

## 訃報

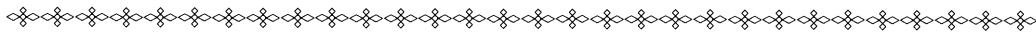
名誉会員・元会長 平山直道 君

平成 15 年 5 月 27 日 78 歳にて逝去され 6 月 1 日東京渋谷区代々幡斎場において葬儀が執り行われました。同君は本学会創設以来役員・評議員を歴任され、本学会の発展に多大の尽力をされました。また、我が国のガスタービン工業の発展のためにも大いに貢献されました。ここに謹んで哀悼の意を表します。

略 歴	昭和 22 年 9 月	東京帝国大学第 2 工学部機械工学科卒
	昭和 39 年 2 月	東京都立大学教授
	昭和 58 年 4 月	東京都立大学工学部長
	昭和 63 年 4 月	千葉工業大学教授
	平成 7 年 4 月	千葉工業大学退任

## 本会関係略歴

昭和 47 年 5 月	入 会
理 事 (GTSJ	1, 4, 5, 7, 8, 10, 11 期, 15 期副会長, 16 期会長)
評議員 (GTCJ	1. 2. 3. 4. 期)
(GTSJ	1. 2. 3. 6. 9. 12. 13. 14. 17. 18. 19 期)
平成 7 年 4 月	名誉会員



## 平山直道先生を偲んで

森下 輝夫  
(元船舶技術研究所)

第 16 期会長、東京都立大学名誉教授平山直道先生は平成 15 年 5 月 27 日肺炎から呼吸不全をおこしてお亡くなりになった。享年 78 歳だった。先生の主治医でもあったご息女はご出棺をまえに「父はまさに生涯現役でした。パパ、立派だったよ」と参列者への挨拶と父君へのお別れの言葉を述べられた。

先生は昨年春の叙勲で勲二等瑞宝章を受章され、9 月に祝賀会が行われた。先生の元気なお姿に私が接したのはその時が最後となった。年末に以前患われた前立腺癌が骨転移したが、ご息女の治療と先生の忍耐が効を奏して奇跡の回復をされた。下半身が不自由となり車椅子の身となられたが、主催する環境塾をはじめ多くの仕事をこなされてきた。亡くなられる直前にも環境塾で講演をされていた。

先生は大正 14 年鹿児島県に生まれ、第七高等学校を

経て昭和 19 年に東京帝国大学第二工学部航空原動機学科に入学された。昭和 27 年東大第二工学部大学院後期特別研究生を中退して新設間もない東京都立大学に講師として赴任された。昭和 29 年同大助教授、39 年教授、58 年工学部長、63 年定年退職、千葉工大教授就任、平成 7 年同大を定年退職された。この間、機械学会副会長、ターボ機械協会会長、ガスタービン学会会長、廃棄物学会会長、その他東京都や国の各種審議会・委員会の委員長を勤められた。

先生はお若い頃はタービン翼列の定常・非定常流れ、希薄流体の流れなどを研究されたが、中年以後はゴミ焼却に始まり廃棄物処理の研究に力を注がれた。

先生のお仕事の内容について語ることは浅学非才の筆者の任に堪えるものではないが、先生から一方ならぬお世話をいただいた一人として先生のお人柄の一端につい

## 訃報

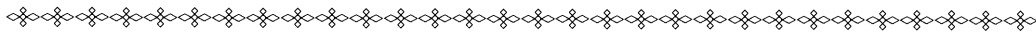
名誉会員・元会長 平山直道 君

平成 15 年 5 月 27 日 78 歳にて逝去され 6 月 1 日 東京渋谷区代々幡斎場において葬儀が執り行われました。同君は本学会創設以来役員・評議員を歴任され、本学会の発展に多大の尽力をされました。また、我が国のガスタービン工業の発展のためにも大いに貢献されました。ここに謹んで哀悼の意を表します。

略 歴	昭和 22 年 9 月	東京帝国大学第 2 工学部機械工学科卒
	昭和 39 年 2 月	東京都立大学教授
	昭和 58 年 4 月	東京都立大学工学部長
	昭和 63 年 4 月	千葉工業大学教授
	平成 7 年 4 月	千葉工業大学退任

## 本会関係略歴

昭和 47 年 5 月	入 会
理 事 (GTSJ	1, 4, 5, 7, 8, 10, 11 期, 15 期副会長, 16 期会長)
評議員 (GTCJ	1. 2. 3. 4. 期)
	(GTSJ 1. 2. 3. 6. 9. 12. 13. 14. 17. 18. 19 期)
平成 7 年 4 月	名誉会員



## 平山直道先生を偲んで

森下 輝夫  
(元船舶技術研究所)

第 16 期会長、東京都立大学名誉教授平山直道先生は平成 15 年 5 月 27 日肺炎から呼吸不全をおこしてお亡くなりになった。享年 78 歳だった。先生の主治医でもあったご息女はご出棺をまえに「父はまさに生涯現役でした。パパ、立派だったよ」と参列者への挨拶と父君へのお別れの言葉を述べられた。

先生は昨年春の叙勲で勲二等瑞宝章を受章され、9 月に祝賀会が行われた。先生の元気なお姿に私が接したのはその時が最後となった。年末に以前患われた前立腺癌が骨転移したが、ご息女の治療と先生の忍耐が効を奏して奇跡の回復をされた。下半身が不自由となり車椅子の身となられたが、主催する環境塾をはじめ多くの仕事をこなされてきた。亡くなられる直前にも環境塾で講演をされていた。

先生は大正 14 年鹿児島県に生まれ、第七高等学校を

経て昭和 19 年に東京帝国大学第二工学部航空原動機学科に入学された。昭和 27 年東大第二工学部大学院後期特別研究生を中退して新設間もない東京都立大学に講師として赴任された。昭和 29 年同大助教授、39 年教授、58 年工学部長、63 年定年退職、千葉工大教授就任、平成 7 年同大を定年退職された。この間、機械学会副会長、ターボ機械協会会長、ガスタービン学会会長、廃棄物学会会長、その他東京都や国の各種審議会・委員会の委員長を勤められた。

先生はお若い頃はタービン翼列の定常・非定常流れ、希薄流体の流れなどを研究されたが、中年以後はゴミ焼却に始まり廃棄物処理の研究に力を注がれた。

先生のお仕事の内容について語ることは浅学非才の筆者の任に堪えるものではないが、先生から一方ならぬお世話をいただいた一人として先生のお人柄の一端につい

## 訃報

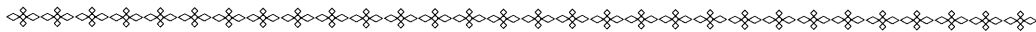
名誉会員・元会長 平山直道 君

平成 15 年 5 月 27 日 78 歳にて逝去され 6 月 1 日東京渋谷区代々幡斎場において葬儀が執り行われました。同君は本学会創設以来役員・評議員を歴任され、本学会の発展に多大の尽力をされました。また、我が国のガスタービン工業の発展のためにも大いに貢献されました。ここに謹んで哀悼の意を表します。

略 歴	昭和 22 年 9 月	東京帝国大学第 2 工学部機械工学科卒
	昭和 39 年 2 月	東京都立大学教授
	昭和 58 年 4 月	東京都立大学工学部長
	昭和 63 年 4 月	千葉工業大学教授
	平成 7 年 4 月	千葉工業大学退任

## 本会関係略歴

昭和 47 年 5 月	入 会
理 事 (GTSJ	1, 4, 5, 7, 8, 10, 11 期, 15 期副会長, 16 期会長)
評議員 (GTCJ	1. 2. 3. 4. 期)
	(GTSJ 1. 2. 3. 6. 9. 12. 13. 14. 17. 18. 19 期)
平成 7 年 4 月	名誉会員



## 平山直道先生を偲んで

森下 輝夫  
(元船舶技術研究所)

第 16 期会長、東京都立大学名誉教授平山直道先生は平成 15 年 5 月 27 日肺炎から呼吸不全をおこしてお亡くなりになった。享年 78 歳だった。先生の主治医でもあったご息女はご出棺をまえに「父はまさに生涯現役でした。パパ、立派だったよ」と参列者への挨拶と父君へのお別れの言葉を述べられた。

先生は昨年春の叙勲で勲二等瑞宝章を受章され、9 月に祝賀会が行われた。先生の元気なお姿に私が接したのはその時が最後となった。年末に以前患われた前立腺癌が骨転移したが、ご息女の治療と先生の忍耐が効を奏して奇跡の回復をされた。下半身が不自由となり車椅子の身となられたが、主催する環境塾をはじめ多くの仕事をこなされてきた。亡くなる直前にも環境塾で講演をされていた。

先生は大正 14 年鹿児島県に生まれ、第七高等学校を

経て昭和 19 年に東京帝国大学第二工学部航空原動機学科に入学された。昭和 27 年東大第二工学部大学院後期特別研究生を中退して新設間もない東京都立大学に講師として赴任された。昭和 29 年同大助教授、39 年教授、58 年工学部長、63 年定年退職、千葉工大教授就任、平成 7 年同大を定年退職された。この間、機械学会副会長、ターボ機械協会会長、ガスタービン学会会長、廃棄物学会会長、その他東京都や国の各種審議会・委員会の委員長を勤められた。

先生はお若い頃はタービン翼列の定常・非定常流れ、希薄流体の流れなどを研究されたが、中年以後はゴミ焼却に始まり廃棄物処理の研究に力を注がれた。

先生のお仕事の内容について語ることは浅学非才の筆者の任に堪えるものではないが、先生から一方ならぬお世話をいただいた一人として先生のお人柄の一端につい

て思い出を書かせていただくことにする。

先生の人物像を取って一言で表現すれば「人情の機微を知っている社会的見識をもった学者」と言えるのではないだろうか。冒頭で触れたご息女のご挨拶で「闘病中の父は私たちに国のためになる仕事をしろと言っていました」という話を聞いたとき、先生が鹿児島のご出身であることもあって私は心の中で「国土」という言葉を思い浮かべていた。

筆者は先生が助教授になられた年に先生の下で卒業研究をして当時の運輸省航空局に就職したが、研究への希望や難く数年後に当時の運輸技術研究所（運研）へ転属させてもらった。研究所行きを先生に報告に行ったところ、一瞬遠くを見るような眼をして「運研は社会に必要なかな？」と眩かれたが、すぐに筆者を見ながら「やっぱり必要だね」と言われた。ただ研究をやりたいたいだけ思っていた当時の筆者は自分が希望した研究所が社会的に必要な存在かどうかなど考えもしなかったが、先生のこの眩きはその後筆者の頭の片隅に何時までも残った。後年、筆者が所属する研究所の仲間たちと「未来のために何をすべきか」と言い交わしつつ水素関連の仕事をした（学会誌 No. 75）のはそのせいもあったと思う。

先生は、これから研究の道に入る筆者を慮って「運研には流れの大家が既にたくさん居るから君は熱伝達をやってはどうか」と言われて、後日、橋藤雄教授（東大生研、同工学部、故人）のところに連れて行ってくださった。

先生は橋先生にまつわるこんな話も聞かせてくださった。先生が大学院のころ図書館で燃焼に関する雑誌を読んでいたところ、通りがかった橋先生が「誰でも燃焼に興味をもつが燃焼は泥沼だよ」と言われたというのである。そのことが先生が学究の道に入るに当たってターボ機械の流れを研究するきっかけとなったかは聞き漏らしたが、橋先生の教え子の平山先生も不肖筆者も後年、廃棄物と水素と対象は天と地ほど違うがそれぞれ燃焼を手がけるようになったのはなんとなく可笑しなめぐり合わせであった。先生は東京都立大学に席を置く身として、単に学術的興味だけからでなく大都市の廃棄物処理の社会的重要性をしっかりと認識されたのであろう。

私が運研で仕事をするようになってからは先生とも疎

遠となったが、先生がガスタービン学会の副会長から会長になられて20年ぶりに再び先生と身近に接するようになった。環境問題が地球規模で語られる頃で、編集委員長の能瀬さん（航技研、当時）から「地球環境問題は難しいだろうが学会誌で取り上げてほしい」と言われて座談会を思いつき、廃棄物処理の分野でもすでに大家になっておられた平山先生に司会をお願いして「地球環境とガスタービン」の座談会を行った。手前味噌ながらこの記事（学会誌 No. 72）を今読み返しても結構面白いのは幅広い分野の出席者から率直な意見を引き出された先生の手腕に負うところが大きい。

先生は組織のあり方について「出来るだけ多くの会員の参画、若い会員を含めて個々の会員と学会の結びつきの強化」（学会誌 No. 73）を唱えられた。そうした先生は学会の将来を考え、当時筆者が担当していた組織検討委員会に「21世紀にむけた学会の在り方」の検討という大きな注文をだされた。若手委員の坂田さん（航技研）の意見をもとに「だれでも情報にアクセスできサービスが受けられるような開かれた学会組織、学際的な技術分野の検討、若手会員の重視」などを答申したが、先生の意にかなったようでその他の事項を含めてその後の学会運営にも反映されたように思う。

昨年秋の授章祝賀会で先生と十年ぶりでお目にかかったのだが、落ち着いてお話もできない中で先生は「森下のことは忘れていないよ」とおっしゃられた。有難うございますと言うべきところを「私もです」と50年前の学生気質そのままに無遠慮な返事をしてしまった。

筆者は定年後数年にして技術の世界に別れを告げて地域の活動の手伝いをするようになったが、研究所時代の科学・技術者運動や労働運動などの実践経験がはからずも生きている。先生のご自身の専門を生かした社会貢献とは異なるものの、筆者なりの生き方をしてきた積りである。そんなことについても先生のご意見を伺いたいと思っているうちに先生は逝ってしまわれた。

先生は一組織にとどまらず、この国と地球の未来を見すえて行動する社会的見識をもっておられた。目先のことにいささかあくせくし過ぎる日本の現状をみると、平山先生にはもう少し生きていただきたかったと思うのである。

## 電力の規制緩和と今後について

前田 泰宏\*1

MAEDA Yasuhiro

キーワード：電力制度改革，規制緩和

### 1. はじめに

小売り自由化範囲の拡大を目的とした電気事業法改正案とガス事業法改正案，電源開発株式会社完全民営化を見据えた電源開発促進法改正案は，この原稿を執筆している平成15年5月末現在，国会審議中である。

これらの三法同時改正案は，6月上旬には可決・成立する見通しであり，本稿を日本ガスタービン学会誌の一角に載せていただく頃には，法律改正といった断面ではなく，より詳細なルール設計としての政省令改正のレイヤで，引続きエネルギー業界と経済産業省の間で政治を交えた水面下の綱引きが行われている真っ只中であろう。

この度，「電力の規制緩和と今後について」というテーマで原稿を執筆するチャンスをいただいたが，今回の電力制度改革についての解説は，旬を過ぎてはいるかもしれないことから，読者の皆様のご興味をあまり引けない話題となることをお許し願いたい。その代わり，頂いたテーマの後半部分にあたる「今後について」は，問題提起を含めていろいろと取り上げて書いてみたい。

### 2. これまでの電力制度改革について

我が国における近年の電力制度改革は，1995年，1999年に引続き，今回で3回目にあたる。余談となるが，1995年，1999年の電力制度改革に関しては，実は私が行政側として全面的に関係しており，電力業界の皆様とは「厳しい関係」を構築させていただいた経緯がある。

1995年4月の電気事業法改正は，電力需給の逼迫，電力供給コストの上昇傾向と内外価格差の指摘，発電部門への新規参入の可能性の増大といった状況認識を受け形で実施され，卸発電事業への参入規制の原則撤廃と卸供給入札制度の導入により発電部門に競争が導入されるとともに，卸託送（振替供給）についての制度等が整備された。また特定電気事業制度も導入され，小売り部門についても制度改革の先鞭がつけられた。

次の1999年5月の電気事業法改正では，高コスト構造の是正に向けた経済構造改革の主要課題として，電力価格を国際的に遜色のない水準とすることを目標とした見直しが行われた。この制度改革にあたっては，低廉な

料金の実現，ユニバーサルサービスの達成，供給信頼度の維持，エネルギーセキュリティ，環境保全等の様々な観点から，「公益的課題」と「民間事業者としての自主性の確保」について様々な議論が行われた。

結果として，具体的には大口需要家（特定規模需要家）を対象とした小売り供給の部分自由化と，これを実現するための小売り託送（接続供給）についての制度が整備され，小売り自由化の対象外とされた小口需要家にも，市場競争導入による成果を還元させるため，多様な料金メニューの提供を促進することや，迅速な料金引き下げを可能にするための制度改革が行われた。

### 3. これまでの電力制度改革の成果について

今回の電力制度改革の議論が始まる前の状況を見てみると，まず卸発電部門への新規参入者（IPP）の参入状況については，1996年から2002年にかけて行われた合計5回の卸供給入札により，合計で740万kWが落札されており，2001年の3月末時点では，このうち約160万kWが運用を開始している。

また，特定電気事業者としての事業参入は，諏訪エネルギーサービスやJR東日本等の4社が許可を受けており，特定規模電気事業者（PPS）は本年1月時点で，11社36電源，約192万kWが届出されている。

但し，自由化対象の大口需要家に対する販売実績は，昨年12月時点で，一般電気事業者10社による供給が合計17,727GWhに対して，特定規模電気事業者（PPS）7社からの供給は合計151GWhであり，市場に占める割合は0.85%に留まっている。

自由化対象外の需要家に対する小売り電気料金に関しては，1996年1月に平均6.29%の引下げが実施された後，1998年2月には平均で4.67%，2000年10月には平均で5.24%の引下げが実施された。

このような電力市場の実情を踏まえ，2001年11月に「わが国経済活動及び国民生活の基盤となる電力の安定供給を効率的に達成しうる公正かつ実効性のあるシステムの構築に向けて，今後の電気事業は如何にあるべきか」との諮問を受けて，経済産業相の諮問機関である総合資源エネルギー調査会電気事業分科会（鳥居泰彦会長）の場で，新たな電気事業制度改革の検討がスタートしたのである。

原稿受付 2003年6月5日

\*1 経済産業省 大臣官房企画課

#### 4. 今回の電力制度改革について

今回の電気事業法改正については、繰り返しとなるが、本稿を執筆している時点では国会審議中でもあることから、ここでは2003年2月に取り纏められた電気事業分科会の答申「今後の望ましい電気事業制度の骨格について」をベースとして、電力制度改革のポイントを御紹介したい。

この答申により、電力自由化の対象範囲を、現行の特別高圧2万V受電・2千kW契約以上（販売電力量の26%）から、2004年には高圧6千V・500kW契約以上（同40%）、2005年4月には同・50kW契約以上（同63%）へ拡大する方針が確認された。

この他、2005年4月までに、①卸電力取引市場（先渡し市場・スポット市場）の創設、②系統利用ルール策定・監視のための中立機関の創設、③振替供給料金制度（パンケーキ問題）の廃止、④送配電部門と発電販売部門の情報遮断や内部相互補助、差別的取扱いの禁止、⑤変動幅30分3%の同時同量範囲の弾力化、等の電力制度改革の大筋が決まり、さらに⑥2007年4月を目途に家庭用までも含めた全面自由化の検討をスタートとする方針が確認された。

何と云っても、今回の電力制度改革のポイントは、電力業界が安定供給確保等の観点からかねて主張してきた送配電一貫体制の堅持が認められ、ISO（独立送電機関）の創設や送電分離（アンバンドリング）が見送られたことに尽きるのではないかな。

今回の電力制度改革で大きな焦点（争点）となっている送配電部門の公平性・透明性の確保については、上記②④で前述したが、電力会社、新規市場参入者、学識経験者等で構成する中立機関（中間法人）を創設し、送電に関するルール策定や監視に当たらせるとしている。（本年5月には電気事業連合会の肝煎りで、勉強会スタイルの検討がスタートとしている。）

また、一般電気事業者（注：送電線を所有する電源開発株も対象）の送配電部門と発電販売部門の情報遮断や内部相互補助の禁止、差別的取扱いの禁止に関しては、改正電気事業法で担保した上で、行政が事後チェックする仕組みとしている。

この結果、いわゆる構造規制（アンバンドリング）の導入は今回見送られ、行為規制による競争政策が選択されたのである。

さて、この答申を読まれた方は、ごく普通に「今回の電力制度改革の議論は、全面自由化を柱に2007年4月にスタートする…ということ、ここしばらくは、大きな制度改革による『地殻変動』はないな…」と思われるのではないのでしょうか。

その見通しが間違いとなる可能性について、皆様にご指摘させていただくことで、以下、本題に入りたいと思う。

#### 5. 従来型政策決定メカニズムの限界

今回の電気事業分科会で明らかになったことは、従来型政策決定メカニズムの限界である。

いきなり「核心」に触れてしまったので、少なからず驚かれた読者も多いのではないかと思います。1995年、1999年、2003年と続いた電力制度改革の基本的なアプローチである「所管する省庁が審議会を開催して1~2年かけて審議するパターン」は、市場競争時代にマッチした検討スキームとは言いがたいのではないかな。（注：ガス制度改革も同じ）

このような政策決定のアプローチは、政治、行政、産業界、学会（審議会に御出席頂いている学識経験者の方々等）、そしてジャーナリズムにも「見なれた風景」となってしまう、政策決定に至るまでの流れが画一化・硬直化してしまっていることは否めない。

民間の新しい発想や、パブリックコメントで頂戴した国民の皆様の声が、どれだけ政策に反映できているのか、私一人としての感想としては「はなはだ疑問」なのである。

例えば、電気事業分科会が開催される前日になると、これから審議されるはずの内容が、あたかも内定済みかの如く新聞報道されていた実例を見れば、一般の方々も、「根まわし」「握り」といった極めて日本的な調整機能が、従来型政策決定メカニズムにふんだんに使われていたのでは？と御想像されるのではないのでしょうか。

さて、ここでは従来型政策決定メカニズムの是非を問い詰め、どのように見直していくか（もしくは廃止するか）について筆を進めるのではなく、新しい視点・アプローチによる制度改革について、2つの具体例を御紹介してみたい。そしてこの2つの制度改革は、いずれも経済産業省ではなく、内閣府が舞台となっている所がミソなのである。

#### 6. 構造改革特区

最初に御紹介する新しい制度改革のアプローチとは、昨年秋の臨時国会で成立した「構造改革特別区域法」である。

一般的には「特区」の呼び方が耳慣れているかもしれませんが、この4月17日には構造改革特区第1弾として57件の計画が、5月20日には構造改革特区第2弾として60件の計画が認定されているのである。

我が国の経済を活性化させるためには、抜本的な規制制度改革により民間活力を最大限に引き出し、民業を拡大することが重要であるものの、全国的な規制改革の実施となると、さまざまな事情（抵抗勢力）により進展が遅い分野があるのが現状である。

こうした実情を踏まえ、地方公共団体や民間事業者等の自発的な立案により、地域の特性に応じた規制の特例を導入することを認める「特定の区域」を設けることで、当該地域において地域が自発性を持って構造改革を進め

てみよう…ということが、特区制度を導入する狙い（意義）となっている。

各地域や民間においては、国があらかじめ何らかのモデルを示したり、従来型の財政措置による支援措置を講じることに期待するのではなく、「自助と自立の精神」を持って「知恵と工夫の競争」を行うことにより、地域の特性に応じた特区を提案することを期待しているものであって、今更言うまでもなく従来とは大きく異なる政策アプローチ（政策転換）と言えるのではないかと。

さて、この構造改革特区の仕組みは、電気・ガス・熱のエネルギーを総合的に供給する地域分散型電源システムと非常に相性が良いのではなかろうか。

技術の革新を背景として登場した新しいエネルギー供給システムを、少資源国である我が国が、世界に先駆けて大々的に活用するためには、全国一律の規制改革を待つのではなく、まず特定の地域において実践してみることが、将来的な全国普及にとって非常に重要な試みとなってくる。

現実には、特定電気事業制度の弾力的運用のみならず、エネルギー関係の事業規制、保安規定についても、特例措置導入の希望はたくさんあるのではないかと。（ちなみに構造改革特区で要望された特定供給制度の要件緩和などについては、既に実現可能となっている。）

今回の特区提案の中には、茨城県筑波市が提案した「つくば新エネ市民電力特別区」や岩手県が提案した「地域分散型総合クリーンエネルギーシステム特区」等があるが、これらはいずれも、地域独占の巨大な電力会社が巨額の資金を調達して地方に大規模発電所を建設し、送電網を構築するといった従来型の電力ビジネスとは相反する提案である。

## 7. 英国の分散型電源特区構想

ちなみに分散型電源特区構想は日本だけが先行しているのではない。米国ではパワーパーク構想が実現の動きにあり、英国でも同様の動きがある。

英国では分散型電源の普及拡大や環境対策を目的として、2010年までに総販売電力量に占める再生可能なエネルギーの割合を10%に引き上げる一方で、コージェネ容量を現在の2倍の1千万kWに拡大するといった方針をOFGEM（ガス・電力市場局）が打ち出し、様々な支援措置を講じている。

英国版分散型電源特区構想はその計画の一環であり、2004年からスタートする予定となっているが、ここで面白いのは、分散型電源による新規参入者の競争相手となるはずの地域電力会社（配電会社）もこの特区に集中的に設備投資を行い、分散型電源の受け入れを早期に実現しようとしているところである。

配電システムはもともと送電システムから流入する電力を需要家に配給することを大前提として開発されており、技術的に電源を受け入れられる容量には限りがあり、このよ

うな配電システムに大量の分散型電源をぶら下げるには、ネットワーク（配電網）の増強の他に、系統保護装置や電圧安定化装置の設置が必要となる。

運用面でも、補助的サービスを管理するオペレーション機能を取り入れ、配電網を送電システムのような能動的なシステムとして、システム的に見直しを行わなければならない。配電網への分散型電源の接続の環境整備は、配電網全体で見れば莫大な投資と時間を必要とするが、これを特区に限って投資を集中することで、分散型電源の早期普及の下地を作ろうというものである。

この特区の設置は、分散型電源の機器メーカーはもちろんのこと、電力市場への新規参入者等への幅広いビジネスチャンスと新たな経済効果を生むものとして期待されているが、配電会社にも、配電設備投資の節減やロス低減などの効果を期待することで、恩恵があると見込まれているのである。我が国では分散型電源は既存電力会社とは相容れない（商売敵）といった見方が一般的であるが、英国の配電会社は、自ら分散型電源を積極的に受け入れる下地を作る（もしくは自らが行う）ことで、新しい技術の可能性を試そうとしているのである。

## 8. 規制改革推進3ヵ年計画

2つ目に御紹介する新しい制度改革のアプローチとは、政府が今年の3月に閣議決定した「規制改革推進3ヵ年計画」の中にヒントがある。皆様は、同計画にネットワークインフラに係わる重要な提言が行われていることを御存知でしょうか。

同計画の「活性化に資するビジネス・生活インフラ整備」の項目をそのまま抜粋すると、

### ①業種を越えた参入の促進

個別事業分野における既存の設備を有効活用する形で、電気事業者、ガス事業者、電気通信事業者による業種を超えた参入が進展している。このような参入は、ネットワーク事業分野における競争を促進する上、望ましいものであり、参入を促進する観点からその公平性の確保を図る。今後、こうした業種を超えた参入が活発化すると考えられるが、事業所管省庁は、他分野における市場支配力等を背景とした反競争的行為が行われないよう、参入等に当たって適切な担保措置を講ずる。また問題となる行為が見られた場合には、事業所管省庁及び公正取引委員会は、積極的にこれを是正・排除する。

### ②インフラ整備の促進

インフラ整備を通じて競争を促進する観点から、電気通信事業分野における光ファイバ網等の通信ネットワーク、電気事業分野における連系送電線などの送電ネットワーク、ガス事業分野における導管ネットワークの整備に際して必要となる工事や土地利用等に係る各種規制について、高コストの原因となっていないか、過剰規制となっていないか等について点検を行い、イ

ンフラ整備を抑制している規制があれば、これを緩和する等の措置を講ずる。また、コージェネ等の分散電源に係る熱導管ネットワークの普及促進のため、熱供給事業法の対象外の小規模（21ギガジュール/hr未満）の熱供給導管についても、エネルギー政策等の観点から公共的性格が法令上位置付けられれば、業務占用に準じた道路占用を認めることを検討する。

と明記されているのである。

ここで注目すべきは、①で電気・ガス・通信といった、いわゆる公益的性格をもつ事業において、これまでの業態を超えた相互参入が進んでいるとの基本認識を示した上で、ネットワーク事業分野全体を包括する新しい競争政策の必要性に言及している点である。

ご記憶に新しい今回のガス制度改革の議論では、市場支配力を有する一般電気事業者がガス市場に参入する際に、別会社化すべきと主張するガス業界と、これに反対する電力会社の間で激論が交わされており、また、電気通信市場におけるNTTの市場支配力に着目して、放送市場への参入を制限されている等、市場支配的事業者（ドミナント事業者）による隣接市場への参入に対する規制のあり方については、今後ともネットワーク分野の競争政策上を確立する上での鍵となろう。

さらに②では、インフラ整備を促進するための規制の見直しが言及されている。道路占用問題にも着目され、熱事業法の対象外である小規模熱導管でさえ「業務占用に準じた道路占用を検討する」としているために、ガス導管事業者にもこれを適用すべきだとの意見は少なからずあるであろう。また、電力分野では自営線の問題も同様である。

つまり①と②の制度改革は、表裏一体の1セットであり、ネットワーク事業分野における「競争政策の導入」と「インフラ規制の緩和」が同時に提起されているのである。

ここに至るまでの動きを更に深読みすれば、電力・ガス＝経済産業省、通信＝総務省、道路占用＝国土交通省といった縦割りの所管の壁（縦割りの事業法）を超えて、『ネットワーク競争法』『ネットワークインフラ法』といった、全く新しい規制体系の制定への動きがおぼろげに見えてくるのではないだろうか。

過去には線路敷設権のガイドラインを内閣府が音頭をとって制定したケースもある。

この新しい規制体系の下では、必然的にサービスレイヤ＝自由競争、インフラレイヤ＝エッセンシャルファシリティの開放・提供義務といった法的性格を持つことは避けがたく、最終的にこれらの規制体系が、公益事業者への構造規制として、今回見送られた問題に再びメスが入る可能性は十分にある。

## 9. 基本理念と目指すべき方向

さて、このまま筆を置いてもよいところであるが、辛いにして紙面が若干余ってしまった。

そこで、あくまで私一個人が考える「ネットワーク型産業におけるアンバンドルの進展と競争促進」に関して、そのさわりとなる基本理念、背景、目的、目指すべき方向性を整理しておきたい。

なお、繰り返しとなりますが、これはあくまで私一個人のアイデアのごく一部であることをご了解頂いた上で、御覧頂きたい。

### (1) 基本理念

①通信・放送産業や電力・ガス等のエネルギー産業では、ネットワークとサービスが統合された垂直型事業モデルの限界（ネットワーク上でサービス同士が競争する構造）が認識されはじめており、各産業ごとの水平的組織分離（アンバンドル）と、各機能ごとの市場横断的な事業展開（電力会社等が自ら保有するネットワークを利用し、通信事業に参入する動き等）が進展中である。

②通信・放送産業と電力・ガス等のエネルギー産業は、財・サービスの提供に当たって「ネットワークインフラ」を必要とするという面で共通しており、ネットワークインフラの構造について、機能分離が可能という構造も類似している。

③こうした事業分野の構造分離と、市場横断的なネットワーク間の融合により、競争が大きく進展し、企業単位のみならず、事業・産業単位での新たな市場の発展が見込まれる。

④こうした産業構造の変化の中、今後、競争を通じて、より良質で多様なサービスが一層安価に国民に提供されるようにするためには、サービス提供に必要なネットワークにおけるボトルネック性の問題を解決することが必要。

⑤従って、これら通信、放送、電力、ガス等の分野のネットワークについて、その分野の特殊性に配慮しつつも、共通の公正競争促進ルール（規制・制度）を適用するとともに、共通の考え方にに基づき、反競争的行為を排除することにより、ネットワーク間及びサービス間の競争を促進すべきである。

⑥特に、NTTに対しアクセス系インフラ全般のオープン化や料金規制、アンバンドル義務等が課せられ、競争環境が整備されてきた通信分野に比べ、電力・ガス等エネルギー分野では、自由化が部分的にとどまるとともに、ネットワークのボトルネック性も解消されておらず、制度面において、相互参入を含めた競争環境が整備されているとは言い難い状況にある。

⑦従って、今後は、特に電気事業等に関して、規制当局、規制体系が異なる事業単位毎の事業法によるのではなく、公益事業分野横断的な規制体系・競争促進制度を構築することにより、強力に競争環境を整備していくことが必要と思われる。

### (2) 背景

①通信分野におけるIP（インターネットプロトコル）化等に伴うネットワークとサービスへの機能の分化。放



送分野におけるコンテンツの価値の高まりと電波・設備等のネットワークとの機能の分化。

- ②電力分野及びガス分野における小売サービスの自由化とネットワークのボトルネック性の顕在化。
- ③各分野におけるサービス、ネットワーク等レイヤの存在と各レイヤにおける競争の進展。
- ④通信と放送の融合の進展、電力とガスのエネルギー間競争の進展等、市場の統合。
- ⑤通信事業者の放送事業及び電力事業への進出、電力事業者のガス事業及び通信事業への進出等、公益事業における分野横断的な進出とそれに伴う公正競争上（内部補助等）の問題の顕在化。
- ⑥ネットワーク着目のアンバンドル規制体系が許されない政治的状況。
- ⑦独占禁止法では公正競争促進のためのルール策定を網羅することは難しいこと。

### (3) 目的

- ①民間企業による自由な競争により、より良質かつ多様なサービスがより安価に提供されることを通じて、消費者利益の増大を図るとともに、経済構造の抜本的な変革を実現する。
- ②ネットワークインフラ部門のボトルネック性、制度的な独占の弊害を防ぎつつ、利用者向けに提供されるサービス間の公正な競争を促進する。
- ③市場支配力の濫用を防止しつつ、公益事業者による分野横断的な相互参入を促進し、ネットワーク間競争の促進とボトルネック性の緩和を実現する。

### (4) 目指すべき方向性

- ①サービスとネットワークのレイヤ構造に着目して、公益事業横断的によりシンプルな制度を構築し、公正性を確保しつつ、レイヤごとの競争及び分野横断的な競争を促進する。
- ②このため、公益事業分野、具体的には、電気通信関連法、放送関連法、電気事業法、ガス事業法等の公益事業分野ごとの縦割りの法律、及び、独占禁止法を包含した新法を制定することを検討する。
- ③新法では、新規参入の妨げになるような規制は原則ゼロからスタートし、公正競争の促進のために必要なネットワークへのアクセス関連のルールを規定するとともに、反競争的行為の排除に係る規定を中核に据えることにより、事前規制から事後規制への抜本的な転換を図る。
- ④公正競争に関係のない規制（例えば、ユニバーサルサービスの確保、緊急時対応、国家主権の確保等）については、必要最小限のものとし、かつ、競争中立的な規制とした上で、既存の各法の中に残す。
- ⑤新法の運用機関として、横断的な経済構造改革の観点から内閣府の下に、各公益事業分野に専門性を有する職員から構成される独立的な機関を設け、公正競争ルールの策定・執行・監視を行うとともに、迅速かつ

実効力をもって弊害を除去する。特に、市場の監視（モニタリング）及び競争評価を重視する。また、新機関は、紛争処理機能を持つとともに、意見具申制度を積極的に活用する。

- ⑥その際、現行の独占禁止法の運用に当たって、市場の画定及び公正競争阻害性等の立証に困難があることを踏まえ、新法では、欧州的なドミナント規制（ネットワーク着目の法律であれば十分可能）等を積極的に活用し、挙証責任の事業者への転嫁を図る。
- ⑦また、サービス部門とネットワーク部門を垂直統合的に有する市場支配的な事業者については、ネットワークインフラの開放度合いに応じて、サービスレイヤにおける自由な事業活動を認めたり、例えば電力分野の競争の状況に併せて、電力会社のガス事業又は通信事業への分野横断的な進出を認める等の対応を可能にするような制度を導入。
- ⑧なお、ボトルネックの範囲については、新機関が定義するが、物理的なインフラのみならず、顧客データ等の各種情報、認証・課金決済等のプラットフォーム、技術標準や著作権等の知的財産権、OS等のソフトウェア等の機能も指定できるようにする。
- ⑨将来的に、ネットワークのボトルネック性が薄れ、公正競争ルールの策定・執行・監視が必要なくなった場合には、新法を独占禁止法に統合することを検討する。

## 10. 終わりに

さて、振りかえってみれば、本稿は、これまでの電力制度改革の解説から始まり、今回の電力制度改革の方向性、そして従来から行われてきた制度改革とは全く別の制度改革のアプローチを2つ御紹介した。最後は多少脱線した感もあるが、もう一つだけ付け加えておきたい。

それは今後もエネルギー関連の制度改革は、歩みを止めることなく続くということであり、技術革新と相俟って、エネルギー大競争時代が創出されるということである。

本誌を御覧になれる読者の方々には殆どが技術職の方々だと推察しますが、制度改革と技術革新は時代を動かす車の両輪です。

読者の皆様のご活躍と共に、これまで私が個人的に師事してまいりました日本ガスタービン学会の理事であられた毛利邦彦氏に、深い感謝の念と、新天地でのご活躍をお祈りして、筆を置きたいと存じます。

## 参考文献

- 資源エネルギー庁 電力の部分自由化ホームページ  
[http://www.meti.go.jp/policy/electricpower\\_partiallyliberalization/contents1.html](http://www.meti.go.jp/policy/electricpower_partiallyliberalization/contents1.html)  
 総合規制改革会議 規制改革推進3ヵ年計画  
<http://www.8.cao.go.jp/kisei/siryo/030328/index.html>  
 構造改革特別区域推進本部ホームページ  
<http://www.kantei.go.jp/jp/singi/kouzou2/>

## サミットエナジーの事業戦略

川辺 豊明\*1

KAWABE Toyooki

キーワード：電源のベストミックス、ポートフォリオ

### はじめに

サミットエナジー株式会社は、住友商事株式会社と住友共同電力株式会社の Joint Venture Company として 2001 年 2 月 9 日に第 7 番目の【特定規模電気事業者】として設立・届出されました。サミットエナジーは、住友商事においては新事業の展開を託され戦略的に創設されたエネルギー事業部の中核となる事業会社であると共に、80 数年の電気事業の歴史を持ち、西日本における【みなし卸電気事業者】の雄であり、斯界では 11 番目の電力会社ともちまたで言われている住友共同電力にとっては電力小売自由化／規制緩和という洪水を乗り切るノアの方舟とも言える存在です。こうした戦略的な使命を帯びたサミットエナジーの事業戦略について、特に電源のベストミックスとポートフォリオという観点に重点を置いて説明させていただきます。

サミットエナジーの事業戦略を説明させて頂くにあたり、業界を取り巻く環境や地球環境にやさしい対応策等について次の項目に分けて解説させていただきます。

1. 電力の規制緩和の流れ
2. 電力の小売部分自由化と新規事業者(PPS)の参入
3. 電力の自由化分野の拡大
4. 中立機関の設立と卸電力取引市場の創設
5. サミットエナジー(株)の会社概要
6. 住友商事(株)エネルギー事業部の事業展開
7. 住友共同電力(株)の会社概要
8. サミットエナジーの事業展開／地球環境にやさしい電源
9. 新エネルギーと RPS 制度
10. 電源のベストミックスとポートフォリオ
11. 電力事業の要諦

### 1. 電力の規制緩和の流れ

電力の規制緩和は、1995 年 12 月と 2000 年 3 月の過去 2 回の電気事業法の改正により大きな変化を遂げてきております。

第 1 回目の 1995 年 12 月の改正電気事業法の施行によ

り、【独立系卸発電事業者 (IPP=Independent Power Producer)】及び【特定電気事業】が創設され、発電サイドの自由化へのルールがまず敷かれました。その結果、IPP による一般電気事業者である電力会社への卸供給は 1996 年～1999 年の 4 年間で 2,830 万 kw もの応札がなされ、41 件、673 万 kw (電力 10 社の 1999 年～2007 年度の発電設備増強計画分 2,600 万 kw のうちの約 26% に相当) が落札され、民間活力を利用する効用としてコスト・ダウンが可能である事がその競争力のある落札価格によって検証されました。

一方、『特電』と称される特定電気事業は、1996 年～2000 年の間は『尼崎ユーティリティサービス(株)』と『諏訪エネルギーサービス(株)』の 2 社しか認可されませんでした。2001 年～2003 年にかけて分散型電源の活用という改正電気事業法本来の狙いに沿った『六本木エネルギーサービス(株)』や『東日本旅客鉄道(株)』による特定地域(再開発地域のビル等)への供給や、『住友共同電力』による小水力発電所の買収による特定地域(旧別子山村)への供給という事業認可を受けその広がりを予見させる動きとなっています。

第 2 回目の 2000 年 3 月の改正電気事業法の施行により、【特定規模電気事業】が創設され、一般電気事業者である電力会社の送電線網の利用を義務づけた特別高圧需要家(2 万 V 受電、原則 2 千 kw 以上の契約電力の需要家)への小売が自由化されました。(図 1 参照)

### 規制緩和の流れ(電気事業法の改正)

- ◆ 1995年12月 『卸発電事業(IPP)』が認められ入札が始まる。  
『特定電気事業』の創設
- ◆ 2000年3月 電力小売の一部自由化  
『特定規模電気事業(PPS)』の創設

特別高圧顧客(契約2MW、20KV以上受電)向け販売が自由化される。顧客数：約8,300口、2,200億kwh/年全国販売電力量の約 26%、2.8 兆円/年の市場開放

2004年～2005年には高圧顧客向け販売も自由化決定。

図 1 規制緩和の流れ(電気事業法の改正)

原稿受付 2003 年 6 月 4 日

\* 1 サミットエナジー株式会社 代表取締役社長  
〒104-8610 東京都中央区晴海 1-8-11

2. 電力の小売部分自由化と新規事業者(PPS)の参入

2000年3月の改正電気事業法の施行以降【特定規模電気事業】を行うPPS(Power Producer and Supplier)と称される特定規模電気事業者は計11社が届出され、本年4月に旭硝子-北九州工場の届出廃止により現在10社となっております。(特定規模電気事業者の詳細については図2参照)2000年3月の改正電気事業法施行以降PPSは10社余り参入しましたが、一般電気業者である電力会社からの離脱需要は総電力需要の未だ1%にも満たない状況です。その背景としては、電力会社による過去2回の電力料金改定(値下げ)が挙げられます。一方、PPSが電力会社と競争出来る分野は、PPSにとって託送料金(送電線使用料、連系線使用料等がそのコスト要因)が大きな負担となっている事から、特別高圧需要分野で電力会社と競争出来る分野は販売電力単価における託送料金の比重が小さい業務用需要に殆ど限定されているのが実態です。しかしながら特別高圧業務用電力料金は、PPSと電力会社間の競争が起きたことから2000年10月の10電力会社の一斉料金改定と2002年4月から10月にかけてのさみだれ料金改定という2回の料金改定を経て約20-25%からの値下がりを実現されております。特別高圧分野が開放された事による自由化分野のシェアは全国販売電力量の約26%、2,200億kwh/年、顧客数約8,300口、売上2.8兆円/年となっております。

3. 電力の自由化分野の拡大

電力自由化分野の拡大の議論は電気事業分科会での討議を経て、本年2月電力の自由化分野を次のスケジュールで拡大する事が決定されました。

- 1) 2004年4月以降……契約電力500kw以上、2,000kw未満  
受電電圧6kVの高圧需要家(高圧B及び高圧業務用)
- 2) 2005年4月以降……契約電力50kw以上、500kw未満  
受電電圧6kVの高圧需要家

(高圧A及び高圧業務用)

- 3) 2007年度以降………低圧・電灯分野(契約電力50kw未満、受電電圧100~200V)を自由化するかどうかの議論を始める

上記1)2)の高圧分野が自由化された時点での自由化分野のシェアは全国販売電力量の約63%、5,200億kwh、顧客数約748,000口となります。(図3参照)

4. 中立機関の設立と卸電力取引市場の創設

電力の自由化分野の拡大議論のなかでその必要性が大きく浮かび上がってきたのが系統運用に関する紛争等を裁く【中立機関】と【卸電力取引市場】です。電気事業分科会での討議を踏まえ【中立機関】と【卸電力取引市場】については2005年4月1日の創設に向けて設立準備が開始されました。

5. サミットエナジー(株)の会社概要

サミットエナジーは、住友商事株式会社(70%出資)と住友共同電力株式会社(30%出資)の合弁事業会社として2001年2月9日に第7番目の【特定規模電気事業者】として設立・届出されました。サミットエナジーは、住友商事においては新事業の展開を託され戦略的に創設されたエネルギー事業部の中核となる事業会社であり、80数年の電気事業の歴史を持ち、西日本における【みなし卸電気事業者】の雄であり、斯界では11番目の電力会社ともちまた言われている住友共同電力にとっては、電力小売自由化/規制緩和という時代の流れに即応する新事業として位置付けされております。(図4、図5、図6、図7参照)

6. 住友商事(株)エネルギー事業部の事業展開

サミットエナジーは、住友商事においては新事業の展開を託され戦略的に創設されたエネルギー事業部の中核となる事業会社であります。エネルギー事業部では風力発電事業、電力小売事業、エネルギーソリューション事業を3本柱として事業展開しており、風力発電所、石炭

新規参入・特定規模電気事業者

サミットエナジー	住友商事70%・住友共同電力30%	4ヶ所の電源	85.9 MW
エネット	NTTフアンリティーズ40%・東京ガス30%・大阪ガス30%		599.2 MW
ダイヤモンドパワー	三菱商事100%		618.8 MW
イーレックス	三井物産23.8%・日短キャピタルグループ29.8%・上田短資29.8%・大成建設11.9%・興銀4.7%		88.7 MW
新日鉄	旭化成-袖ヶ浦、旭化成-延岡工場 他		85.0 MW
大王製紙	伊予三島工場より供給		524.1 MW
丸紅	三峰川電力、日立造船-川崎より供給		35.1 MW
サニックス	03年4月1日から北海道電力に余剰電力メニューで卸供給を開始(小売には参入出来ず)		(74.0 MW)
新日本石油	新日石-根岸及び横浜、新日石化学-川崎 他		(94.7 MW)
GTF研究所	日揮40%、三井物産40%、石川島播磨重工業 20%		47.7 MW
		2003年4月1日より小売事業開始	

(2003年4月4日現在の小売用電源として経済産業省資源・エネルギー庁への出力届出数値)【小売可能電力 < 届出出力 のケースが多い】

図2 新規参入・特定規模電気事業者

電力自由化分野の拡大

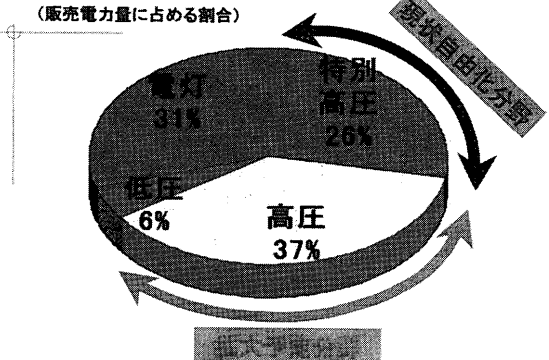


図3 電力自由化分野の拡大

焼き／都市ガス焼き／バイオマス焼き火力発電所の建設を積極的に展開しております。(図8, 図9 参照)

### 7. 住友共同電力(株)の会社概要

住友共同電力は1919年2月に会社が設立された長い歴史を誇る電気事業者であります。第二次大戦中は電力国家管理法のもと日本発送電(株)への出資も行っております。1963年には電気供給事業に加え蒸気供給事業も開

始しました。みなし卸電気事業者として地元新居浜の関係会社への特定供給を行うと共に、本年4月からは旧別子山村森林組合から1,000kwの小水力発電所を買収し、新居浜市との市町村合併となった400戸超の旧別子山村(現在は新居浜市別子山)への電気を供給する特定電気事業も開始しました。(⇒【電気事業者による新エネルギーの利用に関する特別措置法】RPS(Renewable Portfolio Standard)法により小水力発電所からの電気

## サミットエナジー(株)の会社概要

- ◆ 設立 : 平成13年2月9日
- ◆ 資本金 : 5千万円
- ◆ 株主 : 住友商事(株) 70%  
住友共同電力(株) 30%
- ◆ 事業目的 : 特定規模電気事業  
(電力小売事業)
- ◆ 所在 : ●本社  
東京都中央区(住友商事(株)内)  
●オペレーションセンター  
愛媛県新居浜市(住友共同電力(株)内)

図4 サミットエナジー(株)の会社概要

## 電力供給システム

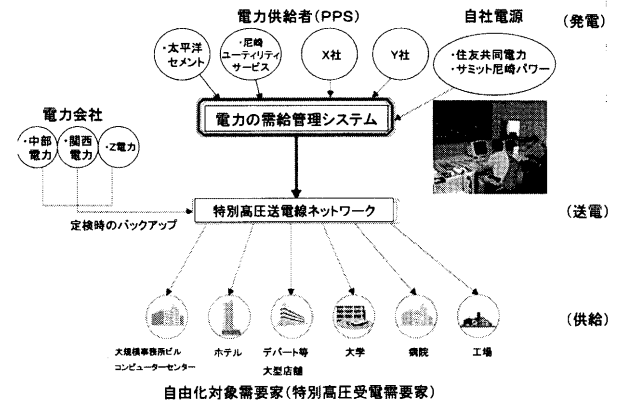


図7 電力供給システム

## 主な販売先

(2003年4月現在)

- ★大阪市庁舎 殿
- ★愛知県庁舎 殿
- ★名古屋市庁舎 殿
- ★岐阜県庁舎 殿
- ★住友商事(株) 淀屋橋ビル 殿
- ★(株)高島屋 京都店 殿
- ★住友化学工業(株) 宝塚研究所 殿
- ★スーパーA社 殿
- ★複合店舗施設 B社 殿 等

様々な業態のお客様に供給をしております。

図5 主な販売先 (2003年4月現在)

## サミットウインドパワー酒田(株)風力発電所・計画図

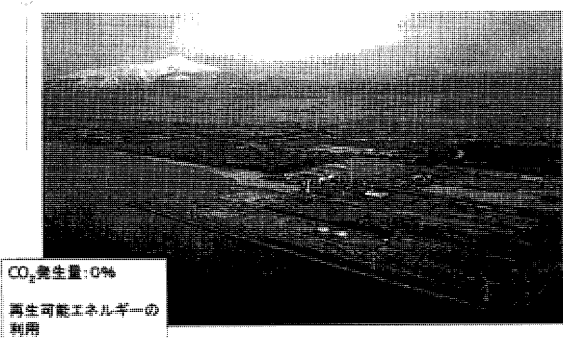


図8 サミットウインドパワー酒田(株)風力発電所・計画図

## サミットエナジー(株)のオペレーションセンター (愛媛県新居浜市)

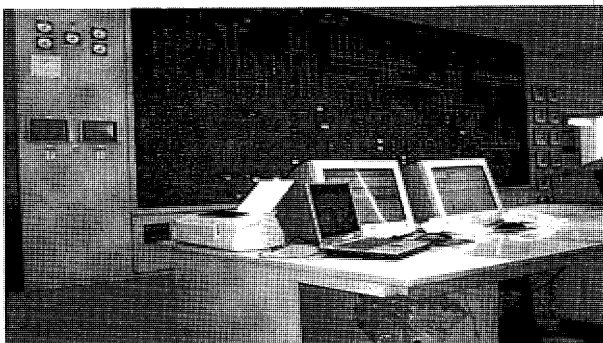


図6 サミットエナジー(株)のオペレーションセンター  
(愛媛県新居浜市)

## サミットウインドパワー酒田(株)風力発電所・計画図

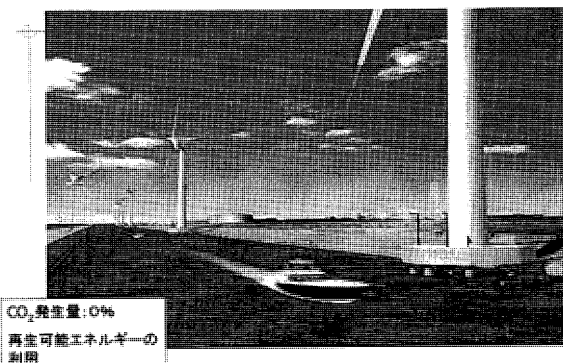


図9 サミットウインドパワー酒田(株)風力発電所・計画図

定電気事業で販売される電気については新エネルギー等電気としての付加価値がつきます) 同社は石炭焚き火力発電所を3箇所、計約42万kw、水力発電所を10箇所、計約8万kwの総計50万kwの発電端出力を有しております。(表1、図10、表2参照)

表1 住友共同電力(株)の火力発電設備

住友共同電力(株)の火力発電設備

名称	最大出力(kW)	使用燃料	完成年月
新居浜東火力	1号機 22,500	石炭	昭和44.2
新居浜西火力	1号機 75,000	石炭	昭和34.8
	2号機 75,000	石炭	昭和37.9
壬生川火力	1号機 250,000	石炭	昭和50.3
計	422,500		

住友共同電力(株) / 壬生川火力発電所の完成予想図 (重油焚きから石炭焚きへ燃料転換後)

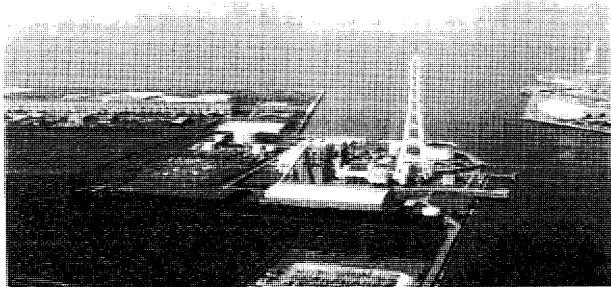


図10 住友共同電力(株) / 壬生川火力発電所の完成予想図 (重油焚きから石炭焚きへ燃料転換後)

表2 住友共同電力(株)の水力発電設備

住友共同電力(株)の水力発電設備

名称	水系	発電方式	最大出力(kW)	完成年月
大保木	加茂川	水路式	3,000	大正14.3
高敷	吉野川	水路式	14,300	昭和5.10
兔之山	加茂川	水路式	7,500	昭和28.1
仙頭	物部川	水路式	7,000	昭和32.7
川口	物部川	水路式	7,000	昭和32.11
五王堂	物部川	水路式	11,100	昭和35.7
東平	吉野川、国領川	ダム水路式	20,000	昭和41.4
山根	国領川	ダム水路式	6,700	昭和41.4
黒瀬	加茂川	ダム式	2,000	昭和57.9
計			78,600	

8. サミットエナジーの事業展開 / 地球環境に

やさしい電源

サミットエナジーは2001年7月1日から関西電力管内での小売を皮切りに事業を開始、同年10月1日からは中部電力管内でも小売事業を開始し現在に至っております。2004年度からは60Hzのエリアでの小売に加え、50Hzエリアである東日本地区での事業展開も開始予定です。サミットエナジーは電力小売に特化し、新規電源としての発電所の建設は親会社である住友商事が事業投資を行うという連係一体運営を行っております。50Hzエリアでの3つの発電所はベースロード電源としての石炭焚き熱・電併給型発電所(『サミット小名浜エスパワー(株)』福島県いわき市小名浜)、ミドルロード電源としての木屑バイオマス発電所(『サミット明星パワー(株)』新潟県糸魚川市)、ピークロード電源としての都市ガス焚き熱・電併給型ガスタービン発電所から構成されており、地球温暖化防止にも配慮した環境負荷の低い発電所づくりに極力腐心しております。特に我が国では最先端をゆく発電端出力50MWの木屑バイオマス発電所は、環境負荷の低い発電所づくりを目指した結果として本年4月1日施行のRPS(Renewables Portfolio Standard)法にも合致した先進の発電所として世界にも誇

サミットエナジーの事業展開① (西日本地域)

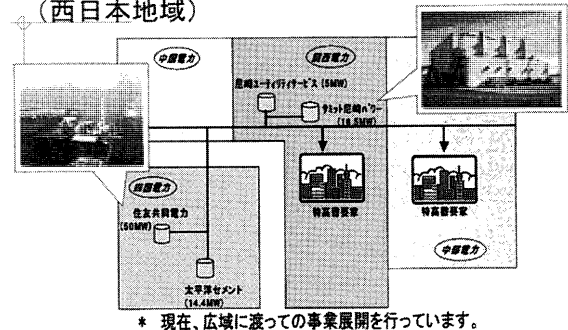


図11 サミットエナジーの事業展開① (西日本地域)

サミット尼崎パワー(株) / ガスエンジン

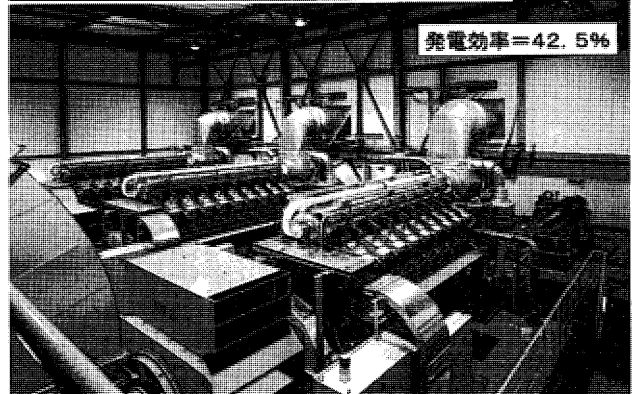


図12 サミット尼崎パワー(株) / ガスエンジン

れるものになると期待しております。

これら3つの発電所は今後ますます厳しくなると思われる自由化分野での電力会社との競争に打ち勝つ事が出来る競争力のある電気をつくる発電所として重要な役割を担っております。(図11, 図12, 図13, 図14, 図15, 図16参照)

### サミットエナジーの事業展開② (東日本地域)

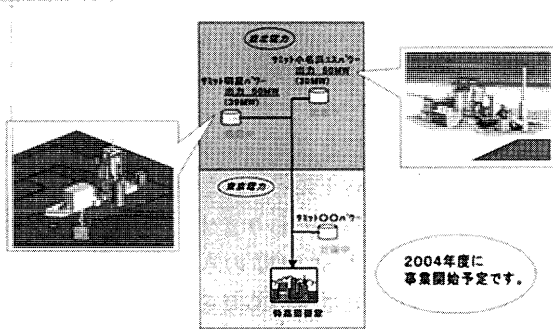


図13 サミットエナジーの事業展開② (東日本地域)

### 将来電源活用のベストミックス

- ◆サミット小名浜エスパワー(福島県) 50MW  
ベース電源 石炭微粉炭 蒸気活用  
総合効率54%
- ◆サミット明星パワー(新潟県) 50MW  
ミドル電源 バイオマス燃料(木屑) 新エネ助成金 RPS制度活用  
発電効率35%

図14 将来電源活用のベストミックス

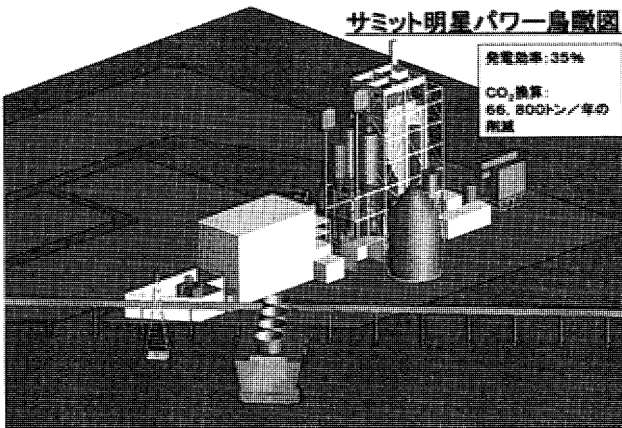


図15 サミット明星パワー鳥瞰図

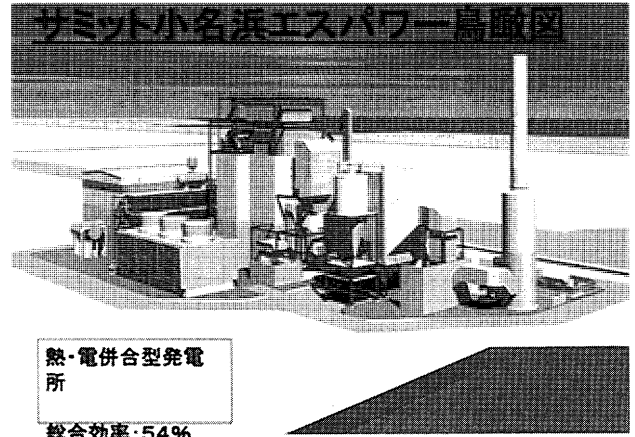


図16 サミット小名浜エスパワー鳥瞰図

### 9. 新エネルギーとRPS制度

2002年6月に公布された【電気事業者による新エネルギーの利用に関する特別措置法】(RPS法)は、2003年4月1日より施行されております。いまだ新エネルギー等電気(以下《RPS電気》と称する)の肩代わり・売買の報告はありません。RPS電気の評価が法律で設定された@¥11/kwhの最上限近辺で張り付くのか風力発電の入札価格等から類推される@¥5.50/kwh前後となるのかによって、新エネルギーの導入が加速されるか減速されるかが決まってくると思われれます。サミットエナジーではRPS電気義務量については、親会社である住友共同電力が小水力発電の電気を特定電気事業で販売する事で確保するRPS電気と、親会社である住友商事が木屑バイオマス発電の電気をサミットエナジーを通じて特定規模電気事業で販売する事で確保するRPS電気により十分達成可能であり、トップランナーの位置も狙える立場におります。

### 10. 電源のベストミックスとポートフォリオ

サミットエナジーの事業戦略の根幹は、自社電源(親会社である住友商事が建設する電源)と余剰電源のベストミックスを図る事により「リスク・アセット」の圧縮をはかると共に、電源のネットワーク化により余剰電源の保有者にも定検時補給の相互補完メリットを享受して頂く等お互いがメリットを享受する「Win-Win」の関係を構築する事にあります。これは、電力需要家にも当てはまる図式であり、電力需要家はPPSから電力を購入する事により、電気の質、供給安定性には何ら変わりがなく確実にコスト・ダウンのメリットを享受受け、PPSも適正な利益を確保するWin-Winの関係が構築可能です。

一方、電源のポートフォリオという観点から、サミットエナジーは環境負荷の低い地球環境にやさしい電源をポートフォリオとして組み込む努力を早くからしており、国策である新エネルギーの導入では親会社である住友商事が建設する木屑バイオマス発電所である『サミット明



星パワー』や都市ガス焼きコジェネ発電所（名称未定）が挙げられます。競争力のある発電コストの維持と地球環境にやさしい発電所建設とは矛盾する一面を持っていますが、RPS法の活用や新エネ助成金制度の活用等でそうしたハードルをクリアし続ける覚悟です。（図17、図18参照）

### 電源のベストミックスとポートフォリオ

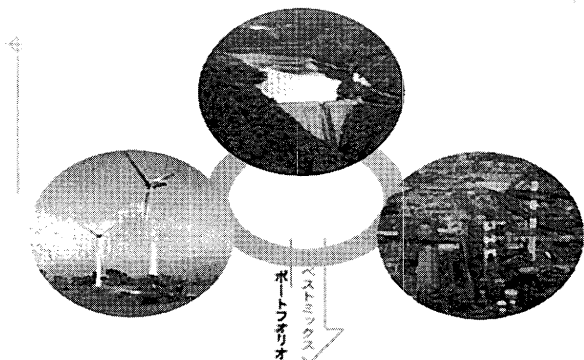


図17 電源のベストミックスとポートフォリオ

### ガス・タービン発電所の事例

発電所名・場所	事業当事者	発電出力	備考
		(機種)	(事業投資額)
●サミット〇〇パワー(ブランク)	住友商事 (100%)	〇〇 MW	PPS: サミットエナジー(ブランク)
●市原パワー (千葉-市原)	電源開発/三井造船 (60%/40%)	107 MW	PPS: 新日鉄 (IHI: LM6000) (100億円)
●東京ガスベイパワー (千葉-袖ヶ浦)	東京ガス (100%)	100 MW	PPS: I4eta (日立製作所: F6FA) (50億円?)
●イースクエア (千葉-袖ヶ浦)	荏原製作所/エネット (65%/35%)	98 MW	PPS: エネット (荏原製作所: FT8) (100億円)
●五井エネエナジー (千葉-市原)	日立製作所/チッソ/イーレックス (85%/10%/5%)	112 MW	PPS: イーレックス (日立製作所: H25) (???)
●GTF研究所 (茨城-鹿島)	日揮/三井物産/IHI (40%/40%/20%)	48 MW	PPS: GTF研究所 (IHI: LM6000) (???)
●大阪ガス(姫路)	大阪ガス (100%)	50 MW	PPS: エネット (IHI: LM6000) (45億円)

図18 ガス・タービン発電所の事例

### 11. 電力事業の要諦

電力事業の要諦は一に安定供給、二に価格競争力と理解しております。この二つを同時に成し遂げてはじめて事業の安定・拡大が成し得ると考える次第です。一方、電力小売事業には当然の事ながらリスクが伴いますが、その点は親会社2社（住友商事と住友共同電力）がそれぞれに持つ強味（住友商事の総合力と住友共同電力のノウハウ・経験）を最大限活用し、今後ともリスクマネージメントしてゆく所存です。（図19参照）

### 電力事業におけるリスク・マネージメント

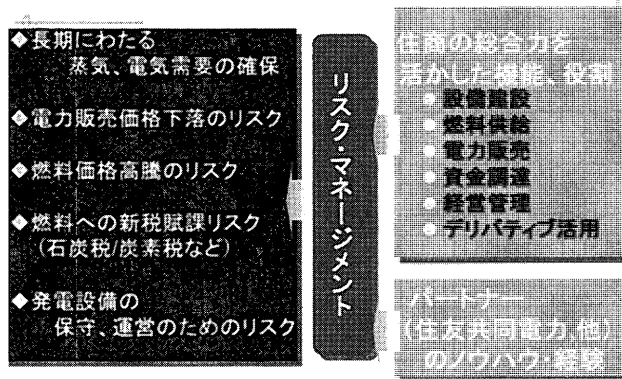


図19 電力事業におけるリスク・マネージメント

## 大阪ガスの電力ビジネス用発電設備について

小西 孝治\*<sup>1</sup>

KONISHI Takaharu

上田 悦夫\*<sup>2</sup>

UEDA Etsuo

田中 啓一\*<sup>1</sup>

TANAKA Keiichi

岩井 聡\*<sup>1</sup>

IWAI Satoshi

キーワード：電力規制緩和、ガスタービン、膨張タービン、LNG、コンバインドサイクル、  
吸気冷却、熱電可変型

### 1. はじめに

近年、我が国における電力事業の規制緩和が進展しており、1995年12月から、IPP制度（独立系発電事業）の創設により卸供給制度の自由化が実施され、また2000年3月から特別高圧需要家（契約電力2,000kW以上、受電電圧2万V以上）に対する特定規模電気事業（いわゆる電力小売事業）が自由化されている。さらに、総合資源エネルギー調査会（経済産業大臣の諮問機関）電力事業分科会では、電力小売の自由化範囲を拡大する方針であり、2004年4月から契約電力500kW以上、2005年4月から50kW以上が自由化対象になり、2007年4月から家庭用まで含めた電力小売の全面自由化の検討が開始される予定である。

このような規制緩和の状況の下、大阪ガス(株)は1996年度の関西電力(株)による卸電力入札において落札し、西島地区に15万kWの発電設備（西島エネルギーセンター、以下西島EC）を建設し、2002年4月より商用運転を開始している（事業主体は大阪ガス100%出資子会社の株式会社ガスアンドパワー）。また、LNGの製造工場である泉北製造所（大阪府堺市）に自家発電兼小売電源として熱電可変型ガスタービンコンバインドサイクル発電システム（1.8万kW）を建設し、2002年7月から運転を開始し、電力託送制度を利用した小売事業への活用と、熱電需要の変動にフレキシブルに対応した高効率運転を実現している。

さらに現在、もう1つのLNG製造工場である姫路製造所内に約5.2万kWの発電設備を建設中であり、2004年6月の運転開始を目指している。この姫路製造所内発電設備はLNGの冷熱を吸気冷却に利用するなど、LNG基地のインフラを活用することによる競争力強化を図っており、所内需要を超える電力については、電力託送制度を利用した小売事業に活用する計画である。

本稿では、ガス事業の既存インフラ利用や、熱電可変システム導入など、様々な工夫により競争力強化を実現した大阪ガスの発電設備について紹介する。

### 2. 西島エネルギーセンター（IPP事業用発電設備）

#### 2.1 設置場所

西島ECは、大阪ガスの旧西島製造所用地（大阪市此花区）に建設した、関西電力への電力卸供給を行うIPP事業（電力卸供給事業）用発電設備である。設置場所選定の理由はつぎのとおりである。

- 1) 高圧の都市ガス導管の敷設経路に立地しており、ガスコンプレッサで昇圧せずに供給圧力のままでガスタービン燃料として使用可能な高圧の都市ガスが入手できる。
- 2) 都市ガス製造所跡地であり、社有地、港湾施設の有効利用ができる。また、工業用水の利用が可能である他、公共下水道へのアクセスも良い。
- 3) 関西電力西島変電所に近く、特高受電時の送電線管路も残っており、電力会社の送電系統へのアクセスがよい。
- 4) 都市ガスのガバナステーションが近傍に設置されるため、ガス圧力エネルギー回収発電による省エネルギー、環境負荷の低減が図れる。

#### 2.2 設備概要

表1に西島EC設備・運用概要、図1に西島EC概観写真を示す。

発電システムは、「ガスタービンコンバインドサイクル発電」と都市ガスを供給する際の圧力エネルギーを利用する「ガス圧力エネルギー回収発電」の複合発電システムである。発電の規模は約15万kW（ガスタービンコンバインドサイクル発電14.5万kW、ガス圧力エネ

表1 西島EC設備・運用概要

発電方式 設備容量	ガスタービンコンバインドサイクル発電	144,900kW
	ガス圧力エネルギー回収発電	5,000kW
	合計	149,900kW
発電効率	49.8%（送電端、LHV基準）	
運転 パターン	ピーク型（稼働率30%±10%） 平日8～22時の定格運転が中心	
年間発電量	3.8億kWh	
ガス使用量	時ガス：27千m <sup>3</sup> /時 年間使用量：74百万m <sup>3</sup> /年	
供給期間	15年（2002年4月～2017年3月）	

原稿受付 2003年6月13日

\*1 大阪ガス株式会社 エンジニアリング部  
〒541-0046 大阪市中央区平野町4-1-2

\*2 大阪ガス株式会社 泉北製造所



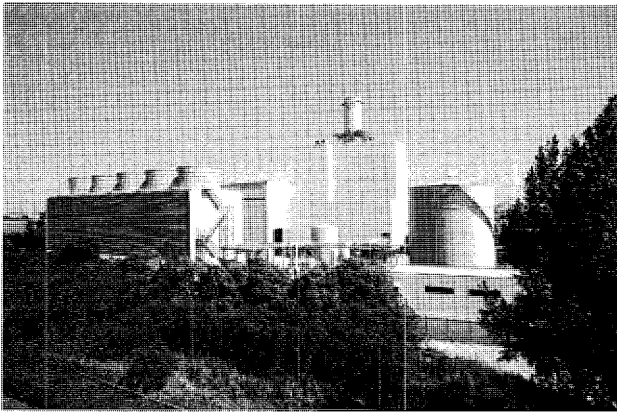


図1 西島 EC 概観写真

ルギー回収発電 0.5 万 kW) で、燃料を必要としないガス圧力エネルギー回収発電の寄与により約 51% (低位発熱量基準) という極めて高い発電端効率を実現している。燃料は、都市ガス 13 A (天然ガス) で、高压供給されている。

発電所の運転タイプはピーク型で、年間基準利用率は 30% である。標準的な運転時間は月曜から金曜の午前 8 時から午後 10 時までの 14 時間運転で、事前に電力会社から指示を受けた一定負荷による運転を行う。

### 2.3 ガスタービンコンバインドサイクル発電設備

ガスタービンコンバインドサイクル発電には、三菱重工業製 M 501 DA 形ガスタービンを採用している。M 501 DA は、60 Hz 用の 1250°C 級ガスタービンで、初号機は平成 6 年に運開しており、国内の火力発電所で安定した稼働実績を持っている。蒸気タービンは衝動式混圧復水タービンで、高压蒸気は 6.7 MPa、538°C の過熱蒸気、低压蒸気は 0.4 MPa の飽和蒸気である。

発電設備はガスタービンと蒸気タービンが同軸で 1 台の発電機を駆動する 1 軸式である。起動は、起動用の補助ボイラを使用して蒸気を発生させ、蒸気タービンを駆動してガスタービンを始動する方式である。

### 2.4 ガス圧力エネルギー回収発電設備

都市ガスはガス製造所から高压で送出された後、輸送パイプライン途中に設置されている「ガバナステーション」に設けられた「整圧器 (ガバナ)」にて段階的に減圧され、お客様のもとへ供給される。整圧器はバルブでの絞りによって高压の都市ガスを減圧するものであるが、ガス圧力エネルギー回収発電はこの整圧器に並列に設置され、整圧器が制御するガスの供給圧力の落差の中で高压ガスを膨張タービンで膨張させることにより発電機を駆動し、圧力エネルギーを電力に変換するものである。従来は、整圧器で熱エネルギーとして捨てていた都市ガスの圧力エネルギーを電力として有効利用するものであり、未利用エネルギー活用システムのひとつである。発電に際し燃料が不要で排気ガスが出ないため、省エネルギー性が高く、大気への環境負荷がない。

西島 EC でも膨張タービンによるガス圧力エネルギー

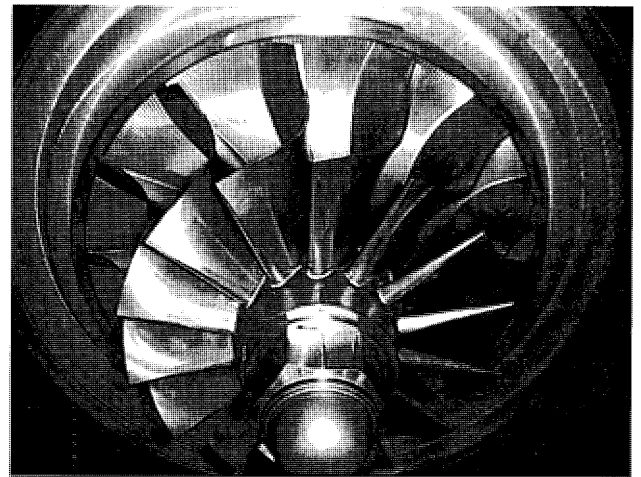


図2 膨張タービンインペラー

回収発電を行っており、膨張タービンは、三菱重工業製可変ノズル付ラジアルタービンを採用している。ラジアルタービンは単段にて多段軸流タービンと同等の効率があり、可変ノズルにより部分負荷時でも高効率である。膨張タービンでの膨張工程はほぼ等エントロピ膨張であり、外部に仕事を行うことにより内部エネルギーが減少してタービン出口ガス温度が大幅に低下するので、作動ガスである都市ガスは、排ガスボイラで発生した蒸気により予熱して膨張タービンに導いている。

図 2 に膨張タービンのインペラーを示す。

### 2.5 システムフロー

図 3 に発電システムの概略フローを示す。

ガスタービンの燃料は高压 (3.5 MPa ゲージ) の都市ガス導管から分岐して制御弁により流量調整して供給され、燃焼器にて燃焼して高温高压の作動ガスとなる。燃焼器には乾式低 NOx 燃焼器を使用し、予混合燃焼により NOx の発生を抑制する。また、排ガスボイラは縦型の複圧式で、排煙脱硝装置が組み込まれており、NOx の排出濃度は 4 ppm (O<sub>2</sub>=16% 換算) である。復水器の冷却水は、冷却塔循環水を使用する。冷却塔はクロスフロー式で、低騒音型送風機を装備し、景観対策として白煙防止機構を設けている。

ガス圧力エネルギー回収発電用の都市ガスは、高压の都市ガス導管から分岐して膨張タービンに導かれる。都市ガスの膨張タービンの定格入口圧力は 3.5 MPa ゲージ、定格のガス流量は 260,000 m<sup>3</sup>N/h である。膨張タービンで膨張した後の圧力は 1.5 MPa ゲージであり、ガス導管によりガバナステーションへ送られる。都市ガスの予熱温度は 60°C であり、排ガスボイラで発生した蒸気のうち低压蒸気の一部を、この目的に使用している。

冷却塔の補給水とボイラ補給水には、大阪市の工業用水を使用する。プラントからの排水は適切な処理をした後、大阪市の公共下水道へ放流している。

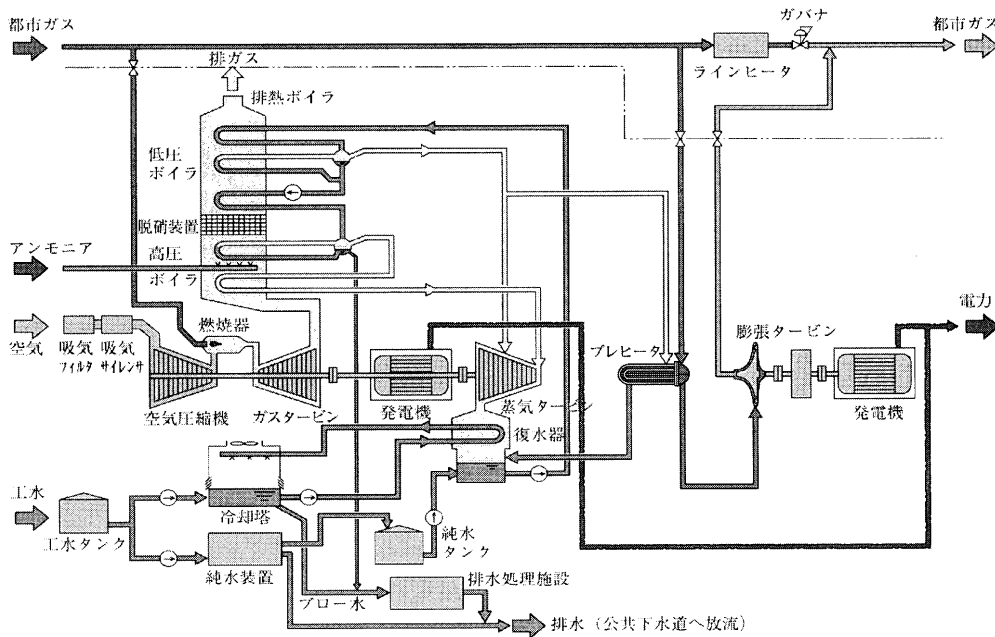


図3 発電システム概略フロー (西島 EC)

3. 自家発電小売電源 (泉北第一工場)

3.1 設置場所

大阪ガス(株)泉北製造所第一工場 (大阪府堺市) に設置しており、発電した電力は工場で自家消費すると共に、余剰電力は電力託送制度を利用して電力小売事業に活用している。

LNG工場では、ガスタービンコンバインドサイクル発電設備の稼働に必要な冷却水・燃料・計装設備用エア等のユーティリティの調達が極めて容易である。特に、燃料については都市ガス製造プロセスから分岐取り出しすることにより、ガスタービン専用のガス圧縮機の設置が不要となり、イニシャルコストの低減につながっている。

また、工場内には蒸気及び電力需要があることから、排熱回収蒸気については、熱電可変型特性を活用し、電力需要の増加する夏期は復水式蒸気タービンへ優先的に導入し発電量の増加を図り、蒸気需要の増加する冬期および電力需要の減少する夜間は工場の製造プロセス (空気液化分離プラント・LPG 蒸発設備・ガス昇温用ヒーター等)へ優先的に供給することで、経済性の向上を図っている。

3.2 設備概要

表2に設備仕様、図4に設備概観写真を示す。

ガスタービンは単機容量 7,000 kW クラスでは世界最高水準の高効率機種を採用しており、発電出力 9,000 kW のコンバインドサイクルを 2 系列設置している。発電システムは、ガスタービン、発電機、蒸気タービンを同一軸上で結合させた一軸式を採用しており、このクラスではこれまでに導入例のないシステムである。多軸式のものと比較して部分負荷効率が高く、起動停止が容易であり、保守性にも優れている。また、熱電可変型ガス

表2 泉北第一工場/自家発電小売電源の仕様

発電方式	1軸式ガスタービンコンバインドサイクル発電設備 (熱電可変型)
発電出力	9,000kW×2 系列=18,000kW
ガスタービン	6,600kW×2 系列
スチームタービン	2,400kW×2 系列
排熱ボイラ	5t/h×2 系列
燃料	天然ガス(未熱量調整ガス) 2,999kg/h (3,610m <sup>3</sup> N/h)
発電効率	44.0%LHV
吸気冷却装置	蒸気焼き吸収式冷凍機 (400USRT) を設置し、その冷水によりガスタービン吸気を冷却
復水冷却方式	冷却塔冷却方式
NOx 低減	希薄予混合燃焼
脱硝方式	尿素脱硝
NOx 濃度 (O <sub>2</sub> =0%)	脱硝設備出口 30ppm 未満
蒸気供給	構内供給 0~10t/h

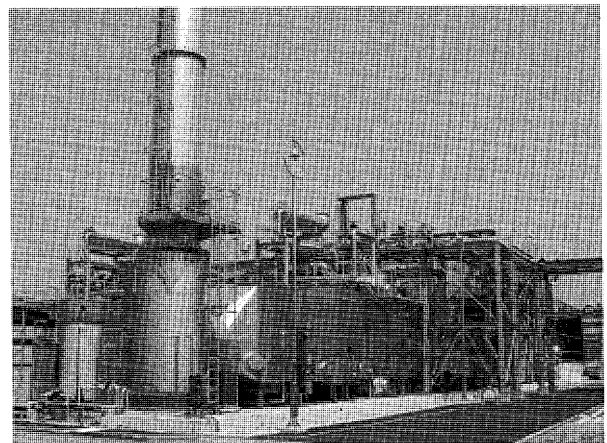


図4 泉北第一工場/自家発電小売電源の概観写真

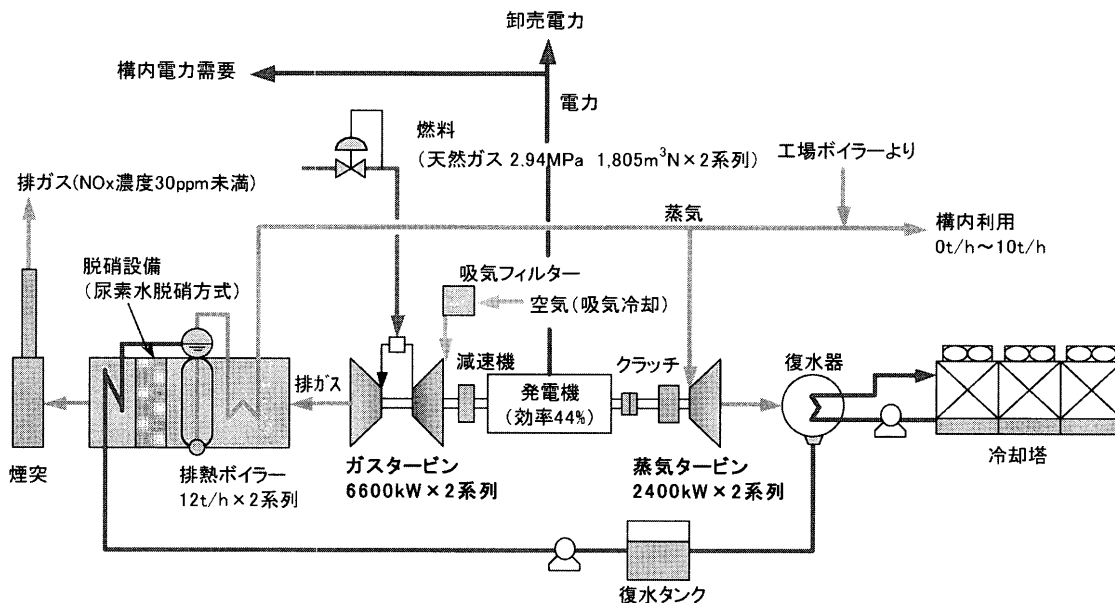


図5 泉北第一工場／自家発電兼小売電源の概観フロー

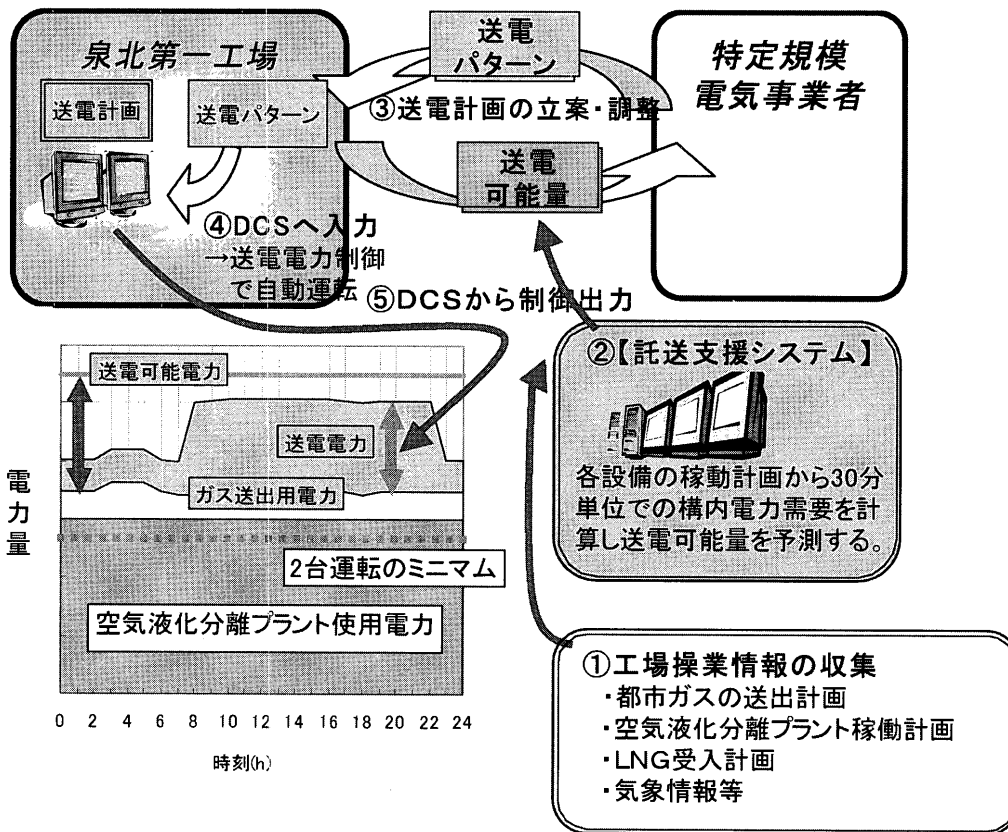


図6 設備運用フロー

タービンコンバインドサイクルであり、電力需要と排熱（蒸気）需要パターンが変動する場合にもフレキシブルな対応が可能である。

ガスタービンの吸気冷却装置を設置しており、蒸気焼き吸収式冷凍機で冷却した冷水により、ガスタービン吸気を冷却し、夏季の発電出力低下の回復を図っている。

NOx 低減方法として、希薄予混合燃焼方式を採用し、また排ガス処理に尿素脱硝設備を設置することで、NOx

排出濃度 30 ppm (O<sub>2</sub> = 0% 換算) 未満を達成している。

### 3.3 システムフローと運用

図5に発電システムの概略フローを示す。

ガスタービンの燃料は都市ガス製造ラインから分岐して必要圧力まで減圧して供給され、ガス使用量は約 3,610 m<sup>3</sup>N/h である。燃焼器には乾式低 NOx 燃焼器を使用し、予混合燃焼により NOx の発生を抑制している。排熱ボイラーで発生した蒸気は蒸気タービンに導くかあ

るいは工場内のプロセス蒸気として使用する。

運用については、ガスタービンコンバインドサイクル発電システムは変動する構内電力に追従しながら、一方で予め決められたパターンにしたがって送電できるように、発電量の制御を行っている（パターン運転）。

このシステムの運用手順について、図6に示した設備運用フローを用いて以下に紹介する。

①工場操業情報の収集

構内電力需要および構内発電設備（当工場にはガスタービンコンバインドサイクルの他に天然ガスの直膨タービン発電設備が設置されている）の発電電力量の予測に必要な工場操業情報として、都市ガスの送出計画、空気液化分離プラントの稼働計画、気象情報、LNG受入の有無等の情報収集を行う。

②送電可能電力量の予測

①項にて収集した操業情報を「託送支援システム」に入力する。託送支援システムは発電可能電力量と構内電力需要予測を行い、30分毎の送電可能電力量を予測する。

③送電計画の立案・調整

託送支援システムを用いて求めた送電可能電力量を元に「送電パターン」を作成し、特定規模電気事業者と「送電パターン」の調整を行い、確定させる。

④送電パターンの送電制御用DCSへの入力

送電パターンを送電制御用DCSへ入力する。

⑤送電制御用DCSの制御

送電制御用DCSは通常「送電電力制御モード」で制御を行う。刻々と変化する構内需要に応じて、送電電力量が予め決められた送電パターンと30分ごとに一致するように、発電機出力を調整する。

4. 姫路製造所内発電設備

4.1 設置場所

2004年6月の運転開始を目指し、大阪ガス(株)姫路製

造所内（兵庫県姫路市）に建設中である。自家発電電力小売り電源である点は泉北第一工場の発電設備と同様であり、電力託送制度を利用して小売事業に活用する計画である。

発電設備はLNG気化器エリアに隣接した場所に設置し、LNG冷熱などのガス製造インフラを有効活用する。この活用により、発電設備の建設コスト及びランニングコストの削減が期待できる。

4.2 設備概要

表3に設備仕様を示す。

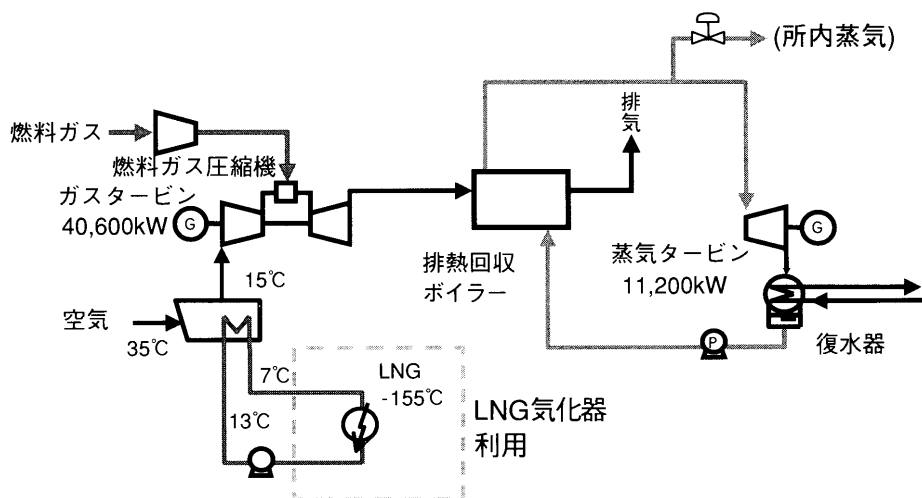
発電方式は、熱電可変型ガスタービンコンバインド発電システムであり、世界最高水準の発電効率である航空機転用型ガスタービンを採用することで、計画発電効率が50.2%と大型の火力発電所並みの極めて高い発電効率を達成する見込みである。

本発電設備は基本的にDSS (Daily Start and Stop) 運転を行い、発電設備から得られる電力及び排熱回収蒸気で製造所内のエネルギーを賄い、都市ガス製造原価の低減を図る。所内需要を超える電力（最大約47,000kW）については電力託送制度を利用し、特定規模電気事業者へ卸供給を行う予定である。本発電設備は、ガスタービン、発電機、蒸気タービン、排熱回収ボイラー、他の付属設備から構成されるコンバインドサイクル発電設備である。発電設備の概略フローを図7に示す。図中、破線で囲った設備は、既設のガス製造インフラである。

ガスタービンの燃焼排ガスを利用した排熱回収ボイラーで発生した蒸気は蒸気タービンに導かれ、蒸気ター

表3 姫路製造所内発電設備の仕様

項目	仕様
発電方式	熱電可変型ガスタービンコンバインドサイクル発電システム
発電出力	51,800kW
使用燃料	天然ガス
排熱回収	蒸気送気量 0~5t/h
冷却方式	海水冷却
Nox対策	乾式低Nox燃焼器とアンモニア脱硝装置



< LNG冷熱利用 > LNG冷熱利用吸気冷却システム

図7 姫路製造所内発電の概略フロー

ピンを駆動して発電した後、復水器にて冷却され、凝縮し、再循環される。

ガスタービンの夏季の出力低下を抑制するために、既設 LNG 気化器を利用して、LNG 冷熱による吸気冷却を行う。

4.3 LNG 冷熱を利用したガスタービンの吸気冷却

吸入空気の温度が上昇すればガスタービンの出力が減少するため、出力を維持するためには吸気冷却装置が必要となる。図 8 の発電設備出力の大気温度特性に示すように、吸気冷却装置を用いて、吸入空気温度を 35℃ から 15℃ に冷却することで、夏季のガスタービンコンバインドサイクルの発電端出力を約 15% 回復することができる。

本発電設備では、既設の LNG 気化器を利用し、LNG を蒸発させることにより冷やされた循環水で吸入空気を冷却する計画である。一般的に、吸気冷却装置として冷凍機が用いられるが、設備コストが必要であること及び補機動力等により送電端電力が低下するという問題がある。

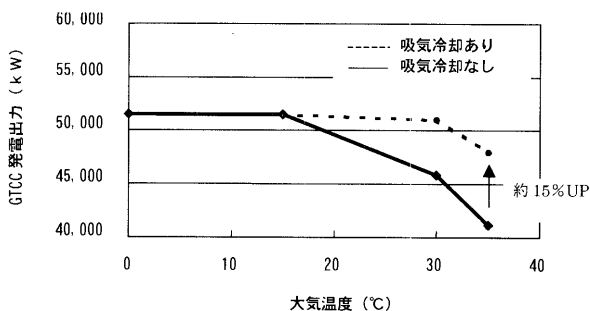


図 8 発電設備出力の大気温度特性

LNG の冷熱はこれまで、空気分離設備、液化炭酸設備、冷熱発電設備等で利用されているが、ガスタービンの吸気冷却に利用されるのは本発電設備が最初である。本発電設備では吸気冷却のために LNG を約 27 t/h 使用する計画である。

LNG 冷熱を利用した吸気冷却をおこなう場合は、極低温の LNG と空気を冷却するための循環水を熱交換すると、循環水が凍結する恐れがある。今回吸気冷却装置として水が凍結する恐れのないトライエックス式 (TRI-EX) LNG 気化器を利用することにした。

この LNG 気化器は、中間熱媒体を用い、3つのシェルアンドチューブ式熱交換器を組み合わせたもので、大阪ガスが開発したものである。LNG と熱源用海水の熱交換に中間熱媒体を用いることにより、伝熱面での着水を防ぐことが可能である。

図 9 の吸気冷却システムフローに示したように、海水はトライエックス式 LNG 気化器の E-3 LNG 加温器で天然ガスを加温し、E-1 中間熱媒体蒸発器で中間熱媒体に蒸発潜熱を与えた後排水される。一方、E-2 LNG 蒸発器で低温の LNG と熱交換して凝縮、滴下した中間熱媒体は、E-1 中間熱媒体蒸発器で海水と熱交換し、再び蒸発するというサイクルを繰り返す。

このトライエックス式 LNG 気化器を用い、LNG 冷熱を連続的に安定して発電設備の吸気冷却に利用するために、既設の海水ラインを分岐し、新たに工水を用いた循環水配管を設置する。

吸気フィルターへ入った空気 (35℃, 55% RH) は、気化器により製造された循環水と熱交換し約 15℃ に冷

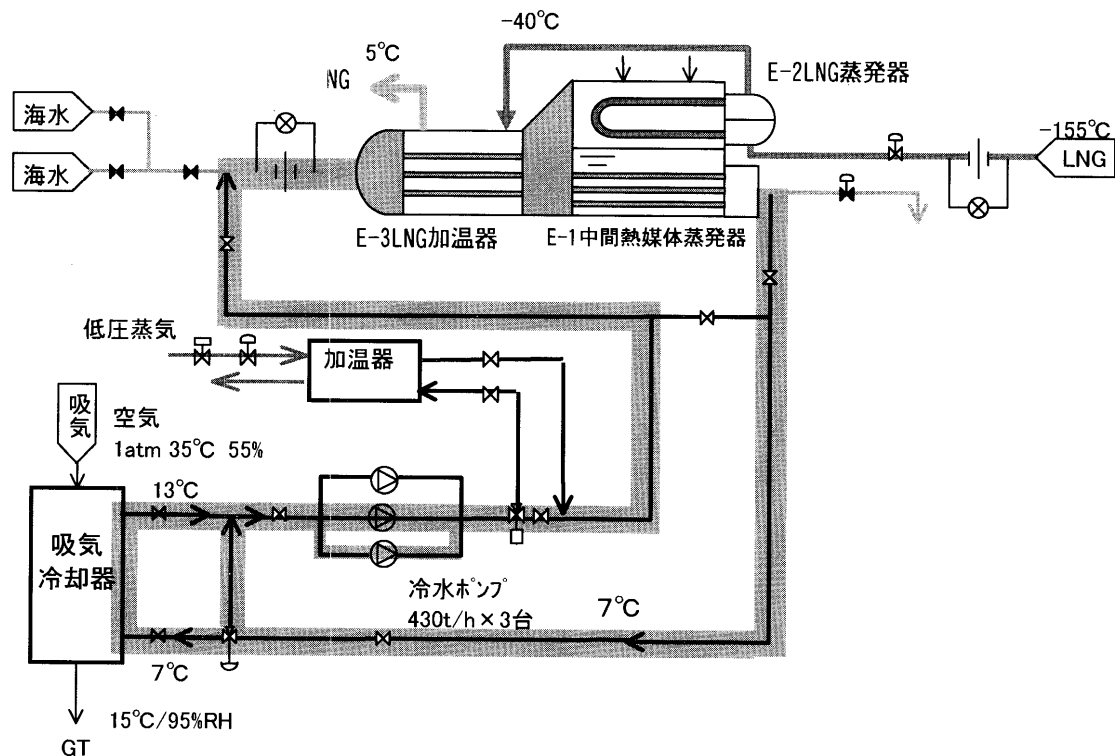


図 9 吸気冷却システムフロー

却される。本システムの制御は以下のように行う。

- 1) LNG 気化量を制御し、冷水出口温度をコントロールする。気化器出口の循環水温度が 7℃ 以下になった場合、LNG 制御弁により LNG 流量を減らす。
- 2) 夜間などの発電設備停止時には、LNG 気化器をクールダウン状態に保つため、LNG 制御弁を閉止して LNG をミニマム量まで減らし、循環水を構内蒸気で保温するシステムとした。

吸入空気は 15℃ まで低下させれば良いため冬季は吸気冷却の必要はない。

このように、既設の LNG 気化器を吸気冷却装置として利用することで設備コストを約 2%、ランニングコ

ストを約 0.5% 削減できる。一方、年間の発電量を約 5% 増加させることができる。

## 5. おわりに

大阪ガスでは、2003 年 1 月に発表した中期経営計画「イノベーション 100」において、電力ビジネスを「第 2 のコア事業」に位置付け、今後、電力規制緩和の進展に合わせて事業規模を拡大していく計画である。当社の電力ビジネスの核となるのが、既存インフラを活用したガス製造所内発電設備であり、本稿で紹介した設備に加え、新たに泉北製造所内の大型発電設備の設置を計画しており、既に環境アセスメントを開始している。

# 川鉄千葉クリーンパワーステーション発電所の運転実績

岸 健一\*1

KISHI Kenichi

吉田 克典\*1

YOSHIDA Katsunori

森田 洋介\*1

MORITA Yosuke

キーワード：ガスタービン，2段燃焼，DSS，IPP，コンバインドサイクル

## 1. はじめに

当社は、H7年に改正された電気事業法に基づき、H9年の電力供給の入札に応募し、H10年に東京電力殿と電力供給契約を締結した。建設計画において、当社が最も考慮した点は、環境にやさしい設備にすることであり、発電形式選定、燃料選定、機種選定については、採算面だけでなく、都市型製鉄所の中における発電所のあり方を常に模索してきた。

また、技術的には、DSS (Daily Start and Stop) 運転を実施するに当たり、DSS弱点部位の抽出と対策については、実機を用いた試験等を行いながら設備の具体化をしてきた。その後、環境アセスメントを実施し、官公庁、発電技検殿、漁連、住民の皆様等のご指導を戴きながら計画を進めてきた。

H12年1月より、基礎工事を着工し、H13年1月より機械据付工事、同年7月より試運転を開始し、H14年3月18日使用前安全管理審査を受検し、H14年6月から営業運転を行い、1年間の営業運転を実施してきたので、その運転実績を以下に報告する。

## 2. 設備仕様

- |              |                                    |
|--------------|------------------------------------|
| (1) 事業名称     | 電力卸供給事業                            |
| (2) 発電形式     | 一軸型コンバインドサイクル発電                    |
| (3) 発電能力     | 410,400 kW (外気温 5℃時)               |
| (4) 運転開始     | 平成14年6月                            |
| (5) 燃料       | 都市ガス                               |
| (6) 年間利用率    | 30% (平日昼間の約12時間運転)                 |
| (7) 発電効率     | 58.8% (低位発熱量基準)<br>53.2% (高位発熱量基準) |
| (8) ばい煙処理装置  | 新設発電所及び既設発電所<br>種類 乾式排煙脱硝方式        |
| (9) 煙突高さ     | 100 m                              |
| (10) 冷却水取水方式 | 深層取水                               |
| 排水方式         | 表層排水                               |
| 水量           | 9.7 m <sup>3</sup> /秒              |

原稿受付 2003年6月19日

\*1 JFE スチール株式会社 東日本製鉄所千葉地区  
〒280-0635 千葉県千葉市中央区川崎町1番地

## 発電所の概念図

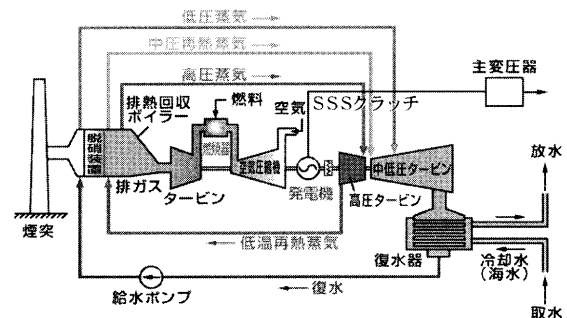


図1

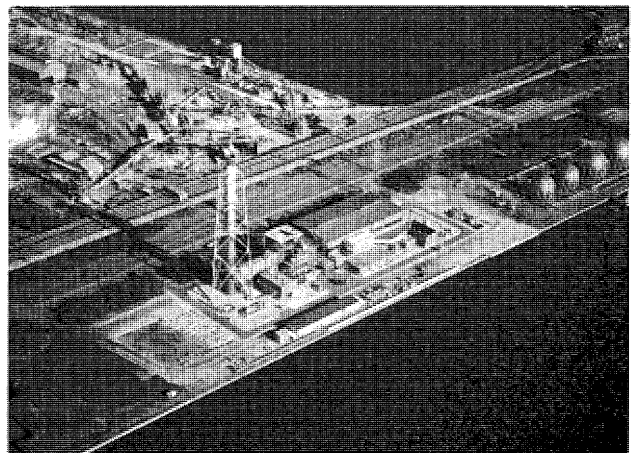


写真1 川鉄千葉クリーンパワーステーション外観

## 3. 川鉄千葉クリーンパワーステーションの特徴

### 3.1 レイアウト

レイアウトについては、以下を考慮し、当社東日本製鉄所千葉地区の西工場に設置した。図2にレイアウトを示す。

- ・発電所敷地として、十分な広さを有していること
- ・冷却水としての海水の温排水が再循環しないこと
- ・送電線、都市ガス配管の長さを抑えられる事

IPPという性格上、製鉄所のインフラを最大限に活用し、安価に発電を実施するために、要員についても、既設西エネルギーセンターと制御室をプールし、平日昼間のプラント運転時は、IPP専属要員が運転、夜間、土日等の停止時は、既設西エネルギーセンター要員がパト

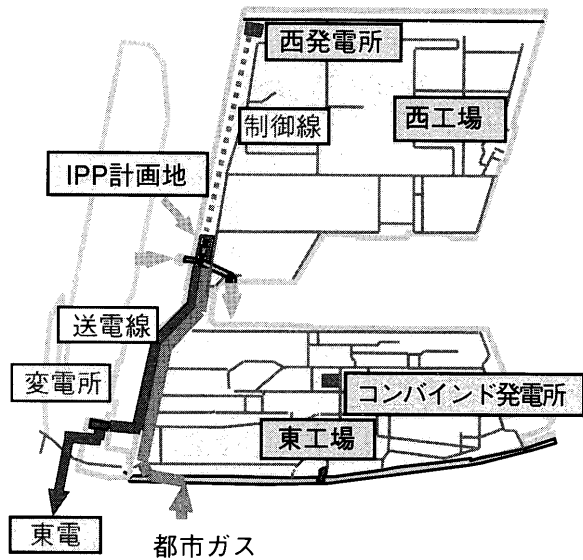


図 2

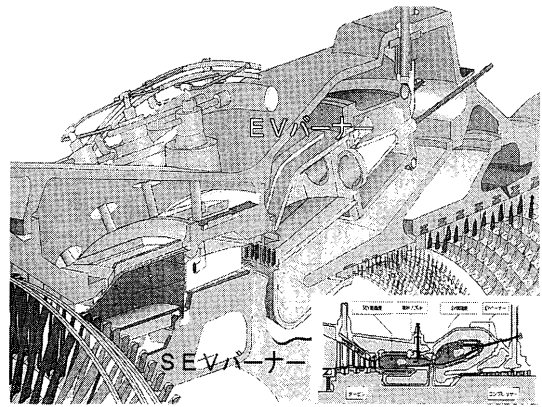


図 3(a)

### バーナーの燃焼機構 (2段燃焼方式)

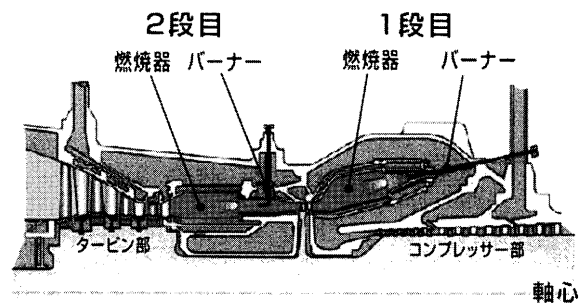


図 3(b)

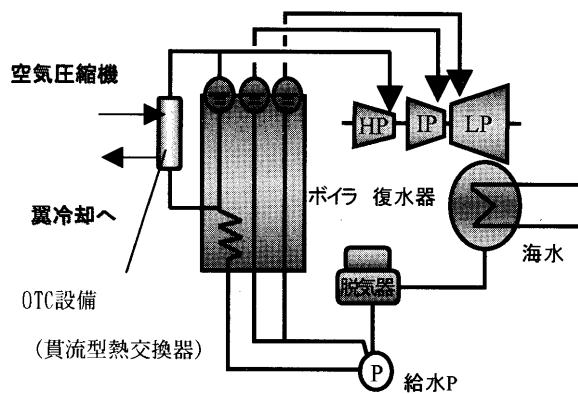


図 4

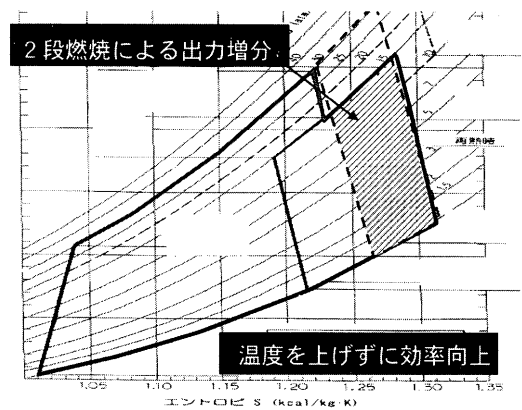


図 3(c)

ロール監視を実施している。

### 3.2 環境面

当プラントは、環境アセスメントを実施し、以下の点を考慮した

- ・既設コンバインド発電所に脱硝装置を設置することでIPPを設置しても製鉄所全体のNOx年間排出量は削減
- ・発電所周囲を緑地で囲み、全体敷地の25%以上を緑地化
- ・海岸沿いの敷地4000m<sup>2</sup>にチドリ等の鳥類保護を目的としたスペースを確保

### 3.3 性能面

#### 3.3.1 2段燃焼方式の採用

当プラントのガスタービンは、AP (Alstom Power) 社製で、二段燃焼を特徴としており、出力、効率、環境性能において高性能である。

1段目のEVバーナーで1350℃で予混合燃焼させ、1段の動静翼後でSEVバーナーにより1420℃で再燃焼させる。

このような二段燃焼方式により、1500℃級と同等の性能を確保するとともに、1500℃級に比べ、燃焼温度

の抑制によるNOxレベル低減化を達成できる(図3(a)(b)(c)参照)。

#### 3.3.2 翼冷却空気の顕熱回収設備(OTC設備)による性能アップ

本設備は、ガスタービン抽気(冷却用空気)と給水とを熱交換させ、高圧蒸気を発生させる貫流型熱交換器である。発生蒸気30t/Hは排熱回収ボイラで更に過熱され、蒸気タービンへ導かれる。

図4にOTC周りの系統図を示す。

冷却空気はガスタービンの高温部品冷却用として送給される。



### 3.4 設備面

#### 3.4.1 SSS クラッチによる起動時間短縮

当プラントは、発電機と蒸気タービンの間に SSS クラッチを有しており、起動時は、サイリスタ起動装置により発電機をモーターとして回転させガスタービンを起動させる。排熱回収ボイラからの蒸気により、単独で蒸気タービンが回転し、ガスタービンの回転数に達したところで SSS クラッチが嵌合し、同期させる。

上記により、起動時のクーリング蒸気が不要であり、起動時のサイリスタ起動装置の動力と時間の短縮を図ることができる。

一方、停止時は、排熱回収ボイラからの蒸気が減少していき、蒸気タービンの回転数が定格回転数を保持できなくなり機械的に SSS クラッチが外れる仕組みになっている。図 5 に起動・停止時の挙動イメージを示した。

#### 3.4.2 発電機移動基礎による保守性向上

当プラントの発電機は、ローター引き抜き時の保守性を考慮して、基礎を移動させて、ローターの抜き挿しを行えるように設計されており、大幅な工程短縮を図ることができる。

基礎台が 800 t、発電機が 420 t であり、計 1220 t の発電機装置を油圧ジャッキで持ち上げ、移動させることができる。

図 6 に建設時に行った移動基礎の試験の様子を示す。

#### 3.4.3 DSS 運転に耐えうる設備設計

本プラントは、DSS (Daily-Start-and-Stop) 運転をしなくてはならないので、設計時に以下の課題を掲げて、その対策を検討し、設備化してきた。その概要を以下に示す。

軸系

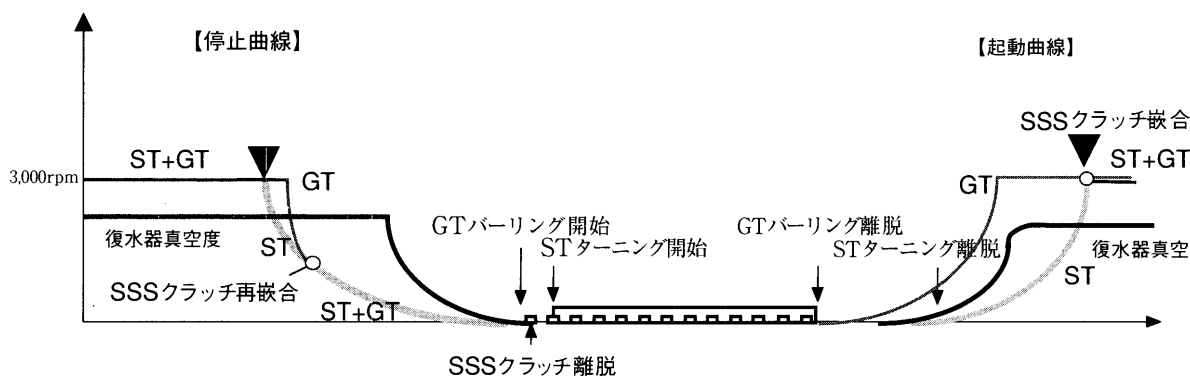
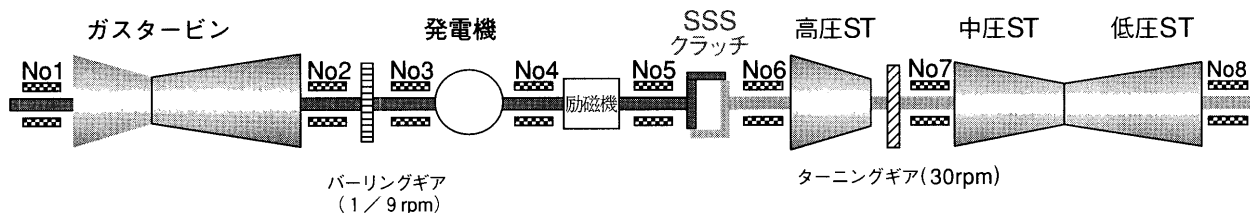
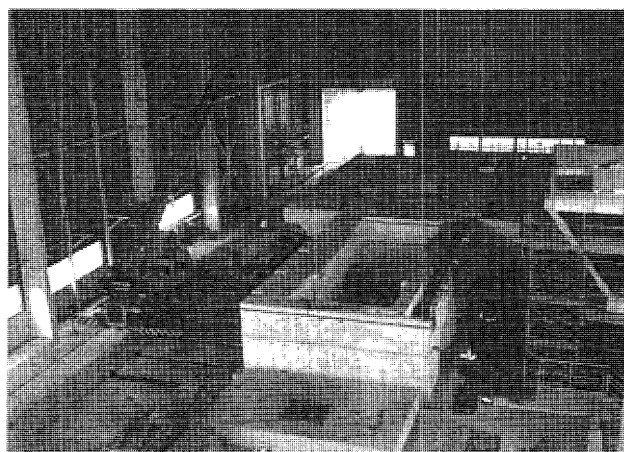
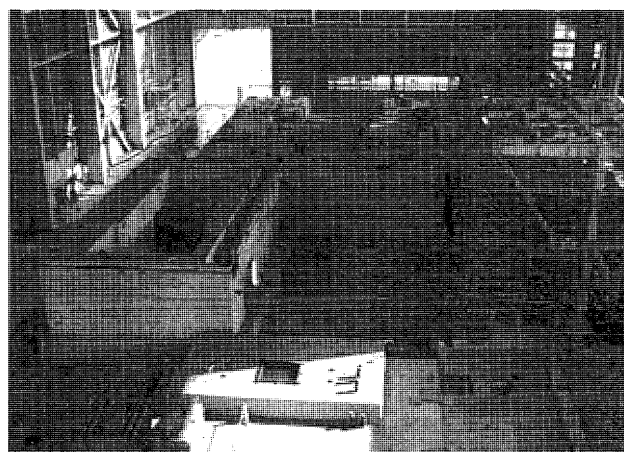


図 5



移動前



移動後

図 6 移動前・後の様子

## (1) 課題 1

## 蒸気タービン停止時の真空破壊による復水器及びホットウェル中の溶存酸素濃度の低下

本プラントは、夜間停止時、GT と ST が SSS クラッチ離脱により嵌合していないので、真空保持とすると蒸気タービンが空転し、危険回転数に達する危険性があるので、停止時は真空破壊をする。

真空破壊は、一般的には大気を復水器に吹き込むため、復水器内とホットウェル内の酸素濃度が高くなり、復水器内の錆び発生、復水器ホットウェル内の水が翌日の起動で給水されれば、プラント系全体の腐食を助長させる可能性がある。

そこで、当社は、不活性ガス（窒素）を用いた真空破壊を実施することに加え、補給水タンク内で窒素をバブリングし、給水の溶存酸素を下げ、プラント全体の腐食抑止を図った。

## (2) 課題 2

## 起動停止の給水温度変動に伴うりん酸のハイドアウト防止

DSS 運転で最も難しいのは、水質管理である。中でも、運転中と停止中で給水温度が変わることにより発生するりん酸のハイドアウト現象に対しては、様々な改善を実施し、ハンチングがなくなり、ようやく安定化してきた。

図 7 に pH のトレンドを示す。

これまでの主な改善点は、以下の通りである。

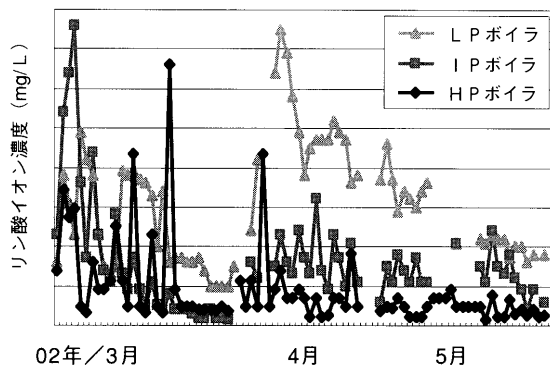


図 7

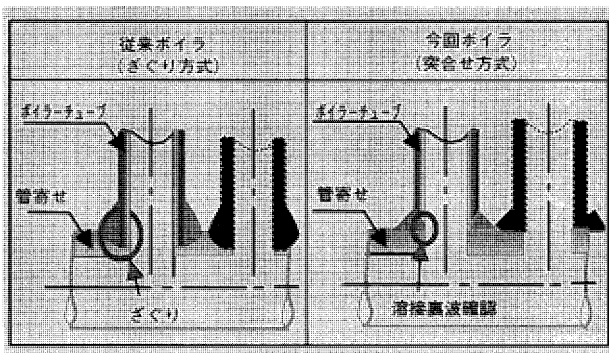


図 8

- ・平衡りん酸塩処理の実施
- ・りん酸注入制御方法を pH 制御→固定注入制御に変更
- ・給水温度とりん酸濃度の挙動を解析し、注入量、モル比の最適化

## (3) 課題 3

## くりかえし熱応力によるボイラチューブ管寄せ部の亀裂発生防止

当プラントは主機のみならず、ボイラも海外製品であり、特に溶接に関する品質管理については、発電技検殿のご指導を仰ぎながら、進めてきた。

特に、日本製では標準的なざぐり方式に対して、当ボイラは突合せ方式を採用しており、その品質管理については、以下の項目を実施した。

- ・溶接工場（インドネシア）サイトサーベイ
- ・溶接検査項目の追加（裏波検査）
- ・X 線検査の実施

## (4) 課題 4

## 高温高压空気配管のフランジ緩み（繰り返し熱応力）防止

ガスタービン廻りの高温高压空気配管のフランジ部は、起動停止により、配管とボルト間で温度差による熱応力が発生する。

DSS 運転は、毎日熱応力を繰り返し発生させており、当該部の機器管理は、安定運転に不可欠である。

当社は、その部位については、以下に示すような対策を設計に織り込んだ。

- ・パッキン材質の選定
- ・ボルトナット材料選定
- ・定期的な増し締めの実施

## (5) 課題 5

## 月曜起動時の NOx 高の防止

当プラントは、県市との協定で、定常運転時、起動時ともに NOx < 10 ppm (16% 酸素濃度換算) と決められている。火～金の起動においては、前日起動しているため、排熱回収ボイラ内温度（脱 N 触媒付近温度）は、高温で保持されているので、脱 N 効率は良く起動時の NOx 濃度は、問題ないが、月曜起動時は、温度が下がっており NOx は 10 ppm をクリアできない可能性がある。

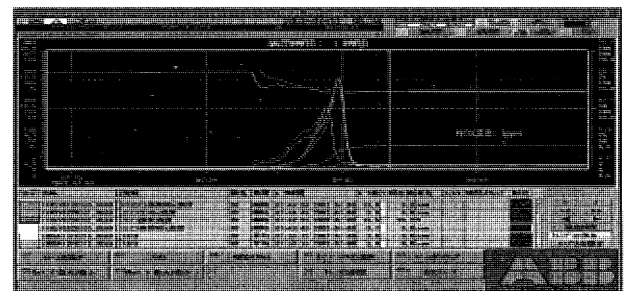
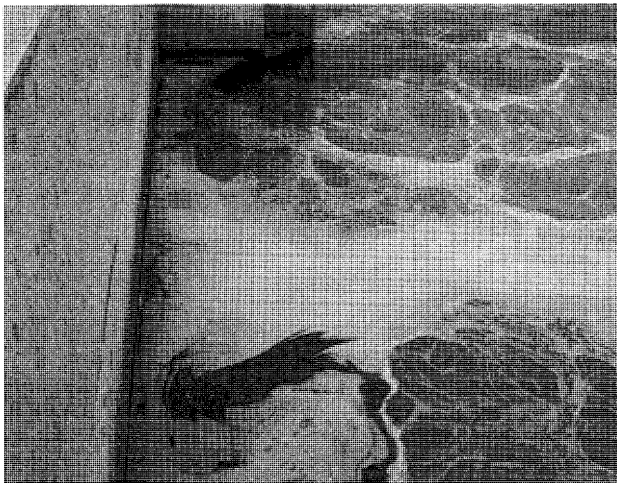
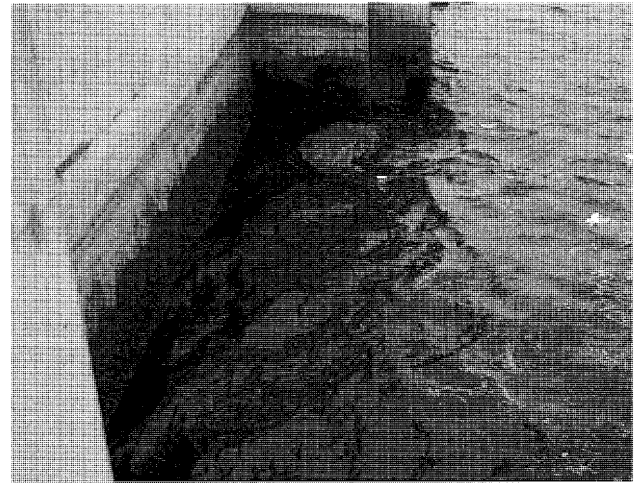


図 9



改善前



改善後

図10 放水口改善前・改善後の様子

そこで、製鉄所からの排熱蒸気を当プラントの排熱回収ボイラーに吹き込み、土日は暖管し、保熱することで月曜起動時のNOxは、図9のトレンドで示すように、10 ppm未満に抑えられている。

#### (6) 課題6

##### 海水放水口での泡発生防止

当プラントの冷却水として使用している海水の放水口付近で、当初は泡の発生があり、景観上問題があったが、次の対策を実施し、泡をなくす事ができた。図10に改善前後の様子を添付する。

- ・海水の潮位、海水流量と泡の発生を把握
- ・泡発生メカニズムを解析し、放水口構造を改良

#### 4. 運転実績

H14年6月より、営業運転を開始し、約1年が経過したが、図11に示すとおり、ほぼ契約値通りの送電を行った。

さらに、月間送電端効率は、DSS運転を実施しているので、起動・停止ロスがベースロードに比べ大きいですが、常に50%以上を達成している。

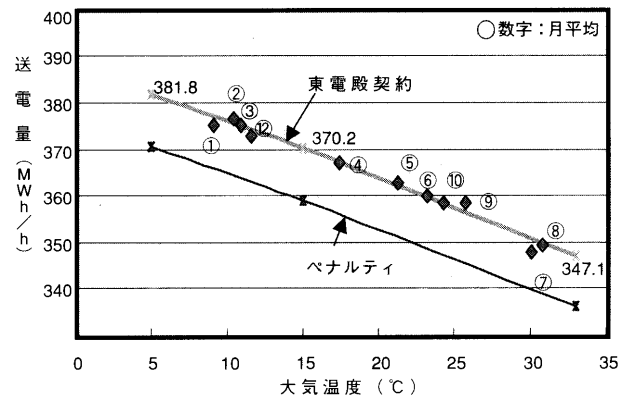


図11

#### 5. 今後の課題

- ・DSS弱点部位への対応
- ・保守要領書の整備
- ・突発トラブル時の復旧対応の迅速化

上記課題を解決し、本パワーステーションの完成度を更に高めていきたい。

# 燃料流量が脈動する層流拡散火炎の音響特性

## Sound Emission from Laminar Diffusion Flame with Controlled Oscillatory Fuel Flow

春海 一佳\*<sup>1</sup>  
HARUMI Kazuyoshi

平岡 克英\*<sup>1</sup>  
HIRAOKA Katsuhide

井亀 優\*<sup>1</sup>  
IKAME Masaru

岸 武行\*<sup>1</sup>  
KISHI Takeyuki

岡 秀行\*<sup>1</sup>  
OKA Hideyuki

キーワード： 燃焼制御，発熱変動，振動燃焼，燃焼音，アクチュエータ，ピエゾバルブ  
Combustion Control, Oscillatory Heat-Release, Combustion Oscillation, Combustion  
Sound, Actuator, Piezo-Valve

### Abstract

The oscillatory combustion instability occurs when the combustion process couples with the acoustic field of gas turbines in a way that excites natural acoustic modes in the system. Recently, various active control systems for attenuation of the pressure oscillation inside a combustor are proposed.

In this study, the performance of an actuator for such system is investigated. This actuator is a valve using a piezo device (called a piezo-valve). It shows fast and quasi-linear responses to input signals and can vary the flow rate of the fuel. Using this valve, a small laminar diffusion flame with varying heat-release is generated. The flame can emit sound with controlled amplitude and frequencies. This property will allow us to use the secondary flame as the second sound source of which interaction with the pressure oscillation in the combustor attenuates the acoustic modes.

The characteristics of sound emission from the oscillatory diffusion flame generated by the piezo-valve are investigated.

### 1. まえがき

近年，地球環境保護を目的としてNO<sub>x</sub>等の大気汚染物質の削減，あるいは二酸化炭素に代表される温室効果ガスの削減が広く求められている。ガスタービンにおいても例外ではなく，さらなる低NO<sub>x</sub>化と高効率化を目的とした高温化が求められている。高温化に伴うNO<sub>x</sub>排出を最小限に押さえるための低環境負荷燃焼技術として希薄予混合燃焼があげられる。しかし，希薄予混合燃焼は逆火，吹き消え，燃焼騒音・振動といった燃焼不安定を生じやすく，運転範囲が限られてしまう。特に燃焼騒音・振動は機器の損傷にまで至る可能性があるため，その抑制が望まれる。最近，燃焼騒音・振動抑制を制御により実現しようという複数の試みが見られる<sup>(1)</sup>。この中で燃焼器内に主火炎とは別途設けた2次火炎を変動させ制御する手法がある。しかし，同手法は，主火炎と2次火炎の流体力学的干渉や他の物理プロセスにおける干

渉による燃焼騒音・振動の抑制なのか，あるいは能動騒音制御（Active Noise Control：ANC）で行われているような騒音発生源とは別に設けた2次音源（スピーカーや2次火炎から発生する圧力変動）の音響的な干渉による燃焼音の低減なのか必ずしも明確ではない。これらの現象理解，あるいは制御における現象のモデル化を目的として，火炎とそのダイナミクスに関する研究が広く行われている<sup>(2)</sup>。

本研究では，ANCの手法による燃焼騒音低減を想定し，微小拡散火炎において燃料流量を変動させることで発熱変動を発生させ，それにより生じる圧力変動を騒音抑制のための2次音源とすることを考えた。そのための火炎変動を発生するデバイスとして，ピエゾセラミックス素子を用いたバルブを選択し，その性能を評価することを目的として実験を行った。実験では，同バルブによりほぼ正弦波状の燃料流量変動を生じさせ，その拡散火炎からの発熱変動により発生する音を計測し，燃料による音発生の違い等の基礎的知見を得た。

原稿受付 2003年3月24日

\* 1 海上技術安全研究所 環境・エネルギー研究領域  
〒181-0004 東京都三鷹市新川6-38-1

## 2. 実験及び計測

### 2.1 実験装置

流量変動を発生させるためのデバイスとして、ピエゾセラミックス素子を用いたバルブ (Maxtek Inc. 製, MV-112, 以下ではピエゾバルブと称する) を選択した。実験系の概要を図1に示す。ピエゾバルブ入口に燃料を供給し, バルブ出口に取り付けられた細管 (内径 2 mm, バルブ取り付け位置から孔までの長さ約 120 mm) に燃料噴出孔 (直径 1 mm) から燃料を噴出する。燃料噴出口直径およびそこでの平均流速に基づく Re 数は 100~1000 である。バルブ出口から細管を経て噴出した燃料は開放大気中で拡散火炎として燃焼する。燃料は一定圧力 (0.2 MPa) でバルブ入口に供給されバルブ位置でチョークしており, ほぼ開度に比例した燃料流量が得られるため, 開度を変動させることにより流量変動が発生し, それに伴って発熱変動を生じる。この発熱変動によって発生する音を騒音計 (リオン製, NL-14) のマイクにより計測する。計測されたデータは FFT 解析される。

図2にピエゾバルブの構造を示す。図中のダイヤフラム (ピエゾセラミックスを使用) に電圧を加えることで, 変形し弁座とシール間の空隙の開度が変化する。この開度は, 外部に設けられた駆動電源 (エヌエフ回路設計ブロック製, HSA 4011 バイポーラ電源) に任意波形発生装置 (エヌエフ回路設計ブロック製, WF 1945) から制御信号を入力することにより制御され, 入力に対し線形に近い応答を示す。すなわち, ほぼ正弦波状の燃料流量変動を発生させることが可能である。

このような応答性を有するデバイスを制御システムに組み込んだ場合, モデル化が比較的容易, あるいはモデ

ル化に伴う誤差が相対的に少なくなることが期待できる。ひいては, 制御システム全体の性能向上をもたらすものと期待できる。

### 2.2 計測方法

実験では, 燃料流量変動から発生する音と燃焼変動に起因する発熱変動から発生する音を開放空間において測定した。音の測定は燃料噴出孔と同一水平面上, 噴出孔から 10 cm の位置に設置されたマイクによる。また, 得られた信号は, スペクトルアナライザ (アドバンテスト製, R 9211 B) により FFT 解析された。

図3に, 燃料を燃焼させた場合の音を, 燃料噴出孔を中心とする半径 100 mm の円周上の複数の位置で測定した結果を示す。燃料は水素, バルブへの印加電圧の周波数は 200 Hz である。得られた音圧レベルはほとんど測定位置によらず, 本実験で対象としている微少な火炎はほぼ指向性を持たない単極子音源として近似できることを確認した。なお, 非燃焼時の音発生も同様に指向性を持たないことも確認した。そこで, 燃料噴出方向を 0 度とした場合の 90 度の方向, 噴出孔から 100 mm の位置にマイクを固定し測定を行った。また, 計測時, 騒音計の特性はフラットであり, さらに以下に示す実験データはバックグラウンドノイズ補正後のものである。

## 3. 実験結果及び考察

### 3.1 ピエゾバルブの流量特性

ピエゾバルブのアクチュエータとしての特性を把握するため, 制御用入力信号と流量との関係を確認した。

図4にバルブ開度を制御するための制御用電圧と得られる流量の関係を示す。横軸が印加電圧であり縦軸がそのときに得られる流量である。ここで注意しなくてはならないのは, ピエゾ素子の特徴として, ある一定電圧をかけた後, 対応した変位に達するまでに時間がかかるという現象 (クリープ現象) が見られることである。このクリープ現象により, 電圧をステップ上に印加した場合, いったん流量はほぼステップ上に上昇するものの, その後さらに流量が増加し続け一定値に近づく。そのため,

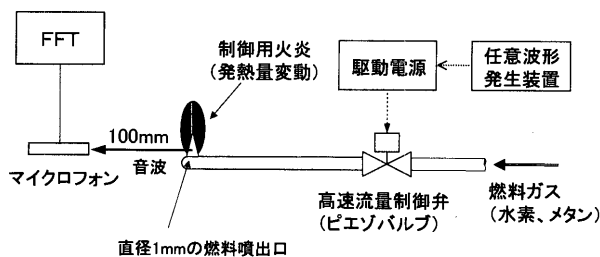


図1 実験系概要

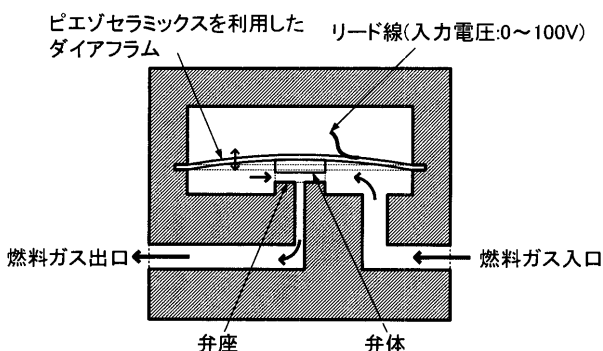


図2 ピエゾバルブの構造

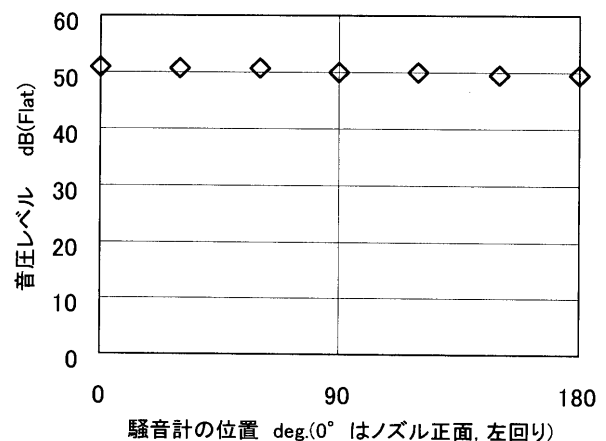


図3 火炎からの音の指向性 (水素, 200 Hz, φ1 X 1)

本実験結果においては流量の時間変化がほぼ認められなくなった時点での値を測定値とした。すなわち、この図に示す特性は静特性と見なせる。流量の測定は膜式流量計（エステック製、SF-101）と乾式ガスメータ（シナガワ製、DC-2）によった。グラフより、低電圧側で線形性が失われていること、すなわち、ピエゾバルブを線形応答性を示すデバイスとして利用することを想定するならばある程度の電圧をあらかじめ付与しておく必要があることがわかる。

本バルブの制御用デバイスとしての目的は流量変動を与えることである。そこで、実際に流動変動が得られているかを確認するため、特定周波数の電圧をかけた場合の流量変動を計測した。図4に示した結果に対し、バルブの動特性と言える。計測は、図5に示すように燃料噴出孔を閉空間（容積11.4 cc）で囲み、その内部圧力の時間変化をマイクロフォン（Bruel & Kjaer社製1/8インチコンデンサマイクロホン、型番4138）により測定した。なお、閉空間の形状等に起因する共鳴モードが実験条件の範囲において存在しないことをあらかじめ確認した。計測データがほぼ正弦波状の圧力変動を示すことから、流量変動も正弦波状であると考え、質量保存条件、理想気体の状態方程式を用いて圧力変動の時間微分から流量変動を算出した。

図6に基準電圧を30Vとし、±12Vの範囲で振った計測結果と±8Vの範囲で振った流量変動の計測結果を

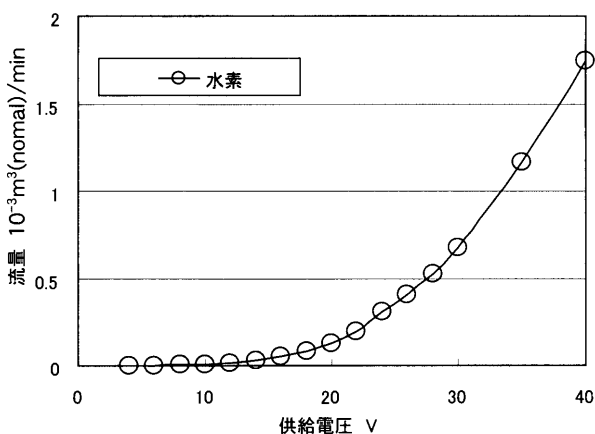


図4 ピエゾバルブの流量特性

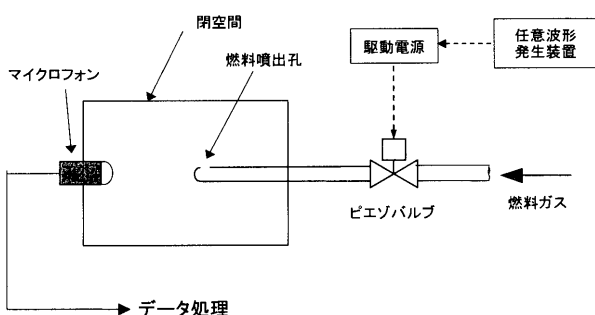


図5 流量変動測定系

示す。縦軸が流量振幅、横軸が印加電圧の周波数である。印加電圧の振幅が大きいほど流量変動が大きいことがわかる。一方、同一印加電圧であっても周波数の違いにより、得られる流量振幅が異なることがわかる。制御用デバイスとしての利用を考えた場合、より単純な応答特性を示す方がシステム全体の単純化・安定化のためには好ましい。しかし、この計測結果に示された特性からは、実際の制御への適用においては、適切な制御則の選択あるいは応答特性のデータベース化等が必要となるであろうと考えられる。

また、バルブの静特性である図4に示したデータから推測される流量変動より、実際に得られている流量変動振幅が小さいことがわかる。これは前述のクリープ現象に起因する応答の遅れと考えられるが、一方で印加周波数の高い領域で得られている流量振幅が大きく、クリープ現象のみでは説明がつかない。今後、バルブの特性の改善を含めて検討が必要である。

流量変動は閉空間における圧力変動を測定することで間接的に求めている。そこで、データの妥当性を検討するため、得られた流量変動から理論的に求められる音圧レベル（非燃焼条件）と、実際に得られる音圧レベルとを比較した。音圧レベルは図5の閉空間を取り外し開放空間で計測された。図3から、音源は明確な指向性を有しない単極音源として近似できると考えられる。その場合、流量振幅と音圧レベルの関係は理論から以下の式で表される<sup>(3)</sup>。

$$\text{SPL} - 20 \log_{10} f = 20 \log_{10} \left[ \frac{\rho_0 Q_0}{2r} / \sqrt{2} / (2 \times 10^{-5}) \right]$$

ここで、 $Q_0$  は流量変動の振幅 ( $\text{m}^3/\text{sec}$ )、 $f$  は周波数 (Hz)、 $r$  は単極音源からマイクまでの距離 (m)、 $\rho_0$  は密度 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )、 $2 \times 10^{-5}$  は基準圧力値 (Pa) である。すなわち、計測された音圧レベル SPL (Sound Pressure Level: dB) から  $20 \log_{10} f$  を引くとその値は音の周波数  $f$  に依存せず、 $r$ 、 $\rho_0$  が一定の場合、流量振幅  $Q_0$  のみに依存する。なお、上式の左辺第2項を右辺に移項すると通常の dB 値を表す式となる。

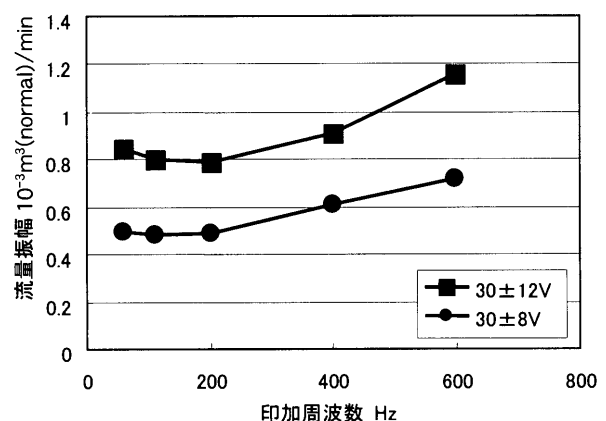


図6 流量変動の測定値

図7に30Vを中心として振幅を変えた場合に得られる流量変動振幅と、そのときに得られる音の関係を示す。なお、振幅が±16Vの場合、図4に見られる非線形性が顕著な低電圧の領域をさけるため、基準電圧を35Vに設定している。音の測定は非燃焼・開放空間で行っている。図からわかるように、前述の方法で算出された流量変動の振幅から理論的に予想される音圧レベルと実験で得られた音圧レベルはほぼ一致することが確認された。

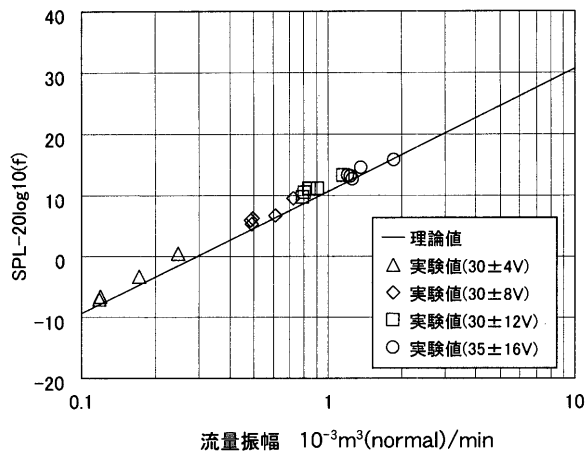


図7 流量変動の振幅と音圧レベル  
(非燃焼, 実験値と理論値の比較)

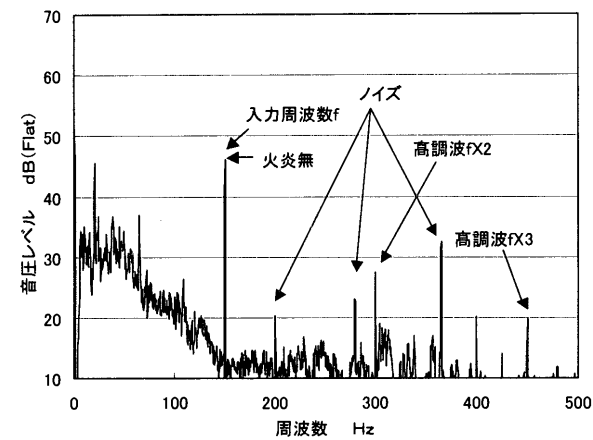


図8(a) バルブ加振時のスペクトル分布 (非燃焼時)

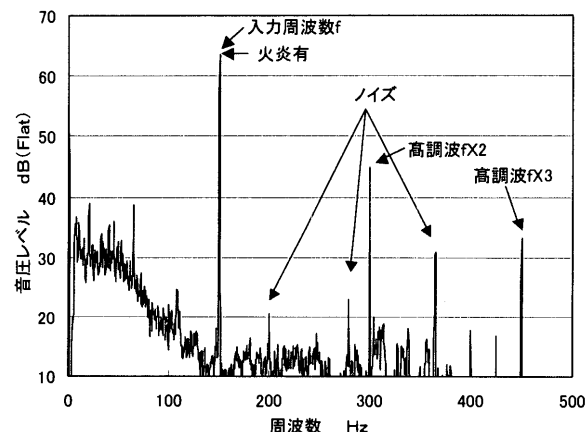


図8(b) バルブ加振時のスペクトル分布 (燃焼時)

一方、電圧の振幅の増加に伴い変動流量が増加しているものの、一定の電圧振幅に対し得られる流量変動の値にばらつきが見られる。これは図6に示した流量振幅の周波数依存性である。なお、印加電圧の周波数、振幅、基準電圧が同一であるならば、発生する音は同一である。

以上の結果より、流量変動が周波数、振幅ともに制御可能であることが示されたが、制御システムにデバイスとして組み込む場合は特性を把握してモデル化等を行う必要がある。

### 3.2 燃焼の有無による音響特性の違い

まず、燃焼が音圧上昇にどの程度寄与しているかを確認するため、非燃焼時と燃焼時の音の違いを測定した。なお、以降の実験においては、制御信号として、周波数によらず30Vを中心とし±8Vの正弦波電圧を印加した。音の計測は2.2に示す方法により開放空間で行った。

図8(a), (b)にピエゾバルブを周波数150Hzで制御したときに発生した音のスペクトル分布を示す。(a)が非燃焼時、(b)が燃焼時のスペクトル分布である。なお、聴感補正およびバックグラウンドノイズの補正は行っていない。いずれの図からも制御用周波数で卓越したピークが現れており、さらにその高調波もピークとして現れている。また、この制御周波数とその高調波のピークは燃焼時の方が非燃焼時より高く、燃焼により音圧が増加していることがわかる。またピーク以外の音は背景音であり、これらについて燃焼による音圧上昇は見られない。印加した制御用周波数の音とその倍音のみに燃焼による増音が見られることから、流量変動による発熱変動により音圧が上昇したと見なせる。

図9にピエゾバルブの制御周波数の変化による燃焼・非燃焼時の全音圧レベルの変化を示す。以降に示すデータはすべてバックグラウンドノイズの補正を行った後のものである。燃料は水素である。なお、図中△印は流量0の場合(ダイヤフラムのみを加振)の音圧レベルであり、バルブそのものの音を示しており、バルブ自体による音発生は、流動変動あるいは発熱変動による音の発生と比較して無視し得ることがわかる。また、非燃焼時に

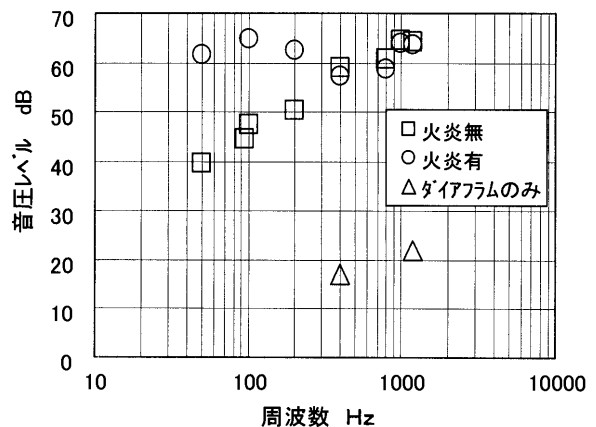


図9 非燃焼・燃焼音の比較 (水素, 30±8V)

は、周波数の上昇に伴い直線的に音圧レベルが上昇しているが、この傾向は単極子音源による音発生理論解と一致する。一方、燃焼に伴い低い制御周波数側で音圧レベルが20 dB程度上昇していることがわかる。流量変動のみから発生する非燃焼時の音発生に発熱変動による音発生寄与が加わったものと考えられる。

図10に非燃焼時と燃焼時の音圧レベルの差を示す。燃焼による音圧レベルの上昇効果は制御周波数が高くなるに伴って低下し、ある周波数帯ではかえって減音していることがわかる。燃焼時の音発生は、①燃料の流量変動のみから発生する非燃焼時の音発生、②その燃料が燃焼し発熱変動を生じることによる音発生、の2つが重ね合わさったものと考えられる。この燃焼による音圧レベル上昇効果の低減、あるいは火炎を形成することでかえって音が小さくなるという現象は①、②両者の波形の位相がずれたことが一因と考えられる。

燃料の流量変動による発生する圧力変動は、燃焼によりさらに増大することが確認されたが、ある周波数以上でその効果が小さくなっているがわかった。

### 3.3 燃料による音響特性の違い

燃焼による音圧レベル上昇効果の低減・減音の原因と考えられる①、②の波形間の位相のずれは、主として燃

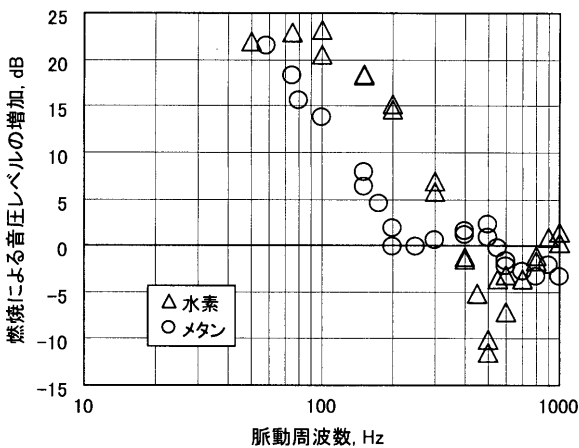


図10 燃焼による音圧レベルの増加

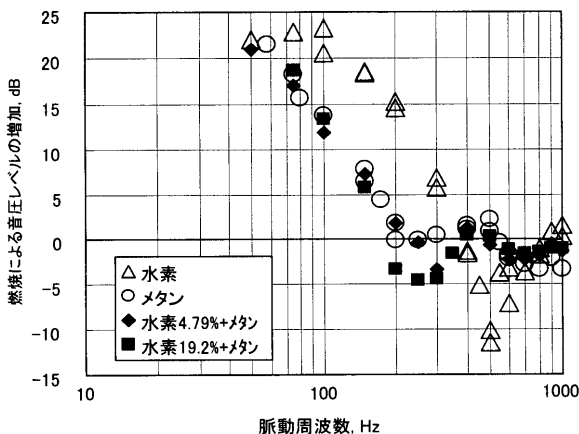


図11 燃焼による音圧レベルの増加

焼過程が原因と考えられる。すなわち、燃料の着火性・反応速度等が因子となり燃焼反応が流量変動に追従できず、その結果として発熱変動による音波が流量変動による音波に対し遅れる可能性がある。この燃焼による発熱変動発生遅延効果を確認するため、着火性等の燃焼特性に大きな差があるメタンを用いた実験を行った。図10に非燃焼時の音圧と燃焼時の音圧の差を示す。水素と比較し、メタンによる音の発生効果はより低い周波数帯のみに限られることがわかる。メタン燃焼による発熱変動は水素のそれに比し流量変動に対する応答性が悪く、流量変動による音と発熱変動による音の位相のずれが大きいことによると考えられる。この応答性の悪さは、メタンの着火性が水素に比し悪いためと考えた。そこで、メタンの燃焼音の位相のずれを低減することを目的として、メタンの着火がより容易になるメタン-水素の混合燃料による実験を行った。図11に非燃焼時の音圧と燃焼時の音圧の差を示す。純メタンによる音圧上昇と水素を添加した燃料による上昇との間にはほとんど差違が見られない。純粋メタンの場合、火炎は燃料噴出孔からわずかに浮き上がって保持されていたが、水素を添加することにより着火性が高まり、浮き上がりはほとんど見られなくなった。しかし、燃料変動に対応した発熱変動にはほとんど影響を及ぼさなかったことがわかる。これは、形成されている火炎が拡散火炎であり、現象が拡散の時間スケールで支配されたことによると思われる。すなわち、水素添加によって着火性は向上しても、燃焼を支配するメタンの拡散（水素に比し悪い）の向上には全く寄与しなかったため影響をほとんど受けなかったものと考えられる。

### 3.4 燃料噴出孔の配置による音響特性の違い

上述の実験から得られた音圧レベルでは、単体で燃焼騒音抑制用デバイスとして用いることは困難と予想される。そのため、多数の微小変動火炎をアクチュエータとして燃焼器内に配置し、消音する事を考えた。その際、微小火炎同士の干渉等が予想される。そのため、図12に示すように、燃料噴出孔を軸対称の位置に逆向きに配

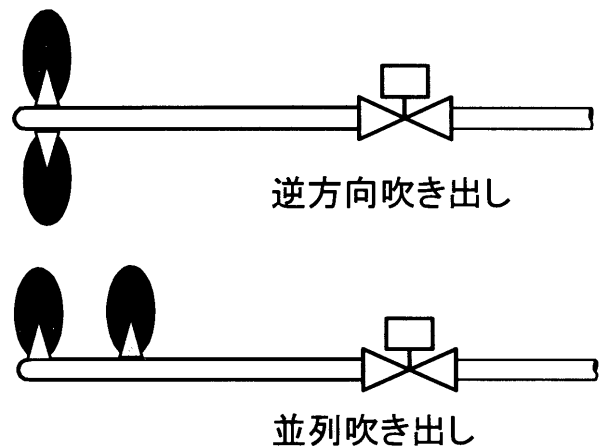


図12 燃料噴出孔の配置



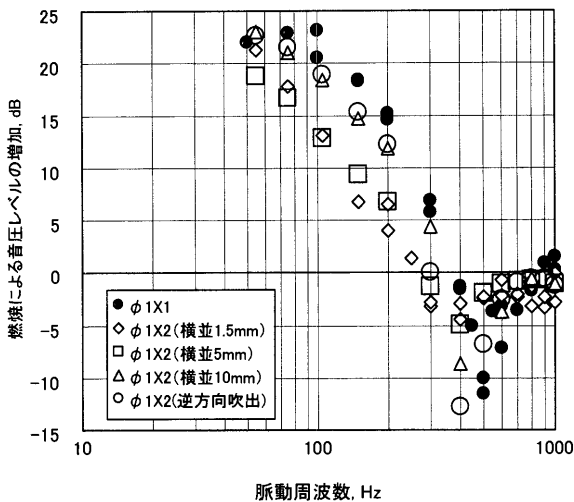


図13 燃焼による音圧レベルの増加（水素，噴出孔の影響）

置した場合と，間隔をあけ並置した場合について実験を行った。燃料は水素である。図13に燃料噴出孔の配置の違いによる音圧レベルの向上の違いを示す。図からわかるように，間隔1.5mm，5mmで並置した場合，音圧の上昇が単孔の場合と比べ，小さくなっている。一方，10mmの間隔で並置した場合と軸対称位置に配置した場合は，ほぼ単孔の場合と同レベルの上昇が見られる。これは，火炎間の距離が近い場合に，酸素濃度が局所的に低下して，流量変動に対する燃焼の応答遅れが増大したものと考えられる。

#### 4. まとめ

ピエゾセラミックス素子を用いたバルブによりほぼ正弦波状に燃料流量が変動している微小拡散火炎を生成し，そこからの音発生を測定し，以下の知見を得た。

- 1) 燃焼による音圧レベルの上昇が見られたが，燃料流量変動の周波数が低い側で顕著であり，周波数の上昇とともにその効果は低下しはじめる。またある周波数帯では減音効果をもたらす場合がある。
- 2) 燃焼による音圧レベルの上昇効果が低減し始める周波数は燃料に依存する。
- 3) 複数の微小火炎を音源として配置する場合，配置により音圧レベルの上昇の様子は異なり，特に非常に近接して配置した場合，音圧レベルの上昇効果は低減する。最適配置の検討が必要である。

なお，本研究は文部科学省開放的融合研究「乱流制御による新機能熱流体システムの創出」に基づき，知的乱流制御研究センターの研究活動の一環として行われた。

#### 参考文献

- (1) Hong, B-S., Yang, V., and Ray, A., Combustion and Flame, Vol. 120(2000), pp. 91-106
- (2) Candel, S., "Combustion Dynamics and Control: Progress and Challenges", Hottel Lecture, 29th International Symposium on Combustion, July 20-26(2002)
- (3) 吉川茂，藤田肇著，基礎音響学，(2002)，講談社

# 過濃予混合火炎を用いた 超小型水素ガスタービン用燃焼器に関する研究 - 最適燃焼条件と試験燃焼器の燃焼特性 -

Development of a Combustor with Rich Premixed Flames  
for a Hydrogen-fueled Micro-gas Turbine  
- Optimum Combustion Conditions and Combustion Characteristics  
of Test Combustors -

皆川 和大\*<sup>1</sup>

MINAKAWA Katsuhiko

湯浅 三郎\*<sup>2</sup>

YUASA Saburo

キーワード：予混合燃焼器，二段燃焼，水素，NO<sub>x</sub>，超小型ガスタービン

Premixed Combustor, Two-staged Combustion, Hydrogen, NO<sub>x</sub>, Micro-gas Turbine

## Abstract

The application of a two-staged combustion method to a hydrogen combustor for a micro-gas turbine was examined. Using a calculation model, which assumed a first and secondary reaction zone well stirred reactor, numerical simulations were conducted to find optimum combustion conditions. The results showed that good emission performance was attained in the model when the equivalence ratio at the first-stage was about 2.0. Based on the results, micro-gas turbine test combustors with a swirl-type injector that issued rich premixtures were built and combustion tests of the combustors were performed at atmospheric pressure. Stable rich premixed flames were formed in the combustor, however NO<sub>x</sub> emission levels were rather high at the equivalence ratio estimated by the calculation. It was cleared that whether the flame base attached to the injector opened or not greatly influenced the flame configuration, the temperature distribution in the combustor and the emission performances in the experiment.

## 1. はじめに

著者らは、水素を燃料にしたガスタービン実用化のための基礎研究の一環として、超小型水素ガスタービンの開発研究を行っている。これまでに、旋回予混合気流れ場に形成される再循環領域を利用した希薄予混合方式に基づく実機燃焼器を開発し、所有の超小型水素ガスタービンに搭載して運転試験を行った<sup>(1)-(4)</sup>。この過程で、旋回型希薄予混合方式を用いた水素燃焼器は、高負荷で超低 NO<sub>x</sub> な極めて高い性能を有することがわかったが、一方で高周波振動燃焼に遷移しやすく、安定燃焼可能な当量比の上限は約 0.4 に制限されていた。近年、エネルギー有効利用の観点から、ガスタービンの高温化が進んでいる。ガスタービンの熱効率を向上させるためには、

燃焼器の当量比を高くしてタービン入口温度を高くする必要があり、著者らが開発を進める燃焼器の当量比をさらに高くすることを考えた場合、従来の希薄予混合燃焼方式ではこれを達成するのが困難と考えられた。一方でこの目的のために拡散燃焼を用いた場合には、NO<sub>x</sub> 排出の面で好ましくない<sup>(5)</sup>。燃焼器の当量比をさらに高くするためには、従来の拡散燃焼や希薄予混合燃焼に代わる新しい燃焼方式の適用が必要と考えられた。そこで、過濃な水素/空気予混合火炎を燃焼器内で二段燃焼させる方式を考えた。一般に、過濃予混合火炎は希薄予混合火炎に比して安定であり、一次燃焼領域と二次燃焼領域とを燃焼器内での熱発生率が局所的に集中しないように配することができれば、振動燃焼を生じることなく当量比を高められる可能性がある。また水素/空気火炎の場合には prompt NO が生成しないため、燃料が過濃な一次燃焼領域において NO の生成を低く抑え、かつ二次燃焼領域で比較的低い温度で希薄燃焼できれば、十分な低

原稿受付 2003年4月22日

\* 1 東京都立科学技術大学大学院

\* 2 東京都立科学技術大学

〒191-0065 日野市旭が丘 6-6

NO<sub>x</sub> 性も期待できる。

本研究では、この考えに基づいた超小型水素ガスタービン用の新しい予混合燃焼器を開発することを目標に、まず数値計算により過濃水素/空気予混合気を燃焼器内で二段燃焼させた場合の燃焼ガス温度と NO<sub>x</sub> 濃度とを予測し、燃焼器の最適な当量比条件を検討した。さらに、超小型水素ガスタービンに適用することを前提として、過濃予混合気を噴出するインジェクタ及びこれを装着する試験用の燃焼器を試作し、この燃焼器の火炎安定限界や火炎形状、排気ガス特性について調べたので報告する。

## 2. 燃焼器当量比条件の検討

### 2.1 計算モデル

図1に二段燃焼のモデルを示す。本計算では、燃焼器内の一次燃焼領域と二次燃焼領域とを、化学反応の特性時間に比べて混合の特性時間が極めて短い燃焼場、いわゆる Stirred Reactor として、ともに仮定した。本二段燃焼モデルでは、まず当量比  $\phi_i$  の過濃予混合気が一次燃焼領域において完全混合燃焼し、未燃の燃料成分を含んだ燃焼ガスが、燃焼器の全体当量比  $\phi_t$  と  $\phi_i$  とで決

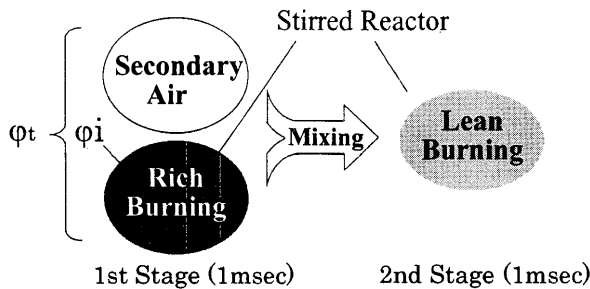


図1 二段燃焼モデル

まる量の希釈空気と反応する前に断熱的に瞬時に予混合し、二次燃焼領域でもう一度完全混合燃焼するものとした。一次燃焼領域及び二次燃焼領域ではともに熱損失はないものとし、各領域でのガスの滞在時間は、著者らのこれまでの水素ガスタービン燃焼器を参考にしてそれぞれ 1 msec とした。計算ソフトには汎用化学反応計算プログラム CHEMKINⅢ<sup>(6)</sup>を用いた。反応機構には GRI Mech 3.0<sup>(7)</sup>を用い、H<sub>2</sub>, H, O<sub>2</sub>, O, OH, H<sub>2</sub>O, HO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, HNO, N<sub>2</sub>, N, NO, NO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O の 14 種の成分と正・逆 45 組の素反応を考慮した。本計算モデルにおいては NO<sub>2</sub> の生成が微量 (0.5 ppm 以下) であったため、NO<sub>x</sub> としては NO のみで評価することとした。

### 2.2 計算結果

図2に  $\phi_i$  に対する(a)NO 濃度、及び(b)燃焼効率と燃焼ガス温度(燃焼効率は未燃 H<sub>2</sub> 濃度から算出した。)の変化を、燃焼器の全体当量比  $\phi_t$  をパラメータとして示す。これらは反応開始から 2 msec 後の、すなわち燃焼器出口における値を示している。図中に白抜き記号で示したものは、二段燃焼せずに  $\phi_t$  のままで希薄燃焼をさせた場合(以後、単純希薄燃焼と呼ぶ。)の、同じく燃焼器出口における値を示している。NO 濃度は  $\phi_i$  が 1 から 2 にかけて急激に減少し、 $\phi_i$  が約 2 以上ではほぼ一定の値になっている。 $\phi_t$  によって NO 濃度の絶対値は変化するものの、この傾向は同じである。 $\phi_i$  が約 2 以上での NO 濃度は、同じ  $\phi_t$  での単純希薄燃焼の場合よりも低くなっており、水素/空気予混合火炎の場合に二段燃焼法が低 NO<sub>x</sub> 化に有効であることを示している。各  $\phi_t$  で詳しく見れば、単純希薄燃焼と同じ NO 濃度を示す  $\phi_i$  条件は、 $\phi_t = 0.5$  のとき  $\phi_i = 1.7$ 、 $\phi_t = 0.6$  のとき  $\phi_i = 1.6$ 、 $\phi_t = 0.7$  のとき  $\phi_i = 1.4$  であり、この  $\phi_i$  よ

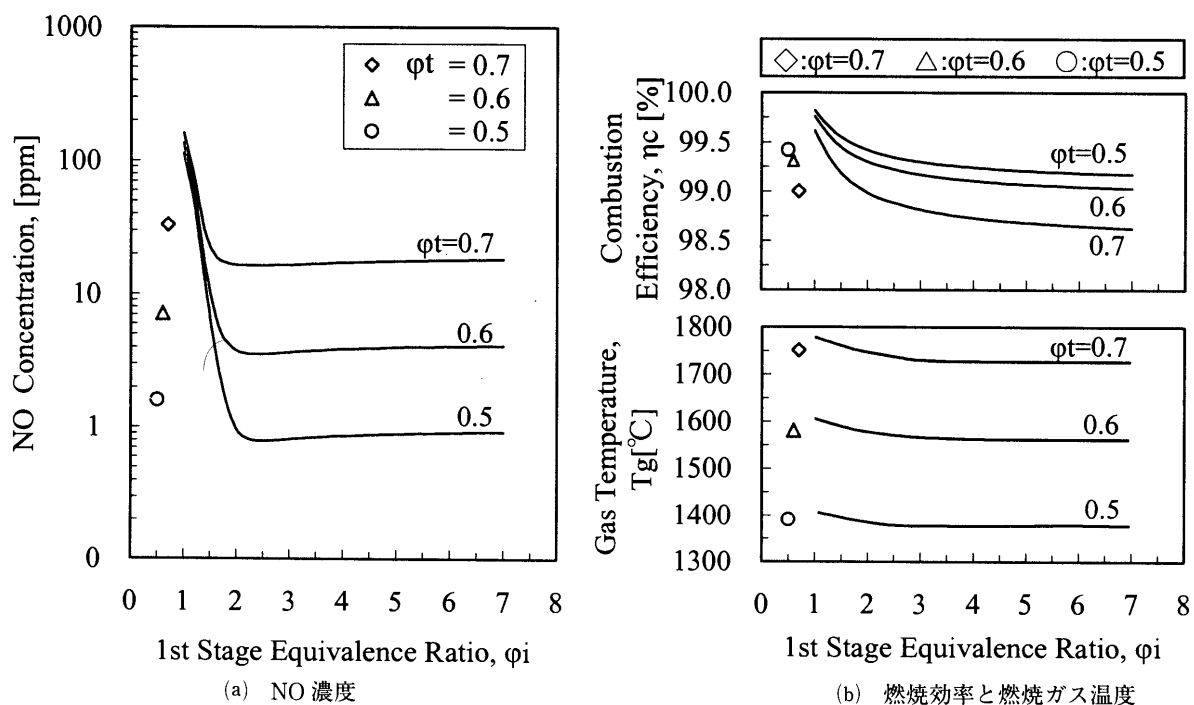


図2 二段燃焼後の燃焼器出口における NO 濃度、燃焼効率及び燃焼ガス温度の変化 (初期温度 350 K, 雰囲気気圧力 2 atm)

りも過濃条件で一次燃焼させれば、単純希薄燃焼よりも NO 濃度は低くなるのがわかった。一方、(b)に示した温度をみると、 $\phi_i$  が大きくなるのに伴い温度は低くなっているものの大きさは変化していない。また、 $\phi_i$  の増加に伴い燃焼器出口における燃焼ガス中に占める未燃の  $H_2$  濃度が高くなっており、燃焼器に投入した  $H_2$  流量に対する燃焼器出口における未燃  $H_2$  流量で定義した燃焼効率も、同様に低下している。これは  $\phi_i$  を過度に大きくした二段燃焼の場合には、単純希薄燃焼よりも全体として反応が緩慢に進行することを示唆している。各  $\phi_t$  での単純希薄燃焼時の値と比較すると、これらと同じ温度、燃焼効率が得られる  $\phi_i$  はおよそ 2 で、 $\phi_t$  によらずほぼ一定である。燃焼器出口で得られる温度と燃焼効率の面では、 $\phi_i$  を 2 より希薄側で一次燃焼させることで、同じ  $\phi_t$  における単純希薄燃焼よりも良好な結果が得られることがわかった。したがって、一次、二次各燃焼領域を Stirred Reactor とし、一次燃焼ガスと希釈空気とが反応することなく瞬時混合するものと仮定した本二段燃焼モデルでは、一次領域において当量比を 2 より少し低めで燃焼させれば、同じ  $\phi_t$  で単純希薄燃焼させるよりも二段燃焼させた方が NO の生成が低く抑えられ、かつ燃焼ガス温度も燃焼効率も高くなることが明らかとなった。

### 3. 試験燃焼器による燃焼実験

#### 3.1 実験装置

図 3 に実験に使用した試験燃焼器の概略図を示す。インジェクタ形状の選定にあたってはいくつかの予備実験を行った<sup>(8),(9)</sup>。その結果、過濃予混合気を旋回噴出させる方式が、火炎の安定性と火炎長さの面で優れているこ

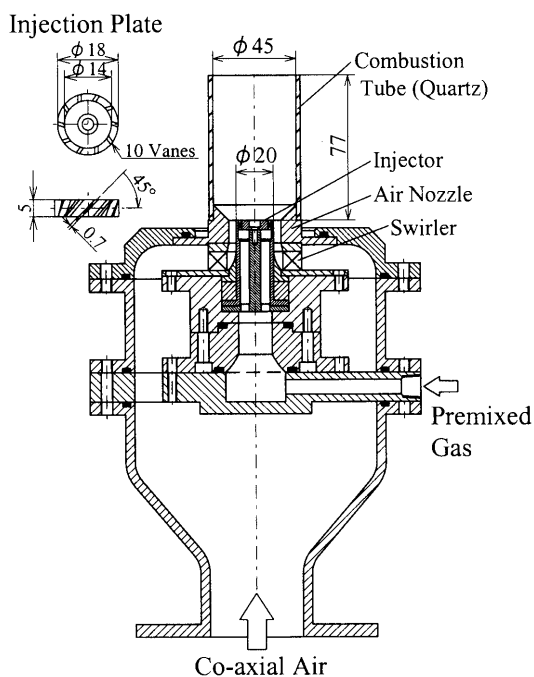


図 3 試験燃焼器

とがわかった。この方式に基づき試作したインジェクタは、内径が 18 mm の円管でその先端に角度 45° の羽根 10 枚からなる噴射板が取り付けられており、これを通過することで予混合気は円周接線方向に噴出し旋回がかかる構造になっている。噴射板形状に基づく形状スワール数<sup>(10)</sup>は  $S_{gi}=0.89$  で、この旋回方向は後述の同軸空気の旋回方向と同じである。また本試験燃焼器は、これまでの希薄予混合燃焼器を開発する際に使用していたもの<sup>(4)</sup>を、新しく試作したインジェクタを装着できるように改造したものである。燃焼筒は内径 45 mm、高さ 77 mm の石英ガラス製で、その内部の火炎の様子が直接観察できる。予混合気は試験燃焼器より上流に設けた予混合部で形成され、均一な混合気となってインジェクタから噴出される。二次燃焼用空気は、インジェクタと同軸に設置された空気ノズルから燃焼筒内へ噴出される（以後、これを同軸空気と呼ぶ）。空気ノズル出口面とインジェクタ上端面とはその高さが一致するように設置した。空気ノズルの上流にスワラーを挿入することで、同軸空気に旋回を与えることもできる。本実験で同軸空気に旋回を与える場合には、形状スワール数  $S_{ga}=1.2$  のスワラーを用いた。

使用したインジェクタ及び空気ノズルの名称と形状・寸法を表 1 に示す。火炎安定限界測定については、インジェクタ Type L、空気ノズル D 28 を用いて同軸空気の旋回の有無についてその影響を調べた。NO<sub>x</sub> 濃度及び水素濃度測定の場合には、試験燃焼器全体の水素、空気各流量を同じ条件に保った上で（総空気流量  $\dot{m}_{air}=16$  g/s、 $\phi_t=0.3$ ）、予混合気あるいは同軸空気の噴出速度の違

表 1 インジェクタ及び空気ノズル仕様

Injector (Premixture)		
Type	L	H
Port Image		
Port Area [mm <sup>2</sup> ]	56.3	36.9
Area Ratio (H/L)	1.0	0.65

Air Nozzle (Secondary Air)		
Type	D28	D25
Diameter [mm]	28	25
Port Area [mm <sup>2</sup> ]	301.6	176.7
Area Ratio (D25/D28)	1.0	0.59

いによる影響を調べる目的で、表1に示したインジェクタ、空気ノズルの組合せと $\phi_i$ とを変化させて実験を行った。

燃焼ガス濃度は、微細オリフィス(オリフィス径0.5mm)を有する石英ガラスプローブを用いて燃焼筒出口面における燃焼ガスを採取し、水分を除去した後、NO<sub>x</sub>は化学発光法によって、水素は簡易水素計(熱線型半導体方式/接触燃焼方式)によってそれぞれ測定した。温度計測には、素線径 $\phi$ 0.2 mmの白金ロジウム熱電対(PR/40:20)の表面を二酸化珪素で被覆して用いた。実験はすべて大気圧下で行った。なお、試験燃焼器に流入する予混合気及び同軸空気の温度はそれぞれ常温(約30℃)である。

### 3.2 実験結果と考察

#### 3.2.1 火炎安定限界

図4に火炎安定限界を示す。図中の測定点は、所定の同軸空気流速条件において安定な予混合火炎を形成させた状態から予混合気の空気流量をゆっくりと減じて、当量比が高く噴出流速が小さい方向へ(あるいは空気流量を増して、当量比が低く噴出流速が大きい方向へ)予混合火炎の状態を変化させて調べたものである。以後、予混合気平均流速を $U_j$ [m/s]、同軸空気平均流速を $U_a$ [m/s]とする。

同軸空気に旋回が無い場合、 $\phi_i$ が希薄な領域において火炎の吹き飛びが生じた。吹き飛びが生じる $U_j$ は僅かな $\phi_i$ の増加に対して急激に増加した。 $U_a$ の増加に対する変化はほとんど見られない。一方 $\phi_i$ が過濃な領域においては、 $U_a=20$  m/sの場合には実験範囲内( $\phi_i$

が10まで)では安定な火炎が形成された。 $U_a=40$  m/sでは、 $\phi_i$ が比較的小さい範囲では大きな $U_j$ まで安定であったが、 $\phi_i$ を大きくしていくと振動燃焼に遷移し(図中の●▲◆で示した振動燃焼遷移限界より過濃側が振動燃焼領域である)、その発生領域は $\phi_i$ が大きくなるほど広がっている。 $U_a=60$  m/sでは、 $U_j$ の違いによらずさらに低い $\phi_i$ (約3~4)で振動燃焼に遷移し、安定燃焼範囲はさらに狭くなった。この振動の音圧レベルの最も高い周波数は約2 kHz(例えば $U_j=82$  m/s,  $U_a=60$  m/s,  $\phi_i=3.4$ ,  $\phi_t=0.34$ のとき)で、これは燃焼ガス温度における音速と燃焼筒長さに基づく片端開放管の基本振動周波数にほぼ一致した。この振動燃焼発生時には、火炎基部がインジェクタから浮き上がっており、これが発生要因になっていると考えられるが、この解明は本報告の範囲外であり今後の課題の一つである。

同軸空気に旋回がある場合には、希薄領域における吹き飛び流速の $\phi_i$ に対する傾きが若干大きくなっているものの、変化の傾向は旋回が無い同軸空気流中のそれと同じであった。過濃領域では振動燃焼への遷移も同様に観察され、その遷移限界を示す $\phi_i$ は約3~5で、各 $U_a$ によって変化の傾向は幾分異なっているものの $U_j$ には大きくは依存していない。同軸空気に旋回が無い場合と比較すると、同じ $U_a$ ではより低い $\phi_i$ で振動燃焼へ遷移しており、安定燃焼範囲は狭くなっている。また $U_a=60$  m/sでは、層流燃焼速度が最大となる $\phi_i$ 付近の $U_j$ が小さい場合に逆火が観察された。

本試験燃焼器は、同軸空気の旋回の有無によらず $\phi_i$ が大きくなると振動燃焼に遷移するが、 $\phi_i=1\sim3$ の条件では安定に燃焼することがわかった。その安定燃焼範囲は、同軸空気に旋回が無い場合の方が広い。計算で得られた最適な $\phi_i$ は約2であるが、本試験燃焼器の火炎安定限界は、この条件を十分に満足することが確認された。

#### 3.2.2 NO<sub>x</sub> 排出濃度

図5に、インジェクタ Type L・空気ノズル D 28での燃焼器出口面におけるNO<sub>x</sub>濃度の実測値の半径方向分布を示す。なお排ガス測定の実験では、同軸空気に旋

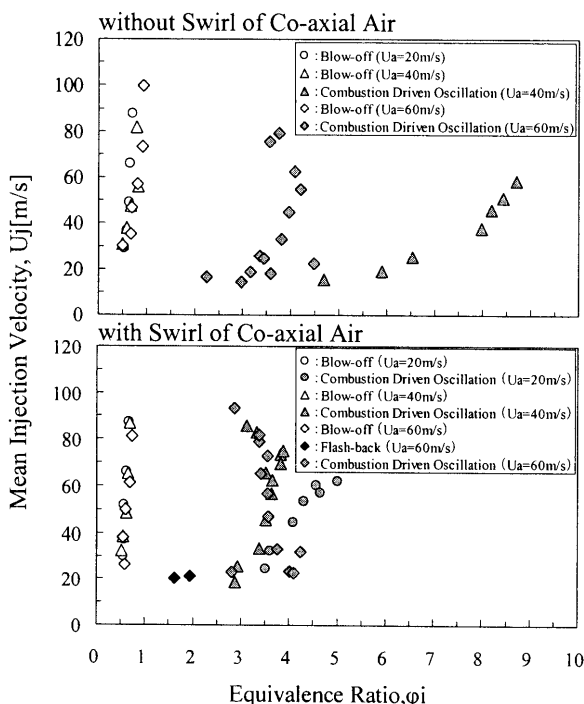


図4 試験燃焼器の火炎安定限界

(インジェクタ: Type L, 空気ノズル: D 28)

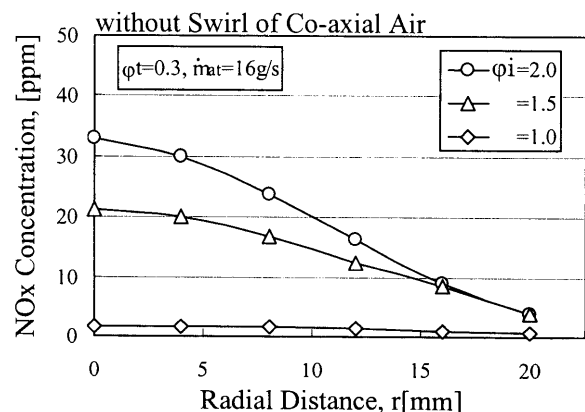


図5 燃焼筒出口におけるNO<sub>x</sub>濃度分布

(インジェクタ: Type L, 空気ノズル: D 28)

回は与えていない。これは火炎安定限界測定で、無旋回同軸空気の方が安定燃焼範囲が広がったこと、さらに予備の実験の結果、同軸空気に旋回を与えた場合（旋回器の形状スワール数で5.6まで）は、無旋回の場合よりもNO<sub>x</sub>濃度が高くなることがわかったためである。この図では、NO<sub>x</sub>濃度は燃焼筒中心で最大値を示し、半径方向に低くなる山形の分布をしており、 $\phi_i$ が小さくなるのに伴ってその値は小さくなっている。 $\phi_i=1.0$ では出口全面で一様な分布となり、その値は約1 ppmで極めて低濃度になっている。

噴出口の面積を狭くしたインジェクタ Type H 及び空気ノズル D 25 を用いて、予混合気、同軸空気の噴出速度をそれぞれ変えた場合のNO<sub>x</sub>濃度の変化を調べた。結果を図6に示す。この図に示したNO<sub>x</sub>濃度には、燃焼器出口面における実測値の最大値を用いた。（本来であれば燃焼筒出口面における流速分布と温度分布とによる質量流量分布を考慮したNO<sub>x</sub>排出量で比較すべきであるが、本燃焼器の場合、燃焼筒内が旋回流場になっており、燃焼筒出口面における流速測定が困難なため、実測値の最大値で比較することにした。）インジェクタのタイプによってその変化の傾向は異なるものの、 $\phi_i$ の低下に伴ってNO<sub>x</sub>濃度は低くなる傾向があることがわかる。 $\phi_i=1.0$ では、どのインジェクタ、空気ノズルの場合でも、NO<sub>x</sub>濃度は約1 ppmで極めて低い値になった。過濃な $\phi_i$ においては、予混合気の噴出速度を大きくした方が、また同軸空気の噴出速度を大きくした方が、同じ $\phi_i$ で比較した場合のNO<sub>x</sub>濃度は低くなることわかる。

また Type L, D 25 の場合、他のインジェクタ・空気ノズル条件では $\phi_i$ が大きくなるにつれNO<sub>x</sub>濃度が高くなっているのに対し、 $\phi_i=2$ 以上では $\phi_i$ に対してNO<sub>x</sub>濃度が増加しておらず、傾向が異なっていることが伺える。Type L, D 25 におけるこれらの $\phi_i$ では、 $U_j \leq U_a$ の条件になっており、また本文中には図示していないが、この時の燃焼器出口におけるNO<sub>x</sub>濃度の半径方向分布は中央部が平らな台形を示していることから、実際の燃焼

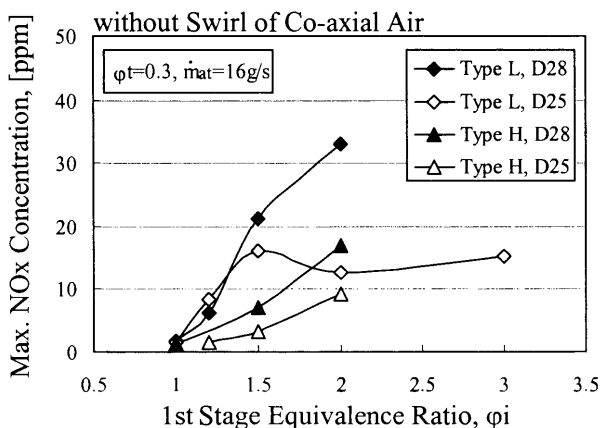


図6 インジェクタ、空気ノズルの違いによるNO<sub>x</sub>濃度の変化

場における一次燃焼ガス噴流と同軸空気流の各運動量が近い値になって効果的な衝突混合がなされる結果、二次燃焼領域の温度が低下してNO<sub>x</sub>濃度が低くなったものと推測される。

### 3.2.3 未燃水素排出濃度

図7に、空気ノズル D 25 での燃焼器出口面における未燃水素濃度の半径方向分布を示す。NO<sub>x</sub>測定時と同様に同軸空気に旋回は与えていない。インジェクタ Type L で $\phi_i=1.5$ の条件では、燃焼筒壁近傍以外では未燃水素は検出されず、水素は燃焼筒内ではほぼ完全に燃焼していることが伺える。同じインジェクタで $\phi_i=1.0$ の場合には、中心部ではほとんど未燃水素は検出されなかったが、半径方向に未燃水素濃度が高くなっている。また、 $\phi_i=1.5$ の条件であってもインジェクタ Type H の場合には、燃焼筒壁面側での未燃水素濃度が Type L のそれよりも高くなっている。

実測された未燃水素濃度の半径方向分布から、燃焼器出口面における流速は一様であると仮定して、各インジェクタ、空気ノズル条件での燃焼効率を概算した。実際には、燃焼器出口面における質量流量分布があるため、この仮定で求めた燃焼効率の値の精度は高いとは言えないが、その絶対値の大小関係は比較できる。図8にその結果を示す。これより、 $\phi_i=1.5$ よりも $\phi_i=1.0$ の方が、

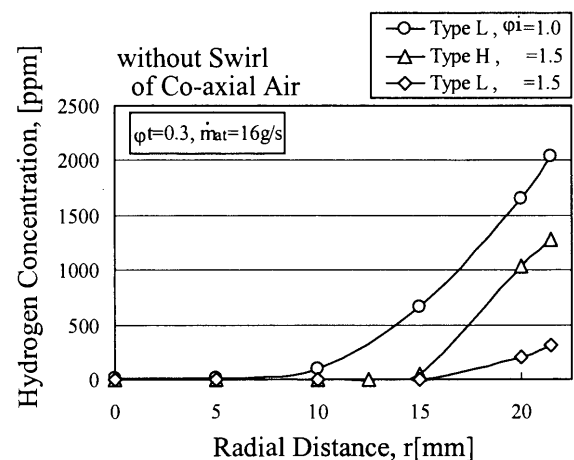


図7 燃焼筒出口における未燃水素濃度分布  
(空気ノズル：D 25)

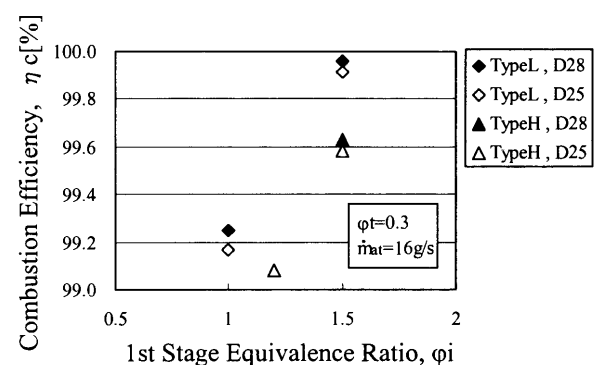


図8 インジェクタ、空気ノズルの違いによる燃焼効率の変化

Type L よりも Type H の方が燃焼効率は低くなる傾向がある。また、同軸空気流速の違いによる影響はほとんど見られない。どの条件であっても燃焼効率は比較的高いレベルであり、燃焼筒内で十分に燃焼していると言える。

### 3.2.4 火炎形状及び温度分布

燃焼筒内の燃焼場と排気ガス特性との関係を明らかにする目的で、各インジェクタ、空気ノズル条件で火炎の直接写真を撮影して火炎形状の様子を観察するとともに、代表的な条件について燃焼筒内の温度分布を測定した。図9に火炎形状の代表的な例を示す。図中の(A)は、NO<sub>x</sub>は低い但未燃水素が比較的多く検出された条件、(C)はNO<sub>x</sub>が高い但未燃水素は低い条件、(B)は(C)と同じφ<sub>i</sub>でインジェクタがType Hの場合、そして(D)は(C)と同じインジェクタ・φ<sub>i</sub>で空気ノズル径が大きい場合をそれぞれ示している。(以後、各条件での火炎を単に(A)、(B)、(C)、(D)と呼ぶ。) 図10には、(A)と(C)の火炎に対応する燃焼筒内温度分布を示した。(温度分布の測定断面にはインジェクタの噴出口が含まれるようにした。) 図中のT<sub>max</sub>は測定された温度の最大値で、これを含めすべての測定値に対して熱伝導や輻射による熱損失の補正はしていない。

(A)の火炎は、10個の噴出口にそれぞれ予混合火炎が形成されているが、図9からわかるようにその火炎基部はインジェクタ噴出口の中心側にのみ付着して外側には付着しておらず、火炎基部が開いた状態になっている。この様子を図11の左側に模式的に示した。インジェクタから噴出した予混合気はその外側の同軸空気と混合し、燃料濃度が希釈された後に中心側の付着点から伸びた火

炎帯を通過することになり、火炎それ自体は、付着点近傍を除いては下流にいくに従って当量比が低い希薄火炎になっているものと推測される。このことは、火炎帯における温度がこのφ<sub>i</sub>条件における断熱火炎温度 T<sub>ad</sub> = 2110℃を大きく下回っていることから示唆される。高温領域がインジェクタ噴出口下流の極めて小さい範囲

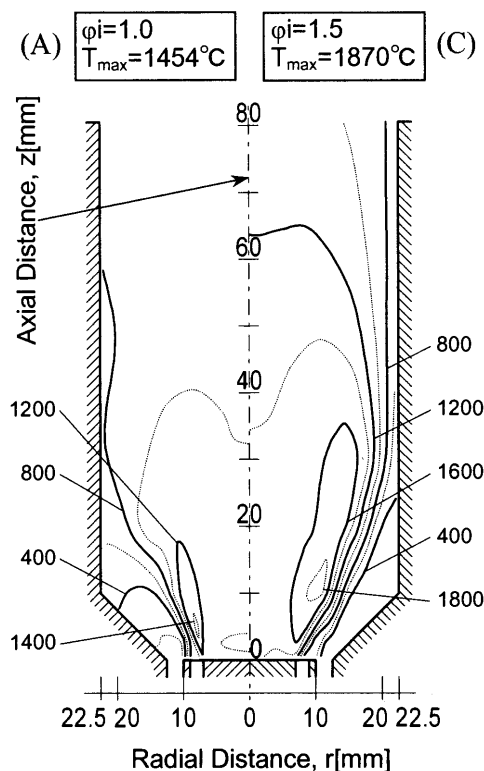


図10 燃焼筒内温度分布；単位[℃]  
(Type L, D25, φ<sub>t</sub> = 0.3, ṁ<sub>at</sub> = 16 g/s)

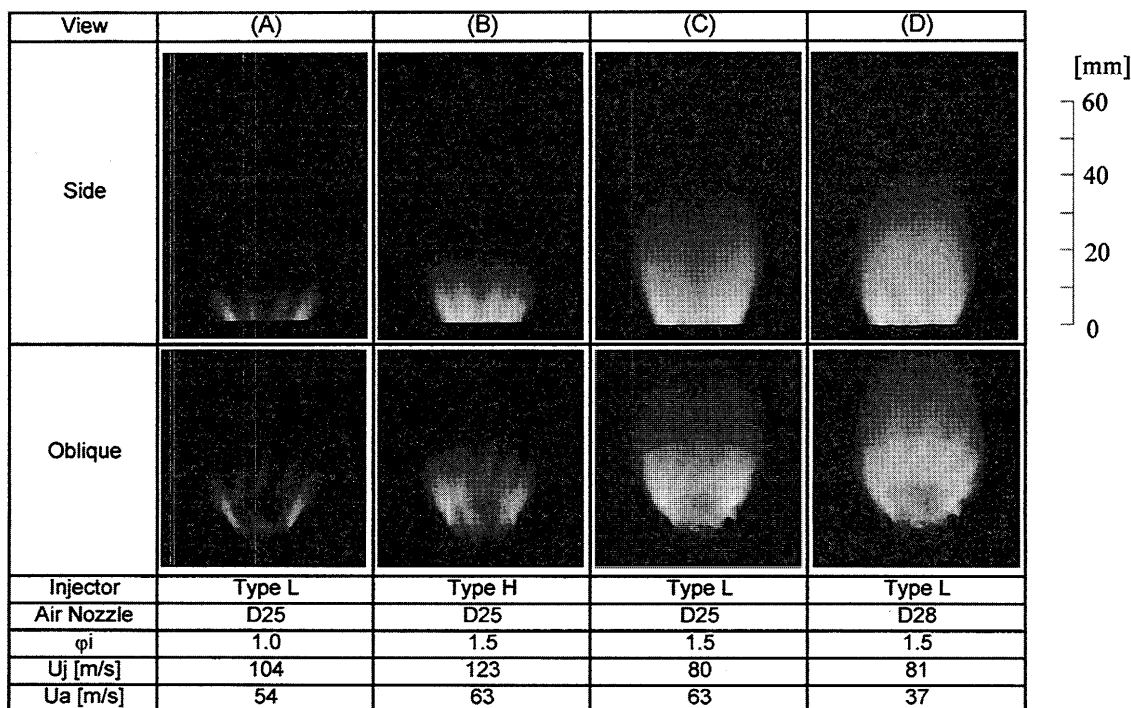


図9 代表的な火炎形状 (φ<sub>t</sub> = 0.3, ṁ<sub>at</sub> = 16 g/s)

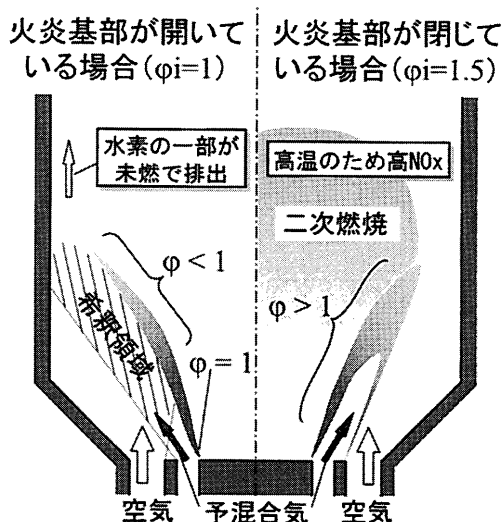


図 11 燃焼器内燃焼場の模式図

に限られ、かつ燃焼筒内温度が  $800^{\circ}\text{C} \sim 1000^{\circ}\text{C}$  と低いために、 $\text{NO}_x$  濃度は低く抑えられていると考えられる。しかし、燃焼筒壁面付近や個々の火炎の間を通過する予混合気の一部は火炎帯を通過することなく未燃のまま排出されるため、結果として比較的高い濃度の未燃水素が検出されたものと考えられる。本研究では過濃予混合気を二段燃焼させる方式を目標としたが、この場合はパイロット火炎付き希薄予混合燃焼のような形態となっていることがわかった。

(C)の火炎は、(A)と同じインジェクタ、空気ノズルであるが、 $\phi_i$  が 1.5 と高い場合である。この火炎の基部はインジェクタ外側のリムにも付着が認められる。Tmax は  $1870^{\circ}\text{C}$  であり、温度計測時の熱損失を考慮すればこの条件における断熱火炎温度  $T_{ad} = 1974^{\circ}\text{C}$  にほぼ近い値になっていることから、インジェクタには閉じた予混合火炎が形成されていると考えられる。温度分布を見ると、燃焼筒中心部には  $1400^{\circ}\text{C} \sim 1600^{\circ}\text{C}$  以上の大きな高温領域があり、これに対応した火炎発光の強い領域は(A)に比べて大きくなっている。この場合は、図 11 の右側に示すように、過濃予混合火炎を通過した余剰水素は、インジェクタ下流に形成されている再循環領域において同軸空気と燃焼しているものと推測される。このため水素はほぼ完全に燃焼するが  $\text{NO}_x$  濃度は高くなったと考えられる。

(B)の場合は (C)に比べて  $U_j$  が大きく、火炎基部がインジェクタ外側のリムに付着できずに開いている理由により、同じ  $\phi_i$  であっても(C)と比較して  $\text{NO}_x$  濃度はより低く、未燃水素濃度はより高くなったと考えられる。(D)の場合は、予混合火炎は閉じており、(C)に比べて過濃予混合火炎の形状が明瞭であるとともに全体的に火炎は細長くなっている。(C)と(D)で同軸空気流量は同じにしてあるが、(D)では(C)よりも  $U_a$  が小さいために、同軸空気と燃焼ガスとの混合の効果が小さく、(C)に比べて二次燃焼する領域が相対的に大きくなることによって高温領

域での滞在時間が長くなる結果、 $\text{NO}_x$  濃度が高くなったものと考えられる。未燃水素濃度は(C)と同様に低くなっている。

### 3.2.5 計算結果との比較

化学反応速度に基づいた数値計算では、 $\phi_i$  が過濃条件の場合には  $\text{NO}_x$  濃度は理論混合比付近で最も高く、 $\phi_i$  の増加に伴って急速に低下し  $\phi_i = 2$  以上ではほぼ一定でかつ十分低い値になる結果が得られた。一方、実験では  $\text{NO}_x$  濃度は  $\phi_i = 1$  で最も低く、 $\phi_i$  の増加に伴って高くなった。したがって、過濃予混合気を二段燃焼させるという当初の目論見は達成されていないが、火炎安定性、 $\text{NO}_x$  濃度ともに良好な  $\phi_i = 1$  の条件であれば、本燃焼方式は有効であると言える。

計算と実験との相反する結果については、計算における燃焼モデルでは、一次燃焼後の未燃ガスと二次空気とが瞬時に混合するものと仮定していたが、このことが本試験燃焼器内では達成されていないことを物語っている。本来の二段燃焼で超低  $\text{NO}_x$  を実現するためには、本試験燃焼器のように中心に再循環領域を伴った過濃予混合火炎に対して外側のみから二次空気を衝突させるだけでは、過濃な  $\phi_i$  条件での一次燃焼ガスと二次空気との急速な混合を達成するには不十分であることが分かったため、さらに中心側からも二次空気を高速で供給して過濃予混合火炎を挟撃する方式により、二次燃焼領域におけるより急速な混合を図る必要があると考えられる。

## 4. まとめ

過濃予混合火炎を用いた超小型水素ガスタービン用燃焼器の開発を目標に、数値計算による最適燃焼条件の検討、ならびに試験燃焼器による燃焼実験を行い、以下の結論を得た。

- (1) 一次燃焼領域、二次燃焼領域を完全混合燃焼場で模擬した二段燃焼モデルでは、一次燃焼領域における当量比を 2 より少し希薄側に設定すれば、同じ燃焼器全体当量比で二段燃焼させない単純希薄燃焼に比べて、燃焼器出口における  $\text{NO}_x$  排出濃度、燃焼ガス温度、燃焼効率の性能が良くなる。
- (2) 予混合気を旋回噴出させるインジェクタを装着した試験燃焼器は、同軸空気の旋回の有無によらず一次燃焼領域当量比  $\phi_i$  が大きくなると振動燃焼に遷移するが、 $\phi_i$  が 1~3 の範囲では安定に燃焼した。その安定燃焼範囲は、同軸空気に旋回が無い場合の方が広い。
- (3) 試験燃焼器全体の水素、空気各流量及び燃焼器全体当量比  $\phi_t$  が同じ条件では、 $\phi_i$  の低下に伴って燃焼器出口における  $\text{NO}_x$  排出濃度は低くなり、 $\phi_i = 1$  の条件では約 1 ppm の超低濃度であった。 $\phi_i$  が同じ条件では、噴出口面積が大きいインジェクタ Type L より噴出口面積が小さいインジェクタ Type H の方が、また同軸空気流速を大きくした方



がNO<sub>x</sub> 排出濃度は低くなった。

- (4) 本試験燃焼器においては、インジェクタに形成される予混合火炎基部の状態が、燃焼筒内の燃焼場および排気特性に大きく影響をおよぼす。すなわち、基部が開いた予混合火炎が形成される条件では一種の希薄燃焼となることで低NO<sub>x</sub>となるが一部未燃水素が排出される。これに対し、閉じた過濃予混合火炎が形成される条件では、高温の二次燃焼領域が存在するため、水素は燃焼筒内でほぼ完全燃焼するがNO<sub>x</sub>濃度は高くなる。

## 謝 辞

本研究を遂行するにあたって科学研究費（平成10～13年度基盤研究(B)）の補助を得た。実験に際しては、本学大学院生の杉山怜君の協力を得た。ここに記して感謝の意を表します。

## 参 考 文 献

- (1) 湯浅三郎, 西田幸一, 繁田政治, 皆川和大, 日本機械学会論

文集(B編), 61-588(1995-8), p.3075-3081

- (2) Yuasa, S., Shigeta, M., Minakawa, K. and Nishida, K., Proceedings of the 1995 Yokohama International Gas Turbine Congress, vol. II (1995-10), p. 3075-3081
- (3) Minakawa, K., Miyajima, T. and Yuasa, S., AIAA 97-3388 (1997)
- (4) Minakawa, K., Akizuki, W., Goto, N. and Yuasa, S., XIV IS-ABE, IS-7010(1999)
- (5) 湯浅三郎, 後藤登, 日本機械学会論文集(B編), 58-551(1992-7), p.2288-2295
- (6) Kee, R. J., Rupley, M., Meeks, E., and Miller, J. A., Sandia National Laboratories Report No. SAND 96-8216 UC-405
- (7) C. T. Bowman, et al., [http://www.me.berkeley.edu/gri\\_mech/](http://www.me.berkeley.edu/gri_mech/)
- (8) 皆川和大, 朝日雅博, 天日洋二, 湯浅三郎, 第28回ガスタービン定期講演会論文集(2000-6), p.87-92
- (9) 皆川和大, 天日洋二, 湯浅三郎, 第38回燃焼シンポジウム講演論文集(2000-11), p.9-10
- (10) Beer, J. M. and Chigier, N. A., Combustion Aerodynamics, (1972), p. 111-112, Applied Science Publishers



## アイスブレーキング(2)

毛利 邦彦\*1

MOURI Kunihiko

前回は三葉虫と恐竜の卵について書きましたが、今回は恐竜の化石である「DUNG」について書きます。

2002年6月に米国フェニックス市にて、ASME主催のIJPGC (International Joint Power Generation Conference) が開催されました。日本からは三重大大学の加藤政蔵教授他十数人が参加しましたが、私はその中の分散電源のセッションの基調講演を行いました。

さて、前日に加藤先生達とアメリカ料理を楽しむために郊外の幌馬車を飾ったレストランに行きました。ほろ酔い加減での帰り道に、とあるお店に化石があるのに気が付き店に入りました。その化石が写真にある恐竜の「DUNG」です。

お恥ずかしい話ですが、「DUNG」の意味が分からなかったので、店主に聞きに行きました。大きな声で「Excuse me, I have a question. What is this dinosaur dung?」「DUNG」「DUNG」と何回と無く大きな声で聞くものですから、廻りにいるアメリカ人が何となく「くすくす」笑っているのに気が付きました。結局10分くらいして、これは恐竜の糞の化石であることが分かりました。写真では分りにくいのですが、この化石は恐竜の糞を輪切りにしたものであり、全体では約40cmの「糞」の形をした

ものです。

基調講演のアイスブレーキングには前回紹介した三葉虫と恐竜の化石を使うつもりでしたが、急遽変更して、この店主との会話を有りのままに素直に紹介しました。

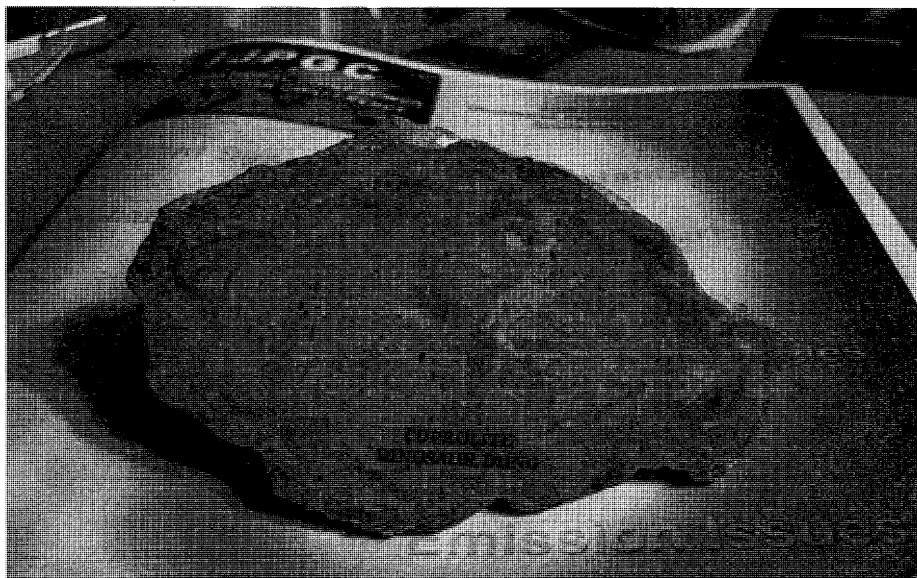
会場には笑顔が漏れてアイスブレーキングの役目を十分に果たしました。

そもそも、化石を輪切りにしてあるので、全体像が見えない所に今回のお恥ずかしい話の発端があります。

最初から「糞」の形があればもう少し理解が早かったと思います。化石の好きな私ですので、勿論のこと完全な恐竜の糞の完全なものがないかを尋ねました。店主はここにはないが取り寄せればあるとのこと、その価格は3000ドルを譲りませんでした。残念ながらこの価格では断念いたしました。機会を見てもう少し安い恐竜の糞の化石を購入しようと考えております。

現在はこの話を「三葉虫と恐竜の化石のアイスブレーキング」に付加して3点セットでアイスブレーキングを構成しております。

恐竜は巨大で強靭であったが絶滅し、変化に対応したゴキブリは生き残った。変化に対応するにはアンテナ(触角)が必要であり、触角のある三葉虫は13万円、な



原稿受付 2003年6月5日

\*1 株式会社八戸インテリジェント プラザ

〒039-2245 青森県八戸市北インター工業団地 1-4-43

い三葉虫の化石は3千円とその価値が下がってしまう。現在は情報過多の社会であり、いくらアンテナが良くても入手できる情報が断片的な場合が多いので、この恐竜

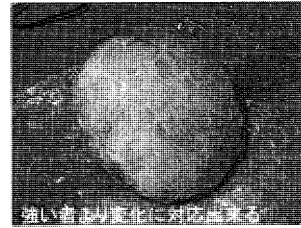
の糞の輪切り化石の経験から断片情報から全体を把握出来る能力を併せて持つ必要があることをメッセージとして伝えることにしました。

### 三葉虫、恐竜の卵と糞



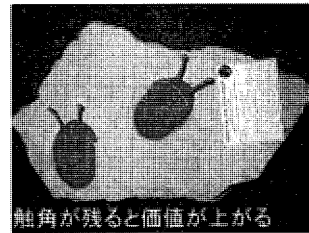
一を聞いて全体を分かる能力を磨くこと

ユタ州産 恐竜のDUNG



強い音より変化に対応出来る

中国四川省産 恐竜の卵の化石



触角が残ると価値が上がる

ロシア産触角のある三葉虫の化石

# 中国電力株式会社技術研究センター 機械・材料担当 設備診断グループの研究

西田 秀高\*1  
NISHIDA Hidetaka

キーワード：ガスタービン，設備診断，余寿命診断，クリープ試験，亀裂進展

## 1. はじめに

中国電力(株)技術研究センターは，昭和22年2月中国配電株式会社技術研究所として発足し，昭和26年5月電力再編成により中国電力株式会社技術研究所として継承，平成3年6月のMI（経営革新）の一環として現在の名称に変更された。また，平成6年9月にそれまで2カ所に点在していた研究所を統合し，現在の東広島市に新築移転した。敷地面積は48,000 m<sup>2</sup>と野球場2面分の広さを有している（図1参照）。

研究担当部署として，配電，情報通信，電気利用，新エネルギー，生物環境等10担当あり，研究員は66名で総勢87名体制である（H15年4月24日現在）。コスト低減等の実用化研究を主体に選択と集中をもって進め，中国電力グループの頭脳集団としての役割を負っている。機械・材料担当はマネージャー以下7名の体制で自動化・省力化，新素材適用，設備診断の3本柱で研究を行っている。

当社の大型ガスタービン設備は柳井発電所のみで，平成2年12月に1-1系列（1,100℃級ガスタービン）を運開して以降，1-2系列，さらに1,300℃級の2-1，2-2系列を運開し，合計10ユニットで1,400 MWを出力している。

ガスタービンは，発電効率は高いが保修費用がかかり，

経営上の課題となっている。

そこで電源事業本部火力発電保修担当，柳井発電所と連携を取りながら，保修費用の低減に向け，研究に取り組んでいる。

## 2. ガスタービン関係研究について

近年，LNGコンバインドサイクル発電設備が，環境に優しく，高効率であることから電源設備として活発に導入されている。その主要機器の一つであるガスタービン（GT）は，高い燃焼ガス温度や頻繁なDSS（Daily Start-up and Shut-down）運用という過酷な運転条件にさらされている。

中でも，高温部品である燃焼器，動・静翼は，過酷な環境に加え，クリープと低サイクル熱疲労等の複合した損傷形態であるため，余寿命評価は不確定部分が多いため，安全率が高くなりがちである。

今後は，ユーザーとして自主責任のもと部品の寿命延伸，定検期間の短縮，点検周期の延長等によるコスト低減に向けた取組みがますます重要となってくる。

そこで，技術研究センターでは，柳井発電所の高温部品廃材の破壊調査および解析によるき裂進展予測を使い余寿命評価精度を向上し，部品の使用延長を図るための研究を行っている。以下に燃焼器及び静翼に関する研究

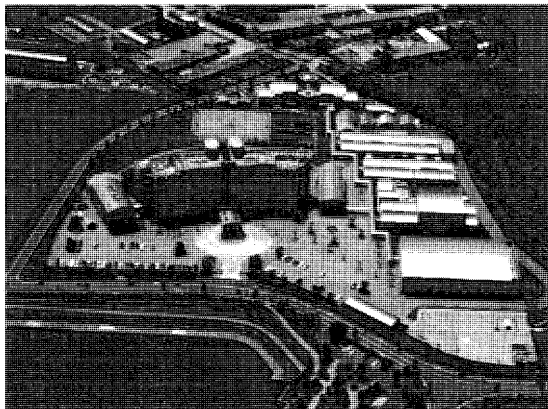
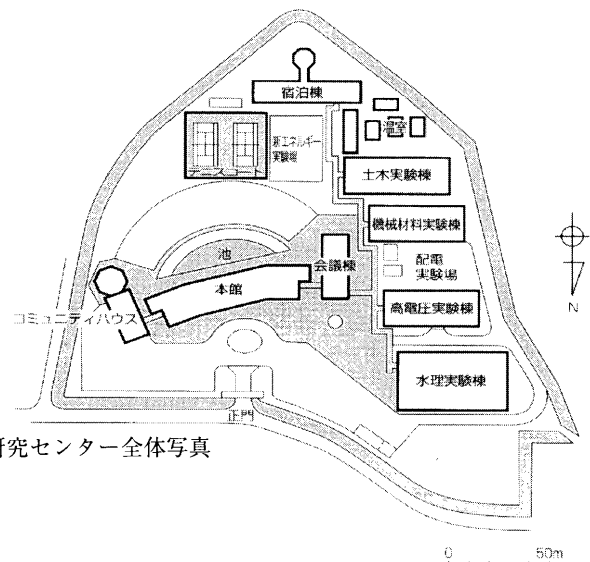


図1 中国電力株式会社技術研究センター全体写真



原稿受付 2003年5月26日

\*1 中国電力(株) 技術研究センター  
〒739-0046 広島県東広島市鏡山3-9-1

を紹介する。

2.1 GT燃焼器尾筒(トランジションピース)の破壊調査

トランジションピースは、クリープ変形、摩耗、低サイクル熱疲労によるき裂等の損傷を受けるが現状、補修、交換時期は等価運転時間管理により予防保全されている。

今回、クリープ損傷に着目した破壊試験により実機の寿命評価、および長時間試験(実機温度+60℃以下)データと短時間試験(実機温度+60~+100℃)データの比較を行った(表1)。

(1) 試験の概要

供試材;柳井発電所2号系列トランジションピース(2-4軸)廃材

破壊試験法;クリープ破断試験;アイソストレス(等応力)法

(2) 試験結果と考察

従来より、部品交換時期の目安にしている1%ひずみ到達時間について長時間側データと短時間側データとを比較した。比較温度は、実機レベル温度とした。

表1 クリープ試験条件

試験応力 MPa	試験温度※ (℃)	採取場所 (図2)
実機レベル	+60℃	上流側
	+40℃	
	+10℃ (試験中)	
	+60℃	下流側
	+40℃	
	+60℃	額縁部
	+40℃	
	+60℃	クラック部 (き裂)
+40℃		

※実機レベルの温度に対する試験温度

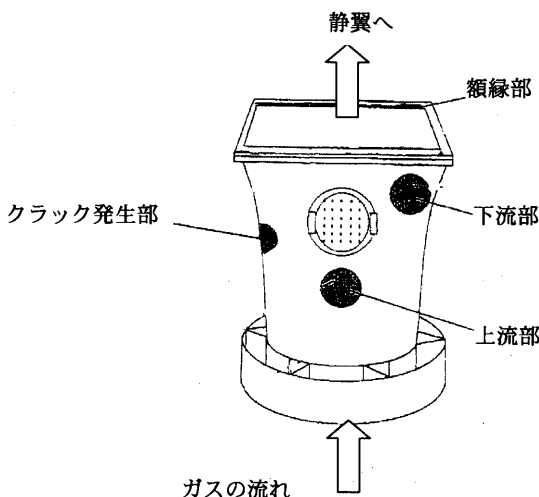


図2 試験片採取場所

a. 1%ひずみ到達時間の比較

1%ひずみ到達時間に関して、長時間側データの-3σと短時間側データの下限値の比較をする。長時間側データの-3σ(17,000時間)と短時間側データの下限値(2,000時間)では、約8倍の差がある(図3)。この差は、試験温度の違いによるものと考えられる。短時間試験は実機に比べ100℃程度高い温度で実施したのに対し、長時間のそれは、実機に近い温度で実施しているため、データの信頼性が高い。

b. 1%ひずみ到達時間と破断時間の比較

長時間側データの1%ひずみ到達時間と長時間側データの破断時間(-3σ)を比較する。1%到達と破断時間の比は、約5倍である。部品交換時期を1%ひずみ到達時間とすること自体に安全率が加味されている。

(3) 結論

従来の短時間側試験からの余寿命評価は、今回の試験データからも安全サイドの評価であることがわかった。

(4) 今後の課題

a. 新材のクリープ試験実施。

b. き裂の進展と材料の脆化に着目した余寿命評価手法の確立。

2.2 GT静翼のき裂進展予測に基づく余寿命評価

初段静翼は、起動停止などの負荷変動に伴う繰返し熱応力により、熱疲労き裂が発生する。き裂が板厚方向に貫通すると、冷却空気が漏れ出し、静翼の冷却が不十分となり、著しい強度低下が懸念される。そこで、当センターでは、き裂進展予測に破壊力学を適用し、高精度な余寿命評価法を開発した。

(1) 母材に関する余寿命評価

母材であるCo基超合金のき裂進展特性を把握するため、実機を模擬したクリープ疲労条件下(圧縮ひずみで保持)で、き裂進展試験を行った。また、静翼部材に作用する応力を推定するため、3次元モデルを用いた有限要素法による構造解析を行った。

以上の試験、解析結果より、初段静翼のき裂進展予測を行い、実機定検データと比較した結果、真の値(実験データ)の1.5~1/1.5倍の範囲で一致した。これによ

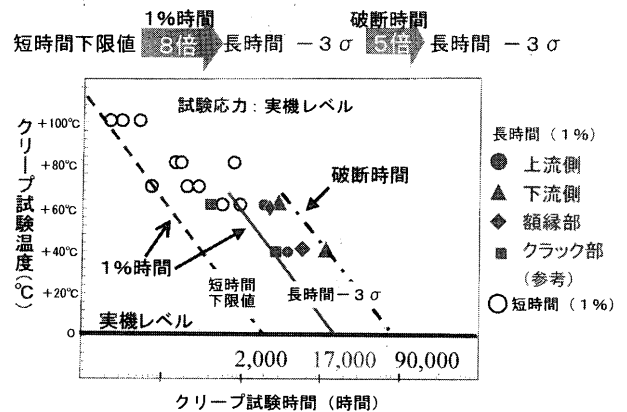


図3 クリープ試験

り、実機新材のき裂進展予測が可能となった。

(2) 溶接補修材に関する余寿命評価及び補修基準の検討  
 実機では、運転中にき裂が発生し、補修が必要と判断された静翼は、溶接補修が施されるが、補修後のき裂進展速度が速くなるのが定検データから確認されている。

そこで、母材におけるき裂進展解析を溶接補修材に適用し、現行の補修基準（許容き裂長さ）の妥当性を検討した。

a. 溶接補修材のき裂進展挙動

き裂進展試験を行い、母材、溶接補修材のき裂進展速度を比較した。その結果、やはり、き裂の進展は母材（新翼）に比べ、溶接補修材（TIG 溶接）が速いことがわかった（図4）。

b. 補修基準の検討

a. を基に、新翼及び補修翼についての補修基準の検討のため、これまで母材についてき裂進展予測曲線を作成したのと同様、TIG 溶接のき裂進展速度を用いた予測曲線を作成した。

予測曲線は、実機静翼にかかる応力を推定するため、図5の A~A+400 MPa までの範囲で数本作成した。

各応力におけるき裂成長予測曲線と実機（1-6 軸）定検データを比較し、実機静翼に発生する応力を推定した。これより、補修基準の検討には、推定応力のき裂成長曲線を用いる。

通常（2 年間）運転した場合の、許容最大き裂長さは、以下のように求めた。

〔き裂が限界長さ（静翼の全長）に達する起動停止回数-2 年間の起動停止回数〕より算出した起動停止回数に対応するき裂長さを求めた（図5）。

以上から、最大き裂による補修基準を現行から Xmm まで延長できることを明らかにした。

3. 終わりに

設備診断グループは3名で、ボイラ、蒸気タービン、ガスタービンの余寿命診断関係の研究を主体に行っている。規模は小さいが、研究内容の選択と集中により、またエンドユーザとして実機使用データが豊富に有るという特徴を活かし、多くの成果をあげている。その一例として、ボイラ、蒸気タービンの研究では、従来不可能であったクリープボイドの自動認識により大幅な省力化を図ったボイラ余寿命診断システムの開発（H9 年度日本材料学会賞受賞）、および電力会社としては初めて定期検査延長に使用できる自社開発の高精度余寿命診断手法（M パラメータ法）等がある。

ガスタービン研究に関しては、その歴史は浅く、平成7 年度から静翼の余寿命評価研究より始まり、現在まで8 年間続いている。成果としては、小規模な補修基準の変更等があるが、大きなコスト低減につながったものはない。実機各部位の温度、応力、振動が未知であり、容易に計測できないことから、ユーザとして、独自研究に踏み込めないことが理由である。大幅な保修コスト低減を目指すためには、メーカーと協調を図りながら、ユーザとしての独自性を出すことが強く求められている。

今後、実機運転・補修データや温度計測データを収集することにより、独自性の強い余寿命評価技術、寿命延伸技術を開発し、保修コスト低減と設備信頼性の向上に寄与していく所存である。

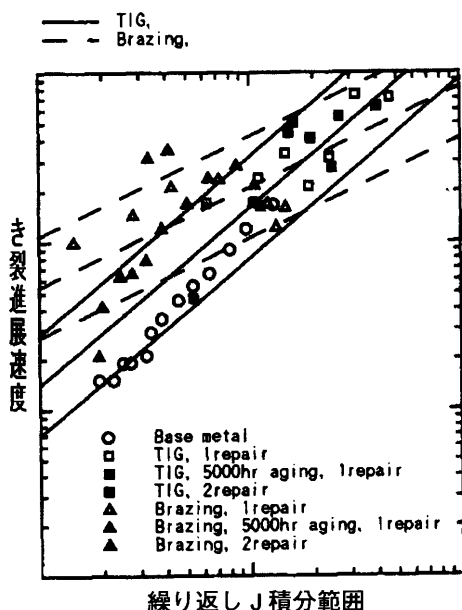


図4 溶接補修材のき裂進展速度結果

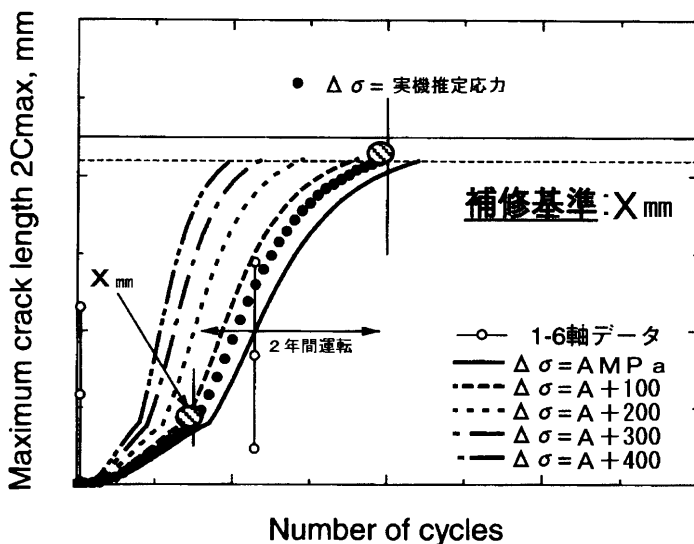


図5 最大き裂の成長予測曲線（TIG 溶接補修）と補修基準

## ガスタービン用燃料ガスターボ圧縮機

田中 宏明\*1

TANAKA Hiroaki

キーワード：ターボ圧縮機，増速機内蔵型，完全オイルフリー，コンパクト，メンテナンス  
Centrifugal Compressor, Integrally Geared Type, Oil Free, Compact, Maintenance

当社では、ガスタービン用燃料ガス圧縮機として、その独特の特性を活かして油冷式スクリーユ圧縮機を国内外に納入し、好評を得てきている。油冷式スクリーユ圧縮機は、高圧力比が得られることや吸込み圧力が変動する運転条件下で、消費動力面で優れているという特性を有する一方、潤滑油を圧縮機プロセス系内に使用するため、非常に僅かではあるが、完全には潤滑油が除去しきれないという特性がある。ガスタービンによっては、完全オイルフリーを要求する場合もあり、この要求仕様を満たせるターボ圧縮機での対応が必要になってきている。

当社では、主力メニューである増速機内蔵型ターボ圧縮機をその特徴を活かして、燃料ガス圧縮機に適用し、2002年、タイ向けに1号機（当社型番VGSP 75）を納入した。また、これに続いて、2, 3号機を受注し製作中である。スクリーユ／ターボ圧縮機両機種での対応が可能になったことで、ユーザの要求に対して適切な対応ができるようになった。

増速機内蔵型圧縮機は、歯車式増速装置のピニオン軸の一端あるいは両端にオーバハングしてインペラを取り付けたもので、各インペラのまわりのケーシングは増速機のケーシングに直接取り付けられた構造をしている。図1にVGSP 75圧縮機本体構造図を示す。

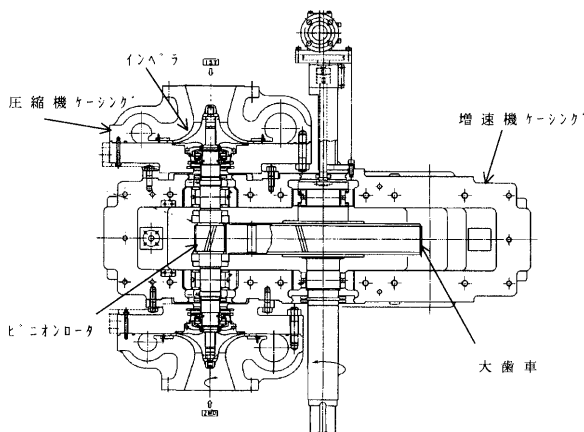


図1 VGSP 75圧縮機本体構造図

原稿受付 2003年6月10日

\*1 ㈱神戸製鋼所 回転機技術部 ターボ室  
〒676-8670 兵庫県高砂市荒井町新浜 2-3-1

### 特徴

#### 1) 完全オイルフリー

プロセスガス系統にはいっさい潤滑油を使用しないターボ圧縮機であり、ガスには全く油は混入しない。

#### 2) コンパクト

増速機、圧縮機本体、潤滑油システム、及びシールガスシステムを含む必要な機器を一つのユニットとしてパッケージングしており、非常にコンパクトである。

また、地上レベルの平基盤上への据付となるため、据付工事が非常に簡便になった。

#### 3) 高効率

当社開発の高効率インペラの採用と共に、軸受点数の削減により高効率を達成し、従前の一軸型ターボ圧縮機やスクリーユ式に比べても定格点での効率は優れている。

#### 4) メンテナンスの容易性

増速機内蔵型圧縮機においては、歯車、低速軸軸受、圧縮機ピニオン軸軸受の動力伝達部分は、水平分割構造の増速機ケーシング内に収まっており、その保守に際しては、増速機の上ケーシングを外すことにより、点検が可能である。また、圧縮機部品は各段独立の構造であるため、比較的軽量であり、点検保守が容易である。

タイ向け燃料ガス圧縮機の主要諸元を表1に、また、外観を図2、図3に示す。

スクリーユ式に加え、本ターボ型燃料ガス圧縮機をラインアップに加えたことにより、同用途に最適の圧縮機

表1 ガスタービン用燃料ガス圧縮機 VGSP 75 主要諸元

項目		仕様
流量	(kg/h)	34500
吸込み圧力	(MPa)	1.3
吸込み温度	(℃)	49
吐出圧力	(MPa)	2.52
吐出温度	(℃)	60 (*1)
ガス		NG
回転数	(rpm)	19900
駆動機出力	(kW)	1430
ユニットサイズ (長さ×幅×高さ)	(mm)	6000×2000×2800

注記 \*1 後方冷却器出口温度

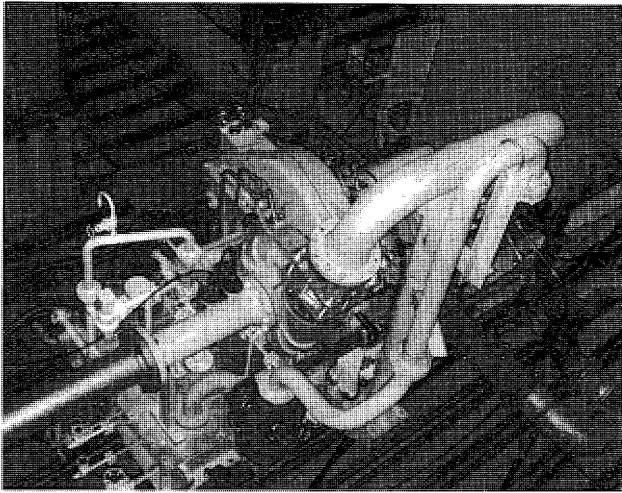


図2 燃料ガスターボ圧縮機の外観写真

型式を、仕様に応じて選択する事が出来る世界唯一のメーカーになった。この特徴・利点を最大限に活用することにより、拡販に努めたい。

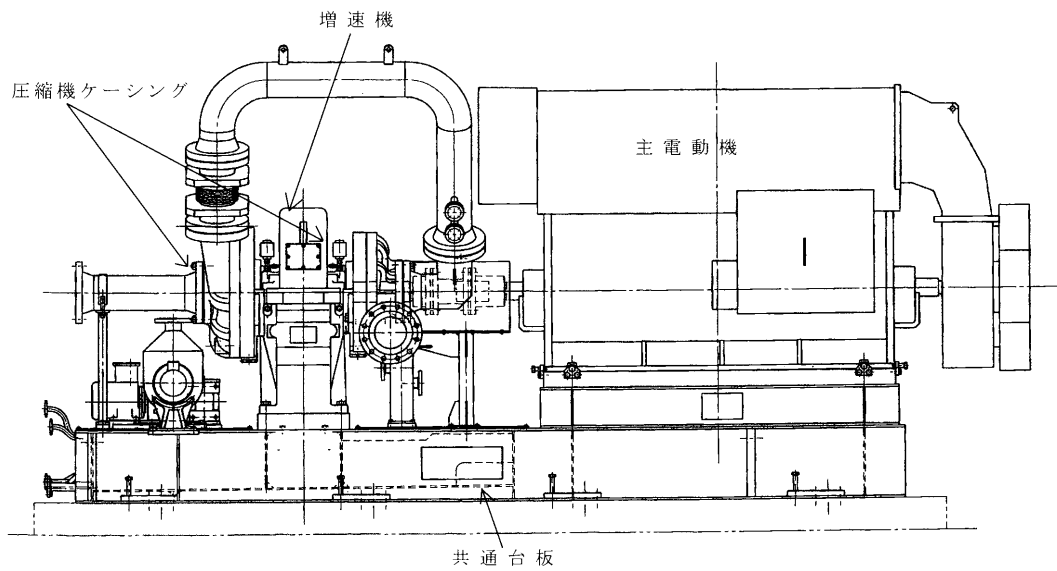


図3 燃料ガスターボ圧縮機外観図



## S5 マイクロ GT

巽 哲男\*1

TATSUMI Tetsuo

キーワード：Micro Gas Turbine, MGT, Ceramics

## 1. はじめに

わが国でマイクロガスタービン (MGT) が一大ブームとなったのは1999年の春辺りであろうか。連日のように経済紙や産業紙の紙面を飾った時期があった。今日、話題の主演の座は燃料電池に譲った感があるが、小型分散電源の一つとして注目される存在であることに変わりはない。

一方、今を遡ること17~18年前、既に日本に超小型ガスタービンが存在していたことはあまり知られていない。その用途や仕様は現在のMGTとは異なるが、ガスタービンとしての基本構成は紛れもなくMGTそのものである。

表紙の写真は、東京都立科学技術大学で教育実験用として使用されている、出力24kW級ガスタービンS5A-01である。これは、川崎重工業が1980年代前半に小型発電機用に開発したMGTを実験教材用にアレンジしたもので、発電機の代わりに動力計を駆動する構成とし、1988年に納入したものである。

## 2. MGTの進化

MGTとして注目されるようになる遙か以前から、数十馬力程度の超小型ガスタービンは各国に存在していたが、これらは特殊用途を主体に開発されたものが多く、広く一般に知られることはなかった。

MGTブームの先鞭を付けたのは米国Capstone社の30kW級ガスタービンであった。これが脚光を浴びた理由は、再生熱交換器、高速発電機、空気軸受、パワーエレクトロニクス等、旧知の技術を最新のテクノロジーでより高度化し、これらをうまく組み合わせて超小型機に適用して、高い熱効率と信頼性のみならず大量生産を前提とした魅力的な価格で従来機種と一線を画すことができたためであろう。

## 3. MGTとS5型ガスタービン

S5型ガスタービンの主要諸元をCapstoneの30kW

原稿受付 2003年3月25日

\*1 川崎重工業(株) ガスタービン・機械カンパニー  
ガスタービンビジネスセンター  
〒637-8666 明石市川崎町1-1

表1 主要諸元の比較

形式	S5A-01	S5B-01	Capstone 28kW
定格出力	24kW(軸端)		28.3kW(発電端)*
熱効率	13%(軸端)		25%(発電端)*
圧力比	3.8		3.5*
タービン入口温度	833℃		840℃*
タービン出口温度	590℃		593℃*
熱交換器排ガス温度	590(熱交換器無し)℃		281℃*
主軸回転数	96,000rpm		96,000rpm*
出力軸回転数	3,600rpm	12,000rpm	96,000rpm(直結)
圧縮機	1段遠心式		1段遠心式
燃焼器	単缶式		アニュラー式
タービン	1段輻流式		1段輻流式
熱交換器	無し		伝熱式(PSR)
減速機	1段遊星+1段並行軸	1段遊星	無し
スタータ	0.8kW-12V DC		無し
潤滑油	合成基油(MIL-L23699)		無し
燃料	灯油、軽油、ジェット燃料		天然ガス
寸法	390L×320W×390H	510L×330W×255H	—
重量	32kg	34kg	—

(注) Capstoneの\*印データは第29回GTSJガスタービンセミナー資料による

級と比較して表1に示す。主軸回転数、タービン入口/出口温度、圧力比等、非常に良く似た仕様のガスタービンであることが判る。

ただし、S5の開発当時は最近のMGTで用いられているような高速発電機は開発されておらず、減速機を介して3,600rpm(型式名称S5A-01)または12,000rpm(型式名称S5B-01)に減速して発電機を駆動する構造となっている。更に、主軸軸受も油潤滑の転がり軸受を使用しているため、96,000rpm(1秒間に1,600回転)という超高速回転とも相まって、かなり大きなメカニカルロス余儀なくされている。両者の性能差は減速機および軸受によるメカニカルロスの有無と、再生熱交換器の有無によるものであると言っても良い。

## 4. S5型ガスタービンの概要

S5型ガスタービンは、大別すると出力発生部、減速機、燃料制御装置および電装品から構成される。S5A-01の外観を図1に、S5B-01の外観および構成機器の配置を図2に示す。

## (1) 出力発生部

出力発生部は、圧縮機、タービン、燃焼器、回転軸および軸受、外殻構造等から構成される。断面構造を図3に示す。圧縮機ロータとタービンロータが背中合わせに結合され、これらの一方に配置された2個の軸受で片持支持される構造となっている。

## (2) 基本熱サイクル

一般に、圧力比が高くタービン入口温度が高いほど、

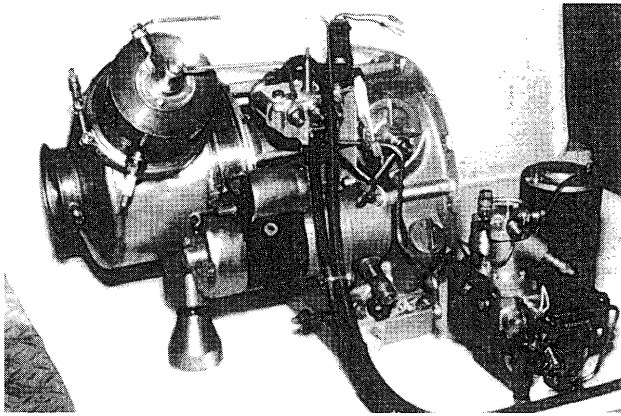


図1 S5 A-01 ガスタービンの外観

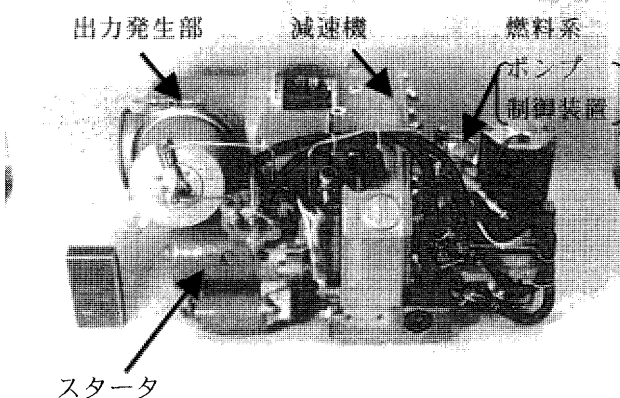


図2 S5 B-01 ガスタービンの外観と構成機器

単純サイクルガスタービンの熱効率は高くなるが、一方で、圧縮機やタービンの高効率設計は難しくなる。また、これらの要素効率は粘性や漏れの影響で、その寸法が小さくなるほど低くなる。

基本設計にあたっては、小型・単純構造とすることを基本方針に構成要素の形式を選定し、圧力比やタービン熱落差などから達成可能な要素効率を予測してパラメトリックスタディを行ない、最適な圧力比とタービン入口温度を選定した。

### (3) 圧縮機

圧縮機は析出硬化型ステンレス鋼 17-4 PH 材の精密鋳造製である。非常に小さな翼となるため高効率を得ることが難しいが、スプリッタ翼の採用、翼厚を可能な限り薄くしたインデューサ、インデューサ部における局所マッハ数の増大を抑える設計、出来るだけ大きなバックワード角の採用等の工夫をする事で小流量圧縮機としては高い効率を達成している。

### (4) タービン

タービンはニッケル基耐熱合金インコネル 713 LC の精密鋳造品である。反動度や速度比、翼枚数などを注意深く検討すると共に、低合金鋼製回転軸と摩擦溶接により一体構造とする事でタービンディスクを中実とし、遠心応力を低減して比較的高いチップ周速を採用する事で高い効率を得ている。

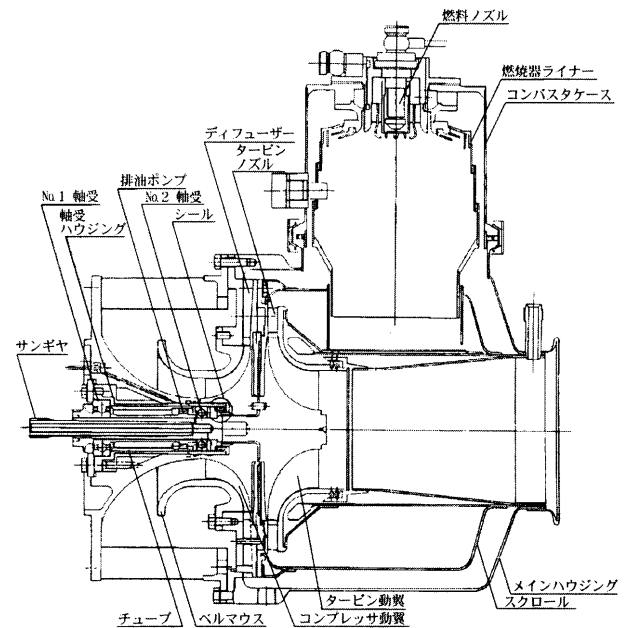


図3 S5型ガスタービン出力発生部の断面構造

### (5) 燃焼器

燃焼器の開発においては、大きさの制約から非常に困難に直面した。最適な燃焼状態を得るためには、燃焼器ライナーの開発の他、比較的低い燃料噴射圧力でも良好な噴霧が得られる燃料ノズルの開発が必要であった。このため燃焼器ライナーの改良を重ねると同時に燃焼器の圧力損失を利用したエアブラストノズルを開発した。

### (6) 回転軸および軸受

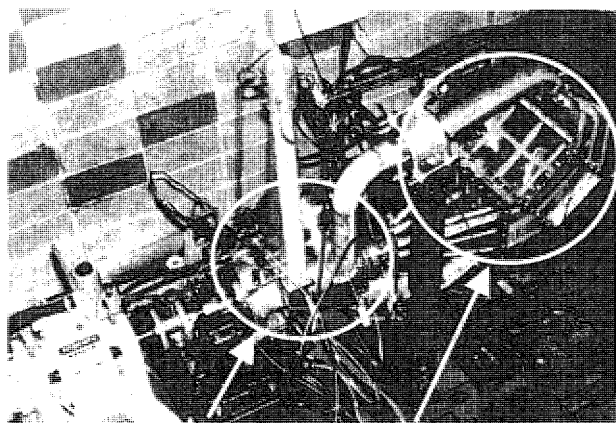
極力単純な構造とすること、給排油機構がシンプルに出来ること、軸受が低温部に配置できること、潤滑油への入熱が少なくなること等を考慮して、圧縮機とタービンを背中合わせに配置し、これらを2個の軸受で片持ち支持する構造を採用した。このため振動回避には十分な配慮をして、軸径や軸受スパンを適正に選び危険速度を常用回転域から離してある。また、バランス精度を上げると共に、バネ支持構造とスクイーズフィルムダンパを採用して起動停止および定格回転時の振動を軽減している。

### (7) 燃料系統

小型で小流量の燃料を扱うこと、移動式用途では耐振性を要求されることなどを考慮して、電動式燃料ポンプやPWM方式の燃料流量制御弁等ユニークな方式を採用している。

## 5. S5の再生サイクル化/セラミック化研究

S5型ガスタービンは、当初の設計から大幅な変更無しに現在に至っているが、応用研究として1980年代後半に、これをベースとして、タービンロータ、タービンノズル、燃焼器ライナーをセラミック製とし、さらに再生熱交換器を採用した、タービン入口温度1,100℃の高効率小型ガスタービンの研究を行った。運転試験の状況を図4に示す。



GT 本体 再生熱交換器

図4 S5型ガスタービンによる再生サイクル  
セラミックガスタービンの運転試験状況

種々の問題を克服しつつ、累積約100時間の運転実績を積むところまで行ったが、ちょうどこの時期に300kW級セラミックガスタービンの開発プロジェクトが立ち上がり、それに傾注するためこの研究は中断した。

300kWセラミックガスタービンCGT 302の研究開発ではタービン入口温度1350℃、熱効率42%という小型ガスタービンとしては画期的な目標性能を達成したが、これにはS5でのセラミック部品や熱交換器に関する経験が大いに役立った。

## 6. おわりに

現在市販されているMGTはいずれもタービン入口温度が900℃程度で、S5の開発当時と同じレベルである。このため、高い温度効率を持つ再生熱交換器を採用して比較的高い発電効率を確保しているが、その代償として排気温度が低くなり、「排気温度が高く熱出力が大きい」というガスタービンの特徴（長所でも短所でもある）を失っている。

MGTはそのサイズ故に効率上のハンデを背負っており、高効率化の為に高温化が求められる一方で、冷却構造を適用しにくい。このジレンマの解決策としては、セラミックの採用による高温化・無冷却化が有力であり、今後の動向が注目される場所である。

## 第 31 回ガスタービン定期講演会・見学会の報告

岩井 保憲  
Iwai Yasunori

第 31 回定期講演会が 6 月 25 日(水)、26 日(木)に北見市芸術文化ホールを中心に 110 名の参加を得て開催された。

女満別空港からバスに乗って北見駅で降りると駅前のビルに「歓迎－ガスタービン定期講演会」の横断幕に驚かされた。コンベンションシティ北見推進協議会が設置してくださったとのことである。横断幕をバックに記念撮影をする姿が多数みられた。

講演会は一般講演としてガスタービンシステムが 13 件、燃焼関係が 12 件、伝熱が 3 件、空力が 17 件、材料が 6 件の合計 51 件が芸術文化ホールと木のプラザの 2 会場で発表された。発表件数は年一回開催となった昨年と同程度であった。芸術文化ホールは大きなホールであり、音響、映像システムのセット・操作は専任スタッフにて行われた。大きなステージに立ち、緊張する方、気分良く発表する方、それぞれいらっしゃったことと思う。

特別講演では北海道立オホーツク流水科学センター長の北大名誉教授 青田昌秋氏が「流水について」と題してオホーツク海での流水の発生原理、流水と地球環境、流水と水産資源などについて、わかりやすくお話しいただいた。ロシアのアムール川流域に調査に行かれた記録として NHK スペシャルでも映された貴重な映像、そして多数のスライド資料などの紹介もあった。オホーツク海ほど低緯度で、また多くの人々が居住する地域で流水を見ることができるのは世界的に稀ということである。流水発生の境界地域であるため、温暖化等、地球環境の影響を受けやすく、流水観測は環境危機センサーとしての意味も大きいそうである。オホーツク海沿岸に 3 基の流水レーダを設置し、過去 30 余年にわたり貴重なデータを収集してきたが、昨今の経費削減により、レーダ観測も廃止の危機にある現状も訴えておられた。以上のような貴重なお話を伺っている間にあっという間に時間が過ぎていった。なお、この特別講演は北見市と共催であり、北見市民にも公開された。

オーガナイズドセッション (OS) は昨年の創立 30 周年記念講演会、第 30 回定期講演会に続いて「技術伝承」をテーマとし、今回は学術講演会委員会・調査研究委員会の合同企画として企業にて最前線で事業に取り組んでおられる立場から三菱重工業(株)原動機事業本部 技監 塚越敬三氏、川崎重工業(株) ガスタービン開発センターセンター長 杉本隆雄氏にそれぞれ開発されたガスタービンの歴史、米国と日本の国プロの比較、開発体

制・開発プロジェクトについてなど実体験に基づいた発表をいただいた後、各企業内でまたは国プロで得た知見をどうやって将来にわたって活用していくかなど活発に討論された。

懇親会は講演会第 1 日目の終了後、北見東急インの宴会場に移動して開催された。吉岡 (大田) 会長の挨拶の後、田中元会長の音頭による乾杯で参加者一同は歓談に入った。途中、北見市の有志による、よさこいソーラン踊りチーム「薄荷童子」の威勢のいいパフォーマンスがあり、さらに参加者の約半数が誘われるままに、みよみまねで踊りに参加した。日頃の運動不足に加え、お酒が入った状態での踊りに汗だくとなったが、ハッカの香り漂う「薄荷童子」との競演? は心地良いものであった。

27 日(金)の見学会には 30 名の方の参加があり、まず北見市浄化センターにて下水処理の際に発生する消化ガスを燃料としたマイクロガスタービン (MGT) 発電システムを見学した。北見市では現在、発生した消化ガスの約 45% を都市ガスとして売却しているが、平成 20 年には都市ガスが天然ガスに切替わるため、消化ガスの有効な利用法を検討している段階で、MGT も選択肢のひとつとして検証試験をしているとのことであった。次に北見工業大学にて MGT 発電システムの排熱を融雪に利用するシステム、太陽光を模擬できる大型ソーラシミュレータ、 $-50^{\circ}\text{C}$  の環境を実現できる低温室などを見学した。その後、博物館網走監獄ではまともな暖房がない牢屋をみて、 $-30^{\circ}\text{C}$  にもなる真冬を想像しただけで寒くなり、オホーツク流水館では $-20^{\circ}\text{C}$  の低温室で流水や南極の水に直接触れ、想像した寒さを実際に体験した。あいにく、霧雨模様で雄大な北海道の原野、山々を目の当たりにすることはできなかったが、バスでの移動中にも馬や牛が走り、そしてエゾシカもバスと共に並走するところを目撃し、北海道の自然を実感しながら、全日程を終えた。

最後に講演会場設営から懇親会、見学会ガイドまでサポートしていただいた北見市商工部小島部長はじめ商工部の皆様、プロジェクト等の機器の借用を含め、講演会・見学会をサポートしていただいた北見工業大学の佐々木正史・山田貴延先生、遠藤登助手、学生の皆様、見学会でお世話になった関係各位にはこの場を借りてお礼申し上げます。

(学術講演会委員会委員)

## ◇2003年国際ガスタービン会議東京大会のお知らせ◇

実行委員長 川口 修

1999年に神戸国際会議場で国際会議を開催してから早くも3年半あまりの月日が過ぎた。一向に明るさが戻らない厳しい経済情勢の中ではあるが、組織委員会、実行委員会の方々、そして多くの会員各位の後押しにより、下記の通りに今秋の国際会議開催に向けて着々と準備が進められている。今回は米国機械学会ガスタービン部門(ASME/IGTI)をも加え、日本機械学会、日本航空宇宙学会、および中国、韓国、英国、フランス、ドイツ、等世界各国の関連学会の協力を得ており、充実した国際会議となることを確信している。世界各国からの多数の論文発表に加え、著名な研究者、技術者によるKeynote Speechやフォーラム、パネルディスカッションが企画され、また、従来の国際会議同様に、ガスタービン関連の最新技術の展示会も同時に開催予定である。

最新のガスタービン関連の研究成果を収集し、世界各国の専門家と情報交換が出来る絶好の機会であり、是非ともご参加頂きたい。

## 1. 論文投稿と講演会準備の状況

今回のIGTCでは、ASME/IGTIとの共催が再開され、また、従来から協力を頂いていた国内外の諸学会との協力関係も良好に継続していることから、海外からの講演申し込みがこれまでに比べて飛躍的に増大した。内訳は表1に示す通りであるが、アブストラクト申し込み数187件は前回に比して微増であるものの、海外からの申し込みが日本国内からの件数に匹敵する90件と、前回の68件から大幅に増加している。現在は提出されたFull-length Paperの査読中であり、論文委員会が委嘱した多くの校閲委員の方々にご協力を頂いているところである。

講演プログラムは査読が完了した段階で確定するが、表2のようなセッション構成で準備を進めている。各論文に30分と十分な時間を割り当て、休憩時間などにもゆとりをもたせるよう心がけているため、約180件の講演を収めようとすると、6室の平行セッションがどうしても必要となる。

論文講演以外では7件のKeynote Speechを依頼し、また、「ガスタービンの夢」をテーマとするパネルディスカッションを準備している。その他、Forumと称して情報交換を主目的とするセッションを企画しており、今のところ、「参加各国のエネルギー政策」、「産学共同の実情」などをテーマとして準備をしている。

多くの国から優れた論文が集まり、また、種々の情報交換や討論のセッションが実施されることで、参加の意義のある、充実した講演会になるよう鋭意計画を進めて

表1 国別の論文応募件数

	IGTC 03 (8th)	IGTC 99 (7th)
Australia	—	2
Belgium	1	2
China, P.R.	8	6
France	3	4
Germany	15	12
India	4	1
Iran	6	—
Italy	4	4
Japan	97	106
Korea	9	10
Mexico	1	—
Poland	2	—
Russia	7	3
Slovakia	—	1
Sweden	1	1
Switzerland	3	4
United Kingdom	15	9
USA	11	8
Yugoslavia	—	1
全応募数	187	174
うち海外	90	68

おり、会員諸氏のご協力とご参加をお願いする次第である。なお、講演プログラム等の最新情報は、逐次ホームページに掲載して行く予定なので、ご注目頂けると幸いです。

## 2. 展示会準備状況

国際会議のもう一つの柱であり、財政的にもその収入に期待するところが大きいのが展示会である。展示会は展示委員会(玉木委員長、荒畑幹事)のもと準備がすすめられており、展示企業の募集を行っている。内外のガスタービン関連の企業から最新のガスタービンあるいは部品の展示、計測機器類の展示、解析ソフトウェアの展示を期待しているが、日本の経済状況が前大会に増して悪化しているため苦労を強いられている。しかし、展示委員の努力であと一步というところになっており、関係各位の努力に感謝したい。

## 展示会概要

会場：タワーホール船堀(江戸川区総合区民ホール)内展示ホール

展示小間数：約55小間

展示内容：ガスタービンおよび関連機器・部品、計測機器類、解析ソフトウェア等

表2 論文講演のセッション構成案

Measurement and Control	Unsteady Aerodynamic Force/Vibration 2	Engine Test Facility and Equipment
Condition Monitoring	Unsteady Aerodynamic Force/Vibration 3	Micro Gas Turbine
Blade and Vibration	Unsteady Flow	Materials 1
Bearing and Vibration	Performance Analysis of New Systems	Materials 2
Advanced Numerical Analysis 1	Performance Analysis of Gas Turbine	Materials 3
Advanced Numerical Analysis 2	Air Cooling and Humidifying Systems	Numerical Simulation of Combustion
Advanced Numerical Analysis 3	Analysis of Performance Deterioration	Low Emission Combustor 1
Cascade Design 1	Wave Rotor	Low Emission Combustor 2
Cascade Design 2	Heat Transfer 1	Combustor Design
Cascade Design 3	Heat Transfer 2	Combustor Control
Cascade Design 4	Heat Transfer 3	Combustor Development
Control of Unsteady Flow and Noise	Turbine Cooling	Gas Turbine Operation
Internal Flow 1	Advanced Analysis of Flow and Heat	Ultra Micro Gas Turbine 1
Internal Flow 2	Industrial Gas Turbine	Ultra Micro Gas Turbine 2
Internal Flow 3	Aero Engine 1	Marine Gas Turbine and Turbocharger
Unsteady Aerodynamic Force/Vibration 1	Aero Engine 2	

### 3. 関連行事

2003年国際ガスタービン会議東京大会では、会期中、下記の行事を予定しているので、振るってご参加頂きたい。詳細はホームページをご参照頂きたい。

—ウェルカム・レセプション（日曜日夕刻）

—バンケット（水曜日夕刻）：和食ディナーと邦楽演奏を予定。

—同伴者プログラム（月曜日～木曜日）：お茶のレッスンを開催。

—見学会（金曜日）：

A) 航空宇宙技術研究所、及び、石川島播磨重工業株の田無工場

B) 全日本空輸株の原動機センター、及び、東京電力株品川火力発電所

### 4. 講演会・展示会場へのアクセス

本国際会議が開催されるタワーホール船堀（江戸川区総合区民ホール）は、都営新宿線船堀駅前（江東区）に位置している。館内には大ホールなどの講演室や展示ホールなどが用意されており、また7階から展望タワーに昇って東京東部の街並みを一望できる。船堀駅には急行電車も停車し、東京駅からも20分程度と交通の便も比較的良好な場所である（右図参照）。

### 5. 参加登録などの詳細情報

すでに国際会議ホームページをご覧頂くと、講演プログラム（仮）、参加登録の方法、宿泊予約などに関する詳細情報が得られるのでご参照されたい。参加登録フォームは本誌に折込みのものをご利用頂くか、またはホームページからもダウンロードできる。参加登録料の早期割引料金は9月12日までとなっているので、是非とも早めにお申し込み頂きたい。

ホームページのアドレス

<http://wwwsoc.nii.ac.jp/gtsj/igtc/>

#### 会場への交通アクセス

##### [羽田空港から]

●空港→浜松町駅→大門駅→森下駅

東京モノレール(23分) 徒歩 大江戸線(15分)

→船堀駅

都営新宿線(12分)

●空港→泉岳寺駅→東日本橋駅

京浜急行(25分) 都営浅草線(15分)

→馬喰横山駅→船堀駅

徒歩 都営新宿線(15分)

##### [成田空港から]

●空港→京成八幡駅→本八幡駅→船堀駅

京成本線(50分) 徒歩 都営新宿線(11分)

##### [東京駅から]

●東京駅→馬喰町駅→馬喰横山駅→船堀駅

JR 総武線快速(5分) 徒歩 都営新宿線(15分)

##### [新宿駅から]

●新宿駅→船堀駅

都営新宿線(32分)

●新宿駅→市ヶ谷駅→船堀駅

JR 総武線(10分) 都営新宿線(17分)

## 2003 年度第 2 回見学会のお知らせ

2003 年度第 2 回見学会を下記の要領で開催致します。  
 今回は中山共同発電株式会社船町発電所殿の設備を見学  
 させていただきますので奮ってご参加下さい。

1. 日 時；2003 年 9 月 12 日(金) 13：30～16：00
2. 見学先；中山共同発電株式会社 船町発電所  
 (中山製鋼所 能力開発センター集合)  
 住所 〒551-0022 大阪市大正区船町 1-1-66  
 道順 JR 環状線大正駅より  
 ①バス：西船町行, 西船町下車(所用約 25 分)  
 ②タクシー：西船町と申出 (所用約 15 分)

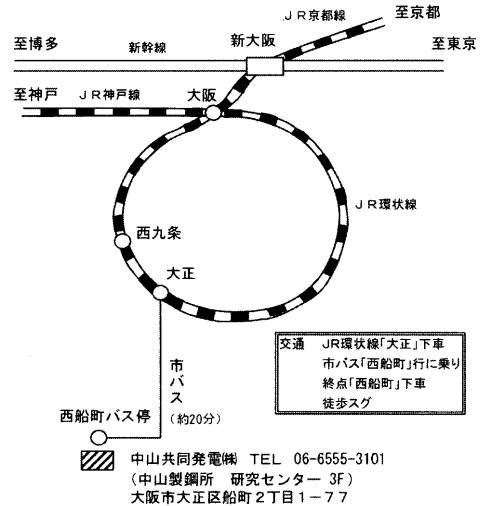
### 3. スケジュール

- 13：30 現地集合 (中山製鋼所  
能力開発センター集合)
- 13：40～15：00 船町発電所概要説明／設備見学
- 15：00～16：00 ガスタービン設備説明／懇談
- 16：00 解 散

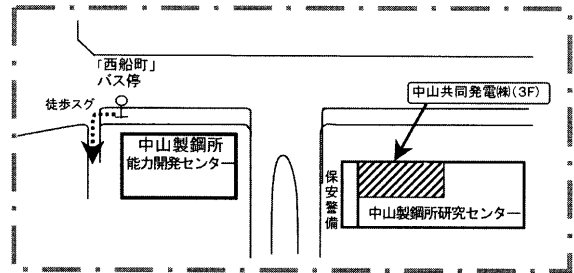
### 4. 参加要領

- 1) 定員 50 名 (定員超過の場合は抽選, 全員にお知らせします。)
- 2) 申込み方法：下記の申込書にご記入の上, FAX  
又は郵送にて学会事務局へお送り下さい。
- 3) 参加費：3000 円当日お支払い下さい。 以上

中山共同発電(株) ご案内図



付近詳細図



## (社)日本ガスタービン学会 行 見学会参加申込書

FAX：03-3365-0387

申込締切日 (2003 年 8 月 29 日)

開 催 日 (2003 年 9 月 12 日)

TEL：03-3365-0095 E-mail：gtsj@pluto.dti.ne.jp

氏 名	GTSJ 会員番号	
勤 務 先		
勤 務 先 住 所	〒	
T E L	F A X	
連 絡 先	〒	
E-mail		

## ○ 本会協賛・共催行事 ○

会 合 名	開催日・会場	詳細問合せ先
日本エネルギー学会第12回年次大会	H 15/7/30-31 北海道大学 工学部	日本エネルギー学会 TEL: 03-3834-6456 FAX: 03-3834-6458 E-MAIL: taikai12@jie.or.jp
第264回講習会 応力計測の基礎とその応用 (計測デモンストレーション付き)	H 15/9/18-19 大阪科学技術センター 8階中ホール	日本機械学会関西支部 TEL: 06-6443-2073 FAX: 06-6443-6049 E-MAIL: jsme@soleil.ocn.ne.jp
第41回燃焼シンポジウム	H 15/12/3-5 つくば国際会議場	第41回燃焼シンポジウム事務局 TEL: 029-861-8072 FAX: 029-861-8222 E-MAIL: sympo41@combustionsociety.jp URL: http://combustionsociety.jp/cs-j/
第17回数値流体力学シンポジウム	H 15/12/17-19 国立オリンピック記念青少年センター	第17回数値流体力学シンポジウム 幹事 谷口伸行(東京大学生産技術研究所) TEL: 03-5452-6197 FAX: 03-5452-6197
第24回国際航空科学会議 横浜大会	H 16/8/29-9/3 パシフィコ横浜 国際会議場	第24回国際航空科学会議事務局 TEL: 03-3519-4808 FAX: 03-3519-9998 E-MAIL: icas@jsass.or.jp

## ▷ 入会者名簿 ◁

[正会員]	布谷昌俊(川崎重工)	中野仁(東北電力)	[学生会員]
保津武志	宮前亮(川崎重工)	関原傑(日立)	荒木進(慶大)
阿部駿一郎(阿部技術士事務所)	藤岡順三(川崎重工)	山内康寛(日立造船)	岸本崇裕(慶大)
萬代貢一(IHI)	久保寛(国土交通 九州運輸局)	平野篤(防衛庁 技術本部)	児玉大樹(東大)
渋谷高広(川崎重工)	萩野哲(JFEスチール)	若井宗弥(三菱重工)	[学生から正会員]
有山房徳(川崎重工)	星野康史(ダイハツ)	三谷真規(三菱重工)	明連千尋(日立)
高坂貴(川崎重工)	矢澤信雄(テクニサーチ研究所)	高村啓太(三菱重工)	加藤善己(IHI)
大上和宏(川崎重工)	馬野博光(コクア-ビオシステム)	橋本朋子(三菱重工)	押味加奈(都立科技大)
森脇健(川崎重工)	新井啓介(コクア-ビオシステム)	平田憲文(三菱重工)	杉山怜(三菱重工)
長田仁(川崎重工)	小島秀樹(新潟原動機)	盛下光寛(三菱重工)	茂木俊夫(産業技術総研)
大柴達也(川崎重工)	鶴沢聖治(東大)	中島史雄(ヤンマー)	
石丸治(川崎重工)	佐久間直勝(東北電力)		

## 訃 報

前監事 野田 廣太郎 君 72才

平成15年6月4日逝去されました  
ここに謹んで哀悼の意を表します



## ○ 本会協賛・共催行事 ○

会 合 名	開催日・会場	詳細問合せ先
日本エネルギー学会第12回年次大会	H 15/7/30-31 北海道大学 工学部	日本エネルギー学会 TEL: 03-3834-6456 FAX: 03-3834-6458 E-MAIL: taikai12@jie.or.jp
第264回講習会 応力計測の基礎とその応用 (計測デモンストレーション付き)	H 15/9/18-19 大阪科学技術センター 8階中ホール	日本機械学会関西支部 TEL: 06-6443-2073 FAX: 06-6443-6049 E-MAIL: jsme@soleil.ocn.ne.jp
第41回燃焼シンポジウム	H 15/12/3-5 つくば国際会議場	第41回燃焼シンポジウム事務局 TEL: 029-861-8072 FAX: 029-861-8222 E-MAIL: sympo41@combustionsociety.jp URL: http://combustionsociety.jp/csj-j/
第17回数値流体力学シンポジウム	H 15/12/17-19 国立オリンピック記念青少年センター	第17回数値流体力学シンポジウム 幹事 谷口伸行(東京大学生産技術研究所) TEL: 03-5452-6197 FAX: 03-5452-6197
第24回国際航空科学会議 横浜大会	H 16/8/29-9/3 パシフィコ横浜 国際会議場	第24回国際航空科学会議事務局 TEL: 03-3519-4808 FAX: 03-3519-9998 E-MAIL: icas@jsass.or.jp

## ▷ 入 会 者 名 簿 ◁

[正会員]	布 谷 昌 俊(川崎重工)	中 野 仁(東北電力)	[学生会員]
保 津 武 志	宮 前 亮(川崎重工)	関 原 傑(日立)	荒 木 進(慶大)
阿 部 駿一郎(阿部技術士事務所)	藤 岡 順 三(川崎重工)	山 内 康 寛(日立造船)	岸 本 崇 裕(慶大)
萬 代 貢 一(IHI)	久 保 寛(国土交通 九州運輸局)	平 野 篤(防衛庁 技術本部)	児 玉 大 樹(東大)
渋谷 高 広(川崎重工)	萩 野 哲(JFEスチール)	若 井 宗 弥(三菱重工)	[学生から正会員]
有 山 房 徳(川崎重工)	星 野 康 史(ダイハツ)	三 谷 真 規(三菱重工)	明 連 千 尋(日立)
高 坂 貴(川崎重工)	矢 澤 信 雄(テクニサーチ研究所)	高 村 啓 太(三菱重工)	加 藤 善 己(IHI)
大 上 和 宏(川崎重工)	馬 野 博 光(コクア-ビエラシステム)	橋 本 朋 子(三菱重工)	押 味 加 奈(都立科技大)
森 脇 健(川崎重工)	新 井 啓 介(コクア-ビエラシステム)	平 田 憲 文(三菱重工)	杉 山 怜(三菱重工)
長 田 仁(川崎重工)	小 島 秀 樹(新潟原動機)	盛 下 光 寛(三菱重工)	茂 木 俊 夫(産業技術総研)
大 柴 達 也(川崎重工)	鷓 沢 聖 治(東大)	中 島 史 雄(ヤンマー)	
石 丸 治(川崎重工)	佐久間 直 勝(東北電力)		

## 訃 報

前監事 野田 廣太郎 君 72才

平成15年6月4日逝去されました  
ここに謹んで哀悼の意を表します

## ○ 本会協賛・共催行事 ○

会 合 名	開催日・会場	詳細問合せ先
日本エネルギー学会第12回年次大会	H 15/7/30-31 北海道大学 工学部	日本エネルギー学会 TEL: 03-3834-6456 FAX: 03-3834-6458 E-MAIL: taikai12@jie.or.jp
第264回講習会 応力計測の基礎とその応用 (計測デモンストレーション付き)	H 15/9/18-19 大阪科学技術センター 8階中ホール	日本機械学会関西支部 TEL: 06-6443-2073 FAX: 06-6443-6049 E-MAIL: jsme@soleil.ocn.ne.jp
第41回燃焼シンポジウム	H 15/12/3-5 つくば国際会議場	第41回燃焼シンポジウム事務局 TEL: 029-861-8072 FAX: 029-861-8222 E-MAIL: sympo41@combustionsociety.jp URL: http://combustionsociety.jp/cs-j/
第17回数値流体力学シンポジウム	H 15/12/17-19 国立オリンピック記念青少年センター	第17回数値流体力学シンポジウム 幹事 谷口伸行(東京大学生産技術研究所) TEL: 03-5452-6197 FAX: 03-5452-6197
第24回国際航空科学会議 横浜大会	H 16/8/29-9/3 パシフィコ横浜 国際会議場	第24回国際航空科学会議事務局 TEL: 03-3519-4808 FAX: 03-3519-9998 E-MAIL: icas@jsass.or.jp

## ▷ 入会者名簿 ◁

[正会員]	布谷昌俊(川崎重工)	中野仁(東北電力)	[学生会員]
保津武志	宮前亮(川崎重工)	関原傑(日立)	荒木進(慶大)
阿部駿一郎(阿部技術士事務所)	藤岡順三(川崎重工)	山内康寛(日立造船)	岸本崇裕(慶大)
萬代貢一(IHI)	久保寛(国土交通 九州運輸局)	平野篤(防衛庁 技術本部)	児玉大樹(東大)
渋谷高広(川崎重工)	萩野哲(JFEスチール)	若井宗弥(三菱重工)	[学生から正会員]
有山房徳(川崎重工)	星野康史(ダイハツ)	三谷真規(三菱重工)	明連千尋(日立)
高坂貴(川崎重工)	矢澤信雄(テクニサーチ研究所)	高村啓太(三菱重工)	加藤善己(IHI)
大上和宏(川崎重工)	馬野博光(コクア-ビオシステム)	橋本朋子(三菱重工)	押味加奈(都立科技大)
森脇健(川崎重工)	新井啓介(コクア-ビオシステム)	平田憲文(三菱重工)	杉山怜(三菱重工)
長田仁(川崎重工)	小島秀樹(新潟原動機)	盛下光寛(三菱重工)	茂木俊夫(産業技術総研)
大柴達也(川崎重工)	鶴沢聖治(東大)	中島史雄(ヤンマー)	
石丸治(川崎重工)	佐久間直勝(東北電力)		

## 訃 報

前監事 野田 廣太郎 君 72才

平成15年6月4日逝去されました  
ここに謹んで哀悼の意を表します

## お知らせ

今号(7月号)に掲載を予定しておりました『2002 ガスタービン及び過給機生産統計』ですが、諸般の事情につき次号(9月号)に掲載することになりました。

当記事を活用されている方には誠に申し訳ございませんが御了承ください。

## 編集 後記

7月号は今までとは異なり、電力の規制緩和についての紹介とその電気事業法の改正に伴い出現したIPP(独立電気事業者)やPPS(特定規模電気事業者)の一部を紹介することとした。

ガスタービンの導入は需要の低迷で大型ガスタービン発電のプロジェクトが中止または延期となり、大型ガスタービン発電の導入は全くと言ってないのが現況である。その代わり、電力会社に代わり、商社、鉄鋼、石油、等の電力事業に関係しない企業が電力ビジネスに進出して来ており、その発電システムの中にガスタービン発電を導入するケースが多く出てきつつある。そのため今回は電力業界の今後を見つつ、規制緩和についてと、新たな事業として電気事業業界に進出して来た企業を紹介することにした。

ガスタービンの技術は大型から中型、小型に指向してきているし、また燃料電池、ガスエンジン等と競合機種として、競合しなければならない先行きの見えないカオスの時代となってきたので、釈迦の動向を少しでも垣間見る努力として、今回の編集を企画した。

本号の企画編集は杉本理事(KHI)、佐々木委員(IHIエアロスペース)、加藤委員(東大生研)、平田委員(石川島汎用機械)と毛利(八戸インテリジェントプラザ)が担当しました。

(毛利)

### 〈表紙写真〉

#### S5マイクロGT

説明：この写真のガスタービンは、都立科学技術大学で教育実験用として使用されている、出力24kW級S5A-01型ガスタービンで、1988年に納入されたものである。S5型ガスタービンは1980年代前半に小型発電機用として開発されたもので、再生熱交換器も空気軸受もはたまた高速発電機も採用されていないが、基本構成は紛れもなく今日話題を呼んでいるマイクロガスタービンそのものである。

(提供 川崎重工業株式会社)

だより

## ♣事務局 ☒ ♣

さわやかな青葉の季節もどこへやら、モーレツな湿度と共に梅雨の季節がやってきました。

今年は特に湿度が多いと感じるのは私だけでしょうか、回りの手にするものすべてが湿気でベトベトです。

さて、そのジメジメ・・・ベトベト・・・の中、北見での定期講演会(6月25日～27日)と航空宇宙技術研究所での教育シンポジウム(7月3日～4日)の準備に追われています。

両方の行事が1週間違いということもありごちゃまぜ混乱気味で頭のスイッチがなかなか切り替わらずまああテンテコマイ。

今年は秋に国際会議が開催されるため、行事が前倒しで重なり、こんな状態になってしまいました。

この学会誌がお手元に届く頃には、両方とも何事もなく無事終了していることを願わずにはいられません。

一方、今秋に開催の国際会議も着々と準備が進められ、

参加登録も始まりました。登録用紙は、この学会誌にも挟み込まれていますし、Web上でもお申し込み出来ますので、是非奮ってご参加くださいますようお願いいたします。

詳細は学会HP(<http://wwwsoc.nii.ac.jp/gtsj/>)をご覧ください。

新しい年度に入り職場の異動やご自宅のお引越しをなさった方も多いと思います。郵便物が戻ってくる事もありますので、変更がございましたらFAXまたはE-mailで事務局あてご連絡下さい。

また、会費納入につきましても、是非“銀行自動引き落とし”にご協力下さいますようお願い致します。用紙は巻末にごございますので、ご記入の上、事務局宛ご返送下さい。お待ちしております。

[A]

## お知らせ

今号(7月号)に掲載を予定しておりました『2002 ガスタービン及び過給機生産統計』ですが、諸般の事情につき次号(9月号)に掲載することになりました。

当記事を活用されている方には誠に申し訳ございませんが御了承ください。

## 編集 後記

7月号は今までとは異なり、電力の規制緩和についての紹介とその電気事業法の改正に伴い出現したIPP(独立電気事業者)やPPS(特定規模電気事業者)の一部を紹介することとした。

ガスタービンの導入は需要の低迷で大型ガスタービン発電のプロジェクトが中止または延期となり、大型ガスタービン発電の導入は全くと言ってないのが現況である。その代わり、電力会社に代わり、商社、鉄鋼、石油、等の電力事業に関係しない企業が電力ビジネスに進出して来ており、その発電システムの中にガスタービン発電を導入するケースが多く出てきつつある。そのため今回は電力業界の今後を見つつ、規制緩和についてと、新たな事業として電気事業業界に進出して来た企業を紹介することにした。

ガスタービンの技術は大型から中型、小型に指向してきているし、また燃料電池、ガスエンジン等と競合機種として、競合しなければならない先行きの見えないカオスの時代となってきたので、釈迦の動向を少しでも垣間見る努力として、今回の編集を企画した。

本号の企画編集は杉本理事(KHI)、佐々木委員(IHIエアロスペース)、加藤委員(東大生研)、平田委員(石川島汎用機械)と毛利(八戸インテリジェントプラザ)が担当しました。

(毛利)

### 〈表紙写真〉

#### S5マイクロGT

説明：この写真のガスタービンは、都立科学技術大学で教育実験用として使用されている、出力24kW級S5A-01型ガスタービンで、1988年に納入されたものである。S5型ガスタービンは1980年代前半に小型発電機用として開発されたもので、再生熱交換器も空気軸受もはたまた高速発電機も採用されていないが、基本構成は紛れもなく今日話題を呼んでいるマイクロガスタービンそのものである。

(提供 川崎重工業株式会社)

だより

## ♣事務局 ☒ ♣

さわやかな青葉の季節もどこへやら、モーレツな湿度と共に梅雨の季節がやってきました。

今年は特に湿気が多いと感じるのは私だけでしょうか、回りの手にするものすべてが湿気でベトベトです。

さて、そのジメジメ・・・ベトベト・・・の中、北見での定期講演会(6月25日～27日)と航空宇宙技術研究所での教育シンポジウム(7月3日～4日)の準備に追われています。

両方の行事が1週間違いということもありごちゃまぜ混乱気味で頭のスイッチがなかなか切り替わらずまああテンテコマイ。

今年は秋に国際会議が開催されるため、行事が前倒しで重なり、こんな状態になってしまいました。

この学会誌がお手元に届く頃には、両方とも何事もなく無事終了していることを願わずにはいられません。

一方、今秋に開催の国際会議も着々と準備が進められ、

参加登録も始まりました。登録用紙は、この学会誌にも挟み込まれていますし、Web上でもお申し込み出来ますので、是非奮ってご参加くださいますようお願いいたします。

詳細は学会HP(<http://wwwsoc.nii.ac.jp/gtsj/>)をご覧ください。

新しい年度に入り職場の異動やご自宅のお引越しをなさった方も多いと思います。郵便物が戻ってくる事もありますので、変更がございましたらFAXまたはE-mailで事務局あてご連絡下さい。

また、会費納入につきましても、是非“銀行自動引き落とし”にご協力下さいますようお願い致します。用紙は巻末にごございますので、ご記入の上、事務局宛ご返送下さい。お待ちしております。

[A]

## お知らせ

今号(7月号)に掲載を予定しておりました『2002 ガスタービン及び過給機生産統計』ですが、諸般の事情につき次号(9月号)に掲載することになりました。

当記事を活用されている方には誠に申し訳ございませんが御了承ください。

## 編集 後記

7月号は今までとは異なり、電力の規制緩和についての紹介とその電気事業法の改正に伴い出現したIPP(独立電気事業者)やPPS(特定規模電気事業者)の一部を紹介することとした。

ガスタービンの導入は需要の低迷で大型ガスタービン発電のプロジェクトが中止または延期となり、大型ガスタービン発電の導入は全くと言ってないのが現況である。その代わり、電力会社に代わり、商社、鉄鋼、石油、等の電力事業に関係しない企業が電力ビジネスに進出して来ており、その発電システムの中にガスタービン発電を導入するケースが多く出てきつつある。そのため今回は電力業界の今後を見つつ、規制緩和についてと、新たな事業として電気事業業界に進出して来た企業を紹介することにした。

ガスタービンの技術は大型から中型、小型に指向してきているし、また燃料電池、ガスエンジン等と競合機種として、競合しなければならない先行きの見えないカオスの時代となってきたので、釈迦の動向を少しでも垣間見る努力として、今回の編集を企画した。

本号の企画編集は杉本理事(KHI)、佐々木委員(IHIエアロスペース)、加藤委員(東大生研)、平田委員(石川島汎用機械)と毛利(八戸インテリジェントプラザ)が担当しました。

(毛利)

〈表紙写真〉

### S5マイクロGT

説明：この写真のガスタービンは、都立科学技術大学で教育実験用として使用されている、出力24kW級S5A-01型ガスタービンで、1988年に納入されたものである。S5型ガスタービンは1980年代前半に小型発電機用として開発されたもので、再生熱交換器も空気軸受もはたまた高速発電機も採用されていないが、基本構成は紛れもなく今日話題を呼んでいるマイクロガスタービンそのものである。

(提供 川崎重工業株式会社)

だより

## ♣事務局 ☒ ♣

さわやかな青葉の季節もどこへやら、モーレツな湿度と共に梅雨の季節がやってきました。

今年は特に湿気が多いと感じるのは私だけでしょうか、回りの手にするものすべてが湿気でベトベトです。

さて、そのジメジメ・・・ベトベト・・・の中、北見での定期講演会(6月25日～27日)と航空宇宙技術研究所での教育シンポジウム(7月3日～4日)の準備に追われています。

両方の行事が1週間違いということもありごちゃまぜ混乱気味で頭のスイッチがなかなか切り替わらずまああテンテコマイ。

今年は秋に国際会議が開催されるため、行事が前倒しで重なり、こんな状態になってしまいました。

この学会誌がお手元に届く頃には、両方とも何事もなく無事終了していることを願わずにはいられません。

一方、今秋に開催の国際会議も着々と準備が進められ、

参加登録も始まりました。登録用紙は、この学会誌にも挟み込まれていますし、Web上でもお申し込み出来ますので、是非奮ってご参加くださいますようお願いいたします。

詳細は学会HP(<http://wwwsoc.nii.ac.jp/gtsj/>)をご覧ください。

新しい年度に入り職場の異動やご自宅のお引越しをなさった方も多いと思います。郵便物が戻ってくる事もありますので、変更がございましたらFAXまたはE-mailで事務局あてご連絡下さい。

また、会費納入につきましても、是非“銀行自動引き落とし”にご協力下さいますよう重ねてお願い致します。用紙は巻末にごございますので、ご記入の上、事務局宛ご返送下さい。お待ちしております。

[A]

## 学会誌編集規定

1996.2.8改訂

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

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

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

付記1. 原稿送付先および原稿執筆要領請求先  
〒105-0004 東京都港区新橋5-20-4  
Tel. 03-5733-5157 Fax. 03-5733-5168  
ニッセイエブプロ(株) 制作部デジタル編集課  
E-mail: eblo\_h3@mbr.sphere.ne.jp  
学会誌担当 佐藤孝憲

## 技術論文投稿規定

1997.1.28改訂

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

### 日本ガスタービン学会誌 Vol.31 No.4 2003.7

発行日 2003年7月20日  
発行所 社団法人日本ガスタービン学会  
編集者 湯浅三郎  
発行者 吉岡英輔  
〒160-0023 東京都新宿区西新宿7-5-13  
第3工新ビル402  
Tel. 03-3365-0095 Fax. 03-3365-0387  
郵便振替 00170-9-179578  
印刷所 ニッセイエブプロ(株)  
〒105-0004 東京都港区新橋5-20-4  
Tel. 03-5733-5157 Fax. 03-5733-5168

©2003, (株)日本ガスタービン学会

#### 複写される方へ

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

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

## 学会誌編集規定

1996.2.8改訂

1. 本学会誌の原稿はつぎの3区分とする。

A. 投稿原稿会員から自由に随時投稿される原稿。執筆者は会員に限る。

B. 依頼原稿本学会編集委員会がテーマを定めて特定の人に執筆を依頼する原稿。執筆者は会員外でもよい。

C. 学会原稿学会の運営・活動に関する記事(報告、会告等)および学会による調査・研究活動の成果等の報告。

2. 依頼原稿および投稿原稿は、ガスタービン及び過給機に関連のある論説・解説、講義、技術論文、速報(研究速報、技術速報)、寄書(研究だより、見聞記、新製品・新設備紹介)、随筆、書評、情報欄記事、その他とする。刷り上がりページ数は原則として、1編につき次のページ数以内とする。

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

3. 執筆者は編集委員会が定める原稿執筆要領に従って原稿を執筆し、編集委員会事務局まで原稿を送付する。事務局の所在は付記1に示す。

4. 会員は本学会誌に投稿することができる。投稿された原稿は、編集委員会が定める方法により審査され、編集委員会の承認を得て、学会誌に掲載される。技術論文の投稿に関しては、別に技術論文投稿規定を定める。

5. 依頼原稿および学会原稿についても、編集委員会は委員会の定める方法により原稿の査読を行う。編集委員会は、査読の結果に基づいて執筆者に原稿の修正を依頼する場合がある。

6. 依頼原稿には定められた原稿料を支払う。投稿原稿および学会原稿には原則として原稿料は支払わないものとする。原稿料の単価は理事会の承認を受けて定める。

7. 本学会誌に掲載される記事・論文などの著作権は原則として本学会に帰属する。

8. 著作者本人が自ら書いた記事・論文などの全文または一部を、本学会誌に掲載されたことを明記したうえで、転載、翻訳、翻案などの形で利用する場合、本会は原則としてこれを妨げない。ただし、著作者本人であっても学会誌を複製する形で全文を他の著作物に利用する場合は、文書で本会に許諾を求めなければならない。

付記1. 原稿送付先および原稿執筆要領請求先  
〒105-0004 東京都港区新橋5-20-4  
Tel. 03-5733-5157 Fax. 03-5733-5168  
ニッセイエブプロ(株) 制作部デジタル編集課  
E-mail: eblo\_h3@mbr.sphere.ne.jp  
学会誌担当 佐藤孝憲

## 技術論文投稿規定

1997.1.28改訂

1. 本学会誌に技術論文として投稿する原稿は次の条件を満たすものであること。

1) 主たる著者は本学会会員であること。

2) 投稿原稿は著者の原著で、ガスタービンおよび過給機の技術に関連するものであること。

3) 投稿原稿は、一般に公表されている刊行物に未投稿のものであること。ただし、要旨または抄録として発表されたものは差し支えない。

2. 使用言語は原則として日本語とする。ただし、著者が外国人会員であって日本語による論文執筆が困難な場合は英語による投稿を認める。

3. 投稿原稿の規定ページ数は原則として図表を含めてA4版刷り上がり6ページ以内とする。ただし、1ページにつき12,000円の著者負担で4ページ以内の増ページをすることができる。

4. 図・写真等について、著者が実費差額を負担する場合にはカラー印刷とすることができる。

5. 投稿者は原稿執筆要領に従い執筆し、正原稿1部副原稿(コピー)2部を学会編集委員会に提出する。原稿には英文アブストラクトおよび所定の論文表紙を添付する。

6. 原稿受付日は原稿が事務局で受理された日とする。

7. 投稿原稿は技術論文校閲基準に基づいて校閲し、編集委員会で採否を決定する。

8. 論文内容についての責任は、すべて著者が負う。

9. 本学会誌に掲載される技術論文の著作権に関しては、学会誌編集規定7.および8.を適用する。

### 日本ガスタービン学会誌 Vol.31 No.4 2003.7

発行日 2003年7月20日

発行所 社団法人日本ガスタービン学会

編集者 湯浅三郎

発行者 吉岡英輔

〒160-0023 東京都新宿区西新宿7-5-13

第3工新ビル402

Tel. 03-3365-0095 Fax. 03-3365-0387

郵便振替 00170-9-179578

印刷所 ニッセイエブプロ(株)

〒105-0004 東京都港区新橋5-20-4

Tel. 03-5733-5157 Fax. 03-5733-5168

©2003, (株)日本ガスタービン学会

#### 複写される方へ

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

〒170-0052 東京都港区赤坂9-6-41 乃木坂ビル

学術著作権協会

TEL: 03-3475-5618 FAX: 03-3475-5619

E-mail: naka-atsu@muji.biglobe.ne.jp

## 学会誌編集規定

1996.2.8改訂

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

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

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

付記1. 原稿送付先および原稿執筆要領請求先  
〒105-0004 東京都港区新橋5-20-4  
Tel. 03-5733-5157 Fax. 03-5733-5168  
ニッセイエブプロ(株) 制作部デジタル編集課  
E-mail: eblo\_h3@mbr.sphere.ne.jp  
学会誌担当 佐藤孝憲

## 技術論文投稿規定

1997.1.28改訂

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

### 日本ガスタービン学会誌 Vol.31 No.4 2003.7

発行日 2003年7月20日  
発行所 社団法人日本ガスタービン学会  
編集者 湯浅三郎  
発行者 吉岡英輔  
〒160-0023 東京都新宿区西新宿7-5-13  
第3工新ビル402  
Tel. 03-3365-0095 Fax. 03-3365-0387  
郵便振替 00170-9-179578  
印刷所 ニッセイエブプロ(株)  
〒105-0004 東京都港区新橋5-20-4  
Tel. 03-5733-5157 Fax. 03-5733-5168

©2003, (株)日本ガスタービン学会

#### 複写される方へ

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

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



## 学会誌編集規定

1996.2.8改訂

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

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

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

付記1. 原稿送付先および原稿執筆要領請求先  
〒105-0004 東京都港区新橋5-20-4  
Tel. 03-5733-5157 Fax. 03-5733-5168  
ニッセイエブプロ(株) 制作部デジタル編集課  
E-mail: eblo\_h3@mbr.sphere.ne.jp  
学会誌担当 佐藤孝憲

## 技術論文投稿規定

1997.1.28改訂

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

### 日本ガスタービン学会誌 Vol.31 No.4 2003.7

発行日 2003年7月20日  
発行所 社団法人日本ガスタービン学会  
編集者 湯浅三郎  
発行者 吉岡英輔  
〒160-0023 東京都新宿区西新宿7-5-13  
第3工新ビル402  
Tel. 03-3365-0095 Fax. 03-3365-0387  
郵便振替 00170-9-179578  
印刷所 ニッセイエブプロ(株)  
〒105-0004 東京都港区新橋5-20-4  
Tel. 03-5733-5157 Fax. 03-5733-5168

©2003, (株)日本ガスタービン学会

#### 複写される方へ

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

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