場試験結果 (GT-425) を発表した。他にも、Allison 社から 6 MW 級 501-KH ガスタービンの紹介 (GT

-217), EGT 社 (European Gas Turbine) からは 7.5 MW 級テムペスト (Tempest) ガスタービンの紹介 (GT-293) もあった。

船用関係では、Rolls-Royce 社の WR-21 や GE 社の LM 2500 のメンテナンス性や運用性について述べた論文があった (GT-328, 214 等)。パイプライン関係では、新型ガス圧縮機について Nuovo Pignone 社、Solar 社、Allison 社等が発表している。(GT-145, 324, 95)

産業用ガスタービン分野での中心は、ここ数年は ATS プロジェクトを始めとする 1500°C 級次世代ガスタービンの開発になるであろうことは本大会でも強く印象づけられた。また、ガスタービンのメンテナンス性、信頼性に対する関心もより一層強まっていることが感じられた。

## 4. 小型ガスタービンおよびセラミックス

和泉 隆夫\*<sup>1</sup>

IZUMI Takao

「Vehicular & Small Turbomachines」及び「Ceramics」の Committee が主催したセッションは合計 11、発表は 50 件 (論文は 45 編) であり、昨年とほぼ同規模であったが、全体的に発表会場の聴講者はさほど多くなかったように感じられた。

発表件数 50 件のうち、米国からの発表が 24 件で例年どうり最も多く、次いで日本から 13 件、イギリス、ドイツ、オランダから各 3 件、スウェーデンから 2 件、フランスから 1 件であった。ヨーロッパで開催された 2 年前に比べ、ヨーロッパからの発表件数は 5 件から 12 件へ増加した。

今大会の特徴は、自動車用ガスタービンとセラミックス標準化のセッションが新たに設けられた点であろう。セッションの一覧を以下に示す。

- M-02 Thermal Barrier Coatings
- M-15 Fabrication Development for Ceramic Components
- T-16 Vehicular Gas Turbines
- T-18 Continuous Fiber Reinforced Ceramic Composites
- T-33 The Gas Turbine Engine as a Power Source for Hybrid Vehicles
- W-17 Ceramic Component Design Analysis and Life Prediction Methods
- W-19 Stationary Ceramic Turbines
- W-34 Supporting Technologies and Applications

原稿受付 1996 年 7 月 17 日

\* 1 日産自動車㈱総合研究所

〒237 神奈川県横須賀市夏島町 1 番地

for Small Turbines

TH-01 Standards for Ceramics

TH-17 Ceramic Gas Turbine Project Development

TH-19 Life Limiting Properties

### 1. エンジン開発

日本から自動車用 100 kW と 2 つの発電用 300 kW (CGT 301 及び CGT 302) のセラミックガスタービン (CGT) プロジェクトについて進捗報告がなされた。セラミック部品、燃焼器、熱交換器等のキーとなる主要な要素技術開発の現状とタービン入口ガス温度 (TIT) 1200°C でのエンジン運転実績と性能に関する報告がなされた。特に、出力や効率等のエンジン性能に関して、目標値と比較した結果が報告され、順調に進捗している様子が伺われた (GT-036, 252, 477)。

### 2. セラミック適用技術

欧州からは再開後 3 年目を迎えた AGATA プロジェクトについて、米国からは DOE がサポートするセラミック部品実用化を狙った 2 つのプロジェクトについて報告があった。AGATA プロジェクトがエンジン開発を含まない要素開発に限定しているのに対し、米国の 2 つのプロジェクトは既存エンジンを部分的に変更してエンジン実装評価を中心とするセラミック部品の実用化に主眼が置かれている点が対照的な特徴と言える。

AGATA プロジェクトは、触媒燃焼器に関する基材と触媒の選定試験結果、タービンロータの設計と金属軸接合技術、熱交換器については 1/4 縮小モデル試験結果に関する概括的な発表に加え、開発窒化珪素材料 CSN 101

の諸特性の報告があった (GT-362, 287)。

Allied Signal 社からは、APU 用 Model 331-200 を用いて進めている CTEDP に関する試験結果と量産性向上を狙った改良設計の報告がなされた。特に、タービンノズルは 910 時間以上のエンジン試験を既に終了しており、大きな問題は発生していないとのことである。また、Norton 社がビジネス上の理由でセラミック部品供給メーカーから外れ、新たに米国京セラ社がサブコントラクトとして加わったことが注目される (GT-367)。

米国のもう一方のセラミック部品実用化プロジェクト (CSGT) は Solar 社が DOE との主契約者であり、同社の Centaur 50 S を用いて動翼、ノズル及び燃焼器をセラミック化する取り組みが報告された。TIT 1010°C のエンジン試験を無事に終了して、目標 TIT 1121°C で設計寿命 10,000 時間へ向けた材料選定試験と部品試作及び縮小モデル燃焼試験の報告があった。動翼は Allied Signal 社 AS-800 と京セラ社 SN-253 が、ノズルは日本ガイシ社 SN-88 が、燃焼器は Du Pont Lanxide 社 SiC/SiCCFCC に絞り込まれた。また、燃焼試験の結果、CO と NO<sub>x</sub> が低減したとのことである (GT-460, 318)。

日本からの大型発電用ガスタービンへのセラミック適用としては、TIT 1500°C を目標とするステーターベーンと燃焼器の試験結果等が報告された (GT-346, 456)。

自動車用 100 kWCGT への適用に関しては、合計 4 件の発表があった。タービンロータとノズルについては、部品化開発と設計及びホットスピントテストを中心とした試験結果 (GT-366, 295)、また複合材料を含む静止部品評価の現状及び予蒸発予混合希薄燃焼方式燃焼器の改良設計と燃焼試験結果が報告された (GT-348, 119)。

発電用 300 kWCGT については、セラミックメーカーからセラミック部品の製造技術開発、タービンロータのスピントテスト結果、ノズルの粒子衝突試験結果等が報告された (GT-446, 449, 504)。

### 3. セラミック材料技術

セラミック材料技術分野における今大会の大きな特徴はセラミックス標準化のセッションが設けられ、日米欧から材料試験に関する計 4 件の発表が行われた点である (GT-320, 269, 270, 321)。

材料評価の発表の多くは、長時間疲労やクリープであった。また、クリープを考慮した信頼性予測手法に関する報告もあり、セラミック部品の実用化へ向けての着実な取り組み姿勢が感じられた。半面、これらの発表の多くが米国からであり、日本からの報告が無かったことが残念に思われた。

## 5. ターボ機械の性能と流れ

### 5.1 軸流関係

永井 勝史\*1  
NAGAI Katsushi

軸流圧縮機及びファンの空力関係は 3 セッションで 16 件、軸流タービンの空力関係は 3 セッションで 17 件、翼端間隙/壁流及び 2 次流れが 1 セッションで 4 件の発表があった。

軸流圧縮機及びファン関係では、内部流れ、動翼と静翼の干渉、設計性能及び翼端間隙流に関するもの等多彩な内容であった。内部流れでは計測結果についての報告が多く、入口全圧の分布を有す遷音速動翼の内部流れを高感度の圧力センサーを動翼に取付けて計測したもの (GT-547)、入口旋回流れに周方向分布を与えた場合の軸流ファンの内部流れの計測 (GT-263)、入口に旋回を持つ S 型環状ダクト内の流れ計測結果 (GT-60) 等がある。また、最近の傾向であるが流れの干渉に関する論文も多い。圧縮機段の動静翼の干渉流れを予測する種々の解析手法について検討したもの (GT-371)、静翼の圧力場の違いが動翼の性能に及ぼす影響を調べたもの (GT

-507)、周方向に静翼取付角の分布を持たせることで動翼やストラットとの干渉を低減する研究 (GT-154) 等が報告された。中でも動翼の後流と静翼との干渉から翼列間隙と圧縮機効率や圧力比の関係を説明したもの (GT-253) は、会場で多数の意見がでた論文で興味深い。圧縮機の設計関係では、産業用ガスタービン 2 段遷音速軸流圧縮機の設計法及び実験結果を報告したもの (GT-59)、新しい壁面流モデルを用いた軸流圧縮機の部分負荷性能予測法の紹介 (GT-62) がある。性能に関しては、圧縮機の汚れと性能の関係についての理論解析とその洗浄方法の研究 (GT-363) や、腐食がもたらす表面粗さやクリアランスの増加に起因する圧縮機の性能劣化を 1 次元計算モデルで表したもの (GT-422) 等がある。ここ数年の傾向であるが翼端間隙流に関する論文も多い。今年は実験計測が主流を占めており、レーザ流速計を用い翼端間隙部の流れを 3 次元計測したもの (GT-506)、圧縮機直線翼列の翼端壁面近傍の流れと 2 次流れの計測を行い損失の実験式を導いたもの (GT-505)、軸流ファンの翼端間隙流れを熱線流速計で計測し流れ渦の挙

原稿受付 1996 年 7 月 3 日

\* 1 川崎重工工業㈱ 〒637 兵庫県明石市川崎町 1-1

の諸特性の報告があった (GT-362, 287)。

Allied Signal 社からは、APU 用 Model 331-200 を用いて進めている CTEDP に関する試験結果と量産性向上を狙った改良設計の報告がなされた。特に、タービンノズルは 910 時間以上のエンジン試験を既に終了しており、大きな問題は発生していないとのことである。また、Norton 社がビジネス上の理由でセラミック部品供給メーカーから外れ、新たに米国京セラ社がサブコントラクターとして加わったことが注目される (GT-367)。

米国のもう一方のセラミック部品実用化プロジェクト (CSGT) は Solar 社が DOE との主契約者であり、同社の Centaur 50 S を用いて動翼、ノズル及び燃焼器をセラミック化する取り組みが報告された。TIT 1010°C のエンジン試験を無事に終了して、目標 TIT 1121°C で設計寿命 10,000 時間へ向けた材料選定試験と部品試作及び縮小モデル燃焼試験の報告があった。動翼は Allied Signal 社 AS-800 と京セラ社 SN-253 が、ノズルは日本ガイシ社 SN-88 が、燃焼器は Du Pont Lanxide 社 SiC/SiCCFCC に絞り込まれた。また、燃焼試験の結果、CO と NO<sub>x</sub> が低減したとのことである (GT-460, 318)。

日本からの大型発電用ガスタービンへのセラミック適用としては、TIT 1500°C を目標とするステーターベーンと燃焼器の試験結果等が報告された (GT-346, 456)。

自動車用 100 kWCGT への適用に関しては、合計 4 件の発表があった。タービンロータとノズルについては、部品化開発と設計及びホットスピニングを中心とした試験結果 (GT-366, 295)、また複合材料を含む静止部品評価の現状及び予蒸発予混合希薄燃焼方式燃焼器の改良設計と燃焼試験結果が報告された (GT-348, 119)。

発電用 300 kWCGT については、セラミックメーカーからセラミック部品の製造技術開発、タービンロータのスピニング結果、ノズルの粒子衝突試験結果等が報告された (GT-446, 449, 504)。

### 3. セラミック材料技術

セラミック材料技術分野における今大会の大きな特徴はセラミックス標準化のセッションが設けられ、日米欧から材料試験に関する計 4 件の発表が行われた点である (GT-320, 269, 270, 321)。

材料評価の発表の多くは、長時間疲労やクリープであった。また、クリープを考慮した信頼性予測手法に関する報告もあり、セラミック部品の実用化へ向けての着実な取り組み姿勢が感じられた。半面、これらの発表の多くが米国からであり、日本からの報告が無かったことが残念に思われた。

## 5. ターボ機械の性能と流れ

### 5.1 軸流関係

永井 勝史\*1  
NAGAI Katsushi

軸流圧縮機及びファンの空力関係は 3 セッションで 16 件、軸流タービンの空力関係は 3 セッションで 17 件、翼端間隙/壁流及び 2 次流れが 1 セッションで 4 件の発表があった。

軸流圧縮機及びファン関係では、内部流れ、動翼と静翼の干渉、設計性能及び翼端間隙流に関するもの等多彩な内容であった。内部流れでは計測結果についての報告が多く、入口全圧の分布を有す遷音速動翼の内部流れを高感度の圧力センサーを動翼に取付けて計測したもの (GT-547)、入口旋回流れに周方向分布を与えた場合の軸流ファンの内部流れの計測 (GT-263)、入口に旋回を持つ S 型環状ダクト内の流れ計測結果 (GT-60) 等がある。また、最近の傾向であるが流れの干渉に関する論文も多い。圧縮機段の動静翼の干渉流れを予測する種々の解析手法について検討したもの (GT-371)、静翼の圧力場の違いが動翼の性能に及ぼす影響を調べたもの (GT

-507)、周方向に静翼取付角の分布を持たせることで動翼やストラットとの干渉を低減する研究 (GT-154) 等が報告された。中でも動翼の後流と静翼との干渉から翼列間隙と圧縮機効率や圧力比の関係を説明したもの (GT-253) は、会場で多数の意見がでた論文で興味深い。圧縮機の設計関係では、産業用ガスタービン 2 段遷音速軸流圧縮機の設計法及び実験結果を報告したもの (GT-59)、新しい壁面流モデルを用いた軸流圧縮機の部分負荷性能予測法の紹介 (GT-62) がある。性能に関しては、圧縮機の汚れと性能の関係についての理論解析とその洗浄方法の研究 (GT-363) や、腐食がもたらす表面粗さやクリアランスの増加に起因する圧縮機の性能劣化を 1 次元計算モデルで表したもの (GT-422) 等がある。ここ数年の傾向であるが翼端間隙流に関する論文も多い。今年は実験計測が主流を占めており、レーザ流速計を用い翼端間隙部の流れを 3 次元計測したもの (GT-506)、圧縮機直線翼列の翼端壁面近傍の流れと 2 次流れの計測を行い損失の実験式を導いたもの (GT-505)、軸流ファンの翼端間隙流れを熱線流速計で計測し流れ渦の挙

原稿受付 1996 年 7 月 3 日

\* 1 川崎重工工業㈱ 〒637 兵庫県明石市川崎町 1-1

動を調べたもの (GT-508), 間隙の大きさやマッハ数が異なる場合の翼端間隙流れを計測したもの (GT-99) がある。

タービン関係では, 粘性を含む3次元流れや翼端間隙流れ及び2次元流れに関する論文が目立った。3次元N-S解析によるタービン静翼の軸方向弯曲翼の流れの研究 (GT-149), 遷音速タービン直線翼列の3次元流れの計測 (GT-113), レーザドップラ流速計を用いて行った大型タービン翼列の翼面に発達する境界層を詳細に計測分析したもの (GT-42), タービンノズルの3次元流れを熱線流速計で計測し翼面及び壁面に生ずる境界層を含む粘性流れを調べたもの (GT-168) などがある。タービン翼列の2次元流れについて実験と解析を対比し乱流モデルにおける遷移の取扱の重要性を指摘したもの (GT-100) も面

白く, タービン翼後縁に微小センサを埋め込み, 後縁周りの圧力変動を計測しカルマン渦の挙動を詳細に調べた報告 (GT-359) も興味深い。タービンの設計に関しては, タービン直線翼列における翼面粗さの違いがプロフィール損失と偏差角に及ぼす影響を実験で調べ設計計算モデルを提案したもの (GT-203), 低圧段タービンの高性能翼形状についての研究を紹介したもの (GT-358), タービン出口に設けられるディフューザの最適形状について実験を行ったもの (GT-450) がある。尚, 圧縮機及びタービンの翼型設計法に関しては, 準3次元流れ解析を用いて性能及び設計効率の向上を計った実用的な設計手法 (GT-40, 59, 158, 177) と3次元の逆解法 (GT-39) が紹介された。

## 5.2 遠心関係

後藤 彰<sup>\*1</sup>

GOTO Akira

遠心関係としては, 遠心圧縮機, ラジアルタービン, ポンプに関し, 設計手法, 性能特性, 内部流れ, 部分流領域特性, 流体力などについての21件の発表が行われた。約半数の発表において数値解析の検討が実施されており, 計算機環境と解析技術の向上にともない, 数値解析の実用化がさらに進展している。

設計手法関係では, ターボチャージャ用の遠心圧縮機とラジアルタービンの主要寸法を, 滑り係数や減速比などを用いて一次的に設計する手法 (GT-63, 64) や, 従来報告事例の少ない高比速度単段遠心圧縮機 (流量係数 $\phi_1=1.21$ , 圧力比1.21) の設計事例 (GT-353), 最適設計入射角度とラジアルタービン内の二次流れとの関係を論じたもの (GT-65), さらに羽根形状の設計ツールとして遠心形から軸流形まで適用可能なソフトの紹介 (GT-58) などが行われた。

性能特性関係では, 低流量係数遠心圧縮機 (流量係数 $\phi_2=0.007$ ) の羽根無しディフューザと戻り流路部の表面粗さの影響を, 部分流領域での安定限界を含めて報告したもの (GT-179), 多段圧縮機の戻り流路出口部に環状の案内羽根を挿入して性能改善を実現し, その設置位置と羽根枚数の影響を検討した報告 (GT-257) があった。

数値解析関連では, 遠心圧縮機とポンプ羽根車における検証 (GT-151) と羽根車内部の各種二次流れの発生メカニズムと干渉を検討したもの (GT-152), トルクコンバータのポンプ羽根車について油膜法による可視化結果

との比較を行ったもの (GT-404), 遠心羽根車の羽根先端および後縁形状のモデリング方法が圧力上昇やジェット・ウエーク流れに及ぼす影響を検討したもの (GT-372), タービンボリュートにおいて速度場と圧力場を実験と比較したもの (GT-66) が報告された。

ディフューザ関連では, 遠心圧縮機において羽根無しディフューザ/従来形ディフューザ/小弦節比ディフューザの特性を比較したものや (GT-155), 高幅半径比のベーンレスディフューザに3次元境界層理論を適用し, 種々のパラメータと剝離位置, 旋回失速との関連を検討したもの (GT-389), 遠心ポンプのディフューザ内部の非定常流れを数値解析とLDV, PTVなどの実験結果により検討したもの (GT-157) が報告された。さらに, 将来の数値解析精度の向上のため, Wedge 形ディフューザ内部のレイノルズ応力が計測され, 流れ場の顕著な非等方性が報告された (GT-228)。

部分流領域での旋回失速については, 多段遠心プロアの旋回失速時の内部流れが熱線流速計により計測された (GT-171)。また, 運転範囲拡大に関しては, ターボチャージャ遠心圧縮機羽根車のインデューサ部に設けたスロットによる運転範囲拡大のメカニズムの報告 (GT-262), 圧力比2.5の遠心圧縮機にコンピュータ制御された可変ガイドベーンと可変小弦節ディフューザを用い, サージフリー圧縮機実現の可能性を示した報告が行われた (GT-153)。

流体力関連では, 遠心ポンプ羽根車とボリュートとの干渉を二次元非定常ポテンシャル理論により予測しロータダイナミクス安定性を検討した報告 (GT-18), 単段遠心圧縮機羽根車とボリュートとの干渉による非定常流

原稿受付 1996年6月28日

\*1 ㈱荏原総合研究所 〒251 神奈川県藤沢市本藤沢4-2-1

動を調べたもの (GT-508), 間隙の大きさやマッハ数が異なる場合の翼端間隙流れを計測したもの (GT-99) がある。

タービン関係では, 粘性を含む3次元流れや翼端間隙流れ及び2次元流れに関する論文が目立った。3次元N-S解析によるタービン静翼の軸方向弯曲翼の流れの研究 (GT-149), 遷音速タービン直線翼列の3次元流れの計測 (GT-113), レーザドップラ流速計を用いて行った大型タービン翼列の翼面に発達する境界層を詳細に計測分析したもの (GT-42), タービンノズルの3次元流れを熱線流速計で計測し翼面及び壁面に生ずる境界層を含む粘性流れを調べたもの (GT-168) などがある。タービン翼列の2次元流れについて実験と解析を対比し乱流モデルにおける遷移の取扱の重要性を指摘したもの (GT-100) も面

白く, タービン翼後縁に微小センサを埋め込み, 後縁周りの圧力変動を計測しカルマン渦の挙動を詳細に調べた報告 (GT-359) も興味深い。タービンの設計に関しては, タービン直線翼列における翼面粗さの違いがプロフィール損失と偏差角に及ぼす影響を実験で調べ設計計算モデルを提案したもの (GT-203), 低圧段タービンの高性能翼形状についての研究を紹介したもの (GT-358), タービン出口に設けられるディフューザの最適形状について実験を行ったもの (GT-450) がある。尚, 圧縮機及びタービンの翼型設計法に関しては, 準3次元流れ解析を用いて性能及び設計効率の向上を計った実用的な設計手法 (GT-40, 59, 158, 177) と3次元の逆解法 (GT-39) が紹介された。

## 5.2 遠心関係

後藤 彰<sup>\*1</sup>

GOTO Akira

遠心関係としては, 遠心圧縮機, ラジアルタービン, ポンプに関し, 設計手法, 性能特性, 内部流れ, 部分流領域特性, 流体力などについての21件の発表が行われた。約半数の発表において数値解析の検討が実施されており, 計算機環境と解析技術の向上にともない, 数値解析の実用化がさらに進展している。

設計手法関係では, ターボチャージャ用の遠心圧縮機とラジアルタービンの主要寸法を, 滑り係数や減速比などを用いて一次的に設計する手法 (GT-63, 64) や, 従来報告事例の少ない高比速度単段遠心圧縮機 (流量係数 $\phi_1=1.21$ , 圧力比1.21) の設計事例 (GT-353), 最適設計入射角度とラジアルタービン内の二次流れとの関係を論じたもの (GT-65), さらに羽根形状の設計ツールとして遠心形から軸流形まで適用可能なソフトの紹介 (GT-58) などが行われた。

性能特性関係では, 低流量係数遠心圧縮機 (流量係数 $\phi_2=0.007$ ) の羽根無しディフューザと戻り流路部の表面粗さの影響を, 部分流領域での安定限界を含めて報告したもの (GT-179), 多段圧縮機の戻り流路出口部に環状の案内羽根を挿入して性能改善を実現し, その設置位置と羽根枚数の影響を検討した報告 (GT-257) があった。

数値解析関連では, 遠心圧縮機とポンプ羽根車における検証 (GT-151) と羽根車内部の各種二次流れの発生メカニズムと干渉を検討したもの (GT-152), トルクコンバータのポンプ羽根車について油膜法による可視化結果

との比較を行ったもの (GT-404), 遠心羽根車の羽根先端および後縁形状のモデリング方法が圧力上昇やジェット・ウエーク流れに及ぼす影響を検討したもの (GT-372), タービンボリュートにおいて速度場と圧力場を実験と比較したもの (GT-66) が報告された。

ディフューザ関連では, 遠心圧縮機において羽根無しディフューザ/従来形ディフューザ/小弦節比ディフューザの特性を比較したものや (GT-155), 高幅半径比のベーンレスディフューザに3次元境界層理論を適用し, 種々のパラメータと剝離位置, 旋回失速との関連を検討したもの (GT-389), 遠心ポンプのディフューザ内部の非定常流れを数値解析とLDV, PTVなどの実験結果により検討したもの (GT-157) が報告された。さらに, 将来の数値解析精度の向上のため, Wedge 形ディフューザ内部のレイノルズ応力が計測され, 流れ場の顕著な非等方性が報告された (GT-228)。

部分流領域での旋回失速については, 多段遠心プロアの旋回失速時の内部流れが熱線流速計により計測された (GT-171)。また, 運転範囲拡大に関しては, ターボチャージャ遠心圧縮機羽根車のインデューサ部に設けたスロットによる運転範囲拡大のメカニズムの報告 (GT-262), 圧力比2.5の遠心圧縮機にコンピュータ制御された可変ガイドベーンと可変小弦節ディフューザを用い, サージフリー圧縮機実現の可能性を示した報告が行われた (GT-153)。

流体力関連では, 遠心ポンプ羽根車とボリュートとの干渉を二次元非定常ポテンシャル理論により予測しロータダイナミクス安定性を検討した報告 (GT-18), 単段遠心圧縮機羽根車とボリュートとの干渉による非定常流

原稿受付 1996年6月28日

\*1 ㈱荏原総合研究所 〒251 神奈川県藤沢市本藤沢4-2-1

体力を、サージ点までの運転範囲で三次元粘性解析により予測し実験結果と定量的に比較した報告が行われた (GT-352)。後者の報告では、ラジアルスラストの変動

ベクトルを Tilting-Pad ベアリングの軸中心の軌跡から求める方法が提案された (GT-120)。

### 5.3 非定常流れと数値流体力学

辻田 星歩<sup>\*1</sup>

TSUJITA Hoshio

今回は Turbomachinery Committee 主催の CFD のセッションが 4 つ開かれ、23 件の論文が発表されたが非定常流れを対象にしたものが多く見られた。このため、とくに非定常流れと数値流体力学の 2 項目に分けることなく、CFD と Unsteady の名の付いたセッションの論文を中心に紹介する。

格子形成に関する論文では Delaunay 三角形分割法と移動先端 (moving front) 法を組合わせた形成法が紹介され、また、それを用いて圧縮機翼列下流に全圧プローブを設置した状態を再現し、NS (Navier-Stokes) 解析を行い、プローブの存在の流れ場への影響が簡単に述べられた (GT-55)。冷却タービン翼列の翼内部に対しては Delaunay 三角形分割法、翼周りの流れ場に対しては重なり格子法 (overset grid) により格子を配置し、前者には熱伝導方程式後者には NS 方程式を用いて同時に解析した結果が紹介された (GT-156)。他にも重なり格子法を用いた二次元圧縮機翼列の解析が報告された (GT-400)。

翼面形状の翼面圧力分布に基づく最適化を目的とする逆解法に関しては、非粘性解析が主であり、境界層理論により粘性の影響を加味したもの (GT-177)、完全 3 次元解析により流路渦の強さを抑制するリーン角を考慮したもの (GT-39) が見られた。

フラッタについては、B-L (Baldwin-Lomax) モデルを用いた二次元非定常 NS 方程式により遷音速ストールフラッタ、チョークフラッタの解析を行い非定常な境界層と衝撃波の干渉 (GT-511)、また、Euler コードによる解析結果との比較により粘性計算の重要性が示された (GT-338)。

翼列干渉に関する論文でも B-L モデルを用いた非定常 NS 方程式で解析したものも多く見られ、遷音速圧縮機の入口案内羽根とロータの干渉の非定常計算を行い定常

計算結果との比較により擬似衝撃波反射に差を生じること (GT-141)、遷音速タービン翼列段のステータ後縁から発生する衝撃波はロータ内の流れ場へ影響を及ぼすことが示された (GT-69)。非圧縮流れ場の翼列干渉に対しては翼端壁境界層、漏れとウェークの非定常性への影響について検討がなされた (GT-70)。他に、翼列干渉問題における TVD 風上差分法と中心差分法の解析精度の比較・検証が行われたが、互に明確な優位性は認められなかった (GT-31)。

ウェークの定常・非定常挙動に関するセッションではカナダの NRC において数年に渡って行われた遷音速タービン翼列のウェークに関する実験的研究が報告され、後縁から放出されるカルマン渦の形成状態と損失生成との関係が示された (GT-419)。さらに、同翼列に対し  $k-\omega$  と  $k-\epsilon$  モデルを用いた準三次元非定常 NS 解析を行い、その関係が確認された (GT-483)。また、上流側翼列からのウェークと下流側翼列の干渉により生じる非定常挙動による時間平均量分布への影響 (GT-494)、環状排気ディフューザの翼形支柱に、半径方向にテーパを付けることによりそれから放出されるウェークを低減できることなどが示された (GT-475)。

他の主な報告としては、遷音速圧縮機の性能を左右するステータのハブ壁上のストールを TRANSCode を用いて解析し、設計ツールとしての十分な信頼性が確認された (GT-546)。また、翼端間隙内の流れを格子を配置させて解析した場合と間隙モデルを用いた場合で比較を行い、そのモデルの有効性を確かめ、さらに、衝撃波と翼端渦の干渉の予測精度に対する乱流モデルと非定常性を考慮することの重要性が示唆された (GT-114)。多段軸流圧縮機系のストール/サージを非定常 Euler 方程式により解析した結果なども報告された (GT-360)。

体力を、サージ点までの運転範囲で三次元粘性解析により予測し実験結果と定量的に比較した報告が行われた (GT-352)。後者の報告では、ラジアルスラストの変動

ベクトルを Tilting-Pad ベアリングの軸中心の軌跡から求める方法が提案された (GT-120)。

## 5.3 非定常流れと数値流体力学

辻田 星歩<sup>\*1</sup>

TSUJITA Hoshio

今回は Turbomachinery Committee 主催の CFD のセッションが 4 つ開かれ、23 件の論文が発表されたが非定常流れを対象にしたものが多く見られた。このため、とくに非定常流れと数値流体力学の 2 項目に分けることなく、CFD と Unsteady の名の付いたセッションの論文を中心に紹介する。

格子形成に関する論文では Delaunay 三角形分割法と移動先端 (moving front) 法を組合わせた形成法が紹介され、また、それを用いて圧縮機翼列下流に全圧プローブを設置した状態を再現し、NS (Navier-Stokes) 解析を行い、プローブの存在の流れ場への影響が簡単に述べられた (GT-55)。冷却タービン翼列の翼内部に対しては Delaunay 三角形分割法、翼周りの流れ場に対しては重なり格子法 (overset grid) により格子を配置し、前者には熱伝導方程式後者には NS 方程式を用いて同時に解析した結果が紹介された (GT-156)。他にも重なり格子法を用いた二次元圧縮機翼列の解析が報告された (GT-400)。

翼面形状の翼面圧力分布に基づく最適化を目的とする逆解法に関しては、非粘性解析が主であり、境界層理論により粘性の影響を加味したもの (GT-177)、完全 3 次元解析により流路渦の強さを抑制するリーン角を考慮したもの (GT-39) が見られた。

フラッタについては、B-L (Baldwin-Lomax) モデルを用いた二次元非定常 NS 方程式により遷音速ストールフラッタ、チョークフラッタの解析を行い非定常な境界層と衝撃波の干渉 (GT-511)、また、Euler コードによる解析結果との比較により粘性計算の重要性が示された (GT-338)。

翼列干渉に関する論文でも B-L モデルを用いた非定常 NS 方程式で解析したものも多く見られ、遷音速圧縮機の入口案内羽根とロータの干渉の非定常計算を行い定常

計算結果との比較により擬似衝撃波反射に差を生じること (GT-141)、遷音速タービン翼列段のステータ後縁から発生する衝撃波はロータ内の流れ場へ影響を及ぼすことが示された (GT-69)。非圧縮流れ場の翼列干渉に対しては翼端壁境界層、漏れとウェークの非定常性への影響について検討がなされた (GT-70)。他に、翼列干渉問題における TVD 風上差分法と中心差分法の解析精度の比較・検証が行われたが、互に明確な優位性は認められなかった (GT-31)。

ウェークの定常・非定常挙動に関するセッションではカナダの NRC において数年に渡って行われた遷音速タービン翼列のウェークに関する実験的研究が報告され、後縁から放出されるカルマン渦の形成状態と損失生成との関係が示された (GT-419)。さらに、同翼列に対し  $k-\omega$  と  $k-\epsilon$  モデルを用いた準三次元非定常 NS 解析を行い、その関係が確認された (GT-483)。また、上流側翼列からのウェークと下流側翼列の干渉により生じる非定常挙動による時間平均量分布への影響 (GT-494)、環状排気ディフューザの翼形支柱に、半径方向にテーパを付けることによりそれから放出されるウェークを低減できることなどが示された (GT-475)。

他の主な報告としては、遷音速圧縮機の性能を左右するステータのハブ壁上のストールを TRANSCode を用いて解析し、設計ツールとしての十分な信頼性が確認された (GT-546)。また、翼端間隙内の流れを格子を配置させて解析した場合と間隙モデルを用いた場合で比較を行い、そのモデルの有効性を確かめ、さらに、衝撃波と翼端渦の干渉の予測精度に対する乱流モデルと非定常性を考慮することの重要性が示唆された (GT-114)。多段軸流圧縮機系のストール/サージを非定常 Euler 方程式により解析した結果なども報告された (GT-360)。

## 6. 伝熱関係

高濱 正幸\*<sup>1</sup>

TAKAHAMA Masayuki

伝熱のセッションでは伝熱委員会単独で 62 編、ターボ機械委員会との共催で 18 編の論文が発表された。これらの論文より傾向を分析してみる。

外部流に関してはタービン翼の表面荒さの熱伝達率への影響が調べられ、混合長、壁関数を変更する事によって予測する手法を提示 (GT-388)。他に表面荒さの熱伝達率への影響を扱った論文に GT-169, GT-386 がある。直線翼列の遷音速タービンにおけるエンドウォール面上の熱伝達率の計測と CFD 解析による予測の比較が行われた (GT-180)。エンドウォール面上の熱伝達率分布を計測した論文は既に多く発表されているが、これらを組織的に CFD 解析と比較検証がなされた (GT-304)。しかし、1 つの乱流モデルで全ての実験結果をうまく予測するわけには行かない。タービン動翼のティップおよびブラットフォームの熱伝達率を CFD で推定する試みがなされた (GT-189)。外部流における熱伝達率の推定は CFD で行う時代になりつつある。しかし CFD の精度検証には詳細な実験データが必要である。

フィルム冷却に関する論文は非常に多い。翼前縁のフィルム冷却に関しては、回転バーで静翼ウェークを模擬した非定常流のフィルム冷却効率への影響 (GT-207)、3 次元 CFD 解析 (GT-150)、ナフタレン昇華法による前縁フィルム冷却時の前縁熱伝達率分布の詳細な計測 (GT-463)、動翼前縁模型を用いた実験と 3 次元フィルム流動場の解析との比較 (GT-176) が報告された。フィルム冷却の主流のフィルム冷却空気との混合過程の解析では数値解析として非構造メッシュを用いたもの (GT-351)、市販コードによる解析 (GT-310)、2 次元スロットからのフィルム冷却の解析 (GT-187) が報告され、また境界層理論を適用した新しい混合モデルでフィルム効率を解く解析法を示された (GT-224)。CFD 解析の精度検証に使うフィルム冷却空気と主流との詳細な混合場を計測した結果が報告されている (GT-419, 209, 167)。タービン翼設計の実用の面からは表面荒さの影響 (GT-299)、主流乱れと表面荒さの影響 (GT-462)、フィルム穴の形状 (GT-174)、回転動翼面上でのフィルム冷却効率と熱伝達率の分布の測定 (GT-221) 等の成果が報告された。フィルム冷却の効率あるいは流動の計測として新しい方法は、アンモニアとジアゾの化学変化からフィルム冷却効率を定量的に計測する方法 (GT-438)、

2 色ダブルパルスレーザによる PIV (Particle Image Velocimetry) でフィルム空気の吹き出し近傍の流れ場を計測した結果が報告された (GT-236)。

内部流に関しては、まずタービン動翼で一般的に採用されているタービュレンスプロモータ付きのサーペンタイン流路の冷媒の流動および伝熱特性に関して多くの発表があった。リップの高さとピッチの伝熱への影響をホログラフィで観察 (GT-490)、リップ付き流路の熱伝達への渦発生器の影響 (GT-474)、リップ付きダクト流路の二次流れの伝熱への影響 (GT-313) あるいは詳細な圧力分布熱伝達率の計測 (GT-541) が報告された。またリップ付き正方形流路の熱伝達率分布の計測 (GT-356)、タービン動翼のリターンする中央流路の熱伝達率の計測結果 (GT-355) が報告された。回転する効果については、滑らかな壁およびリップ付きの U ベント部の LDV 速度分布計測結果 (GT-476)、同 180° ベンド部の熱伝達率を multi-block grids と  $k-\epsilon$  モデルで予測する試み (GT-188)、回転する正方形および長方形ダクトの流動・伝熱予測 (GT-234) 等タービン動翼の冷却性能の向上と予測精度の向上を目指した多くの研究成果が発表された。衝突噴流伝熱では、多孔インピンジメント冷却の熱伝達率へのノズルプレート温度の影響 (GT-162)、一体精密製造製のインピンジメント冷却構造の熱伝達率の測定 (GT-200)、インピンジメントノズルのコーナ R の熱伝達率への影響 (GT-128) が報告された。タービン動翼の翼前縁に衝突噴流冷却を適用した場合の回転の効果につき実験的研究が報告された (GT-161, 387)。回転効果により静止系に比べてインピンジメント冷却の熱伝達率は 20% 低下することが明らかになった。計測法としては LC (Liquid Crystal) を用いて壁温の計測から熱伝達率分布を求めた論文が多数報告された (GT-163, 225, 235, 534, 542)。後縁のピンフィン流路の伝熱性能向上としては、正方形フィンの配列を正方と千鳥にまた流れとのフィンの位置を変えた組み合わせの伝熱特性結果が報告された (GT-201)。

ターボ機械委員会との共催ではロータ・ステータ系の流動伝熱特性の研究が発表された。低  $Re$   $k-\epsilon$  モデルを用いたロータ・ステータ系の解析 (GT-159)、半径流を伴う回転二円板の実験および解析 (GT-309)、半密閉空間であるタービンキャビティの解析 (GT-308)、また、温度の異なる同心二軸間を流れる流れの解析 (GT-258) がなされた。

遷移境界層、乱流遷移の現象解明に対しては負圧力勾

原稿受付 1996 年 7 月 17 日

\* 1 三菱重工業㈱ 〒674 兵庫県高砂市荒井町新浜 2-1-1

配の遷移への影響 (GT-160), 乱流遷移のモデルの提案 (GT-444), 層流境界層中に生じるフラクティエーションの解析 (GT-199), ゲルトラー渦を伴った遷移境界層の詳細構造測定 (GT-166) が報告された。

シールシステムとしてはステップ付きラビリンスシールの水流流動可視化 (GT-136, 137), および産業用ガス

タービンのシール部の二次元流動解析が報告された (GT-256)。

伝熱の分野は年々論文数が増加する傾向にあり, なかでも数値解析の適用と数値解析の精度を検証するための詳細な実験的研究が実施されていると考える。

## 7. 燃焼および燃料関係

緒方 正裕\*1

OGATA Masahiro

### 1. 全 般

今回の TURBO EXPO において, Combustion & Fuels Committee が主催したセッションは 11 であり, 発表数は 52 件ということで, 昨年に比べればセッションが 1 つ, 発表数が 13 件減少している。しかし, セッションが行われた部屋が比較的小さくて約 100 程の椅子しか無かったためか, 後ろに立っている聴講者も多数みられ, 質疑応答も活発に行われていたため, この部門の研究が下火になりつつあるとは感じられなかった。

52 件の発表を国別にみると, 米国の 26 件がもっとも多く, ドイツの 7 件, 日本の 6 件, イギリスの 5 件, カナダの 3 件, スイス 2 件, 他となっているが, 近年の企業の多国籍化や研究の共同化が反映してか, 複数の国, 企業, 研究機関の研究者が共同執筆者として名を連ねているものも少なくなかった。

燃焼および燃料に関するテーマは広範囲に渡っており, まだ経験の浅い筆者としては内容的に余り良く理解の出来ないものが多数あったが, 以下に主なものを紹介する。

### 2. 低 Emission 関係

低 NO<sub>x</sub>, 低 Emission 関係の発表は最も多く, 14 件あった。中心テーマは希薄予混合燃焼を扱ったものであった。希薄予混合方式の燃焼器を実機に適用し, その開発・改良内容を論じたものが 4 件 (GT-27, 45, 49, 465) あったが, 同じ希薄予混合方式といっても種々の実現方法が紹介されており, 興味深い。

また, 同心円上の多段スワローを用いて多段の燃焼領域を設け, 低 NO<sub>x</sub> かつ安定燃焼領域を広げたもの (GT-53, 134), 低カロリーガス用の予混合バーナの開発について述べたもの (GT-126), ガス焚きの DLN 燃焼器を Dual 化し, 液体燃料を予蒸発・予混合燃焼することにより液体燃料焚き時にも低 NO<sub>x</sub> 燃焼を実現するもの (GT-195), 予混合ガスと湿り空気を対向させ, その衝突面で生じた燃焼火炎の観察より水噴射による NO<sub>x</sub> 低減のメ

カニズムを探ったもの (GT-545) などが目を引いた。

触媒燃焼では, 計算結果と実験結果を比較したもの (GT-130), 触媒燃焼と予混合燃焼を組み合わせる触媒の寿命を延ばす試み (GT-382), 実機に触媒方式の低 NO<sub>x</sub> 燃焼器を適用し, さらにわずかな蒸気噴射を行う事で 5~6 ppmv の排出 NO<sub>x</sub> を実現したもの (GT-485) が発表された。

### 3. モデル化

数値計算関係の発表も多くなされた。燃焼器内部流れに CFD を適用したもの (GT-48, 182, 186, 205), 液体燃料が蒸発する際の支配方程式を導入し, 液体焚き燃焼器の数値計算を簡素化したもの (GT-468), 燃焼反応のモデル化に関するもの (GT-128, 133, 184) 等があった。

また, 種々の気体燃料について Laminar Flame Speed を調査し, 近似式にまとめたもの (GT-142), 燃焼器開発のツールとして比較的簡単に利用できるモデルの有効性 (GT-135, 143) などが報告された。

### 4. 燃料噴射弁

エアブラストノズルに関するものでは, 周囲の温度・圧力条件を変化させ, 燃料液滴の予蒸発・混合特性を調べたもの (GT-383), 圧力場の影響を詳細に調べたもの (GT-131), スワローを含めた流れの数値計算を行ったもの (GT-127), エアブラスト式のノズルの中心に圧力噴霧方式ノズルを備えたハイブリッドノズルで, 圧力噴霧側のスプレー角度等が全体の噴霧特性に及ぼす影響を調査したもの (GT-464) 等が発表された。

また, レーザーを用いた粒径・速度分布の計測に加え, Rainbow Thermometer を用いて, 燃焼器内の燃料液滴の挙動を調べたもの (GT-21) が興味深かった。

### 5. 燃 料

航空用燃料のデポジットに関するものが 4 件あった。ジェット燃料の Dissolved Oxygen 濃度と種々の添加物が燃料の熱的安定性とデポジットの程度に及ぼす影響を

原稿受付 1996 年 7 月 3 日

\* 1 川崎重工業㈱ 〒673 兵庫県明石市川崎町 1-1

配の遷移への影響 (GT-160), 乱流遷移のモデルの提案 (GT-444), 層流境界層中に生じるフラクティエーションの解析 (GT-199), ゲルトラー渦を伴った遷移境界層の詳細構造測定 (GT-166) が報告された。

シールシステムとしてはステップ付きラビリンスシールの水流流動可視化 (GT-136, 137), および産業用ガス

タービンのシール部の二次元流動解析が報告された (GT-256)。

伝熱の分野は年々論文数が増加する傾向にあり, なかでも数値解析の適用と数値解析の精度を検証するための詳細な実験的研究が実施されていると考える。

## 7. 燃焼および燃料関係

緒方 正裕<sup>\*1</sup>

OGATA Masahiro

### 1. 全 般

今回の TURBO EXPO において, Combustion & Fuels Committee が主催したセッションは 11 であり, 発表数は 52 件ということで, 昨年に比べればセッションが 1 つ, 発表数が 13 件減少している。しかし, セッションが行われた部屋が比較的小さくて約 100 程の椅子しか無かったためか, 後ろに立っている聴講者も多数みられ, 質疑応答も活発に行われていたため, この部門の研究が下火になりつつあるとは感じられなかった。

52 件の発表を国別にみると, 米国の 26 件がもっとも多く, ドイツの 7 件, 日本の 6 件, イギリスの 5 件, カナダの 3 件, スイス 2 件, 他となっているが, 近年の企業の多国籍化や研究の共同化が反映してか, 複数の国, 企業, 研究機関の研究者が共同執筆者として名を連ねているものも少なくなかった。

燃焼および燃料に関するテーマは広範囲に渡っており, まだ経験の浅い筆者としては内容的に余り良く理解の出来ないものが多数あったが, 以下に主なものを紹介する。

### 2. 低 Emission 関係

低 NO<sub>x</sub>, 低 Emission 関係の発表は最も多く, 14 件あった。中心テーマは希薄予混合燃焼を扱ったものであった。希薄予混合方式の燃焼器を実機に適用し, その開発・改良内容を論じたものが 4 件 (GT-27, 45, 49, 465) あったが, 同じ希薄予混合方式といっても種々の実現方法が紹介されており, 興味深い。

また, 同心円上の多段スワローを用いて多段の燃焼領域を設け, 低 NO<sub>x</sub> かつ安定燃焼領域を広げたもの (GT-53, 134), 低カロリーガス用の予混合バーナの開発について述べたもの (GT-126), ガス焚きの DLN 燃焼器を Dual 化し, 液体燃料を予蒸発・予混合燃焼することにより液体燃料焚き時にも低 NO<sub>x</sub> 燃焼を実現するもの (GT-195), 予混合ガスと湿り空気を対向させ, その衝突面で生じた燃焼火炎の観察より水噴射による NO<sub>x</sub> 低減のメ

カニズムを探ったもの (GT-545) などが目を引いた。

触媒燃焼では, 計算結果と実験結果を比較したもの (GT-130), 触媒燃焼と予混合燃焼を組み合わせて触媒の寿命を延ばす試み (GT-382), 実機に触媒方式の低 NO<sub>x</sub> 燃焼器を適用し, さらにわずかな蒸気噴射を行う事で 5~6 ppmv の排出 NO<sub>x</sub> を実現したもの (GT-485) が発表された。

### 3. モデル化

数値計算関係の発表も多くなされた。燃焼器内部流れに CFD を適用したもの (GT-48, 182, 186, 205), 液体燃料が蒸発する際の支配方程式を導入し, 液体焚き燃焼器の数値計算を簡素化したもの (GT-468), 燃焼反応のモデル化に関するもの (GT-128, 133, 184) 等があった。

また, 種々の気体燃料について Laminar Flame Speed を調査し, 近似式にまとめたもの (GT-142), 燃焼器開発のツールとして比較的簡単に利用できるモデルの有効性 (GT-135, 143) などが報告された。

### 4. 燃料噴射弁

エアブラストノズルに関するものでは, 周囲の温度・圧力条件を変化させ, 燃料液滴の予蒸発・混合特性を調べたもの (GT-383), 圧力場の影響を詳細に調べたもの (GT-131), スワローを含めた流れの数値計算を行ったもの (GT-127), エアブラスト式のノズルの中心に圧力噴霧方式ノズルを備えたハイブリッドノズルで, 圧力噴霧側のスプレー角度等が全体の噴霧特性に及ぼす影響を調査したもの (GT-464) 等が発表された。

また, レーザーを用いた粒径・速度分布の計測に加え, Rainbow Thermometer を用いて, 燃焼器内の燃料液滴の挙動を調べたもの (GT-21) が興味深かった。

### 5. 燃 料

航空用燃料のデポジットに関するものが 4 件あった。ジェット燃料の Dissolved Oxygen 濃度と種々の添加物が燃料の熱的安定性とデポジットの程度に及ぼす影響を

原稿受付 1996 年 7 月 3 日

\* 1 川崎重工業㈱ 〒673 兵庫県明石市川崎町 1-1

調べたもの (GT-132), Metal Deactivator の効果と影響について述べたもの (GT-204) 等が発表された。

航空用以外では唯一 No. 2 Fuel のデポジットについて調べた物 (GT-46) があった。

## 6. その他

燃焼領域にパルス状のジェット流を吹き込み、燃焼特性の変化を調査したもの (GT-129), 圧力噴霧ノズルで周期的に流量を変化させた場合の噴霧状態の変化を調査したもの (GT-54), ディフューザ〜燃焼器間の流れを実験的又は数値計算にて調べたもの (GT-454, 513, 518), 主流に直行して合流するジェット流の混合特性を調べたもの (GT-453, 482) 等が報告された。

また, Combustion & Fuels のセッションではなかったが, 燃焼に関する物を紹介すると, 埋め立て地から発生する中カロリーガスを使用する燃焼器の開発 (GT-15), 低 NO<sub>x</sub> 燃焼器を実用化した際の問題点と解決策

の経緯を記した物 (GT-274), Rich-Quench-Lean 方式の燃焼器について述べたもの (GT-448), 低カロリーガスを使用する燃焼器に関するもの (GT-531) 等があった。

## 7. あとがき

今回初めて TURBO EXPO に参加したが, 改めて低 NO<sub>x</sub> 燃焼技術の進歩には驚かされたのと共に, 燃焼関係のセッションとは言ってもそのテーマはとても広範囲に渡っていると感じた。その中で, 日本の発表は 6 件中 5 件が小型ガスタービン用の希薄予混合燃焼器の開発に関するものであった事を考えると, テーマ的に非常に偏っていると言わざるを得ない。難しいとされる小型ガスタービンへの低 NO<sub>x</sub> 燃焼器の適用を日本風の工夫で成し遂げているとも受け取れるが, やはり日本では基礎研究が少ないことのあらわれであろう。また, この分野では難しいと言われてきた数値計算も精力的に取り組まれており, 筆者にとって良い刺激となった。

# 8. 制御と診断

三上 隆男\*<sup>1</sup>  
MIKAMI Takao

## 1. 全 般

筆者は「制御と診断」に関しては全くの門外漢である上に, 限られた範囲しか聴講することが出来なかったのので, 見聞の内容が必ずしも的を得たものではないことを予めご容赦願いたい。

さて, 今回は以下のセッションが設けられていた。

- (1) センサー技術 I (論文数: 6 件)
- (2) センサー技術 II (論文数: 3 件)
- (3) モニタリング, 運転及びメンテナンスによる信頼性の改善と振動低減 (発表のみ: 5 件)
- (4) 性能診断 (論文数: 5 件)
- (5) 航空機エンジンの制御 (論文数: 6 件)
- (6) 先進制御と診断 (論文数: 5 件)
- (7) エミッションのモニタリングと制御 (論文数: 3 件)

以上のように 7 セッション, 33 件の発表があった。

国別では, 米国 14 件, イギリス 10 件, ギリシャ 3 件, カナダ 2 件, ドイツ, スウェーデン, イタリア, デンマークが各 1 件であり, 昨年と比べると, 開催地であるイギリスからの発表件数が大幅に増加した。

## 2. センサー技術関連

動翼の Tip Clearance 計測システムに関して 2 件の

発表があった。BMW Rolls-Royce 等より, Capacitive 測定原理に基づくものを開発し, エンジン試験中に問題なく使用でき, 貴重なデータが得られたとの報告があった (GT-349)。また, United Technologies Research Center 等より, マイクロウェーブ型のものを開発したとの報告があった。この方式は共振周波数の測定が原理であり, 燃料や他の汚染物に対して不感であるという特徴を有し, また, セラミック材料の部分のみが直接ガスに触れる構造であるため, 600°C 以上の温度で計測可能である (GT-002)。

計測管関係では, Oxford 大学より, 非定常圧縮性流れ用の高速応答全温プローブについて報告があった。これは, 異なる作動温度で過渡的熱流速の測定を行うことを原理とするもので, 熱流速ゲージは薄膜のプラチナ測温抵抗体であり, プローブ (φ 3) 先端のよどみ域に取付けられている。精度は ±3 K である (GT-350)。Rolls Royce からは, 温度・圧力計測用として過去 40 年来使用されてきているキール管はコストが高く, 損傷し易い上に修理が困難なため, 圧力と温度を同時に計測でき, かつ, 製作及び修理が容易な Common Cavity Rake を開発したとの報告があった (GT-032)。

その他, Rolls Royce と Cranfield 大学との共同研究による 3 孔 Wedge プローブの壁面近傍での計測誤差に関する実験と CFD 解析結果の報告 (GT-146, 147), 従来の圧力計測システムの欠点 (多数の計測管及び電気スキャンセンサが必要) を解消するインテリジェント圧力

原稿受付 1996 年 6 月 25 日

\* 1 石川島播磨重工業㈱ 〒135 東京都江東区豊洲 3-1-15

調べたもの (GT-132), Metal Deactivator の効果と影響について述べたもの (GT-204) 等が発表された。

航空用以外では唯一 No. 2 Fuel のデポジットについて調べた物 (GT-46) があつた。

## 6. その他

燃焼領域にパルス状のジェット流を吹き込み、燃焼特性の変化を調査したもの (GT-129), 圧力噴霧ノズルで周期的に流量を変化させた場合の噴霧状態の変化を調査したもの (GT-54), ディフューザ〜燃焼器間の流れを実験的又は数値計算にて調べたもの (GT-454, 513, 518), 主流に直行して合流するジェット流の混合特性を調べたもの (GT-453, 482) 等が報告された。

また, Combustion & Fuels のセッションではなかったが, 燃焼に関する物を紹介すると, 埋め立て地から発生する中カロリーガスを使用する燃焼器の開発 (GT-15), 低 NO<sub>x</sub> 燃焼器を実用化した際の問題点と解決策

の経緯を記した物 (GT-274), Rich-Quench-Lean 方式の燃焼器について述べたもの (GT-448), 低カロリーガスを使用する燃焼器に関するもの (GT-531) 等があつた。

## 7. あとがき

今回初めて TURBO EXPO に参加したが, 改めて低 NO<sub>x</sub> 燃焼技術の進歩には驚かされたのと共に, 燃焼関係のセッションとは言ってもそのテーマはとても広範囲に渡っていると感じた。その中で, 日本の発表は 6 件中 5 件が小型ガスタービン用の希薄予混合燃焼器の開発に関するものであつた事を考えると, テーマ的に非常に偏っていると言わざるを得ない。難しいとされる小型ガスタービンへの低 NO<sub>x</sub> 燃焼器の適用を日本風の工夫で成し遂げているとも受け取れるが, やはり日本では基礎研究が少ないことのあらわれであろう。また, この分野では難しいと言われてきた数値計算も精力的に取り組まれており, 筆者にとって良い刺激となった。

# 8. 制御と診断

三上 隆男\*<sup>1</sup>  
MIKAMI Takao

## 1. 全 般

筆者は「制御と診断」に関しては全くの門外漢である上に, 限られた範囲しか聴講することが出来なかったのので, 見聞の内容が必ずしも的を得たものではないことを予めご容赦願いたい。

さて, 今回は以下のセッションが設けられていた。

- (1) センサー技術 I (論文数: 6 件)
- (2) センサー技術 II (論文数: 3 件)
- (3) モニタリング, 運転及びメンテナンスによる信頼性の改善と振動低減 (発表のみ: 5 件)
- (4) 性能診断 (論文数: 5 件)
- (5) 航空機エンジンの制御 (論文数: 6 件)
- (6) 先進制御と診断 (論文数: 5 件)
- (7) エミッションのモニタリングと制御 (論文数: 3 件)

以上のように 7 セッション, 33 件の発表があつた。

国別では, 米国 14 件, イギリス 10 件, ギリシャ 3 件, カナダ 2 件, ドイツ, スウェーデン, イタリア, デンマークが各 1 件であり, 昨年と比べると, 開催地であるイギリスからの発表件数が大幅に増加した。

## 2. センサー技術関連

動翼の Tip Clearance 計測システムに関して 2 件の

発表があつた。BMW Rolls-Royce 等より, Capacitive 測定原理に基づくものを開発し, エンジン試験中に問題なく使用でき, 貴重なデータが得られたとの報告があつた (GT-349)。また, United Technologies Research Center 等より, マイクロウェーブ型のものを開発したとの報告があつた。この方式は共振周波数の測定が原理であり, 燃料や他の汚染物に対して不感であるという特徴を有し, また, セラミック材料の部分のみが直接ガスに触れる構造であるため, 600°C 以上の温度で計測可能である (GT-002)。

計測管関係では, Oxford 大学より, 非定常圧縮性流れ用の高速応答全温プローブについて報告があつた。これは, 異なる作動温度で過渡的熱流速の測定を行うことを原理とするもので, 熱流速ゲージは薄膜のプラチナ測温抵抗体であり, プローブ (φ 3) 先端のよどみ域に取付けられている。精度は ±3 K である (GT-350)。Rolls Royce からは, 温度・圧力計測用として過去 40 年来使用されてきているキール管はコストが高く, 損傷し易い上に修理が困難なため, 圧力と温度を同時に計測でき, かつ, 製作及び修理が容易な Common Cavity Rake を開発したとの報告があつた (GT-032)。

その他, Rolls Royce と Cranfield 大学との共同研究による 3 孔 Wedge プローブの壁面近傍での計測誤差に関する実験と CFD 解析結果の報告 (GT-146, 147), 従来の圧力計測システムの欠点 (多数の計測管及び電気スキャンセンサが必要) を解消するインテリジェント圧力

原稿受付 1996 年 6 月 25 日

\* 1 石川島播磨重工業㈱ 〒135 東京都江東区豊洲 3-1-15

モジュール付き高速デジタル圧力スキャンシステムに関する報告 (GT-101) 等があった。

### 3. 性能診断関連

アテネ国立工科大学から、ガスタービンの排ガス温度分布を分析してホットセクションの状態を診断する方法について報告された。これによると、燃焼器のバーナーの状態 (Healthy, Primary off, Main off, Both off) をリアルタイムに診断できるという (GT-103)。

同じくアテネ国立工科大学から、ラジアル圧縮機 (翼型ディフューザ付き) の運転音、ケーシング振動、非定常壁圧等から異常診断を行った結果について報告された (GT-102)。

Cranfield 大学から、エンジンの劣化がクリープ損傷に及ぼす影響の解析結果について報告された。劣化は、タービン、圧縮機、燃焼器の効率低下及び流量の変化 (燃焼器については圧力損失) を考慮している (GT-033)。

### 4. 航空機エンジンの制御関連

United Technologies から、航空機用ガスタービンの技術の進歩 (デジタル電子制御、先進燃料管理システム、高圧燃料アクチュエーションシステム、統合飛行推進制御等) についての解説的発表 (GT-107)、Argo-Tech Corporation からは 21 世紀の燃料ポンプシステムとしては可変容量型ポンプが有望であるという内容の発表 (GT-148) があった。

その他、ターボファンエンジン (戦闘機用) の性能劣化のシミュレーションプログラムに関する報告 (GT-242)、アクチュエータ電源回路用高温シリコンデバイス

の開発に関する報告 (GT-108)、次世代航空エンジン制御システム用 SiC 高温電子部品の開発に関する報告 (GT-106) があった。GT-106 では、電子デバイスは今後、作動温度、電圧、電流及び電源密度が高くなるため、信頼性及び冷却システムを組み合わせたコストが問題となるが、SiC がこれらに対して優れたポテンシャルを有しているとしている。

GT-105 では、最近脚光を浴びている知的構造についてその概念を解説し、光ファイバー技術と共に 21 世紀のエンジン制御に適用することの可能性について報告している。

### 5. 先進制御と診断関連

エンジンのセンサーからの信号に対して Wavelet 変換を適用し、ターボ機械特有の信号に関連して、Wavelet の基本的な特徴について報告したもの (GT-343)、ガスタービンの軸流圧縮機に異常が起きた時の制御にガスタービンの非線形モデル、ニューラルネットワーク及び遺伝子アルゴリズムを適用し、性能の低下を最小限にしたという報告 (GT-445)、ニューラルネットワークを用いてガスタービンの燃焼温度を見積もることに成功したという報告 (GT-316) 等があった。

### 6. あとがき

今回は例年と比べると地元のイギリスの頑張りで発表件数が大幅に増加した。内容的には制御関係に目新しい発表があったと思う。しかし、依然日本からの報告はなく、この分野に関しては外国の独壇場である。日本からもこの方面の成果を世界に向けて発表して頂きたいと思う。

## 9. 材料、構造および製造技術

柴田 強<sup>\*1</sup>

SHIBATA Tsuyoshi

### 1. 材料および製造技術

Manufacturing Materials & Metallurgy Committee 主催のセッションは以下に示す 10 テーマであった。

- (1) ガスタービン部品の長寿命化と運転状況モニタリング技術
- (2) ガスタービン用熱遮蔽コーティング
- (3) タービン用最新材料の補修技術
- (4) コーティング技術—ユーザーサイドから
- (5) 高温部品の寿命評価
- (6) 熱遮蔽コーティング
- (7) 現用部品の予防保全技術

- (8) コーティング/基材間の反応
- (9) タービン用材料の開発とその適用
- (10) コーティング—その耐環境性能

このうち、(1)~(5)はパネルディスカッションである。

パネルのセッションを除くと総発表件数は 26 件であるが、この内 16 件はコーティングに関するものであり、さらに 2 つのパネルセッションが設定されるなど、この分野の研究開発のアクティビティの高さは相変わらずである。

コーティング関連の発表で中心的な話題の一つは、ガスタービン高温部品用熱遮蔽コーティング (TBC) である。タービンメーカー各社とも、実機搭載した各種コーティング部品の使用時間が 20,000 時間を越えてきており、長時間信頼性を比較・評価できるデータの蓄積が

原稿受付 1996 年 7 月 5 日

\* 1 (株)日立製作所 〒319-12 茨城県日立市大みか町 7-1-1

モジュール付き高速デジタル圧力スキャンシステムに関する報告 (GT-101) 等があった。

### 3. 性能診断関連

アテネ国立工科大学から、ガスタービンの排ガス温度分布を分析してホットセクションの状態を診断する方法について報告された。これによると、燃焼器のバーナーの状態 (Healthy, Primary off, Main off, Both off) をリアルタイムに診断できるという (GT-103)。

同じくアテネ国立工科大学から、ラジアル圧縮機 (翼型ディフューザ付き) の運転音、ケーシング振動、非定常壁圧等から異常診断を行った結果について報告された (GT-102)。

Cranfield 大学から、エンジンの劣化がクリープ損傷に及ぼす影響の解析結果について報告された。劣化は、タービン、圧縮機、燃焼器の効率低下及び流量の変化 (燃焼器については圧力損失) を考慮している (GT-033)。

### 4. 航空機エンジンの制御関連

United Technologies から、航空機用ガスタービンの技術の進歩 (デジタル電子制御、先進燃料管理システム、高圧燃料アクチュエーションシステム、統合飛行推進制御等) についての解説的発表 (GT-107)、Argo-Tech Corporation からは 21 世紀の燃料ポンプシステムとしては可変容量型ポンプが有望であるという内容の発表 (GT-148) があった。

その他、ターボファンエンジン (戦闘機用) の性能劣化のシミュレーションプログラムに関する報告 (GT-242)、アクチュエータ電源回路用高温シリコンデバイス

の開発に関する報告 (GT-108)、次世代航空エンジン制御システム用 SiC 高温電子部品の開発に関する報告 (GT-106) があった。GT-106 では、電子デバイスは今後、作動温度、電圧、電流及び電源密度が高くなるため、信頼性及び冷却システムを組み合わせたコストが問題となるが、SiC がこれらに対して優れたポテンシャルを有しているとしている。

GT-105 では、最近脚光を浴びている知的構造についてその概念を解説し、光ファイバー技術と共に 21 世紀のエンジン制御に適用することの可能性について報告している。

### 5. 先進制御と診断関連

エンジンのセンサーからの信号に対して Wavelet 変換を適用し、ターボ機械特有の信号に関連して、Wavelet の基本的な特徴について報告したもの (GT-343)、ガスタービンの軸流圧縮機に異常が起きた時の制御にガスタービンの非線形モデル、ニューラルネットワーク及び遺伝子アルゴリズムを適用し、性能の低下を最小限にしたという報告 (GT-445)、ニューラルネットワークを用いてガスタービンの燃焼温度を見積もることに成功したという報告 (GT-316) 等があった。

### 6. あとがき

今回は例年と比べると地元のイギリスの頑張りで発表件数が大幅に増加した。内容的には制御関係に目新しい発表があったと思う。しかし、依然日本からの報告はなく、この分野に関しては外国の独壇場である。日本からもこの方面の成果を世界に向けて発表して頂きたいと思う。

## 9. 材料、構造および製造技術

柴田 強<sup>\*1</sup>

SHIBATA Tsuyoshi

### 1. 材料および製造技術

Manufacturing Materials & Metallurgy Committee 主催のセッションは以下に示す 10 テーマであった。

- (1) ガスタービン部品の長寿命化と運転状況モニタリング技術
- (2) ガスタービン用熱遮蔽コーティング
- (3) タービン用最新材料の補修技術
- (4) コーティング技術—ユーザーサイドから
- (5) 高温部品の寿命評価
- (6) 熱遮蔽コーティング
- (7) 現用部品の予防保全技術

- (8) コーティング/基材間の反応
- (9) タービン用材料の開発とその適用
- (10) コーティング—その耐環境性能

このうち、(1)~(5)はパネルディスカッションである。

パネルのセッションを除くと総発表件数は 26 件であるが、この内 16 件はコーティングに関するものであり、さらに 2 つのパネルセッションが設定されるなど、この分野の研究開発のアクティビティの高さは相変わらずである。

コーティング関連の発表で中心的な話題の一つは、ガスタービン高温部品用熱遮蔽コーティング (TBC) である。タービンメーカー各社とも、実機搭載した各種コーティング部品の使用時間が 20,000 時間を越えてきており、長時間信頼性を比較・評価できるデータの蓄積が

原稿受付 1996 年 7 月 5 日

\* 1 (株)日立製作所 〒319-12 茨城県日立市大みか町 7-1-1

なり進んでいる模様。TBCの剥離要因に関する共通の認識は、セラミック/ボンド層/基材各界面での組織変化である。これについては、ボンド層の改良による組織変化の抑制が図られ、剥離寿命の改善がかなり進んでいるようである。その他、溶融塩のセラミック層内への浸入が剥離寿命に及ぼす影響や (GT-285)、EB-PVDによるTBCのセラミック組成の最適化 (GT-488) などの発表があり、TBC剥離抑制のためのノウハウが着実に積み上げられている印象。ただし、TBCの実機試験に関する発表の多くはパネルセッションにおいてなされており、突っ込んだデータの評価・分析を披露しようというパネリストは無く、件数の割には内容が伴っていないのは残念である。

合金コーティングに関しては上記(8)(10)のセッションにおいて7件の発表があった。注目すべき技術として、ゾル-ゲル法を用いたTwo-Phase-Glassコーティング (TPG) が挙げられる (GT-521)。これは、従来型のPt-Alコーティングのオーバーレイトップコートとして、もしくはTPG単独でも使用可能で、非常に安価で耐食耐酸化性に優れたコーティング層となることが報告された。また、施工コストの高いPVDやPlasma Spray法に替わる技術としてHigh Velocity Oxygen Fuel法 (HVOF) についても研究が継続してなされており (GT-525)、施工パラメータの最適化が進められている。実機でのタービン翼腐食による損傷事例が後を断たない現状を考えれば、高性能且つ低コストの耐食コーティングに対するニーズの大きさはTBCにひけを取らないレベルにあり、今後も着実な研究の継続が期待される。

補修技術については、拡散接合用新合金の機械的特性に関するもの (GT-427) の他、拡散接合した単結晶翼の強度と接合部での合金コーティングの可否を検討したもの (GT-467)、部分的に補修再コートしたMCrAlY施工翼の超音波法による欠陥評価に関するもの (GT-220) などが報告された。DS/SC化による翼単価の倍増により、この方面の技術に対する需要はますます広がりをみせているが、それに比して今回の発表件数が少ないのは、施工ノウハウが生命線である中規模補修会社からの詳細な技術レポートが望めないことが影響しているかもしれない。

コーティングと予防保全技術で埋め尽くされた感のあ

るMM&M Committee主催のセッションであるが、件数は僅かながら地道な新材料開発 (GT-380, 390) にはより活発な質疑応答があり、この分野への関心は依然高いことを窺わせた。

## 2. 構造

Structures & Dynamics Committee主催のセッションは次の17テーマであった。

- (1) モニタリング・運転制御および保守計画による信頼性向上と振動低減
- (2) 構造と動力学に関する技術教育—21世紀に向けて
- (3) 高サイクル疲労
- (4) 構造信頼性と設計
- (5) 破壊・疲労と寿命予測
- (6) 信頼性評価手法とその応用
- (7) ローター動力学I
- (8) ローター動力学II
- (9) ローター動力学III
- (10) アクティブおよびパッシブ振動制御
- (11) My Innards are Falling Apart—ロータ動力学、構造問題、バランシング
- (12) CFD ソルバー
- (13) フラッタおよび振動カスケード解析
- (14) 非定常空力問題および翼列相互作用
- (15) ディスクの振動I
- (16) ディスクの振動II
- (17) 分析的・数値的フラッタ解析

このうち、(1)~(3)はパネルディスカッションである。

構造関連では、燃焼器の振動をFEMと高サイクル疲労データを用いて動的に解析する手法の実機適用例 (GT-473) などが報告された。

寿命予測と信頼性評価については、動翼のメタル温度および寿命を表面酸化の度合いから評価するユニークな試み (GT-528) が報告された他、多数の周辺機器から成るタービンプラントの信頼性を総合的に評価する手法 (GT-267) が紹介された。

今年もS&D Committee主催のセッションの発表は豊富で多岐に亘っており、最新の設計技術がより複雑で実際の系へ適用されつつあることが実感される。

## 10. 展 示

竹原 勇志\*1

TAKEHARA Isashi

展示会場は会議会場の NEC (National Exhibition Centre) 1 階の Hall 1 で、昨年の GTSJ 横浜大会の約 2 倍程度の大きさである。出展ブースは大小合わせて約 270 社であった。今回に展示では、ほとんどのガスタービンメーカーにとって新機種の開発の谷間なのか、あるいは台所事情のためなのか、お祭りの要素や積極的に売り込もうとする姿勢はあまり感じられず、展示は全体的に低



写真1 展示会場入口

調であるとの印象を受けた。とくに航空エンジン関連の展示はほとんどなく、また産業用エンジンについてもエンジン実機は少なく、ほとんどの展示がスケールモデルやパネルのみといったもので、いささか華やかさに欠けるものであった。さらに世界の有力なガスタービンメーカーの姿が見られないのも目立った。ビッグ3の1つであるアメリカの GE、産業用で有名な Westinghouse、欧州の ABB, Siemens, さらに日本の日立、東芝、川崎重工といったところは今回の出展は見合わせていたようだ。この中で、欧米の中小のガスタービン周辺機器メーカーや素材、加工メーカーの出展、セールス活動は盛んで、世界的な軍需エンジンの縮小の中、各社民間用に積極的に進出しようとする意気込みが感じられた。展示の全体的な傾向としては、昨今の環境問題への認識が高まっている中、低 NOx 技術関連の展示、紹介が目をつけた。以下、代表的なメーカーについて出展内容について簡略に報告する。

まず第一に、地元イギリスの Rolls-Royce であるが、さすがに会場のほぼ中央で、最大の展示面積を誇っていた。展示内容については、現在好調と聞いている B777 用

TRENT 800 や他の航空エンジン関連の展示はなく、目玉は産業用の RB 211 DLE (Dry Low Emission) 実機で、ブースの中心に据えられていた。これは航空用の RB 211 の燃焼器部に回転軸に垂直方向に 9 つの can 型燃焼器を配置し独特の予混合方式を採用した産業用の機種である。その他、マリン用の熱交換器を配した WR 21 (1/5 モデル)、TRENT の産業用バージョン (1/5 モデル) などをパネルを使って展示、紹介していた。次に目を引いたのが同じくイギリスの EGT (European Gas Turbine) で、ブースは会場入口すぐ左の絶好のロケーションを確保し、期待の新機種 Tempest 実機 (7.5 MW) が展示されていた。このエンジンは発表されて間もないせいか(今回は初公開?), 会期中絶えず人だかりが出来ていた。エンジン実機は発電機システムの台板に据え付けられて展示されており、その他新開発の DLN (Dry Low NOx) コンバスタがフィーチャーされていた。その他の欧州からは、フランスの Turbomeca、ス

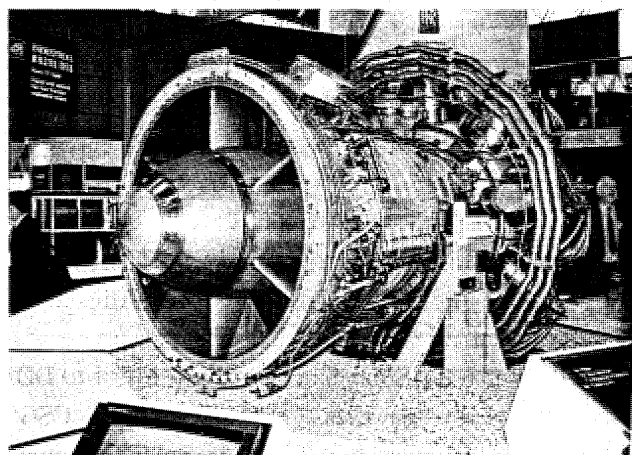


写真2 Rolls-Royce 社 RB 211 DLE ガスタービン

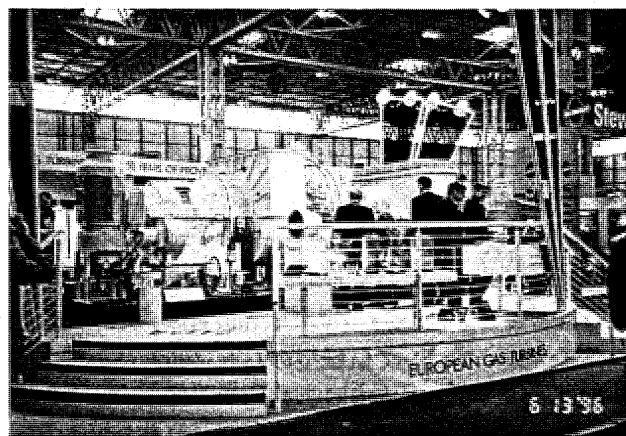


写真3 EGT 社 TEMPEST ガスタービン

原稿受付 1996 年 7 月 1 日

\* 1 川崎重工業㈱ 〒673 兵庫県明石市川崎町 1-1

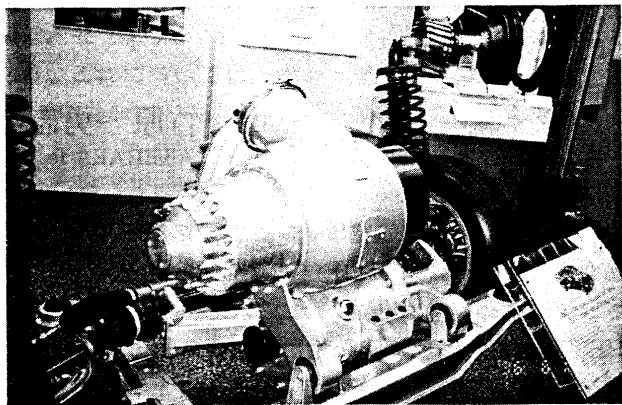


写真4 Volvo Aero 社 ハイブリッドカーガスタービン

ウェーデンの Volvo Aero, イタリアの FIAT,そして最近話題を呼んでいるオランダの OPRA 等であった。Turbomeca については、マキエラ実機カットモデルとパネルの展示であった。現在世界で唯一、稼働しているガスタービン列車(米国アムトラック)のパネル展示が誇らしげであった。Volvo からは、現在開発が進められているハイブリッドカーの実機エンジン(実体はモックアップか?),およびハイブリッドバスの模型等が展示されていた。OPRA については、かなり目立ったブースで、昨年の GTSJ 横浜大会でも公開された OP 16 実機を中心に展開されていた。また、米国勢については主なエンジンメーカーからは P&W, Allison (イギリス Centrax との共同ブース), Solar Turbine などが展示を行っていた。P&W からは独特のパイプ型ディフューザを持つ PW 100(ST-18), ベストセラー機 PT-6(ST-6) 実機カットモデル, および現在 B 777 商戦では最大のシェアを勝ち取っている PW 4000 のスケールモデル, 名機 JT 8 D の Marine, Power Plant 等への転用型である FT 8 スケールモデル等が展示されていた。Allison はイギリスの Centrax のブースで 501-K 実機カットモデルのみの展示である。Solar Turbine は現在進行中の DOE (米国エネルギー省) 所掌プロジェクトである CSGT (Ceramic Stationary Gas Turbine, Solar Centaur H を使用)計画を中心に、そのセラミック部品, 低 NO<sub>x</sub> 燃焼器が展示されており、その他はパネルにおいての紹介であった。さて、日本からは三菱重工, IHI のみの参加であり、三菱重工は 501 の 1/15 のスケールモデルと 501/701 の実機タービンプレード, ノズル, あとは現在稼働中の Power Plant の紹介パネルであった。IHI については、新開発の IM 270 の 2 段インペラ, タービンプレード, そして売り物の低 NO<sub>x</sub> 型コンバスタライナーの展示であり、その他はパネルでの紹介であった。その他目立ったところでは、カナダの Orenda 社が、旧共産圏のウクライナ製エンジンで航転型の GT 15000 (17.5 MW), GT 6000 (6.7 MW) 実機展示を行っていた。エンジン実機を展示しているメーカーの少ない中、積極的な PR を

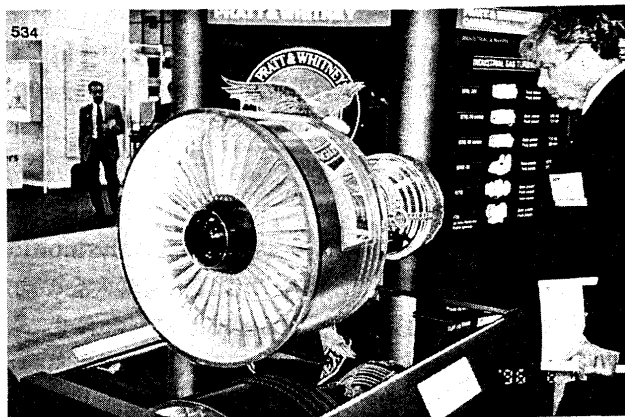


写真5 P&amp;W 社 PW 4000 ターボファンエンジンスケールモデル



写真6 三菱重工業社展示ブース

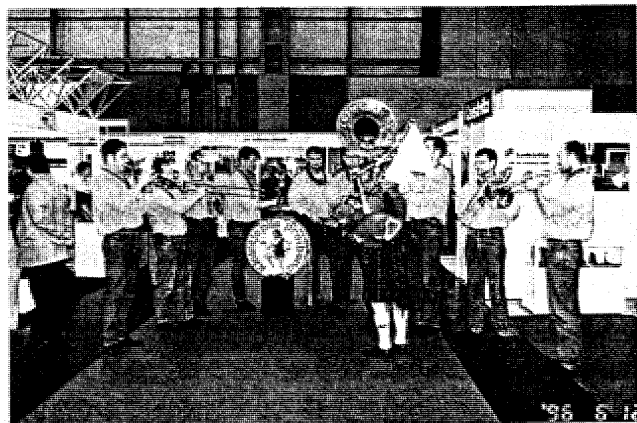


写真7 イングランド民謡吹奏キャラバン隊

行っており、世界情勢の変化に伴い、生き残りをかけた軍需から民需への転換を図ろうとする現れなのであろう。

最後になったが、会場内にはイングランド民謡の吹奏楽隊が巡回しており、各ブースの前で数々のイングランド民謡を披露し、一層のお祭り気分を盛り上げ、観客からは盛んに拍手を浴びていた。今後は、展示内容勝負でお祭り気分を盛り上げて貰いたいのもである。日本のメーカーがその一翼を担うことを期待している。

## 三菱 26 MW 級高効率ガスタービン MFT 8 を用いた コンバインドサイクル設備

岡井 正己<sup>\*1</sup>,  
OKAI Masami

上松 一雄<sup>\*1</sup>  
UEMATSU Kazuo

キーワード: 航空転用形, MFT 8, 2 軸, コンバインド, 旭化成

### 1. はじめに

航空転用形ガスタービン MFT 8 は三菱重工によって超高速物流船テクノスーパーライナー (TSL と略) 主機として開発され, '94~'95 年度の 2 年間の運航実績を経て, '97 年度からは静岡県フェリーとして運航が予定されている。今回, この MFT 8 が旭化成(株)川崎製造所へ納入され '97 年度よりコンバインドサイクル発電にて商業運転される運びとなった。この詳細を紹介する。

### 2. MFT 8 ガスタービン

MFT 8 は P & W 社製ガス発生機 GG 8 と三菱重工開発のパワータービンとを組み合わせたものである。

信頼性のネックとなる高温部品を有する GG 8 はベースの航空エンジン JT 8 D が 14,500 台の実績をもち, 用途に応じ 4 種類のパワータービンと共に既に発電用を中心に '92 年からの約 4 年で約 40 台の実績を上げ, 好評を得ている。

パワータービンは TSL 向けに開発したもので, 3 台の工場実負荷試験の結果, 軽量 3 段ロータとオーバル変形のないリングケーシングによる安定した軸振動特性と高効率を実証した。

この航空転用形ガスタービンの主要目を表 1 に示す。

### 3. 航空転用形ガスタービンの特徴

航空転用形ガスタービンは単体で高効率とされるが, コンバインドサイクルにすると必ずしも効率は高くない。客先の出力ニーズにより, ラインナップした機種出力の中で最適であればコンバインドサイクルとしても高効率となる。今回の旭化成(株)の場合には丁度適した出力となり, 選定された。

航空転用形ガスタービンはヘビーデューティー形に比べ, とかく耐久性に劣り, ガスタービン翼の耐食性に問題があることが言われている。しかし, GG 8 にはこの評判は当たらず, 競合他社の場合に比べても 14,500 台の実績を持つ航空エンジン JT 8 D からの転用で, 基本構造に堅実な設計を維持し, それでいて, 高い性能を有すべく翼には従来の翼よりも耐久性に優れたシャイプトフィル

表 1 MFT 8 主要目

| 主 要 目                     |                                                   |
|---------------------------|---------------------------------------------------|
| 名称                        | 航空転用形G/T MFT8                                     |
| 形式                        | オープンサイクル 3 軸G/T                                   |
| ISOベース定格出力                | 35,000ps (船用, 液体燃料)<br>26,780kW (陸用, 天然ガス)        |
| ISO熱効率 (LHV)<br>(No Loss) | 162.8g/ps·hr (船用, 液体燃料)<br>38.66% (陸用, 天然ガス)      |
| 回転数                       | 1000~5000 (定格) rpm                                |
| 排ガス温度                     | 467°C                                             |
| 使用燃料                      | ガス燃料, 液体燃料                                        |
| 低NOx方式                    | ドライ低NOx燃焼器又は水噴射                                   |
| 潤滑油                       | 合成油 (ASTO560, MOBIL256)                           |
| 起動方式                      | 油圧又は空圧                                            |
| 構造                        | 圧縮機                                               |
|                           | 低圧 軸流 8 段<br>高圧 軸流 7 段                            |
|                           | 燃焼器                                               |
|                           | キャニュラー 9 個                                        |
| タービン                      | 高圧 軸流 1 段<br>低圧 軸流 2 段                            |
|                           | パワータービン                                           |
| 軸受タイプ                     | 軸流 3 段                                            |
|                           | ころがり (ローラ, ボール) 軸受                                |
| パッケージ寸法                   | 8.8m*2.65m*2.6m(H) (船用)<br>8.8m*3.2m*3.5m(H) (陸用) |
| パッケージ重量                   | 16ton (船用), 30ton (陸用)                            |
| 回転方向                      | 出力軸側から見て右回り *1                                    |

\*1: 必要に応じて逆方向も可, ツインバックも可。

ム冷却など最新の冷却技術を適用している。また, 耐食性・耐酸化性においては, タービン入口温度を同出力の他社エンジンに比べ 50°C 以上低く抑えていると推定されるが, 高効率は維持され, かつ P & W 社の TBC など他社を特許で抑えた優れたコーティング技術が信頼性を高めている。P & W 社は GG 8 の前身である GG 4 で長時間運用が常識の産業用ガスタービンの分野にて 1400 台の経験を有し, GG 8 にその技術を適用している。

また, 航空転用形ガスタービンは発停回数の影響を無視でき DSS 運用に優れる。ユーザーにとってはメンテナンス体制も重要で, 国内にメンテナンス工場は不可欠である。三菱重工は GG 8 について P & W 社よりオーバーホール工場に認定され, 実負荷試験による組立後の確認体制も確立している。

原稿受付 1996 年 7 月 10 日

\*1 三菱重工業(株) 〒676 兵庫県高砂市荒井町新浜 2-1-1

#### 4. 旭化成㈱向けコンバインドサイクル設備

客先の要求に従い、外気温度 15°C においてガスタービン 26,200 kW・蒸気タービン 8,600 kW の合計 34,800 kW のコンバインドサイクル発電設備を建設中である。試運転は '97 年 1 月より開始され、'97 年度より運開予定で運開後は年間連続運転される予定である。NOx 低減のために水噴射にて 15%O<sub>2</sub> 換算 25 ppm を達成する。発電設備の配置は敷地に合わせガスタービンとボイラを平

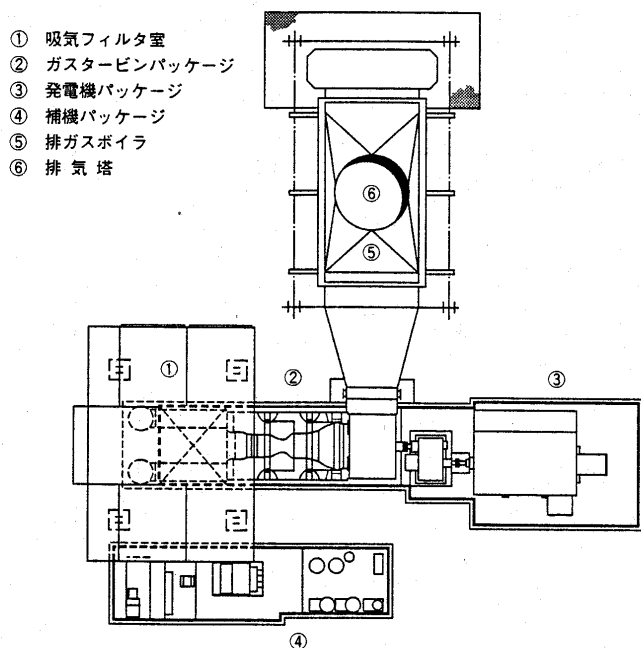


図1 標準コンバインドプラント配置図

行に配置しダクトで繋ぐ設計とした。なお、標準的には図1に示すように直角に配置する。ガスタービンパッケージ断面図は図2に示す通りで、発電機騒音低減などの目的で発電機回転数は 1500 rpm とし、パワータービン回転数 5000 rpm を減速器で減速し、長時間運転に備えてメンテナンス性を特に重視したエンクロージャ/機器設計及び配置を行った。

昨年 12 月の電気事業法改正で、大型の 2 軸形航空転用形ガスタービンも電気事業法では一体のガスタービンとして解釈されるようになり、定期検査において従来はパワータービンのみが対象との解釈があったのに対して、ガス発生機が含まれることが明記された。また定検間隔も約 1 年延ばされ 2 年運転が一般化する方向である。MFT 8 はパワータービンを含む全ケーシングがリング構造であるため振動安定・高効率である点も定検間隔延長にマッチしている。定検時は MFT 8 予備機を三菱社内に保有しており、届出により使用可能となる見通しである。

来年度より始まる MFT 8 の年間連続運転については、以上の P & W 社のガス発生機技術と三菱の多くの実績に基づくパワータービン及びコンバインド技術を背景に万全を期し、必ずや客先の信頼に答えて運転実績を上げるものと考えている。

#### 引用文献

- (1) 上松他, 三菱技報 Vol. 32 No. 1 (1995)
- (2) 上松他, '95 横浜 IGTC III-211

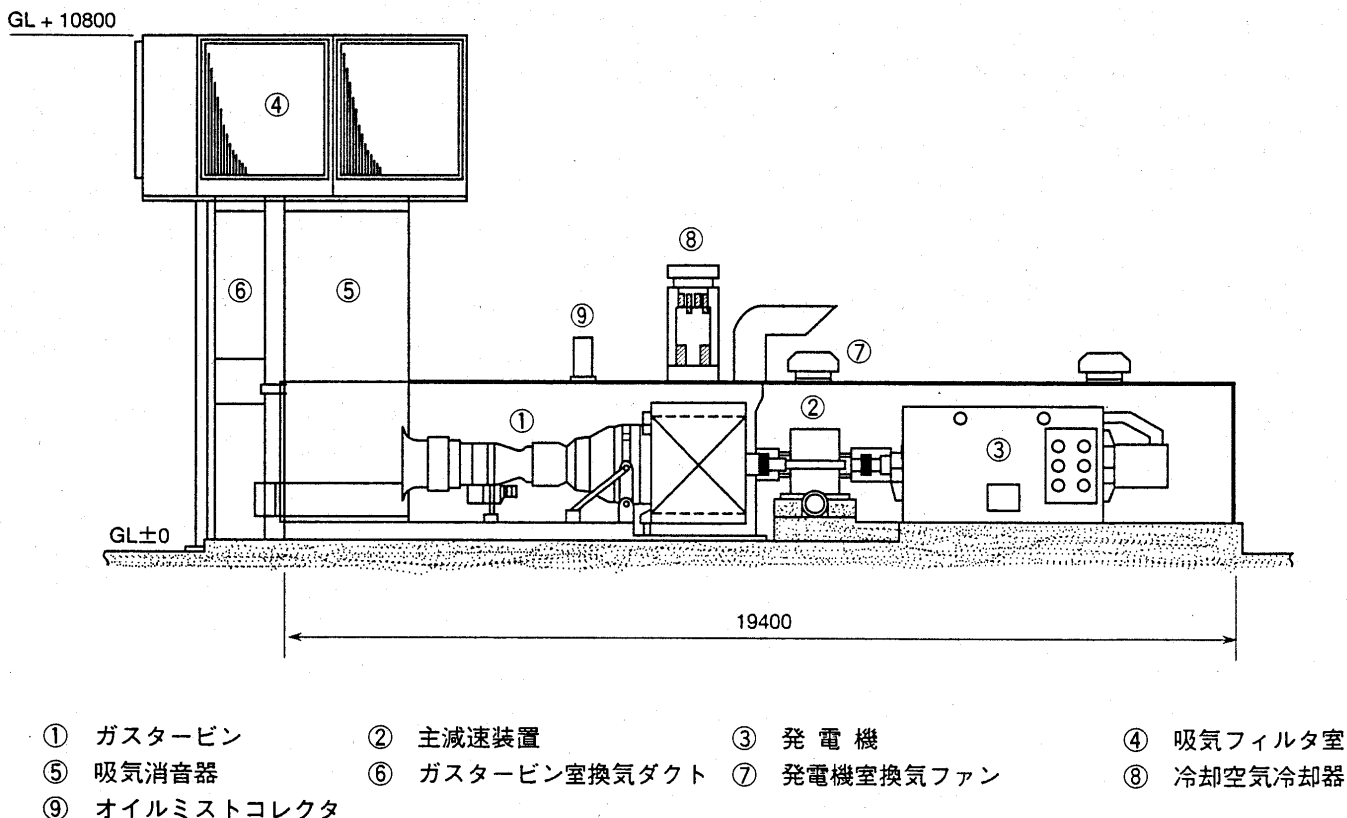


図2 旭化成㈱ MFT 8 パッケージ断面図

## 第 24 回定期講演会報告

(株)荏原総合研究所 丸田 芳幸

MARUTA Yoshiyuki

1996年5月29日に早稲田大学の国際会議場において第24回ガスタービン定期講演会が開催された。石炭ガス化発電技術のオーガナイズドセッションの5件と今回から新しく始めたスチューデントセッションの8件の発表を含めて、全体で33件の研究発表が行われた。一般セッションの中でも燃焼関係の発表が6件あり、熱流体の数値解析関連の発表も6件あって、それぞれの発表に対する中身の濃い質疑応答が繰り返されていた。昼過ぎ最初の特別講演では、先進材料利用ガスジェネレータ研究所の弘松幹雄氏に「先進材料利用ガスジェネレータ技術開発の現状」のテーマでガスタービンの最新の開発動向を解説して頂いた。ガスタービンの需要拡大のためには低燃費化、小型・軽量化、環境適合化が不可欠であり、そのためにコアになるガスジェネレータを高温・高圧・高速化する先進材料の利用が必要である。その技術確立のためのAMGプロジェクトの現状と将来のガスジェネレータの姿に関して分かりやすく解説して頂き、好評であった。オーガナイズドセッションの石炭ガス化発電技術というテーマは、ガスタービンの需要を拡大するために異なる分野の研究者・技術者がジョイントして技術交流する課題である。実用化に向けて、複合発電技術全体の開発課題の中でのガスタービンの位置付けと燃焼技術の研究の最新状況などが発表された。今後もガスタービンを応用する技術分野とのジョイントしたようなオーガナイズドセッションが企画されることで、参加者

や会員の増加につなげることができそうである。会員増の一つの手段として今回から新しく始めたスチューデントセッションは、ガスタービン関連の研究を行なっている大学の研究室から、修士過程の研究に相当するような課題の成果発表を若手研究者・技術者にして頂いた。発表に対して聴講者からも好意的な視点から様々な有効なアドバイスが出され、一般セッションとは趣が多少異なるが活発なセッションになった。講演会の参加者数は164名で前回の参加者数より多く、従来の定期講演会の場所に比べると格段に発表しやすく、質疑討論しやすい会場であったので、朝早くから夕方まで熱心に聴講している参加者が多く見られた。来年も同じく早稲田大学の国際会議場を予約できたとのことであり、参加者がさらに増えても十分に活発な定期講演会を期待できそうである。講演会終了後は恒例の懇親会が早稲田大学内の大隈ガーデンハウスにて引き続き開催された。やはり従来の定期講演会の懇親会に比べると雰囲気も料理も良く、時間ギリギリまで数多くの出席者が歓談していた。この懇親会の席上で、今年の秋季講演会の会場である宮崎の紹介や、スチューデントセッションを定期講演会の常設にしたい旨のコメントが大田学術講演会委員長から伝えられた。例年になく充実した感じを得たので、今後も多数の会員が講演会に参加されることを希望するものである。  
(学術講演会委員)

---

 本会協賛・共催行事

| 会 合 名              | 開催日・会場                               | 詳細問合せ先                                                                 |
|--------------------|--------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| 第4回機械材料・材料加工技術講演会  | H 8/11/9<br>東京工業大学                   | 東京工業大学工学部無機材料工学科 松尾陽太郎、または機械科学科 大竹尚登<br>TEL 03-5734-2521, 03-5734-2504 |
| 第20回触媒燃焼に関するシンポジウム | H 8/11/22<br>エスペック情報ビル21F<br>会議室 A   | 九州大学大学院総合理工学研究科材料開発工学専攻 荒井弘通<br>TEL 092-583-7525                       |
| 第10回数値流体力学シンポジウム   | H 8/12/19-21<br>中央大学理工学部<br>春日キャンパス  | 宇宙科学研究所宇宙輸送研究系 藤井孝蔵<br>TEL 0427-51-3911                                |
| 第5回微粒化シンポジウム       | H 8/12/24-25<br>慶応義塾大学 理工学部<br>矢上台校舎 | 日本微粒化学会事務局 慶応義塾大学理工学部機械工学科 徳岡直静<br>TEL 045-563-1141 (3196)             |
| 第37回航空原動機・宇宙推進講演会  | H 9/1/27<br>神戸商工会議所会館                | 日本航空宇宙会<br>TEL 03-3501-0463                                            |

## 第 24 回定期講演会報告

(株)荏原総合研究所 丸田 芳幸

MARUTA Yoshiyuki

1996年5月29日に早稲田大学の国際会議場において第24回ガスタービン定期講演会が開催された。石炭ガス化発電技術のオーガナイズドセッションの5件と今回から新しく始めたスチューデントセッションの8件の発表を含めて、全体で33件の研究発表が行われた。一般セッションの中でも燃焼関係の発表が6件あり、熱流体の数値解析関連の発表も6件あって、それぞれの発表に対する中身の濃い質疑応答が繰り返されていた。昼過ぎ最初の特別講演では、先進材料利用ガスジェネレータ研究所の弘松幹雄氏に「先進材料利用ガスジェネレータ技術開発の現状」のテーマでガスタービンの最新の開発動向を解説して頂いた。ガスタービンの需要拡大のためには低燃費化、小型・軽量化、環境適合化が不可欠であり、そのためにコアになるガスジェネレータを高温・高圧・高速化する先進材料の利用が必要である。その技術確立のためのAMGプロジェクトの現状と将来のガスジェネレータの姿に関して分かりやすく解説して頂き、好評であった。オーガナイズドセッションの石炭ガス化発電技術というテーマは、ガスタービンの需要を拡大するために異なる分野の研究者・技術者がジョイントして技術交流する課題である。実用化に向けて、複合発電技術全体の開発課題の中でのガスタービンの位置付けと燃焼技術の研究の最新状況などが発表された。今後もガスタービンを応用する技術分野とのジョイントしたようなオーガナイズドセッションが企画されることで、参加者

や会員の増加につなげることができそうである。会員増の一つの手段として今回から新しく始めたスチューデントセッションは、ガスタービン関連の研究を行なっている大学の研究室から、修士過程の研究に相当するような課題の成果発表を若手研究者・技術者にして頂いた。発表に対して聴講者からも好意的な視点から様々な有効なアドバイスが出され、一般セッションとは趣が多少異なるが活発なセッションになった。講演会の参加者数は164名で前回の参加者数より多く、従来の定期講演会の場所に比べると格段に発表しやすく、質疑討論しやすい会場であったので、朝早くから夕方まで熱心に聴講している参加者が多く見られた。来年も同じく早稲田大学の国際会議場を予約できたとのことであり、参加者がさらに増えても十分に活発な定期講演会を期待できそうである。講演会終了後は恒例の懇親会が早稲田大学内の大隈ガーデンハウスにて引き続き開催された。やはり従来の定期講演会の懇親会に比べると雰囲気も料理も良く、時間ギリギリまで数多くの出席者が歓談していた。この懇親会の席上で、今年の秋季講演会の会場である宮崎の紹介や、スチューデントセッションを定期講演会の常設にしたい旨のコメントが大田学術講演会委員長から伝えられた。例年になく充実した感じを得たので、今後も多数の会員が講演会に参加されることを希望するものである。  
(学術講演会委員)

---

 本会協賛・共催行事

| 会 合 名              | 開催日・会場                               | 詳細問合せ先                                                                 |
|--------------------|--------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| 第4回機械材料・材料加工技術講演会  | H 8/11/9<br>東京工業大学                   | 東京工業大学工学部無機材料工学科 松尾陽太郎、または機械科学科 大竹尚登<br>TEL 03-5734-2521, 03-5734-2504 |
| 第20回触媒燃焼に関するシンポジウム | H 8/11/22<br>エスペック情報ビル21F<br>会議室 A   | 九州大学大学院総合理工学研究科材料開発工学専攻 荒井弘通<br>TEL 092-583-7525                       |
| 第10回数値流体力学シンポジウム   | H 8/12/19-21<br>中央大学理工学部<br>春日キャンパス  | 宇宙科学研究所宇宙輸送研究系 藤井孝蔵<br>TEL 0427-51-3911                                |
| 第5回微粒化シンポジウム       | H 8/12/24-25<br>慶応義塾大学 理工学部<br>矢上台校舎 | 日本微粒化学会事務局 慶応義塾大学理工学部機械工学科 徳岡直静<br>TEL 045-563-1141 (3196)             |
| 第37回航空原動機・宇宙推進講演会  | H 9/1/27<br>神戸商工会議所会館                | 日本航空宇宙会<br>TEL 03-3501-0463                                            |

## 第1回見学会報告 (株)川重ガスタービン研究所

川崎重工業(株) 江田 武司  
EDA Takeshi

平成8年6月21日(金)、平成8年度第1回見学会が千葉県袖ヶ浦市にある(株)川重ガスタービン研究所にて開催されました。参加者は40名、ユーザー、メーカー、各種研究所と多方面に渡り、関心の高さが感じられました。

集合場所はJR内房線姉ヶ崎駅。出発は10分遅れでしたが学会手配のバスに乗り、(株)川重ガスタービン研究所迄の30分間、内房の海を眺めながらの旅を楽しみました。

13時55分開会し益田企画委員長より挨拶を行い、続いて(株)川重ガスタービン研究所を代表して阿部常務取締役より挨拶及び研究所概要、運転実績についての説明を頂きました。その後、ビデオ「プラント解説」の上映があり、川重のR&D概要、そして同社が開発した超音波フィルタ洗浄装置についての説明を升尾部長、海老名課長より頂きました。

見学は三班に分かれて実施され、各種パネル、1段動翼見本、ガスタービンの1/20カットモデル、中央制御装置、燃料ガス受入設備、主変圧器、受変電設備、ガスタービン室、ガスタービン、発電機、ガスタービン潤滑油装置、燃料制御ブロック、超音波式吸気フィルター自動洗浄装置、付帯設備(脱硝装置、工業用水ろ過装置、燃料ガス減圧加温装置など)を見せて頂きかつ懇切丁寧なる説明を頂きました。

同研究所のガスタービンはABB社から技術導入し国産化した川崎-ABB GT 13 E-2型と呼ばれ、都市ガスを燃料とし運転されており、サイト条件(大気温度: 30°C, 吸気圧損/排気圧損: 10 mbar/15 mbar)で発電端出力が144.1 MW, LHV基準の発電端効率は33.9%, バーナー型式は予混合燃焼式のEVバーナーを装備し排ガスのNO<sub>x</sub>値は16% O<sub>2</sub>基準で21ppm以下(ドライ)



のものです。同社は、ABB社と共同研究を行っており、15年間の研究テーマとして 1)信頼性向上・RAM(信頼性、稼働率、保守)システム、高温部品の余寿命診断技術 2)効率向上・ガス温度高温化に対応 3) NO<sub>x</sub>低減・9 ppm(16% O<sub>2</sub>)目標を掲げ、これまでに 1) DAS(データ収録装置)の設置 2) 高温ガス温度分布の改善、高温部品温度の確認 3) NO<sub>x</sub>低減、仕様 21 ppm(16% O<sub>2</sub>) → 17 ppm(95年) → 15 ppm(96年) 4) タービン1段動翼のRainbow Test 及び余寿命診断データベースの作成等の成果を挙げています。

見学会終了後の質疑応答では、質問が相次ぎ、予定時間を30分オーバーする程、大変有意義な見学会となりました。

最後になりましたが、当日、詳細に渡る資料、且つ貴重な試験データを揃え、当見学会の為に万全の準備を頂き懇切丁寧なご対応を頂きました同研究所の関係者の皆様に深く感謝申し上げます。(企画委員)

## 会員名簿調査用紙についてのお願い

学会誌6月号(No.93)巻末に綴じ込みで会員名簿調査用紙を入れましたが、返却が少なく困っております。7月末〆切でしたが、受け付けておりますので至急ご返送下さいますようお願い致します。

## 第1回見学会報告 (株)川重ガスタービン研究所

川崎重工業(株) 江田 武司  
EDA Takeshi

平成8年6月21日(金)、平成8年度第1回見学会が千葉県袖ヶ浦市にある(株)川重ガスタービン研究所にて開催されました。参加者は40名、ユーザー、メーカー、各種研究所と多方面に渡り、関心の高さが感じられました。

集合場所はJR内房線姉ヶ崎駅。出発は10分遅れでしたが学会手配のバスに乗り、(株)川重ガスタービン研究所迄の30分間、内房の海を眺めながらの旅を楽しみました。

13時55分開会し益田企画委員長より挨拶を行い、続いて(株)川重ガスタービン研究所を代表して阿部常務取締役より挨拶及び研究所概要、運転実績についての説明を頂きました。その後、ビデオ「プラント解説」の上映があり、川重のR&D概要、そして同社が開発した超音波フィルタ洗浄装置についての説明を升尾部長、海老名課長より頂きました。

見学は三班に分かれて実施され、各種パネル、1段動翼見本、ガスタービンの1/20カットモデル、中央制御装置、燃料ガス受入設備、主変圧器、受変電設備、ガスタービン室、ガスタービン、発電機、ガスタービン潤滑油装置、燃料制御ブロック、超音波式吸気フィルター自動洗浄装置、付帯設備(脱硝装置、工業用水ろ過装置、燃料ガス減圧加温装置など)を見せて頂きかつ懇切丁寧なる説明を頂きました。

同研究所のガスタービンはABB社から技術導入し国産化した川崎-ABB GT 13 E-2型と呼ばれ、都市ガスを燃料とし運転されており、サイト条件(大気温度: 30°C, 吸気圧損/排気圧損: 10 mbar/15 mbar)で発電端出力が144.1 MW, LHV基準の発電端効率は33.9%, バーナー型式は予混合燃焼式のEVバーナーを装備し排ガスのNO<sub>x</sub>値は16% O<sub>2</sub>基準で21ppm以下(ドライ)



のものです。同社は、ABB社と共同研究を行っており、15年間の研究テーマとして 1)信頼性向上・RAM(信頼性、稼働率、保守)システム、高温部品の余寿命診断技術 2)効率向上・ガス温度高温化に対応 3) NO<sub>x</sub>低減・9 ppm(16% O<sub>2</sub>)目標を掲げ、これまでに 1) DAS(データ収録装置)の設置 2) 高温ガス温度分布の改善、高温部品温度の確認 3) NO<sub>x</sub>低減、仕様 21 ppm(16% O<sub>2</sub>) → 17 ppm(95年) → 15 ppm(96年) 4) タービン1段動翼のRainbow Test及び余寿命診断データベースの作成等の成果を挙げています。

見学会終了後の質疑応答では、質問が相次ぎ、予定時間を30分オーバーする程、大変有意義な見学会となりました。

最後になりましたが、当日、詳細に渡る資料、且つ貴重な試験データを揃え、当見学会の為に万全の準備を頂き懇切丁寧なご対応を頂きました同研究所の関係者の皆様に深く感謝申し上げます。(企画委員)

### 会員名簿調査用紙についてのお願い

学会誌6月号(No.93)巻末に綴じ込みで会員名簿調査用紙を入れましたが、返却が少なく困っております。7月末〆切でしたが、受け付けておりますので至急ご返送下さいますようお願い致します。

## 第2回ガスタービン教育シンポジウム報告

(株)豊田中央研究所 杉山 勝彦

SUGIYAMA Katuhiko

平成8年7月18日、19日の2日間にわたり、工学系学生を対象とした2回目のガスタービン教育シンポジウムが、昨年の関東地区(茨城県ひたちなか市)から場所を関西地区に変えて、兵庫県明石市の川崎重工業(株)明石工場内研修センターにて開催された。

本シンポジウムは先端工学技術の結晶ともいえるべきガスタービンに関心を持ってもらおうとの目的で、実際にガスタービンに直接触れながらの講演と研究開発、製造工場の見学とを併せた企画となっている。今回は26名(含女性2名)の大学院生、学部生の参加を得て実施された。講演題目、工場見学は昨年と同様であるが、その順序は学生の理解のしやすさに配慮し、1日目に講演:ガスタービン概論と工場見学、2日目に講演:ガスタービン各論3件に変更した。

1日目午前は企画委員会の益田委員長による開会の挨拶に引き続いて、(1)ガスタービン概論(竹矢一雄氏)の講演がされた。昼食時にはガスタービン関連のビデオの放映があり、予備知識が入った午後、川崎重工業(株)明石工場を見学した。見学に先立ち、汎用ガスタービン事業部杉本部長より明石工場の概要紹介があり、2グループに分かれて、ガスタービン実機試験の状況、汎用ガスタービンの製造工場では20kWから6,000kW用の各種エンジン及びガーピングカップリング、空冷翼の高度な部品や、バランス装置、スピントレスト装置を実際に目のあ

たりに見、また最先端のセラミックガスタービンにも触れ、さらに現在、工場の電力供給に稼働中のチェンサイクル発電設備等、約3時間、じっくりと見学した。

夜の懇親会では、大槻幸雄ガスタービン学会会長も出席され、家族的な雰囲気の中での学生と講師、企画委員及び学生相互の交流が行われた。

2日目は、ガスタービンの各論の講演、(2)ガスタービンと流体工学(青木素直氏)、(3)ガスタービンと伝熱工学(手島清美氏)、(4)ガスタービンと燃焼工学(北嶋潤一氏)が午前、午後にわたって行われた。1日目の概論、工場見学時に比べ、2日目の各論では質問が少なかった。参加学生の興味が自身の研究テーマに限られているようである。

また、参加学生の大学でのガスタービンに関する講義の実施状況は、講演(2)の中での挙手による調査では3分の1程度で非常に少ないことがわかり、本シンポジウムがその一端を果たしているという点で、特に実際のガスタービンを教材とし、その製造工場を教場とする点で非常に意義ある事もわかった。

このほか、参加学生の方々にはアンケートに協力をお願いしており、今回の企画に反映したいと考える。

最後に、講演、資料準備に貴重な時間をさいて頂いた講師の方々、講演会場の準備、工場見学の受入れにあたり、十分な準備と対応を頂いた川崎重工業(株)の方々に深く感謝申し上げます。(企画委員)

## ▶ 入 会 者 名 簿 ◀

## 正会員

|    |            |    |            |
|----|------------|----|------------|
| 坂本 | 一也(ホンシニア)  | 市川 | 国弘(日立製作所)  |
| 赤松 | 史光(大阪大学)   | 加藤 | 一郎(社会福祉法人) |
| 宇野 | 威信(石川島播磨)  | 田口 | 秀之(航空宇宙)   |
| 坪井 | 浩司(三井造船)   | 梶谷 | 幸正(三井造船)   |
| 福田 | 英雄(川崎重工業)  | 富永 | 潤(日本発条)    |
| 遠井 | 充子(東芝)     | 藤岡 | 昌則(三菱重工業)  |
| 柴田 | 貴範(東京大学)   | 江波 | 貴文(日立製作所)  |
| 火浦 | 大輔(三菱重工業)  | 檜山 | 貴志(三菱重工業)  |
| 桜井 | 皓一(クリーン工房) | 鈴木 | 敏和(東芝)     |
| 村上 | 透(東芝)      | 大築 | 康彦(東芝)     |
| 佐伯 | 祐志(東芝)     | 正木 | 大作(川崎重工業)  |
| 中村 | 良也(石川島播磨)  | 澤路 | 亜樹夫(山洋電気)  |

## 学生会員から正会員へ

|    |             |    |           |
|----|-------------|----|-----------|
| 石塚 | 建治(千葉テレビ)   | 市田 | 一将(三菱重工業) |
| 土屋 | 直木(東京大学工学部) |    |           |

## 学生会員

|     |            |    |            |
|-----|------------|----|------------|
| 狩谷  | 信孝(大阪府立大学) | 斎藤 | 秀男(東海大学)   |
| 長谷川 | 晃(早稲田大学)   | 安福 | 先人(早稲田大学)  |
| 伊佐野 | 宜之(早稲田大学)  | 田島 | 嗣久(早稲田大学)  |
| 渡辺  | 裕章(早稲田大学)  | 佐波 | 泰之(早稲田大学)  |
| 立石  | 純一郎(拓殖大学)  | 吉富 | 守(大阪府立大学)  |
| 矢木  | 清之(東京商船大学) | 石田 | 和彦(東京商船大学) |

## 第2回ガスタービン教育シンポジウム報告

(株)豊田中央研究所 杉山 勝彦

SUGIYAMA Katuhiko

平成8年7月18日、19日の2日間にわたり、工学系学生を対象とした2回目のガスタービン教育シンポジウムが、昨年の関東地区(茨城県ひたちなか市)から場所を関西地区に変えて、兵庫県明石市の川崎重工業(株)明石工場内研修センターにて開催された。

本シンポジウムは先端工学技術の結晶ともいえるべきガスタービンに関心を持ってもらおうとの目的で、実際にガスタービンに直接触れながらの講演と研究開発、製造工場の見学とを併せた企画となっている。今回は26名(含女性2名)の大学院生、学部生の参加を得て実施された。講演題目、工場見学は昨年と同様であるが、その順序は学生の理解のしやすさに配慮し、1日目に講演:ガスタービン概論と工場見学、2日目に講演:ガスタービン各論3件に変更した。

1日目午前は企画委員会の益田委員長による開会の挨拶に引き続いて、(1)ガスタービン概論(竹矢一雄氏)の講演がされた。昼食時にはガスタービン関連のビデオの放映があり、予備知識が入った午後、川崎重工業(株)明石工場を見学した。見学に先立ち、汎用ガスタービン事業部杉本部長より明石工場の概要紹介があり、2グループに分かれて、ガスタービン実機試験の状況、汎用ガスタービンの製造工場では20kWから6,000kW用の各種エンジン及びガバリングカップリング、空冷翼の高度な部品や、バランス装置、スピントレスト装置を実際に目のあ

たりに見、また最先端のセラミックガスタービンにも触れ、さらに現在、工場の電力供給に稼働中のチェンサイクル発電設備等、約3時間、じっくりと見学した。

夜の懇親会では、大槻幸雄ガスタービン学会会長も出席され、家族的な雰囲気の中での学生と講師、企画委員及び学生相互の交流が行われた。

2日目は、ガスタービンの各論の講演、(2)ガスタービンと流体工学(青木素直氏)、(3)ガスタービンと伝熱工学(手島清美氏)、(4)ガスタービンと燃焼工学(北嶋潤一氏)が午前、午後にわたって行われた。1日目の概論、工場見学時に比べ、2日目の各論では質問が少なかった。参加学生の興味が自身の研究テーマに限られているようである。

また、参加学生の大学でのガスタービンに関する講義の実施状況は、講演(2)の中での挙手による調査では3分の1程度で非常に少ないことがわかり、本シンポジウムがその一端を果たしているという点で、特に実際のガスタービンを教材とし、その製造工場を教場とする点で非常に意義ある事もわかった。

このほか、参加学生の方々にはアンケートに協力をお願いしており、今回の企画に反映したいと考える。

最後に、講演、資料準備に貴重な時間をさいて頂いた講師の方々、講演会場の準備、工場見学の受入れにあたり、十分な準備と対応を頂いた川崎重工業(株)の方々に深く感謝申し上げます。(企画委員)

## ▶ 入会者名簿 ◀

## 正会員

|    |            |    |            |
|----|------------|----|------------|
| 坂本 | 一也(ホンシニア)  | 市川 | 国弘(日立製作所)  |
| 赤松 | 史光(大阪大学)   | 加藤 | 一郎(社会福祉法人) |
| 宇野 | 威信(石川島播磨)  | 田口 | 秀之(航空宇宙)   |
| 坪井 | 浩司(三井造船)   | 梶谷 | 幸正(三井造船)   |
| 福田 | 英雄(川崎重工業)  | 富永 | 潤(日本発条)    |
| 遠井 | 充子(東芝)     | 藤岡 | 昌則(三菱重工業)  |
| 柴田 | 貴範(東京大学)   | 江波 | 貴文(日立製作所)  |
| 火浦 | 大輔(三菱重工業)  | 檜山 | 貴志(三菱重工業)  |
| 桜井 | 皓一(クリーン工房) | 鈴木 | 敏和(東芝)     |
| 村上 | 透(東芝)      | 大築 | 康彦(東芝)     |
| 佐伯 | 祐志(東芝)     | 正木 | 大作(川崎重工業)  |
| 中村 | 良也(石川島播磨)  | 澤路 | 亜樹夫(山洋電気)  |

## 学生会員から正会員へ

|    |             |    |           |
|----|-------------|----|-----------|
| 石塚 | 建治(千葉テレビ)   | 市田 | 一将(三菱重工業) |
| 土屋 | 直木(東京大学工学部) |    |           |

## 学生会員

|     |            |    |            |
|-----|------------|----|------------|
| 狩谷  | 信孝(大阪府立大学) | 斎藤 | 秀男(東海大学)   |
| 長谷川 | 晃(早稲田大学)   | 安福 | 先人(早稲田大学)  |
| 伊佐野 | 宜之(早稲田大学)  | 田島 | 嗣久(早稲田大学)  |
| 渡辺  | 裕章(早稲田大学)  | 佐波 | 泰之(早稲田大学)  |
| 立石  | 純一郎(拓殖大学)  | 吉富 | 守(大阪府立大学)  |
| 矢木  | 清之(東京商船大学) | 石田 | 和彦(東京商船大学) |

## 第 25 回ガスタービンセミナー開催のお知らせ

第 25 回ガスタービンセミナーを下記要領にて開催致します。

今回は、「ユーザーオリエントなガスタービンを目指して」を主題とし、副題として規制緩和に対応した発電システムの運用および新しい時代へ向けてのユーザーとメーカーの接点の在り方について省エネ対策、環境対策を加味した運用技術及び設計、維持管理技術について講演を予定しておりますので、奮ってご参加下さい。

1. 日 時: 1997 年 1 月 23 日(木), 24 日(金) 9:30~15:50
2. 場 所: 東京ガス㈱本社 2 階大会議室
3. テー マ: 「ユーザーオリエントなガスタービンを目指して」

## サブテーマ

- ・規制緩和に対応した発電システムの運用
- ・新しい時代へ向けてのユーザーとメーカーの接点の在り方

## 4. 内 容:

- 1 月 23 日 ・電気事業法の保安規制運用合理化  
 ・大規模発電システムの運用について  
 ・中規模発電システムの運用について  
 ・小規模発電システムの運用について

- 1 月 24 日 ・ジェットエンジンのプロダクトサポートの事例と将来  
 ・ジェットエンジンのエアライン整備とメーカーの対応の現状と課題  
 ・大型ガスタービンのメーカーの対応  
 ・中小型ガスタービンのメーカーの対応

## 5. 参加要領:

## (1) 参加費 (資料代含む)

- |              |         |                   |
|--------------|---------|-------------------|
| 主催および協賛団体正会員 | 2 日間    | 25,000 円          |
|              | 1 日のみ   | 18,000 円          |
| 学生会員         | 2,000 円 | 会員外 2 日間 35,000 円 |
|              |         | 1 日のみ 25,000 円    |

## (2) 申込方法

所属・氏名・加盟学協会名 (GT 学会の場合は会員番号) とを後日送付の申込用紙に明記の上 FAX か郵送で事務局まで申し込み、参加費を郵便振替、銀行振込又は現金書留にて事務局まで 1997 年 1 月 10 日までに送り下さい。

なお、当日会場にても参加費の受付を行います。

## 第 11 回ガスタービン秋季講演会・見学会 (宮崎) のお知らせ

日本ガスタービン学会 (幹事団体) と日本機械学会の共催による第 11 回ガスタービン秋季講演会・見学会を下記のように開催します。会員多数の方々の参加をお願い致します。

開催日 1996 年 11 月 7 日(木) (講演会), 8 日(金) (見学会)

開催地 宮崎市

講演会 特別講演, 一般講演

日 時: 1996 年 11 月 7 日(木) 9 時~17 時 30 分

会 場: 宮崎厚生年金会館 (JR 宮崎駅前)

宮崎市宮脇町 38-2, TEL: 0985-23-3311

- ・プログラムは次頁をご覧ください。
- ・今回は一般講演が多数になりましたので、当初予定のオーガナイズド・セッションは中止し、次回講演会で再度企画致します。
- ・講演会終了後に、同じ会場で懇親会を開催します。参加登録者は無料ですので、お誘いあわせの上お気軽にご参加下さい。(予定時刻) 6 時~8 時

## 見学会

日 時: 1996 年 11 月 8 日(木) 9 時~16 時 30 分 (予定)

宮崎空港で解散

見学先: 宮崎シーガイア・エンジニアリングシステム  
 (大規模波浪発生, ガスエンジンコジェネレーション, 高層建築能動制振, 電力集中管理等の各システム)

および、宮崎大学新キャンパス。

- ・見学会の参加は講演会参加登録者に限ります。定員は 45 名程度、先着順

## 参加登録費 (講演論文集代金を含む)

講演会 共催学会正会員 9,000 円,

学生会員 4,000 円, 会員外 12,000 円

見学会 7,000 円 (含, 入場料, 昼食代)

## ※レディースプログラム 11 月 7 日(木)

周辺地(青島, 堀切峠, サボテン公園, 鶴戸神宮等)を巡るツアーを計画します。10 月 15 日(火)\*までに予納金 5,000 円を添えて、お申し込みください。現地で実費精算します。

## 参加申込方法

往復はがきに「秋季講演会参加申込」と標記し, (1) 氏名, (2) 所属学会・会員番号・会員資格, (3) 勤務先, (4) 連絡先, (5) 見学会参加希望の有無, (6) 送金額・送金方法および送金予定日を記入し, 学会事務局あてお送

## 第 25 回ガスタービンセミナー開催のお知らせ

第 25 回ガスタービンセミナーを下記要領にて開催致します。

今回は、「ユーザーオリエントなガスタービンを目指して」を主題とし、副題として規制緩和に対応した発電システムの運用および新しい時代へ向けてのユーザーとメーカーの接点の在り方について省エネ対策、環境対策を加味した運用技術及び設計、維持管理技術について講演を予定しておりますので、奮ってご参加下さい。

1. 日 時: 1997 年 1 月 23 日(木), 24 日(金) 9:30~15:50
2. 場 所: 東京ガス㈱本社 2 階大会議室
3. テー マ: 「ユーザーオリエントなガスタービンを目指して」

## サブテーマ

- ・規制緩和に対応した発電システムの運用
- ・新しい時代へ向けてのユーザーとメーカーの接点の在り方

## 4. 内 容:

- 1 月 23 日 ・電気事業法の保安規制運用合理化  
 ・大規模発電システムの運用について  
 ・中規模発電システムの運用について  
 ・小規模発電システムの運用について

- 1 月 24 日 ・ジェットエンジンのプロダクトサポートの事例と将来  
 ・ジェットエンジンのエアライン整備とメーカーの対応の現状と課題  
 ・大型ガスタービンのメーカーの対応  
 ・中小型ガスタービンのメーカーの対応

## 5. 参加要領:

## (1) 参加費 (資料代含む)

- |              |         |                   |
|--------------|---------|-------------------|
| 主催および協賛団体正会員 | 2 日間    | 25,000 円          |
|              | 1 日のみ   | 18,000 円          |
| 学生会員         | 2,000 円 | 会員外 2 日間 35,000 円 |
|              |         | 1 日のみ 25,000 円    |

## (2) 申込方法

所属・氏名・加盟学協会名 (GT 学会の場合は会員番号) とを後日送付の申込用紙に明記の上 FAX か郵送で事務局まで申し込み、参加費を郵便振替、銀行振込又は現金書留にて事務局まで 1997 年 1 月 10 日までに送り下さい。

なお、当日会場にても参加費の受付を行います。

## 第 11 回ガスタービン秋季講演会・見学会 (宮崎) のお知らせ

日本ガスタービン学会 (幹事団体) と日本機械学会の共催による第 11 回ガスタービン秋季講演会・見学会を下記のように開催します。会員多数の方々の参加をお願いします。

開催日 1996 年 11 月 7 日(木) (講演会), 8 日(金) (見学会)

開催地 宮崎市

講演会 特別講演, 一般講演

日 時: 1996 年 11 月 7 日(木) 9 時~17 時 30 分

会 場: 宮崎厚生年金会館 (JR 宮崎駅前)

宮崎市宮脇町 38-2, TEL: 0985-23-3311

- ・プログラムは次頁をご覧ください。
- ・今回は一般講演が多数になりましたので、当初予定のオーガナイズド・セッションは中止し、次回講演会で再度企画致します。
- ・講演会終了後に、同じ会場で懇親会を開催します。参加登録者は無料ですので、お誘いあわせの上お気軽にご参加下さい。(予定時刻) 6 時~8 時

## 見学会

日 時: 1996 年 11 月 8 日(木) 9 時~16 時 30 分 (予定)

宮崎空港で解散

見学先: 宮崎シーガイア・エンジニアリングシステム  
 (大規模波浪発生, ガスエンジンコジェネレーション, 高層建築能動制振, 電力集中管理等の各システム)

および、宮崎大学新キャンパス。

- ・見学会の参加は講演会参加登録者に限ります。定員は 45 名程度、先着順

## 参加登録費 (講演論文集代金を含む)

講演会 共催学会正会員 9,000 円,

学生会員 4,000 円, 会員外 12,000 円

見学会 7,000 円 (含, 入場料, 昼食代)

## ※レディースプログラム 11 月 7 日(木)

周辺地(青島, 堀切峠, サボテン公園, 鶴戸神宮等)を巡るツアーを計画します。10 月 15 日(火)\*までに予納金 5,000 円を添えて、お申し込みください。現地で実費精算します。

## 参加申込方法

往復はがきに「秋季講演会参加申込」と標記し, (1) 氏名, (2) 所属学会・会員番号・会員資格, (3) 勤務先, (4) 連絡先, (5) 見学会参加希望の有無, (6) 送金額・送金方法および送金予定日を記入し, 学会事務局あてお送

り下さい。講演者も参加登録をお願いします。

- ・申込先 〒160 東京都新宿区西新宿 7-5-13

第3工新ビル402

(株)日本ガスタービン学会

Tel: 03-3365-0095 Fax: 03-3365-0387

- ・準備の都合上、講演会、見学会とも10月15日(火)\*までにお申し込み下さい。

- ・講演会については当日の参加登録も受け付けます。

#### 参加登録費の送金方法

参加登録費は現金書留または下記により10月22日(火)までにご送金下さい。会社名にて銀行送金される場合は、お手数でも送金予定日および送金内訳を電話またはFAXにて御一報下さい。

- ・郵便振替 00170-9-179578
- ・銀行振込 第一勧業銀行西新宿支店  
普通 No. 067-1703707

#### 講演論文集

講演論文集は講演会当日、会場でお渡します。論文集のみをご希望の方は、講演会終了後に残部を実費(4000円、送料共)にて頒布いたしますので、学会事務局までお問い合わせ下さい。

#### 《宿泊と航空便の予約について》

同時期に宮崎市にて大規模な行事が開催されるため混雑が予想されます。宿泊と航空便の予約を希望される方は、「ガスタービン秋季講演会(宮崎)」に参加する旨を告げて、下記旅行社にお申し込み下さい。

- (1) 申込受付: 10月15日(火)締切

(早めにお申し込み下さい)

- (2) 申込先: 東急観光(株)日本橋支店(担当)西並, 小堀氏  
〒103 東京都中央区日本橋室町3-4-4

JPビルB1F

Tel: 03-3242-1071 Fax: 03-3242-1075

| ホテル名               | 宿泊料金                 | 会場へのアクセス      |
|--------------------|----------------------|---------------|
| 宮交エアライン(ANAカウンタあり) | 6,800円               | 徒歩15分, バス5分   |
| 宮崎ワシントン            | 8,240円               | 徒歩20分, タクシー8分 |
| 宮崎オリエンタル           | 5,900円               | 徒歩8分          |
| 宮崎観光ホテル            | 西館19,504円, 東館28,037円 | タクシー10分       |

※宿泊料金は1泊1室(サービス料・税込み)の料金です。

- (3) 宿泊ホテル: 上記のホテルについて予約できます。

- (4) 航空便

詳細について、上記旅行社にお問い合わせ下さい。

- ※1 15名以上参加の場合の特別価格(便設定あり)の他、航空会社設定2ヶ月前予約割引も受付可。
- ※2 日本エアシステムについては、通常片道料金(27,500円)が21,800円となります。申込1名より受付可。他社便変更不可。

#### 第11回ガスタービン 秋季講演会・見学会《別途見学のご紹介》

日本鑄鍛鋼(株)(社長 丹羽高尚 元学会会長)より見学受入れの案内が参っております。宮崎よりの帰路に見学を希望される方は学会事務局まで申し込んで下さい。学会でとりまとめて見学手続きを致します。ただし、現地集合、現地解散とし、参加者各自で航空券等の手配をして下さい。

見学先: 日本鑄鍛鋼(株)戸畑工場

内容: ローター軸, タービンケーシング, 水車ランナ, 他  
〒804 北九州市戸畑中原先の浜46,

TEL 093-884-0001

日時: 1996年11月8日(金)

集合: JR戸畑駅12時50分,

解散: JR戸畑駅16時40分

(ご参考)宮崎よりのアクセスは下記のようになります。

宮崎空港より 福岡空港 JR博多 JR戸畑

9:50 → 10:35 11:23 → 12:14 ↘

羽田空港へ (特急にちりん21) 見学

21:00 ← 19:40 17:58 ← 17:08 ↙

(特急にちりん36)

関西方面へ ← (小倉駅より新幹線) ←

申込: 準備の都合上、9月30日(月)までに、学会あて氏名、勤務先、所属、連絡先等をFAXしてください。

(注)\* 会誌6月号とニュースレターでは9月30日としましたが、変更致します。

## 第11回ガスタービン秋季講演会(宮崎) プログラム

(一般講演 講演時間15分 討論7分、\*印 講演者、連名者の所属が省略されている場合は後者と同じです。)

| 第1室   |                                                                                | 第2室   |                                                                                              | 第3室   |                                                                                                                                              |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 9:20  | 《一般講演》空力                                                                       | 9:20  | 《一般講演》伝熱                                                                                     | 9:20  | 《一般講演》CGT I                                                                                                                                  |
| A-1   | 超音速ジェット騒音低減に及ぼすタブの形状効果<br>*小林 紘(航技研)、今井俊爾(早大院)、<br>生沼秀司、武田克巳(航技研)、大田英輔(早大)     | B-1   | タービン溝付きシユラウド面の熱伝達特性<br>*小幡正一(石川島播磨重工)、熊田雅弥<br>(岐阜大工)、伊地知伸彰(石川島播磨重工)、<br>横井俊之(岐阜大院)           | C-1   | 自動車用CGT触媒燃焼技術の開発<br>—複合触媒燃焼器の開発—<br>*木村武清、奥戸 淳(川崎重工)、吉田祐作<br>(JARI)、相澤幸雄(日本石油)、松本寛人<br>永野久司(日本石油精製)、松本寛人<br>(出光興産)、滝澤治夫(コスモ総研)、<br>半田統敏(PEC) |
| A-2   | 条件付きサンプリングによるダンブアイフューザ<br>内の流れ<br>和田清(三菱重工)、志澤高朗、*本阿弥眞治<br>(東理大)               | B-2   | 1500℃級回収型蒸気冷却静翼の高温翼列<br>試験における冷却特性<br>*伊藤勝康、古閑昭紀、大友文雄(東芝)、<br>佐藤実、小林雄一、松崎裕之(東北電力)            | C-2   | 自動車用CGT触媒燃焼技術の開発<br>—燃焼触媒の研究—<br>*半田統敏(PEC)、藤宗篤男、相澤幸雄<br>(日本石油)、永野久司(日本石油精製)                                                                 |
| A-3   | ATREXエンジン用プラグノズルの研究<br>*山本政彦、徳永幸二、Roy W. Henk、藤秀実<br>(石川島播磨重工)、棚次恒弘(IISAS)     | B-3   | ガスタービン用プレートフィン熱交換器の非<br>定常加熱特性に関する研究<br>(その3・大型熱交換器試験結果)<br>伊藤勝規、堀政義、*松井浩路、小島 実<br>(石川島播磨重工) | C-3   | 自動車用CGT触媒燃焼技術の開発<br>—触媒燃焼技術の研究—<br>吉田祐作、金 永一(JARI)、藤宗篤男、<br>相澤幸雄(日本石油)、滝澤治夫(コスモ総研)、<br>武田 博(出光興産)                                            |
| A-4   | 入口案内翼後方付近に発生する不安定な流れ<br>(案内翼幅の影響)<br>*高間信行、吉識晴夫(東大生研)                          | B-4   | 回流水槽を用いた膜冷却噴流試験<br>—可視化と渦発生体付き拡散孔の膜冷却効率—<br>*松田 寿、大友文雄、中田裕二(東芝)                              | C-4   | 自動車用100kW級セラミックガスタービ<br>ン燃焼器の開発—タンデム型予蒸発予混合希<br>薄燃焼器の試作と燃焼特性の評価—<br>*大久保陽一郎、井戸田芳典、野村佳洋<br>(JARI)                                             |
| 10:50 |                                                                                | 10:50 |                                                                                              | 10:50 |                                                                                                                                              |
| 11:00 | 《一般講演》タービン                                                                     | 11:00 | 《一般講演》燃焼器 I                                                                                  | 11:00 | 《一般講演》CGT II                                                                                                                                 |
| A-5   | 低レイノルズ数域における直線タービン翼列特性<br>第3報、圧力損失の計測)<br>*村田耕史(筑波大院)、阿部裕幸、松沼孝幸、<br>筒井康賢(機械技研) | B-5   | エアブラスト式燃料ノズルの微粒化特性につ<br>いて<br>*鈴木 勇、岡本安夫(東芝)                                                 | C-5   | 自動車用100kWCGTにおける低公害燃<br>焼器の開発(第5報)<br>佐々木正史、熊倉弘隆、*市川浩之(JARI)                                                                                 |
| A-6   | 低レイノルズ数域における環状タービン翼列特性<br>*松沼孝幸、阿部裕幸(機械技研)、村田耕史<br>(筑波大院)、筒井康賢(機械技研)           | B-6   | Prediction of Swirling turbulent Flow Using<br>Different Turbulence Models<br>*劉 燕、林 茂(航技研)  | C-6   | 自動車用100kWCGTの要素組合せ評価<br>試験<br>中沢剛雄、萩田浩司、高橋政行、*川口能広<br>(JARI)                                                                                 |
| A-7   | 超高負荷タービンの研究<br>*山本孝正、臼井 弘(航技研)、大田英輔<br>(早大)、高田浩之(東海大)、水木新平、<br>辻田星歩(法政大)       | B-7   | 大型並列計算機を用いた航空用燃焼器内部流<br>れの数値シミュレーション<br>*牧田光正(航技研)                                           | C-7   | セラミック動翼用ブラットホーム型摩擦ダン<br>パの強度評価<br>*岩城史典、田頭浩一郎、西 正輝<br>(石川島播磨重工)                                                                              |
| A-8   | タービンディスキまわりの2次空気流れ解析<br>*山脇るり子、大北洋治、海野 大、児玉秀和<br>(石川島播磨重工)                     | B-8   | NOx排出特性に及ぼす流入空気組成の影響<br>*鈴木和雄、黒沢要治、下平一雄(航技研)                                                 | C-8   | 300kW級セラミックガスタービン<br>(CGT302)の研究開発(第4報)<br>* 哲男、*中島 尚、竹原勇志、市川浩治、<br>小林寛武(川崎重工)                                                               |
| 12:30 |                                                                                | 12:30 |                                                                                              | 12:30 |                                                                                                                                              |

|       |                                                                           |       |                                                                                   |       |                                                                               |
|-------|---------------------------------------------------------------------------|-------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------|-------------------------------------------------------------------------------|
| 13:30 | 《特別講演》                                                                    |       |                                                                                   |       |                                                                               |
| 14:30 | 「初期稲作技術と農耕具」 藤原宏志 (宮崎大学農学部教授)                                             |       |                                                                                   |       |                                                                               |
| 14:40 | 《一般講演》圧縮機                                                                 | 14:40 | 《一般講演》燃焼器Ⅱ                                                                        | 14:40 | 《一般講演》材料Ⅰ                                                                     |
| A-9   | 水力空圧圧縮機 (HAC) の研究<br>* 狩野泰範 (宮崎大院)、西 亮、宮城弘守 (宮崎大)                         | B-9   | ガスタービン用超短縮火炎燃焼器の研究 (大気圧における燃焼・排気特性)<br>* 山田秀志、林 茂 (航技研)                           | C-9   | ガスタービン動翼コーティング層の劣化特性解析<br>* 吉岡洋明、齊藤大蔵、今井 潔、藤山一成、村上 格、柏谷英夫、和田国彦 (東芝)           |
| A-10  | 高圧力遠心圧縮機の広作動域化に関する研究<br>* 野角忠司、伊藤健太郎、船橋俊一、斎藤正泰 (石川島播磨重工)                  | B-10  | ラムモデル燃焼器内における混合計測<br>* 柏原宏行、小田剛生、木下康裕、北島潤一 (川崎重工)                                 | C-10  | 遮熱コーティング部材の高温X線応力解析<br>* 齊藤正弘、高橋雅士、伊藤義康、村上俊明、高原健司 (東芝)                        |
| A-11  | ターボチャージャー用コンプレッサスクロール内流れの数値解析<br>* 岩切雄二、永岡 真、内田 博 (豊田中研)                  | B-11  | ラム燃焼器のNOx排出と燃料の混合特性<br>* 木下康裕、小田剛生、北島潤一 (川崎重工)                                    | C-11  | セラミック系複合材料 (CMC) 製燃焼ライナの開発<br>* 西尾光司、井頭賢一郎、武 浩司 (AMG)、末光 毅 (川崎重工)             |
| A-12  | 翼端間隙高さの遷音速圧縮機動翼流れに及ぼす影響に関する数値解析<br>* 正木大作 (川崎重工)、梶昭次郎 (東大)                | B-12  | 航空エンジン排出の現状と対策<br>* 田丸 卓 (航技研)                                                    | C-12  | ガスタービン高温部品への複合セラミックス適用設計における損傷許容性評価についての検討<br>* 岡部永年 (愛媛大)、岡村隆成 (東芝)          |
| 16:00 |                                                                           | 16:00 |                                                                                   | 16:00 |                                                                               |
| 16:10 | 《一般講演》非定常計測・制御                                                            | 16:10 | 《一般講演》サイクル・性能                                                                     | 16:10 | 《一般講演》材料Ⅱ                                                                     |
| A-13  | 光反射方式による非金属動翼のすきま計測<br>* 松田幸雄 (航技研)                                       | B-13  | タービン内再熱水素燃焼ガスタービンの研究 (第5報)<br>* 春海一佳、菅 進、平岡克美、井 亀 優、城田英之、千田哲也 (船舶技研)、森下輝夫 (元船舶技研) | C-13  | 自動車用100kWCGTの静止部品開発<br>佐々木正史、和泉隆夫、* 宗清正幸 (JARI)                               |
| A-14  | ハブストロー方式によるアクティブストール制御<br>黒崎正大、* 太原信之 (AMG)、大田英輔、太田 有 (早大)、千葉 薫 (石川島播磨重工) | B-14  | 希薄予混合燃焼器を搭載した超小型水素ガスタービンの運転試験<br>* 宮島健次、皆川和夫、吉永昌司 (都立科技大院)、湯浅三郎、後藤 登 (都立科技大)      | C-14  | C/C複合材料の疲労試験<br>* 米内山 誠 (都立航空高専)、小川昭紀、橋本良作、森本哲也 (航技研)                         |
| A-15  | 二次音源を利用した航空用ファン回転騒音の低減化の試み<br>* 石井達哉、小林 紘、生沼秀司、武田克巳、五味光男 (航技研)            | B-15  | 過給機タービン駆動特性のディーゼル機関性能に及ぼす基礎研究<br>* 山崎利彦 (都立科技大院)、小西奎二 (都立科技大)                     | C-15  | C/C材 (0/90 及び 0/45/90 積層) 回転円板のひずみ特性<br>* 小川昭紀、橋本良作、森本哲也 (航技研)、米内山 誠 (都立航空高専) |
| A-16  | 失速フラッタの翼列風洞実験<br>飯田安彦 (東海大院)、西沢敏雄 (航技研)、高田浩之 (東海大)                        | B-16  | 水噴霧を利用したガスタービンの出力増加 (熱サイクルの理論的検討)<br>* 宇多村元昭、唐沢英年、竹原 勲、堀井信之 (日立)                  | C-16  | Si-Ti-C-O繊維結合型複合材の高温強度試験<br>* 森本哲也、小川昭紀、祖父江靖、橋本良作 (航技研)                       |
| 17:30 |                                                                           | 17:30 |                                                                                   | 17:30 |                                                                               |

## 1996 年度 見学会・技術懇談会開催のお知らせ

標記見学会・技術懇談会を下記要領にて開催致します。  
工場見学会にあわせて、中・小型ガスタービンの利用技術についての講演も予定しておりますので奮って御参加下さい。

1. 日 時 1996 年 10 月 25 日(金) 午後 1 時～

2. 場 所 ヤンマーディーゼル(株)尼崎工場  
(兵庫県尼崎市長洲東通 1-1-1)  
ガスタービン・ディーゼル機関の部品  
加工および組立

3. 技術懇談会

a. (小型ガスタービンの利用技術について)

ポンプ用小型 2 軸ガスタービンについて

ヤンマーディーゼル(株) 西原 昭義 氏

b. (中小型ガスタービンの利用技術について)

川崎重工業(株) 浜平 澄雄 氏

## 4. 参加要領

(1) 参加費 3,000 円(当日受付にてお支払い下さい)

(2) 申し込み方法

所属・氏名・会員番号を記入の上、事務局へハガキ  
又は FAX にて、9 月 30 日までに申し込み下さい。

## GTSJ 第 21 期委員名簿

## 総務委員会

江田 武司(川 重)

川口 修(慶 大)

小森 豊明(三菱重工)

福田 雅文(東 芝)

藤本 一郎(拓殖大)

三巻 利夫(電中研)

## 企画委員会

熱田 正房(日 立)

阿部 裕幸(機械技研)

井口 和春(荏 原)

今村 龍三(I H I)

黒川 肇(新潟鉄工)

古賀 勉(三菱重工)

杉山 勝彦(豊田中研)

中野 博文(ヤンマー)

野本 秀雄(東 芝)

橋本 雅方(三井造船)

橋本 良作(航技研)

## 編集委員会

相沢 善吾(東 電)

石井 潤治(東 芝)

遠藤 征紀(航技研)

小野 里久(I H I)

川池 和彦(日 立)

北嶋 潤一(川 重)

佐々木 祥二(トヨタ)

辻田 星歩(法政大)

出川 通(三井造船)

中村 良也(I H I)

室田 光春(ヤンマー)

山本 誠(理科大)

## 学術講演会委員会

大田 英輔(早 大)

荒木 達雄(武蔵工大)

内山 芳忠(機械技研)

荻田 浩司(三菱自工)

加藤 泰弘(日 立)

菅 進(船 研)

児玉 秀和(I H I)

西 亮(宮崎大)

藤本 一郎(拓殖大)

前田 福夫(東 芝)

丸田 芳幸(荏原総研)

山本 一臣(航技研)

## 地方委員会

三宅 裕(阪 大)

伊藤 吉幸(ヤンマー)

大庭 康二(日立造船)

木下 史郎(神戸製鋼)

高木 俊幸(三井造船)

佃 嘉章(三菱重工)

辻川 吉春(大阪府立大)

西 亮(宮崎大)

橋本 正孝(神戸商船大)

長谷川 好道(ダイハツ)

速水 洋(九 大)

星野 昭史(川 重)

水野 孝則(関 電)

## 技術情報センター委員会

柏原 康成(神奈川工大)

荒木 達雄(武蔵工大)

井 亀 優(船 研)

石橋 洋二(日 立)

佐藤 幹夫(電中研)

田丸 卓(航技研)

長島 昭(慶 大)

濱 純(機械技研)

萬代 重実(三菱重工)

安 昭八(I H I)

山田 正彦(東 芝)

## Bulletin 編集委員会

遠藤 征紀(航技研)

佐藤 亮一(I H I)

渋谷 幸生(東 芝)

園田 豊隆(本田技研)

高村 東作(日 産)

田口 秀之(航技研)

寺西 光夫(日 立)

服部 学明(三井造船)

福田 英雄(川 重)

藤岡 昌則(三菱重工)

## 調査研究委員会

吉田 豊明(航技研)

荒木 達雄(武蔵工大)

岡村 隆成(東 芝)

小幡 正一(I H I)

川池 和彦(日 立)

工藤 一彦(北 大)

小林 哲也(J A L)

佐藤 幹夫(電中研)

高原 北雄(高原総研)

武石 賢一郎(三菱重工)

田 辺 清(航空機  
エンジン協会)

濱 辺 謙二(川 重)

平岡 克英(船 研)

船崎 健一(岩手大)

本阿弥 眞治(理科大)

望月 貞成(農工大)

山脇 栄道(I H I)

## 1996 年度 見学会・技術懇談会開催のお知らせ

標記見学会・技術懇談会を下記要領にて開催致します。  
工場見学会にあわせて、中・小型ガスタービンの利用技術についての講演も予定しておりますので奮って御参加下さい。

1. 日 時 1996 年 10 月 25 日(金) 午後 1 時～

2. 場 所 ヤンマーディーゼル(株)尼崎工場  
(兵庫県尼崎市長洲東通 1-1-1)  
ガスタービン・ディーゼル機関の部品  
加工および組立

3. 技術懇談会

a. (小型ガスタービンの利用技術について)

ポンプ用小型 2 軸ガスタービンについて

ヤンマーディーゼル(株) 西原 昭義 氏

b. (中小型ガスタービンの利用技術について)

川崎重工業(株) 浜平 澄雄 氏

## 4. 参加要領

(1) 参加費 3,000 円(当日受付にてお支払い下さい)

(2) 申し込み方法

所属・氏名・会員番号を記入の上、事務局へハガキ  
又は FAX にて、9 月 30 日までに申し込み下さい。

## GTSJ 第 21 期委員名簿

## 総務委員会

江田 武司(川 重)

川口 修(慶 大)

小森 豊明(三菱重工)

福田 雅文(東 芝)

藤本 一郎(拓殖大)

三巻 利夫(電中研)

## 企画委員会

熱田 正房(日 立)

阿部 裕幸(機械技研)

井口 和春(荏 原)

今村 龍三(I H I)

黒川 肇(新潟鉄工)

古賀 勉(三菱重工)

杉山 勝彦(豊田中研)

中野 博文(ヤンマー)

野本 秀雄(東 芝)

橋本 雅方(三井造船)

橋本 良作(航技研)

## 編集委員会

相沢 善吾(東 電)

石井 潤治(東 芝)

遠藤 征紀(航技研)

小野 里久(I H I)

川池 和彦(日 立)

北嶋 潤一(川 重)

佐々木 祥二(トヨタ)

辻田 星歩(法政大)

出川 通(三井造船)

中村 良也(I H I)

室田 光春(ヤンマー)

山本 誠(理科大)

## 学術講演会委員会

大田 英輔(早 大)

荒木 達雄(武蔵工大)

内山 芳忠(機械技研)

荻田 浩司(三菱自工)

加藤 泰弘(日 立)

菅 進(船 研)

児玉 秀和(I H I)

西 亮(宮崎大)

藤本 一郎(拓殖大)

前田 福夫(東 芝)

丸田 芳幸(荏原総研)

山本 一臣(航技研)

## 地方委員会

三宅 裕(阪 大)

伊藤 吉幸(ヤンマー)

大庭 康二(日立造船)

木下 史郎(神戸製鋼)

高木 俊幸(三井造船)

佃 嘉章(三菱重工)

辻川 吉春(大阪府立大)

西 亮(宮崎大)

橋本 正孝(神戸商船大)

長谷川 好道(ダイハツ)

速水 洋(九 大)

星野 昭史(川 重)

水野 孝則(関 電)

## 技術情報センター委員会

柏原 康成(神奈川工大)

荒木 達雄(武蔵工大)

井 亀 優(船 研)

石橋 洋二(日 立)

佐藤 幹夫(電中研)

田丸 卓(航技研)

長島 昭(慶 大)

濱 純(機械技研)

萬代 重実(三菱重工)

安 昭八(I H I)

山田 正彦(東 芝)

## Bulletin 編集委員会

遠藤 征紀(航技研)

佐藤 亮一(I H I)

渋谷 幸生(東 芝)

園田 豊隆(本田技研)

高村 東作(日 産)

田口 秀之(航技研)

寺西 光夫(日 立)

服部 学明(三井造船)

福田 英雄(川 重)

藤岡 昌則(三菱重工)

## 調査研究委員会

吉田 豊明(航技研)

荒木 達雄(武蔵工大)

岡村 隆成(東 芝)

小幡 正一(I H I)

川池 和彦(日 立)

工藤 一彦(北 大)

小林 哲也(J A L)

佐藤 幹夫(電中研)

高原 北雄(高原総研)

武石 賢一郎(三菱重工)

田 辺 清(航空機  
エンジン協会)

濱 辺 謙二(川 重)

平岡 克英(船 研)

船崎 健一(岩手大)

本阿弥 眞治(理科大)

望月 貞成(農工大)

山脇 栄道(I H I)

## 編集 後記

例年、9月号は新編集委員会メンバーでの初仕事となる訳ですが、実際には前期の編集委員により本号の企画、内容・構成の決定、執筆依頼は既になされておりますので、新メンバーにより、若干の原稿の督促（勿論、期日前に提出頂いている方が多いのですが）、査読、校正、そして発行と滞りなく整然と行われました。これも、前期より引き続いての菅編集委員長の適切な種々指示、御尽力によるところ大であったと思います。

また、9月号に ASME 国際ガスタービン会議の見聞記が掲載されるのも例年の通りです。同会議に参加された方々にそれぞれの専門分野に関し執筆戴きました。会議での論文発表は盛況だった模様ですが、例年展示会でも話題を提供してくれる Westinghouse, General Electric, Siemens, ABB 各社の不参加は、今後には何かある予兆なのか非常に気になる所です。

本号の目玉は、永年国内はもとより海外の各規格の制定等標準化に尽力されて来ておられる青木千明氏をはじめとする方々による「ガスタービン標準化活動の動向」です。今迄のガスタービンでの標準化の経緯・変遷、そして現況を一挙に把握出来ます。また、携われた方々の

大変さが偲ばれるとともに、今後、益々ガスタービンを発展させる為に是非とも進めていかなければならない活動である事を改めて認識させられます。そして、この方面での日本発の情報あるいは活動をもっと活発化させ、ガスタービンの分野においても大いに日本が国際貢献すべき立場にいるという想いに強く駆られます。

さて、先号より A4 版と装いも新たになりました学会誌は如何だったでしょうか。今年度の表紙の写真は「CFD」をテーマに毎号代えて掲載します。お楽しみに。また、編集委員会では皆様の声を反映して、より良い学会誌としたいと考えておりますので、御意見をどうし事務局までお寄せ下さい。（編集理事 高橋 進）

### <表紙写真>

#### 高圧タービンの3次元非定常段解析結果

説明: 航空エンジン用高圧タービンを動静翼共に3次元非定常解析した結果。図は平均半径位置におけるマッハ数分布をある一瞬について表わしている。

（提供 航技研）

だより

## ♣事務局

ここ数年、地球の温度が上がったのか、東京も昔なら 30℃を越えると大騒ぎしたのに今ではすぐ簡単に 35℃になり、30℃と聞くと涼しいと感じる有様。慣れというのは恐ろしいものです。

ここ新宿の街も今は夏休みの真盛り。子供連れで、大にぎわいでなおさら暑く感じます。

7月18、19日、灼熱の太陽が照りつけるだけでなく湿度もかなり高い西明石で“教育シンポジウム”が開催されました。講義に見学会にと熱心な学生さん達が集まり彼らの熱気と暑さまで本当に暑い2日間を過しました。

この教育シンポジウムも今年で2回目になるわけですが、学生さん達には歓迎されているようで主宰者側としても嬉しい限りです。

夏が終わり秋になると見学会、秋季講演会と会告にもごぞいますように行事がいろいろ企画されています。特に宮崎での秋季講演会は発表論文数が過去最大の48件。きっと参加者も多く盛況になると予想されますので、航

空券、宿泊の手配はお早目になさるようお勧めします。

最後にいつものことながら願います。平成8年度他個人会費未納の方は至急お支払いいただくか又は自動引落しの手続きをなさいますよう、お願い致します。

[A]

### お詫びと訂正

Vol.24 No.93 (1996年6月)に以下のような誤りがございましたので訂正させていただきます。

- ・写真1ページ「名誉会員紹介」辻 高弘様略歴中の昭和58年10月を正しくは昭和53年10月に
- ・本文131ページ「学会賞（第8回）報告」奨励賞上段の畔上 修様を正しくは畦上 修様に

ここに辻 高弘様、畦上 修様並びに関係者各位にお詫び申し上げます。

日本ガスタービン学会誌 編集委員会

## 編集 後記

例年、9月号は新編集委員会メンバーでの初仕事となる訳ですが、実際には前期の編集委員により本号の企画、内容・構成の決定、執筆依頼は既になされておりますので、新メンバーにより、若干の原稿の督促（勿論、期日前に提出頂いている方が多いのですが）、査読、校正、そして発行と滞りなく整然と行われました。これも、前期より引き続いての菅編集委員長の適切な種々指示、御尽力によるところ大であったと思います。

また、9月号に ASME 国際ガスタービン会議の見聞記が掲載されるのも例年の通りです。同会議に参加された方々にそれぞれの専門分野に関し執筆戴きました。会議での論文発表は盛況だった模様ですが、例年展示会でも話題を提供してくれる Westinghouse, General Electric, Siemens, ABB 各社の不参加は、今後には何かある予兆なのか非常に気になる所です。

本号の目玉は、永年国内はもとより海外の各規格の制定等標準化に尽力されて来ておられる青木千明氏をはじめとする方々による「ガスタービン標準化活動の動向」です。今迄のガスタービンでの標準化の経緯・変遷、そして現況を一挙に把握出来ます。また、携われた方々の

大変さが偲ばれるとともに、今後、益々ガスタービンを発展させる為に是非とも進めていかなければならない活動である事を改めて認識させられます。そして、この方面での日本発の情報あるいは活動をもっと活発化させ、ガスタービンの分野においても大いに日本が国際貢献すべき立場にいるという想いに強く駆られます。

さて、先号より A4 版と装いも新たになりました学会誌は如何だったでしょうか。今年度の表紙の写真は「CFD」をテーマに毎号代えて掲載します。お楽しみに。また、編集委員会では皆様の声を反映して、より良い学会誌としたいと考えておりますので、御意見をどしどし事務局までお寄せ下さい。（編集理事 高橋 進）

### <表紙写真>

#### 高圧タービンの3次元非定常段解析結果

説明: 航空エンジン用高圧タービンを動静翼共に3次元非定常解析した結果。図は平均半径位置におけるマッハ数分布をある一瞬について表わしている。

（提供 航技研）

だより

## ♣事務局

ここ数年、地球の温度が上がったのか、東京も昔なら 30℃を越えると大騒ぎしたのに今ではすぐ簡単に 35℃になり、30℃と聞くと涼しいと感じる有様。慣れというのは恐ろしいものです。

ここ新宿の街も今は夏休みの真盛り。子供連れで、大にぎわいでなおさら暑く感じます。

7月18、19日、灼熱の太陽が照りつけるだけでなく湿度もかなり高い西明石で“教育シンポジウム”が開催されました。講義に見学会にと熱心な学生さん達が集まり彼らの熱気と暑さまで本当に暑い2日間を過しました。

この教育シンポジウムも今年で2回目になるわけですが、学生さん達には歓迎されているようで主宰者側としても嬉しい限りです。

夏が終わり秋になると見学会、秋季講演会と会告にもごぞいますように行事がいろいろ企画されています。特に宮崎での秋季講演会は発表論文数が過去最大の48件。きっと参加者も多く盛況になると予想されますので、航

空券、宿泊の手配はお早目になさるようお勧めします。

最後にいつものことながら願います。平成8年度他個人会費未納の方は至急お支払いいただくか又は自動引落しの手続きをなさいますよう、お願い致します。

[A]

### お詫びと訂正

Vol.24 No.93 (1996年6月)に以下のような誤りがございましたので訂正させていただきます。

- ・写真1ページ「名誉会員紹介」辻 高弘様略歴中の昭和58年10月を正しくは昭和53年10月に
- ・本文131ページ「学会賞（第8回）報告」奨励賞上段の畔上 修様を正しくは畦上 修様に

ここに辻 高弘様、畦上 修様並びに関係者各位にお詫び申し上げます。

日本ガスタービン学会誌 編集委員会

## 学会誌編集規定

1996.2.8 改訂

1. 本学会誌の原稿はつぎの3区分とする。

A. 投稿原稿 会員から自由に随時投稿される原稿。執筆者は会員に限る。

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

付記1. 原稿送付先および原稿執筆要領請求先

〒105 東京都港区西新橋1-17-5

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

ニッセイエブプロ㈱ 制作部編集室

ガスタービン学会誌担当 越司 昭

## 技術論文投稿規定

1996.2.8 改訂

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

1) 主たる著者は本学会会員であること。

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

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

2. GTSJ Bulletin への英文技術論文の投稿に関しては、別に規定を定める。

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

4. 投稿者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部を学会編集委員会に提出する。原稿には英文アブストラクトおよび所定の論文表紙を添付する。

5. 原稿受付日は原稿が事務局で受理された日とする。

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

7. 論文内容についての責任は、すべて著者が負う。

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

### 複写をされる方に

本誌に掲載された著作物を複写する場合は、本会が複写権を委託している次の団体から許諾を受けて下さい。

学協会著作権協議会

〒107 東京都港区赤坂9-6-41 (株)日本工学会内

Tel. 03-3475-4621 Fax. 03-3403-1738

### 日本ガスタービン学会誌 Vol. 24 No. 94 1996. 9

発行日 1996年9月10日

発行所 社団法人 日本ガスタービン学会

編集者 菅 進

発行者 大槻幸雄

〒160 東京都新宿区西新宿7-5-13

第3工新ビル 402

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

郵便振替 00170-9-179578

印刷所 ニッセイエブプロ㈱

〒105 東京都港区西新橋2-5-10

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

© 1996, (株)日本ガスタービン学会