

(社)日本ガスタービン学会名誉会員の紹介

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

去る平成5年4月23日第18期通常総会において次の方が本学会の名誉会員になられましたのでご紹介します。(五十音順)

一 色 尚 次 君 (大正11年11月1日生)



昭和20年9月 東京帝国大学第二工学部航空原動機学科卒業

昭和23年4月 運輸省鉄道技術研究所勤務

昭和38年4月 運輸省船舶技術研究所勤務

昭和41年3月 東京工業大学教授

昭和58年4月 退官

昭和59年4月 日本大学工学部教授

現在に至る。

本会関係略歴

昭和47年5月入会

理 事 (GTSJ 3, 4期)

監 事 (GTSJ 11期)

評議員 (GTCJ 1, 2, 3, 4期)

(GTSJ 1, 2, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 13,
14, 15, 16期)

現住所

東京都世田谷区経堂2-29-6



澤 田 照 夫 君 (大正11年 5 月 8 日生)

昭和20年 9 月 大阪帝国大学工学部航空学科卒業

昭和26年 7 月 大阪府立大学

昭和39年11月 大阪府立大学教授

現在に至る。

本会関係略歴

昭和47年 5 月入会

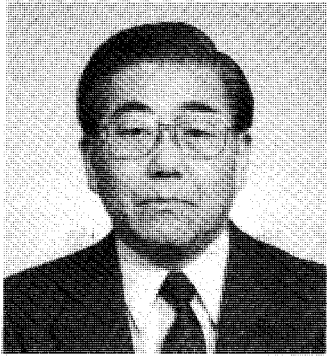
理 事 (GTSJ 11, 12期)

評議員 (GTCJ 1, 3, 4 期)

(GTSJ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10,
13, 15, 16期)

現住所

大阪府富田林市久野喜台 2 -17-29



第18期会長就任挨拶

東海大学工学部 高田 浩之

去る4月23日の総会において第18期の会長に選出されました。まことに光栄に存じますと共に責任の重大さを感じているところであります。今までこのガスタービン学会の発展に努力して来られました歴代会長の方針を引き継ぎ、浜田副会長および経験豊かな理事の方々の御支援を得て、学会の一層の発展のために微力を尽くしたいと思っております。

さて、ガスタービンは高効率で、省エネルギーや燃料多様化に適し、さらには環境適応性のよい原動機として、航空用はもとより産業用にも大活躍していることは誠に喜ばしいことであります。また、我国のガスタービンに関する技術レベルが近年急激に高まって来たことも御同慶にたえません。エネルギー問題は最近では専ら地球環境の保全の見地から論ぜられるようになりましたが、この観点から見ても、今後ガスタービンの果すべき役割にはますます大きな期待が寄せられております。ガスタービンの今後の発展を担うべき研究としても、自動車用あるいは産業用のセラミック・ガスタービンの試作研究や、超音速輸送機用の推進システムの研究開発が現に行われておりますし、今年からはまた複合材料による革新的ガス・ジェネレータの研究も始まりました。またさらに、水素燃焼タービンの話題も出て来て、ガスタービンの将来は洋々たるものがあると感じられます。

このような状況の中で、わがガスタービン学会の役割は、大学・研究所の研究者や産業界の技術者の活動を助けると共に、ユーザーや関連機器の技術者を含めた広い範囲の関係者に対して情報交換と協力の場を提供することです。これによって、一方ではガスタービンとその関連産業の

発展に貢献すると共に、他方では来世紀を先見した基礎的な研究や技術の進展に先導的な貢献をすることが学会の使命であろうかと考えます。

翻って学会の現状を見てみますと、本学会の財政面は第14期に建て直しが行われて以来比較的順調に推移して来ましたが、しかしその後既に4～5年を経たこと、その間に学会の活動規模も増大したことなどのために、それに昨今の経済状況も手伝って、そろそろ今期あたりからは今までの好調にかげりが見え始めるのではないかと恐れられます。本年度はまず、この点に関して最大の注意を払っていく必要があるものと思っております。学会運営面の古くて新しいもう一つの問題点は事務処理体制であります。もとより事務局の体制と能力は学会の活動を支える重要な要因であり、この点についてもよく考えていく必要があると感じております。そのほかに、学会組織の若返りや、若い会員の増強等の問題も引き続き努力して行かなければならない事柄であります。

他方、ガスタービン学会の対外的活動であるところの国際ガスタービン会議は1995年にその第6回会議を開催することが既に決まっております。学会としては、本年度は外国の協力学会との接触を開始し、また秋頃にはアナウンスメントを発行するなど具体的な準備に着手して、明年度発足予定の組織委員会にそれを引き継ぐと共に、会議を成功に導くよう協力していくことが責務であろうかと考えます。

今期はこれらの点に特に留意しながら学会活動の充実に務め、学会の発展のために努力していきたいと思っております。会員の皆さんの御協力をお願い申し上げる次第であります。終りに、丹羽会長はじめ第17期役員の方々の御尽力に心から御礼申し上げ、会長就任の挨拶と致します。

(平成5年5月11日原稿受付)



「石炭ガス化複合発電技術」 小特集号発刊にあたって

(株)東芝 池田 隆

数度の石油危機の経験を経て、わが国では石油燃料への過度な依存体質から脱却するために、燃料多様化の政策がとられている。その結果として、環境保護および成長維持の観点から原子力や天然ガスを利用する発電プラントのウェイトが拡大してきた。一方、長期的にエネルギー源を確保する観点からは、豊富な化石燃料資源である石炭を利用する必要性も高まった。一時期ほとんど姿を消した石炭火力も1980年代初頭より復活し、現在ではすでに1000MWプラントが稼働している。将来に向けてさらに高温高压化をはかり効率向上の努力も続けられている。しかしながら、石炭は他の化石燃料と比べ灰分、硫黄分が多く、かつ固体燃料のため搬送が難しいなどの欠点を有する。今後の火力発電の立場を考えると、(1)高効率(2)高環境性能(3)柔軟な運用性、の3つの条件を同時に満たすものでなければならない。

そのため、次世代の主要な発電プラントとして、石炭ガス化複合発電(IGCC)が期待され、10年以上も前からさまざまな検討や、要素開発・実験プラントによる検証が続けられてきている。本学会誌においても、1985年にIGCC解説記事が発行され、システム技術から要素技術まで広く紹介したが、この8年の間に、国内外での石炭ガス化炉開発が予想以上に進展してきた。IGCC用ガスタービン開発においても、計画当初のガス精製性能の低さを考慮して、翼メタル温度を550°C程度まで冷却するための水冷却翼開発が必要と考えられたが、その後の脱塵性能の向上に伴い、その必然性がなくなり中止するなど内容も大きく変化してきた。さらに、ガスタービン自体も大幅に高温・高効率化され、1300°C級ガスタービンを用いた熱効率48%以上のLNG複合発電が実用化の段階に達している。このような好環境に支えられ、IGCC計画

が活発化しており、海外では実用プラント運転開始直前の段階まで来ている。

そこで本編集委員会では、石炭ガス化複合発電における現在の最新技術や動向について、あらためて特集を組もうとの結論に達し、本特集号を発刊した。内容的にも、ガスタービン本体そのものに大きく影響する、燃料ガス生成系すなわちガス化炉・脱塵・脱硫の各システムさらに全体統括制御技術に至るまで広範囲に紹介するよう努め、各分野の専門の方々に執筆をお願いした。また実用化の点で先行する欧米でのIGCCの現状や動向について、GE社からの紹介記事も掲載した。

IGCC技術の要は、クリーンアップ装置を含む石炭ガス化であり、これまでの火力発電設備にない複雑なシステムである。さらに次頁以降に述べられているとうり各システムに各国の技術や歴史を反映した多くのオプションがあり、広範囲な開発が続いている。わが国においては、北海道夕張での40T/D流動床空気吹きガス化炉から始まったが、より大容量化に適し、負荷追従性に優れる噴流床ガス化炉を装備した茨城県勿来での200T/D-13MWパイロットプラントが建設され、現在運転試験が行われている。一方、欧米でも流動床方式や固定床方式について実用プラントが計画され、さらにトッピングPFBC発電や燃料電池との複合サイクルも検討されるなど高効率化への道が広く模索されている。われわれも、国内外の動向や実証プラントでの知見・経験を幅広く見つめていく必要がある。

最後に、本特集で紹介されている海外IGCCプラント仕様が著者により若干異なるのは、各プロジェクトの計画進捗や使用炭種の違いなどによるためでその点ご理解願いたい。

(平成5年5月11日原稿受付)

1. 火力発電の将来と石炭ガス化複合発電技術の実用化に向けて

（財）電力中央研究所エネルギー部 浜松 照秀

1. まえがき

化石燃料は人類に残された地球の遺産として有限であり、地球環境の保全、格段の高度活用に努めながら、エネルギー供給力の確保を図らねばならない。

一方、さきの湾岸戦争の勃発(90年8月)、ソ連の崩壊(91年8月)など、燃料情勢の不安定要素が続くなかで、地球温暖化、酸性雨問題、オゾン層破壊などの地球環境問題への対応に向けて、地球温暖化防止行動計画(90年10月閣議)、国連環境開発会議(地球サミット92年5月)における温暖化防止条約の締結、アジェンダー21の採択、オゾン層破壊防止のためのモントリオール議定書締約国会議におけるフロン規制強化の合意がなされている。

地球環境の保全、増加一途の人口を支える経済成長の確保、有限なエネルギー・資源の3つの制約がつくるトリレンマは、人類がいまだかつて経験したことがない試練として、エネルギー産業にも直接関わってきている。

2. 21世紀の火力発電⁽¹⁾

a) 地球環境保全と供給力の確保

さて、わが国の火力発電の環境対策はすでに世界最高水準にあり、SOx等は不断の技術の高度化や新発電方式の実現で対応できるものと考えられる。

一方、地球環境保全の中心課題としての温暖化防止すなわちCO₂抑制のためには、少なくとも21世紀中葉までを視野において方向性を見定めねばならない。

2010年までの電力需給については電気事業審議会で策定値を中間報告しているが、石炭ガス化複合発電のような、基本技術の革新と定着には長年月を要し、その位置づけを見るには超長期の展望がまず必要である。

電中研では、資源エネルギー庁発電課長主催の「21世紀発電技術懇談会」における研究に協力し、その検討を参照しながら、先般「火力発電技術に関する研究ビジョン」づくりを試みた⁽¹⁾。

21世紀中葉(2050年)までの電力需要のイメージを描いてみると、対GNP弾性値が漸減する傾向とは言え、今日の約2倍(現在の米国程度)にはなろうと想定した。これに見合う電源は図1のようになる。すなわち国産エネルギーを精一杯開発し、クリーンかつ供給力の要となる原子力をできるだけ導入、化石燃料を抑えつつも供給力の重要な担い手としたものである。資源的な観点から、石炭が21世紀の火力分需要増に対応することとなる。

今後新增設される火力は、LNG、石炭等が主力となる。その発電方式は、本特集の石炭ガス化複合発電に代表される高効率、高環境性のものであり、内外で盛んに開発されつつある。これらの新型火力発電技術が加速的に開発・実用化されれば、図2のような展開が期待できる。

以上のもとに、発電によるCO₂発生量の試算例を図3に示す。試算した結果は、点線が火力発電の熱効率が現状のまま変わらない場合、また実線が図2に示したように高効率火力を加速的に逐次導入した場合、を表している。さらに、原子力など非化石エネルギーの電源が図1ほど順調に開発

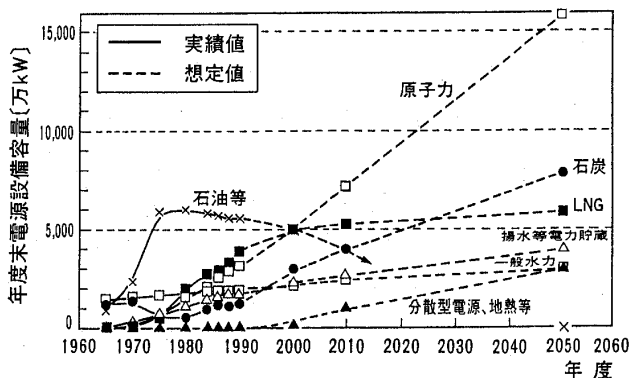
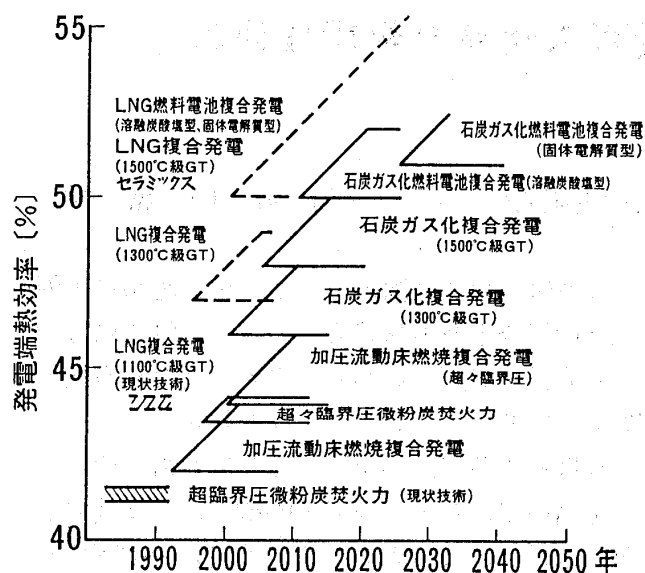


図1 21世紀半ばに至る電源構成の想定

(平成5年4月27日原稿受付)

図2 各種新型火力発電の実用化の展望⁽¹⁾

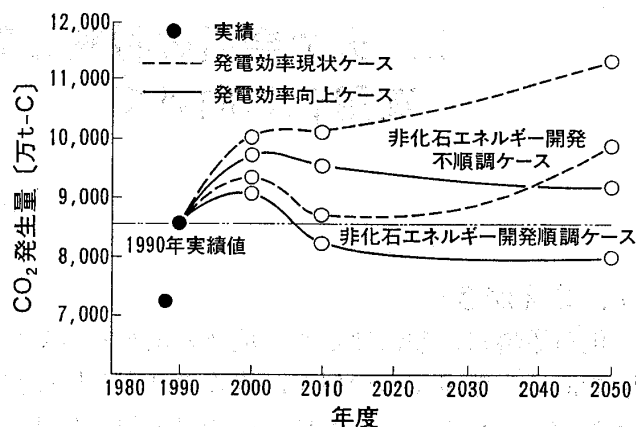
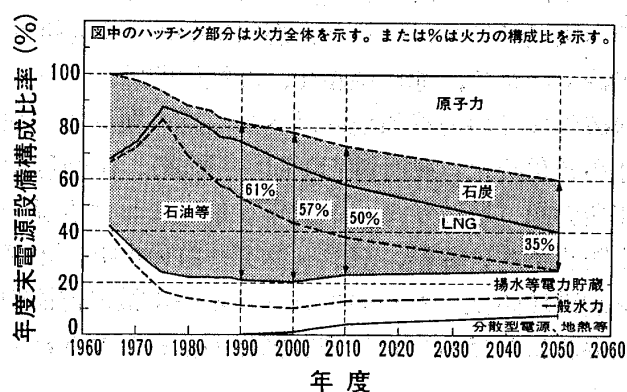
できず、開発量が計画分の70%程度にとどまり、その不足分を火力発電でまかなった場合が同図の上2本の線である。

このように高効率発電の導入を加速的に進め、同時に非化石エネルギーが順調に開発されれば、2000年前後のCO₂抑制効果は小さいが、長期的には発電分野に関しては、地球温暖化防止行動計画に掲げられた目標に貢献できよう。言い換えれば、「高効率火力の加速的な開発・導入、原子力の順調な開発は、CO₂発生抑制にとって車の両輪」の関係にある。

b) 火力発電の位置づけ (図4)

火力発電は1961年に火主水従(975万kW/944万kW)の時代に突入した。その後石油火力が主力となり、大容量化が進められてきたが、1974年の構成比ピーク(62%)を境にLNG、石炭などの石油代替エネルギーへの転換が積極的に推進された。1980年以降石炭が復活し、設備構成比率も増大に転じている。

前述の21世紀中葉に至る電源も含め、火力発電の位置づけの変遷が図4である。設備の寿命を40年として、石油火力が将来消えるなど大胆な仮定をおいているが、超長期的にも火力が供給力の要であることを示している。しかし、原子力の開発とともにミドル・ピーク負荷用からミドル・ピーク負荷用へと厳しい設備運用をせまられ、新型火力はその発電方式の確立と同時に、高度な運用性をも要求されることになる。

図3 想定に基づく発電分CO₂発生量⁽¹⁾図4 電源構成の変遷と火力の位置づけ⁽¹⁾

3. 火力発電技術の変遷と石炭ガス化複合発電への道

a) 発電の高効率化技術

火力発電は、石炭による小容量、低効率の時代から長年月を経て大容量化、高効率化がなされてきている。図5はその変遷を示している。

40年前の発電効率約25%が、再熱サイクルの採用、蒸気条件の向上、大容量化などで40%をクリアした。現在では超々臨界圧の採用、新型石炭火力としての加圧流動床燃焼(PFBC)複合発電の実機導入も計画されている。

一方近年では、石油代替エネルギー、環境対策の意味合いも含めたLNGの導入、予想を越えるガスタービン技術(信頼性、性能)の向上によって、ガス・蒸気の複合サイクルの効果が期待できるようになった。ガスタービン初段動翼入口温度が1300°C級の複合発電効率も図6に示すごとくであり、この高性能ガスタービンの出現は、石炭ガス化複合発電などガス燃料(あるいはクリーンな液体燃料)をベースとした各種複合発電への技術

の流れを形成することになる。すなわち、ガスタービンのさらなる高温化・高効率化、高温型燃料電池との組み合わせによる飛躍的な高効率発電技術の導入へと、ガス燃料による技術の流れが期待できる。

21世紀の需要増に対応する石炭については、その高効率発電として以下の3つが候補である。

- ・ 微粉炭燃焼超々臨界圧 (USC) 火力
- ・ 加圧流動床燃焼 (PFBC) 火力
- ・ 石炭ガス化複合発電 (IGCC) 火力

USC 火力は当面の効率向上策として導入が考えられているが、「効果と経済性」の面で限界がある。PFBC 火力は蒸気サイクル主体で、やはり効率向上に限界が予想され、IGCC 火力導入までの中継ぎとして考えられている。すなわちこれらは今後時系列的な位置づけで開発・導入が図られていくと思われる。

b) 石炭ガス化複合発電 (IGCC) システムの概念

石炭による IGCC (=Integrated Gasification Combined Cycle) は、文字どおり石炭をガス化・ガス精製し、クリーンな石炭ガス燃料による複合サイクルを組むものである。そのシステム構成は図6⁽²⁾に示すように従来の火力発電、LNG 複合発電にない複雑なものである。石炭をガス化する過程で回収される熱は高温蒸気として蒸気タービン系に導かれる。

石炭ガス化炉は、1920年代からの長い歴史をもっており極めて多くの種類があるが、発電用ガス化炉の開発が1950年代より盛んになり、噴流床方式すなわち高温ガス化が、大型化や負荷応答性の利点で主流となってきた。これは石炭灰が

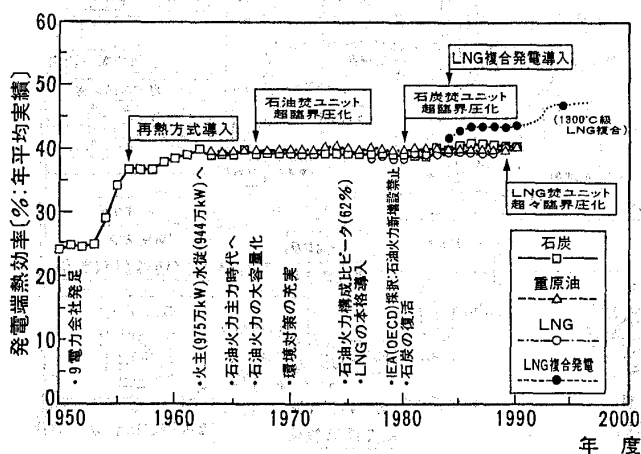


図5 火力発電熱効率の進歩⁽¹⁾

ガラス状のスラグとして排出されることも長所である。

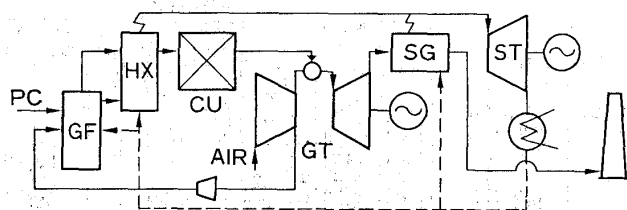
図6-aは、圧縮空気を酸化剤とするもので、ガス化炉 (GF) から出る高温石炭ガスは熱交換器 (HX) で約400°Cまで冷却され、ガス精製 (CU) を経てガスタービン (GT) 燃焼器へ送られる。ガスタービン駆動の圧縮機の空気はガス化炉へ圧入される。ガスタービンの排ガスは排熱回収ボイラ (SG) へ送られる。HX と SG は双方とも主蒸気を発生するほどであり、LNG 複合発電とシステムが異なる所以である。

図6-bは、ガス化に酸素を用いるもので、石炭はCWM (微粉炭、水の流動性混合燃料) でも乾燥微粉炭 (PC) でもよく、したがってGT圧縮機の空気は直接利用しない。

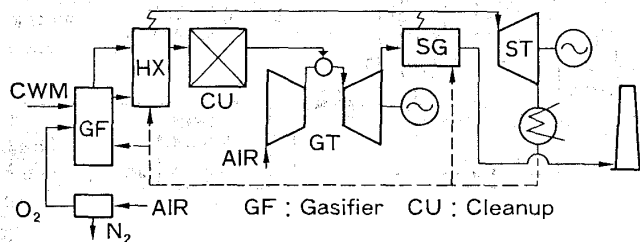
各構成機器の方式や構造については次章以降で紹介されるが、わが国では概ね次のような方式の組み合わせとなろう。

- GF: 空気吹き微粉炭2室噴流床式
 酸素吹き微粉炭1室噴流床式
 酸素吹きCWM噴流床式
- CU: 湿式脱硫・脱じん (既存技術)
 乾式 (高温) 流動床脱硫
 乾式移動床 (GB) 脱じん
 乾式移動床脱じん・脱硫
 乾式固定床脱じん・脱硫

これらのIGCCシステムが、既存の微粉炭燃焼火力やその延長上にある超々臨界圧 (USC) 火力



a 微粉炭空気吹き IGCC 発電システム



b CWM 酸素吹き IGCC 発電システム

図6 IGCC 発電システムの基本構成⁽²⁾

本稿冒頭に述べたように、地球環境保全や石炭の革新的高度利用のために、国内外ではIGCC実証プラントの構想、計画、建設が盛んである。欧米のIGCC開発動向の詳細は次章に譲るとして、表1に代表的な例を示す。

すでに実証試験を終えた例として、米SCE電力・EPRIが中心となったクールウォータ計画（120MW級酸素吹きCWMガス化・湿式ガス精製）がある⁽⁶⁾。

プラント完成間近の例として、オランダ電力合弁のデムコレック社が284MW級の、酸素吹き微粉炭1室式ガス化炉（シェル）・湿式ガス精製によ

表1 欧米のIGCC実証プラント計画例⁽⁷⁾

プロジェクト	主スポンサ	設置場所	容量	開発スケジュール
タンパ (テキサス炉)	DOE, タパ電力 (CCT-IV)	レランド (米)	1900トン/日 260MW	'91~'95 '95~'97
デムコレック (シェル炉)	SEP, KEMA デムコレック	ブフナム (蘭)	2000トン/日 284MW	'89~'93 '93~'96
ワバッシュリバー (ダウ炉)	DOE, ワバッシュ (CCT-IV)	リネット (米)	2500トン/日 265MW	'92~'95 '95~'98
シティウォータ L&P (CE炉)	DOE, ABB- CE (CCT-II)	スプリングフィールド (米)	600トン/日 60MW	'91~'96 '96~2000
プエルトヤノ (ブ レンフロー炉)	ENDESA, EDF他	バルトナ (西)	2590トン/日 340MW	'93~'96 '96~'99

表2 実証プラント研究の設計条件と性能⁽⁸⁾

表2-a プラント性能計画値

計画炭	豪州炭 (7180kcal/kg)
石炭消費量 (微粉炭機入口)	101,000 kg/h (2,424T/D)
石炭発熱量 (湿炭HHV)	6,764 kcal/kg
発電端出力 (50Hz)	374,700 kW
(内訳) ガスタービン (大気15°C, 60%)	195,300 kW
蒸気タービン (海水21°C)	179,400 kW
発電端効率 (HHV)	47.1 %
補機動力	28,900 kW
所内率	7.7 %
送電端出力	345,800 kW
送電端効率 (HHV)	43.5 %
ガス化炉冷ガス効率	74.4 %
ガスタービン単体効率	33.6 %

る実証プラントをブフナム地点にほぼ完成させており、今年近々に運転を開始する。その計画仕様は概ね以下のとおりである⁽⁷⁾。

発電端出力	284MW
ガスタービン	156MW
蒸気タービン	128MW
送電端出力	253MW
石炭消費量	2000T/D
送電端効率 (HHV)	41.0%

わが国では、2.4節で述べたように、原則として現在のパイロットプラント計画が終了し、評価が得られたのち実証プラントに移ることになっており、その主体は民間となる。現在のところ実証プラントの具体的計画や構想はないが、そのプラント像の研究、提案がなされつつある。次節にその例を紹介する。

5. IGCC実証プラント設計研究例⁽⁸⁾

a) 370MW級実証プラント

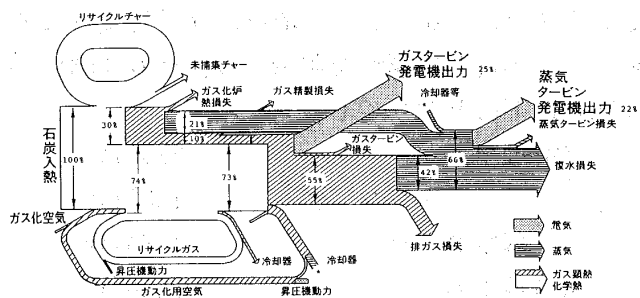
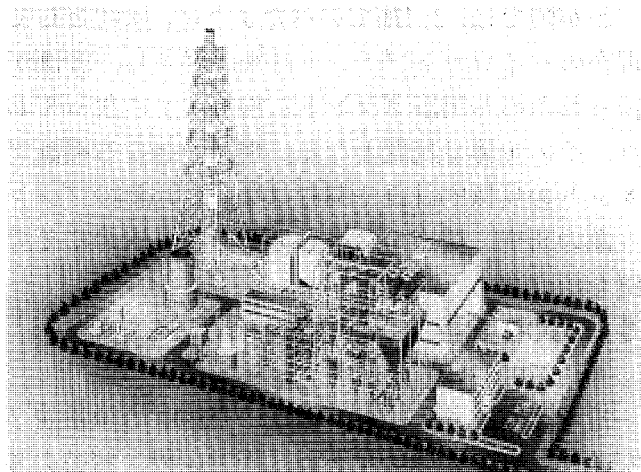
電中研・三菱重工は、前述の空気吹き微粉炭2室式加圧噴流床ガス化と乾式固定床ガス精製の基本プロセスの研究開発、パイロットプラントでの試験開始につづいて、IGCC実証プラントの姿を検討した。

実証プラントの規模、ガスタービンの温度レベルについては、産業技術審議会による現パイロットプラントの目標として、250MW程度、1300°Cが挙げられている。しかし近年のLNG焚複合発電用ガスタービンは1300°C級ですでに200MW規模に至っており、事業用ターボセットとしての技術系列がほぼ定着している。

一方、石炭ガス化炉等は容量的な設計融通性がある程度許されるので、具体的な実証プラントの出力規模はガスタービン単機容量を基準とすることができる。表2にその基本性能、環境排出基準

表2-b 環境排出基準

	排出計画値 (煙突出口)
NOx	20ppm以下 (O ₂ 16%換算)
SOx	20ppm以下 (O ₂ 16%換算)
ばいじん	2mg/m ³ N以下 (O ₂ 16%換算)
排水	割愛
騒音	割愛

図8 IGCC性能熱流れ図⁽⁸⁾図9 実証プラント構想図⁽⁸⁾

を示す。また図8にヒートバランスすなわち熱流れ、図9にプラント全体の概念図を示す。

b) IGCCの高性能化等新技術について

すでに述べたように、IGCCの構成機器は基本プロセスが開発され、実用化の段階へ進みつつあるが、本来のIGCCの特徴をさらに活かすためにも並行して改善、高度化が必要である。すなわちその課題は、

i) 高信頼度化

ii) 高性能化

iii) 低コスト化

である。

i) は新技術というより、性能を若干犠牲にしても確保したい課題で、とくにガス化炉やガス精製設備、全体システム技術で重要と考える。

ii) はガス化炉の消費空気(酸素)量の低減やガスタービンの高温化・高性能化などである。前者は空気量低減に有効な炉設計技術、石炭灰の融点降下剤の添加や混炭による炉運転の技術などがある。後者は1500℃級金属製ガスタービンの開発や、セラミックガスタービンの開発などである。

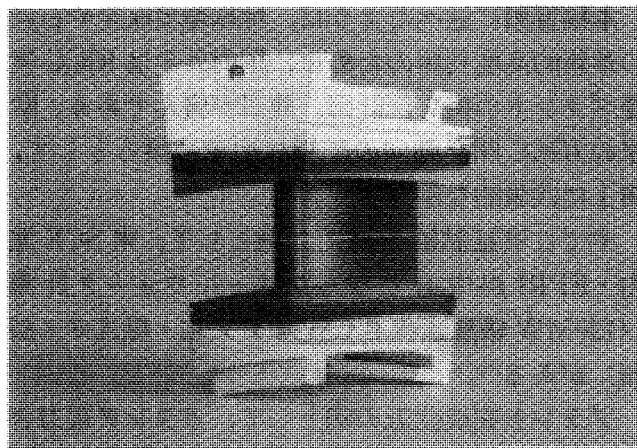


図10 最苛酷試験に耐える20MW級
試作セラミックス静翼(初段)⁽⁹⁾

(IGCC効率が絶対値で3～4%UP)

セラミックスガスタービンは高温化の効果が直接的であり、1500℃級セラミックス静翼(初段・2段)で現状金属製に比べ、絶対値3～4%もの複合発電効率アップが期待できる。20MW級のものでは、すでに要素技術の開発研究も進んできており、その様子を図10にしめす⁽⁹⁾。

iii) については、ガス化炉システムの単純化などコスト高要因の再検討が挙げられる⁽¹⁰⁾。

6. あとがき

世界的にIGCC発電技術への期待は大きく、実証プラントによる経験を積む開発段階にきている。欧米ではすでに実証プラントが具体化しているものの、技術の相互交換・開示が充分でない。わが国の実証プラント計画はこれからであるが、国際協力・交流により、IGCC発電技術の「加速的実用化」が進むことを願うものである。

参考文献

- (1) 電中研, 21世紀に向けた火力発電技術の研究ビジョン(平成5-3)
- (2) 浜松, 機械学会論文集, 57-535(平3-3), 3
- (3) 資源エネルギー庁火力新技術調査委員会報告(昭58-9)
- (4) 加藤, 火力原子力発電, 38-10, (昭62) 38
- (5) IGC技術研究組合パンフレット(平4-12)
- (6) 電中研レビュー, No.23(昭62)
- (7) 電中研内部資料(平3-3)
- (8) 森塚ほか, 電中研報告 W90051, (平3-4), 116
- (9) 森ほか, 電中研報告 W90048(平3-5)
- (10) 犬丸ほか, 電中研報告 W92032(平5-5)

2. STATUS OF IGCC IN USA AND EUROPE

General Electric Company USA Douglas M. TODD
James C. CORMAN

Abstract

Spurred by gas turbine advances, IGCC technology is expected to play a key role in meeting world demand for clean and efficient power. Gas turbine technology, now proven in operation above 200 megawatts, has boosted combined cycle efficiencies as high as 54%. This performance, combined with demonstrated high baseload reliability in large combined cycle installations, is directing the increased use of clean coal technologies toward IGCC.

The successful demonstrations of several IGCC plants in the utility size range are paving the way for commercial IGCC plants to be sited in the 1990s. Already, IGCC plants totaling 7,000 megawatts are being planned in Europe and the U. S., while feasibility studies are proceeding for 8,000 more megawatts worldwide.

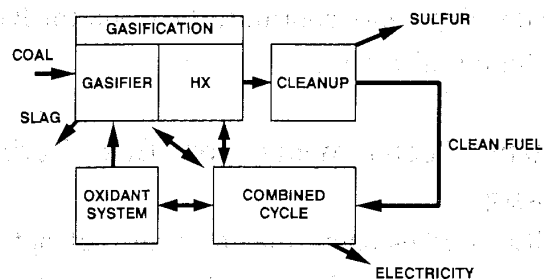
The shift toward greater use of IGCC is being driven by major advances in gas turbine technology achieved over the past decade. For example, sophisticated materials and cooling methods developed initially for GE aircraft engines have been adapted to GE's proven heavy-duty gas turbine designs. As a result, GE has been able to raise the firing temperature of the new F technology gas turbines by 200°C to 1,288°C (2,350°F) yielding a 10% fuel savings plus higher output levels. This improved performance mitigates the penalty of creating a clean gasified fuel. Operating reliability also has been improved.

These advanced gas turbines frequently are used as baseload machines, often in combined

cycle configuration with a steam turbine. Offering a powerful combination of power density, fuel flexibility, efficiency and reliability, these combined cycle power plants are positioned to play a leading role in meeting the demand for new power generation, particularly for IGCC applications.

Adding a gasification system to an advanced combined cycle usually involves integrating the technologies into a single power plant although fuel gas can be provided over the fence (Fig 1). IGCC requires close coordination among the gasifier supplier, cleanup system, oxidant system and the combined cycle supplier. Coal is partially oxidized and cooled to a temperature required for cleanup. After sulfur, particulates, Halogens and hazardous air pollutants are removed, the resulting low heating value (LHV) gas is an excellent fuel for the combined cycle. This process produces a 15% savings in coal use compared to conventional steam plants using FGD, and can reduce most air emissions by a factor of 10.

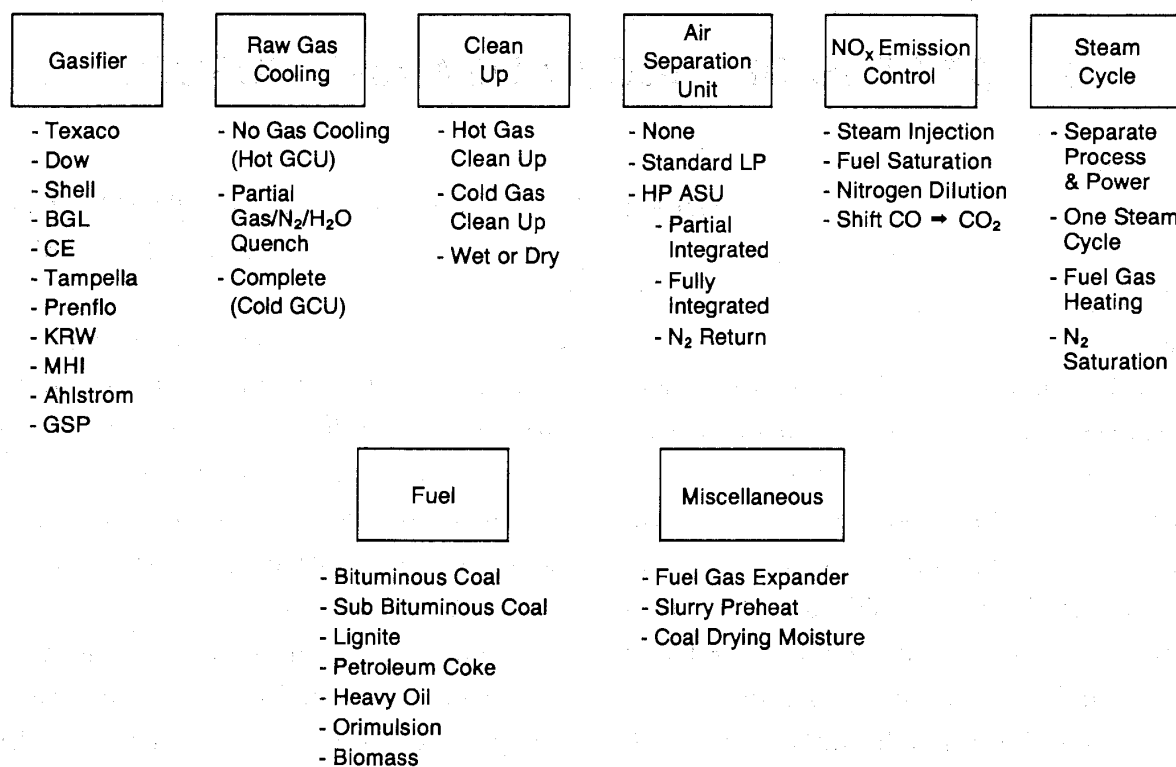
A new GE hot gas cleanup system is being developed that performs gas cleanup without prior cooling of the gas, removing more than 99% of the sulfur and boosting cycle efficiency.



GT20874B

Figure 1 Integrated Gasification Combined Cycle

(平成 5 年 4 月 18 日原稿受付)



GT22853B

Figure 2. Gasification Options

The gasification and cleanup stages produce two primary byproducts .. saleable elemental sulfur and coal ash. This ash, containing most of the difficult constituents of coal, is in the form of a glassy slag.

Today's combined cycle technology delivers superior cycle efficiency which more than offsets the inherent fuel processing losses associated with coal gasification. New gas turbine combined cycles can operate on clean fuel at 54% (LHV) net thermal efficiency while gasification processes operate from 75 to 90% efficiency. Using 85% as a currently feasible level, a 46% net plant efficiency (LHV) can be expected for coal-fired combined cycles. As gas turbine developments continue, the trend for IGCC will follow directly.

System Requirements for Gas Turbine Design

IGCC studies show that a variety of options will dictate gas turbine combined cycle designs needed for economic penetration of this tech-

nology (Fig 2). Each of the gasification suppliers combines these options to make unique systems that are competitive for special fuels. Combined cycle suppliers must integrate with the optimum systems to create an operable and economic power plant.

Two specific systems are currently proposed that cover the majority of applications. The oxygen-blown gasifiers utilize an integrated air separation unit, or IASU (Fig 3) and air-blown systems use the so-called simplified IGCC system which incorporates a high-temperature (500°C) gas cleanup system (Fig 4). There will be applications for both systems; in duty 1300°C addition, hybrid systems have been developed for specific applications.

Advanced Gas Turbine Technology

GE (U.S.A.) introduced advanced gas turbine "F" technology to the power industry in 1986 with factory testing of the first heavy class gas turbine. Today's models include the world's largest gas turbine at 226 megawatts. These

gas turbines now operate in simple cycle at 35% efficiency and can be shipped fully assembled.

Advanced aircraft engine cooling techniques have been used to keep the "F" metal temperatures as cool as the 1100°C class machines, allowing similar parts lives and RAM performance levels for the advanced machines. On-line testing at full load has confirmed the design parameters with some metal temperatures lower than previous machines.

The first "F" level machine entered commercial service at Virginia Electric Power Co. in June of 1990. The gas turbine was used to

repower an existing coal plant utilizing a new heat recovery steam generator. The second "F" gas turbine now operating at the site completes the conversion, increasing plant capacity by a factor of three in the same space while reducing overall emissions and the number of operators.

Some large advanced combined cycle plants already are in operation in Asia. Korea Electric Power Company ordered eight multishaft combined cycles in 1990 for their Seoinchon (formerly Ildo) site (Fig 5). All eight gas turbines were in simple cycle service for the sum-

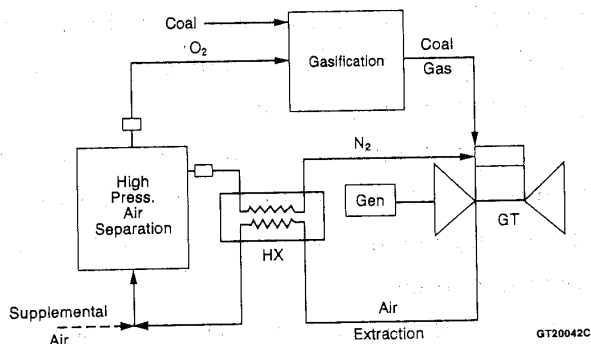


Figure 3 IGCC Integrated Air Separation

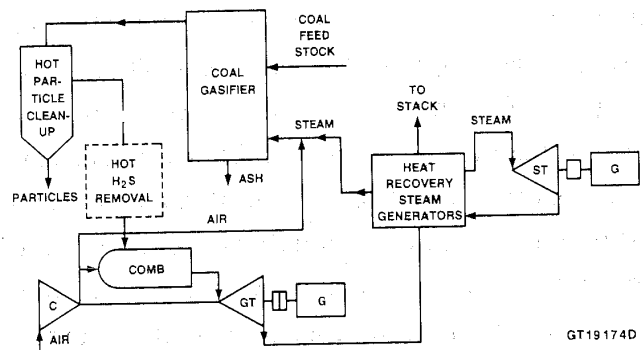


Figure 4 Simplified IGCC

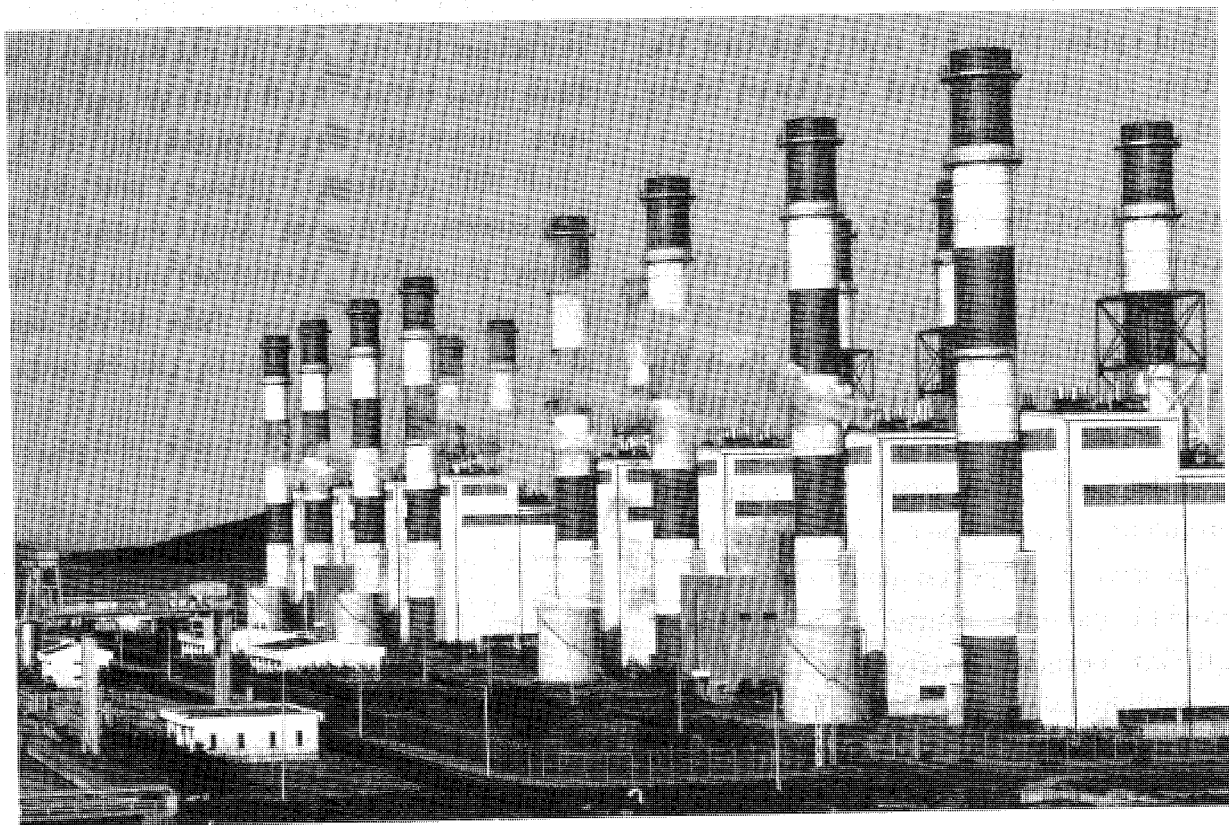


Figure 5 Korea Electric Power Company-Seoinchon Site

mer peak of 1992. Since then, the combined cycles have been brought on line one at a time, as each has its own steam turbine. By December of 1990, three units had started commercial operation. Performance testing to date shows combined cycle efficiency above the guaranteed 54%, making this the most efficient power plant operation in the world. The plant also is able to meet severe emissions standards by incorporating Dry Low NO_x combustion systems.

Eighty-seven GE advanced gas turbines have been committed to date for projects around the world. Some are planned for phased construction, eight are for repowering older stations using reheat steam turbines and 30 are for single-shaft combined cycles. Two U.S. projects utilize the Progen concept where gas turbines operate simple cycle initially, are converted to combined cycle on natural gas during the interim period, and are converted to coal fuel by adding gasification for the final plant configuration at a later date. It is interesting to note that five units are committed for coal-fired combined cycles from the start, marking the beginning of the coal-fired combined cycle market.

Advancing IGCC Technology

Technological improvements are now being demonstrated both in the lab and at pilot plant scale that show even greater possibilities for the 1990s. GE is concentrating on gas turbine component and system improvements to match each of the gasification systems. Continuous improvement of gas turbine efficiencies, along with extensive coal gas combustion testing at full pressure and temperature, are being done at the GE Gas Turbine Development Laboratory in Schenectady, New York.

Output Enhancement:

Diluted coal gas at 10 to 20% of the heating value of natural gas can produce an increase in

power output of approximately 20%, provided the turbine and compressor have the excess capability.

The plot of output versus ambient temperature for the GE advanced gas turbine (Fig 6) shows an added feature: the IGCC can be flat-rated to match the ambient limited fuel flow of the gasifier. This feature means that a single-train plant like the 120-megawatt, 60-hertz Cool Water demonstration plant in California would be 380-megawatt net output today for a 50-hertz single-train plant. Plant cost is affected favorably by the use of the 275-megawatt gas turbine rating which can be accomplished with the standard 9F machine utilizing integrated systems matched by several gasifier technology suppliers.

This combination of the advanced gas turbine with gasification systems has allowed the cost of the very clean, coal-fired IGCC technology to become competitive.

Advanced gas turbines are the focus of a five-year IGCC technology development program at GE. In addition to a 20% improvement in ratings for coal gas, the combustion systems have been tested at full pressure and temperature, under the direct sponsorship of EPRI, Shell Oil Company, Texaco and the U.S. Department of Energy. Results using standard Model F combustors modified only for the larger fuel flow show that NO_x levels ranging down to 10 ppm at 15% O_2 can be expected

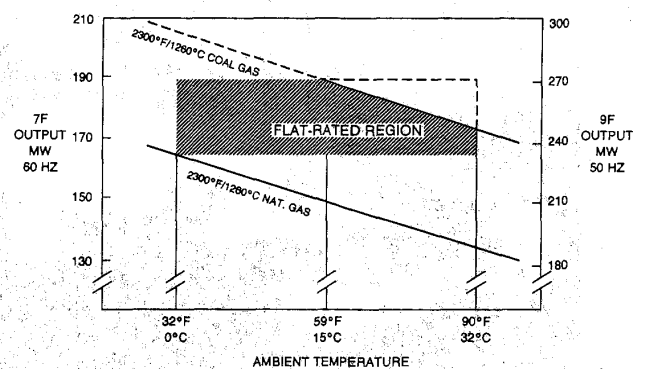


Figure 6 Model F Performance on Coal Gas

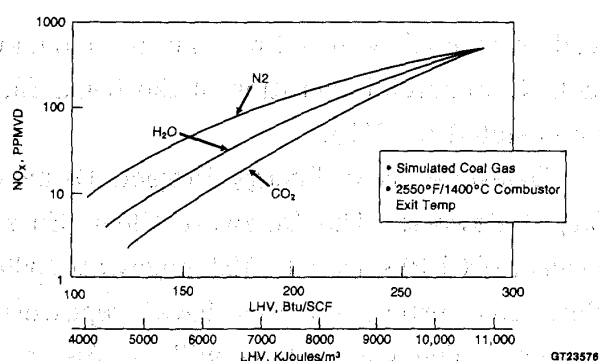


Figure 7 Advanced Gas Turbine Coal Gas Testing

using steam, CO_2 or nitrogen as a diluent, without the use of costly SCR equipment (Fig 7). Two-stage combustion testing has shown stability at even lower NO_x levels. The latest testing shows the possibility of utilizing advanced DLN combustors for coal gas applications. The ability to test at full pressure and temperature has become very important in establishing the optimum systems and in providing test data for permit applications.

Market Activity for IGCC

Market activity is growing as power generators begin to study their more limited options. Projects totaling more than 16,000 megawatts are under active consideration around the world. Europe has three major projects underway:

A 250 megawatt Netherlands project called Demkolec will be completed in 1993 and will be the largest IGCC in operation. It utilizes a Shell International oxygen-blown gasifier and an 1100°C class gas turbine and should operate at about 43% efficiency.

This will be followed by the 308-megawatt German project KoBra utilizing an air-blown HTW gasifier and a 1250°C class gas turbine using Dry Low NO_x combustors. Operation is scheduled for late 1996. Net plant efficiency is projected at 45% using lignite fuel.

The third major coal project is partially funded by the European Community Thermie Program. A consortium of participating utilities

and suppliers called Elcogas will build a 315-megawatt power plant at Puertollano in Spain. The plant will utilize a 1250°C class gas turbine to burn natural gas, coal and petroleum coke and will use a Prenflo oxygen-blown gasification system. Operation is scheduled for 1997. Overall plant efficiency is expected to be 45%.

Some of the early European activity is based on a variety of low-cost fuels. As environmental restrictions increase, the markets for the heavy fuels have fallen off, lowering prices to the level of coal or lower. Many can be gasified successfully to eliminate the constituents that cause air pollution, thereby providing a clean fuel for power generation.

Overview of Planned IGCC Projects in Europe

Italy	2,000-MW oil gasification
	300-MW coal gasification
	600-MW BFG
Germany	1,000-MW coal gasification
United Kingdom	
	75-MW coal/sludge gasification
	350-MW coal gasification
	300-MW oil gasification
Netherlands	1,000-MW coal
	150-MW oil
Scandinavia	600-MW oil gasification
	100-MW Biomass
Spain	300-MW coal gasification
	100-MW oil gasification
Eastern Europe	
	600 MW

North American Projects

The IGCC market also is active in North America, where five IGCC projects are underway, split between utility and private power. The timing and size of these projects indicate the early commercialization of the technology. Four different gasification systems are employed, due to differences in fuel and specific customer choices.

Here is a brief look at several North Amer-

ican projects incorporating various IGCC systems, all using GE gas turbines:

Tampa Electric Company Polk Power Station, Florida: The power package for this 260-megawatt IGCC plant will include a 192-megawatt 1300°C class gas turbine-generator, a 130-megawatt GE steam turbine-generator, a boiler and turbine control systems, and will be used with a fully integrated, oxygen-blown gasification system provided by Texaco. The plant also will use GE's proprietary hot gas cleanup system.

The gas turbine is slated to begin simple cycle operation on distillate oil in 1995, with complete IGCC fueled by coal to begin in 1996. This project was awarded under the U.S. DOE Clean Coal Technology Program Round III.

PSI Energy, Inc.-Wabash River Generating Station, West Terre Haute Indiana: This 265-megawatt IGCC repowering project will use a 1300°C class gas turbine-generator which will burn coal gas and will generate 192 megawatts of electric power. Distillate oil will be the gas turbine's backup fuel.

The gas turbine will be used in conjunction with an existing steam turbine and a Destec oxygen-blown gasification process. This IGCC project is part of the U.S. Department of Energy's Clean Coal Technology Program Round IV. Commercial operation of the facility is slated for mid-1995.

City of Springfield, Illinois, Lakeside Power Station: This IGCC repowering project will use a 40-megawatt 1100°C class gas turbine. The IGCC system will replace existing pulverized coal-fired boilers and a steam turbine as part of an award under the DOE's Clean Coal Technology Program.

This project represents the first application of a simplified IGCC system, which uses an air-blown gasifier in conjunction with GE's proprietary hot gas cleanup system. The gas turbine-generator will be fueled by a gas der-

ived from coal with natural gas as a backup fuel. Commercial operation of the IGCC facility is slated for 1995.

Delaware Clean Energy Project, Delaware City, Delaware: The Delaware Clean Energy Project (DCEP) selected a 192-megawatt 1300°C class gas turbine for this IGCC repowering project. The gas turbine will be fueled by petroleum coke, a by-product from the Star Enterprise Refinery at Delaware City. The petroleum coke will be gasified using a Texaco oxygen-blown gasification process to produce medium Btu syngas fuel.

This will be the first IGCC project which is planned to be fully commercial with no government or industry subsidy. In competitive bidding, the DCEP IGCC technology-based project was selected by Delmarva Power & Light Company from among 27 energy-producing systems such as waste-to-energy, conventional coal plants, natural gas-fired combined cycle plants and system sales from neighboring utilities. The project will provide 165 megawatts starting in 1996.

Sierra Pacific Pinon Pine Project: The Pinon Pine Project utilizes an air-blown fluidized bed gasifier from KRW to produce more than 100 MW of electricity. The gas turbine will be fueled by coal gas with multiple backup fuels. The project also incorporates a HGCU. There are many other planned projects and studies under evaluation (Fig 8).

Conclusion

Many advanced, clean, solid fuel processes for power generation are now focused on the use of the gas turbine combined cycle for the lowest cost of electricity while meeting stringent environmental standards. The IGCC process has proven to be the cleanest, with sulfur removal levels of 98% and greater, low emission levels of CO₂, NO_x hazardous air pollutants, and non-hazardous solid waste.

	North America		Europe		Asia Pacific	
	<u>Projects</u>	<u>MW</u>	<u>Projects</u>	<u>MW</u>	<u>Projects</u>	<u>MW</u>
Under Construction or Planned	11	2,643	13	4,580	1	20
In Evaluation	13	4,460	6	1,900	3	2,000

16 Gigawatts

GT23503

Figure 8 IGCC Worldwide Activity

With the commercial availability of advanced gas turbines, the IGCC technology also can show economic gain against conventional coal steam plants. The IGCC option is now moving from the demonstration phase to the commercial phase and, with planned future improvements, will penetrate the solid fuel power generation market at an even faster pace.

3. 石炭ガス化炉開発の現状と動向

三菱重工業(株)長崎造船所 火力プラント設計部 主務 石 神 重 泰
三菱重工業(株)原動機技術総括室 火力プロジェクト部 プラント開発グループ 古 屋 孝 明

1. まえがき

近年、国際的に地球環境問題がクローズアップされてきている。電気事業においても貴重なエネルギーである石油・天然ガスの温存と埋蔵量が豊富な石炭利用の拡大および地球温暖化および酸性雨などの抑制の観点から、熱効率・環境性能の向上がますます重要になってきている。しかし石炭は、固体燃料であり他の化石燃料と比べ灰分・硫黄分を多く含み、また発熱量あたりの二酸化炭素発生量も多く、高効率で環境保全性の高い新しい発電システムの開発が急務である。その主力技術として、石炭をガス化し、ガス精製で灰分・硫黄分などを除去し、クリーンな燃料ガスに変換した後、ガスタービンの高温化により著しく熱効率が向上する複合発電サイクルと組み合わせる石炭ガス化複合発電 (IGCC) の開発が世界的に進められている。石炭ガス化技術の開発は欧米において今世紀初頭より都市ガス製造の分野などで開発されたが、第一次オイルショック以降著しく加速された。特に欧米では IGCC の中核技術である石炭ガス化炉は実証段階を迎えており、また国内においても国家プロジェクトとして200T/日噴流床石炭ガス化パイロットが建設され、現在運転試験が行なわれている。本稿では、海外および国内の石炭ガス化炉の原理・特徴および開発の現状と今後の動向について紹介する。

2. 石炭ガス化炉の原理

現在開発が推進されている石炭ガス化炉は、今世紀初頭より、都市ガス製造やコークス製造に用いられた石炭の乾留だけでなく、乾留後の固体炭素 (乾留炭またチャー) も燃料ガス (主に CO , H_2 , CH_4) に転換させる完全ガス化が行なわれている。その中でも触媒などを使用せず、ガス化剤として酸素・水蒸気または空気を使用する部分酸

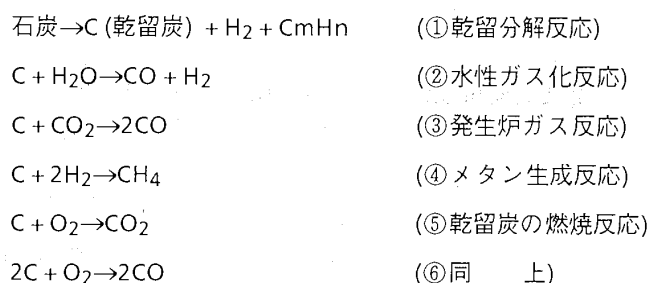


図1 石炭ガス化反応

化法が主流となっている。その主な反応は図1に示すように乾留反応(①), チャーのガス化反応(②~④), 燃焼反応(⑤⑥)の3つに大別される。乾留は通常石炭を350℃以上に加熱すると起こり始める。ガス化反応は水性ガス化反応と発生炉ガス反応が主であり、メタン生成反応は低温高圧下でしかも水素が高濃度に存在する雰囲気で行われる。水性ガス化反応および発生炉ガス反応は、吸熱反応であり、その熱の供給のために一部燃焼反応が必要となる。一般に乾留の反応速度に比べチャーのガス化反応は小さく、完全ガス化させるには、チャーのガス化反応を速くするため、炉内温度を高くし、かつ加圧炉とし酸素濃度を極力大きくしている (最近ではガスタービンとの組合せも考え、圧力は25~30ata 程度が多くなっている)。ガス化剤として酸素・水蒸気を使う酸素吹きでは、生成ガスの発熱量は2500~4000kcal/Nm³ 程度の中発熱量ガスとなるが、空気を使う空気吹きでは窒素により希釈され1000~1500kcal/Nm³ 程度の低発熱量ガスとなる (図2)。発電プラント用としては、酸素吹きの方が空気吹きと比較してガスタービンの燃料ガスの発熱量が高いため発電端熱効率が上がるが、実際には酸素の製造動力がかかるため、送電端熱効率はやや低くなる。石炭ガス化炉の性能は、主に①冷ガス効率(生成ガス化学熱/燃料化学熱), ②炭素転換率(反応した炭素量/燃料中の炭素量), ③安定な灰の分離・排出, ④ター

(平成5年5月6日原稿受付)

ル発生がない,⑤少ない所要動力・ユーティリティという点が重要である。近年はガス化炉のパイロットプラントで冷ガス効率は70～80%,炭素転換率は90～99%が達成されているが,炉型式およびプロセスによって異なっている。

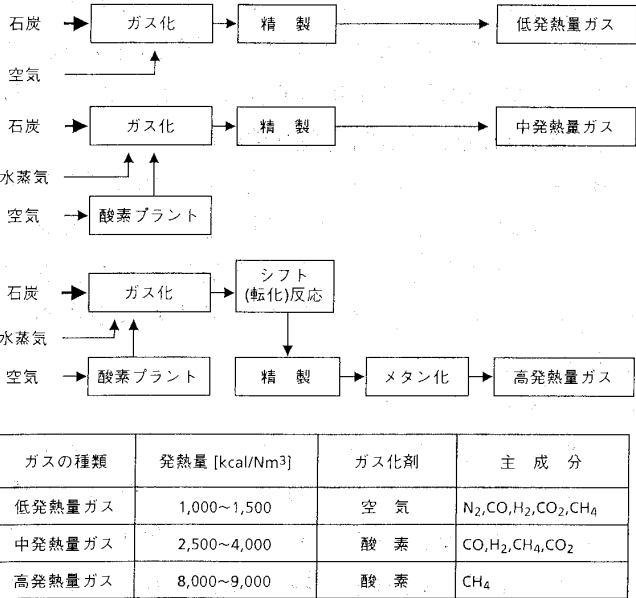


図2 発熱量による生成ガスの分類

3. 各炉型式の特徴

石炭ガス化炉は,表1に示すとおり,石炭とガス化剤との反応の方法によって3つに分類される。固定床ガス化炉は5～30mm程度の大きさの塊炭を炉上部より投入し,炉下部の燃焼により生じるガス流と対向接触しつつガス化を行わせる。ガス化温度は400～900℃程度で低く,メタンの発生量が多く生成ガス発熱量が高いのが特徴である。一方ガス化温度が低温のため,タールの生成が多く,層内の流れおよび温度が不均一であり,溶融灰によるブリッジなどの課題があったが,最近では炉下部へタールを循環させ熱分解させるとともに,灰は溶融液状で落下させる方式(6項参照)が開発され改善が進んでいる。

流動床ガス化炉は5～6mm程度以下の大きさの粗粒炭を空気または酸素・水蒸気とともに炉下部より投入し,流動層を形成しガス化を行なう。層内温度は,石炭中の灰が溶融し,塊を生成するアグロメ現象を行させぬよう灰融点以下とし,かつタールの生成を抑制するため下限温度以上に保つ必要があり,700～900℃としてゐる。この点より流動床ガス化炉は一般に高灰融点炭に適しており,

表1 石炭ガス化炉の分類

	固定床	流動床	噴流床
概念図			
ガス化剤	酸素	空気又は酸素・水蒸気	酸素・水蒸気又は空気
ガス化温度	400～900 (～1,800)℃	700～900℃	1,100～1,800℃
プロセス名	・ British Gas Lurgi 炉	・ 高温Winkler 炉 ・ 夕張 炉 ・ U - Gas 炉 ・ KRW 炉	・ Texaco 炉 ・ Shell 炉 ・ Dow 炉 ・ Prenflo 炉 ・ GSP 炉 ・ ABB - CE炉 ・ 勿来 炉

また流動層内での滞留時間が比較的に長い（数分～数10分）、高い燃料比（固定炭素/輝発分）の炭種に適している。流動床ガス化は比較的低い温度での反応であり、炉底部または炉出口でのサイクロンによって捕集される灰中の未反応炭素が多いため、炭素転換率が低いなどの課題がある。

噴流床ガス化炉は0.1mm程度以下の微粉炭を炉に噴射し、高温（1200～1800℃）でかつ短時間（1～10秒）でガス化する。灰は炉内温度を灰融点以上とするため、溶融液状となり炉壁に付着し、炉底部より排出される。高温のガス化なので、タールが発生せずチャーも完全にガス化され易く炭素転換率も高いが、灰を溶融させるため、炉内でのガスを冷却する過程で灰が炉壁にデポジットするスラギング・ファウリングなどの課題があり、炉内での灰の挙動を十分に把握する必要がある。ただし灰は溶融したのち水で急冷され固化し排出されるのでガラス状であり（スラグと呼ぶ）、水中での不溶性が高く、環境適応性が高い。この型式の炉は原理上、低灰融点炭に適しているが、融点降下剤（一般には石灰石）の投入により幅広い炭種適応性を実現している。

現在これらの型式のうち、噴流床ガス化炉の開発が最も盛んであるが、その理由として①広い炭種適応性、②高い炭素転換率、③スケールアップが容易（高いエネルギー密度）、④負荷変化がし易い、などが挙げられる。しかし他の型式においても改善がなされ、その特徴を生かす努力（5項及び6項参照）が続けられている。また噴流床ガス化炉についても各プロセス毎で特徴が異なり、さらなる課題の解決（4項参照）が進められている。

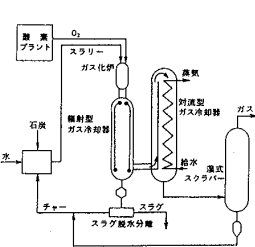
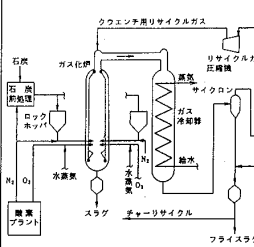
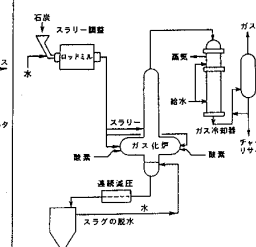
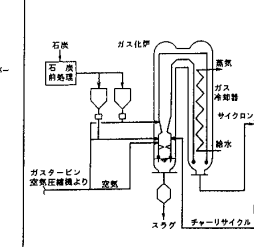
4. 噴流床ガス化炉開発の状況

国内および海外における主要な噴流床ガス化プロセスを表2に示す。海外で開発中のプロセスは化学プロセス用として開発を開始しており、全て酸素吹きである。各プロセスの特徴および開発の状況を以下に示す。

(1) Texaco プロセス

重油ガス化炉から改良された炉で、石炭を水スラリー状で炉頂より1本のバーナから吹き込む酸素吹き一段下降流方式である。ガス化炉から出た生成ガス下部の輻射冷却器で冷却され、溶融した灰が固化スラグとなる。その後生成ガスは、炉底部の水ホッパでガス中のスラグおよびチャーを分

表2 噴流床ガス化プロセス

製造者名	Texaco	Shell	DOW	三菱重工業
プロセス				
ガス化剤	酸素 + 水蒸気 (水)	酸素 + 水蒸気	酸素 + 水蒸気 (水)	空 気
給炭方式	水スラリー	ロックホッパ加圧 乾式気流搬送	水スラリー	ロックホッパ加圧 乾式気流搬送
炉内流れ	下降流	上昇流	上昇流	上昇流
バーナ段数	1段 (塔頂バーナ)	1段 (対向バーナ)	2 段	2 段
炉構造	耐火レンガ	水冷管壁	耐火レンガ	水冷管壁
灰の冷却	輻射冷却	リサイクルガス クエンチ	リダクタでのガス化反応	リダクタでのガス化反応
ガス冷却器	水管式	水管式	煙管式	水管式
チャーのリサイクル	スラリーで原炭に戻す	乾式で原炭に戻す	スラリーで原炭に戻す	気流搬送で炉内に戻す
スラグ排出	湿式ロックホッパ減圧	湿式ロックホッパ減圧	湿式連続減圧	湿式ロックホッパ減圧

離し、クロスオーバーダクトを経て対流型ガス冷却器に送られる。炉は耐火レンガ構造であり、発電プラントで見られる水冷管壁構造は採用していない。水スラリーフィードなので給炭系がシンプルであるが、ガス中の水分が多くプラント効率が低くなる。

本方式は、1984年～1989年に Cool Water プロジェクト(米国, カリフォルニア州)にて900T/日炉を2基建設し(1基は予備), GE 社のガスタービン MS7001E にて120MW の発電を行なった。累積27,116時間, 連続最長846時間の運転を行ない, 生成ガス発熱量2,440～2,550kcal/Nm³, 炭素転換率97～99%を達成している。炭種については主にサフコ炭を中心に他に18炭種の瀝青炭を試験している⁽¹⁾。この試験でクロスオーバーダクトの灰による閉塞の問題が発生し, その後灰の付着防止の開発が進められ, さらなる信頼性の向上が図られている。今後は1996年より米国フロリダ州にて Tampa 電力の260MW 級油焚ガスタービン (GE 社の MS7001F) 複合発電プラントに1,900 T/日炉のガス化炉を建設する計画がある。

(2) Shell プロセス

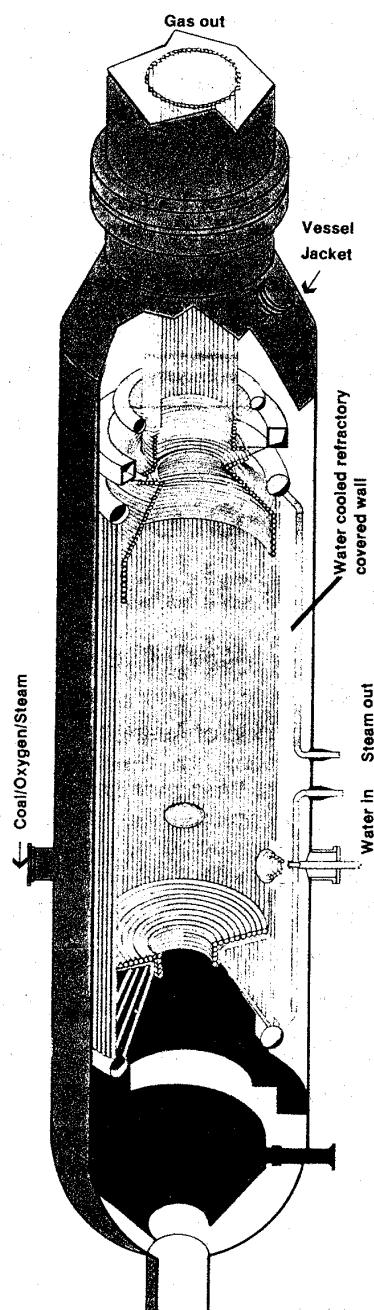
Shell 社は、1970年代よりそれまでの下降流の重油ガス化炉とは異なり, 上昇流の石炭ガス化炉を Krupp & Koppers 社と共同開発し(表3中の

150T/日炉), その後1980年代より独自に開発を進めてきた。この炉は, 石炭はロックホッパ加圧され乾式気流搬送(搬送気体は N₂) で対向バーナから吹き込む酸素吹き一段方式である。炉内は灰の溶融点以上の温度なので灰は炉壁に付着し, 溶融液状で流下し炉底のスラグタップより水ホッパへ排出される。生成ガスは炉上部より生成ガス冷却器へと送られるが, その途中で低温のリサイクルガスで急冷(クエンチ)され, ガス中の溶融灰粒子を固化し, 灰の付着による閉塞を防止している。炉は水冷管壁構造となっており, 耐久性の向上が図られている(図3)。

本方式は、1987～1991年に SCGP-1プロジェクト(米国, テキサス州, Deer Park)にて250T/日炉を建設しガス化試験を行なった。累積14,650時間, 連続最長運転1,528時間運転を行ない, 炭素転換率99%以上, 冷ガス効率76～80%を達成している。主にイリノイ No.5炭を中心に, 18炭種を試験し, 瀝青炭, 亜瀝青炭, 褐炭, ペトロコークスなどの幅広い炭種・燃料の適用性を検証している⁽²⁾。この試験では, 給炭系での Dense Phase Feed の採用, バーナ寿命の延長, 生成ガスクーラでの Fouling 検知および除去などの開発を行ない, 信頼性および性能の向上を図っている。このパイロット試験を受けて, 本方式は次ステップとして,

表3 噴流床ガス化炉の開発

製造者名	炉容量	'75	'80	'85	'90	'95
Texaco	900 T/日 1,900 T/日			'84 '88		'96
Shell	6 T/日 150 T/日 250 T/日 2,000 T/日	('72 ~ '74) '78	'83		'87 '91	'93
DOW	33 T/日 1,090 T/日 2,200 T/日 2,500 T/日	'78	'84 '83	'85	'87	'95
三菱	2 T/日 200 T/日		'83	'89	'91	

図3 Shell 石炭ガス化炉⁽³⁾

オランダ Buggenum での Demkolec 社284MW IGCC 実証プラント（ガスタービンは Siemens 社の V94.2）に2,000T/日炉を建設し、本年より運転開始する予定である。

(3) DOW プロセス

DOW 社は1970年代の後半より、水スラリーによる給炭での酸素吹き二段噴流床のガス化炉を開発してきた(図4)。二段目の石炭投入を行なうことにより、一段目の高温ガス顕熱の有効利用を狙っている。炉は耐火レンガ構造で、スラグは他のプロセスではロックホッパ方式で減圧し炉外に

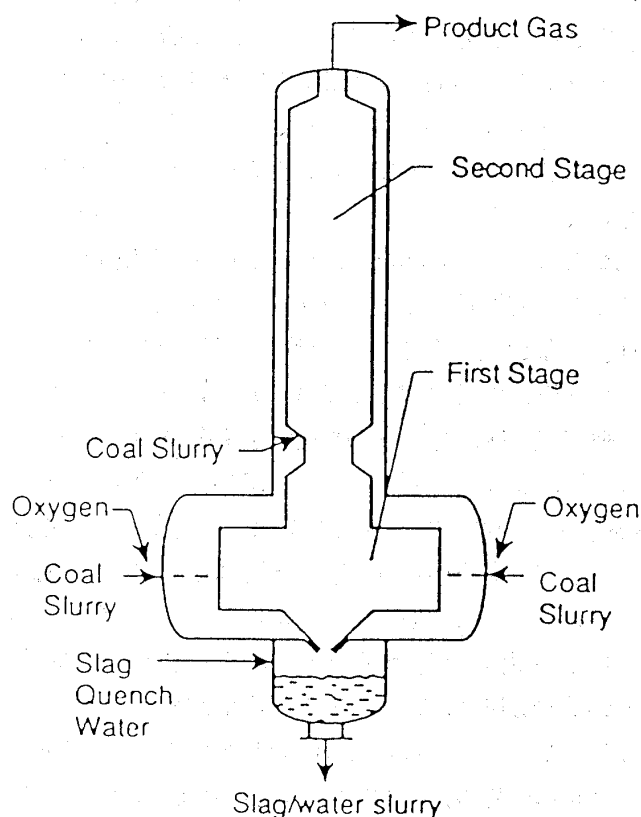


図4 DOW 石炭ガス化炉

排出するが、連続減圧タイプを開発している。又生成ガス冷却器は、煙管タイプを採用し（図5参照）、蒸気条件は上げられぬものの、小型化を図っている。本方式は、1987年より LGTI プロジェクト（米国、ルイジアナ州、Plaquemine）にて2,200 T/日炉を2基建設し（1基は予備）、Westinghouse 社のガスタービン W510D で160MW（ガスタービン100MW、蒸気タービン60MW）の発電を行なった。累積10,900時間以上（1989年2月まで）の運転をし、主に褐炭および亜瀝青炭の試験を実施している。この試験では煙管式の生成ガス冷却器でチューブのエロージョン・コロージョンが発生し、1992年に改造を実施している。またチャーリサイクルを湿式で行なっているが、チャーラリーからの水の分離とそのチャーリサイクルの安定運転が困難であることやバーナ寿命などで課題があり、改善のための開発がなされている⁽⁴⁾。本方式は、次ステップとして1995年より米国 Indiana 州 West Terre Haute で2,500T/日炉を建設し Wabash River 発電所の Repowering（ガスタービンは GE 社の MS7001F）を行なう予定である。

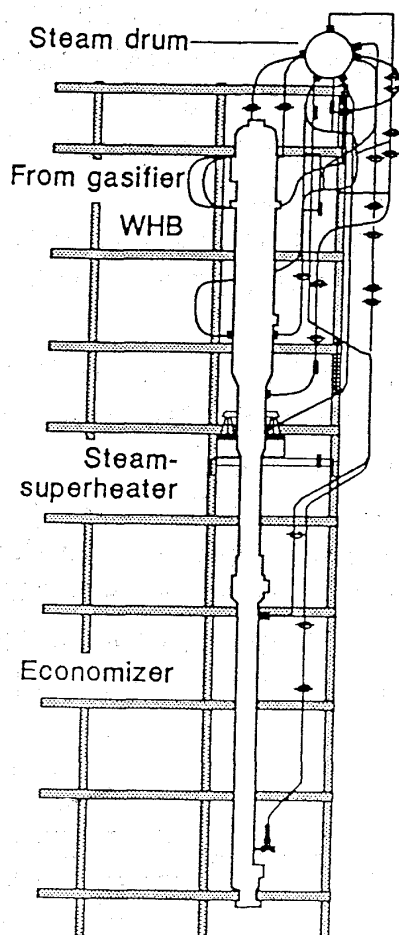


図5 DOW 煙管式生成ガス冷却器

(4) 勿来200T/日炉方式

三菱重工業(株)は(財)電力中央研究所とともに1983年より2T/日炉のPDU (Process Development Unit) で発電プラントに最適な噴流床ガス化炉の開発に着手した。本方式は空気吹き二段噴流床炉で一段目(コンバスタ)で灰の完全な溶解を行ない、二段目(リダクタ)の石炭ガス化反応で高温ガスの顕熱の有効利用をするとともに灰の固化を行なう(図6)。さらに微粉炭をロックホッパ加圧し、乾式気流搬送することおよびガス化剤として空気を使用することで発電効率が最良のシステムを開発目標としている⁽⁵⁾。炉は発電用ボイラと同様、水冷管構造を採用しており、耐久性の向上を図っている。本方式は新エネルギー産業技術総合開発機構(NEDO)の委託を受け電力中央研究所のフィジビリティスタディにより国家プロジェクト200T/日噴流床石炭ガス化パイロットプラントのガス化炉として採用され、福島県いわき市の常磐共同火力(株)勿来発電所構内に建設され、1991年から

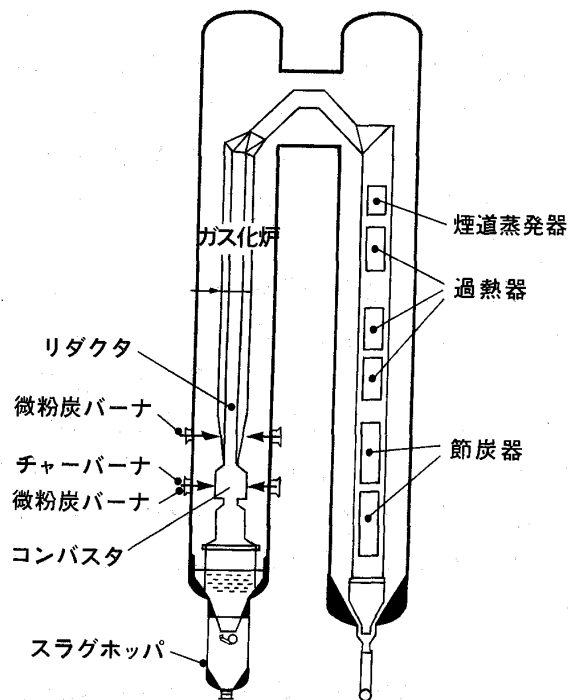


図6 勿来200T/日噴流床石炭ガス化炉

石炭ガス化複合発電技術研究組合(IGC 組合)により運転試験が実施されている。本プラントは乾式ガス精製と12,500kW 容量のガスタービンをもち、1992年7月23日に石炭ガス化発電に成功している。現在までの、パイロットプラントの運転試験を通し、ガス化炉の研究課題が数多く抽出され、その解決のためのデータ取得、開発を実施しており、今後の実証炉(2,000T/日級炉)の設計のための貴重な知見を得ている。

(5) その他噴流床ガス化方式

Prenflo 炉: 独 Krupp & Koppers 社が Kopper-Totzek 法の技術をもとに Shell 社と150t/日炉で共同開発後、独自に開発を進めてきた方式で、その特徴は Shell 炉とほぼ同様である。その後1986年より48T/日炉を Furstenhausen に建設し累積8,000時間、30炭種を試験し、灰分40%、硫黄分8%程度までの炭種適用性を検証している。次ステップとして現在スペインの Puertollano 340MW IGCC 実証プラントの計画で2,590T/日炉を建設し、1996年からガス化の運転を開始する予定である。この炉では海外輸入炭である瀝青炭を中心とし運転は行なうが、地元炭である Puertollano 炭(水分10%、灰分50%、硫黄分1.8%、発熱量3,600kcal/kgLHV)も使用する計画である⁽⁶⁾⁽⁷⁾。

ABB-CE 炉: ABB-CE 社は、120t/日常圧炉を米国 Winsor に建設し1978年より累積5,000時間の試験を行なった。現在は65MW の IGCC 実証プラント (ガスタービンは GE 社の MS6001B) に 600T/日加圧炉を建設し、1995年より運転開始する予定である。

5. 流動床ガス化炉の開発状況

国内および海外において開発中の流動床ガス化プロセスとしては、加圧二段流動床ガス化炉 (夕張炉)、高温 Winkler 炉 (HTW 炉)、UGas 炉、KRW 等があるが、近年は加圧流動床燃焼炉 (PFBC) と流動床部分ガス化炉を組合せたトッピング PFBC 発電システムの概念も検討されている。

(1) 夕張炉

我国における流動床石炭ガス化技術の開発は、国家プロジェクトとして、(財)石炭技術研究所が 1974年5T/日 PDU を北海道夕張市に建設したのに始まり、1981年には40T/日パイロットプラント (夕張炉) が完成しガス化試験研究が1988年まで行なわれ、ガス化運転時間は約8,000時間、連続最長510時間が達成された。

夕張炉は、加圧二段流動床炉方式で、第1炉(下

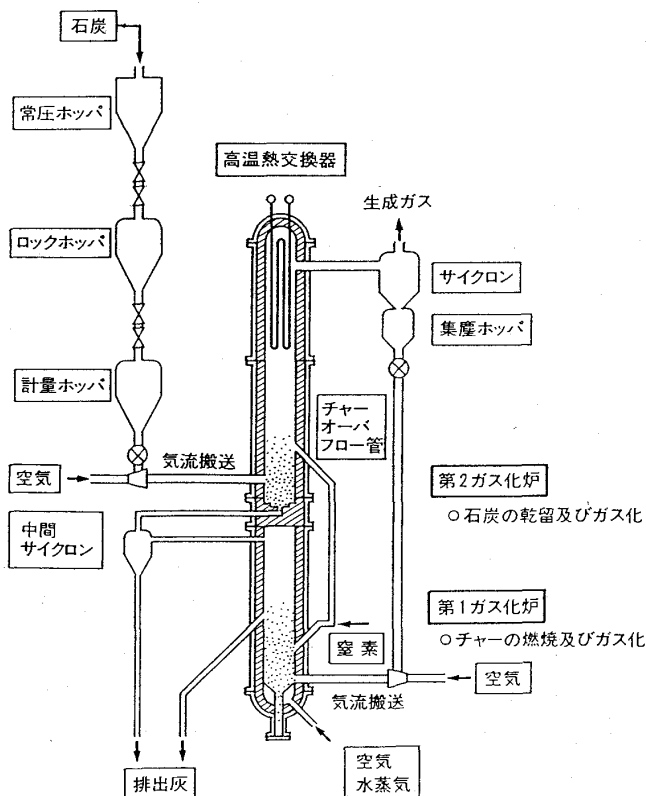


図7 夕張40T/日流動床石炭ガス化炉

段炉) と第2炉 (上段炉) から構成され、第2炉に石炭と空気を供給して流動床を高温化し石炭の乾留とガス化を行ない、第2炉で発生したチャーを第1炉に供給し空気と水蒸気により完全にガス化・燃焼させている。

第1炉で発生する高温ガスは、第2炉でのガス化用熱源およびガス化剤として利用される (図7)。

本方式では、排出灰中の未燃カーボンが多いため別に常圧流動床燃焼炉を設け未燃カーボンからの熱回収を行なっている。

(2) 高温 Winkler (HTW) プロセス

HTW (High Temperature Winkler) プロセスは、ドイツの Reinbraun 社が推進母体となり、主に褐炭などの高灰融点低品位炭のガス化を目的に開発を進めているシステムである (図8)。本方式

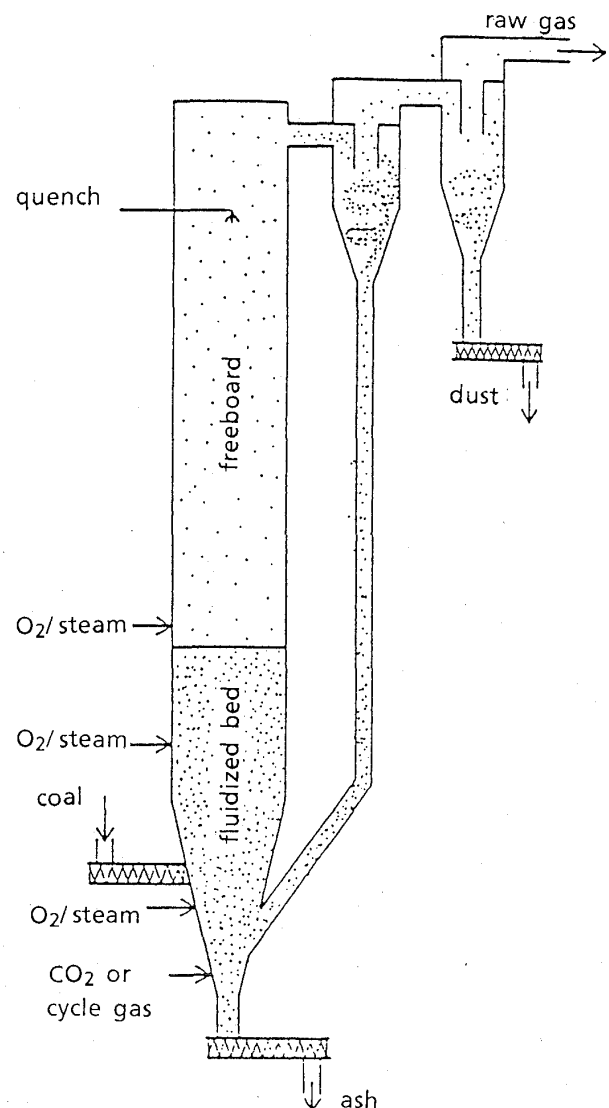


図8 HTW 流動床石炭ガス化炉

は流動床ガス化方式を基本とし、褐炭からの合成ガス製造を目指し、1955年より240T/日常圧 Winkler 炉、1978年より24T/日加圧(10bar) HTW 炉パイロットプラントが運転され、1986年よりメタノール製造用720T/日加圧(10bar) HTW 炉実証プラント建設され累積31,000時間以上が運転された⁽⁸⁾。

更に、ガスタービン複合発電への適用を目指し、1989年より156T/日加圧(25bar) HTW 炉パイロットプラントが運転中であり、酸素吹きおよび空気吹きでのガス化試験が行なわれている。これら開発研究を基に、RWE Energie 社が推進母体となり、HTW 炉をベースとした褐炭流動床ガス化複合発電実証プラント「Kobra プロジェクト」が進められている。このプラントでは1,800T/日×2系列の HTW 炉でガスタービンは Siemens 社の V94.3を用い、300MW の発電を行なう予定である。

Kobra プロジェクトは、1986年より計画・設計が始まり1995年から実証運転開始の予定である。本計画では褐炭を燃料に HTW 炉の発生チャーを常圧循環流動層ボイラ(CFB)に投入し、灰中の未反応炭素の有効な熱回収を図っている。

6. 固定床ガス化炉開発の状況

固定床のガス化炉は、メタンの生成による比較的高い発熱量のガス(CH_4 が55%以上含有されており3,300kcal/Nm³程度)が得られる半面、層内での流れ・温度の不均一性により生成する焼結灰によるブリッジングや、タールの生成といった課題を有していた。

これに対し、British Gas と Lurgi は、粒径を5～6 mm 程度のものを50%まで混入し、炉下部に酸素・水蒸気を入れ、1,800～2,000°C 程度の高温とし熔融液状で落下させるとともに生成したタールは炉下部に循環して高温で燃焼ガス化する(図9)。これにより従来85～90%の炭素転換率が99%にまで高められた。本方式は1984年より英国 Scotland の West field で400T/日炉を建設し、瀝青炭を使用して冷ガス効率90%を達成している。現在は生成ガス中にメタンが多い特徴を生かし、燃料電池との複合サイクル(IGFC)のフィージビリティスタディも実施されている。

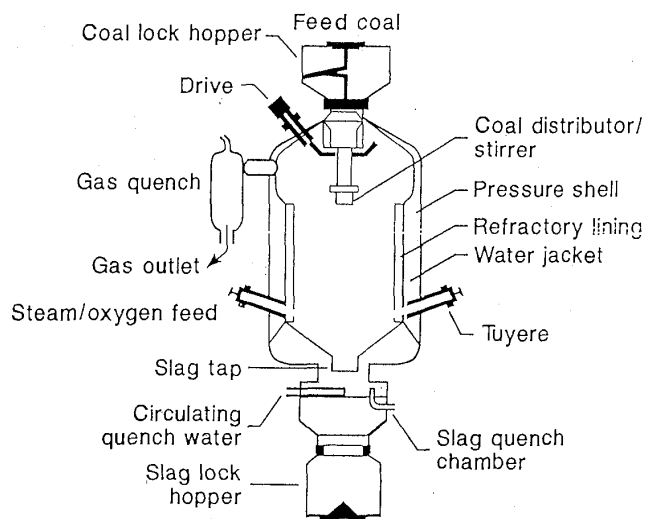


図9 British Gas-Lurgi スラッキング炉

7. まとめ

欧米および日本が推進している石炭ガス化炉の開発は、パイロットプラントでのデータの取得、課題抽出およびその解決のために開発を経て、今後実証段階へと移行する。事業用電源の主機として、性能はもとより信頼性、運用性、保守性、経済性について実証プラントの建設および運転を通じ、さらなる改良がなされていくと考えられる。日本国内でも、今後は勿来200T/日噴流床ガス化炉運転試験研究の貴重な知見をもとに実証炉の開発が推進されることが考えられる。

参考文献

- (1) Cool Water Coal Gasification Program: Final Report, EPRI GS-6806 (1990-12)
- (2) Shell Coal Gasification Project: Gasification of Six Diverse Coals, EPRI GS-7051 (1990-11)
- (3) Zon, G.D., Modern Power Systems (1990-8), 39
- (4) Strickland, D. & Payonk, R., 11th EPRI Coal Gasification Conf. (1992-10), Sec. 2-6
- (5) 石神・古屋ほか4名, 機械学会シンポジウム講演論文集 [No.920-93] (1992-11), 89
- (6) Richards, R., Modern Power Systems (1992-8), 24
- (7) Schellberg, W., 11th EPRI Coal Gasification Conf. (1992-10), Sec. 2-5
- (8) Adlhoch, W., 他2名, 9th EPRI Conf. of Coal Gasification Power Plants (1980-10)

4. 脱硫技術

石川島播磨工業(株)ボイラ事業部開発部 小 林 惇

石炭ガス化複合発電における脱硫装置の持つべき役割としては、ガス化ガス即ち燃料ガスの段階でガス中の硫黄化合物を除去しガスタービン排出ガスの環境排出基準を満足させることにある。また同時にガスタービンの燃料としては好ましくない硫黄化合物を除去することである。なお石炭をガス化した燃料ガスの段階で、かつ加圧下で脱硫が行われるため、通常の排出ガス処理に比べて処理ガス実容量が数分の一となり、装置が小型化される利点がある。脱硫技術として既に商用化の技術である吸収液を使用する湿式法と、現在開発段階にある金属酸化物を吸収剤として使用する乾式法がある。

1. 脱硫方式の原理・型式と特徴

脱硫技術には上述したように、湿式法と乾式法があり、それ等をさらに区分すると下記のように区分される。

- ・湿式法 化学吸収法
- 物理吸収法

- ・乾式法 炉内脱硫法
- 炉外脱硫法 吸収剤使い捨て方式
- 吸収剤再生方式

湿式法は既に石油精製、化学工業の分野で商業的に使用され技術的には完成された技術であるが、その最適操作温度レベルが乾式法に比べて低いため、ガス化炉からのガス化ガスの持つ顕熱の一部が回収されず、外部に放出される。乾式法の場合はその最適操作温度レベルが湿式法に較べて相当高く、そのためガス化ガスの持つ顕熱の損失が少なく、その顕熱をガスタービンで有効に利用出来るため全体の熱効率の向上が計れ有利である。

・湿式法 湿式法の場合、硫黄化合物を除去する吸収液のタイプとしては、物理的に硫黄化合物を吸収する物理的吸収液と、化学的に硫黄化合物と反応する化学的吸収液がある。吸収液の改良等は現在も実施されているが表1に代表的な湿式脱硫プロセスおよび吸収条件を示す。一般的に化学的吸収液は、硫黄化合物と反応すると同時にガ

表1 代表的湿式法プロセス

目項 種別	プロセス名(プロセスオーナー)	吸収液、添加物	吸 収 塔 操 作 条 件		
			温度 (℃)	圧 力	
				(kgf/cm ²)	[MPa]
物理的吸収	Rectisol (Lurgi/Linde)	メタノール	0 ~ 70	加 圧	
	Selexol (Allied Chemical)	ポリエチレングライコールのジメチルエーテル	常温 ~ -10		
	Purisol (Lurgi)	N-メチルピロリドン			
	Flour Solvent (Flour)	フロビレンカーボネート			
	Sulfinol (Shell)	ジイソプロパノールアミン・+スルフォラン	40	10以上	0.1以上
化学的吸収	MEA	モノエタノールアミン	常 温	5 ~ 20	0.5 ~ 2
	DEA	ジエタノールアミン			
	ADIP (Shell)	ジイソプロパノールアミン	40		
	DGA (Flour)	ジグリコールアミン	35	加 圧	
	Benfield (Benfield)	熱炭酸カリ+ジエタノールアミン	90 ~ 120	7 以上	0.7以上
	Cafacard (Eickmeyer & Agsociate)	熱炭酸カリ+カタカルブ触媒			
	Alkazid (BASF)	アミノ酸のアルカリ塩	30	常圧 ~ 加圧	

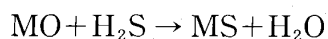
(平成5年4月5日原稿受付)

表2 石炭ガス化プラントの脱硫方式

プラント名称	所在地 (国名)	電気出力 (Kw)	石炭量 (t/d)	運転年	脱硫方式	脱じん装置	備考
Cool Water	米 国	120000	900	1984	Selexol	湿式スクラバ	
Deer Park	米 国		250	1987	MEDA, Sulfinol	Candle(Ceramic, SiC)	Sulfinol-D for H ₂ S, COS
Demkolec (Maascentrale PS.)	ネーデルラント	253000	2000	1993	湿 式	Ceramic Filter	NO _x 80g/GJ
KoBra	ドイ ツ	300000	3600	1995	Puris, Claus	Candle(Ceramic)	
Lakeside, IL(Springfield CWLP)	米 国	65000		1995	移動床 ZnFe	炉内脱硫(Back up)	
PRENFLO(Fuerstenhausen)	ドイ ツ		48	1986	MEDA, Claus	Candle(Ceramic)	Candle, jet cleaning
Pinon Pine	米 国				炉内脱硫	Cyclon, Candle Filter	FeZn
Plaquemine Louisiana	米 国		2900	1987	Select Amine	Cyclon 湿式スクラバ	
Polk Power FL(TECO)	米 国	265000	2000	1996	移動高温乾式		乾式脱硫、50% 容量 GE
SAR(synthesegas anlage ruhr)	ドイ ツ		700	1986	Rectisol	湿式スクラバ	
Tampella(Demo)	フィンランド	69800	675	1995	炉内炉外脱硫	Ceramic Filter	TiZn, 高温脱硫
Ube Ammonia	日 本		1500	1984	Rectisol	Cyclon	
勿米(常磐)	日 本	13000	200	1991	流動高温乾式	Ceramic Granular Filter	Fe ₂ O ₃ (S, 25ppm, dust 30mg/m ³ N)

ス化ガス中に大量に含有されている炭酸ガスとも反応し炭酸ガスを物理的吸収液よりも大量に除去してしまう。このために吸収液の再生時に大量の加熱蒸気が必要となる。このことから、複合発電で、湿式法を使う場合は炭酸ガスの吸収能力が小さい物理的吸収液プロセスの方が望ましい。湿式法の場合は平衡濃度が小さいため脱硫後の精製ガス中の硫黄化合物濃度をかなり低くすることが可能で、1 ppm 程度までにすることができる。しかし使用する吸収液によっては、硫化カルボニル(COS)の吸収能力が小さい吸収液もあり、その場合は硫化カルボニルを硫化水素に転換する必要がある。また吸収液は液体で使用されるため、ガス化炉からのガス化ガス中に含有されているアンモニア(NH₃)、塩化水素(HCl)フッ化水素(HF)等のハロゲン化合物がある程度吸収除去される利点がある。特にアンモニアの場合は、ガスタービンの燃料ガス中に含有されるアンモニア含有量が低くなるため、ガスタービンの燃焼排ガス中のNO_x値が低くなる。

・乾式法 乾式法は金属酸化物と硫黄化合物を反応させ金属酸化物を金属硫化物の形にして硫黄を除去するもので、通常、下記の反応式で表わされる。



MO: 金属酸化物

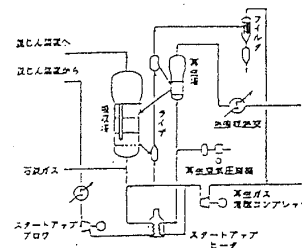
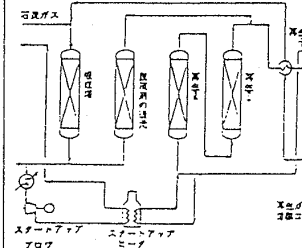
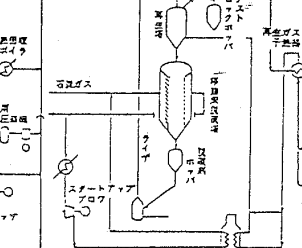
乾式法の場合、脱硫反応をガス化炉内で行うか、ガス化炉外で行うかにより、炉内脱硫と炉外脱硫

に区分され、炉外脱硫では吸収剤として酸化鉄、酸化亜鉛のペレットを使い捨て方式で使用する固定床プロセスが化学反応触媒を被毒される化学原料中に含まれる低濃度の硫黄化合物の除去のために使用されている。また、Appleby Frodingham Steel Co. (英国)でコークス炉ガスの脱硫用に鉄鉱石を使用した流動床式の装置を短期間実用規模で動かした実績はある。しかし、高温高圧下で高濃度の硫黄化合物を含んだ大容量のガスを脱硫する乾式法は、現在、開発中で、実証プラントも計画されている。表2に現在運転中もしくは建設が予定されている石炭ガス化プラントの脱硫方式を示す。炉内脱硫は、石炭微粉炭焚きボイラのボイラ火炉内で実施されたことのある炉内脱硫と同様で、ドロマイトなどのカルシウム系鉱石を石炭とともにガス化炉内に投入しガス化と同時に脱硫を行うものである。しかし脱硫反応は、石炭微粉炭火力の場合が亜硫酸ガス(SO₂)との反応であるに対して石炭ガス化炉の場合には、硫化水素(H₂S)、硫化カルボニル(COS)との反応である。環境規制値によるが、通常、石炭ガス化の場合は、炉内脱硫だけでは環境規制値を満足できず、炉外脱硫との組合せで開発がなされている。石炭ガス化複合発電の炉外脱硫の場合、現在開発されている吸収剤はガス化ガス中の硫黄化合物と反応して硫化物の形態となり脱硫を行い、硫化された吸収剤は酸化され、もとの吸収剤の形態に再生され脱硫性能を回復し、その時に吸収した硫黄分を亜硫

酸ガス（または単体硫黄蒸気）として放出する。すなわち、吸収剤の硫化→硫化吸収剤の再生というサイクルで行われる。炉外脱硫の吸収剤として研究された吸収剤を大別すると、鉄、亜鉛、銅などの金属酸化物、リチウム、ナトリウム、カルシウムなどのアルカリ炭酸塩、錫などの熔融金属に区分され、現在は、金属酸化物について研究開発が進められている。炉外脱硫の場合の脱硫性能は使用する吸収剤、操作温度、ガス組成（とくに水蒸気、水素、一酸化炭素の濃度）によって影響される。同一の金属酸化物吸収剤の場合、その脱硫性能は温度、水蒸気濃度の影響が大きく、温度についてはその金属酸化物により、高い脱硫性能が得られる温度領域が異なり、最適な温度領域がある。炉外脱硫の場合の脱硫反応の実施の形態としては、吸収剤の圧力容器での保有形態により、流動床式、固定床式、移動床式に大別される。表3に流動床式、固定床式、移動床式の装置形態、特徴等を示す。乾式法の研究開発は日本および米国

が進んでおり、米国では表2に示したように大型の乾式法の装置の設置が計画されている。日本における乾式法の開発状況は、酸化鉄系粉末吸収剤を使用した流動床式を石川島播磨重工業㈱が、酸化鉄系ハニカム格子形状の吸収剤による固定床式を㈱電力中央研究所/三菱重工業㈱⁽¹⁾が、脱じん機能と脱硫機能を兼用した酸化鉄系球状吸収剤による移動床式を川崎重工業㈱⁽²⁾が開発を進めている。流動床式は、1979年に通商産業省から㈱石炭技術研究所への委託に基づき同研究所からの研究委託により石川島播磨重工業が同研究所の夕張試験場に設置した40T/日流動床式石炭ガス化炉の高温乾式脱硫用として設置した30T/日相当規模の試験装置により本格的開発を開始した方式である。また本方式は、新エネルギー・産業技術総合開発機構からの委託に基づき、石炭ガス化複合発電技術研究組合が常盤共同火力㈱の勿来発電所内に設置した200T/日噴流床石炭ガス化発電プラントの乾式脱硫装置として採用され、1992年から

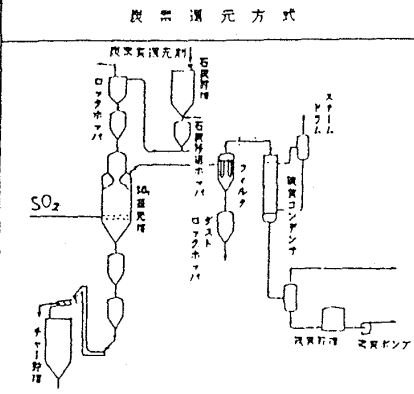
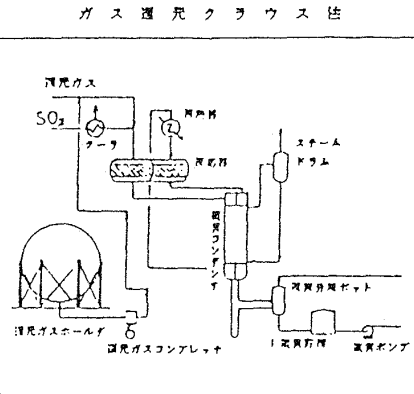
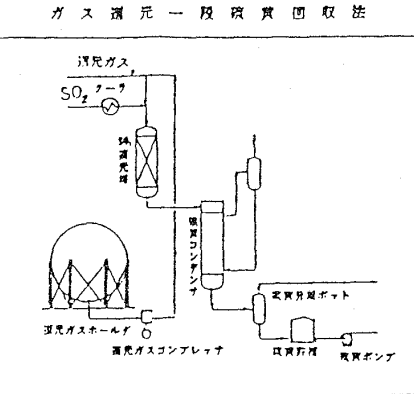
表3 炉外脱硫乾式法のプロセスの特徴

項目	形式	流動床式 (IHI)	固定床式 (電中研/MHI)	移動床式 (KHI)
脱硫剤	形状	粉末 (平均150 μ)	ハニカム格子	ペレット (約1 mm)
	初期充填量 (50000 2000T/日ベース)	77.5m ³	不明、但し流動床式より多い	不明、但し流動床式より多い
	価格	安価	高価	高価 (不明)
	損耗	有り (補給の要あり)	殆どなし (一定間隔で取換え)	有り (補給の要あり)
吸収塔/再生塔塔数		各 1塔	複 数 (4~6塔)	各 1塔
吸収塔/再生塔間の脱硫剤の移動		有	無	有
再生塔内温度分布		均一	不均一、時間と共に変動	一定の温度勾配がある
再生塔出口ガス組成温度		一定	変動	一定
再生用ガス流量		小	大	大
再生用ガスの予熱		不要	要	要
再生脱硫剤中の残留硫黄		少ない	多い	多い
ダスト除去		吸収塔出口に必要	吸収塔入口に必要	脱じん兼用
システム		簡 単 (大型圧力容器が少ない)	バルブ切替操作の複雑 (大型圧力容器が多い)	流動床式よりは複雑 (大型圧力容器が少ない)
運 転 実 績		・夕張40T/日P.P. 累積脱硫試験時間 3623hr (全機5000h) ・勿来200T/日P.P. '91/4より運転開始	・2T/日 PDU: 375hr (実ガスおよび模擬ガス, '89/2 號) ・勿来200T/日 IGCC に20T/日P.P.を設置	・勿来200T/日 IGCC に4T/日PDUを設置
プロセスフロー				

石炭ガス化炉と連絡し、ガス化石炭ガスによる試験を開始した。200T/日パイロットプラントの乾式脱硫装置は、現在稼働している乾式脱硫装置として世界最大のものである。固定床式は財電力中央研究所と三菱重工業㈱が財電力中央研究所の横須賀研究所に設置した試験装置により開発を始めた方式で、勿来200T/日パイロットプラントに石炭処理量20T/日相当規模の装置を設置し、1993年より試験開始の予定である。また移動床式は、川崎重工業が開発してきたグラニューラーベッド式の脱じん装置の濾過材に脱硫機能を付加し同社の研究所で開発を進めてきた方式で、勿来200T/日パイロットプラントに石炭処理量4T/日規模の装置を設置し、1993年より試験開始の予定である。吸収剤に吸収もしくは反応して除去された硫黄化合物の処理方法には種々の方式がある。湿式脱硫の場合、硫黄化合物を含有した吸収液の再生は、通常、吸収液を蒸気等で加熱することによってなされる。加熱された吸収液からは、吸収剤が硫黄化合物を吸収した時の硫黄化合物の形態等の形態で放出される。一方、乾式法の炉外脱硫の場合、硫黄化合物と反応して硫化された吸収剤の再生は酸素によって酸化することによってなされ、その時、吸収剤と反応して除去された硫黄化合物は亜

硫酸ガス(SO_2)として放出される。この硫化吸収剤の酸化反応は大きな発熱を伴う反応で、 $600\sim 800^\circ\text{C}$ の温度で行われ、この高温の再生ガスからの熱回収が乾式法炉外脱硫の場合の熱効率の向上に欠かせない。吸収剤の再生で発生する硫黄化合物の処理方法は、湿式法の場合、発生した硫化水素の一部を酸化させて亜硫酸ガスにし、残りの硫化水とクラウド触媒下で反応させ、単体硫黄として回収するのが一般的である。また、硫化水素を酸化(燃焼)し亜硫酸ガスにして、通常火力発電で燃焼排ガス処理方法として広く採用されている石灰石コウ法で硫黄化合物を石コウとし回収する方法もある。乾式法炉外脱硫の場合、硫化吸収剤の再生時に発生する硫黄化合物の形態は、通常、亜硫酸ガスで、亜硫酸ガスの処理方法としては、湿式法と乾式法がある。湿式法としては亜硫酸ガスを硫酸として回収する硫酸法、石コウとして回収する石灰石コウ法等がある。乾式法としては、亜硫酸ガスを炭素で還元して単体硫黄で回収する炭素還元法と、水素、一酸化炭素で還元して単体硫黄で回収するガス還元法がある。炭素還元法、ガス還元法はクラウド反応との組合せも提案されている。表4に炭素還元法、ガス還元法等の装置形態、特徴を示す。勿来200T/日パイロット

表4 乾式法硫黄回収プロセス

炭素還元方式	ガス還元クラウド法	ガス還元一段硫黄回収法
		
① ガスを高温で受入れるため入口ガス冷却は不要。 ② 生成ガス中にガスが含まれるので硫黄コンデンサ上に脱じんが必要。 ③ 炭素還元剤の受入れ、チャーの選別排出にロックホッパーと固体精選システムが必要。 ④ ガス化炉と独立運転できる。	① 反応器入口は低温度(約 250°C)が必要なので冷却熱交換器が必要。 ② ガス化炉停止時の脱硫剤再生運転設備が必要のため、別途 SO_2 処理設備がない場合は、還元ガスの大型貯槽が必要。 ③ ガス還元触媒の取換設備、及び予備触媒と緩速酸化処理が必要。 ④ ガス変動に対する運転制御が必要。 ⑤ ガスの制断が間に合わなかった場合は硫黄回収率が低下する。 ⑥ 再生触媒のO ₂ 含有ガスの処理が困難。	① 入口 SO_2 が低濃度の時、反応器での温度上昇が少ないため、一段反応で運転可能なるもS回収率は下がる。 ② ガス化炉停止時の脱硫剤再生運転設備が必要のため、 SO_2 処理に大容量の還元ガス貯槽が必要。 ③ ガス還元触媒の取換設備、及び予備触媒と緩速酸化処理が必要。 ④ ガス変動に対する運転制御が必要。 ⑤ ガスの制断が間に合わなかった場合は硫黄回収率が低下する。 ⑥ 再生触媒のO ₂ 含有ガスの処理が困難。

プラントでは、乾式脱硫設備として採用されている流動床式脱硫設備が、夕張の40T/日パイロットプラントで採用し、開発した炭素還元法を、20T/日規模の固定床式脱硫設備がガス還元法を採用している。

2. 日本, 米国, 欧州での開発状況

既に記述したように、日本での乾式法の炉外脱硫の方式としては酸化鉄系吸収剤を使用する流動床式、固定床式、および脱じん脱硫兼用の移動床式の開発が進められている。乾式脱硫技術では試験装置規模を含めて、現状では欧米より一歩進んだ状況にある。吸収剤の開発については、各方式の開発を進めている各社が研究を実施しているが、それ以外に新エネルギー・産業技術総合開発機構の委託に基づき熔融炭酸塩型燃料電池発電システム技術研究組合が熔融炭酸塩燃料電池の燃料ガスとしてガス化石炭ガスの利用を考えた酸化亜鉛系ペレット吸収剤による固定床式の高度脱硫技術の開発を進めている。

・米国での開発状況

米国での乾式法の開発は、エネルギー省の資金援助の基で開発が進められており、吸収剤としては酸化亜鉛系をベースに進められている。開発の状況は下記の通りである。

・DOE/METC (エネルギー省モルガンタウンエネルギー技術センタ)⁽³⁾

METC は当初、ペレット形状の吸収剤を利用した固定床式の開発を進めてきたが、固定床方式では脱硫剤の再生時に発生するガスの組成、温度が変動すること、また再生ガスの処理を考えて、流動床式ガス化炉の炉内脱硫と組合せ、再生ガスをガス化炉に戻す炉内脱硫と炉外脱硫の組合せによる方式を提案し、KRW の流動層式ガス化炉を用いて試験を実施した。近年になって METC は酸化亜鉛系の粉末吸収剤を用いた流動床式脱硫方式の開発を始めた。同所内のガス化炉から発生するガスで6インチの脱硫塔でバッチで脱硫試験を開始した。(硫化した吸収剤は脱硫を停止して同一脱硫塔で再生する方式)。1993年末までに別置きの硫化吸収剤の再生を行う再生塔を設置し連続運転を実施する予定である。脱硫試験は圧力が285~300 PSIG (20~22kg/cm²G), 温度が1100°F (約595°C) で、吸収剤の再生圧力は脱硫試験と同一で、温度

は1200°F (約650°C) で実施している。

・TEXACO

TEXACO 社はモンテベロ研究所にある石炭処理量15T/日、酸素吹きガス化炉を用いた炉内脱硫、またガス化炉からのガスを用いた炉外脱硫の試験を実施した。炉内脱硫はカルシウム、酸化鉄を用いて実施したが、安定した脱硫性能が得られず、またガス化炉のスラッグの排出で多少問題があった。炉外脱硫は脱硫剤のスクリーニングのためにペレット形状の吸収剤を用いて固定床で試験を実施した。スクリーニングの結果では ZnTi 系の吸収剤が良いとの結果が出ている。炉外脱硫試験は、容積 1 m³反応器を用いて圧力320~340 PSIG (22.5~24kg/cm²G), 温度1000~1180°F (540~640°C) で吸収剤の再生は圧力130~320 PSIG (9~22.5kg/cm²G), 温度1010~1400°F (540~760°C) で実施した。脱硫性能は脱硫率で99%以上であった。

・GE⁽⁵⁾

GE 社はスケネクタディ研究所にある石炭処理量24T/日の攪拌機付き固定床ガス化炉から発生したガスを利用して、ペレット形状の鉄亜鉛系吸収剤を用いた移動床式脱硫装置により半バッチ式で合計400時間の試験を実施した。この移動床脱硫装置は脱硫操作は加圧下で実施しているが、硫化された吸収剤の再生は常圧下で実施している。脱硫試験はガス流量4800~8000LB/h (2180~3630 kg/h), 圧力280PSIG (約20kg/cm²G), 温度850~1150°F (440~620°C) で実施しており、吸収剤の再生は常圧下で温度800~1200°F (430~650°C) で実施している。脱硫性能は入口硫黄濃度2,500~3,000ppm で出口硫黄濃度は50 ppm である。GE 社の移動床式脱硫装置は表2に示したように TECO のプロジェクトで発生ガス量の50%を処理する大型の試験プラントとして計画されている。

・米国での吸収剤の研究⁽⁶⁾ 米国での吸収剤の研究は UCI (United Catalyst Inc.), RTI (Research Triangle Institute), MIT (Massachusetts Institute of Technology) 等で実施されている。米国で脱硫試験で使用している吸収剤はこれ等のメーカー/研究機関が供給している。

3. 欧州での開発状況

欧州での乾式法の研究は日本、米国での開発に比べて小規模で、かつ遅れている。オランダではガス研究所とユトレヒト大学が協力して酸化鉄系の SiO_2 を担体にした特殊な製法によって微細な粒子で比表面積が非常に大きい吸収剤の開発研究をしている。またオランダデルフト大学ではアルミナを担体にした鉄系、マンガン系の吸収剤の開発を実施しており、その吸収剤を使用してECN(エネルギー研究所)が一塔当りの吸収剤量1kgの3塔切替式のベンチスケールの試験装置で試験を実施している。

4. ガスタービンへ与える影響

脱硫装置からガスタービンに与える影響は、脱硫装置で処理した脱硫ガス中の硫黄分濃度、アルカリ金属類濃度および脱硫ガスのカロリー低下であろう。硫黄分、アルカリ金属類はガスタービンの翼の腐食の面からの制約がある。硫黄分の許容濃度についてはガスタービン側の具体的な許容値はなく、むしろ環境面からの規制の方が大きい。アルカリ金属類については、ガス化ガス中にガス化炉から同伴して来るアルカリ金属塩蒸気の除去が高温下では困難であり、かつ $500\sim 600^\circ\text{C}$ 以上ではその量がガスタービンに悪影響を与える水準にあると恐れられており、ガスタービン側の規制値として20ppbなる数値がある。乾式法の場合、吸収剤としてアルカリ金属系の吸収剤を使用しない限り、脱硫装置へのガス化石炭ガスの温度と脱硫されたガスの温度は、ほぼ同一であるため、脱硫装置でのアルカリ金属類の含有量の増加はない。しかしアルカリ金属類の吸収剤を使用した場合、アルカリ金属類は高温、還元性雰囲気下で蒸発する

恐れがある。亜鉛系吸収剤を使用した場合、亜鉛は還元雰囲気中で蒸発し、脱硫ガス中に含有される。亜鉛の影響については不明であるが多分にアルカリ金属類と同様な影響を与えるものと想像される。脱硫ガスのカロリー低下は使用する吸収剤の種類、硫化吸収剤の再生ガスの処理方法によって異なる。酸化鉄系吸収剤の場合には再生された吸収剤の酸化形態から水素または一酸化炭素で還元され、別の酸化形態となりガス化石炭ガス中の硫黄化合物と反応するため、水素、一酸化炭素を消費しカロリーの低下をもたらす。また硫化吸収剤の再生ガスの処理ガスとして、炭素還元法、ガス還元法等の乾式法を採用した場合、カロリーのほとんどないガスを一定量、脱硫塔へ抜き、ガス化石炭ガスと混合させるため、脱硫ガスのカロリーの低下をもたらす。しかし脱硫装置でのカロリー低下は小さく、殆どガスタービンでの燃焼に影響を与えない。ただし空気吹きガス化炉で、発生ガスのカロリーが低い場合には問題となるケースもありうる。

参考文献

- (1) 世良・篠崎・ほか4名, 三菱重工技報, 24-5 (1987-9), 503
- (2) 伊東・石川・ほか2名, ケミカルエンジニアリング, 37-8, 699
- (3) S. C. Jain, ほか2名, Development of Zinc Ferrite Sorbent to
- (3) S. C. Jain, 他2名 1991年 AIChE 夏季大会講演資料
- (4) Allen Robin, 他5名, 1992年 第12回 DOE/METC Contractor Review Meeting 講演会資料
- (5) Charles S. Cook 他4名, 1991年 第11回 DOE/METC Contractor Review Meeting 講演会資料
- (6) Santosh K. Gangwal 1992年 第12回 DOE/METC Contractor Review Meeting 講演会資料

5. 脱塵技術

川崎重工業(株)技術総括本部開発室 川真田 直 之

1. はじめに

石炭ガス化複合発電におけるガス精製技術は、ここ数年で大きく変化している。石炭ガス化を化学原料製造用として適用する場合には、高純度の精製ガスを得ることが必要なため、湿式ガス精製技術が適用された。湿式ガス精製では SELEXOL 等の脱硫プロセスが既に確立していたので、今日までの石炭ガス化複合発電の実証規模試験には湿式ガス精製技術が使用されてきた。しかし湿式ガス精製は高温のガスを冷却してしまうために、全体の発電効率を低下させる欠点があった。そこで純度を多少犠牲にしても発電効率を向上することが重視される複合発電用として、乾式ガス精製技術の開発が進められている。

高温高压ガスからの乾式脱塵法としては、電気集塵、セラミック・フィルター、サイクロン、グラニュー・フィルター、バグフィルター等の方式があるが、温度条件や脱塵性能の点でバグフィルターとサイクロンは断念されている。電気集塵は日本も含め各国で研究が進められているが、電気集塵だけでは複合発電用としての脱塵性能がやや不十分である。しかしガス化効率を高めるためにチャー回収の目的で電気集塵が使用される場合もある。現在は主としてセラミック・フィルターとグラニュー・フィルターが精密脱塵の対象として検討されている。

2. ガスタービンに与えるダストの影響

石炭ガス化したガス中のダストの主成分はガス化炉の方式によって一般に性状は異なるが、石炭灰と微粉炭から揮発成分が抜けたチャーである。ガス精製の部分ではガス温度が低下しているため灰は固体であるが、ガスタービンの燃焼器で高温ガスになると、灰は熔融状態となり、チャーも燃焼して熔融灰となってタービンに流入する。

タービン内では、高温高压ガスが仕事をしながら

温度圧力を下げ下流に流れる。その間に、灰は金属に対する高い腐食性を持った熔融状態から、次第に温度を下げ粘性を高め、さらに凝固して磨耗性を持った固体状態にまで変化する。一部が熔融状態のまま翼に付着し、遠心力とガス流によって移動したり剥離しながら、外周のケーシングや後段の翼の温度の低い部分で凝固する。さらに温度条件や灰の性状によっては、高い粘性のため付着したまま動かない灰もある。このような状態が進んでアンバランスから振動が生じたり、効率が低下する状態となる。

灰の堆積状態は負荷変動による温度分布の変化によっても変わるので、負荷状態の変化と共にタービンの作動状態も変わることになる。

灰の形状から言えば、灰の粒子が大きい程慣性によりガスの流線から外れ易く、翼と衝突し易くなり、灰によるタービンへの影響は大きくなる。ガスタービンへ流入した石炭灰の多くはタービン翼等に付着し、一部は剥離しながら一定のバランスを保った状態で運転される。しかし流入量が多いと平衡状態を保てず運転の継続が不能になる。

ガスタービンへの石炭灰の許容濃度と灰の性状に関して、実機による長期運転データはほとんど発表されていないが、一つの目安として図1に各社の許容値および目標値を示す。

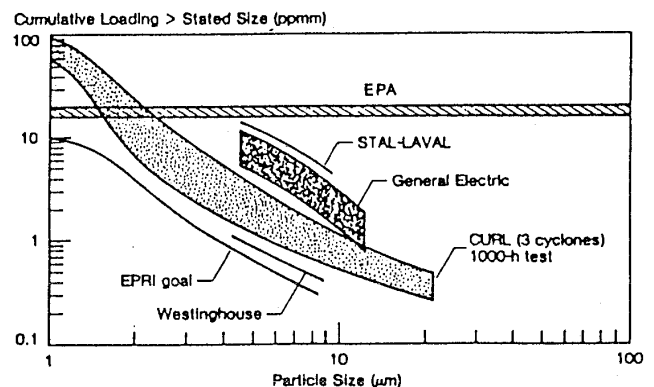


図1 許容ダスト濃度と粒子径の関係⁽¹⁾

(平成5年4月1日原稿受付)

石炭ガス化ガス中には脱塵の対象である灰分の他に、微量のタール分、アルカリ金属蒸気等を含む。これらは温度が低下するとミストになったり物体の表面で凝縮するので、ダストと共に脱塵装置で捕集される。

アルカリ金属の蒸気はそれ自体が高温腐食性の激しい物質であるが、燃焼時に生成する熔融状態の酸化物も腐食性が高い。そこで脱塵装置の操作温度を500℃以下に保って、アルカリ金属をダストに吸着させ、ガス中の濃度を下げること考えられている。

3. 脱塵方式

今後は発電効率を高める要求から、乾式ガス精製が主流技術になると予想されるので、本文では固定層型と移動層型のそれぞれの代表であるセラミック・フィルターとグラニューラー・フィルターについて概説する。型式ごとに脱塵原理はほぼ同じであるが、メーカーにより構造の違いがある。

○セラミック・フィルター（固定層型）

- ・キャンドル型（シューマッハ、BWF 等）
- ・チューブラー型（旭ガラス）
- ・クロスフロー型（ウエスチングハウス）

○グラニューラー・フィルター（移動層型）

- ・ルーバ型（川崎重工）
- ・スクリーンレス型（コンバッションパワー）

3.1 セラミック・フィルター（固定層型）

この形式は多孔質のセラミックを濾過層としたフィルターである。エレメントの材料や形状は図2に示すごとく各社様々である。これらのエレメントを管板あるいは支持構造に取り付け、圧力容器の内部に収納した構造となっている。捕集したダストはロックホッパによって高温高压系から取り出される。

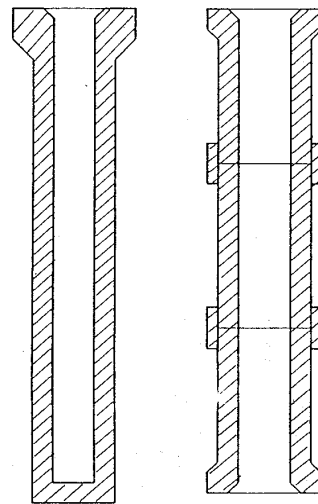
(1) キャンドル型

一方の端部を閉じた多孔質のセラミックで造られたチューブで、他端はフランジまたはテープ状であり、金属の管板または支持材に固定される。図3に示すごとく1つの脱塵装置本体に、このエレメントを垂下状または倒立状に数十～数百個取り付けられている。

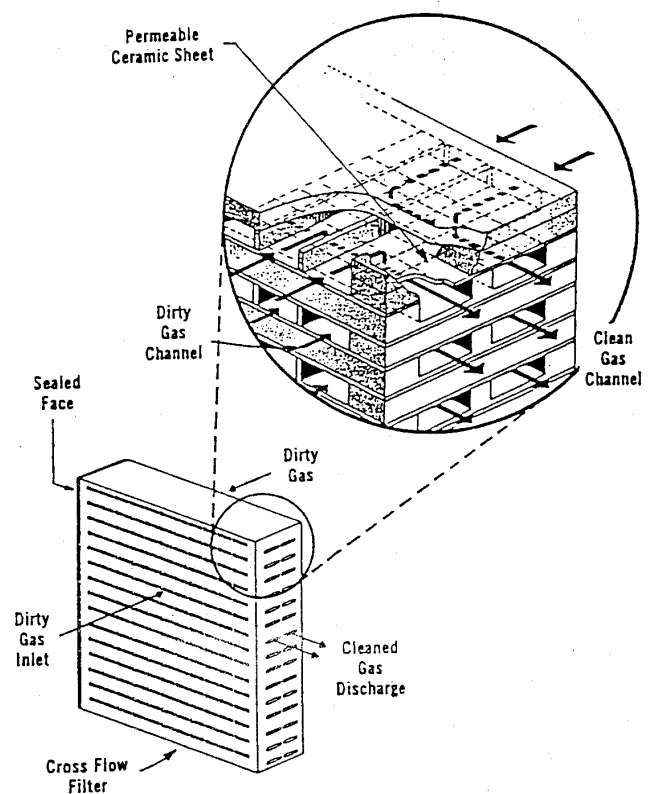
この形式の脱塵装置ではチューブの外側が濾過面であり、外壁に付着したダストを除くために、濾過層の裏側からパルス状の加圧ガスを噴出し、

堆積しているダストを剥離させ、下方に落とす逆洗操作を行う。逆洗はエレメントの複数個を1個の逆洗ノズルで同時に行うようにノズルをメガホン状に広げたものもある。

欧米で最も広範囲に試験されているのは、シューマッハ社のフィルターで、現在までの検討では取り付け部のシール洩れ、エレメント破損、逆洗のノズルの破損等の問題が報告されている。



キャンドル型 チューブラー型



クロスフロー型⁽²⁾

図2 セラミック・フィルターのエレメント

破損の原因は逆洗時に冷たい窒素ガスが流れるため、金属ノズルとセラミック・フィルターが共に熱ショックで破損すると考えられている。ノズルの破損はそのまゝフィルターの破損につながることもなる。

脱塵性能は良好で、容易に $1.0\text{mg}/\text{Nm}^3$ 以下の出口ダスト濃度に保つことができる。差圧は形式によって違いがあるが、 $500\sim 1000\text{mmAQ}$ 程度である。

この型の脱塵装置は、ダストの堆積を逆洗で除くことに伴って圧損が鋸歯状に変動し、また逆洗で下流にパルス状の圧力変動を生ずる。

セラミックの細孔壁面へガス中の不純物の沈着

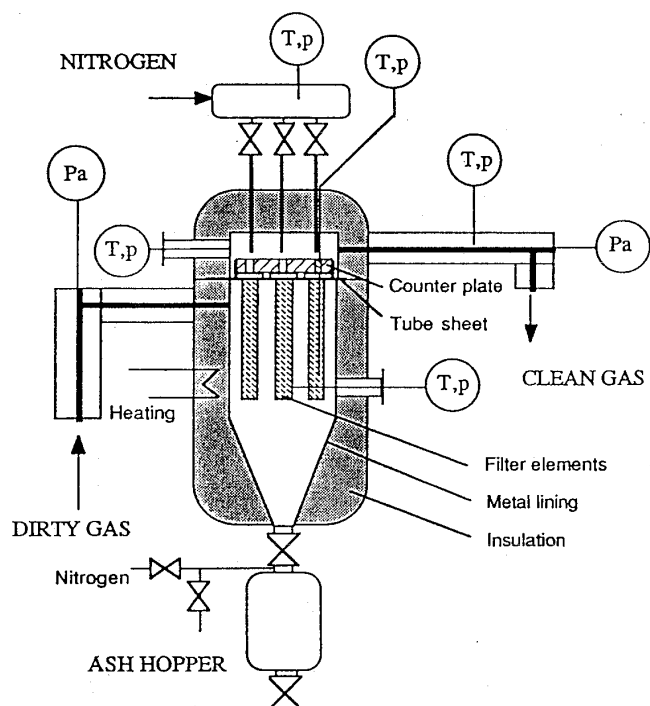


図3 キャンドル・フィルターの概念図⁽³⁾

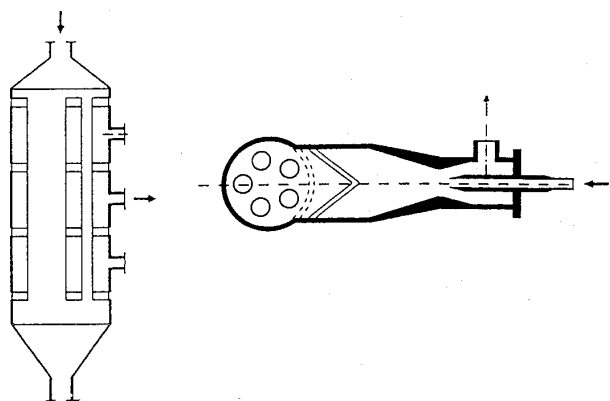


図4 チューブラ型装置概念図

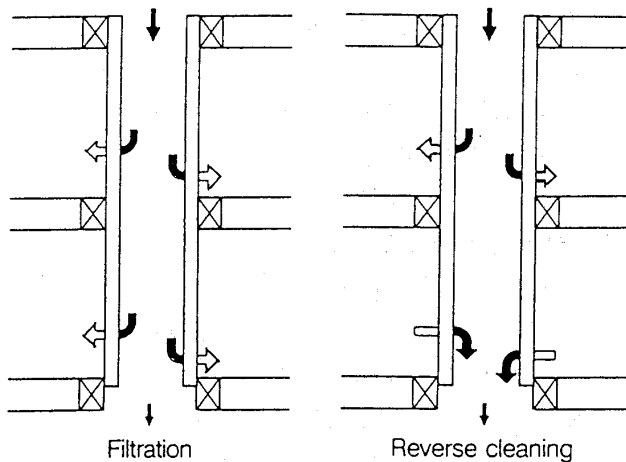
や細孔へのダストの詰まり等により、逆洗によっても圧損の回復が悪くなり、長期的には徐々に圧損が上昇することが問題である。また石炭ガス化ガスは水分を含み、冷機起動時に不用意にガスを通すと濾過面に水分の凝縮を起こし、一度湿潤した場合は圧損が回復しないので、全エレメントを交換しなければならないこともある。

これまでに広く実験されている割りには実ガスによる長期の運転データの報告が少ない。石炭灰の性状は炭種により粘着性、灰の形状、ガス中の不純物等が大きく変わるため、炭種が違えば長期間の寿命に対する予測が困難な状態にある。

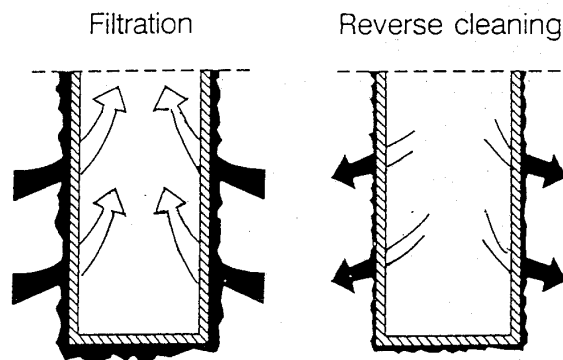
(2) チューブラー型

図4に装置概念図および図5にキャンドル型とチューブラー型の逆洗の相違を示す。

チューブラー型はチューブの上方から含塵ガスが流入し、内面でダストが濾過され、清浄ガスはチューブの外面に流れるのが特徴となっている。逆洗時にダストはチューブ内をガスと共に下方に



チューブラー型



キャンドル型

図5 逆洗の比較

落下するので、飛散したダストは再度同じ濾過面に付着しないので、逆洗効果が高いと言われている。本体容器は管板で2～3室に分割され、逆洗は各室全体に圧力を掛けて、逆洗を上部の部屋から順次行うことにより、ダストの排出を容易にしている。

チューブはベースとなる比較的穴径の大きな多孔質の内表面に、コーゼライトの薄い微細な多孔質の層をコーティングした断面となっており、比較的閉塞しにくい組織構造と言われているが、性能はキャンドル型とほぼ同じである。この材料もチューブのクラック、取り付け部のリーク等の問題が報告されている。

(3) クロスフロー型

ウエスチングハウス社が長期にわたり開発しているフィルターで、図2に示すように、溝の付いた多孔質セラミック板を多数重ねて、再度焼結し一体とした構造である。装置本体は図6に示すように支持柱にエレメントを取り付けた構造となっている。

この脱塵装置は脱塵性能もキャンドル型とほぼ同じであるが、容積当りの濾過面積が大きく、圧損も比較的小さい。

一方このセラミックブロックの製造歩留りが低いのが難点で、金属保持材との接合面でのリーク等の問題が報告されている。

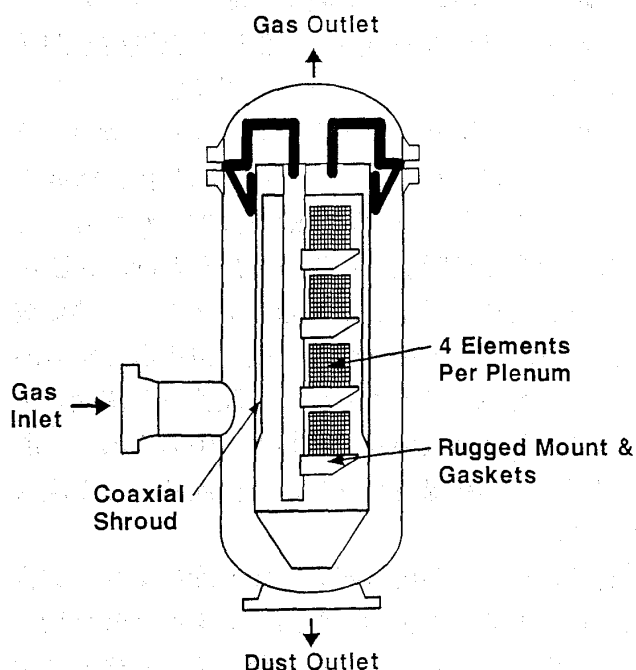


図6 クロスフロー・フィルター概念図⁽⁴⁾

3.2 グラニューラー・フィルター（移動層型）

濾過媒体（以下濾過材と称す）は1～5 mmφの小石、セラミックボール等を充填した一種の砂濾過装置である。図7に脱塵原理を示す。

ガス中のダストは以下の作用により濾過材の表面に補足される。

- ①慣性衝突: ダストが慣性により流線から外れて濾過材に衝突し捕捉
- ②さえぎり: 濾過材表面からダストの半径以内を通る流線上のダストが捕捉
- ③拡散: ブラウン運動で流線から外れて濾過材に衝突し捕捉
- ④重力沈降: 重力沈降でダストが濾過材に接触して捕捉

以上の他にも静電気等による捕捉もあり、また捕捉されたダストが濾過材と同様な効果を持つため、後から飛来するダストを捕捉する現象と重畳されて大きな効果をあげる。このためダストの大部分はガス入口側濾過材の比較的表面部分で捕捉される。

この方式はルーバ型とスクリーンレス型の2種類がある。

(1) ルーバ型

ルーバ型は図8に示す如く、含塵ガス入口側はルーバ構造で、出口側はスクリーンである。粒子径約1～2 mmのセラミック濾過材は、約30cm

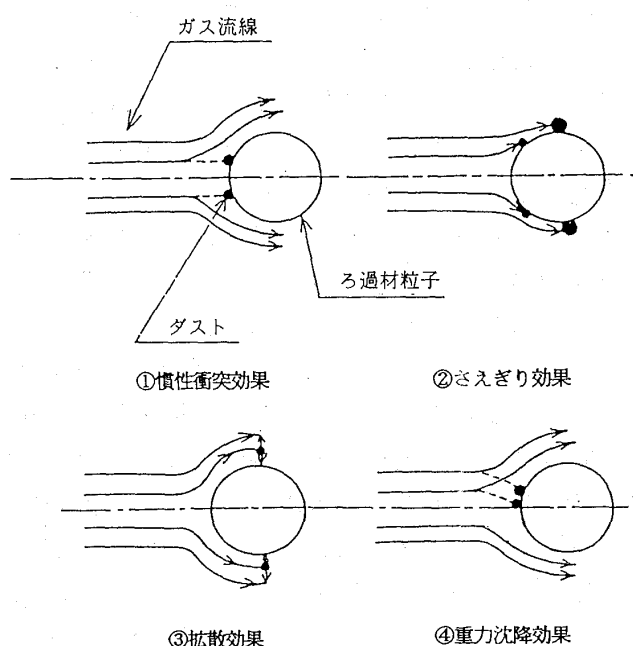


図7 グラニューラー・フィルターの原理⁽⁵⁾

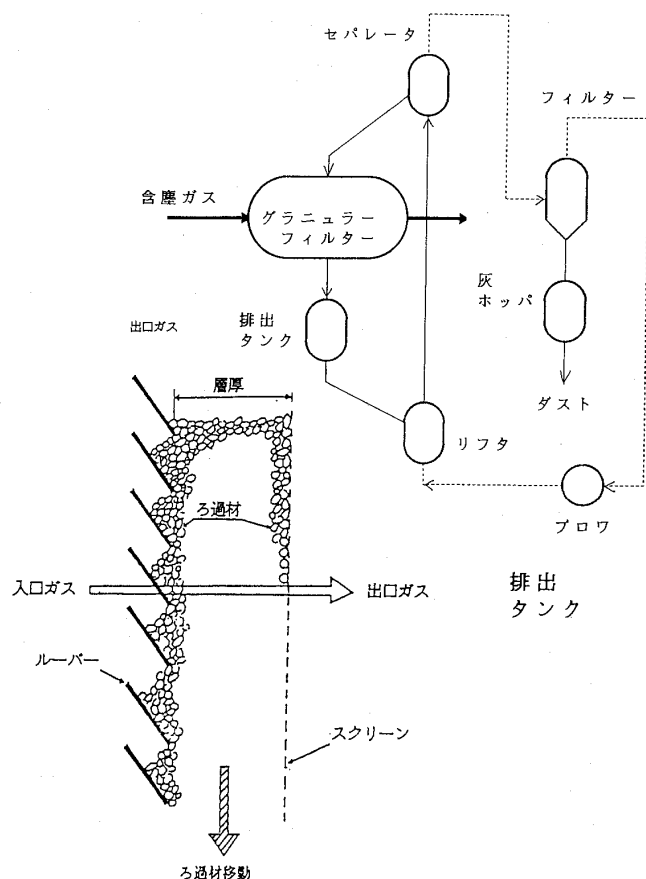


図8 ルーバ型グラニューラー・フィルター

の間隔に離して置いたこれらの支持材の間に保持されたまゝ、下部のロータリーフィーダの回転により連続的に排出され、濾過材はゆっくり層内を流下する。

含塵ガスはルーバ側の濾過材表面で捕捉され、濾過材の移動と共に捕捉されたダストの一部が再飛散し、濾過層の内部に徐々にダストが侵入し、反対のスクリーン側に拡散する。適当な濾過層の高さを選定すれば、スクリーン側から飛散する前に濾過材と共に取り出すことができる。

ダストの濃度やガス量の変動により、濾過層の単位表面あたりに捕捉されるダストの量が変われば、濾過層の圧損が変わるので、圧損を一定に保つように、ロータリーフィーダの回転速度を制御する。この濾過層をシリーズで2層使用し、1層目で粗取りし、2層目で精密脱塵の仕上を行う。

濾過層は局所的な圧損の差があると、圧損の低い部分に多くのガスが流れ、ダストの堆積が増えて圧損が濾過面全体に均一化するため、ガスの偏流は生じにくい。濾過層の圧損が一定の値より過大になると、濾過層全体がスクリーンに押しつけ

られ、濾過材の流下が阻害されるので、余裕を持った範囲に圧損を抑える必要がある。この限界以内であれば、脱塵機能には支障はなく、ガスの吹き抜けも生じない。

ダストは濾過材と共に容器から連続的に抜き出される。濾過材とダストの分離は、濾過材を気流搬送する間に、気流中に再飛散させて濾過材だけ取り出すか、振動篩等を利用して分離する。清浄になった濾過材は濾過層上部に供給される。高濃度となった気流中のダストは、低差圧の金属焼結フィルターで分離して、系外に排出される。高压系から低压系へのダストの排出はロックホッパーが用いられる。

脱塵性能は $1 \sim 2 \text{ mg/Nm}^3$ 以下であり、セラミックフィルターよりやや劣るが、長期間運転しても脱塵が常に同じ濾過材の状態で行われ、逆洗も行われなため圧力変動はほとんど無く、差圧の変動も少ない。

また誤操作により移動層が湿潤状態となってもセラミック・フィルターと異なり乾燥すれば復旧できるタフさを持つ。

なおグラニューラー・フィルターは濾過材の代わりに、同じ大きさで強度も充分な脱硫剤を充填して、脱硫と脱塵を同一の装置で同時に行うプロセスが開発されている。これは移動床ガス精製装置と呼ばれ、石炭ガス化のガス精製装置全体を大幅に簡略化し、設備費の低減を可能とするものである。本装置は日本の石炭ガス化複合発電技術開発の大型プロジェクトと平行して開発されている。

この装置は図9に示すように、ルーバ型のグラニューラー・フィルターとほとんど同じ機器構成であり、再生器と硫黄回収設備が付加されたものである。層内では脱硫剤が脱塵を行うと同時に脱硫も行う。硫黄を吸収した濾過材がダストと共に抜き出され、ダストを分離した後、再生器で空気酸化により脱硫剤は再生される。硫黄は亜硫酸ガスとなり、硫黄回収装置で精製ガス中の水素、一酸化炭素により触媒還元され、単体硫黄として回収される。

脱硫剤はガス精製装置の操作温度により、酸化鉄、鉄—亜鉛系酸化物、亜鉛—チタン系酸化物等が適宜使用される。これらの吸収剤は石炭ガス化のガス精製装置として広く使用され、研究も行わ

れているが、一般にこれらの酸化物は吸収・再生を繰り返すと微粉化する。しかし、この装置で使用される脱硫剤は繰り返し使用しても、微粉化したり劣化しない新しい材料として開発されたものである。

本装置の脱塵性能および圧損はスクリーン型グ

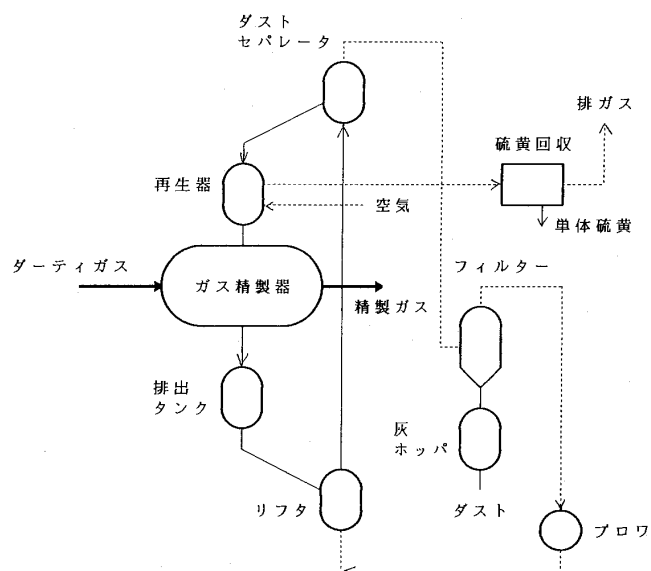


図9 移動床ガス精製装置

ラニューラー・フィルターと全く同じである。脱硫性能は操作温度と脱硫剤により変わるが、性能は脱塵性能と同様に安定した状態を示す。一般に脱塵性能を満足するように層の移動速度を設定すれば、脱硫性能は充分余裕を持った状態となる。

(2) スクリーンレス型

米国 Combustion Power 社が開発したフィルターで、1000°C近いガス中のダストを除去した実績を持つ。石炭ガス化用としては、New York 大学で米 DOE 支援のテストが行われた。図10は装置のフローと濾過器の構造を示す。

濾過器は下部がコーン状となった圧力容器で構成されており、上部から濾過材がパイプによって供給される。濾過材の上部がパイプの先端に達すると、濾過材の供給は自動的に停止する。含塵ガスは側方のパイプより濾過材中に供給され、濾過材の層でダストが捕集され、清浄ガスは上方に抜ける。ダストを含んだ濾過材は下部のノズルから連続的に抜き出され、気流搬送で上部のダスト分離槽に送られる。濾過材は濾過器上部に戻され、気流中のダストはフィルターで分離され、系外に

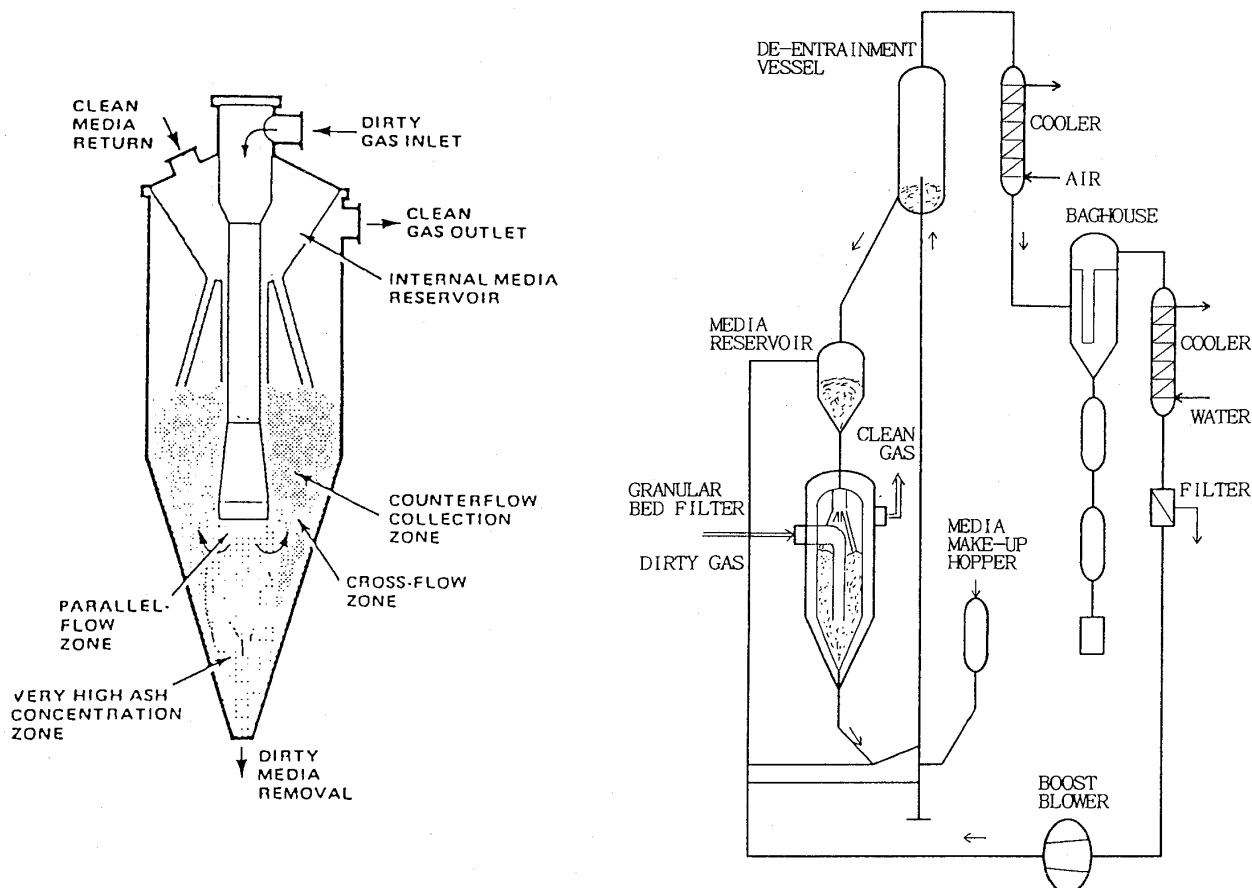


図10 スクリーンレス型グラニューラー・フィルター

排出される。

本装置の脱塵性能は濾過媒体の層の高さと、粒子径によるが、出口ダスト濃度は2～3 mg/Nm³以下と報告されている。

本装置は簡単な構造であり、性能も許容できる範囲にあるが、運転条件によってはガスがバブリング現象を起こし不安定となる。またダストの濾過表面が大きく取れないため、スケールアップが困難なことが問題とされている。

スクリーンレス型とルーバ型の相違は、スクリーンレス型の構造が簡単なことに対し、ルーバ型はかなり複雑である。しかし前者は大型化に難点があり、圧損が多少高めであること、操作条件が不安定となり易い問題がある。後者は横型の圧力容器の内部に複数個の層を設置するだけで、比較的容易にスケールアップできる。

4. 脱塵装置の操作温度と開発の趨勢

石炭ガス化複合発電では脱塵装置の操作温度は400～650℃である。欧米では500℃以上の比較的高目の温度を目標に脱硫および脱塵技術の開発が行われているが、我が国では500℃以下の操作温度が目標とされている。高い温度条件では材料や構造でそれだけ高度の技術が要求されるのは言うまでもない。しかし石炭ガス化複合発電では必ずしも操作温度を高めることは得策ではない。その理由は高温の還元性雰囲気でのアルカリ金属類の除去がそれだけ困難となるからである。発電効率の向上を設備費の上昇で相殺しないよう設計されるべきである。

一方石炭ガス化複合発電と競合関係にある加圧流動層ボイラでは、タービン入口のガス温度を少なくとも800℃以上とする必要がある。欧米では高温脱塵装置のもう一つの適用対象として、加圧流動層ボイラを目標として開発をしてきて、大勢と

してはセラミック・フィルターを選定する方向であった。しかし操作温度が高いことは材料面では更に厳しい状態であり、 σ 変態による脆性や管板の支持構造、熱衝撃、石炭灰の粘着性等の問題はまだ解決されていない。平成4年3月に開催された米国 EPRI (電力研究所) 主催の高温ガス脱塵のワークショップでは、パイロットプラントに供されたセラミック・フィルターが、いずれも長期の使用に耐えられなかったことを報告している。

操作不安定性とスケールアップの問題を残しているが、高温型にはスクリーンレス型のグラニューラ・フィルターが解決法であるかもしれない。

5. おわりに

石炭ガス化複合発電は2000年に向けて実証規模プラントの建設が各国で計画されている。日本でも大型開発プロジェクトが推進されており、なかでも乾式ガス精製は各国に先駆けて比較的順調な開発経緯を辿っている。この開発に関与する一人として、日本の技術が世界中で開花することを切望する次第である。

参考文献

- (1) O. J. Tassicker, IChemE SYMPOSIUM SERIES No. 99, 1986, 345
- (2) David F. Ciliberti and Thomas E. Lippert, IChemE SYMPOSIUM SERIES No. 99, 1986, 202
- (3) A. Jahkola et al, Nitrogen Oxide, Alkali Metal and Particle Emissions in PFBC, Second EPRI Work Shop on Filtration of Dust from Coal-Derived Reducing and Combustion Gases at High Temperature, 1992
- (4) T. E. Lippert, Hot gas dust filtration from gasification systems, Second EPRI Work Shop on Filtration of Dust from Coal-Derived Reducing and Combustion Gases at High Temperature, 1992
- (5) 伊東, 石川, 川真田, 亀井, ケミカルエンジニアリング, Vol.37, NO.8, 1992, 51

6. プラント制御技術

(株)東芝 火力制御システム技術部 永田 一 衛
重電技術研究所 中本 政 志

1. はじめに

電源構成上からは将来共に原子力がベースロードとして運用され、石炭ガス化複合発電プラント(IGCC)は従来火力同様にミドル供給火力として対応する事が求められる。従って、熱効率を主体とした静特性の向上に加えて火力運用の柔軟性を期待する動特性の向上が必須であり、いわゆる総合的な運転性能と信頼性を確保するためのプラント制御・保護技術にも従来火力並またはそれ以上の能力が要求される。

運転性能面では広範囲の高速負荷追従性、ガバナフリー特性、短時間の起動停止、信頼性確保の観点からはプラント内構成設備の故障発生時にプラント全体を安全停止するための総合保護インターロック等の機能検討が必要である。

本稿では、これら運転に関する諸機能のIGCCにおける考え方につき解説する。

2. プラント負荷制御

IGCCはコンバインドサイクルプラントの上流にガス化炉、ガス精製設備を付加し、設備毎に熱効率向上策も盛り込んだ複雑かつ高度なシステム構成となっている。一方、IGCCへは、従来石炭火力並またはそれ以上の負荷追従性が要求され、従来火力のボイラ・タービン協調制御のようなプラント負荷制御装置が必要である。以下、この概念を説明する。

IGCCの負荷制御を考える場合、従来火力のドラムボイラと蒸気タービン(ST)の組み合わせにおける負荷制御をイメージすると理解しやすい。

ドラムボイラの圧力モデルとIGCCのガス化炉、ガス精製、ガスタービン(GT)を対比して模式化したものを図1に示す⁽¹⁾。

この図からも判るように、IGCCの石炭ガス発生を従来火力の蒸気発生に置き換えて考えると、

それぞれ、石炭ガスは蒸気に対応し、GT制御弁を蒸気タービンの加減弁に置き換えれば、何れも大きな時定数を有するガス発生器(蒸気発生器)と非常に応答の速いGT(蒸気タービン)で発電が行われる点で良く似ている。GT制御弁及び石炭燃料変化の開ループ特性を従来火力の蒸気加減弁と燃料変化に対するものと比較してみると、時定数の違いはあっても圧力、電気出力の変化はほぼ同じ傾向を示すことが判っている。

即ち、IGCCの負荷制御は、操作端として従来火力のボイラ入力と蒸気加減弁に相当するガス化炉入力、ガスタービン制御弁を操作して、圧力を制御指標とした負荷制御系を構成すれば良いことが容易に類推できる。

以上の考え方は、流量に着目して負荷制御を考えたものだが、IGCCの場合には流量とともに負荷を決定する大きな要因であるガス成分(発熱量)も安定に制御されなくてはならない。ガス成分はガス化反応から決定され、ガス化反応はガス化温度に大きく依存する。また、ガス化炉の性能を左右する炭素転換率、冷ガス効率、スラグ排出特性もガス化反応(ガス化温度)と密接な関係がある⁽²⁾。一般にガス化温度はガス化炉燃料(石炭流量)とガス化剤流量の比率で制御され、これは下位のガス化炉制御で最適値に制御される。

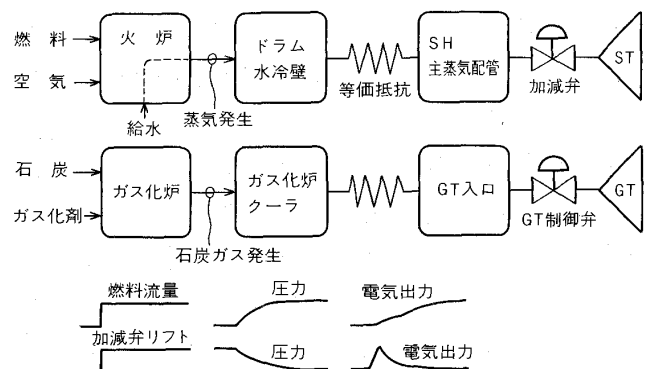


図1 従来火力プラントとの系統比較

(平成5年4月7日原稿受付)

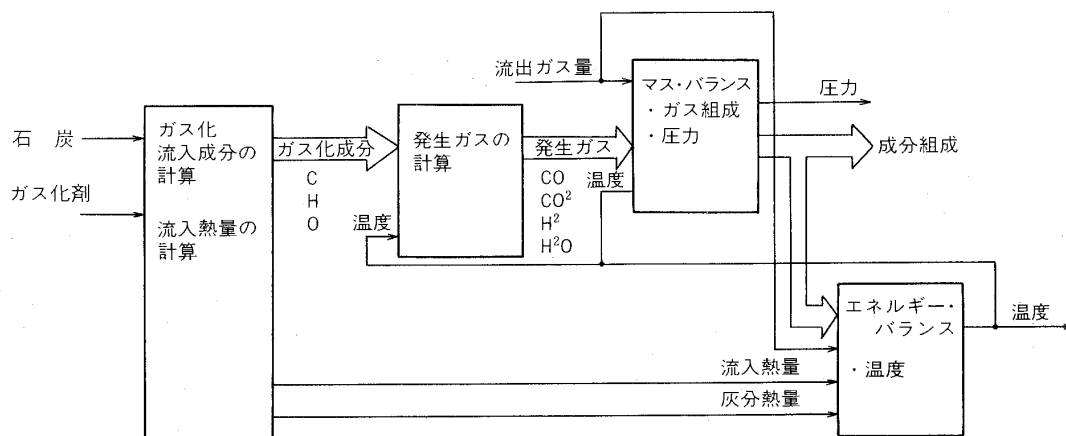


図2 ガス化モデルの一例

ガス化に関する理解を深める意味で一般的なガス化モデルを説明する⁽³⁾。図2はガス化モデルの一例である。発生ガスの成分組成はガス化反応で決まり、この反応はガス化温度に大きく依存する。この温度は、ガス化部の入出力のエネルギーバランスを満足し、更にマスバランスも満足するように収束計算で求められる。ガス化圧力は下流の体積の圧力に流出ガス流量の圧力損失分を加えて求められる。

2.1 負荷制御の概念

IGCCのプラント制御としては発電プラントとして第1の要求である発電量の制御と共に、プラント安定運転の指標であるガス化プロセスのガス圧力の制御が行われる。一般火力発電プラントの場合には、発電出力と蒸気圧力が主要な被制御量として制御されており、蒸気タービンの加減弁およびボイラへの燃料投入量へのフィードバックの掛け方でタービンフォロー、ボイラ・フォロー、協調制御の方式がある。IGCCの場合にも被制御量である発電出力とガス圧力を、操作量であるガス化炉への石炭及びガス化剤の投入量とGTでのガス消費量へどのようにフィードバックするかで図3に示すような3つの基本的な制御方式が提案されている⁽⁴⁾⁽⁵⁾。

図3の破線の制御ラインはガス化炉リード方式を示す。発電出力の制御によりガス化炉への燃料投入量を操作し、これにともなって変化するガス圧力制御はガスタービンでのガス消費量調節で行うもので一般火力のタービンフォロー方式に対応する。

図3の実線はタービンリード方式で、発電出力

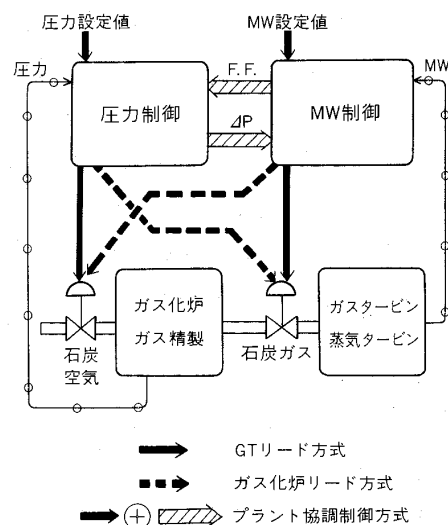


図3 IGCCプラントの負荷制御方式

の制御によりGTでの消費量を調節し、ガス圧力の制御はガス化炉への燃料投入量で調節する方式で一般火力のボイラフォロー方式に対応している。

プラント協調制御方式はタービンリード方式をベースに応答性の改善を行ったもので発電出力の指令信号からガス化炉への先行指令信号をつくり、ガス圧力制御による信号を加えてガス化炉への燃料投入量とする方式である。また圧力制御偏差により負荷制御側への抑制制御も考えられる。これは従来火力でのボイラ・タービン協調制御と同じ概念が適用出来る。

2.2 負荷制御シミュレーション⁽⁶⁾

新しいシステムの動特性解析には、一般に動特性シミュレーションが有効なツールとして、制御設計他に良く使用されている。以下、動特性シミュレーションで負荷制御システムを検討した例により、負荷・圧力制御の内容を説明する。

(1) 対象システム

対象としたシステムは酸素吹き、スラリーフィードの噴流床ガス化炉と湿式ガス精製の組み合わせによる IGCC である。複合発電系は GT と HRSG および再熱型蒸気タービンより構成している。

プラントの全体構成図を図4に示す。

ガス化炉では石炭スラリーと酸素の反応で CO 、 H_2 を主成分とする石炭ガスを発生する。ガス化はスラグの融点以上の高温で進められ、ガス化炉で発生した生成ガスはシンガスクーラで冷却されスクラバーで脱じんされた後、脱硫のために熱交換器で温度を下げる。脱硫装置を出たクリーンガスはガスヒータで熱回収した後、GT に導入される。GT で発電するとともに GT の排ガスは HRSG に導入され、蒸気として熱回収され、蒸気タービンを介して再度発電する。ガス化炉の生成ガスの冷却時に得られる熱もガス化炉シンガスクーラで熱回収され、複合発電系の蒸気タービンで HRSG 発生蒸気と共に発電に使用する。

(2) 開ループ特性

プラントの応答性の一般的な概念はガス化炉燃料投入量に対する応答から得られる。

図5はガス圧力をGTの燃料流量で制御した状態（一般火力のボイラー入力モードに相当）で

ガス化炉へのスラリー投入量を5%/分の変化率で10%減少及び増加させた時のシミュレーション応答である。

結果に示すように、スラリー流量の減少に伴い発生ガス量が同時に減少する。GT での燃料ガス消費流量は、GT 入口での圧力を一定に保つように調整されているが、ガス化炉へのスラリーの投入量変化に対して大きな時間遅れを持って変化する。GT 出力は燃料ガスの消費量に遅れなく得られるので、燃料ガス消費流量と同様に変化する。蒸気系は GT の燃焼排ガスにより蒸気発生が行われており、GT の変化に対して更に遅れて変化している事が判る。この結果から、IGCC は入口側に大きな時間遅れを持つ系でありガス化炉への入力を変えても GT 入口に於ける応動は大きな時間遅れを伴うことが判る。

(3) 負荷追従性

IGCC の負荷追従性およびその制御方式の特徴を知るために各制御方式のシミュレーション結果例で見てみる。

図6は100%負荷から75%負荷へ5%/分で負荷指令値を変化させたときの3モードでの応答である。

図6(a)はガス化炉リードの結果である。MW 指令の変化によりガス化炉への燃料投入量が減少す

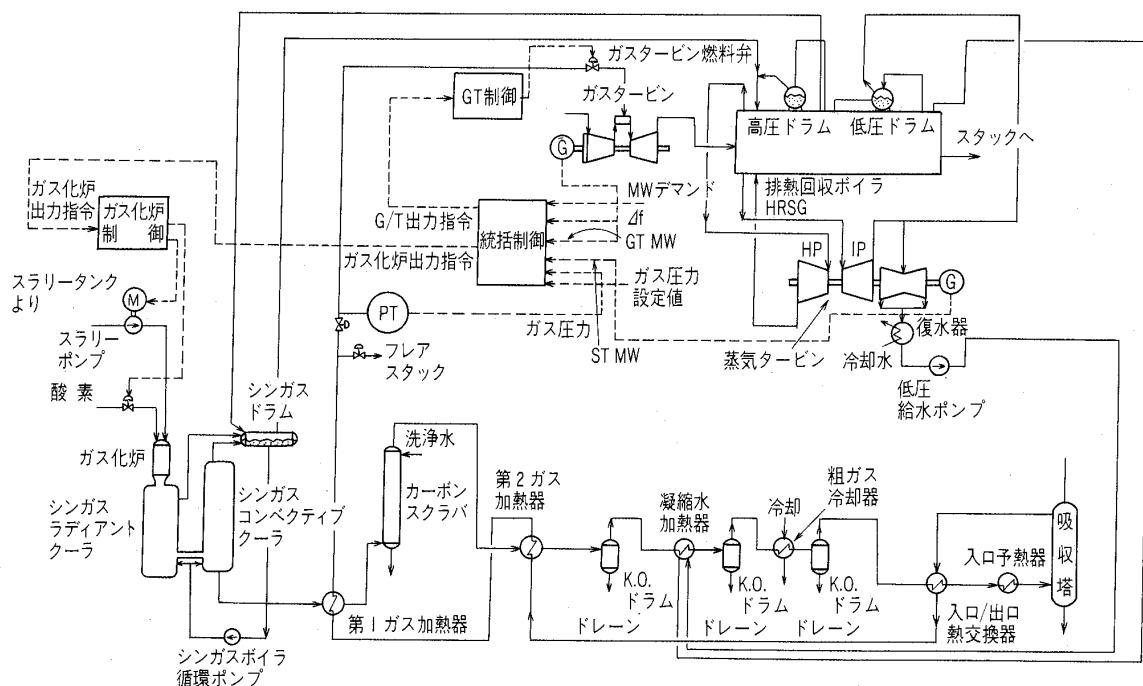


図4 プラント全体構成図

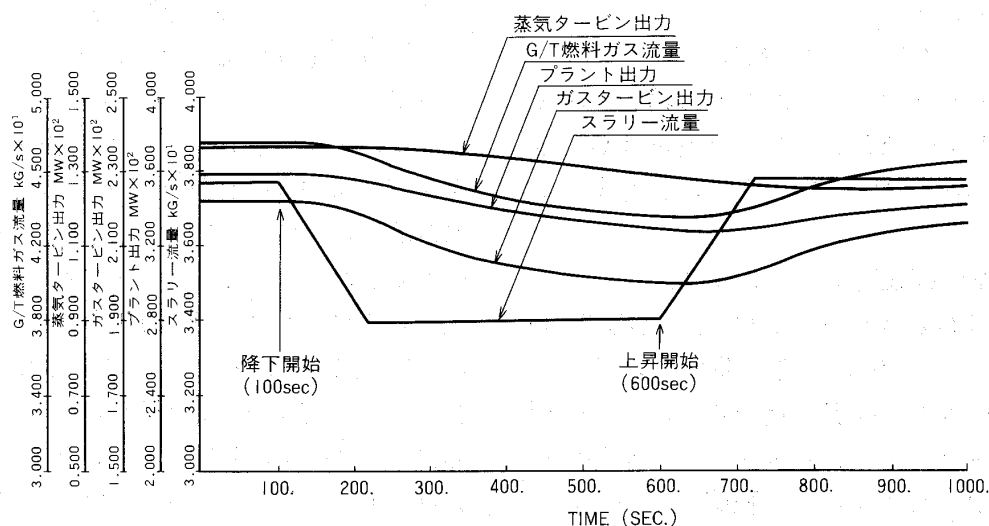


図5 オープンループ特性

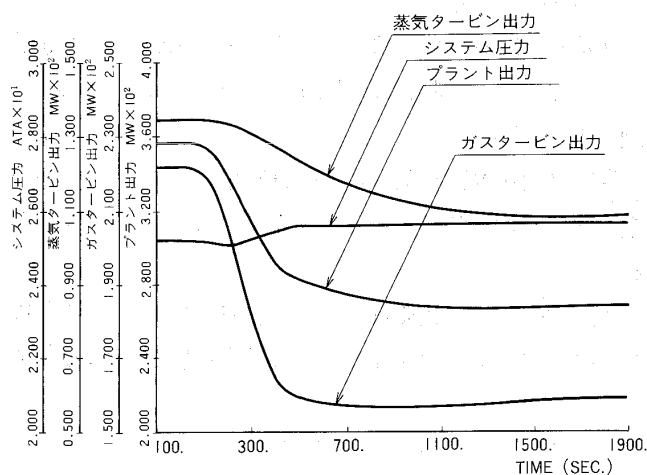


図6(a) ガス化炉リード方式

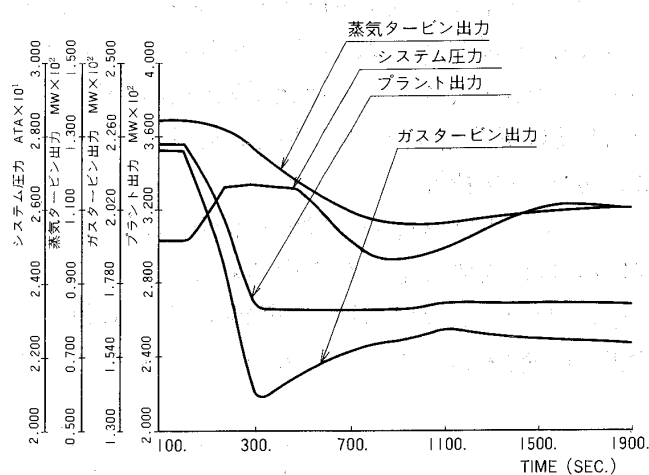


図6(b) GT リード方式

るため系内のガス圧力は低下するが、先にも述べたように GT 入口での圧力の変化には大きな遅れがあり、このため MW の応答は遅い、システム圧力制御性はタービンリードより良好である。

図 6(b) 図はタービンリードの結果である。MW 指令の変化により先ずガスタービンでのガス消費量を減少して MW 出力を指令に追従させる。このため系内のガス圧力は上昇する。ガス化炉への燃料の減少に対して下流への影響には大きな遅れがあるため圧力の上昇は大きくなる。

図 6(c) 図は協調制御の結果である。MW 指令で GT、スラリー共に動作するためタービンリードに比べて圧力の上昇は小さくなる。

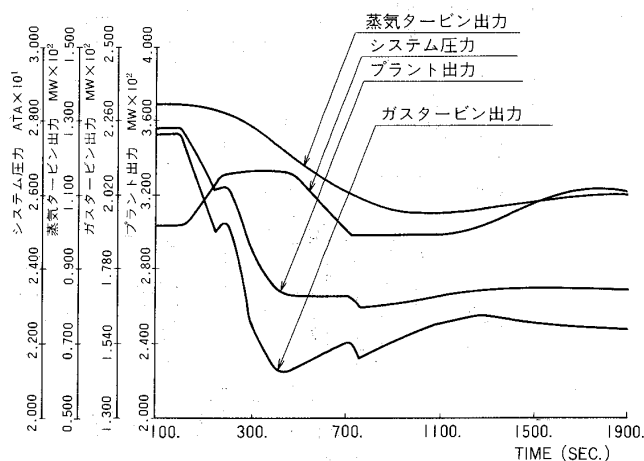


図6(c) 協調制御方式

2.3 プロセスと制御性について⁽⁶⁾

GTは排熱回収分も含めると発電出力への影響が87.5%と大きく、またガスタービン単体でもプラント出力の62%であり、この62%についてはほとんど時間遅れなしで発電出力を得る事が出来る。このようにGTは発電出力への影響力が大きいいため、発電出力の変更に対してはGTを用いる方が効果的である。これはタービンリード、協調制御の負荷制御が良好であることの理由の一つである。

ガス化炉からGT入口までの体積と圧力分布の関係は図8のようになる。この図からカーボンスクラバまでの体積割合が大きい一方、カーボンスクラバ出口からGT入口迄の圧力損失が非常に大きいことが判る。即ち、ガス系についてプロセスを模擬すると、ガス化炉からカーボンスクラバ迄の大きな容器に抵抗によりつながった小さな容器があり、その小さな容器からGTにガスを抜いていると見なす事が出来る。このため、ガス化炉への燃料投入量を変えてもGT入口での変化には大きな遅れを生じ、逆にGT制御弁の変化によりGT入口圧力が大きく変わりやすい。

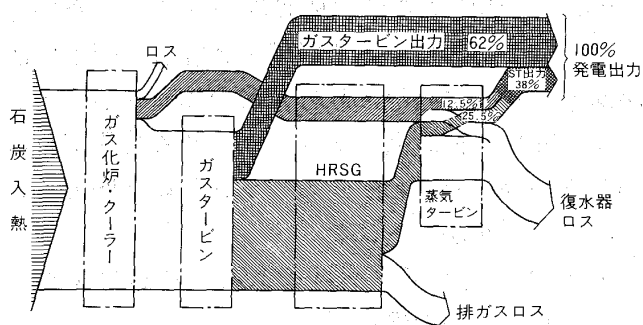


図7 IGCCのエネルギー配分

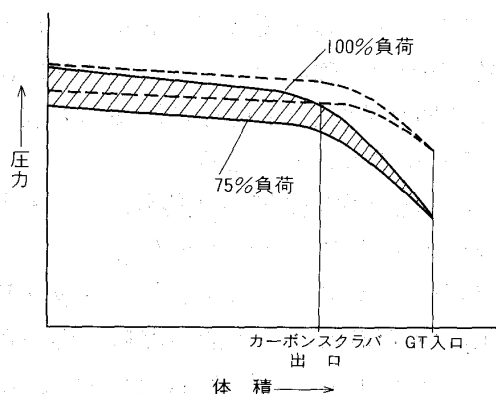


図8 体積-圧力分布特性

ガス化炉リードモード時に、負荷100%から75%迄の負荷変化を行おうとすると、75%時の流量バランス値までの流量減少とともに、75%時の圧損分を補正する圧力バランス値まで移るための図中の斜線部分のガス量（圧力×体積＝ガス保有量）を相殺しなくてはならず、これが負荷応答遅れを増大させる。（図6(a)）

タービンリードモード時にGT制御弁で負荷変化させた場合、圧力検出点の容量は小さいためガス流量の変化によりこの圧力は素早く変化し、圧力制御でガス化炉入力を変化させるが、上流の体積が大きいことと、抵抗が大きいために、この圧力回復には大きな時間遅れを伴う。これがタービンリード時の大きな圧力変化の原因となっている。（図6(b)）

以上のことからプラントとしての負荷追従性及びシステム圧力の制御性を向上させるためにはガス化炉とGTを結ぶガス系の体積の減少やガス化炉からGT迄のガス系の圧力損失の減少が効果的であることが判る。低温湿式ガス精製を使用した場合には、熱交換器を設置する関係から、以上述べたように等価抵抗が大きくなり、負荷変化時の圧力変動は大きい。一方、高温乾式ガス精製の場合には脱硫のための熱交換器類が省略されるため圧力損失は少なくなるものと予想される。即ち、図8の破線のような特性となり圧力勾配も緩やかで、負荷制御の点からは有利となるものと考えられる。

図9に実機の負荷応答性試験結果を示す。これはテキサコ炉による100MW実証プラント（湿式低温脱硫）での負荷追従試験結果である⁽⁷⁾⁽⁸⁾。図9(a)はガス化炉リードモード時の試験結果で、負荷応答は大きな遅れを持つが圧力は安定して制御されている。図9(b)はタービンリードモード時の結果で、負荷応答性は良いが圧力の変化は大きい。いずれも上述のシミュレーション結果と同様の傾向が示されている。

2.4 乾式・抽気連携システムについて

最近では全体の熱効率向上のために、乾式石炭供給、乾式ガス精製の採用、及び、GT抽気とガス化炉ガス化剤供給系の連携システムが使用される傾向にある。勿来200T/Dパイロットプラント⁽⁹⁾での乾式石炭供給、抽気連携、欧州のPRENFLOシ

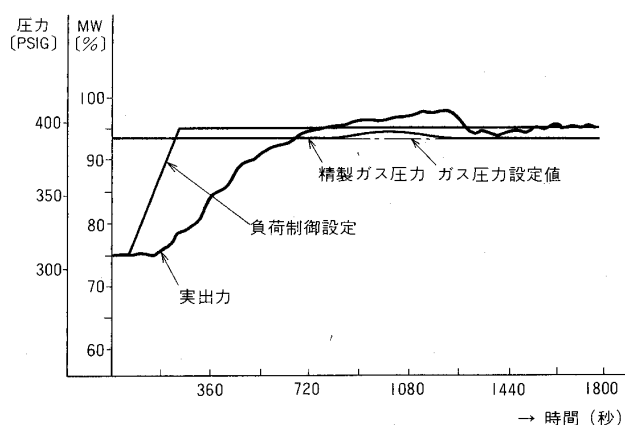


図 9(a) ガス化炉リードモード

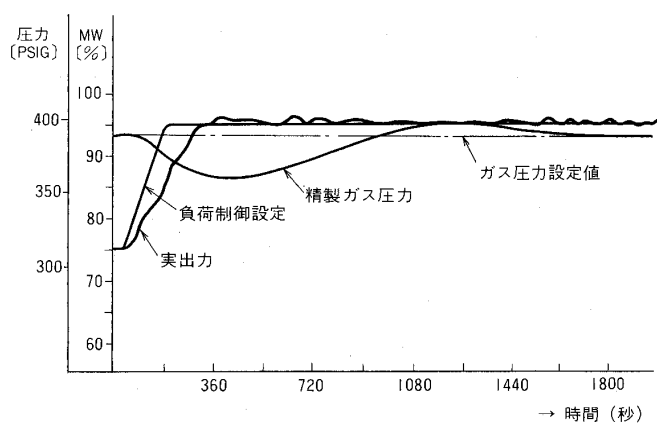


図 9(b) ガスタービンリードモード

ステム⁽¹⁰⁾のGT抽気系と酸素プラントの結合等がこれに相当し、これら新しい系統構成はプラント制御の立場からはいくつかの制御上の留意点がある。

乾式石炭供給方式ではスラリー吹きに比べ燃料流量の計測および制御が難しく、温度、カロリーの安定性にはガス化炉制御として十分注意が必要である。又、ガス化剤を閉ループ系に設置したガス生成装置から供給するシステムの場合には、ガス化剤供給制御の影響をガスタービン抽気系が受け易い、即ち相互干渉があることに注意が必要である。

3. 保護インターロック

プラントの高信頼運転には確実な保護インターロックが不可欠で、この基本的な考え方は従来火力と変わらない。以下、ここでは構成、設備の違いに着目してIGCCの保護インターロック機能についてまとめた。

保護インターロック回路には、自設備に関する異常事象を検知して自設備をトリップさせ、安全に停止する自設備の保護インターロック回路と自設備の異常によりプラント全体の保護の観点から他設備にその信号を送りプラント全体を安全に停止させるための設備間相互のプラント総合保護インターロックが有る。

3.1 設備保護インターロック

通常の制御範囲を逸脱して運転を継続する事が困難と判断され、至急に設備を停止しなければならない異常事象が発生した場合に自設備をトリップさせるもので、ガス化炉とガスタービンについて記せば概略下記の原因がある。

(1) ガス化炉

燃料供給系の障害、ガス化剤の供給障害、温度圧力等のプロセス値の機器許容制限、ガス化炉シール水レベル異常（アニュラスとガス化炉のシール障害）、停止PB操作（MFT）等。

(2) GT

燃料供給系の障害、燃焼異常、回転体異常（振動等）、圧縮機異常、潤滑油/制御油異常、補機異常、ガスリーク、火災発生、発電機トリップ停止PB操作等。

3.2 プラント総合保護インターロック

IGCCを構成する各主要設備のトリップ発生時のプラント全体に与える影響を評価し、即座に他設備もトリップしなければ機器の故障を招くかどうか、又は、他設備もトリップさせる必要が有るかどうか等の総合判断からプラント総合保護インターロックが決定される。

表1に湿式抽気非連携のIGCCの総合保護インターロック機能例を示す。

このプラント構成は先にプラント制御で説明した図4のプロセス構成とほぼ同じである。

表1はプラントの主要機器のトリップ時の各設備への保護動作を纏めたもので、具体的には、設備構成、制限要因及び故障の他設備への波及度を勘案して計画することになる。

プラント総合保護が働く原因にはガス化炉、GT等の主機のトリップ発生がある。

主な特徴を挙げると、ガス化炉トリップ時にはGTは極力運転続行のため補助燃料に切り替えるとか、GTがトリップした場合には、HRSG、蒸気タービンはトリップとし、ガス化炉、ガス精製系

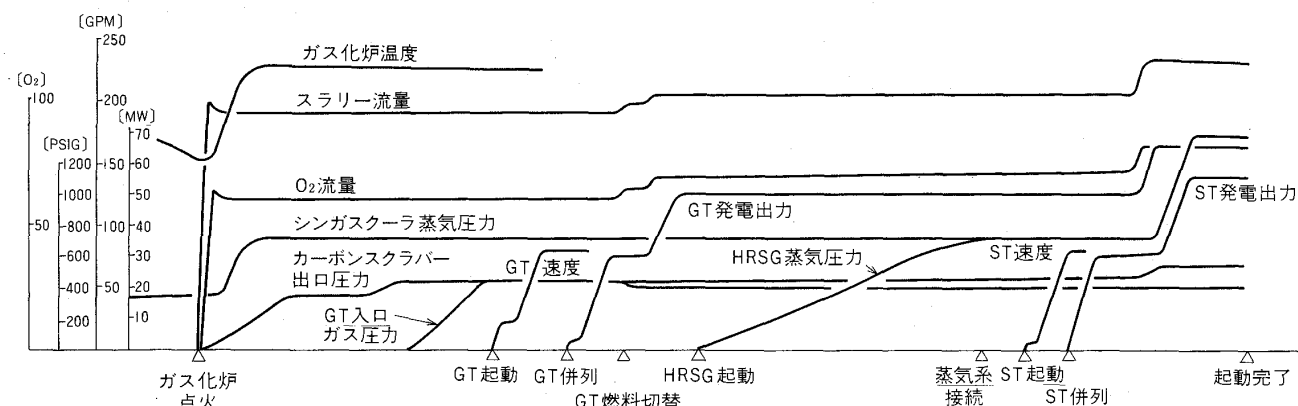


図10 IGCC プラントの起動概要 (例)

表1 プラント総合保護インターロック機能例

主要システム	ガス化炉トリップ	ガスタービントリップ	HRSGトリップ	蒸気タービントリップ
燃料プラント				
石炭スラリー	トリップ	最低負荷運転	100%運転	100%運転
ガス化炉	トリップ	最低負荷運転	100%運転	100%運転
シンガス蒸気	トリップ	復水器へバイパス	復水器へバイパス	復水器へバイパス
ガス精製系	通常停止	最低負荷運転	100%運転	100%運転
コンバインドサイクル				
ガスタービン	補助燃料へ燃料切替	トリップ	100%運転	100%運転
HRSG	通常運転	ダンパー開	ダンパー開	100%運転
蒸気タービン	通常運転	トリップ	トリップ	トリップ
発 電	出力減少	発電なし	蒸気タービン出力なし	蒸気タービン出力なし

は最低安定負荷まで負荷降下させる等である。

HRSG がトリップした場合には蒸気タービンはトリップとし、HRSG ダンパー開状態（ダンパーがある場合）でガスタービンは運転を継続する。

4. プラント起動停止

IGCC の起動停止手順は従来のコンバインドサイクルに比べ、構成設備の違いによる起動停止相違点がいくつかある。

(1) GT を起動する前にガス化炉、ガス精製系の起動操作が入る。燃料ガスプラントは多種類のプロセス流体を扱う多くの系統から構成され、これら設備の起動停止に必要な時間が IGCC プラント起動停止時間の多くを占める。

(2) HRSG ドラムの他にガス化炉シンガスクーラドラムを有しこれら二つの蒸気系、給水系の接

続、切り放し操作が必要。

(3) ガス化炉、ガス精製設備から成る燃料ガスプラントには通常のボイラと同様にパージ操作が必須で、更に、一般にガス系機器は高温高压機器のため、コールド起動時には長時間の暖機が必要。

(4) 燃料ガスプラント起動完了後は従来コンバインドサイクルプラントの起動操作とほぼ同じである。

4.1 起動要領

図10に噴流床湿式 IGCC の起動概要例を示す。

以下、主な操作につきその概略を順次説明する。

(1) 起動準備

水蒸気系の予熱に備え、純水、補助蒸気系を活かし、予熱バーナでガス化炉耐火レンガの予熱を開始する。ST のグランド蒸気、復水器、脱気器系を活かす。

(2) シンガスクーラ加熱

シンガスクーラの水蒸気系を活かしガス化炉点火に備える。

(3) 窒素パージ

窒素でのガス化炉、アニュラスのパージを行う。

(4) ガス化炉燃料系起動

スラリー、ガス化剤供給系を起動し点火に備える。

(5) ガス化炉点火

スラリーとガス化剤をガス化炉に投入すると、ガス化炉内で点火され、瞬時に生成ガスが発生する。生成ガスで徐々に下流を加圧し、GT 入口でフレアにガスを逃し、GT の起動を待つ。ガス化炉点火によりシンガスクーラの蒸気圧力は徐々に上昇する。

(6) GT 起動

GT を補助燃料で起動し、補助燃料から精製ガスへのガスタービン燃料切替で精製ガスでの GT での発電が開始される。

(7) HRSG 起動

GT 排ガスにより HRSG での蒸気発生が始まり、蒸気条件が整ったタイミングでシンガスクラと HRSG 蒸気系の接続が行われる。その後、給水系の接続を行う。

(8) 蒸気タービン起動

HRSG での発生蒸気の蒸気条件が成立したところで蒸気タービンに蒸気を導入し、ST 併入を経て GT 燃料増加により GT, ST の負荷上昇が行われる。

停止はほぼ逆の順序で機器を順次停止して行き、最後にはガス化炉等のガス系の窒素パージを行いプラントの停止操作は完了する。

コールド起動では起動準備の機器の暖機に時間がかかるがガス化炉点火以降は速い。

5. まとめ

以上、プラント制御に関して概要をまとめたが、実際の設計に際しては、設備、システムの特長、運転制限、制御目標を良く理解して最適な制御を計画することが重要である。

既に湿式の実証システムである米国のクールウォータ・プロジェクトでは、運転性能、環境特性、経済性とともにより負荷圧力制御、起動停止特性が実証され、プラント制御面でも多くの成果が得られている。現在、日本では勿来 200T/D パイロットプラントで乾式高温脱硫・抽気連携という系統

的にも難しいシステムで各種運転研究が進められており、プラント制御に関する試験も今後実施予定であり、多くの成果が得られるものと期待されている⁽¹¹⁾。欧州では、実証プラントの建設が進められており、GT 抽気に酸素分離系を繋げた実証プラント、オランダ・ブゲナムプロジェクトも来年には運転開始の予定である。今後、これらのプラントの運転により、制御システムが確立されてゆくものと期待される。

参考文献

- (1) F. P. de Mello 他, IEEE Trans., Vol. 6, NO2, May 1991, P. 753
- (2) 森塚, 三巻, 火力原子力発電, 1989-9, 40, P.1029.
- (3) L. D. Ringham & M. S. Ubhaykar, U. S. DOE Report No. ANL-81-62, P. 811 (1981)
- (4) D. J. Ahner, A. S. Patel, G. Quentin, "Study of Integrated Gasification Combined Cycle Plant Interaction and Control" ASME Gas Turbine Conference, 79-GT-60, 1979,
- (5) G. H. Quentin, D. J. Ahner, Vol. 42, Proceedings of the American Power Conference, 1980, P. 119.
- (6) 五嶋, 永田, 中本, 天池, 長井, 電学論 B, 110 巻 10 号 (1990 年), P.790
- (7) 渡辺, 長井, OHM, 89/9 号, P.31
- (8) EPRI, Cool Water Gasification Program, Fifth Progress Report.
- (9) 高成, 動力, 1992. 9, P.37.
- (10) Robert A. C. Richards, Modern Power System, August 1992, P.24.
- (11) 永田, 諏訪, 多田, 山田, Proceedings of 12th IASTED International Conference, Feb. 1993, P. 408

7. 石炭ガス化用ガスタービンの技術

(株)日立製作所 日立工場 和田 克夫

1. はじめに

石炭ガス化複合発電に用いるガスタービンには石炭ガス化燃料の特殊性に起因する開発課題（表1）があるが、ガスタービン本体は通常のガスタービンと同じものである。逆に言えば通常のガスタービンでは技術的に可能なことは実施されており、そのまま使えることを石炭ガス燃料製造側に求めている状況である。

以下には石炭ガス化プラントに適用するガスタービンについて留意すべき点について述べる。

2. 低発熱量ガス燃料の燃焼法

石炭ガス化燃料は軽油やLNGに比して発熱量は約1/3～1/10であり、燃焼器を専用に開発する必要がある。

ガスタービン燃焼器は後流に翼列を持っているので、限られたスペースで高負荷燃焼を行い、かつ均一な温度分布を達成しなければならない。燃料の発熱量が低くなると空気量に比して燃料量が多くなるため、燃料ノズルで良好な混合気を作ることが重要である。このための方法の一例を図1及び写真1に示す。空気孔と燃料孔を交互に設けて混合を促進しているものである。

このような対策を行っても低発熱量側に可燃限界があり図2に実績例を示す。また本図から理解できるように低燃空比側（低負荷領域）では燃焼安定性が悪いので、ガスタービンの起動から低負荷までは軽油等の高発熱量燃料を用い、その後

石炭ガス化燃料に切り替える方法を採用する。

デュアルフューエルシステムは通常ガスタービンでも使用されているが、ガス化燃料では流量が極めて多いこと、空気と接触すると爆発の危険性がある H_2 を含むこと、主成分であるCOは有毒であること等により燃料切替時のパージ方法に特別の配慮が必要である。

また燃料温度が高いことから燃料制御弁の本体と駆動部分との遮熱対策や燃料配管が大径となることから熱伸び、振動対策の検討が必要である。

3. ガスタービンの高温化

(1) 燃焼温度

石炭ガス化コンバインドプラントではタービンの燃焼温度を高温化すればプラントの総合効率が向上する。しかし燃料の発熱量により燃焼温度に

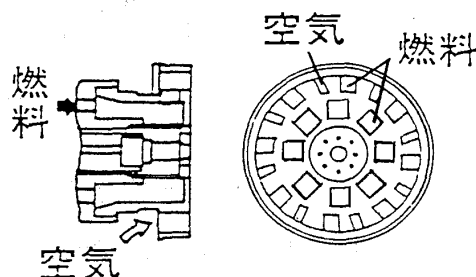


図1 ガス化用燃料ノズル

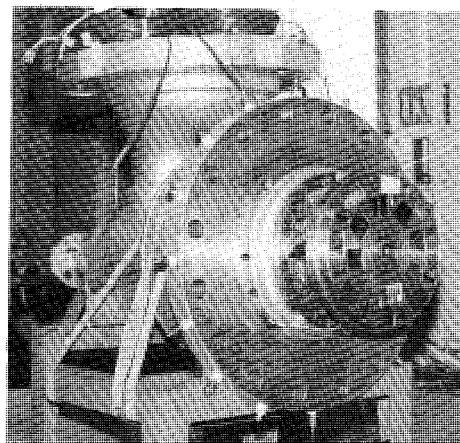


写真1 燃料ノズル

表1 石炭ガス化用ガスタービンの開発課題

項 目	対 象 機 器
燃料が低発熱量	燃焼器
燃料温度が高	制御弁
燃料流量が大	燃料配管、制御弁
燃料がダーティ	燃料配管、弁、翼
ガス化炉へ抽気	抽気配管、抽気制御

（平成5年3月30日原稿受付）

は限界がでてくる。図3は石炭ガスをCOとN₂の混合ガスで模擬し、両者の比率を変えて発熱量を変化させた場合の燃焼温度を示す。燃焼器ライナの冷却（希釈空気も含む）にも空気が必要であり、理論燃焼温度から割り引いて考えねばならない。現状技術では燃焼器ライナの冷却空気は燃焼ガス流量の40%以上は必要であり、空気酸化ガス化炉が生成する燃料（発熱量約1000kcal/Nm³）

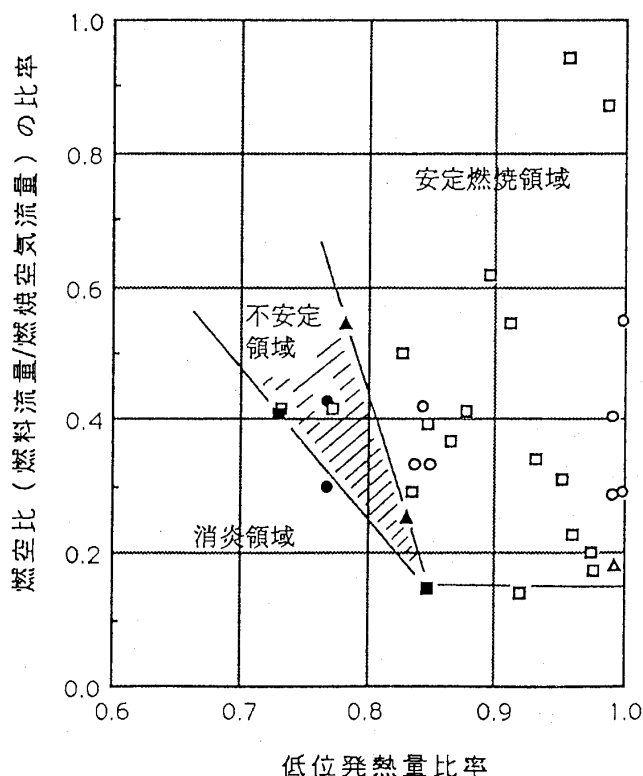


図2 燃空比と低位発熱量の関係

ではガスタービン燃焼温度は1300℃程度が限界と考えられる。

(2) 燃焼器

通常ガスタービンと同量の燃焼ガスを考えた場合、燃料量が多くなる分空気量が少なくなるので、ライナー冷却空気が不足してくる(図4)。このため冷却方式の改善が必要であり、外部インピンジメント冷却、積層構造ライナ等、LNG燃料ガスタービン対応では1400℃級の冷却方式が採用されている。

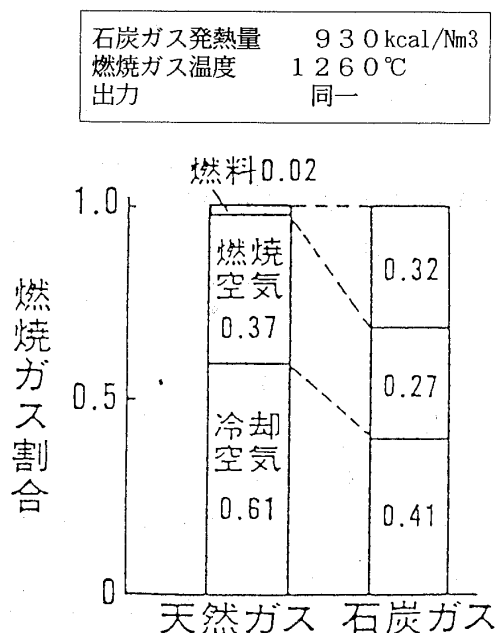


図4 燃焼器の空気配分

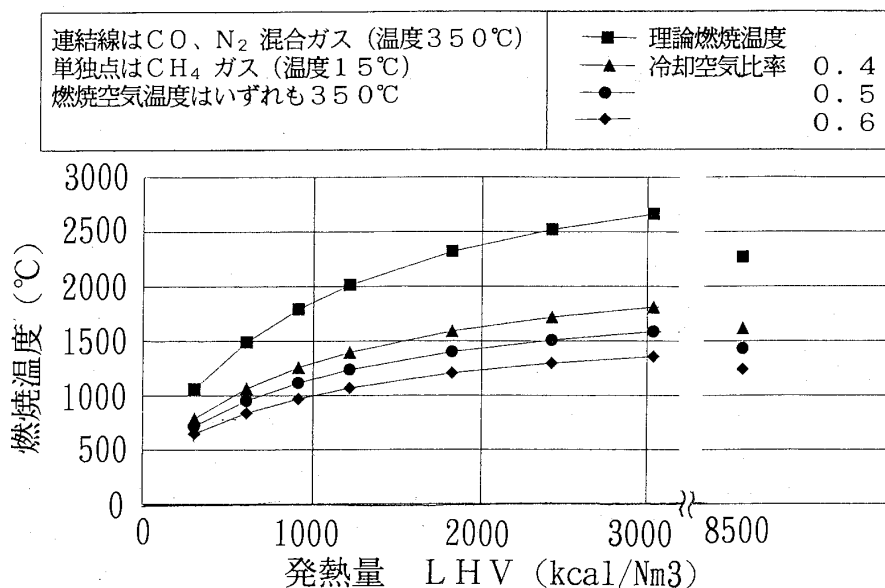


図3 発熱量と燃焼温度

(3) 動・静翼

ガスタービンの開発の歴史は燃焼温度の上昇に対する冷却技術の進歩とも言えるもので、図5に示すように燃焼温度は上昇してもメタル温度は材料の許容する850°Cレベルに収める必要がある。燃焼温度が上昇すれば冷却空気を増加する事で冷却を強化できる。しかし冷却空気量を増加する事はプラント性能を悪くするので、なるべく少ない空気量でメタル温度を抑えるための開発が進められており図6に冷却方式の比較を示す。このうち商用機に用いられている冷却構造の一例を図7に示す。冷却方式の選択は後で述べる燃料ガス中の不純物によっても影響を受けるもので、上記の冷却方式はガス化燃料がガス精製設備によって燃料中の不純物を除去されたクリーン燃料を前提としている。

1960年代にはガス精製が難しい場合を想定してダーティ燃料が来ても腐食しないように、翼メタ

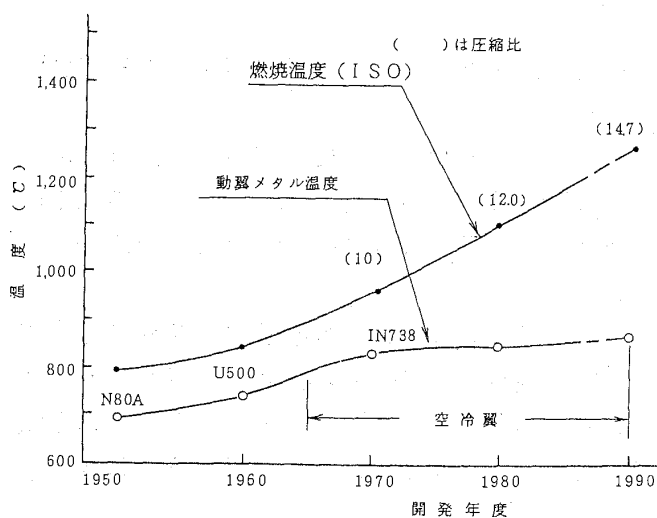


図5 燃焼温度の高温化

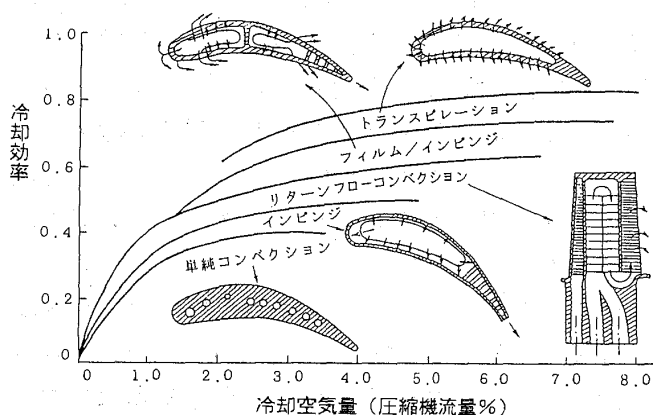


図6 翼の冷却方式比較

ル温度を550°Cレベルに抑えるため水冷却翼の開発も行われていたが(図8)現在では中断している。

ガス化用としては不純物の堆積によって目詰まりの危険性があるので、フィルム冷却の孔径を大きくすることやトランスピレーション冷却のように細孔の多い構造は避け、インピンジメント冷却やタービュレンスプロモータの改良等の内部冷却強化で対応できることが望ましい。

4. NO_x 低減

環境対応としてNO_x値が制限値以下でないとプラントを運転できないので重要な項目である。空気酸化ガス化炉は低発熱量燃料(LHV約1000 kcal/Nm³)を生成するのでサーマルNO_x値は低

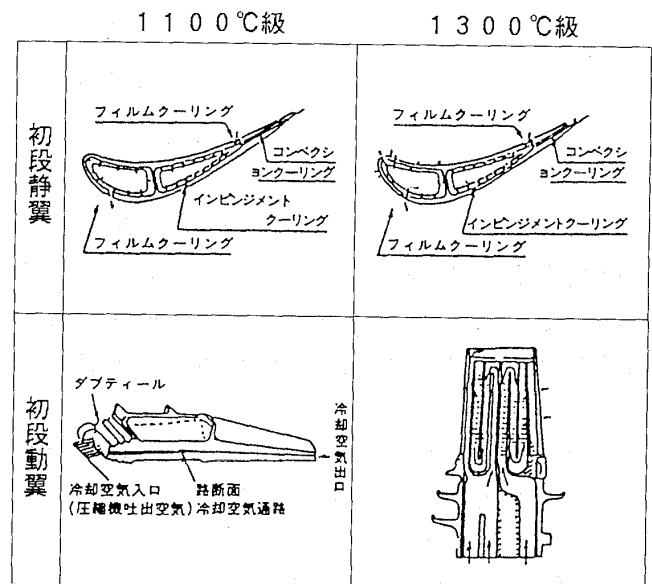


図7 翼冷却構造の進歩

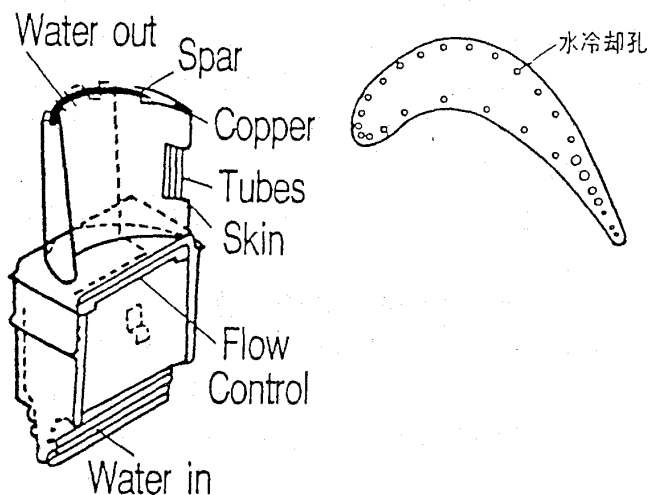
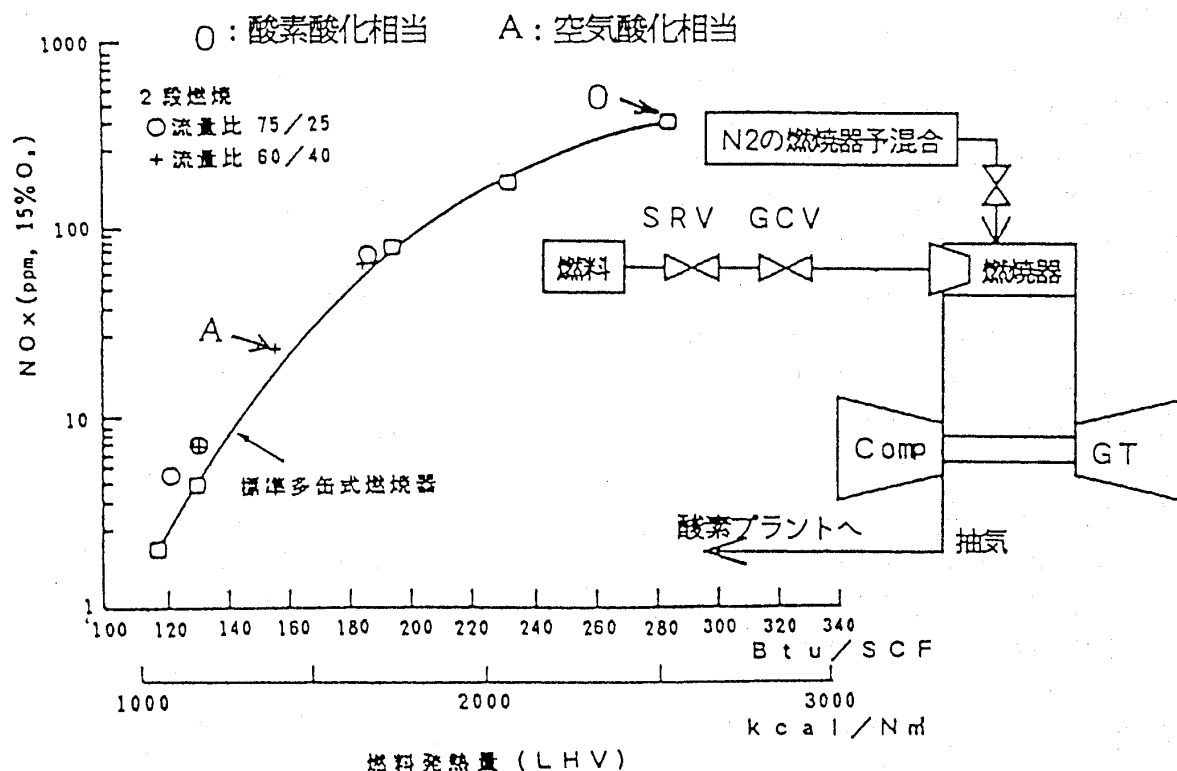


図8 水冷却翼

図9 石炭ガス燃料のサーマル NO_x

いレベルであるが、アンモニアの除去が難しいため燃焼するとフューエル NO_x を発生する。この対策としてガス化用燃焼器では一次燃焼域を Rich 燃焼，2 次燃焼域を Lean 燃焼する方式を採用している。

しかしこの効果はアンモニアの NO_x 転換率を 0.4 にする程度のものであり，抜本的にはガス化炉側での改善が望ましい。

酸素酸化ガス化炉はアンモニアを発生しないが，中発熱量燃料（LHV 約 2600 kcal/Nm³）であるためサーマル NO_x の発生が多い。NO_x の発生は理論燃焼温度に関係する。図 3 には LNG を CH₄ で模擬して，石炭ガス化燃料模擬と比較している。石炭ガス化燃料は CO を主成分とするため理論燃焼温度は LNG より高い。この対策としては N₂ を混合して発熱量を下げた燃焼する方式が考えられる（一例を図 9 に示す）。

5. 燃料ガス中の不純物の問題

燃料ガス中の不純物は高温ガスパス部材に対して腐食現象を生じるので制限を設ける必要がある。高温ガス中の腐食現象は固体粒子のダストが慣性衝突することによって表面が削り取られる現象と，アルカリ金属化合物（主としてアルカリ—硫酸塩

錯化合物）が表面に付着して化学反応する腐食現象とがある。

ダストの許容制限は実機の実績から濃度 30 mg/Nm³ 以下，粒径 10 μm 以下となっている。粒径 10 μm 以下ではダストが流線に沿って流れるため浸食作用は起こらない。

アルカリ金属成分の許容制限には諸説あるが実績から燃料ガス中で 0.024 ppm 以下（Pb や V はさらに厳しい制限となる）とする。燃料中では空気中で薄められる前なので，この分だけ許容は大きくできる。

一方翼のメタル温度や材質の効果も大きい。図 10 にその傾向を示す。静翼材である Co 合金は 900℃ 以上の高温では使用出来ない。動翼材である Ni 合金は使用温度レベルでの腐食が厳しいので表面に耐食コーティングを施す。近年は耐食コーティングとして各種の合金コーティングや遮熱コーティングとしてセラミックコーティングの研究成果がめざましい。

燃料配管材料として腐食性からはステンレス鋼が望ましいが応力腐食割れを重視して Cr-Mo 低合金鋼を採用している。管内の水分結露は極力避ける管理が重要である。

不純物	生成物質	劣化機構
Na, K	$\text{Na}_2\text{SO}_4, \text{K}_2\text{S O}_4$	高温腐食 (加速酸化, 硫化)
S		
V	V_2O_5	

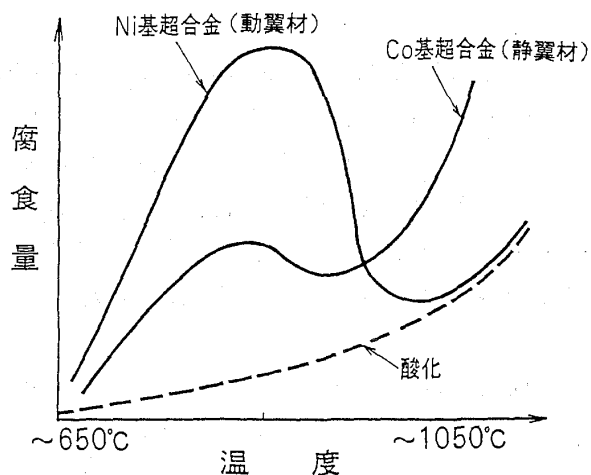


図10 不純物（アルカリ金属）による高温腐食

6. 圧縮機からの抽気

石炭ガス化炉に必要な空気を圧縮するには効率の良いガスタービン圧縮機を活用するため、また圧縮機部分を通過する流量とタービン部分を通過する流量のマッチングをとるためにもガスタービン圧縮機の吐出部分から抽気する。ガス化炉に導入するには更に昇圧する必要があるので昇圧機を設置している。

システム的には抽気が燃料に転換するクローズドサイクルを形成しているので、ガスタービン制御、昇圧機制御、ガス化炉制御が連携したプラント全体の制御性の検討が必要である。

7. おわりに

ガスタービン技術はいまやLNG燃料を主体としたコンバインド発電が多忙を極めていいる。次のステップは石炭ガス化プラントであり、地上に豊富に存在する石炭にたいして環境に適合した利用を可能とする最良の方法であると確信している。しかし技術的には実用化への緒についた段階であり、我国の総力をあげて種々の難問を解決し、早期実現を望むものである。

参考文献

- (1) R. P. Allen, R. A. Battista: Characteristics of an Advanced Gas Turbine with Coal-derived Fuel Gases: ASME Paper 91-JPGC-GT-5
- (2) A. Caruvara, W. H. Day, G. A. Cinocotta, R. S. Rose: System Status of the Water-Cooled Gas Turbine for the High Temperature Turbine Technology Program: ASME 79-GT-39
- (3) 横山二郎, 万代重実他: 石炭ガス化ガスだきガスタービン技術の展望: 三菱重工技報 Vol.22 1985年9月
- (4) 和田克夫: 最近の高性能ガスタービンについて: 火力原子力発電技術協会四国支部講習会資料: 平成3年5月
- (5) 福井寛: 発電用ガスタービンと材料: 西山記念技術講座, 日本鉄鋼協会: 平成2年2月

入会者名簿

正会員

北 條 信 良 (三菱自工)
中 根 秀 彦 (三菱重工)
吉 田 義 樹 (阪 大)
大久保 裕 章 (石川島播磨)
高 橋 博 彦 (大平洋製鋼)
川 人 亮 三 (日 立)
新 井 裕 三 (防 衛 庁)
青 山 達 也 (東 電)
福 永 剛 (工 業 研)
進 藤 重 美 (航 技 研)
伊 藤 泰 (日 産)
西 浦 庸 二 (日 立)

小 林 幹 和 (三菱自工)
大 森 保 紀 (石川島播磨)
赤 星 光 一 (放電精密)
大 庭 康 二 (日立造船)
清 水 煌 策 (日 立)
原 貞 夫 (日本航空)
市 川 孝 男 (東 電)
牧 田 光 正 (日本航空)
湖 崎 一 俊 (富士電機)
濱 純 (工 技 院)
岡 田 明 男 (川 重)

浅 野 謙 一 (三菱自工)
池 田 啓 (日 立)
中 臺 久 雄 (荏 原)
吉 田 武 志 (川 重)
山 口 雄 三 (日 産)
村 田 章 夫 (防 衛 大)
岡 田 正 晟 (東 電)
原 村 成 憲 (アイシン)
伊 藤 義 康 (東 芝)
古 谷 博 秀 (工 技 院)
山 田 敬 之 (石川島播磨)

学生会員から正会員へ

片 岡 明 博 (東邦ガス)

学生会員

須 田 広 志 (東 大)

不純物	生成物質	劣化機構
Na, K	$\text{Na}_2\text{SO}_4, \text{K}_2\text{S O}_4$	高温腐食 (加速酸化, 硫化)
S		
V	V_2O_5	

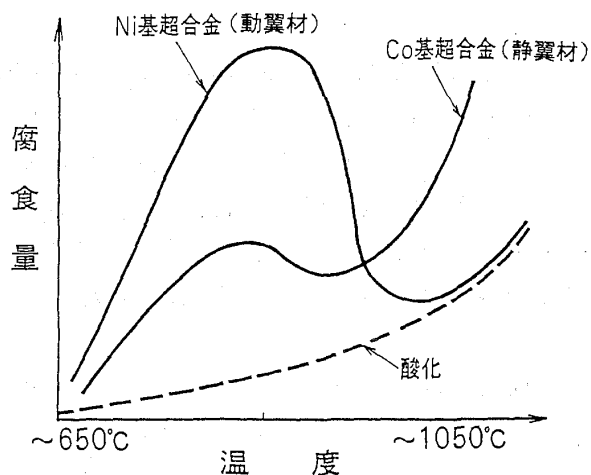


図10 不純物（アルカリ金属）による高温腐食

6. 圧縮機からの抽気

石炭ガス化炉に必要な空気を圧縮するには効率の良いガスタービン圧縮機を活用するため、また圧縮機部分を通過する流量とタービン部分を通過する流量のマッチングをとるためにもガスタービン圧縮機の吐出部分から抽気する。ガス化炉に導入するには更に昇圧する必要があるので昇圧機を設置している。

システム的には抽気が燃料に転換するクローズドサイクルを形成しているので、ガスタービン制御、昇圧機制御、ガス化炉制御が連携したプラント全体の制御性の検討が必要である。

7. おわりに

ガスタービン技術はいまやLNG燃料を主体としたコンバインド発電が多忙を極めていいる。次のステップは石炭ガス化プラントであり、地上に豊富に存在する石炭にたいして環境に適合した利用を可能とする最良の方法であると確信している。しかし技術的には実用化への緒についた段階であり、我国の総力をあげて種々の難問を解決し、早期実現を望むものである。

参考文献

- (1) R. P. Allen, R. A. Battista: Characteristics of an Advanced Gas Turbine with Coal-derived Fuel Gases: ASME Paper 91-JPGC-GT-5
- (2) A. Caruvara, W. H. Day, G. A. Cinocotta, R. S. Rose: System Status of the Water-Cooled Gas Turbine for the High Temperature Turbine Technology Program: ASME 79-GT-39
- (3) 横山二郎, 万代重実他: 石炭ガス化ガスだきガスタービン技術の展望: 三菱重工技報 Vol.22 1985年9月
- (4) 和田克夫: 最近の高性能ガスタービンについて: 火力原子力発電技術協会四国支部講習会資料: 平成3年5月
- (5) 福井寛: 発電用ガスタービンと材料: 西山記念技術講座, 日本鉄鋼協会: 平成2年2月

入会者名簿

正会員

北 條 信 良 (三菱自工)
中 根 秀 彦 (三菱重工)
吉 田 義 樹 (阪 大)
大久保 裕 章 (石川島播磨)
高 橋 博 彦 (大平洋製鋼)
川 人 亮 三 (日 立)
新 井 裕 三 (防 衛 庁)
青 山 達 也 (東 電)
福 永 剛 (工 業)
進 藤 重 美 (航 技 研)
伊 藤 泰 (日 産)
西 浦 庸 二 (日 立)

小 林 幹 和 (三菱自工)
大 森 保 紀 (石川島播磨)
赤 星 光 一 (放電精密)
大 庭 康 二 (日立造船)
清 水 煌 策 (日 立)
原 貞 夫 (日本航空)
市 川 孝 男 (東 電)
牧 田 光 正 (日本航空)
湖 崎 一 俊 (富士電機)
濱 純 (工 技 院)
岡 田 明 男 (川 重)

浅 野 謙 一 (三菱自工)
池 田 啓 (日 立)
中 臺 久 雄 (荏 原)
吉 田 武 志 (川 重)
山 口 雄 三 (日 産)
村 田 章 夫 (防 衛 大)
岡 田 正 晟 (東 電)
原 村 成 憲 (アイシン)
伊 藤 義 康 (東 芝)
古 谷 博 秀 (工 技 院)
山 田 敬 之 (石川島播磨)

学生会員から正会員へ

片 岡 明 博 (東邦ガス)

学生会員

須 田 広 志 (東 大)



NO_xとその生成(1)

東海大学工学部 動力機械工学科 佐野 妙子

1. まえがき

地球表面の大気には地球の重力との関係から窒素(N₂)が最も多く存在し、体積割合でその78%を占めている。次に多いのが21%の酸素(O₂)である。この窒素は後述するように地球環境上では非常に安定な物質であると同時に適当な化学反応性をもつ物質である。窒素はその熱力学的および光学的性質によって地球表面に、いわゆる常温・常圧の状態をつくり、その化学的性質によりこうした環境条件に適合した生体活動(生物圏)を発生させかつ存続させる要因となっている。したがって、窒素はこうした生体活動によって大気と地中との間を循環していると同時に、生物圏の存続・発展に重要な物質の流れを形成している。この循環(サイクル)を地球規模でみると、その各過程において定常的な平衡状態を保っている。しかし、何らかの原因で局所的にこの定常平衡が破られ、その状態が変化すると、いままでの平衡状態に適合していた生物圏が大きな影響を受ける。自然界においては平衡状態が破られても、すぐにもとの状態に戻る制御機構が非常に強く働くようになっているのが普通であるが、制御機構が働かない程の平衡状態からのずれが生じたときは生物や生態系の存続に重大な影響を与えることになる。

このように大量に存在する大気中の窒素(N₂)は窒素化合物に転換(固定化)され、土壌、海洋に貯蔵されるのであるが、固定化の大部分は微生物活動による生物的過程である。雷光や紫外線、燃焼によるものもあるが、それは0.5%程度であり、肥料製造などの人工的な窒素固定も5%程度であり、90%以上はこうした生物的過程により窒素化合物に転換されていると言われている⁽¹⁾。このようにして生じた窒素化合物の窒素は逆にNO、NO₂、N₂O、NH₃、NO₃⁻、N₂(脱窒)として大気中に放出され循環サイクルを形成することになる。

こうした循環サイクルにおいて、最近、都市部や工場地帯等の特定地域ではその人工的活動によって大気中のNO₂、N₂O濃度が増加し、循環サイクルの局所平衡状態に変化を生じさせ、それらの化学反応性のために、生物圏への影響を与えることが問題視されてきている。これがNO_xの公害問題である。

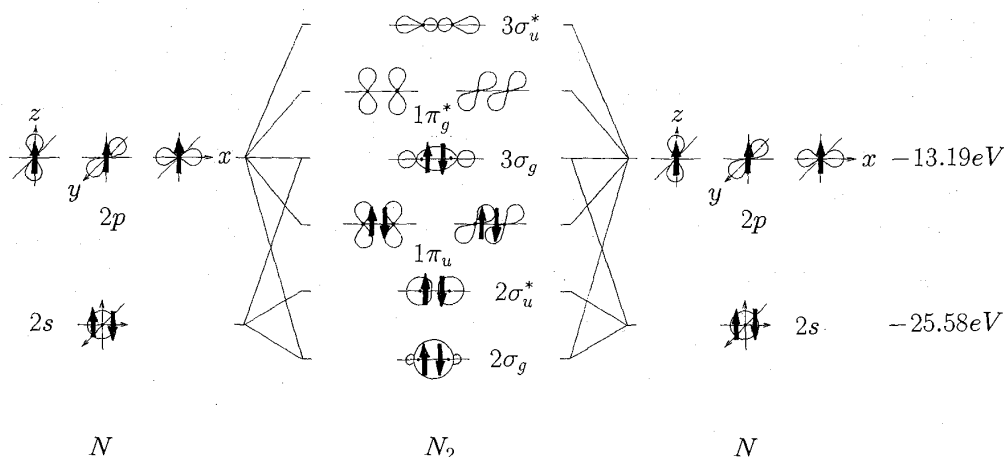
本講義ではまず最初になぜ窒素が安定であり、その窒素酸化物には反応性があり問題になるのかについて、わかりやすいように化学物理学的に解説し、ついで、こうした窒素酸化物がどのように生成するのかということを解説する。さらに後半では、窒素酸化物の生成として、最近特に問題になっている燃焼による窒素酸化物の生成機構について解説する。

2. 窒素とその酸化物

窒素の酸化物を述べる前にその基本となる窒素について考えてみよう。

窒素分子を生成している窒素原子(N)は7個の電子を有する。この7個の電子はN原子の原子核の回りを運動しているわけであるが、無秩序に運動しているわけではなく相互作用をしながら、いわゆる原子軌道(電子が運動する軌道)の上を運動している。ここで軌道と言うのは概念上の話であって実際には電子の分布関数の話である。原子はそれぞれ固有の電子軌道を持っており、安定した状態では原子核に一番近い軌道から1つの軌道に2個ずつ電子(電子対)が入って運動している。こうした原子軌道は原子核に一番近い軌道から1s、2s、2p、……と名付けられている。s軌道は球状であり、p軌道は図1の右図に見られるように、変形した球を2個合わせた形をしており、球の中心を結ぶ軸によって3方向の3つの軌道がある。したがって、これらの軌道に電子が入るとき、1s軌道に2個、2s軌道に2個、2p軌道に6個の電子が入ることができる。窒素原子は7個の電子を有するため、原子核に近い軌道から電子を入れると、1s

(平成5年4月12日原稿受付)

図1 N_2 の分子軌道と電子配置

軌道に2個, 2s軌道に2個, 2p軌道に3個の電子が入ることになる。一番外側の電子が最も動き易いので, 化学反応に参与する電子はこれらの電子であり, 窒素原子の場合は2p軌道の3個の電子とそれより動きにくい2s軌道の2個の電子である。図1の左側と右側の図が窒素原子の電子の軌道を示したものである。このN原子が2つ結合して窒素分子(N_2)になる。

2つの原子が結合して分子になるときは, 同じ様な性質の2つ原子軌道は, 2つの原子核のより近くを回って, 原子核をより強く結び付ける軌道(結合性軌道)と, より遠くを回って, 原子核の結び付きを弱める軌道(反結合性軌道)とに分かれる。このようにして出来上がった軌道のうち結合性軌道(原子核により近くを回る軌道)だけに電子が入ったときは原子間の結びつきが強くなる。このようなときには分子を構成している原子群が自発的に組変わったり, ばらばらに分解することはない。反結合性軌道に電子があるときには, その分だけ原子間の結びつきを弱めることになる。このように, 結合の強度は結合性軌道と反結合性軌道に入った電子の数の差できまる(結合次数)。結合次数が大きいほどその分子は安定であることになる。これに対し, 分子の反応性はこれらの軌道に電子が対になって入っているのか否か, あるいは, 他の分子から電子を取り込める空白な軌道があるかどうかできまる。電子が対になっていない軌道があるか, あるいはエネルギーの低い空白な軌道がある場合は, 他の分子に電子を供給するか, あるいは他の分子から電子を授受することが

容易になるからである。

図1はこのようにしてつくられた窒素分子(N_2)の電子の軌道状態(分子軌道)で, 窒素原子の2s, 2p軌道の電子からつくられるもののみを示し, 1s軌道からのものは省略してある。2つの2s原子軌道から2つの分子軌道($2\sigma_g, 2\sigma_u^*$: *印は反結合性軌道を表す), 6個の2p原子軌道からは6個の分子軌道($1\pi_{uy}, 1\pi_{uz}, 3\sigma_g, 1\pi_{gy}^*, 1\pi_{gz}^*, 1\sigma_u^*$)が生じる。2つのN原子は2s, 2p原子軌道電子を10個持つが, この10個の電子を下の軌道(エネルギーが低い軌道)から詰めていくと結合性軌道は全部充満し, 反結合性軌道には全然入らないことになる。3個の結合性軌道が電子対で充満している三重結合なので原子の結合は非常に強いことになる。これが窒素分子が安定で反応性のない性質を示す理由である。

次に, 酸素について考えてみよう。酸素原子は電子が8個であり, 1s, 2s軌道までは窒素と同じであるが, 2p軌道に4個の電子を持つ。この酸素原子から酸素分子(O_2)をつくると, 図2のようになる。電子の軌道状態はほぼ窒素分子と同様であるが, 2p軌道の電子2個が余分になり, したがって, この電子は反結合性軌道($1\pi_g^*$)に入らなければならないことになる。この場合, 図2のように2個の電子が1つずつ別々の π^* 軌道に入る場合と2個の電子が同一軌道に入る場合とがある。前者のほうが電子間反発は減少し, エネルギー的に安定である。 O_2 にはこのようにエネルギー状態の近い2つの状態が存在し, 前者は三重項の酸素と呼ばれ, 磁気をもち, 後者は一重項の酸素と呼

ばれ、磁気をもたない。原子の結合は N_2 の場合と比較して1つの反結合性軌道を余分に持つことになるので結合次数が1つ下がり、二重結合となる。したがって、安定性は N_2 より弱いことになる。さらに、三重項の酸素は反応性が高いことになる。

次に、窒素の酸化物の化学物理的性質について考えてみよう。窒素には表1に示すように6種類の酸化物 N_2O , NO , N_2O_3 , NO_2 , N_2O_4 , N_2O_5

がある。この中で、 NO はN原子とO原子からなる最も簡単な2原子分子である。前述したように、N原子は2p軌道に3個の電子を、O原子は2p軌道に4個の電子を持っている。これらの原子軌道から NO の分子軌道をつくと図3のようにほぼ N_2 と同じになる。 N_2 の場合はN原子の2p軌道の電子全部が N_2 の結合性軌道に入り、非常に結合性の強い分子ができたが、 NO の場合は N_2

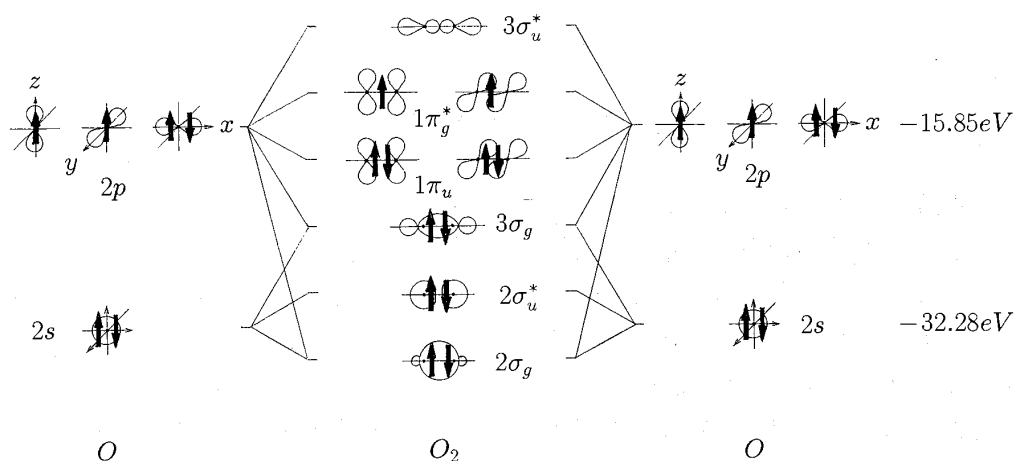


図2 O_2 の分子軌道と電子配置

表1 窒素酸化物とその性質

酸化物	分子式	酸化数	構造	性質
一酸化二窒素 (亜酸化窒素) Nitrous oxide	N_2O	+1	$N \equiv N = O$	無色 $H_2N_2O_2$ (次亜硝酸) 沸点-89℃ 融点-102℃
一酸化窒素 Nitric oxide	NO	+2	$N \equiv O$	気体は無色 液固体は青色 沸点-152℃ 融点-164℃ 常磁性
三酸化窒素 Dinitrogen trioxide	N_2O_3	+3	$O = N \cdots N = O$	室温で赤褐色 固体で青色 HN_2O_2 (亜硝酸) 融点-101℃
二酸化窒素 Nitrogen dioxide	NO_2	+4	$O = N \cdots O$	褐色 常磁性
四酸化窒素 Dinitrogen tetroxide	N_2O_4	+4	$O = N \cdots N = O$	無色 NO_2 と平衡 融点-11℃
五酸化窒素 Dinitrogen pentoxide	N_2O_5	+5	$O = N \cdots O - N = O$	無色 HNO_3 (硝酸) 融点-32℃

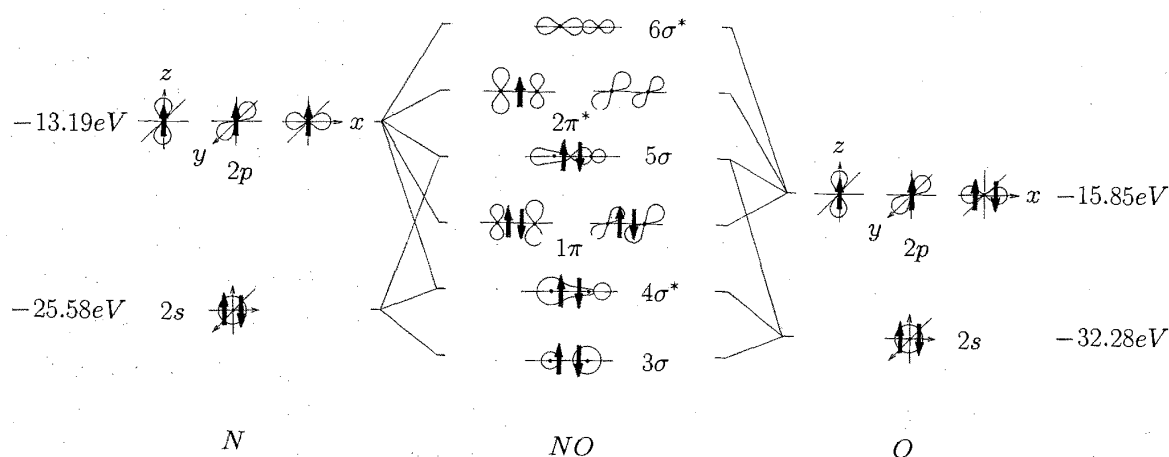
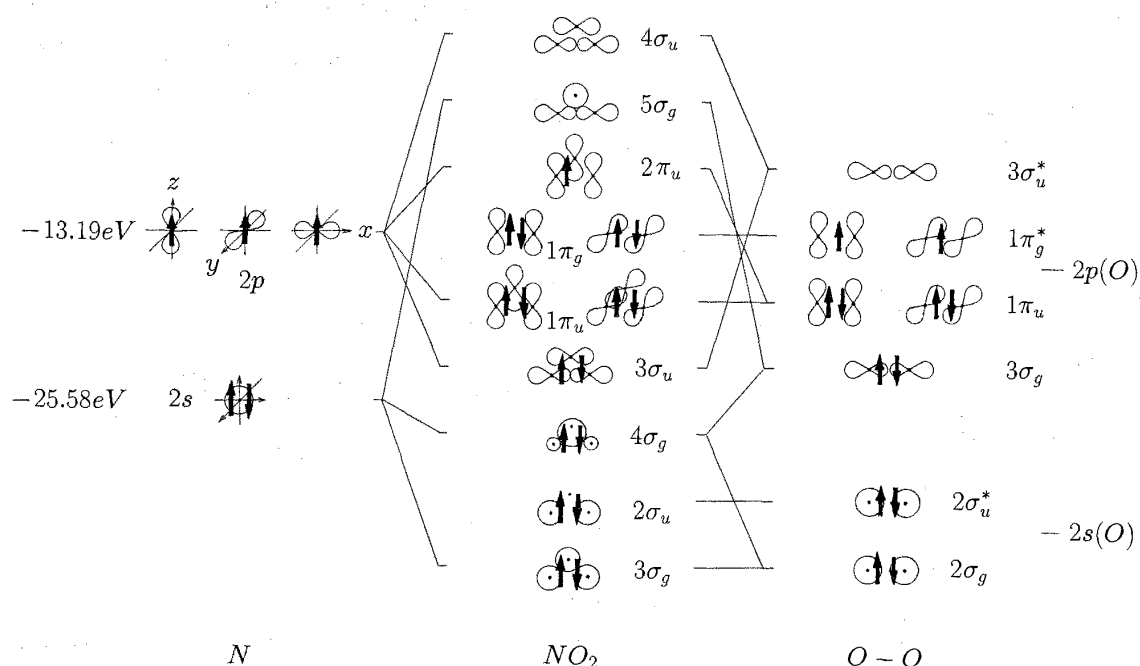


図3 NOの分子軌道と電子配置

図4 NO₂の分子軌道と電子配置

より2p軌道電子が1個余分にあり、この電子は反結合性軌道($2\pi^*$)に入らざるを得ない。したがって、原子結合が N_2 より弱くなる。結合次数は2.5となり、原子価結合法的な考え方では三重結合と二重結合とが重なった結合として理解されている。さらに、反結合性軌道は電子がただの1個であり、電子対になっていないことにより電子を供給し易い分子、あるいは電子を授受し易い分子があるとこれと結び付き易く、したがって反応性を示すことになる。

このNOに酸素原子1個が結び付いたのが NO_2 であるが、酸素原子は2p軌道に4個の電子を持ち、NOの反結合性軌道の不対電子をなくし

てもさらに不対電子をもつ軌道が残ることになり、やはり、反応性は高くなる。図4は NO_2 の分子軌道を示す。 NO_2 は電子間反発によって直線状でなく、O-N-O間の角度が 134° の曲がった原子配置を持つ分子である。3原子分子であるためやや複雑な分子軌道を示すが、図4はO-Oの分子軌道とN原子の原子軌道を組み合わせたものであり(2s軌道以上)、最後の不対電子1個は反結合性軌道($2\pi^*_u$)に入ることになり反応性が高いことがわかる。原子価結合法的な考え方をすれば、 NO_2 のN-O結合は2重結合と1.5重結合とが共鳴した結合になっている。

N_2O は反応性は小さく室温では安定なため、最

近ではオゾン層破壊物質として問題視されている。 N_2O は $N-N-O$ という原子配列の直線分子であり、 $N-N$ の分子軌道と O の原子軌道より N_2O の分子軌道 ($2s$ 軌道以上) をつくと図5のようになる。これらの分子軌道に $N-N$ および O の電子を配置すると不対電子をもつ軌道は無く、かつ、電子対を持つ軌道は結合性軌道か半分結合性軌道 (2π) になることがわかる。したがって、反応性の無いかなり安定な分子であることがわかる。

この他の酸化物の中、 NO_3 はきわめて不安定であり、その存在は吸収スペクトルで反応の中間化合物として確認されている。硝酸、亜硝酸、次亜硝酸は存在するが、 N_2O_5 、 N_2O_3 は不安定である。これは表1に示す分子構造と上述の分子軌道を考えると容易に理解することができる。 N_2O_5 は NO_2 と O_2 へ ($2N_2O_5 \rightarrow 4NO_2 + O_2$) と分解し、

高温になると爆発的に分解する。 N_2O_3 は室温でも NO_2 と NO に分解する。 N_2O_4 は常温では気体で NO_2 と平衡にあるが、温度低下と共に液化し、さらに低温では、1気圧、 $-9.3^\circ C$ で無色の N_2O_4 の個体になる。

以上から窒素酸化物として安定なものは N_2O であり、ある程度安定であり、かつ反応性のあるものは NO 、 NO_2 であることがわかる。したがって、前述した窒素循環サイクルの定常平衡状態としては、これらの NO 、 NO_2 が問題になる。

3. 窒素酸化物の生成

図6に窒素酸化物の窒素循環サイクルを示す。自然発生源は生物の関与により生成した窒素酸化物であり、人工発生源は硝酸製造などの工業や燃焼などにより生成したものである。

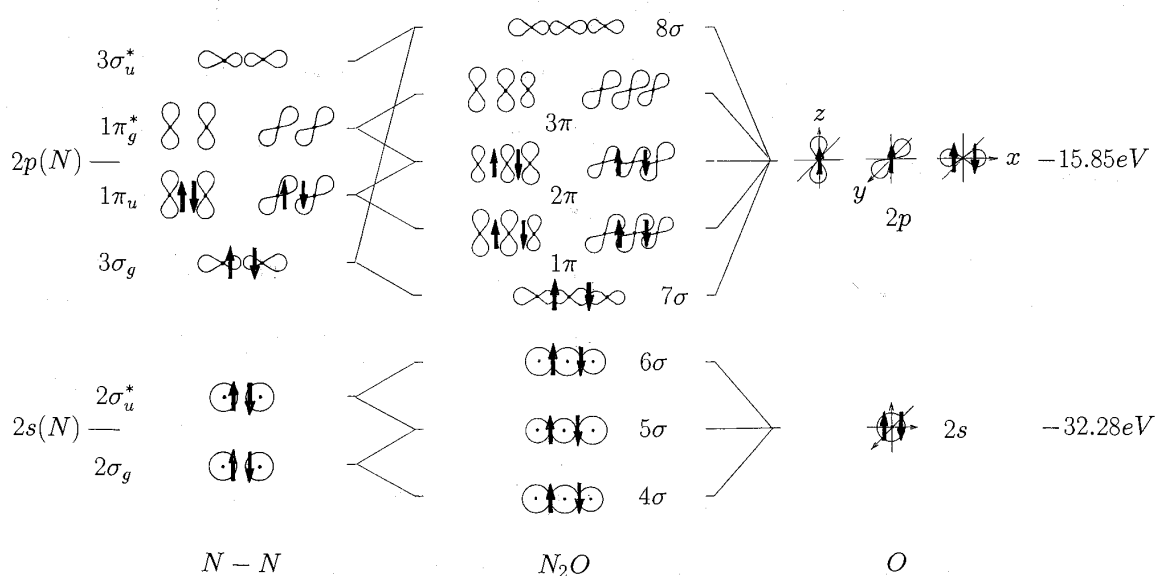


図5 N_2O の分子軌道と電子配置

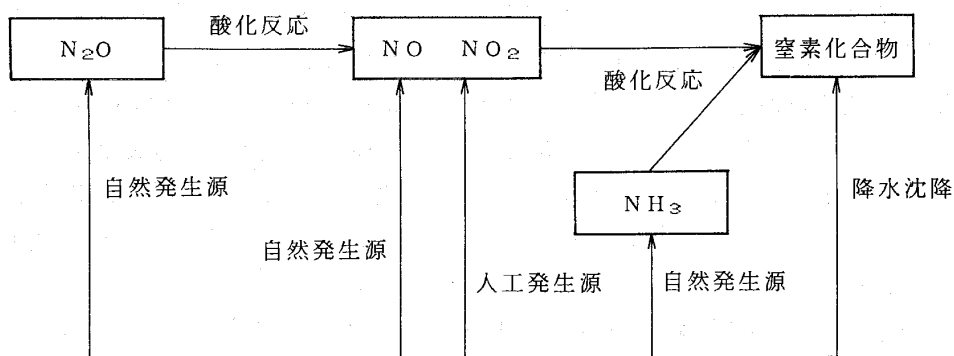
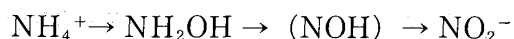


図6 窒素酸化物の窒素サイクル

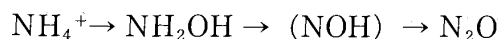
3.1 生物による窒素酸化物の生成⁽²⁾

まえがきで述べたように、 N_2 は土壤中の微生物によって、あるいは工業的にアンモニアや硝酸等の窒素化合物に転換される(窒素の固定化)。これらは、微生物や植物によりアミノ酸等の有機窒素化合物に合成され、動物の生体内に取り込まれる。生体の排せつ物や遺体は再び微生物によりアンモニアに分解される。このアンモニアは再び生物の窒素源として利用されるが、土壤中の硝化細菌によって亜硝酸、硝酸へと酸化される。

亜硝酸菌では酸素があるとき(好氣的)には

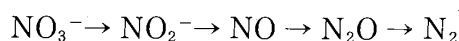


で亜硝酸が生成し、酸素がないとき(嫌氣的)には



で N_2O が生成する。さらに、硝酸菌により NO_2^- は NO_3^- に酸化される。

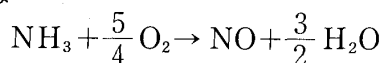
また、一部の細菌は硝酸を還元し、 N_2 を生成する。



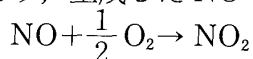
この過程を脱窒と云う。このような生物の関与する窒素サイクルを図7に示す。 N_2O は大気中に最も多く存在する窒素酸化物である。

3.2 窒素酸化物の工業: 硝酸製造⁽³⁾

1901年に Le Chatelier が加圧下で窒素と水素からアンモニアの合成の可能性を実証し、1913年に Haber と Bosch がアンモニア合成法を工業化した。その結果として、アンモニア酸化法による硝酸製造が確立された。 N_2 と H_2 とから製造されたアンモニアは700~1000°Cにおいて白金系触媒上で空気中の酸素で酸化される。その酸化の主反応は



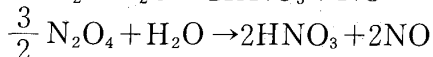
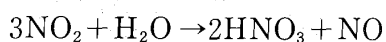
であり、生成したNOは



の反応で NO_2 に酸化される。室温付近では



で N_2O_4 が生成する。生成した NO_2 、 N_2O_4 は



の反応で水に吸収され、硝酸(HNO_3)を生成する。

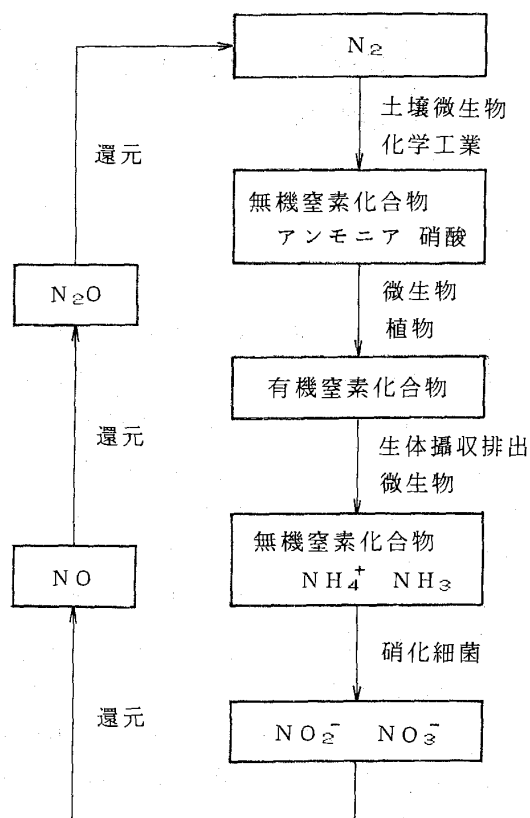


図7 生物の関与する窒素サイクル

3.3 燃焼と窒素酸化物

燃焼により生成・排出する窒素酸化物 NO_x とは通常 NO 、 NO_2 とを指している。最近、 N_2O も石炭燃焼、排煙脱硝での排出が問題になっている。

NO 、 NO_2 のうち燃焼器内ではまず NO が生成し、多くの燃焼器では NO のまま大気中に排出され、大気中で NO_2 へと酸化される。一部の燃焼器では燃焼器内で、あるいは排気口で NO_2 へと酸化される。家庭用ガスバーナのように火炎が冷たい空気に囲まれている場合には、バーナ火炎の周辺で NO_2 へと酸化される。したがって、環境基準で問題になる NO_2 を低減するためには、 NO の生成・排出を低減すればよいわけである。

次回は燃焼による NO の生成について解説する。

参考文献

- (1) 荒木・沼田・和田, 環境化学辞典, (1985), 516, 東京化学同人
- (2) 高橋, NO_x の化学, (1978), 117, 共立出版
- (3) 化学便覧, 応用化学編I プロセス編, (1986), 121, 丸善

トヨタ自動車(株)12研究部 比 叡 淳

Abstract

Ceramic components for application to an automotive gas turbine engine have been developed in TOYOTA MOTOR CORPORATION, and a newly designed gasifier radial inflow turbine wheel were evaluated by hot gas test rigs. The turbine wheel was designed in optimum geometry by means of the reliability analysis of ceramics and the original criteria of fracture stress, which was obtained from the analysis of fracture moment photographs of the other ceramic turbine wheels, and satisfied the required rated speed with inlet temperature up to 1400°C in a component test rig. The stationary components consisted of nozzle ring, scroll duct, piston rings for gas sealing, and others are also proceeded 1400°C gas testing.

1. はじめに

エネルギー問題が大きく取り上げられている中で、セラミック材料採用によるガスタービンの高温化開発が広く行われている⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾。トヨタ自動車でも乗用車用ガスタービンの実用化をねらいとして、二軸式ガスタービンの高温部部品のセラミック化に取り組んでいる。前回の報告⁽⁵⁾では1000°C～1200°Cでのホットガス評価で十分な強度のセラミック部品が得られていることを示した。

本報では、タービンホイールの強度設計に必要な破壊回転数と破壊起点の推定を二つの方法で行い、その有効性を比較検討する。一つはセラミックスのモデルタービンホイールの破壊試験より得られた試験データを基とする破壊回転推定法であり、もう一つは信頼性解析⁽⁶⁾による破壊回転推定法である。また最終目標の1400°Cを狙って全面的に改定されたセラミック部品とそのホットガス評価結果について述べる。図1に示す対象部品はガ

スジェネレータ部の内、ラジアル型のタービンホイール、プレート、スクロール、ノズル、タービンシュラウドおよびガスシール用のピストンリング数点であり、材料は全て窒化珪素である。

2. 破壊回転推定法の比較検討

2.1 モデルタービンホイールの仕様と破壊試験装置

破壊回転推定法の比較検討には図2に示す2種類のモデルホイールを用いた。モデルIの外径寸法は約70mmである。モデルIIはモデルIのタービン入口部を機械加工により除去したもので、ともに窒化珪素の同一租形材より出来ている。その材料特性を表1に示す。図3はモデルIとIIのFEM解析結果であり、形状の違いにより応力分布が異なっている。

ホイールの破壊回転数と破壊起点は図4の破壊

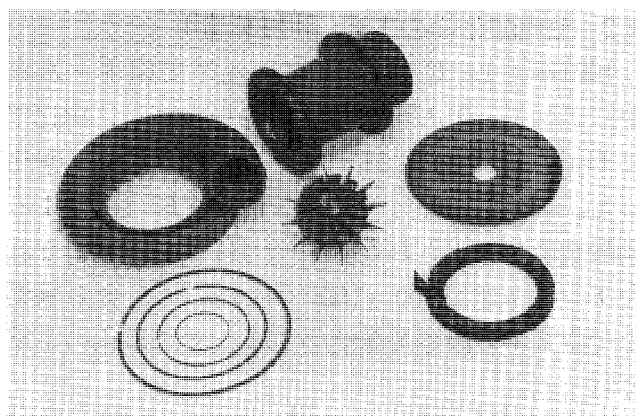


図1 セラミックガスタービン部品

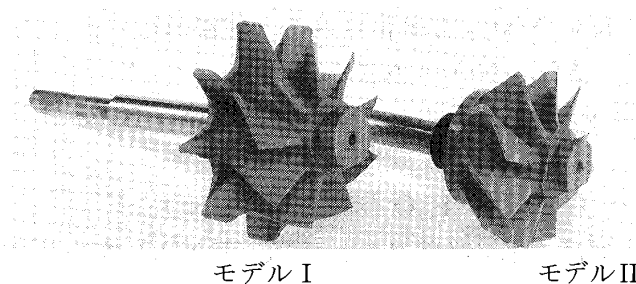


図2 モデルホイール

(平成4年9月24日原稿受付)

表1 材料特性

4点曲げ強度	680MPa(常温)
密度	3.2g/cm ³
ヤング率	294GPa
ポアソン比	0.28
ワイブル係数	15

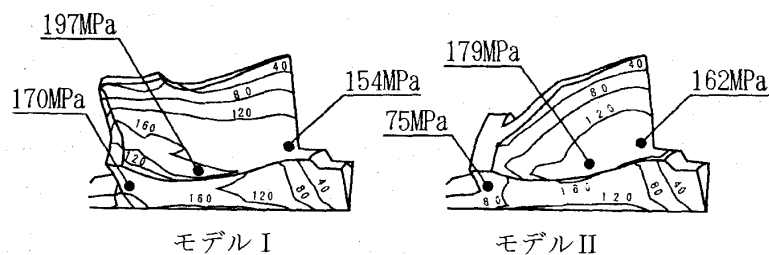


図3 FEM解析結果(回転数: 133000rpm)

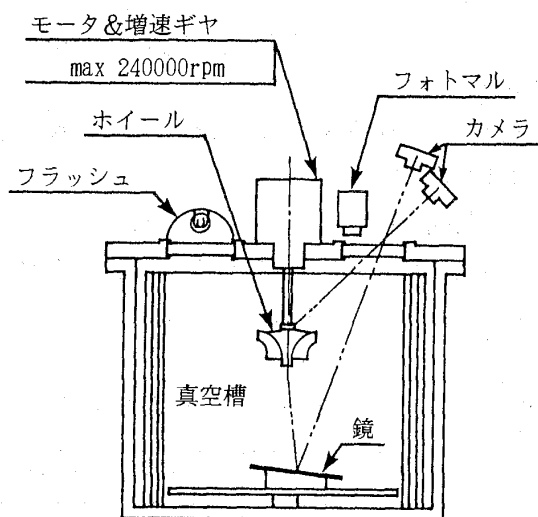


図4 破壊瞬間写真撮影システム

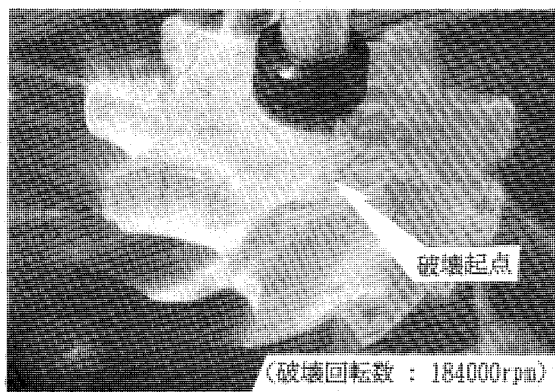


図5 モデルIの破壊瞬間

瞬間写真撮影システムにより把握する⁽⁷⁾。ホイールは真空槽にセットされ破壊するまで増速ギヤを介したモータ駆動により増速される。ホイールは破壊時にフラクトエミッション⁽⁸⁾により発光する。その光をフォトマルが捉えホイールの破壊を検出し、フラッシュが光り撮影が終了する。この方法では破壊と同時の発光現象で破壊を検出するため破壊から撮影終了までの時間遅れが7.5 μ sと極めて短い。そのため写真はホイール破面の拡が

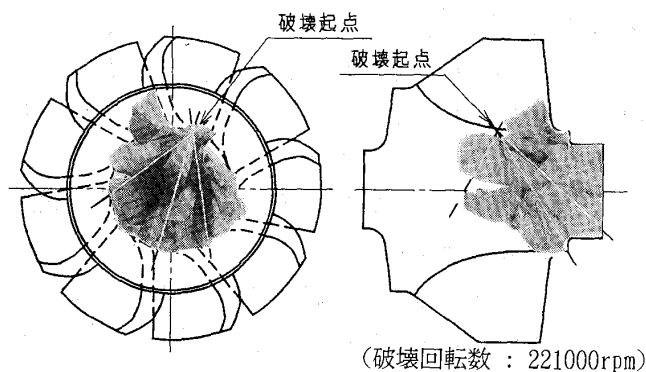
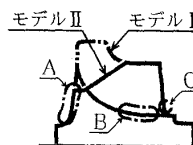


図6 モデルIIの破面

表2 ホイールの破壊応力

	FEM応力値(MPa)		
	A	B	C
モデルI	361	420	329
モデルII	182	435	396
破壊応力	361	435	396

(材料強度: 680MPa)



注) アンダーラインは破壊起点の応力

りがほとんど無い破壊起点が明瞭な状態を捉えたものとなる。また、ホイールの正面や背面を含め全3方向より同時に撮影することによりホイール全体をカバーし、破壊起点を確実に捉えることが出来る。

2.2 試験データを基とする破壊回転推定法

図5はモデルIの破壊瞬間写真である。背面部を破壊起点とするモデルIの破壊を明瞭に捉えている。モデルIの平均破壊回転数は194000rpmであった。図6はモデルIIの破面観察結果で破壊起点は中央翼根元部である。平均破壊回転数は205000rpmであった。

ホイールを応力のピークが現れる背面部A、中央翼根元部B、出口翼根元部Cに分けて捉えFEM応力と対応付け表2に示す。表中の応力は

モデルホイールの平均破壊回転数での値である。即ちモデルⅠはA部より361MPaで破壊し、モデルⅡはB部より435MPaで破壊した。C部よりの破壊は無かったが、大きい方の396MPaをとり破壊応力とした。強度が680MPaの材料に対するこの試験データを基に材料強度の比で補正し、材料や形状の異なるターボホイールの破壊回転数と破壊起点を推定出来る。これが試験データを基とする破壊回転推定法である。7種のターボホイールについて試験結果と比較したのが図7である。異なる部位より破壊するそれぞれのホイールに対し良い一致が得られるのが判る。

2.3 信頼性解析による破壊回転推定結果と試験結果との比較

ワイブル分布に基づく信頼性解析を行いモデルⅠの破壊試験結果と比較したのが図8である。平

均破壊回転数がほぼ一致しているのが判る。表3はモデルホイールの信頼性解析結果をまとめたものである。モデルⅡの平均破壊回転数も試験結果の205000rpmに近い値となっている。表3では破壊起点を推定するためにABC各部位の破壊確率も計算した。結果はモデルⅠ、モデルⅡともB部の破壊確率が最も大きくモデルⅠの試験結果とは一致しなかった。これはホイールの部位により破壊応力が異なるためと考えられる。

ホイール各部位の破壊応力に対応した解析法の開発が望まれる。

3. セラミックタービンホイールとホットガススピテスト

図9に開発中のセラミックタービンホイールを示す。外径は132mmで、翼枚数が12枚の半径流型タービンで定格回転数は80000rpmである。材料

表3 信頼性解析結果

		モデルⅠ	モデルⅡ
推定破壊回転数		199000rpm	216000rpm
推定破壊起点		B部	B部
部位の 破壊確率	A部	1.2%	0.0%
	B部	21.5	28.9
	C部	0.5	9.3

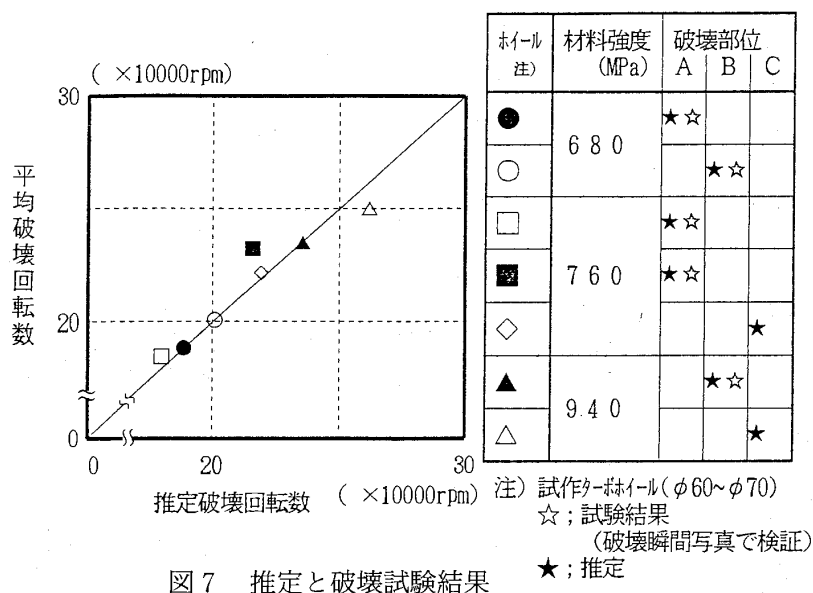
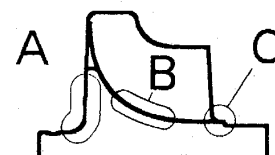


図7 推定と破壊試験結果

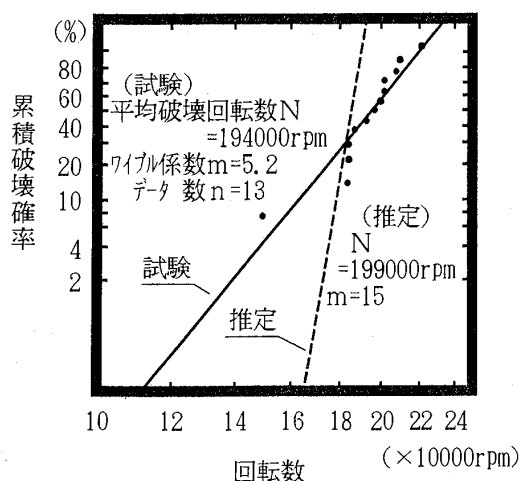


図8 モデルⅠの破壊確率

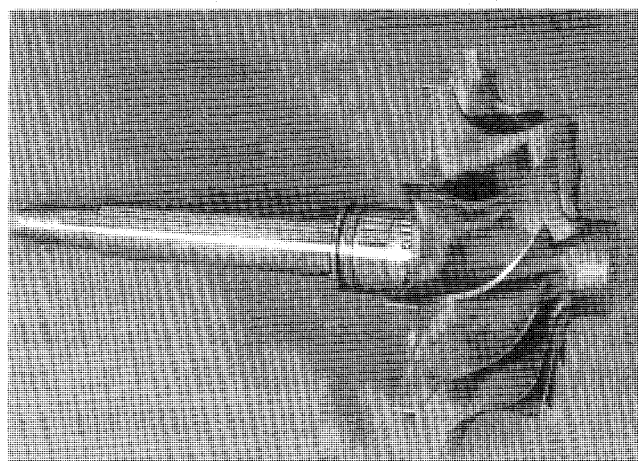


図9 セラミックタービンホイール

表4 材料特性

4点曲げ強度 (MPa)	常温	615
	1000℃	566
	1200℃	485
	1370℃	494
密度 (g/cm ³)		3.4
ヤング率 (GPa)		309
ポアソン比		0.28

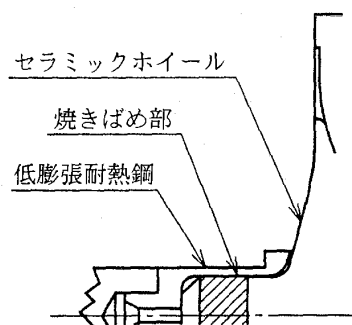


図10 セラミックスとメタルの結合構造

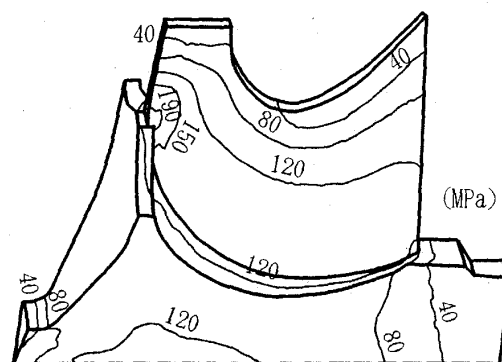


図11 FEM解析結果 (回転数: 80000rpm)

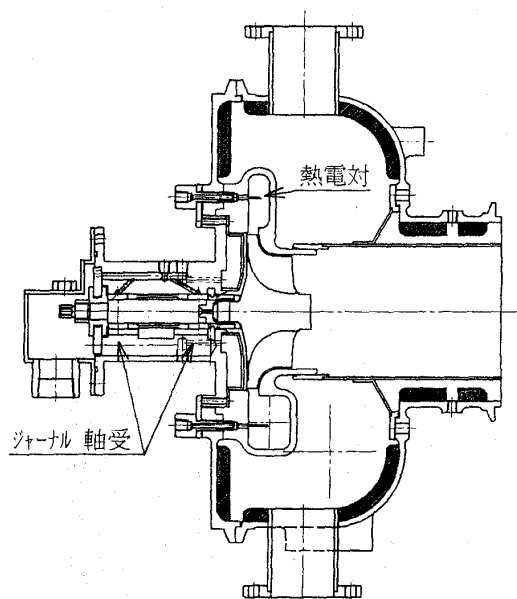


図12 ホットガススピントリグ

には実績のある従来材料と、1200℃でみて従来材料に対し強度が30%向上した改良材料を使用した。従来材料の特性を表4に示す。セラミックホイールとメタル軸は図10に示すロー材を介した焼きばめで結合されており、約700℃の耐熱性がある⁽⁹⁾。図11にFEM解析結果を示す。試験データを基とする破壊回転推定法より推定される従来材ホイールの常温での破壊回転数は107000rpmで、破壊起点は背面(A部)のスキヤロップ部である。信頼性解析の結果では破壊回転数は103500rpmで破壊起点は中央翼根元(B部)である。背面(A部)の軸付根部は1400℃運転時の熱応力を考慮し回転応力は小さくしてある。

図12にタービンホイールのホットガススピントリグを示す。軸受はフローティングブッシュのジャーナル軸受で、ホイールを破壊できる超高

材料	ロータ No.	(×10000rpm)		
		9	10	11
従来材料	1	5分、破壊		
	2	0分、破壊		
	3	0分、破壊		
	4	0分、破壊		
改良材料	5	0分、未破壊		
	6	0.5分、破壊		
	7	0分、破壊		

図13 タービンホイールの1400℃評価結果

速回転が可能である。燃焼ガスはスクロールによりタービンホイールに導かれ、ノズルベーンは用いていない。スクロールには耐熱鋼を用い、周囲に冷却空気を流して高温ガスに耐えられるようにした。燃焼ガスの温度はリグの入口とスクロール内円周方向6ヶ所に白金-ロジウム熱電対を設けて測定し、スクロール内温度の平均をガス温度とした。試験の最高温度であるガス温度が1400℃の時、スクロールの外表面は1090℃である。タービンホイール背面のバックプレートの温度も1000℃に近く、リグ材料の耐熱温度に近い値となっている。このため試験は短時間で出来る破壊試験にとどめた。

試験は以下の要領で行なう。バーナ着火後ガス温度とタービン回転数を上げ、第一の条件1400℃・80000rpmで5分保持し、その後10000rpm刻みの5分保持で回転を上げる。

図13にこれまでの試験結果を示す。従来材ホ

イールの平均破壊回転数は102000rpmである。一方改良材ホイールは平均破壊回転数が104000rpmであったが、最高破壊回転数は110000rpmに達し材料強度向上の効果が見られた。

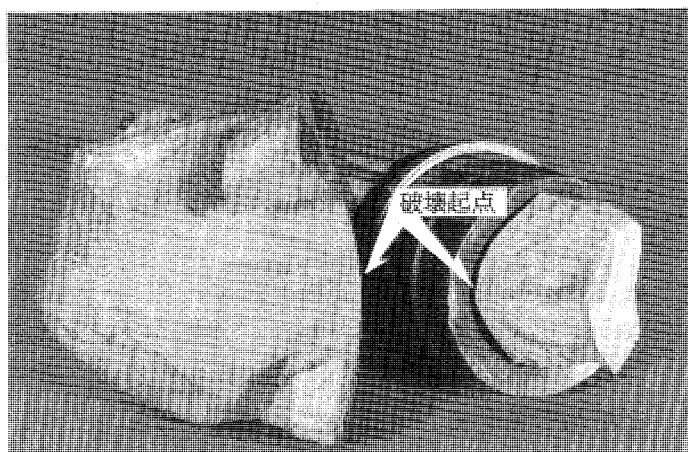
図14に示す破片は破壊回転数が105000rpmの従来材ホイールのものであり、破面観察より破壊起点はホイール背面の軸付け根部であると推定される。試験データを基とする破壊回転推定法で推定された破壊起点とは異なっている。これは試験データを基とする破壊回転推定法では考慮されていない熱応力によるものと考えられる。

4. セラミック静止部品とホットガス評価

セラミック静止部品は図1に示した通り5種類で最も大きいスクロールは外径が約300mmである。セラミック部品の組み付け状態を図15の静止部品ホットガステストリグで示す。全てのセラミック部品はリグのハウジングに位置決めされたセラミックのプレートをベースに積み重ねられ最

下部のバネで押しつけられ固定される。バネの押し付け力はガスタービンエンジンの振動やガス圧を考慮して決めた。バネの位置はなるべく低温部に設け、バネの異常な高温化に対しても簡単に冷却で対応できる構造とした。部品の位置決め嵌合部には、セラミックス同志ではインロー方式を採用し、セラミックスとメタル間には図16に示す凹凸を使った方式を用いた。最も高温になり、エンジンの起動時や加速時に急激な温度変化にさらされるノズルベーンは熱応力が緩和されやすいブレード1枚ごとの分割構造とした。ガスのシーリングにはセラミックピストンリングを用いている。セラミックスのスクロールは図17のように渦巻き部分と出口ダクトと嵌合するフランジ部が別体で焼成されその後接合してつくられている。

静止部品のホットガス評価には図15に示したり



(破壊回転数：105000rpm，破壊起点：A部)

図14 セラミックタービンホイールの破面

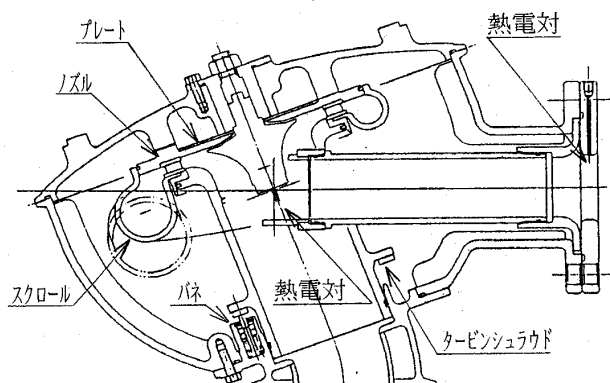


図15 静止部品ホットガステストリグ

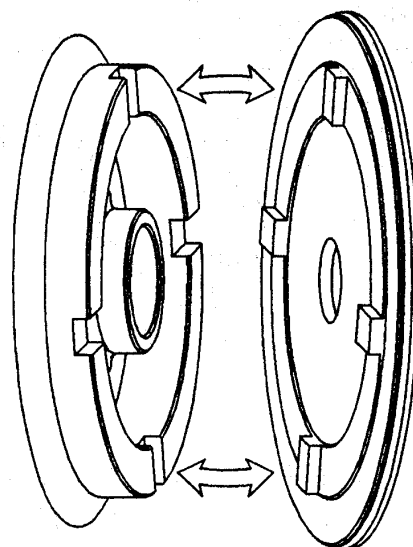


図16 凹凸の嵌め合い構造

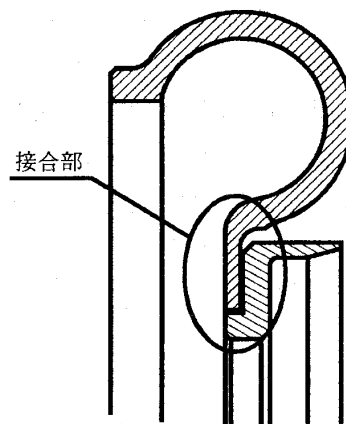


図17 スクロールの結合構造

グを用いた。燃焼ガスはスクロールに導かれノズルを通して出口ダクトより排出される。ガス温度の設定はリグ入口に設けられた白金-ロジウム熱電対により行なう。本来タービンホイールのある場所には流れのガイドとして整流コーンを設けている。整流コーンの先端部には熱電対がありガス温度を測定する。リグ入口フランジ部で 1400°C に設定したとき整流コーンの先では 1340°C になり、 60°C の温度降下がある。また、セラミック部品と外側のメタルハウジングとの間の空間の温度は 1080°C であり、エンジン作動状態の熱交換機出口の推定温度 900°C に比べ更に高い値となっていた。

試験は 1000°C より 100°C 刻みに5分ずつ保持し、 1400°C まで上昇させ行なう。図18はガス流量 145 g/sec で $1400^{\circ}\text{C}\cdot 70\text{分}$ 保持した結果である。中央部に溶損したインコネル792の整流コーンが見られる。セラミック表面には溶損したインコネル792が付着しているがセラミック部品に割れや欠けまた酸化も見られず、構造や材質に大きな問題は無いことが判った。ただ、 1400°C まで温度を上げて行く過程ではセラミック部品全体を押し付けて固定するバネが熱によりへたり、ノズルのセグメントが一部外れる不具合が出た。エンジン実機においてはバネの強さ及び雰囲気温度に十分配慮する必要がある。

5. まとめ

- (1) セラミックタービンホイールの強度設計のための破壊回転数と破壊起点の推定法として、試験データを基とする破壊回転推定法と信頼性解析による破壊回転推定法を比較検討した。現状では試験データを基とする破壊回転推定法の方が推定精度が高く実用的である。
- (2) タービンホイールは 1400°C における自動車用2軸式ガスタービンの定格回転を十分に保証できる強度と耐熱性があり、破壊回転数は定格の138%に達した。

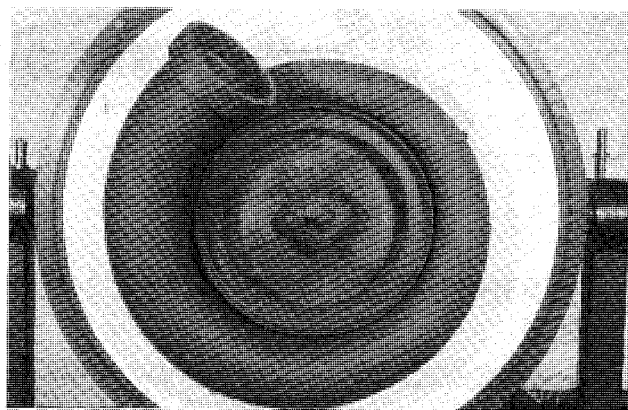


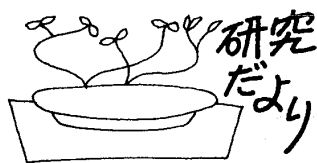
図18 スクロール ($1400^{\circ}\text{C}\cdot 70\text{分}$)

- (3) 静止部品は 1400°C ホットガス評価において、部品本体の材料および構造の耐熱性で問題はないが、全体の支持構造にはまだまだ改良すべき点の多いことが明らかになった。

最後に本研究を進めるに当たり部品の試作および材料の面で協力頂いた京セラ(株)に感謝いたします。

参考文献

- (1) M. Stute, H. Burger, M. Grigu, E. Holder, K. D. Morgenthaler, F. Neubrand, M. Radloff: ASME 90-GT-97 (1990)
- (2) G. L. Boyd, J. R. Kidwell, D. M. Kreiner: Proceedings of the 24th Automotive Technology Development Contractors' Coordination Meeting(1990)
- (3) 新エネルギー・産業技術総合開発機構: 第四回 CGT 合同成果発表会講演要旨集 (コジェネレーション用及び可搬式セラミックガスタービン) (1992)
- (4) 石油活性化センター: 第四回 CGT 合同成果発表会講演要旨集 (自動車用セラミックガスタービン) (1992)
- (5) S. Sasaki, W. Akai, M. Hiei, Okano: 91-YOKOHAMA-IGTC-61 (1991)
- (6) 徳永純一郎, 早川悌二: 圧力技術 第26巻第2号(1987)
- (7) 比叡淳, 神谷信雄: セラミックデータブック (1992)
- (8) 榎本祐嗣: 応用物理 第60巻第7号 (1991)
- (9) T. Sakamoto, H. Horinouchi, T. Maeda: ASME89-GT-302 (1989)



(財)電力中央研究所 横須賀研究所

(財)電力中央研究所 佐藤 幹夫

1. 横須賀研究所におけるガスタービン研究の概要

横須賀研究所は、電力中央研究所の大規模新技術開発の拠点として、研究課題を以下の3本の柱に集約して時代の要請を先取りした研究開発を推進している。

1. 環境に調和する化石燃料の活用技術
2. 都市型の高効率電力輸送技術
3. 効率的な電気利用新技術

この中で、化石燃料の活用技術として最も主眼をおいているのが、石炭ガス化複合発電及び燃料電池発電に関する研究である。石炭ガス化複合発電については、石炭ガス化炉、乾式ガス精製技術、高温ガスタービン技術が主要研究課題となっている。また、燃料電池発電については、熔融炭酸塩型燃料電池および固体電解質型燃料電池の開発を行っている。

本稿では、横須賀研究所で実施している、石炭ガス化複合発電を含めたガスタービン技術に関する研究開発の状況を、以下に紹介する。

2. 石炭ガス化複合発電用ガスタービン低NO_x 燃焼器の開発

現在、国および電気事業は高効率で環境保全性に優れた石炭利用新型発電として、200トン/日パイロットプラントによる「石炭ガス化複合発電」の研究開発を進めている。

石炭ガス化複合発電の高効率化には、高温ガスタービンの採用が不可欠であり、石炭ガス化低カロリー燃料を用いる1300℃級ガスタービンの開発が主要課題のひとつとなっている。

電力中央研究所では、昭62年に横須賀研究所構内に、各種石炭ガス化方式に対応する模擬ガスを製造し、供給することが可能な実験設備（図1）を設置し、多缶型ガスタービンの150MW級燃焼器の一缶分についての常圧燃焼試験と、同型の

1/2サイズについての実圧燃焼試験により、石炭ガス化複合発電用ガスタービン燃焼器の開発を進めている。

空気吹き噴流床石炭ガス化炉から生成されるガス化燃料は、発熱量が天然ガスの約1/10と低く、脱じん、脱硫などのガス精製が乾式で行われる場合は、ガス化炉内で石炭中の窒素化合物から生成されるアンモニアを含むという特徴を有する。そのため、高温ガスタービン燃焼器の開発に当たっては、広いガスタービン負荷における低カロリー燃料の燃焼安定性の確保や、燃料中のアンモニアに起因するフュエル NO_x の低減燃焼技術などが主要な課題となる。

当研究所では、昭和62年度から平成2年度までに石炭ガス化複合発電用1300℃級ガスタービン低NO_x 燃焼器を開発し、平成3年度から1500℃級燃焼器の開発に着手した。

3. セラミックガスタービンの要素開発

金属空冷翼を用いるガスタービンでは、材料の耐熱許容温度の上から高温化に伴い冷却空気量が

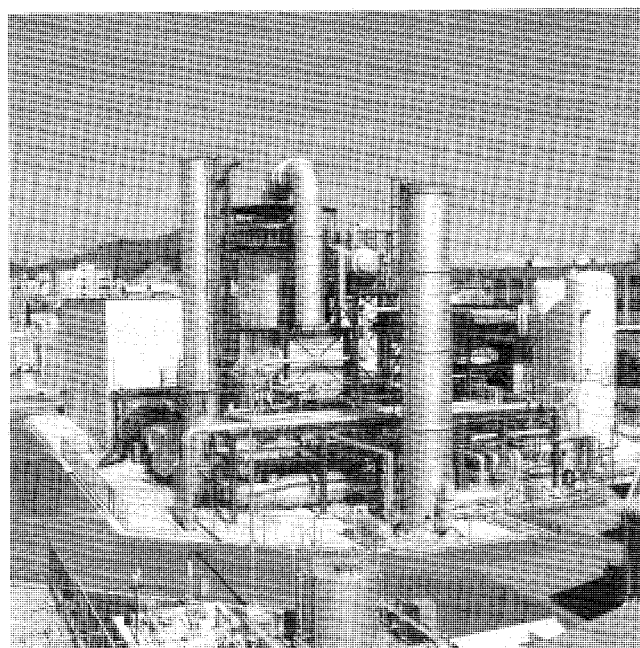


図1 石炭ガス用ガスタービン実験設備

(平成5年4月24日原稿受付)

増大し、本来期待される効率向上が減殺される。そのため、ガスタービンの高温化に当たっては冷却空気量の低減が重要な課題となっており、耐熱超合金の開発や冷却技術の高性能化が進められている。しかしながら、耐熱性に優れたセラミックスの適用が可能になれば、冷却空気量の大幅な低減により、ガスタービン効率の一層の向上が期待される。

当研究所では平成2年度までに、20MW、1300℃級セラミック燃焼器と第1段セラミック静翼の開発を進め、平成3年度より1500℃級セラミックガスタービンの開発に着手した。

図2は一例として、(株)日立製作所と共同で開発した20MW、1300℃級ガスタービン用第1段セラミック静翼の構造概略を示す。本静翼は高温ガスに曝される部分のみをセラミックスとし、機械的強度が必要とされる部分には金属を使用した複合構造となっている。すなわち、セラミックスからなる翼部分に金属性翼芯が貫通しており、上下の支持板に連結している。セラミックスと金属との間には、変形緩衝層を兼ねた遮熱層が設けられている。5枚翼列を用いた実圧燃焼実験および、燃料緊急遮断実験からセラミックスの健全性を確認するとともに、冷却空気量も従来の金属を用いる場合の約1/20であることを確認している。

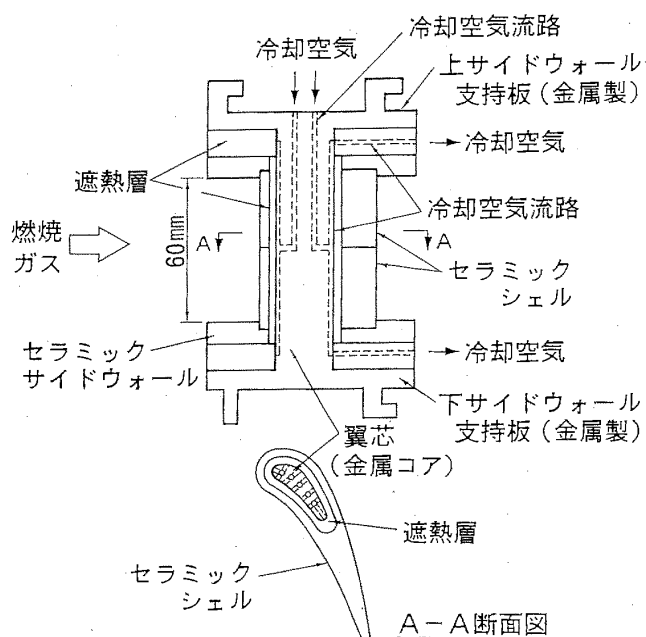


図2 セラミック静翼の構造概略

4. 1300°C級ガスタービン用触媒燃焼器の開発

ガスタービンの排気量はボイラなどと比較して多いため、ことに低 NOx 燃焼技術の開発が望まれている。現在では、希薄予混合気によるドライ低 NOx 燃焼法が主流となっているが、ガスタービンの部分負荷での希薄予混合気の燃焼安定性の確保が重要な課題となっている。

このような観点から、超低 NO_x 燃焼が可能な触媒燃焼法をガスタービンに適用する研究が多くなされているが、触媒の耐久性などの問題から高温ガスタービン用触媒燃焼器の開発は実用化に至っていない。

このため、当研究所は関西電力㈱と共同で、希薄予混合燃焼を組み合わせることで触媒の熱劣化を軽減できる、天然ガス用20MW、1300℃級複合型触媒燃焼器の開発を進めている。

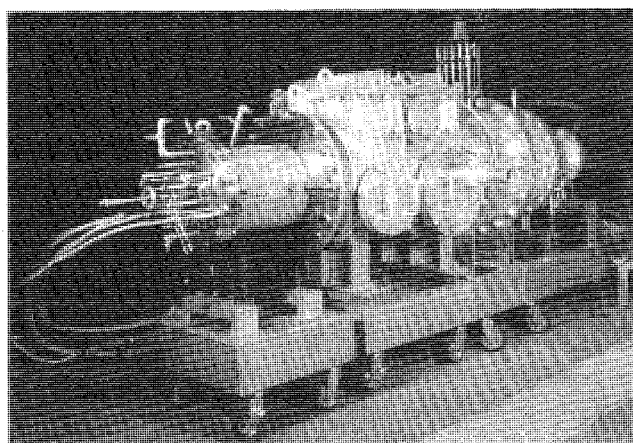
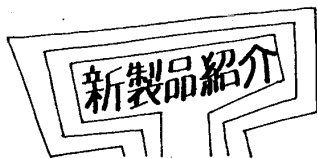


図3 ガスタービン用触媒燃焼器実験設備

5. おわりに

1300℃級ガスタービンを用いる LNG 焚複合発電が実用化の段階を迎え、1500℃級へ向けての研究開発が既に開始されている。今後の発電用ガスタービンは、高温化による高効率化に加え、燃料多様化や一層の低 NOx 化が求められている。当研究所もガスタービン技術の進展に貢献するべく、今後とも努めていく所存である。



IHI RHE シリーズ ターボチャージャ

石川島播磨重工業(株) 三 堀 健

1. はじめに

近年、トラック輸送は国内の物流を担う中心的役割を果たしており、そのうちの中・長距離輸送用トラックの殆どには高出力・低燃費を目的としてターボ過給式のディーゼルエンジンが採用されている。

現在これらのディーゼルエンジンの開発においては、高出力化や低燃費化等の経済性向上技術に加えて、排気ガス規制等に代表される環境対策技術が重要なテーマになっている。

当社では、これらの新世代ディーゼルエンジンの開発への対応技術を設計のコンセプトとした、新形式の RHE シリーズターボチャージャを完成させた。以下に概要を御紹介する。

2. RHE シリーズターボチャージャの特徴

図 1 に RHE シリーズターボチャージャの断面図を示す。本シリーズは従来トラック用や産業用のディーゼルエンジン向けに多くの市場実績を持つ RHE シリーズの後継機種として開発され、現状では、RHE 8 形・RHE 7 形および RHE 6 形の各形式に機種展開がなされている。

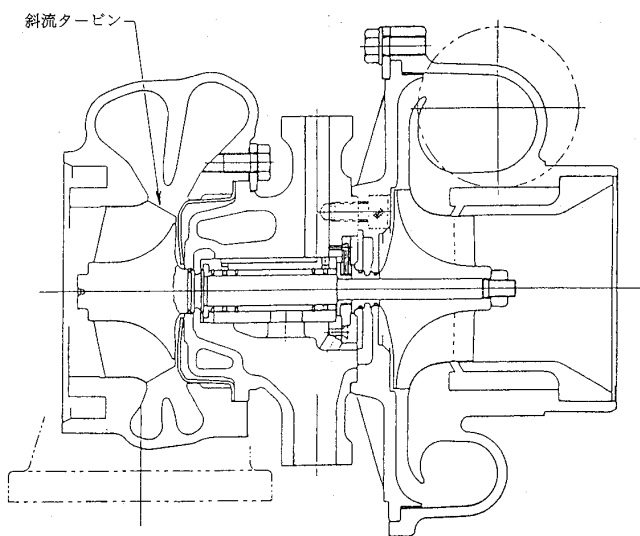


図 1 RHE 形ターボチャージャ 断面図

(平成 5 年 4 月 22 日原稿受付)

特に RHE シリーズの開発にあたり、新世代のディーゼルエンジンへの対応技術として、エンジンの性能向上と環境対策および信頼性向上への適合を計るため多くのオプション項目を含めた開発をおこなった。

図 2 にエンジンの要求仕様に対応する過給機要求仕様として、本シリーズにおいての対応技術内容の概要を示す。

以下 RHE シリーズの特徴を述べる。

- 1) 高性能化: 単体効率向上と共にエンジン上での作動特性向上も含めた高効率化が達成されている。
- 2) 大容量化: ディーゼルエンジンの高出力化・大排気量化に伴う大容量化を計り、RHC シリーズにくらべ同一羽根車外径で 20% 以上の大容量化が達成されている。
- 3) 高圧力比化: エンジンの過給圧力上昇に対応した高圧力比化が達成されている。
- 4) 信頼性向上: トラックの 100 万 km 寿命に対応する各種の技術項目が用意されている。

3. 性能および構造

本シリーズでは基本構成は従来形式を踏襲し、タービンおよびコンプレッサの流体要素部品を始めとして、ほぼ全ての部品が新規開発によるものである。ここではタービンおよびコンプレッサについて御紹介する。

1) タービンについて

タービンはツインフローケーシングによる斜流タービンを標準構成としている。図 3 に本シリーズに採用した新開発の斜流タービンと従来のラジアルタービンとの形状比較を、図 4 にタービン性能曲線の代表例を示す。

斜流タービンの特性はラジアルタービンに比べ、高膨張比の領域で高効率・大流量となる特性が達成されている。これによりエンジンの低速域でのブースト上昇や高速域での燃費改善の要求に適合でき、車両用ターボチャージャとして好ましい特性となっている。

エンジン側の要求仕様

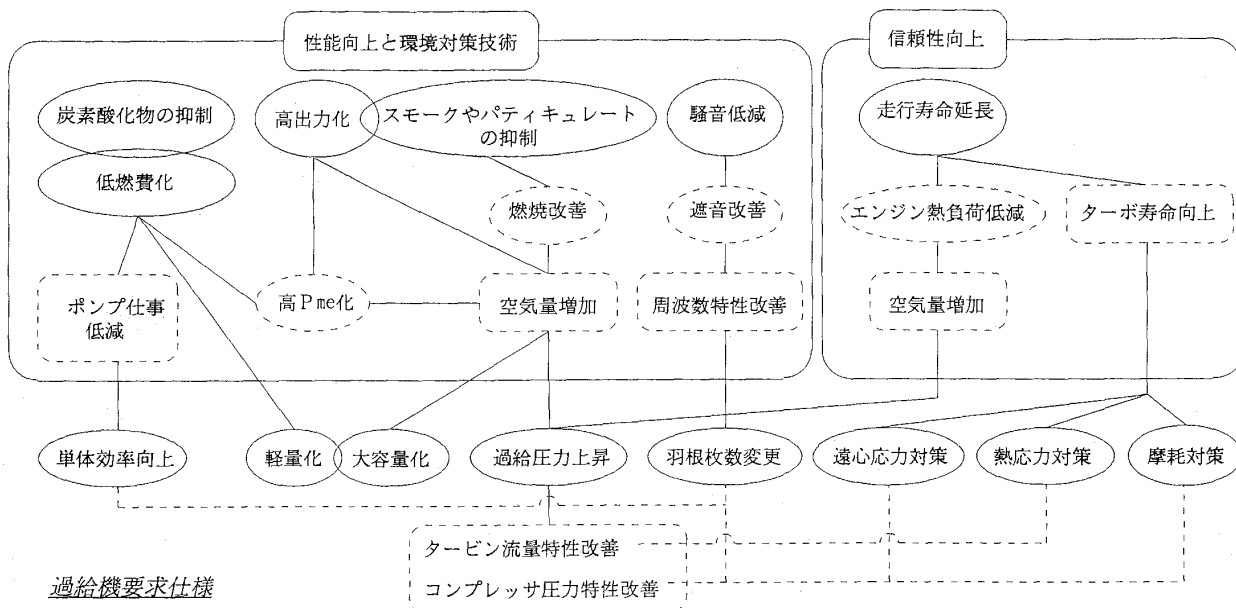


図2 RHE シリーズ ターボチャージャ 開発技術項目

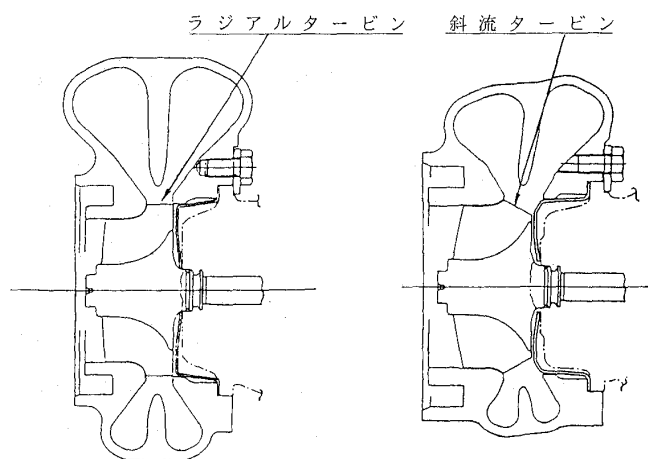


図3 タービンの形状比較

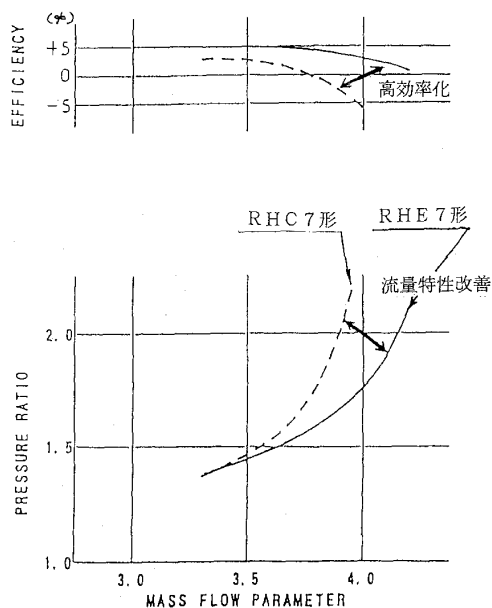


図4 タービン性能曲線

2) コンプレッサについて

コンプレッサはラジアルコンプレッサとベーンレスディフューザを標準構成としており、オプション用としてワイドレンジ化をはかったケーシングトリートメントタイプも開発が完成している。

4. あとがき

今回開発した RHE シリーズターボチャージャは、RHE 7 形と RHE 8 形が国内のメーカーに採用され量産されている。また、RHE 6 形について

もサンプル出荷が開始されている。

RHE シリーズターボチャージャでは、車両用として初めて斜流タービンが採用されたが、今後とも新技術の開発により、ディーゼルエンジンの性能向上や環境対策に貢献するよう努める所存である。

1992年ガスタービン及び過給機生産統計

統計作成委員会⁽¹⁾

I. 生産統計の概要

1. 統計作成委員会の活動について

(1) 1992年は学会設立20周年を迎え、学会発足と共に活動してきた本委員会の資料を基に、この20年間のわが国で生産されたガスタービン及び過給機を生産状況の推移を纏め12月号に掲載した。

(2) 1992年のガスタービン及び過給機を生産統計に関し、統計資料の収集及び集計を行い統計を作成し本号に掲載した。この統計は英文 Bulletin にも掲載する予定である。

2. 1992年ガスタービン生産統計

2.1 陸船用ガスタービン

(1) 前年と比べ総台数こそ2%減ったものの全出力では84%増加し一気に5,000MWを超え、ここ数年の年平均20%増の傾向から突出した。これは大型(30,000PS以上)が国内向け並びに輸出向け共に増え台数で1.8倍、出力で2.1倍に増加した事が大きく寄与している。中型(1,000PS以上30,000PS未満)は台数で14%、出力で32%減少し、80年代後半から続いた増加傾向は止まった。小型(1,000PS未満)は昨年に続き台数・出力ともにそれぞれ1%、3%の微減となった。

(2) 小型は全て自家用で、非常発電用が台数・出力とも96%占めたが水ポンプ用も6台、2,000kWが出荷された。小型の平均単機出力は412kWで前年とほぼ同じである。

(3) 中型は台数のほぼ95%を占めている6,000PS未満のものが台数で11%、出力で18%減少し14,000PS以上のものも台数・出力共に1/3に減少した。用途別ではベースロード発電用が台数で26%、出力で38%減少し、艦艇主機用もジェット

水流用ポンプ駆動用3台出荷されたが軸駆動用は無く出力は1/4に減少した。中型の平均単機出力は2,218kWと前年に比べ570kW減少した。

(4) 大型は60,000PS以上のものが台数1.8倍、出力2.1倍と急増し、ベースロード発電用は台数1.6倍、出力1.9倍に増え、ピークロード発電用は台数・出力とも3倍増となった。国内自家用ではピークロード発電にも対応する実験用プラントも設置された。大型の総出力は全出力の92%を占め、平均単機出力は12万kWを超え、昨年に続き記録を更新した。

(5) 国内向けは台数で2%減の367台であるが電力需要増に応じ事業用10台、自家発電用5台の大型機の出荷により出力は2.4倍増の1,986MWを記録した。小型は台数・出力共に前年並で、関東、中部、近畿の3地域で、全国台数・出力の7割を占めた。中型では台数で12%、出力では29%減少し、関東、中部、近畿、北海道地方は前年並であったが、東北、中国、四国、九州で減少した。大型は台数で3倍、出力で4.9倍と飛躍的に増加した。

-
- (1) 委員長 本間 友博(東芝)
 委員 青木 千明(石川島播磨重工業)
 吉識 晴夫(東大生研)
 池上 寿和(三菱重工業)
 白井 俊一(日本鋼管)
 清野 隆正(日立製作所)
 杉浦 裕之(川崎重工業)
 須永 雅裕(三菱重工業)
 西原 昭義(ヤンマーディーゼル)
 八島 聡(石川島播磨重工業)
 駒形 正敏(新潟鉄工所)
 菱川 明(三菱重工業)
 綿貫 一男(石川島播磨重工業)

(平成5年5月7日原稿受付)

特に関東地方は大型が事業用5台、自家用5台と増え、全出力で4.8倍に増加し、同じく事業用大型機の設置で、九州、沖縄、中国地方が伸びた。

(6) 輸出は台数で5%減の39台であるが前年同様総台数の10%を占め、出力は58%増の3,058MWを記録したが、国内向け出力の大巾増により全出力に占める割合は61%と前年を下回った。仕向け先では複合サイクル用に合計10台の大型機が出荷されたアジア向けが前年比4倍と増加し、輸出の56%を占め、国内向け総出力並であった。欧州向けにも複合サイクル用に8台の大型機が出荷され小型、中型も前年並であり合計出力は輸出の39%を占めた。北米向けは中型1台に急減、中近東、旧ソ連、大洋州、アフリカ向けは1992年も無かった。なお、仕向け先未定の複合サイクル用大型機2台も輸出の5%を占めている。

(7) 燃料の種類別の台数比率は小型のほとんど、中型の3/4、大型の1/6が液体燃料用のため液体燃料が85%を占め、一方出力比率では中型の1/4、大型の9割がガス燃料用のためガス燃が84%を占めている。小型では重油1種・灯油・軽油がそれぞれ74, 17, 8%の割合で、中型では重油1種・灯油・天然ガス・都市ガス・軽油・プラントオフガスが54, 13, 9, 8, 7, 7%の割合を占めている。大型では輸出向けが増えたことにより、天然ガスは2.2倍に増え、灯油は4倍増、国内向けそれも首都圏向けが増えたことにより、LNGは1.2倍に、都市ガスは著しく増加した。輸出向けにバンカーC重油用も3台出荷された。大型の種類別出力比率は天然ガス・LNG・都市ガス・バンカーC重油・灯油が60, 15, 13, 5, 5%の割合である。

全出力比率でみると天然ガスは19%増え56%を、LNGは31%減り14%、都市ガスは4.5倍の13%、灯油は45%増の6%を、バンカーC重油も5%を占めているが軽油は1/10に減少、わずか1%を占めるすぎない。

2.2 航空用ガスタービン

(1) ターボジェット/ターボファン・エンジンは、前年に比べターゲットドローン用の小推力エンジンTJM3が約50%増加したものの、F-15戦闘機用の大推力エンジンF100-100とT-4中等練習機用の中推力エンジンF3-30が1台ずつ減少したため、合計台数は10%増えたが、合計推力は2%

減少した。なお、国産開発のアフタバーナ付きエンジンXF3-400が初めて生産され統計に加えられた。

(2) ターボシャフト/ターボプロップ・エンジンの内ヘリコプター用ターボシャフトはUH-60J用のT700が13%増加したものの、その倍の出力のT55(CH-47J用)が17%減少したため合計台数と合計出力は10%と9%の減少となった。また、唯一のターボプロップエンジンである対潜哨戒機P-3C用のT56が台数で12%減ったためターボシャフト/ターボプロップ・エンジン全体では台数で9%、出力で10%それぞれ減少した。

(3) 5ヶ国共同開発エンジンであるV2500ターボファン・エンジンのファン部(日本担当部分)の生産は、89台と前年比35%の増産となり1988年の生産開始以来の累計は273台になった。

(これはエンジン組立ではないため、生産統計には加えていない。)

3. 1992年過給機生産統計

(1) 型式数の合計は前年より約8%減少した。(前年の統計資料中の型式数126は163の誤記につき訂正する。)

(2) 圧縮機翼車外径100mm未満(CLASS1)の生産台数は前年比、約1.7%減少し概数で172万台となった。(1991年の統計資料中の台数、約145万台は未資料提供社からその後、資料提供があり、1990年と同じ、約174万台の生産実績ありと訂正する。)

(3) 翼車外径101~200mm(CLASS2)は前年比1.7倍、翼車外径401~500mm(CLASS5)は1.4倍にそれぞれ大巾に増加した。翼車外径501~600mm/801~900mm(CLASS6/CLASS9)は5~10%増加した。

(4) 翼車外径201~400mm(CLASS3 & CLASS4)は6~8%減少し、翼車外径601~700mm(CLASS7)は11%減少した。

(5) 翼車外径701~800mm/901~1000mm(CLASS8/CLASS10)は1992年も生産実績は無かった。

〔備考〕

(1) 暦年(1~12月)に納入されたガスタービンまたは過給機を対象とした。

(2) 出力及びスラストの基準状態は、入口空気条

件を101.32kPa (1.0132bar), 温度15°Cとした。

(3) 出力は、陸船用ガスタービンでは通常出力で、ターボジェット/ターボファンエンジンでは海面上静止最大スラストで、ターボシャフト/ターボプロップ・エンジンでは、海面上静止常用出力で集計した。

(4) メートル馬力(PS), 英馬力(HP)とキロワット(kW) との間の換算は下記によった。

$$1\text{PS}=0.7355\text{kW}$$

$$1\text{HP}=0.7457\text{kW}=1.0139\text{PS}$$

(5) 各統計表の間で、四捨五入により最小桁が異なっているものもある。

II. 統 計

1. 最近5年間のガスタービン生産推移

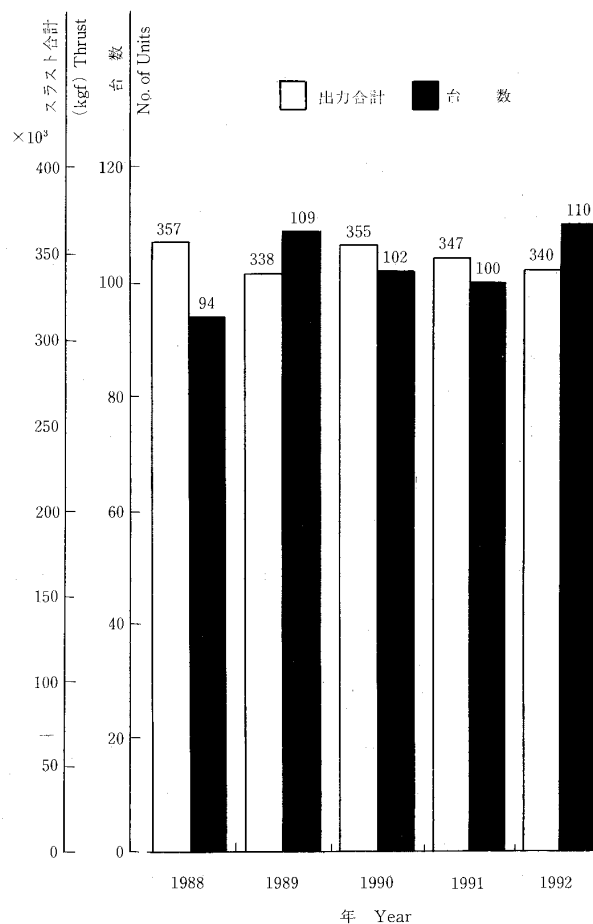


図2 ターボジェット/ターボファン・エンジン

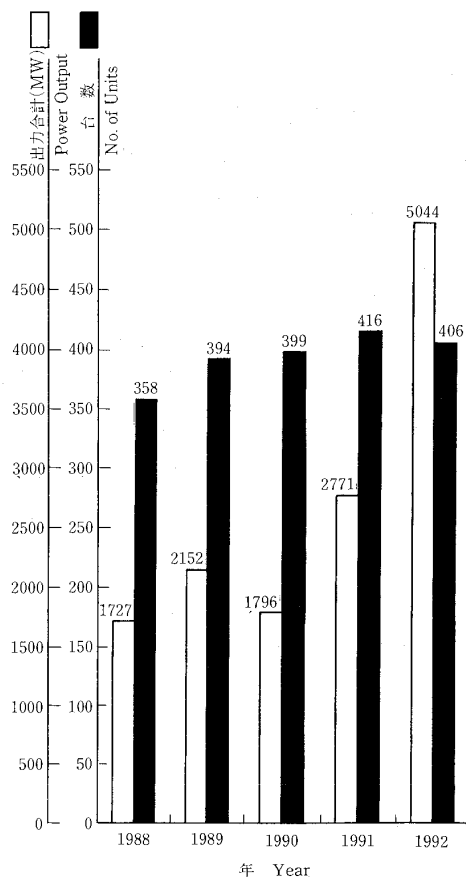


図1 陸船用ガスタービン

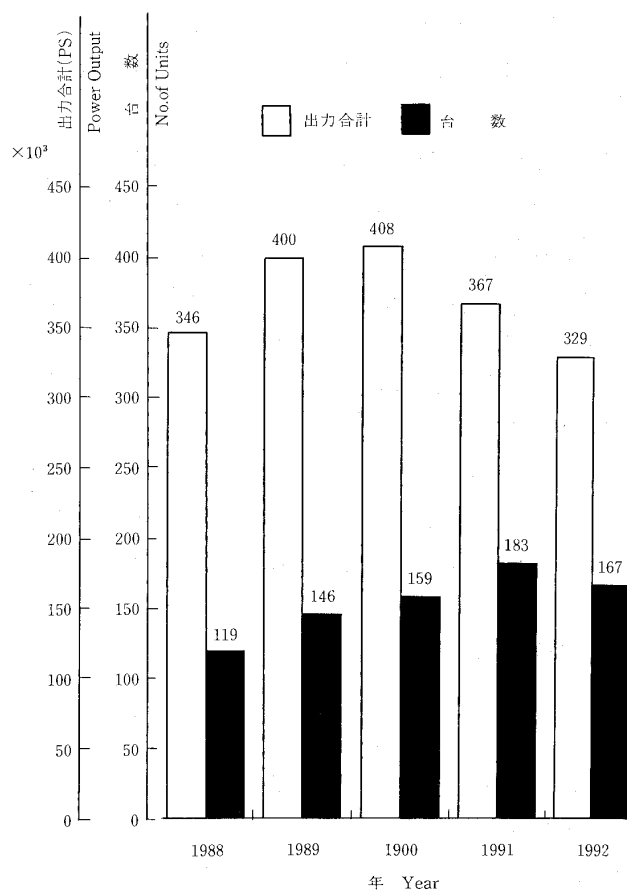


図3 ターボシャフト/ターボプロップ・エンジン

2. 陸船用ガスタービン

表1 1992年用途別生産台数及び出力 (kW)

区 分 Size		小型 Small Unit 0~999PS		中型 Medium Unit 1,000~29,999PS		大型 Large Unit 30,000PS~		全 出 力 Total	
用 途 Application	コード Code	台数 Units	出 力 Output(kW)	台数 Units	出 力 Output(kW)	台数 Units	出 力 Output(kW)	台数 Units	出 力 Output(kW)
ベースロード発電用 Generator Driver for Base Load	BL	1	699	39	122,386	30	3,879,940	70	4,003,025
ピークロード発電用 Generator Driver for Peak Load	PL	0	0	0	0	6	603,980	6	603,980
非常用発電用 Generator Driver for Emergency	EM	212	87,615	106	193,984	0	0	318	281,599
艦 艇 用 Military Marine	MM	0	0	3	11,915	0	0	3	11,915
その他プロセス用 Miscellaneous Chemical Process	PR	0	0	0	0	0	0	0	0
教 育 用 Education	ED	0	0	0	0	0	0	0	0
実 験 用 Experiment	XP	1	276	0	0	2	141,470	3	141,746
そ の 他 Miscellaneous	MC	6	1,956	0	0	0	0	6	1,956
合 計 Total		220	90,546	148	328,285	38	4,625,390	406	5,044,221

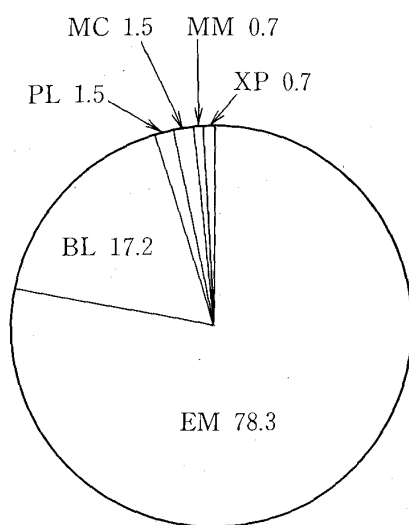


図4 1992年用途別台数割合 (%)

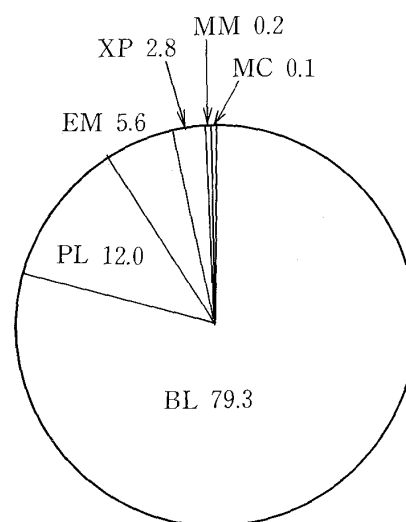


図5 1992年用途別出力割合 (%)

表 2 1992年燃料別生産台数及び出力 (kW)

区 分 Size			小型 Small Unit 0～999PS		中型 Medium Unit 1,000～29,999PS		大型 Large Unit 30,000PS～		全 出 力 Total	
燃 料 種 類 Kind of Fuel		コード Code	台数 Units	出 力 Output(kW)	台数 Units	出 力 Output(kW)	台数 Units	出 力 Output(kW)	台数 Units	出 力 Output(kW)
ガ ス 燃 料 Gaseous Fuel	液化天然ガス Liquefied Natural Gas	LNG	0	0	2	2,290	5	712,000	7	714,490
	液化石油ガス Liquefied Petroleum Gas	LPG	0	0	4	7,326	0	0	4	7,326
	天然ガス Natural Gas	GNG	1	699	12	29,174	20	2,776,500	33	2,806,373
	石油プラントオフガス Plant Off Gas	GOG	0	0	2	22,000	1	38,340	3	60,340
	都市ガス Town Gas	GTW	0	0	9	24,816	6	603,980	15	628,796
	小計 Sub Total		1	699	29	85,606	32	4,131,020	62	4,217,325
液 体 燃 料 Liquid Fuel	灯 油 Kerosene	T	40	15,383	26	43,708	2	217,700	68	276,791
	軽 油 Gas Oil	K	24	7,680	9	23,335	1	26,770	34	57,785
	重油 1 種 Heavy Oil No. 1	H1	155	66,784	84	175,636	0	0	239	242,420
	バンカーC 重油 Bunker C Heavy Oil	HBC	0	0	0	0	3	249,900	3	249,900
	小計 Sub Total		219	89,847	119	242,679	6	494,370	344	826,896
固体燃料 Solid Fuel			0	0	0	0	0	0	0	0
合 計 Total			220	90,546	148	328,285	38	4,625,390	406	5,044,221

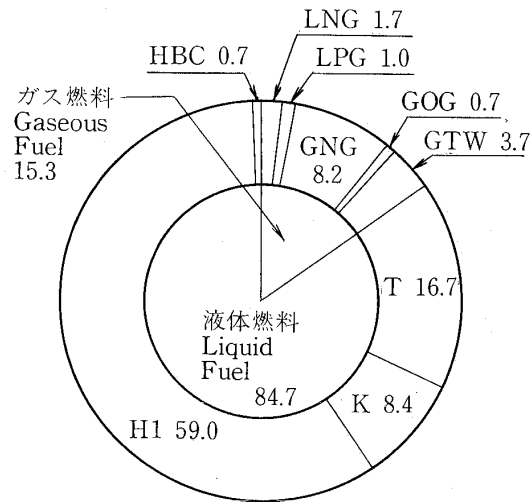


図 6 1992年燃料別台数割合 (%)

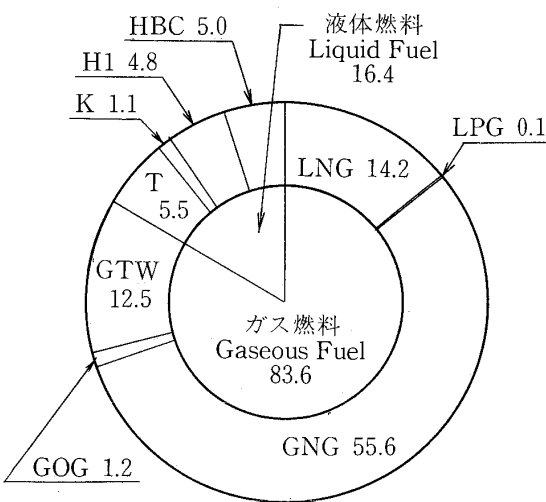


図 7 1992年燃料別出力割合 (%)

表3 1992年地域別納入台数及び出力 (kW)

区 分 Size 地 域 別 Location		小型 Small Unit 0~999PS		中型 Medium Unit 1,000~29,999PS		大型 Large Unit 30,000PS~		全 出 力 Total	
		台数 Units	出 力 Output(kW)	台数 Units	出 力 Output(kW)	台数 Units	出 力 Output(kW)	台数 Units	出 力 Output(kW)
国 内 向 け Domestic Use	北 海 道 Hokkaido	8	3,015	4	6,707	0	0	12	9,722
	東 北 Tohoku	21	7,612	4	6,950	0	0	25	14,562
	関 東 Kantoh	76	33,790	64	148,319	10	907,199	150	1,089,308
	中 部 Chubu	36	11,627	20	42,075	0	0	56	53,702
	近 畿 Kinki	43	18,128	28	41,579	0	0	71	59,707
	中 国 Chuugoku	9	3,280	1	14,100	2	299,991	12	317,371
	四 国 Shikoku	5	2,184	5	8,523	0	0	10	10,716
	九 州 Kyuushuu	15	6,314	5	12,590	2	288,800	22	307,704
	沖 縄 Okinawa	2	1,140	0	0	1	103,000	3	104,140
	船用主機 Marine Propulsion	0	0	3	11,915	0	0	3	11,915
	船用補機 Marine Auxiliaries	0	0	3	7,500	0	0	3	7,500
小 計 Sub Total		215	87,090	137	300,267	15	1,598,990	367	1,986,347
輸 出 向 け For Export	北 米 North America	0	0	1	1,530	0	0	1	1,530
	中 南 米 South and Central America	0	0	0	0	0	0	0	0
	ア ジ ア Asia	2	1,397	3	16,924	13	1,686,480	18	1,704,801
	大 洋 州 Oceania	0	0	0	0	0	0	0	0
	欧 州 Europe	3	2,059	7	9,564	8	1,173,320	18	1,184,943
	旧 ソ 連 Former Soviet Union	0	0	0	0	0	0	0	0
	中 東 Middle East	0	0	0	0	0	0	0	0
	アフリカ Africa	0	0	0	0	0	0	0	0
	未 定 Unknown	0	0	0	0	2	166,600	2	166,600
	小 計 Sub Total	5	3,456	11	28,018	23	3,026,400	39	3,057,874
合 計 Total		220	90,546	148	328,285	38	4,625,390	406	5,044,221

表 4 1992年被駆動機械別生産台数及び出力 (kW)

区 分 Size		小型 Small Unit 0～999PS		中型 Medium Unit 1,000～29,999PS		大型 Large Unit 30,000PS～		全 出 力 Total	
被 駆 動 機 械 Driven Machinery	コード Code	台数 Units	出 力 Output(kW)	台数 Units	出 力 Output(kW)	台数 Units	出 力 Output(kW)	台数 Units	出 力 Output(kW)
発 電 機 Electric Generator	G	213	88,313	145	316,371	37	4,598,620	395	5,003,304
空気圧縮機, 送風機 Air Compressor	AC	0	0	0	0	1	26,770	1	26,770
水 ポ ン プ Water Pump	W	6	1,956	3	1,915	0	0	9	13,872
軸 出 力 Shaft Power	SP	1	276	0	0	0	0	1	276
合 計 Total		220	90,545	148	328,286	38	4,625,390	406	5,044,221

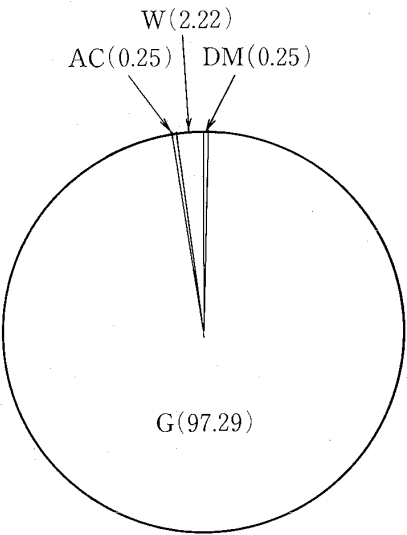


図 8 1992年被駆動機械別台数割合 (%)

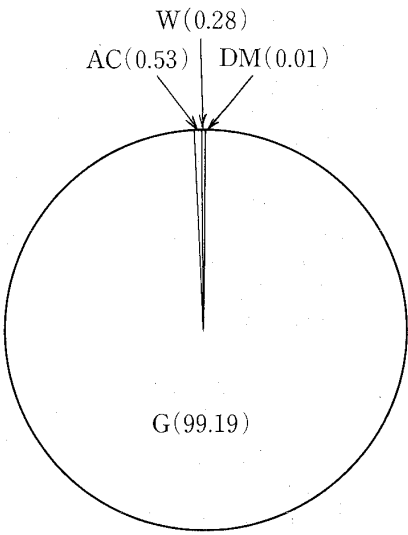


図 9 1992年被駆動機械別出力割合 (%)

表 5 1992年出力区分別生産台数及び出力 (kW)

出 力 区 分 (PS) Unit Output		台数 Units	出 力 Output (kW)
小 型 Small Unit 0～999PS	0～ 199	2	254
	200～ 499	94	22,491
	500～ 999	124	67,800
	小 計 Sub Total	220	90,545
中 型 Medium Unit 1,000～ 29,999PS	1,000～ 5,999	141	260,936
	6,000～13,999	4	23,680
	14,000～21,999	3	43,670
	22,000～29,999	0	0
	小 計 Sub Total	148	328,286
大 型 Large Unit 30,000PS～	30,000～59,999	4	141,790
	60,000～	34	4,483,600
	小 計 Sub Total	38	4,625,390
合 計 Total		406	5,044,221

表6 1992年発電用ガスタービン用途別生産台数及び出力 (kW)

区分		Size	小型 Small Unit 0~999PS		中型 Medium Unit 1,000~29,999PS		大型 Large Unit 30,000PS~		全出力 Total	
発電用 Generator Drive			台数 Units	出力 Output (kW)	台数 Units	出力 Output (kW)	台数 Units	出力 Output (kW)	台数 Units	出力 Output (kW)
用途 Application	コード Code									
国内事業用 Domestic/Public Use	ベースロード発電用	BL	0	0	0	0	5	691,800	5	691,800
	ピークロード発電用	PL	0	0	0	0	5	454,480	5	454,800
	非常用発電用	EM	0	0	0	0	0	0	0	0
	小計 Sub Total		0	0	0	0	10	1,146,280	10	1,146,280
国内自家用 Domestic/Private Use	ベースロード発電用	BL	0	0	30	96,723	2	161,740	32	258,463
	ピークロード発電用	PL	0	0	0	0	1	149,500	1	149,500
	非常用発電用	EM	208	84,857	104	191,632	0	0	312	276,489
	小計 Sub Total		208	84,857	134	288,355	3	311,240	345	684,452
国内合計 Domestic Use Total			208	84,857	134	288,355	13	1,457,520	355	1,830,732
輸出事業用 For Export/Public Use	ベースロード発電用	BL	0	0	0	0	23	3,026,400	23	3,026,400
	ピークロード発電用	PL	0	0	0	0	0	0	0	0
	非常用発電用	EM	0	0	0	0	0	0	0	0
	小計 Sub Total		0	0	0	0	23	3,026,400	23	3,026,400
輸出自家用 For Export/Private Use	ベースロード発電用	BL	1	699	9	25,664	0	0	10	26,363
	ピークロード発電用	PL	0	0	0	0	0	0	0	0
	非常用発電用	EM	4	2,758	2	2,354	0	0	6	5,112
	小計 Sub Total		5	3,457	11	28,018	0	0	16	31,475
輸出合計 For Export Total			5	3,457	11	28,018	23	3,026,400	39	3,057,875
事業用 Public Use	ベースロード発電用	BL	0	0	0	0	28	3,718,200	28	3,718,200
	ピークロード発電用	PL	0	0	0	0	5	454,480	5	454,480
	非常用発電用	EM	0	0	0	0	0	0	0	0
	合計 Total		0	0	0	0	33	4,172,680	33	4,172,680
自家用 Private Use	ベースロード発電用	BL	1	699	39	122,387	2	161,740	42	284,826
	ピークロード発電用	PL	0	0	0	0	1	149,500	1	149,500
	非常用発電用	EM	212	87,615	106	193,986	0	0	318	281,601
	合計 Total		213	88,314	145	316,373	3	311,240	361	715,927
総計 Grand Total			213	88,314	145	316,373	36	4,483,920	394	4,888,607

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

3. 航空用ガスタービン

表7 1992年ターボジェット／ターボファン・エンジン
生産台数及びスラスト (kgf)

生産台数 No. of Units	110*1	スラスト合計*2 Thrust (kgf)	340,700
----------------------	-------	--------------------------	---------

* 1 V2500ファン部 (89台) は含まない。
Excluding 89 Units of V2500 Fan Modules

表8 1992年ターボシャフト／ターボプロップ・エンジン
生産台数及び出力 (PS)

区分 Size	0～999PS		1,000～PS		全出力 Total Output	
用途 Application	台数 Units	出力*3 Output (PS)	台数 Units	出力*3 Output (PS)	台数 Units	出力*3 Output (PS)
固定翼機用 Fixed Wing Aircraft	0	0	36	159,300	36	159,300
ヘリコプタ用 Helicopter	0	0	85	167,200	85	167,200
補助機関駆動 Aux. Drive Units	46	2,826	0	0	46	2,826
合 計 Total	46	2,826	121	326,500	167	329,326

* 2 海面上静止最大スラスト
Maximum Thrust at Sea Level Static Condition

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

4. 過給機

表9 1992年過給機生産台数及び型式数

区 分 Size		台 数 No. of Units	型 式 数 No. of Model
Class	圧縮機翼車外径(mm) Outside Diameter of Compressor Impeller		
Class 1	0～ 100	概数 Approx. 1,720,000	75
Class 2	101～ 200	19,010	26
Class 3	201～ 300	921	15
Class 4	301～ 400	363	11
Class 5	401～ 500	118	5
Class 6	501～ 600	154	8
Class 7	601～ 700	162	6
Class 8	701～ 800	0	0
Class 9	801～ 900	98	5
Class 10	901～1,000	0	0
合 計 Total		20,826*5	151*4
資料提供社数 No. of Companies which supplied Data		12	

* 4 型式はいずれも排気タービン式である。
Every model is an exhaust turbine type supercharger.

* 5 圧縮機翼車外径100mmを越す分を示す。
This shows total number of superchargers over 100mm in impeller diameter.

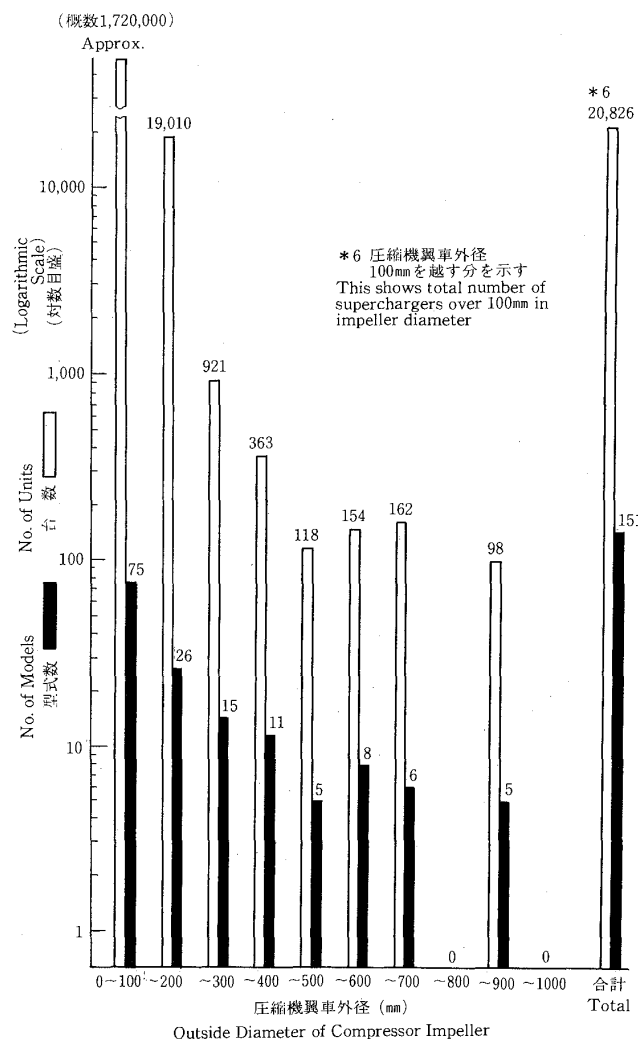
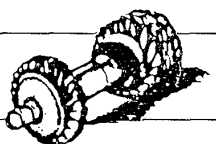


図10 1992年過給機生産台数及び型式数



(社)日本ガスタービン学会 評議員会・総会報告

総 務 理 事

去る4月23日(金)、本学会の評議員会および通常総会が東京、機械振興会館において開催された。

まず、第17期第2回評議員会は10時30分より開かれ、評議員の互選により、田中英穂君が議長となり、議事が進められた。第17期丹羽高尚会長による開会挨拶があり、引き続き、同評議員への出席者9名、委任状提出者40名で同会が成立することが宣言されたのち、第17期事業報告、同期収支決算報告の議案につき審議が行われ、いずれも承認された。なお同案については安藤常世、石井泰之助両監事による監査結果が安藤監事より報告された。次いで、名誉会員推薦案を総会にはかることが承認された。

第18期第1回評議員会が11時20分より同会場で開催され、評議員の互選により、松木正勝君が議長となり、議事が進められた。まず、出席者22名、委任状提出者44名で評議員会が成立することが宣言されたのち、以下の議案の審議が行われ、いずれも承認された。すなわち、第18期役員、第18期事業計画、同期予算などの諸案を総会にはかるとともに第18期評議員・監事選挙結果を同会に報告することになった。

同日、13時より第18期通常総会が機械振興会館地下2階ホールで開催された。すなわち、第17期丹羽会長の開会挨拶のあと、同君を総会議長に選出し、議事が進められた。同総会への出席者28名、委任状提出者629名(会員数1705名の1/5以上)で同総会成立が宣言されたのち、以下の議案の審議が行われた。すなわち、第17期事業報告、同期収支決算報告につき、有賀一郎総務(主担当)理事および今井 鉄総務委員(久保田道雄総務(財務担当)理事代理)より説明があり、承認された。収支決算については、安藤、石井両監事による監査結果として適正であるむね、安藤監事より報告された。次いで、第18期役員選出の件では別掲どおり議決された。さらに、第18期評議員・監事選挙結果もあわせて報告された。このあと名誉会員推薦につき丹羽会長より説明があり、一色尚次君および澤田照夫君を名誉会員とすることが承認された。

以上により第18期会長に高田浩之君が選出された、ここで丹羽、高田両新旧会長より、退任、就任の挨拶がそれぞれ述べられた。以後、高田君が議長の任にあたり、以下の議事が進められた。まず、総会の成立につき再確認が行われ、第18期事業計画、同期予算に関し、吉岡英輔総務(主担当)理事および今井 鉄総務(財務担当)理事(いずれも第18期)より説明があり、別掲どおり承認された。

引き続き、議事録署名者の件がはかられ、最後に第18期副会長の濱田邦雄君より閉会の挨拶が述べられ(同君所用で欠席のため、吉岡総務理事により代読)、総会を終了した。

総会に続いて、名誉会員推薦状授与式が行われた。すなわち、上記、澤田照夫君に第17期丹羽会長より推薦状と記念品が贈呈され、これに代えて澤田君より挨拶が述べられた。なお、一色尚次君は当日病気で欠席したため、別途、推薦状と記念品が贈呈されることとなった。

第17期(平成4年度)事業報告

1. 役員に関する事項

1.1 役員・評議員

1.2 監事・評議員の選出

第16期監事・評議員の選出は定款第15条、第16条、細則第20条、第22条、第23条、第23条、第24条、第25条、第26条により選出した。

2. 会務処理に関する各種会合

2.1 理事会

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

会議事項;第17期総会報告、第17期評議員会報告、第17期事業実施にともなう業務、第17期事業報告案、同決算案、第18期総会議案、第18期評議員会議案、同事業計画案、同予算案、などの件の審議、承認。

2.2 評議員会

評議員85名(含、役員候補者)、開催2回(内訳:第17期第1回評議員会(出席21名、委任状提出者48名)(4. 4. 24)、第17期第2回評議員会(5. 4. 23))

会議事項;第17期役員案、第17期事業計画案、同予算案、第17期事業報告案、同決算案、などの件の審議、承認。

2.3 総会

正会員1,650名、開催1回(内訳:第17期通常総会(出席34名、委任状提出者524名(会員数1,650名の1/5以上))(4. 4. 24))

会議事項;第16期事業報告、同決算、第17期役員選出、評議員選挙報告、第17期事業計画、同予算、などの件の審議、承認。

2.4 部門別理事・委員会

1) 総務

主担当理事 有賀 一郎 他14名 開催8回

2) 企画

主担当理事 酒井 俊道 他16名 開催6回

3) 編集

主担当理事 梶 昭次郎 他18名 開催8回

2.5 学術講演会委員会

委員長 葉山 眞治 他13名 開催6回

会議事項;第20回定期講演会の実施、第7回秋季講演会の企画および実施、第21回定期講演会、第8回秋季講演会の企画。

2.6 地方委員会

委員長 星野 昭史 他11名 開催1回

会議事項;地方における見学会、技術懇談会の企画、地方行事に関する打ち合せ。

2.7 組織検討委員会

委員長 秋葉 雅史 他3名 開催2回

会議事項;出版事業、学会の将来像、外国人会員に関する会長からの諮問の検討並びに答申。

2.8 Bulletin 編集委員会

委員長 藤川 泰雄 他8名 開催8回

会議事項;"Bulletin of GTSJ 1992"の企画、編集、発行。前期組織検討委員会よりの答申について、編集委員会と協議、検討。

2.9 会員委員会

委員長 松木 正勝 他12名 開催1回

会議事項;会員増強対策の検討ならびに会員勧誘の実施。

2.10 選挙管理委員会

委員長 一井 博夫 他8名 開催2回

2.11 学会賞審査委員会

委員長 高田 浩之 他19名 開催1回

会議事項;論文賞・技術賞・奨励賞選定のため学会賞候補について審査。
なお、奨励賞は今期に新たに設けられたものである。

2.12 20周年記念事業委員会

委員長 平山 直道 他13名 開催3回(通算10回)

会議事項;設立20周年にあたり記念事業に関する協議および実施。

3. 調査研究事業

3.1 ガスタービン統計作成委員会

委員長 本間 友博 他12名 開催4回

会議事項;わが国ガスタービン及び過給機生産に関する統計資料の蒐集および集計、その結果を学会誌とBulletinに掲載。

3.2 ガスタービン技術情報センター運営委員会

委員長 長島 昭

会議事項;特記事項なし。

4. 集会事業

特別講演会2回、学術講演会2回、技術懇談会5回、見学会5回、ガスタービンセミナー1回、特別講座1回、シンポジウム1回。

名 称	講 師	年月日	場 所
1 第1回特別講演会	佐藤 豪 (金沢工大)	平成 4. 4. 24	機 械 振 興 会 館
2 第1回見学会・ 技術懇談会	相馬 冬樹 他1名 (川崎製鉄)	4. 5. 15	川 崎 製 鉄 所 千 葉 製 鉄 所
3 第2回特別講演会	Dr. Mallardi (HOWMET Co.)	4. 6. 5	東 京 理 科 大 館 理 窓 会
4 第20回定期講演会・ 20周年記念式典	発表者34名 飯田廣太郎 (三菱重工業) 伊藤 源嗣 (IHI) 坂本 昭 (次世代金属複合材 料研究開発協会)	4. 6. 18 19	早 稲 田 大 学 国 際 会 議 場
5 特別見学会・ 技術懇談会	上村 隆夫 (川崎重工業)	4. 7. 17	川 崎 重 工 業 明 石 工 場 ・ 西 神 工 場
6 特 別 講 座	高原 北雄 他7名	4. 9. 17 18	鈴 鹿 サ ー キ ャ ッ ト 研 修 場
7 第2回見学会・ 技術懇談会	那智 雅博 (小松ハウメット)	4. 10. 21	小 松 ハ ウ メ ッ ト
8 第3回見学会・ 技術懇談会	森島 稔 (中部電力)	4. 11. 13	中部電力知多第2火力発電所 ・ 川越火力発電所
9 秋季講演会(長崎)	発表者37名	4. 11. 5 6	三 菱 重 工 業 ルネッサンス長崎・伊王島
10 シ ン ポ ジ ュ ム	川島 靖司 他1名 (日本航空)	4. 11. 25	日 本 航 空 整 備 工 場 日本タービンテクノロジー
11 第21回セミナー	本城 薫 他9名 (工技院)	5. 1. 21 22	川 崎 産 業 振 興 会 館

5. 出版事業

5.1 会 誌

本期発行した会誌は20巻77号(1992-6)、20巻78号(1992-9)、20巻79号(1992-12)、20巻80号(1993-3)で内容は下表の通りである。

(数字は頁数、カッコ内は編数)

巻 号	分 頁	技 術 文 献	講 義	論 評	特 稿	短 評	研 究 報 告	新 産 品 紹 介	報 告	行 業 動 向	後 記	そ の 他	総 頁 数
20巻 77号 小特集 1)	24 (3)		48 (8)	15		3 (1)			8 (2)	4, 5 (1)	1 (1)	4, 5 (1)	108
20巻 78号	22 (3)	5 (1)			2 (1)	1, 5 (1)	3 (1)		8 (1)	6 (1)	1 (1)	4, 5 (1)	71
20巻 79号 2)	20 (3)	5 (1)	103 (21)	21 (3)	15 (8)	2 (1)	2 (1)		7 (4)	3 (1)	1 (1)	10 (19)	190
20巻 80号 小特集 3)	14 (2)	7, 5 (1)	59 (9)		2 (1)	4 (2)	2 (1)	4 (2)	1 (2)	4, 5 (13)	1 (2)	15 (4)	119

- 注 1) 小特集「超音速輸送機用推進システムの研究開発」
2) 学会設立20周年記念特別号
3) 小特集「高温ガスタービンの冷却技術」

5.2 ガスタービン講演論文集

第20回定期講演会の講演論文集(259頁)および第7回秋季講演会の講演論文集(276頁)を発行した。

5.3 ガスタービンセミナー資料集

第21回ガスタービンセミナーのセミナー資料集(86頁)を発行した。

5.4 Bulletin of GTSJ

海外関連機関に国内ガスタービンおよび過給機の情報、並びに本学会と会員の活動状況を紹介する目的で「Bulletin of GTSJ 1992」を発行し、全会員に配付した。

5.5 GTSJニュースレター

会員の間の情報交換を中心とした、ニュースレターを発行した。

5.6 会員名簿

1993年版会員名簿を作成し、18期初に会員に販売の予定である。

5.7 学会要覧

会員の増加を図るため、要覧を改訂、発行した。

6. 会員数の移動状況

摘 要	正 会 員	学 生 会 員	賛 助 会 員
本期末会員数 93.3.31駐	1, 697	43	150
前期末会員数 92.3.31駐	1, 657	31	152
差 引 増 減	40	12	△ 2

第17期(平成4年度)収支決算

1. 収支計算書総括表

自 平成4年4月 1日
至 平成5年3月31日

科 目	合 計	一 般 会 計	特 別 会 計
(収入の部)	円	円	円
基本財産運用収入	335,241	335,241	
入 会 金 収 入	55,500	55,500	
会 費 収 入	22,956,106	22,956,106	
事 業 収 入	14,572,350	12,601,174	1,971,176
雑 収 入	4,207,673	3,171,316	1,036,357
繰 入 金 収 入			9,664,049
当期収入合計	51,790,919	39,119,337	12,871,582
前期繰越収支差額	30,511,315	22,047,136	8,464,179
収入合計	82,302,234	61,166,473	21,135,761
(支出の部)			
出 版 事 業 費	8,623,639	6,760,867	1,862,772
集 会 事 業 費	9,510,930	5,735,818	3,775,112
調 査 研 究 事 業 費	93,525	93,525	
表 彰 事 業 費	537,792	537,792	
予 備 費	1,000,000	1,000,000	
管 理 費	21,114,967	19,281,457	1,833,510
特定預金支出	800,000	800,000	
当期支出合計	41,680,853	34,209,459	7,471,394
当期収支差額	10,110,066	4,909,878	5,200,188
次期繰越収支差額	40,621,381	26,957,014	13,664,367

2. 正味財産計算書総括表

平成4年4月1日から平成5年3月31日まで

科 目	合 計	一 般 会 計	特 別 会 計
(増加の部)	円	円	円
資 産 増 加 額	10,910,066	5,709,878	5,200,188
増 加 額 合 計	10,910,066	5,709,878	5,200,188
(減少の部)			
負 債 増 加 額	800,000	800,000	
減 少 額 合 計	800,000	800,000	
当期正味財産増加額	10,110,066	4,909,878	5,200,188
前期繰越正味財産額	51,257,581	35,793,402	15,464,179
期末正味財産合計額	61,367,647	40,703,280	20,664,367

3. 貸借対照表総括表

平成5年3月31日現在

科 目	合 計	一 般 会 計	特 別 会 計
(資産の部)	円	円	円
流 動 資 産	40,920,904	27,256,537	13,664,367
固 定 資 産			
基 本 財 産	6,014,266	6,014,266	
その他の固定資産	22,532,000	15,532,000	7,000,000
固 定 資 産 合 計	28,546,266	21,546,266	7,000,000
資 産 合 計	69,467,170	48,802,803	20,664,367
(負債の部)			
流 動 負 債	299,523	299,523	
固 定 負 債	7,800,000	7,800,000	
負 債 合 計	8,099,523	8,099,523	
(正味財産の部)			
正 味 財 産	61,367,647	40,703,280	20,664,367
負 債 及 び 正 味 財 産 合 計	69,467,170	48,802,803	20,664,367

4. 一般会計の部

4.1 収支計算書

平成4年4月1日から平成5年3月31日まで (単位:円)			
科 目	予 算 額	決 算 額	差 異
(収入の部)			
基本財産運用収入	360,000	335,241	24,759
(基本利息)			
預金利息	(360,000)	(335,241)	(24,759)
入金金収入	65,000	55,500	9,500
(入金金収入)			
正学学生会員費	(50,000)	(45,000)	(5,000)
正学学生会員費	(5,000)	(9,500)	(4,500)
正学学生会員費	(10,000)	(1,000)	(9,000)
会費収入	23,100,000	22,956,106	143,894
(会費収入)			
正学学生会員費	(7,750,000)	(8,276,474)	(526,474)
正学学生会員費	(90,000)	(71,250)	(18,750)
正学学生会員費	(15,280,000)	(14,608,382)	(671,618)
事業収入	23,100,000	22,956,106	143,894
(事業収入)			
定期講演会	(955,000)	(1,526,000)	(571,000)
見学会技術懇談会	(300,000)	(496,000)	(196,000)
シンポジウム	(120,000)	(350,000)	(230,000)
G.T.別座	(2,500,000)	(3,077,000)	(577,000)
特定期講演会	(750,000)	(2,381,500)	(1,631,500)
秋季講演会	(886,000)	(1,396,000)	(510,000)
小計	5,511,000	9,206,500	3,695,500
(出版事業)			
会名誌	(3,560,000)	(3,394,674)	(165,326)
会名誌	(4,750,000)	(0)	(4,750,000)
小計	8,310,000	3,394,674	4,915,326
雑収入	2,240,000	3,171,316	931,316
(受取利息)			
運用財産定期預金	(1,300,000)	(1,545,057)	(245,057)
運用財産普通預金	(20,000)	(8,707)	(11,293)
表彰事業基金定期預金	(420,000)	(389,900)	(30,100)
小計	1,740,000	1,943,864	203,864
(雑収入)			
雑収入	(500,000)	(1,227,852)	(727,852)
小計	500,000	1,227,852	727,852
当期収入合計(A)	39,586,000	39,119,337	466,663
前期繰越収支差額	22,047,136	22,047,136	0
収入合計(B)	61,633,136	61,166,473	466,663
(支出の部)			
出版事業費	7,522,000	6,760,867	761,133
(出版事業費)			
編集委員会	(160,000)	(142,200)	(17,800)
小計	160,000	142,200	17,800
(通信運搬費)			
会誌発送費	(622,000)	(559,512)	(62,488)
会誌発送費	(250,000)	(145,960)	(104,040)
ニュースレター	(100,000)	(109,752)	(9,752)
小計	972,000	815,224	156,776
(印刷製本費)			
会誌原稿料	(4,720,000)	(4,641,114)	(78,886)
会誌原稿料	(150,000)	(144,200)	(5,800)
会誌原稿料	(1,000,000)	(411,186)	(588,814)
小計	5,870,000	5,196,500	673,500
会誌原稿料	(500,000)	(595,490)	(95,490)
会誌原稿料	(20,000)	(11,453)	(8,547)
集(会費)	4,580,000	5,735,818	1,155,818
(集(会費))			
学術講演会委員会	(100,000)	(71,590)	(28,410)
学術講演会委員会	(150,000)	(223,755)	(73,755)
学術講演会委員会	(150,000)	(130,980)	(19,020)
小計	400,000	426,325	26,325
(臨時雇賃金)			
定期講演会	(30,000)	(45,000)	(15,000)
定期講演会	(30,000)	(0)	(30,000)
G.T.別座	(0)	(38,000)	(38,000)
小計	60,000	83,000	23,000
(旅費交通費)			
定期講演会	(30,000)	(38,000)	(8,000)
G.T.別座	(40,000)	(8,000)	(32,000)
秋季講演会	(40,000)	(57,600)	(17,600)
小計	110,000	(88,600)	(21,400)
(通信運搬費)			
特定期講演会	(10,000)	(0)	(10,000)
見学会技術懇談会	(90,000)	(0)	(90,000)
シンポジウム	(30,000)	(820)	(29,180)
定期講演会	(100,000)	(110,720)	(10,720)
G.T.別座	(140,000)	(132,563)	(7,437)
特定期講演会	(10,000)	(8,710)	(1,290)
秋季講演会	(0)	(26,670)	(26,670)
小計	380,000	279,483	100,517
(印刷製本費)			
定期講演会	(330,000)	(476,890)	(146,890)
G.T.別座	(190,000)	(155,736)	(34,264)
秋季講演会	(330,000)	(358,440)	(28,440)
特定期講演会	(20,000)	(11,948)	(8,052)
見学会技術懇談会	(15,000)	(128,309)	(113,309)
シンポジウム	(20,000)	(0)	(20,000)
見学会技術懇談会	(45,000)	(0)	(45,000)
小計	950,000	1,131,323	181,323
(賃借料)			
特定期講演会	(20,000)	(8,000)	(12,000)
定期講演会	(40,000)	(0)	(40,000)
定期講演会	(170,000)	(138,225)	(31,775)
G.T.別座	(200,000)	(111,150)	(88,850)
秋季講演会	(60,000)	(60,000)	(0)
小計	100,000	99,910	(90)
小計	590,000	417,285	172,715

科 目	予 算 額	決 算 額	差 異	備考
(諸謝金)				
特別講演会	(30,000)	(11,111)	(18,889)	
技術シンポジウム	(15,000)	(0)	(15,000)	
G.T.別座	(45,000)	(33,333)	(11,667)	
特定期講演会	(300,000)	(277,770)	(22,230)	
秋季講演会	(140,000)	(88,888)	(51,112)	
小計	(25,000)	(33,333)	(8,333)	
(雑費)				
特別講演会	(35,000)	(22,222)	(12,778)	
見学会技術懇談会	590,000	466,857	123,143	
シンポジウム	(10,000)	(26,875)	(16,875)	
定期講演会	(20,000)	(144,049)	(124,049)	
G.T.別座	(30,000)	(192,870)	(162,870)	
秋季講演会	(300,000)	(300,000)	(0)	
小計	(100,000)	(67,181)	(32,819)	
調査研究事業費	(300,000)	(1,156,275)	(856,275)	
調査研究事業費	(640,000)	(854,235)	(214,235)	
調査研究事業費	1,400,000	2,741,285	1,341,285	
調査研究事業費	336,000	93,525	242,475	
(会費)				
生産統計委員会	(40,000)	(44,800)	(4,800)	
技術情報センター委員会	(10,000)	(0)	(10,000)	
調査研究委員会	(100,000)	(0)	(100,000)	
小計	150,000	44,800	105,200	
(通信運搬費)				
生産統計発送費	(21,000)	(13,225)	(7,775)	
技術情報センター通信費	(5,000)	(0)	(5,000)	
調査研究通信費	(20,000)	(35,500)	(15,500)	
小計	46,000	48,725	2,725	
調査研究資料費	(50,000)	(0)	(50,000)	
(雑費)				
生産統計関係	(10,000)	(0)	(10,000)	
技術情報センター関係	(30,000)	(0)	(30,000)	
調査研究関係	(50,000)	(0)	(50,000)	
小計	90,000	0	90,000	
表彰事業費	540,000	537,792	2,208	
通信運搬費	(300,000)	(169,524)	(130,476)	
通信運搬費	(40,000)	(0)	(40,000)	
小計	200,000	(368,268)	(568,268)	
管理費	18,811,000	19,281,457	470,457	
(給料手当)				
手当	(10,300,000)	(10,246,991)	(53,009)	
手当	(150,000)	(208,400)	(58,400)	
小計	10,450,000	10,455,391	5,391	
社会保険料	(1,000,000)	(1,334,479)	(334,479)	
(会議費)				
評議員会	(500,000)	(310,160)	(189,840)	
評議員会	(150,000)	(127,040)	(22,960)	
総務委員会	(250,000)	(255,138)	(5,138)	
組織検討委員会	(170,000)	(214,930)	(44,930)	
組織検討委員会	(30,000)	(5,000)	(25,000)	
選挙管理委員会	(20,000)	(39,430)	(19,430)	
選挙管理委員会	(30,000)	(23,900)	(6,100)	
評議員選挙費	1,150,000	975,598	174,402	
評議員選挙費	(370,000)	(531,866)	(161,866)	
(旅費交通費)				
旅費	(250,000)	(362,450)	(112,450)	
小計	(100,000)	(53,090)	(46,910)	
小計	350,000	415,540	65,540	
(什器備品)				
什器備品費	(10,000)	(0)	(10,000)	
小計	(5,000)	(2,500)	(2,500)	
消耗品	15,000	2,500	12,500	
印刷品	(1,300,000)	(1,499,727)	(199,727)	
通信運搬費	(350,000)	(252,144)	(97,856)	
通信運搬費	(750,000)	(857,677)	(107,677)	
事務所借料	(2,400,000)	(2,378,000)	(24,000)	
事務所借料	(170,000)	(145,570)	(24,430)	
水電料	(35,000)	(32,300)	(2,700)	
内務費	(140,000)	(140,000)	(0)	
日共日共	(10,000)	(10,000)	(0)	
小計	(21,000)	(33,520)	(12,520)	
特定期講演会	(300,000)	(219,145)	(80,855)	
退職給与引当金支出	800,000	800,000	(0)	
退職給与引当金支出	(800,000)	(800,000)	(0)	
小計	0	1,000,000	1,000,000	
備費	1,000,000	1,000,000	(0)	
当期支出合計(C)	33,589,000	34,209,459	620,459	
当期収支差額(A)-(C)	5,997,000	4,909,878	1,087,122	
次期繰越収支差額(B)-(C)	28,044,136	28,957,014	1,087,122	

4.2 正味財産増減計画書

平成4年4月1日から平成5年3月31日

科 目	金 額		
	円	円	円
(増加の部)			
資産増加額	4,909,878		
当期収支差額	800,000	5,709,878	
増加額合計			5,709,878
(減少の部)			
負債増加額	800,000	800,000	
減少額合計			800,000
当期正味財産増加額			4,909,878
繰越正味財産増加額			35,793,402
期末正味財産合計額			40,703,280

4.3 貸借対照表

平成5年3月31日現在

科 目	金 額	金 額	金 額
(資産の部)	円	円	円
流動資産			
現金・預金	27,256,537	27,256,537	
流動資産合計			
固定資産			
基本財産			
基本財産引当預金	6,014,266		
基本財産たる資産	6,014,266		
その他の固定資産			
第3工新ビル敷金	732,000		
退職給与引当金	7,800,000		
表彰事業基金たる資産	7,000,000		
その他の固定資産合計	15,532,000		
固定資産合計		21,546,266	
資産合計			48,802,803
(負債の部)			
流動負債			
前受会費	197,300		
その他の預り金	50,000		
雇用保険料	52,223		
流動負債合計		299,523	
固定負債			
退職給与引当金	7,800,000		
固定負債合計		7,800,000	
負債合計			8,099,523
(正味財産の部)			
正味財産			40,703,280
(うち基本金)			6,014,266
(うち当期正味財産増加額)			4,909,878
負債及び正味財産合計			48,802,803

4.4 会計方針

1. (1) 引当金の計上基準について

退職給与引当金……期末退職給与の要支給額に相当する金額を計上している。

(2) 資金の範囲について

資金の範囲には、現金預金、前受会費、預り金を含めることにしている。

なお、前期末及び当期末残高は、2.に記載する通りである。

2. 次期繰越収支差額の内容は次の通りである。

科 目	前期末残高	当期末残高
現金・預金	22,871,483 円	27,256,537 円
前受会費及び預り金	824,347	299,523
次期繰越収支差額	22,047,136	26,957,014

3. 前受会費及び預り金は下記の通りである。

科 目	金 額	預り金の種類
前受会費	247,300 円	5年度会費、その他
雇用保険料	52,223	4年度雇用保険料
合 計	299,523	

5. 特別会計の部

5.1 収支計算書

平成4年4月1日から平成5年3月31日まで (単位:円)

科 目	予 算 額	決 算 額	差 異	備 考
(収入の部)				
20周年記念事業収入	353,000	309,500	(43,500)	
20周年記念事業費	(353,000)	(309,500)	43,500	
出版事業収入	1,200,000	1,081,878	(118,122)	
出版事業費	(1,200,000)	(1,149,178)	50,822	
フレイション販売収入	400,000	512,500	112,500	
雑収入	702,000	1,036,357	334,357	
普通預金受取利息	(2,000)	1,730	270	
定期預金受取利息	(300,000)	644,727	344,727	
国際交流基金受取利息	(400,000)	389,800	(10,200)	
雑入金収入	9,684,049	9,684,049	0	
国際会議受入金	(9,684,049)	(9,684,049)	0	
当期収入合計(A)	11,919,049	12,671,582	752,533	
前期繰越収支差額	8,464,179	8,464,179	0	
収入合計(B)	20,383,228	21,135,761	752,533	
(支出の部)				
出版事業費	1,970,000	1,862,772	107,228	
フレイション製作費	(1,300,000)	(1,165,000)	135,000	
フレイション送料	(320,000)	(563,792)	(243,792)	
フレイション原稿料	(300,000)	(65,580)	234,420	
フレイション編集委員会費	(50,000)	(70,400)	(20,400)	
20周年記念事業費	3,367,000	3,775,112	408,112	
会議費	(200,000)	(133,879)	66,121	
会場備品費	(50,000)	0	50,000	
記念出版費	(1,500,000)	(1,514,826)	(14,826)	
式典費	(1,417,000)	(1,348,517)	68,483	
雑費	(200,000)	(778,090)	(578,090)	
管理費	2,000,000	1,833,510	166,490	
給付金	(1,500,000)	(1,500,000)	0	
雑信	(300,000)	9,000	291,000	
雑費	(100,000)	0	100,000	
当期支出合計(C)	7,337,000	7,471,394	134,394	
当期収支差額(A)-(C)	4,582,049	5,200,188	618,139	
次期繰越収支差額(B)-(C)	13,046,228	13,664,367	618,139	

5.2 正味財産増減計算書

平成4年4月1日から平成5年3月31日

科 目	金 額	金 額	金 額
(増加の部)	円	円	円
資産増加額			
当期増加額	5,200,188		
前期正味財産増加額			5,200,188
前期繰越正味財産増加額			15,464,179
期末正味財産合計			20,664,367

5.3 貸借対照表

平成5年3月31日現在

科 目	金 額	金 額	金 額
(資産の部)	円	円	円
流動資産			
現金・預金	13,664,367	13,664,367	
流動資産合計			
固定資産			
その他の固定資産			
国際交流基金積立預金	7,000,000		
その他の固定資産合計	7,000,000		
固定資産合計		7,000,000	
資産合計			20,664,367
(負債の部)			
流動負債			
(正味財産の部)			
正味財産			20,664,367
(うち当期正味財産増加額)			5,200,188
負債及び正味財産合計			20,664,367

5.4 会計方針

1. 資金の範囲について

資金の範囲には、現金・預金・預り金を含めることにしている。なお、前期末及び当期末残高は、2.に記載する通りである。

2. 次期繰越収支差額の内容は次の通りである。

科 目	前期末残高	当期末残高
現金・預金	8,464,179 円	13,664,367 円
次期繰越収支差額	8,464,179	13,664,367

6. 財産目録

平成5年3月31日現在

(資産の部)

1. 銀行預金

貸付信託	三井信託銀行新宿西口支店(注1)	20,000,000 円
定期預金	三井信託銀行新宿西口支店(注2)	14,266 円
普通預金	第一勧業銀行西新宿支店(注3)	825,187 円
	第一勧業銀行西新宿支店(注4)	232,331 円

2. 中期国債ファンド

野村證券(注3) 33,480,630 円

中期国債ファンド 野村證券(注4) 13,432,036 円

3. 振替預金 (注3) 360,720 円

4. 権利金 (注5) 732,000 円

5. 日本工学会年金 (注3) 390,000 円

計 69,467,170 円

(負債の部)

1. 預り金

299,523 円

2. 退職給与引当金

7,800,000 円

8,099,523 円

差引正味財産 計 61,367,647 円

(注1) 基本財産たる資産(800万)

国際交流基金たる資産(700万)

表彰事業基金たる資産(700万)

(注2) 基本財産たる資産

(注3) 一般会計運用財産たる資産

退職給与引当金たる資産(780万)

(注4) 特別会計資産

(注5) 第3工新ビル4F402号室敷金

監査の結果、ここに報告された決算報告書は、適正に表示していることを認める。

平成5年4月19日

監事 安藤常世

石井泰之助

第18期（平成5年度）役員および評議員

（敬称略、五十音順）

理 事

会 長 高 田 浩 之
副会長 濱 田 邦 雄
総 務 吉岡英輔（主担当） 今井 鉄 川口 修 酒井逸朗 高橋 進

企 画 和田正倫（主担当） 秋葉雅史 伊藤文夫 岩井益美 岡本 洋三 阪口哲也

編 集 荒木達雄（主担当） 池田 隆 伊藤源嗣 筒井康賢 手島 清美 永野三郎 蓑田光弘

監 事 川上英彦 田中英穂

評 議 員 青木千明 青木庸治 有賀一郎 荒木 颯 伊佐治強彦 石 井泰之助 一色尚次 石野寿生 乾 泰二 井上 誠 井上 雅弘 岩崎晃二 大槻幸雄 大橋秀雄 梅本 進 大原久宜 近江敏明 岡村隆成 奥原 巖 表 義則 梶 昭次郎 川 池和彦 久野勝邦 黒田倫夫 神津正男 小竹 進 酒井善 正 酒井俊道 坂田公夫 坂本雄二郎 佐光光總 佐藤彦 鯨島康郎 高木圭二 高原北雄 竹矢一雄 谷村篤秀 田丸 卓 大宮司久明 辻村玄隆 鳥崎忠雄 永野 進 難波昌伸 丹羽高尚 野田廣太郎 松木正勝 松末勝利 三賢憲治 宮 川健男 宮地敏雄 水谷幸夫 村島完治 森 建二 安井 元 山崎慎一 吉識晴夫

第18期（平成5年度）事業計画

1. 概 要

前年度に引き続き、学術講演会、特別講演会、技術懇談会、見学会、セミナーなどを開催すると共に学会誌の定期的刊行並びに上記諸事業に関連した資料を刊行する。

また、わが国におけるガスタービン及び過給機の生産統計の作成、並びにガスタービン及び過給機に関する特定課題の調査、研究を行なう。

2. 調査・研究事業

- (1) 平成5年におけるわが国のガスタービン及び過給機の実産に関する統計資料を蒐集、集計し、その結果を学会誌およびBulletin of GTSJ等に掲載発表する。
- (2) 調査・研究に関しては、ガスタービン及び過給機に関する特定課題につき行なう予定である。

3. 出版事業

- (1) 定期刊行物
学会誌：年4回刊行する。
- (2) 不定期刊行物
講演論文集：講演会における講演論文集を刊行する。
セミナー資料集：ガスタービンセミナーにおける資料集を刊行する。
GTSJニュースレター：会員の間の情報交換を目的に、ニュースレターを刊行する。
Bulletin of GTSJ：学会の活動状況を海外に紹介するためのBulletinを刊行する。

4. 表彰事業

学会賞（技術・論文・奨励の各賞）の選考を行う。

5. 集会事業

- 以下の集会を行なう。
- | | （予定回数） | （予定開催年月日） |
|------------|--------|----------------|
| (1) 学術講演会 | 2回 | 平成5年6月、10月 |
| (2) 特別講演会 | 1回 | 〃 4月 |
| (3) 技術懇談会 | 3回 | 平成5年7月、10月、11月 |
| (4) 見学会 | 3回 | 〃 7月、10月、11月 |
| (5) 特別講座 | 1回 | 〃 9月 |
| (6) シンポジウム | 1回 | 〃 11月 |
| (7) セミナー | 1回 | 平成6年1月 |

6. 次期国際会議の準備

本年度中に次期国際会議準備委員会を設け、具体的準備に入る。

7. 委員会活動

以下の委員会を設け、各事業の実施にあたる。

- (1) 総務委員会（常置）
- (2) 企画委員会（常置）
- (3) 編集委員会（常置）
- (4) 学術講演会委員会（常置）
- (5) 地方委員会（常置）
- (6) ガスタービン統計作成委員会（常置）
- (7) ガスタービン技術情報センター運営委員会（常置）
- (8) 組織検討委員会
- (9) Bulletin編集委員会
- (10) 会員委員会
- (11) 選挙管理委員会
- (12) 学会賞審査委員会
- (13) 調査研究委員会
- (14) 次期国際会議検討委員会

第18期（平成5年度）予算書

1. 予算書総括表

自 平成5年4月 1日
至 平成6年3月31日

科 目	合 計	一 般 会 計	特 別 会 計
（収入の部）	円	円	円
基本財産運用収入	240,000	240,000	
入会金収入	58,000	58,000	
会費収入	22,790,000	22,790,000	
事業収入	13,420,000	11,820,000	1,600,000
雑収入	2,441,200	1,790,000	651,200
当期収入合計	38,949,200	36,698,000	2,251,200
前期繰越収支差額	40,621,381	26,957,014	13,664,367
収入合計	79,570,581	63,655,014	15,915,567
（支出の部）			
出版事業費	10,732,000	8,232,000	2,500,000
集会事業費	4,746,000	4,746,000	
調査研究事業費	336,000	336,000	
表彰事業費	540,000	540,000	
管理費	22,696,000	20,596,000	2,100,000
敷金・保証金支出	120,000	120,000	
特定預金支出	800,000	800,000	
予備費	2,000,000	1,000,000	1,000,000
当期支出合計	41,970,000	36,370,000	5,600,000
当期収支差額	△ 3,020,800	328,000	△ 3,348,800
次期繰越収支差額	37,600,581	27,285,014	10,315,567

2. 一般会計

平成5年4月1日から平成6年3月31日まで

科 目	予 算 額	前年度予算額	増 減（備考）
（収入の部）			
基本財産運用収入	240,000	380,000	△ 120,000
（基本利息）			
預金利息	(240,000)	(380,000)	(△ 120,000)
小計	240,000	380,000	△ 120,000
入会金収入	58,000	85,000	△ 7,000
（入会金収入）			
正学生会員	(50,000)	(50,000)	(0)
学生会員	(5,000)	(5,000)	(0)
賛助会員	(3,000)	(10,000)	(△ 7,000)
小計	58,000	85,000	△ 7,000
会費収入	22,790,000	23,100,000	△ 310,000
（会費収入）			
正学生会員	(8,000,000)	(7,750,000)	(250,000)
学生会員	(90,000)	(90,000)	(0)
賛助会員	(14,700,000)	(15,260,000)	(△ 560,000)
小計	22,790,000	23,100,000	△ 310,000
事業収入	11,820,000	13,821,000	△ 2,001,000
（集会事業）			
定期講演会	(870,000)	(955,000)	(△ 85,000)
見学会技術懇談会	(300,000)	(300,000)	(0)
シンポジウム	(150,000)	(120,000)	(30,000)
GTSJセミナー	(2,200,000)	(2,500,000)	(△ 300,000)
特別講座	(750,000)	(750,000)	(0)
秋季講演会収入	(720,000)	(888,000)	(△ 168,000)
小計	4,980,000	5,511,000	△ 521,000

(単位:円)

科 目	予 算 額	前年度予算額	増 減	備考
(出版事業)				
会 誌 廣 告 刊 行	(3,560,000)	(3,560,000)	(0)	
小 冊 子 刊 行	(1,900,000)	(0)	(1,900,000)	
小 冊 子 刊 行	(1,370,000)	(4,750,000)	(Δ 3,380,000)	
雑 入	8,830,000	8,310,000	Δ 1,480,000	
(受取利息)	1,790,000	2,240,000	Δ 450,000	
通 用 財 産 定 額 預 金	(1,000,000)	(1,300,000)	(Δ 300,000)	
通 用 財 産 定 額 預 金	(10,000)	(20,000)	(Δ 10,000)	
表 彰 事 業 基 金 定 額 預 金	(280,000)	(420,000)	(Δ 140,000)	
小 冊 子 刊 行	1,290,000	1,740,000	Δ 450,000	
(雑収入)				
雑 入	(500,000)	(500,000)	(0)	
小 冊 子 刊 行	500,000	500,000	0	
当期収入合計(A)	36,898,000	39,588,000	Δ 2,888,000	
前期繰越収支差額	28,957,014	22,047,136	4,909,878	
収入合計(B)	63,655,014	61,633,136	2,021,878	
(支出の部)				
出 版 事 業 費	8,232,000	7,522,000	710,000	
(会議費)				
編 集 委 員 会	(160,000)	(160,000)	(0)	
小 冊 子 刊 行	160,000	160,000	0	
(通信運搬費)				
会 誌 刊 行 送 付 費	(622,000)	(622,000)	(0)	
小 冊 子 刊 行	(300,000)	(250,000)	(50,000)	
ニ ュ ー ス レ タ ー	(110,000)	(100,000)	(10,000)	
小 冊 子 刊 行	1,032,000	972,000	60,000	
(印刷製本費)				
ニ ュ ー ス レ タ ー	(5,120,000)	(4,720,000)	(400,000)	
小 冊 子 刊 行	(150,000)	(150,000)	(0)	
ニ ュ ー ス レ タ ー	(1,250,000)	(1,000,000)	(250,000)	
小 冊 子 刊 行	8,520,000	5,870,000	650,000	
会 誌 刊 行 原 稿 料	(500,000)	(500,000)	(0)	
ニ ュ ー ス レ タ ー 原 稿 料	(20,000)	(20,000)	(0)	
集 会 費	4,746,000	4,580,000	166,000	
(会議費)				
学 術 講 義 委 員 会	(100,000)	(100,000)	(0)	
小 冊 子 刊 行	(170,000)	(150,000)	(20,000)	
地 方 委 員 会	(150,000)	(150,000)	(0)	
小 冊 子 刊 行	420,000	400,000	20,000	
(臨時雇賃金)				
定 期 講 義 演 講 会	(36,000)	(30,000)	(6,000)	
小 冊 子 刊 行	(30,000)	(30,000)	(0)	
小 冊 子 刊 行	66,000	60,000	6,000	
(旅費交通費)				
定 期 講 義 演 講 会	(20,000)	(30,000)	(Δ 10,000)	
G T セ ミ ナ ー	(40,000)	(40,000)	(0)	
特 別 講 義 演 講 会	(40,000)	(40,000)	(0)	
小 冊 子 刊 行	(70,000)	(100,000)	(Δ 30,000)	
小 冊 子 刊 行	170,000	210,000	Δ 40,000	
(通信運搬費)				
特 別 講 義 演 講 会	(10,000)	(10,000)	(0)	
見 学 技 術 懇 談 会	(90,000)	(90,000)	(0)	
シ ン ポ ジ ウ ム	(30,000)	(30,000)	(0)	
定 期 講 義 演 講 会	(100,000)	(100,000)	(0)	
G T セ ミ ナ ー	(140,000)	(140,000)	(0)	
特 別 講 義 演 講 会	(10,000)	(10,000)	(0)	
小 冊 子 刊 行	(30,000)	(0)	(30,000)	
小 冊 子 刊 行	410,000	380,000	30,000	
(印刷製本費)				
定 期 講 義 演 講 会	(330,000)	(330,000)	(0)	
G T セ ミ ナ ー	(190,000)	(190,000)	(0)	
秋 季 講 義 演 講 会	(350,000)	(330,000)	(20,000)	
特 別 講 義 演 講 会	(20,000)	(20,000)	(0)	
シ ン ポ ジ ウ ム	(15,000)	(15,000)	(0)	
見 学 技 術 懇 談 会	(20,000)	(20,000)	(0)	
小 冊 子 刊 行	(45,000)	(45,000)	(0)	
小 冊 子 刊 行	970,000	950,000	20,000	
(賃借料)				
特 別 講 義 演 講 会	(20,000)	(20,000)	(0)	
シ ン ポ ジ ウ ム	(40,000)	(40,000)	(0)	
定 期 講 義 演 講 会	(170,000)	(170,000)	(0)	
G T セ ミ ナ ー	(200,000)	(200,000)	(0)	
特 別 講 義 演 講 会	(80,000)	(80,000)	(0)	
秋 季 講 義 演 講 会	(100,000)	(100,000)	(0)	
小 冊 子 刊 行	590,000	590,000	0	
(諸謝金)				
特 別 講 義 演 講 会	(30,000)	(30,000)	(0)	
シ ン ポ ジ ウ ム	(15,000)	(15,000)	(0)	
G T セ ミ ナ ー	(45,000)	(45,000)	(0)	
定 期 講 義 演 講 会	(300,000)	(300,000)	(0)	
特 別 講 義 演 講 会	(140,000)	(140,000)	(0)	
秋 季 講 義 演 講 会	(25,000)	(25,000)	(0)	
小 冊 子 刊 行	(25,000)	(35,000)	(Δ 10,000)	
小 冊 子 刊 行	580,000	590,000	Δ 10,000	
(雑費)				
特 別 講 義 演 講 会	(10,000)	(10,000)	(0)	
見 学 技 術 懇 談 会	(20,000)	(20,000)	(0)	
シ ン ポ ジ ウ ム	(30,000)	(30,000)	(0)	
定 期 講 義 演 講 会	(330,000)	(300,000)	(30,000)	
G T セ ミ ナ ー	(100,000)	(100,000)	(0)	
特 別 講 義 演 講 会	(300,000)	(300,000)	(0)	
秋 季 講 義 演 講 会	(750,000)	(640,000)	(110,000)	
小 冊 子 刊 行	1,540,000	1,400,000	140,000	
調 査 研 究 事 業 費	338,000	338,000	0	
(会議費)				
生 産 統 計 委 員 会	(40,000)	(40,000)	(0)	
技 術 情 報 セ ン タ ー 委 員 会	(10,000)	(10,000)	(0)	
調 査 研 究 委 員 会	(100,000)	(100,000)	(0)	
小 冊 子 刊 行	150,000	150,000	0	

科 目	予 算 額	前年度予算額	増 減	備考
(通信運搬費)				
生 産 統 計 発 送 費	(21,000)	(21,000)	(0)	
技 術 情 報 セ ン タ ー 通 信 費	(5,000)	(5,000)	(0)	
調 査 研 究 通 信 費	(20,000)	(20,000)	(0)	
小 冊 子 刊 行	46,000	46,000	0	
調 査 研 究 資 料 費	(50,000)	(50,000)	(0)	
(雑費)				
生 産 統 計 関 係 費	(10,000)	(10,000)	(0)	
技 術 情 報 セ ン タ ー 関 係 費	(30,000)	(30,000)	(0)	
調 査 研 究 関 係 費	(50,000)	(50,000)	(0)	
小 冊 子 刊 行	90,000	90,000	0	
表 彰 事 業 費	540,000	540,000	0	
委 員 会 費	(300,000)	(300,000)	(0)	
通 信 費	(40,000)	(40,000)	(0)	
管 理 費	(200,000)	(200,000)	(0)	
給 付 手 当	20,598,000	18,811,000	1,785,000	
給 付 手 当	(10,890,000)	(10,300,000)	(590,000)	
小 冊 子 刊 行	200,000	150,000	(50,000)	
社 会 保 険 費	11,090,000	10,450,000	640,000	
(会議費)				
理 事 員 会	(1,200,000)	(1,000,000)	(200,000)	
評 議 員 会	(500,000)	(500,000)	(0)	
総 務 委 員 会	(150,000)	(150,000)	(0)	
組 織 委 員 会	(250,000)	(250,000)	(0)	
組 織 委 員 会	(170,000)	(170,000)	(0)	
組 織 委 員 会	(30,000)	(30,000)	(0)	
組 織 委 員 会	(20,000)	(20,000)	(0)	
組 織 委 員 会	(30,000)	(30,000)	(0)	
小 冊 子 刊 行	1,150,000	1,150,000	0	
評 議 員 選 挙 費	(400,000)	(370,000)	(30,000)	
(旅費交通費)				
旅 交 通 費	(350,000)	(250,000)	(100,000)	
小 冊 子 刊 行	(100,000)	(100,000)	(0)	
小 冊 子 刊 行	450,000	350,000	100,000	
(什器備品)				
什 器 備 品 費	(10,000)	(10,000)	(0)	
小 冊 子 刊 行	(5,000)	(5,000)	(0)	
小 冊 子 刊 行	15,000	15,000	0	
消 耗 品 費	(1,800,000)	(1,300,000)	(500,000)	
通 信 費	(350,000)	(350,000)	(0)	
通 信 費	(850,000)	(750,000)	(100,000)	
通 信 費	(2,600,000)	(2,400,000)	(200,000)	
通 信 費	(170,000)	(170,000)	(0)	
通 信 費	(35,000)	(35,000)	(0)	
通 信 費	(140,000)	(140,000)	(0)	
通 信 費	(10,000)	(10,000)	(0)	
通 信 費	(36,000)	(21,000)	(15,000)	
通 信 費	(300,000)	(300,000)	(0)	
数 金 ・ 保 証 金 支 出	120,000	0	120,000	
特 定 預 金 支 出	(120,000)	(0)	(120,000)	
特 定 預 金 支 出	(800,000)	(800,000)	(0)	
特 定 預 金 支 出	(800,000)	(800,000)	(0)	
子 備 費	1,000,000	1,000,000	0	
当期支出合計(C)	36,370,000	33,589,000	2,781,000	
当期収支差額(A)-(C)	328,000	5,997,000	Δ 5,669,000	
次期繰越収支差額(B)-(C)	27,285,014	28,044,136	Δ 759,122	

3. 特別会計

平成 5 年 4 月 1 日から平成 6 年 3 月 31 日まで

科 目	予 算 額	前年度予算額	増 減	備考
(収入の部)				
2 0 周 年 記 念 事 業 収 入	0	353,000	Δ 353,000	
2 0 周 年 記 念 事 業 費	(0)	(353,000)	(Δ 353,000)	
出 版 事 業 収 入	1,800,000	1,200,000	400,000	
フ レ イ ン 販 売 収 入	(800,000)	(800,000)	(0)	
ブ レ イ ン 販 売 収 入	(400,000)	(400,000)	(0)	
英 文 論 文 掲 載 料	(400,000)	(0)	(400,000)	
雑 入	651,200	702,000	Δ 50,800	
普 通 預 金 受 取 利 息	(1,200)	(2,000)	(Δ 800)	
定 期 預 金 受 取 利 息	(400,000)	(300,000)	(100,000)	
国 際 交 流 基 金 受 取 利 息	(250,000)	(400,000)	(Δ 150,000)	
繰 入 金	0	9,664,049	Δ 9,664,049	
国 際 会 議 受 入 金	(0)	(9,664,049)	(Δ 9,664,049)	
当期収入合計(A)	2,251,200	11,919,049	Δ 9,667,849	
前期繰越収支差額	13,684,367	8,464,179	5,220,188	
収入合計(B)	15,915,567	20,383,228	Δ 4,467,661	
(支出の部)				
出 版 事 業 費	2,500,000	1,970,000	530,000	
フ レ イ ン 製 作 費	(2,000,000)	(1,300,000)	(700,000)	
ブ レ イ ン 送 付 費	(400,000)	(320,000)	(80,000)	
フ レ イ ン 販 売 料	(50,000)	(300,000)	(Δ 250,000)	
フ レ イ ン 編 集 委 員 会 費	(50,000)	(50,000)	(0)	
2 0 周 年 記 念 事 業 費	0	3,367,000	Δ 3,367,000	
会 場 備 品 費	(0)	(200,000)	(Δ 200,000)	
会 場 備 品 費	(0)	(50,000)	(Δ 50,000)	
会 場 備 品 費	(0)	(1,500,000)	(Δ 1,500,000)	
式 典 費	(0)	(1,417,000)	(Δ 1,417,000)	
式 典 費	(0)	(200,000)	(Δ 200,000)	
管 理 費	2,100,000	2,000,000	100,000	
給 付 手 当	(1,500,000)	(1,500,000)	(0)	
給 付 手 当	(300,000)	(300,000)	(0)	
通 信 費	(100,000)	(0)	(100,000)	
通 信 費	(100,000)	(100,000)	(0)	
子 備 費	(100,000)	(100,000)	(0)	
子 備 費	1,000,000	0	1,000,000	
子 備 費	(1,000,000)	(0)	(1,000,000)	
当期支出合計(C)	5,600,000	7,337,000	Δ 1,737,000	
当期収支差額(A)-(C)	Δ 3,348,800	4,582,049	Δ 7,930,849	
次期繰越収支差額(B)-(C)	10,315,567	13,046,228	Δ 2,730,661	

第18期（平成5年度）監事・評議員・役員候補・選挙結果

監 事			番 号	氏 名	動 務 先	番 号	氏 名	動 務 先												
(氏名：五十音順・敬称略)			32	山崎 慎一	日産自動車㈱	72	小竹 進	東京大学												
番 号	氏 名	動 務 先	33	石野 寿生	日立製作所	73	葉山 眞治	東京大学												
1	川上 英彦	東芝エンジニアリング㈱	34	乾 泰二	日立製作所	74	吉識 晴夫	東京大学												
2	田中 英穂	東海大学	35	川池 和彦	日立製作所	75	宮地 敏雄	東京電機大学												
3			36	黒田 倫夫	日立製作所	76	酒井 俊道	東京理科大学												
4			37	浜田 邦雄	日立製作所	77	大宮司久明	東北大学												
・評議員・役員候補者			38	久野 勝邦	日立製作所	78	竹矢 一雄	徳島大学												
(勤務先：五十音順・敬称略)			39	和田 正倫	日立製作所	79	高原 北雄	元 名古屋大学												
番 号	氏 名	動 務 先	40	石井泰之助	三井造船㈱	80	松木 正勝	日本工業大学												
1	彦坂 隆	いすゞ中央研究所	41	伊佐治強彦	三井造船㈱	81	一色 尚次	日本大学												
2	青木 千明	石川島播磨重工業㈱	42	梅本 進	三井造船㈱	82	鳥崎 忠雄	日本大学												
3	荒木 義	石川島播磨重工業㈱	43	表 義則	三井造船㈱	83	神津 正男	防衛大学校												
4	伊藤 源嗣	石川島播磨重工業㈱	44	高木 圭二	三井造船㈱	84	秋葉 雅史	横浜国立大学												
5	永野 進	石川島播磨重工業㈱	45	手島 清美	三井造船㈱	85	大田 英輔	早稲田大学												
6	佐古 光穂	大阪ガス㈱	46	酒井 逸朗	三菱自動車工業㈱	86														
7	大槻 幸雄	川崎重工業㈱	47	岩崎 晃二	三菱重工業㈱	87														
8	酒井 善正	川崎重工業㈱	48	佐藤 友彦	三菱重工業㈱	88														
9	阪口 哲也	川崎重工業㈱	49	高橋 進	三菱重工業㈱	89														
10	谷村 篤秀	川崎重工業㈱	50	辻村 玄隆	三菱重工業㈱	90														
11	星野 昭史	川崎重工業㈱	51	丹羽 高尚	三菱重工業㈱	91														
12	森 建二	川崎重工業㈱	52	日浦 治也	三菱重工業㈱	92														
13	数島 康郎	京セラ㈱	53	福江 一郎	三菱重工業㈱	93														
14	坂本雄二郎	神戸製鋼所	54	野田廣太郎	明電舎	94														
15	井上 誠	小松製作所	55	浜田 義次	ヤンマーディーゼル㈱	95														
16	近江 敏明	小松ハウメット㈱	56	水谷 幸夫	大阪大学	96														
17	藤江 邦男	新明和工業㈱	57	筒井 康賢	機械技術研究所	97														
18	大原 久宜	中部電力㈱	58	井上 雅弘	九州大学	98														
19	岩井 益美	トヨタ自動車㈱	59	難波 昌伸	九州大学	99														
20	岡本 洋三	東京ガス㈱	60	有賀 一郎	慶応義塾大学	100														
21	宮川 健男	東京ガス㈱	61	川口 修	慶応義塾大学	次点者														
22	伊藤 文夫	東京電力㈱	62	大橋 秀雄	工学院大学	1	宮下 和也	石川島播磨重工業㈱												
23	原 之義	東京電力㈱	63	坂田 公夫	航空宇宙技術研究所	2	山本 肇	川崎重工業㈱												
24	池田 隆	東芝	64	田丸 卓	航空宇宙技術研究所	3	和泉 敦彦	東芝												
25	岡村 隆成	東芝	65	松末 勝利	航空宇宙技術研究所	投票総数 869票 <table><tr><td></td><td>評 議 員</td><td>監 事</td></tr><tr><td>有効票</td><td>857</td><td>844</td></tr><tr><td>無効票</td><td>10</td><td>14</td></tr><tr><td>白 票</td><td>2</td><td>11</td></tr></table>				評 議 員	監 事	有効票	857	844	無効票	10	14	白 票	2	11
	評 議 員	監 事																		
有効票	857	844																		
無効票	10	14																		
白 票	2	11																		
26	奥原 巖	東芝	66	蓑田 光弘	航空宇宙技術研究所															
27	本間 友博	東芝	67	平田 賢	芝浦工業大学															
28	安井 元	東芝	68	平山 直道	千葉工業大学															
29	三賢 憲治	東電設計㈱	69	村島 完治	超音速輸送機用推進システム組合															
30	青木 庸治	新潟鉄工所	70	高田 浩之	東海大学															
31	藤川 泰雄	日産自動車㈱	71	梶 昭次郎	東京大学															



後記

第18期の初刊である今月号は、「石炭ガス化複合発電技術」特集を企画しました。この企画は1年前の17期第1回目の編集委員会で、私が何気なく提出した特集希望案のひとつから始まりました。最近、国内外で石炭ガス化複合発電のニュースが幾度となく耳にはいつてくるのですが、システムが複雑なうえ様々な形態があり、分かりやすい解説記事があれば良いのだけにといい提案したのですが……逆に、担当委員に任命された次第です。まったくの門外漢なので、どのような特集内容にするのか考えあぐねていたのですが、窮すれば通ずの諺どおり、関係の方々から貴重な意見を頂き、かつ各専門家の方々のご協力を得て、予想以上の内容にまとめる事ができました。

先日、1,000MWの石炭火力プラントを見学する機会を得ましたが、広大な貯炭場と灰捨て場の中心に、ボイラー、タービンなど各設備が整然と稼働している様から、これが化学プラントのようなIGCCプラントへどのように変貌するのか想いをはせると興味は尽きませんでした。今日のガスタービンの隆盛は、自己の

高性能化と信頼性向上努力に基づくものですが、クリーンな天然ガスが豊富に使える状況がその一端を支えている事は間違いないと思います。今後、この天然ガスにかわって石炭が登場したときこそ、燃料の多様化に適していると言われたガスタービンの真価が問われるのではないのでしょうか。

今月号から3回にわたって「NO_x生成と大気拡散」について佐野先生の講義がはじまります。燃焼器内部での反応にとどまらず、原子レベルの窒素の振る舞いから地球環境レベルの循環や平衡まで言及されるという大変興味深い内容です。また例年どおり、6月号にはガスタービンおよび過給機の生産統計が紹介されています。

おわりに、年度末のお忙しい時期で中には人事移動のため急遽執筆を引継がれた方もありましたが、執筆の労を快くお引き受け頂いた各界の第一線の方々には厚くお礼申し上げます。

(和泉敦彦)

〔事務局だより〕

気候のせいかわずい分長く目を楽しませてくれた桜の花も散り、青葉の季節がやって来たと思ったらもう6月。この季節はアツという間に様変わりの時期です。

当学会もあわただしかった年度変わりの行事も無事終了し、新しい年度を迎えました。最初は第21回の定期講演会。この学会誌がお手元に届くころには、きっと無事盛会裡に終了ということになっていることでしょう。

7月にはやはり第1回の見学会が開かれますし、9月には特別講座、10月には盛岡での秋季講演会(当初10月7日に講演会、10月8日に見学会という予定でしたが、'93国民文化祭が丁度その時期、岩手県で開かれることになっており、宿泊などの都合で10月6日に講演会、10月7日に見学会と1日繰り上げることになりました。)と現在準備中の行事だけでもぎっこの程度。これからもこれに加えてまた次々に企画されていくことと思います。

今年も昨年からの不況続きで、行事の参加者数にも影響が出るのではないかと気がかりですが、精一杯勧誘につとめるつもりです。

〔A〕

第8回ガスタービン秋季講演会・見学会（盛岡）のお知らせ

- 共催 (社)日本ガスタービン学会（幹事学会）, (社)日本機械学会
- 開催日 平成5年10月6日(水), 7日(木) (日程が変更になりました)
- 講演会 日時: 10月6日(水) 9:00~17:00
会場: 岩手大学工学部一祐会館（盛岡市上田4-3-5, JR盛岡駅よりバス約20分）
- 懇親会 日時: 10月6日(水) 18:00~20:00
会場: ホテルリッチ盛岡（盛岡市駅前通7-15, JR盛岡駅前）
参加者: 講演会参加登録者は無料
- 見学会（講演会参加登録者に限る）
日時: 10月7日(木)
見学先: 東北電力(株)葛根田地熱発電所, 小岩井農場ほか
参加費: 5,000円程度
なお, 別途レディースプログラムを用意します。
※プログラム及び見学会等の詳細についてはニュースレター折り込み及び会誌9月号会
告に掲載予定。

《講演申込について》

募集論文の内容

(1) 一般講演のセッション

ガスタービンおよび過給機ならびにそれらの応用に関する理論および技術を扱ったもの。ガスタービン本体のみならず, 補機・附属品, ガスタービンを含むシステムおよびユーザーの使用実績等も歓迎。

(2) オーガナイズセッション

(a) 「自動車用セラミックガスタービン」 オーガナイザ: 佐々木正史（日産自動車）

(b) 「非定常空力」 オーガナイザ: 船崎健一（岩手大学）

オーガナイズセッションへの応募につきましては, 講演数の制約により, あるいは講演の内容により一般講演への変更をお願いする場合がありますので, あらかじめご承知おき下さい。

なお, 応募論文内容は最近の研究で未発表のもの。一部既発表部分を含む場合には未発表部分が主体となるものに限ります。

講演者の資格 本会会員もしくは日本機械学会会員（1名1題目に限る）

講演申込方法

日本ガスタービン学会事務局宛に巻末の申込書にてお申し込み下さい。

講演申込後の講演題目の変更, 講演者・連名者の変更は受け付けません。

申込先: 〒160 東京都新宿区西新宿7-5-13 第3工新ビル402 (社)日本ガスタービン学会

講演申込締切 平成5年6月30日(月)

講演原稿締切 平成5年8月20日(金)

提出原稿

(1) 新原稿執筆要領に従ってA4用紙にワープロ等で作成。1292字×2~8ページ。

(2) 講演発表の採否は両学会において決定。

学会誌への投稿

- (1) 原稿執筆要領に記載の要件を満たす日本ガスタービン学会会員の講演論文は、著者の希望により講演会終了後に技術論文の原稿として受理され、校閲を経て日本ガスタービン学会誌に掲載されます。
- (2) 日本機械学会会員（講演者）で、同学会出版物（論文集および International Journal）への投稿希望者は、日本機械学会の所定の手続きを経て投稿ができます。

《参加登録について》

講演会参加登録

共催学会正会員 9,000円（講演論文集代を含む）

ただし、下記期限までに申込および送金された方に限り、8,000円とします。

学生会員 4,000円 会員外 12,000円

参加申込方法

往復はがきに「秋季講演会参加申込」と明記し、(1)氏名、(2)所属学会・会員番号、(3)会員資格、(4)勤務先、(5)連絡先、(6)参加される行事（懇親会、見学会）、(7)送金額、送金方法および送金予定日を記入し、9月6日(月)までに下記宛にお送り下さい。講演者も参加登録をお願いします。

〒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

なお、当日も入会申し込み、講演会参加登録を受け付けますが、準備の都合上なるべく上記期限までにお申込み下さい。

送金方法

現金書留

郵便振替（東京7-179578 (株)日本ガスタービン学会）、または

銀行振込（第一勧業銀行西新宿支店 普通No067-1703707 (株)日本ガスタービン学会）

講演論文集

講演論文集は講演会当日会場でお渡しします。論文集のみご希望の方には、講演会終了後に残部がある場合のみ実費にて頒布します。

宿泊について

同時期に盛岡市で文化行事が開催されるため、宿泊・交通の混雑が予想されます。宿泊の予約を希望される方は、「ガスタービン秋季講演会に参加する」旨を告げて、9月6日(月)までに直接下記旅行社にお申込み下さい。

(株)日本旅行 新橋団体旅行海外旅行支店 （担当）秦 誠一

〒105 東京都港区新橋3-7-9 川辺ビル3F

TEL 03-3581-1588 FAX 03-3581-7505

宿泊ホテル: ホテルリッチ盛岡（盛岡市駅前通7-15, JR盛岡駅前）

TEL 0196-25-2611 FAX 0196-25-2673

平成5年度 ガスタービン特別講座開催のお知らせ

3月号の会告の欄で予告致しました本年度のガスタービン特別講座の詳細が決まりましたので改めてお知らせいたします。

最近の計算機とソフトウェアの発達により、ガスタービン設計の現場では、計算機支援の設計が主になってきております。また、計算流体力学 (CFD: Computational Fluid Dynamics) の進歩により、乱流現象をシミュレートできる段階にまで到達しております。

本講座は、今回で第8回目を迎え、ガスタービン関連のCFDに造詣の深い方々を講師にお迎えして、最新的话题と将来展望をお話ししていただくと共に、講師を囲んだ懇親の場を設けることを予定しており、この機会に講師や他の参加者の方々との親交を深めていただき、今後の技術活動に役立てていただくことを意図しております。

1) 日 時 平成5年9月9日(木)午後1時より10日(金)午後1時まで

2) 場 所 鈴鹿サーキット研修センター

3) テーマ

「ガスタービンと計算流体力学 (CFD)」 ―今日、明日、そして夢―

4) 講演内容

(1) CFDの基礎知識	大阪府立大学工学部	中橋和博氏
(2) CFDによる乱流解析	東京大学生産技術研究所	小林敏雄氏
(3) ターボマシンへのCFDの応用	航空宇宙技術研究所	田村敦宏氏
(4) 設計・実験者から見たCFDへの要望	(株)日立製作所	川池和彦氏
(5) CFDの計算手法に対するいくつかの試み	(株)リクルート	竹田 宏氏
(6) 設計手法としてのCFDの現状と将来	三菱重工業(株)	青木素直氏

5) スケジュール

第1日目 午後 講演

第2日目 午前 講演, 総括討論会

夜 グループ別討論会 (3グループ)

グループ①中橋氏, 竹田氏

②小林氏, 川池氏

③田村氏, 青木氏

6) 参加登録費

会 員 25,000円

会 員 外 35,000円

学生会員 5,000円 (会員外10,000円)

(注) 交通費, 宿泊費は含まれません。(注) 払込方法については参加者に後日連絡致します。

7) 申込方法

往復ハガキに氏名, 所属, 連絡先住所, 電話番号, グループ別討論会参加希望グループをご記入の上, 7月31日(火)までに日本ガスタービン学会あてにお申込下さい。希望者多数の場合は抽選で決めさせていただきます。抽選の結果は応募者全員にお知らせ致します。また, 参加決定者には後日詳しいスケジュールをお送りいたします。

平成5年度第1回見学会・技術懇談会のお知らせ

平成5年度第1回見学会・技術懇談会を下記の要領で開催致しますので、奮ってご参加下さい。

記

1. 日 時: 平成5年7月16日(金) 12:50～16:00
2. 見 学 先: (株)明電舎 沼津発電研究所
(沼津市東間門字上中溝515 Tel 0559-21-5111)
研究開発用50MW 蒸気噴射型ガスタービン発電設備
3. スケジュール: 12:50 集 合
13:00～13:20 概要説明
13:20～14:00 技術懇談会
「50MW 蒸気噴射型ガスタービン発電設備の運転実績
藤井忠明氏 (明電舎沼津事業所長)
14:00～15:30 見 学
15:30～15:55 質疑応答

4. 参加要領

- 1) 定員50名(申し込み超過の場合は抽選、応募者全員にご連絡します)
- 2) 参加ご希望の方は往復ハガキに「明電舎見学」と書き、氏名、所属、連絡先住所(返信ハガキにも)、TELを明記の上、事務局へお申し込み下さい。記載不備の場合は受け付けかねますのでご注意ください。
- 3) 参加費 3,000円(当日受付にてお払い下さい)

平成5年度第2回見学会予告

日 時: 平成5年11月下旬

見 学 先: ① (株)富士電機ガスタービン研究所
川崎発電所 V64.3形ガスタービン
② 三菱重工業(株) 横浜製作所内
三菱金沢ガスタービン発電所 701F形ガスタービン

平成5年度第1回見学会・技術懇談会のお知らせ

平成5年度第1回見学会・技術懇談会を下記の要領で開催致しますので、奮ってご参加下さい。

記

1. 日 時: 平成5年7月16日(金) 12:50～16:00
2. 見 学 先: (株)明電舎 沼津発電研究所
(沼津市東間門字上中溝515 Tel 0559-21-5111)
研究開発用50MW 蒸気噴射型ガスタービン発電設備
3. スケジュール: 12:50 集 合
13:00～13:20 概要説明
13:20～14:00 技術懇談会
「50MW 蒸気噴射型ガスタービン発電設備の運転実績
藤井忠明氏 (明電舎沼津事業所長)
14:00～15:30 見 学
15:30～15:55 質疑応答

4. 参加要領

- 1) 定員50名(申し込み超過の場合は抽選、応募者全員にご連絡します)
- 2) 参加ご希望の方は往復ハガキに「明電舎見学」と書き、氏名、所属、連絡先住所(返信ハガキにも)、TELを明記の上、事務局へお申し込み下さい。記載不備の場合は受け付けかねますのでご注意ください。
- 3) 参加費 3,000円(当日受付にてお払い下さい)

平成5年度第2回見学会予告

日 時: 平成5年11月下旬

見 学 先: ① (株)富士電機ガスタービン研究所
川崎発電所 V64.3形ガスタービン
② 三菱重工業(株) 横浜製作所内
三菱金沢ガスタービン発電所 701F形ガスタービン

本会協賛・共催行事

会 合 名	開催日・会場	詳細問合せ先
第19回講習会ターボ機械の最新の計測技術	平成5年6月17日～18日 全林野会館	ターボ機械協会 TEL 03-3944-8002
第31回燃焼シンポジウム	平成5年11月22日～24日 慶応大学理工学部	慶大理工学部内シンポジウム事務局 TEL 045-563-1141 内3200
1993年乱流セミナー	平成5年8月19日～20日 京都リサーチパーク	京都大学工学部機械工学教室 TEL 075-753-5250
第14回日本熱物性シンポジウム	平成5年11月10日～12日 横浜市技能文化会館	神奈川工科大学小口研究室 TEL 0462-41-1211 内3327
第21回国際会議のための整備セミナー	平成5年8月28日～29日 海外職業訓練センター	日本工学会 TEL 03-3475-4621

1993年「第11回エアブリージングエンジン国際会議・東京大会」(日本ガスタービン学会協賛行事)

“ELEVENTH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON AIR BREATHING ENGINES TOKYO”

運 営: 第11回エアブリージングエンジン国際会議・東京大会組織委員会

後 援: (株)日本航空宇宙工業会, (株)日本航空宇宙学会

協 賛: (株)日本ガスタービン学会, (株)日本機械学会

- | | | | | | | | |
|---|--|-------|-------|------------------------|--------|------------------------|--------|
| <p>1. 会 期: 1993年9月19日(日)～9月24日(金)</p> <p>2. 会 場: 日本都市センター
〒102 東京都千代田区平川町2-4-1
電 話 (03) 3265-8211
FAX (03) 3265-4059</p> <p>3. 講 演 会
(1) 発表論文予定数: 特別講演 約9件,
一般講演 約140編
(2) 使用言語: 英語</p> <p>4. 行事予定
レセプション, 見学会, パンケット,
カタログ・パネル展示</p> | <p>5. 日本からの参加登録費</p> <table border="0"> <tr> <td>一般登録者</td> <td>学生登録者</td> </tr> <tr> <td>[1993年8月20日まで] 49,000円</td> <td>7,000円</td> </tr> <tr> <td>[1993年8月21日以降] 56,000円</td> <td>7,000円</td> </tr> </table> <p>6. 参加申込</p> <p>参加登録申込書に記入のうえ, FAX または郵送にて下記事務局へお送り下さい。</p> <p>なお, 暫定プログラムおよび参加登録申込書をご希望の方は, 事務局まで FAX にてご請求下さい。</p> <p>事務局: (株)日本航空宇宙工業会 内
〒100 東京都千代田区有楽町1-8-1
日比谷パークビル518号
FAX (03) 3211-5018
[連絡先: 国際部長 田中 広道]</p> | 一般登録者 | 学生登録者 | [1993年8月20日まで] 49,000円 | 7,000円 | [1993年8月21日以降] 56,000円 | 7,000円 |
| 一般登録者 | 学生登録者 | | | | | | |
| [1993年8月20日まで] 49,000円 | 7,000円 | | | | | | |
| [1993年8月21日以降] 56,000円 | 7,000円 | | | | | | |

学 会 誌 編 集 規 定

1. 本学会誌の原稿は依頼原稿と会員の自由投稿原稿の2種類とする。依頼原稿とは本学会よりあるテーマについて特定の方に執筆を依頼した原稿、自由投稿原稿とは会員から自由に随時投稿された原稿である。
2. 原稿の内容は、ガスタービン及び過給機に関連のある論説、解説、技術論文、速報（研究速報、技術速報）、寄書、随筆、見聞記、ニュース、新製品の紹介及び書評などとする。
3. 原稿は都合により修正を依頼する場合がある。また、用済み後は執筆者に返却する。
4. 原稿用紙は、原則として本会指定の横書440字詰（22×20）を使用する。本原稿用紙4枚で刷り上がり約1頁となる。ワードプロセッサを使用する場合はA4版用紙に横書きで22字×20行とする。
5. 刷り上がり頁数は1編につき、図表を含めてそれぞれ次のとおりとする。論説4～5頁、解説及び技術論文6～8頁、見聞記、速報及び寄書3～4頁、随筆2～3頁、ニュース、新製品紹介、書評等1頁以内。超過する場合は短縮を依頼することがある。技術論文については別に定める技術論文投稿規定による。
6. 依頼原稿には規定の原稿料を支払う。
7. 自由投稿原稿の採否は編集委員会で決定する。
8. 自由投稿原稿には原稿料は支払わない。
9. 本学会誌に掲載される記事・論文などの著作権は原則として本学会に帰属する。
10. 原稿は下記宛に送付する。
〒160 東京都新宿区西新宿7-5-13,
第3工新ビル402
(社)日本ガスタービン学会事務局

技 術 論 文 投 稿 規 定

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

日本ガスタービン学会誌

第21巻 第81号

平成5年6月10日

編 集 者 荒 木 達 雄

発 行 者 高 田 浩 之

(社)日本ガスタービン学会

〒160 東京都新宿区西新宿7-5-13

第3工新ビル402

TEL (03) 3365-0095

FAX (03) 3365-0387

振替 東京7-179578

印刷所 ニッセイエブロー(株)

東京都港区西新橋2の5の10

©1988(社)日本ガスタービン学会

本誌に掲載したすべての記事内容は(社)日本ガスタービン学会の許可なく転載・複写することはできません。

複写をされる方に

本誌（書）に掲載された著作物は、政令が指定した図書館で行うコピーサービスや、教育機関で教授者が講義に利用する複写をする場合等、著作権法で認められた例外を除き、著作権者に無断で複写すると違法になります。そこで、本著作物を合法的に複写するには、著作権者から複写に関する権利の委託を受けている次の団体と、複写をする人またはその人が所属する企業・団体等との間で、包括的な許諾契約を結ぶようにして下さい。

学協会著作権協議会内

日本複写権センター支部

〒107 東京都港区赤坂9-6-42-704

TEL 03-3475-4621・5618

FAX 03-3403-1738

第8回ガスタービン秋季講演会(盛岡)講演申し込み

講演題目:

講演種目:(いずれかを○で囲む)

一般講演・オーガナイズドセッション ()

著者氏名 (講演者に○印)	勤務先 (略 称)	所属学会 (GTSJ・JSME・他)	会員資格 (正員・学生員)

連絡者氏名:

勤務先:

所在地:〒

会員番号:

TEL

()

FAX

()

講演内容 (100～200字)

(注) 講演題目, 著者氏名等の申込後の変更は認められませんのでご承知おき下さい。