特集：ガスタービンの世界で活躍する女性研究者・技術者

ガスタービンの世界でなでしこパワーが花開く時は

大島　まり*1
OHSHIMA Marie

1．はじめに

今年はオリンピックの年である。「参加することに意義がある」と言われるオリンピックであるが，今回のロンドンオリンピックでは宗教の戒律に基づき男性しか出場していなかった国からも女性選手が派遣され，第30回目にして初めて全ての国・地域から女性が参加できる大会となった。また，ボクシングで女子種目が新たに採用され，26競技の全てにおいて女子競技が実施された。日本人選手のがんばりに感動しながら，男性のスポーツとも思われていた競技も含めて，あらゆるスポーツ分野において世界規模で女性が活躍できる時代になったのだな，と痛感した。

理工系分野も男の世界との印象が強い。実際に，理工系分野での女性の活躍の状況はどうなのであろうか。本報では，実際の理工系職種における女性進出の現状を振りかえりながら，課題とともに，現在取組まれている理工系分野における男女共同参画の取組みについてふれていきたい。

2．理工系分野における女性研究者・技術者の現状

今日の我が国の就業者数は総数5977万人，そのうち男性と女性の内訳は各々3454万人と2523万人で，女性比率は42.2%である（総務省23年度労働力調査年報[1]）。ガスタービン学会と関係が深い製造業での就業者総数は997万人，女性は295万人であり，女性比率は29.6%と大幅に下がる。さらに，製造業における専門的・技術的職業従事者においては，総数76万人のうち女性は７万人であり，女性比率はわずか9.2%である[2]。

一方，国際レベルではどのような状況なのであろうか，研究者を例に挙げてみよう。平成23年において日本の研究者数は84万2900人であり，そのうち女性研究者数は12万3200人と女性比率は13.8％の過去最高となった（総務省平成23年度科学技術研究調査結果[3]）。しかし，国際レベルでは，図１（内閣府男女挙動参画白書　平成23年度版[4]）に示されているように先進諸国の中では最低水準である！！　図１の統計は自然科学系だけでなく，社会科学系の研究者も含まれている。参考までに，女性研究者は大学などに所属していることが多いことから，大学等における専攻分野別の研究者割合を見ると，人文・社会科学分野では女性研究者比率が33.6%と23%であるのに対して，理学系では13.1%，工学系ではさらに8.3%と極端に少ない[4]。

これらの統計から，科学技術立国と言われる日本でありながら，その発展を支える理工系分野で極端に女性割

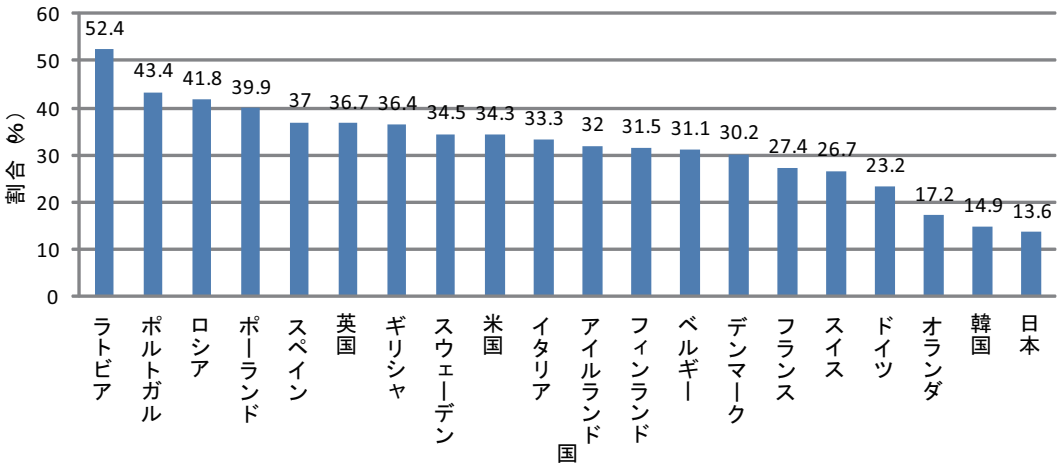


図１　研究者に占める女性割合の国際比較
（参考文献４）内閣府男女挙動参画白書　平成23年度版からの抜粋）

原稿受付　2012年８月22日
＊１　東京大学大学院情報学環　生産技術研究所
〒153-8505　目黒区駒場４－６－１

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

合が低いことがわかる。しかし，裏返して言えば，製造業などの主要産業での女性活用を促進することが日本の成長につながるともいえる。

3．製造業での女性活用の促進

製造業での女性活用を促進するためには，理工系の女性，いわゆる次世代の「リケジョ」育成とともに，継続して働くことのできる環境整備等の現役リケジョへの支援の２点が重要と考えられる。

私は，父が応用物理の分野に携わっていたことから，工学に対して抵抗を感じず，ものをつくるのが好きだったこともあり，工学部への進学を選択した。両親には反対されなかったが，比較的リベラルな高校に通っていたにも関わらず，担任の先生には「女の子なのだから，理系だったら，工学部ではなくて医学部か薬学部に進学したほうが良い」言われたことを今でも覚えている。理系，特に数学や物理は男の世界のイメージが強いようである。驚いたことに，このイメージは今でも変わっておらず，子どもが理工系学部への進学を希望しても親が不安に感じ，娘の進学に反対することが少なからずあるようである。

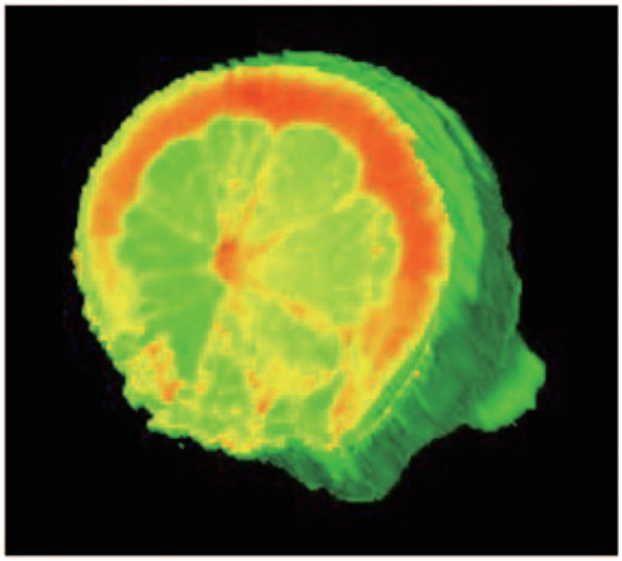
工学は中学校，高校での授業科目にない。そのため，工学部では何を勉強し，卒業後にどのような分野に就職できるのか，如何にキャリア形成ができるのか，なかなかピンとこないのが実情であろう。そこで，実際に理工系分野に携わっている人と接し，具体的な内容を把握できる機会や場を設けることは重要である。最近では，大学のキャンパス公開，大学での公開講座や出張授業など，また，企業の職場体験や工場見学など，様々な取組みがなされている。

ここでは，筆者が取組んでいる研究を題材にしたアウトリーチ活動を紹介したい[5]。筆者の専門分野は生体流体力学であり，血液の流れが動脈硬化症や脳動脈瘤などの病気にどのような影響を与えるかについて，数値流体力学の観点から研究している。数値シミュレーションの際に，CT（Computed Tomography）やMRI（Magnetic Resonance Image）などの医用画像からの３次元形状モデルリングを行うことから，医用画像装置の画像処理を取り上げた出張授業を行っている。身近にあるデジカメを用いて，図１に示されているように野菜をコンピュータ上に再現することにより，CTスキャンのしくみやデジタル画像処理について学習する授業である。

授業後，高校生から，病気は医学や生物の分野と思っていたが，力学といった物理も重要であることがわかり，物理にも興味が出てきた，等の感想が寄せられた。このような実験や実習を用いたアウトリーチ活動を通して，学校で習っている教科と研究の結びつきを学ぶことに貢献し，少しでも工学に興味をもってもらうことのできるきっかけになればと思う。

最近は，新しい試みとして産業界と連携し，見えにくくなっている科学技術の社会的なつながりを見える形で体験できる実験教材，映像教材の開発を行っている。先日行った出張授業では，ベアリングを社会科の枠組みで取り上げた。「今まで名前も聞いたことがなかったけれど，とってもおもしろかった」という感想があった。身近な工業製品を取り上げ，理科という切り口とは異なる視点から科学技術を捉えることで，理科に興味のない生徒，そして親にも，理工学の面白さを実感してもらえる新しい試みを行っている。

1）出張授業の様子



2）コンピュータ上に再現されたレモン

図２　デジカメで分かるCTスキャンのしくみ ～医用画像診断装置とバイオメカニックス～

一方，２点目に挙げた現役世代の支援は，１点目の次世代育成にも密接に関わっている。雇用均等法が施行されてから25年以上経ち，働く女性は増えている，しかし，その大半はパートや派遣社員などの非正規雇用であり，また，子育てによる労働時間の制約や昇進への影響など，男性と比較して不利な点があることは否めない。そして，このような現状を女子中学生や高校生はシビアに見てい

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

る。そのため，女性の少ない職場や職種に抵抗を感じ，選択をしない傾向が見られる。女性にとって働きやすい環境を作り，御手本となる現役のロールモデルを通してその姿をみえるようにすることは，重要な試みであろう。

5．おわりに

現在の日本ガスタービン学会の会員は2090名であり，そのうち女性会員は約30名である。往々にして，男女共同参画の問題は女性の数を増やす運動と捉えられがちである。しかし，この問題は，人材の多様性，および優秀な人材の育成・確保という点で性別を超えた人材問題と捉える必要がある。特に，働く女性の割合が高い国は出生率が高いことから，少子高齢化が進む日本にとっては，日本女性の労働参加率の向上は生産性の向上，ひいては出生率の向上にもつながる。

前述したように，製造業における女性の割合が現段階では極端に低い。しかし，成長ののりしろが残されていることでもあり，そのカギは人材育成，特に女性の人材育成ともいえる。長年，出張授業を行って思うことであるが，本物以上に力強いものはない。ガスタービン学会には，重工産業をはじめとした日本の産業の根幹を担う多くの企業が参加されている。ガスタービンの実物をみたことのある子どもはめったにいないであろう。どう動いて，私たちの生活にどのように生かされているのか知っている子どもは，ほとんどいないと考えられる。本物のガスタービンを見ることで，子どもは感動する。そして，企業で活躍している女性研究者・技術者の話を聞くことで，若い女子学生は影響を受ける。

私は，大のサッカー好きである。なでしこJAPANの活躍は見ていて気持ちよく，自分もがんばろうと励みになる。花開くための環境整備は地道であるが，花開くと本人も嬉しいし，周りに与える影響は計り知れない。まだまだ，ガスタービンの世界では数が少ないなでしこであるが，これからが楽しみである。

参考文献

(1) 総務省平成23年労働力調査年報 http://www.stat.go.jp/data/roudou/report/2011/index.htm

(2) 山本創太，機械系女性エンジニアの育成とネットワークづくり　―日本機械学会Ladies'Association of JSMEの活動―，産学官連携ジャーナル（2012.8），http://sangakukan.jp/journal/journal_contents/2012/08/articles/1208-03-2/1208-03-2_article.htm

(3) 総務省平成23年科学技術調査結果，http://www.stat.go.jp/data/kagaku/2011/pdf/23youyak.pdf

(4) 内閣府男女挙動参画白書　平成23年度版http://www.gender.go.jp/whitepaper/h23/zentai/index.html

(5) 東京大学生産技術研究所，次世代育成オフィス，http://www.iis.u-tokyo.ac.jp/ong/ong.html

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

特集：ガスタービンの世界で活躍する女性研究者・技術者

岩手大学“工学GIRLS”の取り組み

増子　仁美*1
MASHIKO Hitomi

1．工学部に進学した理由

私が所属している岩手大学機械システム工学科には毎年約80人の学生が入学しますが，その中で女子学生は３，４人程です。機械システム工学科に入学して，教授の方や先輩，同級生から「なぜ機械科に進学を決めたのか」という質問をよく受けます。私は幼い頃から宇宙に興味を抱いており，中学時にNASDA主催（現JAXA）のユースリポーターに任命して頂きました。その際に種子島宇宙センターや三菱重工名古屋航空宇宙システム製作所のロケット製造現場を見学させて頂く機会があり，そこでロケットの大きさに圧倒され，このような巨大なものを宇宙へ打ち上げる日本の技術力に子供ながら感動しました。その頃からロケットを作り上げる「技術力」に興味を持ち始め，機械全般の知識を身につけたいと思い，機械システム工学科への入学を希望しました。現在はターボ機械を中心に取り扱う流体工学研究室に所属し，ロケットエンジン用タービンに関する研究に取り組んでおります。

2．工学にふれて

私が工学を面白いと感じるのは，授業で学んだ理論式や装置を用いて設計された，実際の製品を目の当たりにした時です。昨年，IHIの瑞穂工場見学をさせて頂いた際に，実機に搭載されるエンジンを拝見しました。このエンジンがこれまで机の上で勉強してきた流体力学や熱力学に基づいて設計されていて，巨大な推力を生み出すのだと思うとただ単純にすごいという感想を一番に持ちました。空気の流れをその機構のみで動力に変えてしまう，そこがガスタービンの面白いところであると感じます。また直径２～３ｍもの大きさでありながら，その設計は非常に緻密で，配管一つ一つの細かさを見てもため息がでてしまうほどでした。

同様に，日常生活で使用する身近な製品の原理を理解できた時も工学を学んでいて良かったと感じます。そして，その時に改めて，工学と私達の生活が深く結びついていることに気づきます。知恵や知識で人々の生活をより豊かなものに変えることができ，さらにそれは工学を学んだ者にしか成し得ないと考えると，使命感を覚えると共に自分の可能性が広がるように感じます。研究室の教授の受け売りではありますが，「工学部=資格」つまり，工学を学んだというだけで特別な資格を持ったことと同意となる，まさにそう思います。

3．工学ガールズ

岩手大学工学部では，昨年度４月に「工学GIRLS」が発足しました。工学GIRLSは，各学科から２，３名が集まり，”工学部に女子学生を増やすこと”を目的として活動しています。現在14名が所属し，夏・秋のオープンキャンパスへの参加，リーフレットの作成，工学部長との懇談会運営，工学部の環境改善などに取り組んでおります。

オープンキャンパス時には女子学生を対象に座談会を開催しました。そこでは進学に対する不安を取り除いてもらえるように，受験に関することから大学の雰囲気，普段の生活（アルバイト，サークル活動）の事まで幅広い相談を受けました。１日で約60名の学生に足を運んで頂き，女子学生からこのようなブースがあって良かったという声を頂いています。既に工学部を目指している学生は女子が少ないことにあまり懸念が無いようでしたが，進路先に迷っている学生はやはり前述の点が気になるようでした。しかし，実際に工学部に所属している者からしますと，女子が少ないことがデメリットになることは少ないように思います。教授の方々や同級生が色々と配慮して下さるおかげで，女子だからといって大学生活や就学が不自由だと感じることはありません。何より就職活動の際に有利であると思います。もともと就職率の高い工学部ですが，先輩や同級生の経験談を聞くと，選考時企業の目に留めて頂けるチャンスが男子学生より高いと感じます。

さらにオープンキャンパス時に配布する，女子学生向けのリーフレットの制作も担当しています。表紙及び中身は学生に興味を持ってもらえるような柄を選択しており，一見して工学部を紹介するような内容が記載されているとはわかりません。岩手大学は工学部，農学部，人文社会学部，教育学部が同じ敷地内にある総合大学であり，教育学部や人文社会学部を目当てにオープンキャンパスに訪れる女子学生の数は理系学部よりも多いです。文系への進路を考えている学生に工学部に興味を持ってもらうことは難しいですが，図４のようなリーフレットを渡すと喜んで受け取ってくれました。工学部は女子学生にとって少し敷居が高いイメージが有りますが，この

原稿受付　2012年８月７日
＊1　岩手大学大学院　工学研究科　機械システム工学専攻
〒020-8551　盛岡市上田４－３－５

Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

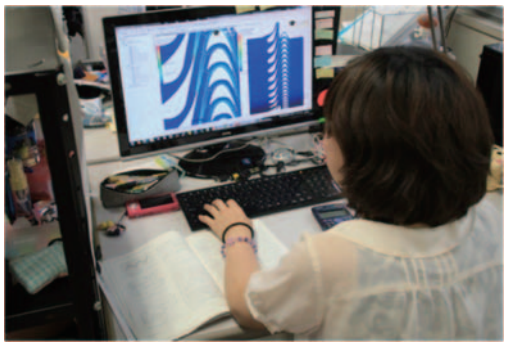


図１　研究風景

図２　工学GIRLS集合写真

図３　オープンキャンパスの様子（座談会）

図４　女子学生向けリーフレット

図５　パウダールーム（洗面台部分）

ように親近感がもてるようなリーフレットを通して工学部を知って貰うことができれば，工学部に対する印象が変わり，興味を誘起することが出来るのではないかと思います。

今年７月には女子学生が快適に過ごせるように，「パウダールーム」と呼ばれる一室が工学部の敷地内にできました。このパウダールームは，実習や実験の際に作業服やジャージに着替える場所がないという学生の声から実現に至りました。ここには洗面台が併設されている為，授業後の洗顔やメイク直しも可能なスペースとなっています。毎年工学部長と工学女子学生の懇談会が開催されており，その運営を工学GIRLSが担当しています。懇談会は他学科他学年の学生同士が交流を持つことの他に，前述のような大学に対する要望を学部長に伝える場でもあります。このように大学側へ意見が伝わりやすいようになっていること，要望に対して改善されるよう努めて下さる大学の姿勢は非常にありがたいと思っています。

今後の展望としまして，私達工学GIRLSが県内外の高校や中学校に出向き，主に文理選択前の女子学生を対象として，講演会や座談会，模擬実験を行ない，進路先の候補に「工学部」を加えてもらえるように活動していきたいと考えています。

４．最後に

まだまだ男性の方が多い業界ではありますが，女性の先輩方のご活躍，男性研究者の方々や企業のご理解があって，私達の世代がこうして工学を学び社会へと進むことができるのだと思っています。この感謝の気持ちを持ちながら，私も社会に貢献できるような仕事を行い，後輩たちが工学に憧れを持ってくれるように努力していきたいと思います。また，残り少ない学生生活ではありますが，オープンキャンパス等を通して工学の面白さやその必要性を高校生や中学生に伝えていきたいと思います。

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

論説◆解説

特集：ガスタービンの世界で活躍する女性研究者・技術者

航空エンジン業界で働く

佐々木　幸枝*1
SASAKI Yukie

キーワード：女性，エンジニア，ワーク・ライフバランス

1．自己紹介

私は，航空宇宙事業本部・技術開発センターに所属し，現在は主に，150席クラスの中距離旅客機用エンジンの開発に携わっている。平成18年に入社後，空力設計の部署に配属され，低圧タービンの設計開発に３年間従事した。その後部署を異動し，２次空気と呼ばれる主流以外のエンジン内部空気のシステム設計と伝熱解析とを担当している。

2．エンジニアを目指した背景

私がエンジニアを志した背景について述べたいと思う。私が生まれ育った家の周りは，田畑が多く外灯が少なかったので，夜になると星がきれいに見えた。学校の帰り道に自転車をこいでいて，流れ星が見えたこともあった。家の庭に出て星を眺めるのが好きな子供だった。漠然とした宇宙への憧れに加えて，次に述べる学生時代の２つの経験が私の進路に影響を与えた。

2.1　風と格闘した日々

大学時代は体育局のヨット部に所属し，毎週末，海でヨットに乗るという生活を送った。私が乗っていたのは２人乗りのヨットで，エンジンはなく，風を帆に受けて推進力を得る。ヨットは海上に設定されたコースを回る速さを競う競技である。風の強いところ，風向きが有利なところを通るように船の進む道を決める。読みがはずれて風の弱い場所に行くと船の速度が落ち，周りの船に遅れをとってしまう。風が全くない場所に行くと潮に流される以外に船が進まなくなり，風を受けて推進力を得ているということを，身をもって体験することになる。

また，同じ条件で風を受けていても，帆の形によって船が受ける力が変わるので，乗り手はそれを敏感に感じ取って，適度な形状になるように帆の形を調整する必要がある。帆の調整の根本的なところでミスをすると，明らかにスピードがでない。私自身も何度かこのようなミスをしてしまった苦い思い出がある。

私は機械工学科で学んでいたが，流体力学の授業の内容とヨットでの体験とがリンクして，そのことに面白さを感じ，航空分野に興味を持つようになった。

2.2　小型ロケット実験

学部４年生と大学院の時には，宇宙への憧れから，国際宇宙ステーションでの実験テーマを持つ熱流体の研究室に所属した。当時は国際宇宙ステーションでの実験がまだ開始されていなかったが，準備実験の一環として小型ロケットを使った微小重力実験が行われることになり，私は運良くサポート役として現地に同行する機会を得た。

打ち上げはスウェーデンの北部にあるキルナで行われた。キルナは北極圏に位置し，冬場は太陽が数時間しか姿を見せず，気温が－20℃を下回る日もある。また，キルナはオーロラが出現することでも知られている。実験は11月下旬に行われたので，１日の作業を終えて宿舎に戻る途中には何度かオーロラを見ることができた。

打ち上げの約２週間前から，打ち上げ場の敷地内にある宿舎に泊まって準備を行った。ロケットには，私達の装置の他に生物関連を始めとした複数の装置が搭載されるため，打ち上げ場には各国から研究者や学生が集まっていた。私たちが準備をしている横で，他の装置の準備や，ロケットのペイロード部分の組立が並行して行われた。準備の合間に，他のチームの組立作業を見学したり，実験テーマについて話を聞いたりした。

実験当日，私は発射台から２kmほど離れた丘の上から打ち上げを見守った。轟音と光の中ロケットが打ち上げられ，実験も無事成功した。打ち上げの迫力に圧倒され，大変感動したことを覚えている。

また，印象深かったのは，打ち上げ後わずか１時間ほどで回収されたロケットが作業場に運ばれてきて，私達の目の前で分解されたことだ。生物実験のサンプルが１番に回収されていた。ロケットは約700kmの高度まで打ち上げられており，落下の際に下側になった面のボルトが焦げているのがはっきりとわかった。

ロケット実験という限られたチャンスに臨む研究者とそれをサポートする人達の姿，焦げたロケットの姿を私は数年経った今でも鮮明に覚えている。

これらの体験により，宇宙への憧れが具体的な仕事のイメージと結びつき，航空宇宙業界でエンジニアとして働きたいと思うようになった。

原稿受付　2012年８月６日
＊１　㈱ＩＨＩ　航空宇宙事業本部　技術開発センター
エンジン技術部
〒196-8686　昭島市拝島町3975-18

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

3．航空エンジンの仕事

航空エンジンの開発は多額の費用がかかるため，複数の会社が開発費を分担し，共同で行うことが主流になっている。海外のエンジニアと協力しながらも，より良い製品とするため技術的に競争しつつ，エンジンを開発している。海外への出張では，数ヶ月から数年滞在することもある。また，技術の向上が常に望まれている分野であるため，研究活動が盛んに行われている。航空輸送市場は，年に５％の成長が予測されていて，今後も新しいエンジンの開発や，研究活動の機会が増えていくと考えられる。

弊社では，若いうちから仕事を任されたり，やったことのない分野の仕事を任されたりする。海外出張で若手が資料の説明を任されるのも，良く見る光景である。私も，入社後間もないうちに，旅客機用エンジンの設計に携わることになった。しばらくは社内の人とやり取りする仕事が中心だと思っていたので，正直驚いた。大きなプロジェクトに自分が関わっているという高揚感と緊張感，自分が設計したエンジンが空を飛ぶということにやりがいと喜びを感じながら仕事に取り組んだ。次に任されたのが，エンジン内の空気の漏れを防ぐためのシールの開発だ。少しは役に立てるようになったかという頃に部署異動となり，別の分野でまた１からスタートすることになった。シール開発の後は，２次空気システム設計と伝熱解析を担当することになり，現在に至っている。弊社の社風は，正直大変と思うこともあるが，一方では新しいことができるようになったり，別の考え方を知りものごとを違う角度から見ることができるようになったり，仕事を通してステップアップする機会を得やすい環境だと感じている。

また，年齢・男女・役職に関係なく社内の人間を「さん」付けで呼び合い，風通しが良いことも弊社の特徴ではないかと思っている。会議では年長の人ではなく，声の大きい人の意見が通るようなところがあるし，自発的に動き，良く発言する人に情報が集まり，おもしろい仕事ができているように思われる。

4．職場の様子

ここでは，私が経験した職場の様子について述べたいと思う。ただ，同じ会社であっても，雰囲気が違う部署もある。これから述べるのは，あくまで私が見えている範囲のことであることを前置きしておく。

私が入社後配属された職場には，複数の先輩女性社員がいた。その中には管理職の女性も含まれている。仕事と家庭を両立し，子育てをしながら働いている女性社員が複数いて，職場にもそれが普通のこととして浸透しているように見えた。先輩方が作ってくれた道があり，働き続ける意思さえあれば，働き続けられる環境があることは，自身のキャリアプランを考える上で大変運が良かったと感じている。両立している方達を見ると，両立できることが普通なのではなく，仕事が効率よく進むようにやり方を工夫し，同僚・家族と協力することによって成立させているように見受けられた。比較的仕事のスパンが長く，自分のペースで進められる研究・開発の仕事は，仕事と家庭の両立や，プライベートな時間の確保がしやすい職場であると言えるのかもしれない。弊社に限って言えば，女性の数は増えているものの，職場に女性が１人か２人という場合も少なくない。そういう場合にも，女性同士の助け合いと，上司，チームメンバーのフォローがあり，不便を感じることなく働くことができている。

職場が一緒になった人達と，女子のつどいと称して，ランチをしたり，お酒を呑みに行ったりすることもある。職場を異動した後も仲良くしていただいていて，20人近いメンバーが集まる会もある。子育てをしている人も多いので，３～４ヶ月分の予定を聞いて，ようやく全員が集まれる日が見つかるような状態であるが，忙しい中時間を作って会に参加してくれることは，後輩の立場としてありがたい限りである。女性社員の交流は，私にとって大切なものであり，今後も交流の輪をひろげていきたいと思っている。

5．後輩達へのアドバイス

ガスタービンは多くの部品で構成され，技術分野も多肢にわたるため，仕事を進める上では関係者との連携が欠かせない。チームを組んで仕事をすることも多い。弊社では，７～８人の社員をまとめるリーダーは30歳台の人が多く，子供がまだ小さかったり共働きの場合には，子供の急病のために早退したり，保育園に連れて行くために出社時間を遅らせたり，週に1日は残業をしないで保育園に迎えに行ったりしている。そういった場合にも，チームで助け合って仕事を進めている。育児に協力する男性が増えてきて，育児と仕事を両立することへの理解が進んでいるように感じている。日本の社会が女性の社会進出・子育てに注目する機会が増えている現在，諸問題に手があてられていけば，結婚・出産した女性がより働きやすい職場環境に変わっていくのではないだろうか。

私の周りの働く女性は，活動的で，タフで，仕事に対するモチベーションが高い。これは家庭と仕事の両立に限ったことではなく，仕事で成果を挙げること，職場で必要とされる人間になるには，仕事に対するモチベーションを高く持つことが必要だということだと思う。働く楽しみを見つけて，自分でモチベーションを上げる努力が必要なのだ。

私は，夢や目標はその人を変える力を持っていて，願い続ければいつか実現できるものだと思っている。後輩のみなさんには，エンジニアを志した気持ちを忘れず，色々なことに興味・関心を持ち，その中から夢や目標を見つけて歩んでいって欲しいと思う。

Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

論説◆解説

特集：ガスタービンの世界で活躍する女性研究者・技術者

女性が職業を持つ意義

仲俣　千由紀*1
NAKAMATA Chiyuki

キーワード：女性，技術者，ワークライフバランス

1．進路の選択

本論を展開するに先立ち，まず私自身について少し紹介させていただきたい。生まれてから高校を卒業するまで，福岡県北九州市で過ごした。中学の頃から，理数系の科目が好きで，高校２年で文系・理系の選択を行う岐路に立った時は何の迷いもなく理科系進学コースを選択した。高校３年で進学先を検討する段階では原理を探求するというところに憧れ，理学部への進学を選択した。大学で理学部物理学科へ進学し，４年次に実験系の物性物理の研究室に入り，磁性体の研究を行った。当時も研究色の強い仕事につきたければ修士まで行くというのが一般的であったため，大学院に進学し磁性体の研究を続けた。大学院修士課程までは，ご覧のとおりで，様々な選択を行ってはいるが，自分自身で大きな選択をしたという実感はなく進んできた。

人生で大きな選択をしたと感じるのは大学院修士課程２年の時である。博士課程には進まず，修士課程を修了したら就職するつもりでいた私は，就職先をいろいろと検討し始めた。私の行っていたテーマは非常に基礎的な物理学であったので，大学での研究テーマがそのまま就職後の業務に直結するような就職先は全くなかった。よって，大なり小なり，就職を機に新しいことを始めることになるという覚悟はあった。とはいえ，磁性体関連ということで，電子記録媒体を作る会社などを検討していた。そんな折，卒業生による会社説明会が学校で開催され，そこで弊社に勤務する先輩と知り合うことになった。これが今思うと人生を左右する出会いであった。先輩に案内されて訪れたIHIでは，航空エンジンを間近に見ることができ，大変感動したことを覚えている。これまで原子分子の世界を取り扱ってきた私にとって，大きな機械を見ること自体が新鮮であった。また，働く人々が皆活き活きと仕事をしている姿，自分の仕事を楽しそうに語る姿が印象的で，ここで働けたらと思うようになった。全くの白紙から始めることになるという事に悩んだが，未知の世界に飛び込む覚悟を決め，ＩＨＩへの就職を決めた。

原稿受付　2012年８月３日
＊1　㈱ＩＨＩ
〒190-1297　東京都西多摩郡瑞穂町殿ヶ谷229

2．私の仕事

平成５年にＩＨＩに就職し，航空宇宙事業本部技術開発事業部研究開発部（現：航空宇宙事業本部技術開発センター要素技術部）に配属された私は，ガスタービンの世界に飛び込むことになった。私はタービンの冷却設計および技術開発を担当することになった。工学に不慣れな私は戸惑うことも多かった。今でも鮮明に覚えているのは，「経験式」への戸惑いである。理学の世界では，現象を表現する数式は主として演繹的に求められるが，工学の世界では帰納的に導出された「経験式」が多用される。この考え方が理解できなかった事を今でも思い出す。

入社した頃は，エンジン開発の要素研究が立ち上がった頃で，入社後すぐに冷却設計を担当した。当時の私には，設計パラメータを変えた際に，どこにどのような影響が出るかも予想できなかったため右往左往し，職場の上司・先輩に大変お世話になった。この後，私は職場を変わることなく，タービン冷却設計・開発に従事し，もうじき20年になろうとしている。

3．プライベートについて

実は私には３人の子供がいる。そろそろ一人前に仕事をするようになろうかという５年目で最初の育児休業を取得した。それから１年働いては１年育休をとるという事を繰り返した。ちょうどこの時期，エンジンの新規開発が始まる頃で，職場が非常に忙しいところに大変な迷惑をかけてしまったのであるが，職場の上司・同僚に協力をいただき，職場復帰を果たす事が出来た。育児休業から復帰しても，子育て世代の親はいつ何時休まねばならない事態に陥るとも限らず，残業はできないなどの制約の中であるため，長期間に渡り，職場には理解・支援をいただきながらの勤務にならざるを得ない。私は幸運にもそういう状況に理解をいただき，仕事を続けることができた。

4．ワークライフバランス

３回の育児休業を取りながら，現在も働き続けているという事で，今回，この記事を書かせていただく機会をいただいたものと信じて疑わないのであるが，であれば，ワークライフバランスについて意見を述べることが私に

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

課せられた使命であると思う。

ワークライフバランスについて社会でも取り沙汰されているが，このバランスを取るのは非常に難しい。詰まるところ，それぞれが自分の中で折り合いをつけていくしかないのであろうというのが，現在の私の思うところである。

このバランスは一定ではなく，変化するものである。子供が小さいうちは「ライフ」の比重が大きくならざるを得ないし，仕事人生が長くなると責任が重くなるので，次第に「ワーク」の比重が増えてくる。働き続けるためには，この比重の変化に対し，なんとかバランスをとれる範囲に収める必要がある。比重の変化に関して，私のこれまでの経験から，出産／育児にかかわるワークライフバランスに関して個人的見解を以下に述べさせていただく。今後，後に続く方々の参考にしていただければ幸いである。

私は，「仕事が忙しいので，出産の時期を考えてしまう。」という話をよく聞く。このような悩みを持つ方が本当に多い。私のこれまでの経験を振り返ると，この辺りは暇になるという見通しが立つことはないように思える。年齢が上がるほどに責任も増し，どんどん忙しくなるものである。キャリアを考えた上で，この辺りがベスト！などという一般論は残念ながら導き出せていない。現在は出産・育児に関わる制度が整ってきているので，制度を活用しながら，仕事を続けることは十分に可能と考える。

次にお話したいのはライフのバランスが大きくなる時期についてである。子供が未就学の時期は言うまでもない。これは誰もが認めているため，比較的体制や制度は整っている。この時期の子供の昼間の生活は保育園がしっかりとサポートしてくれている。（待機児童問題は脇に置いて話を進めさせていただいている。）保育園は，親が働いている家庭ばかりが集まっているので，行事その他も，仕事を持つ親に配慮されたものとなっている。仕事を持つ親にとって，最も困難な時期は小学校時代であると私は考えている。小学校では，「昼間家にいる母親」が前提で全てが計画されている。何事も平日の昼間に行われるのである。子供が少なくなっているので，PTAの役員も避けては通れず，どこかで時間のやりくりに苦労することは避けられない。PTA役員は母親の聖域なのである。会長以外は全て母親で構成される。ひとつ象徴的な話をしよう。４月の懇談会はPTA役員を決める場である。それまで役員を引き受けてない者は欠席を憚られる。ある時，私はどうしても会社の仕事を休めなかったので，その日の懇談会への出席を夫に頼んだ。役員決めの場面になり，夫も「まだ役員やってません。」と正直に手を挙げたそうである。その日の役員決めは困難を極めたそうだが，夫には全く何をふられることもなかったという。まるでいないがごとくに扱われたとのことであった。この件があって，我が家では，「４月の懇談会にはお父さんに全部出席してもらおう。」と冗談を言っていたが，つまり，男性は役員として考えられないということなのである。ここまで極端な話は私の住む地域の特殊事情なのかも知れないが，母親中心の活動であることは疑いないと思われる。小学校役員の半数ぐらいが男性になると，仕事を持つ者の視点で活動が計画されるようになり，活動そのものが大きく変わると私は思っている。女性が働きやすい社会になるには，男性の側がこれまで女性の領域であった部分に踏み込んでいただくことも必要なのだと私は考える。

５．職業を持つという事

ほとんどの女性が一旦は職業に就くが，結婚または出産を機に退職という選択をする女性が日本にはまだまだ多い。日本では家事における女性の負担が大きく，退職という選択をするのだと考える。確かに結婚後，特に出産後に職業を持ち続けるという事は，職業としての仕事に加えて，プライベートでも家事という仕事が加わり，めまぐるしい日々を送ることになるのだが，敢えて職業を持ち続けるという選択をすることで得られることについても触れておきたい。職業を通じて得られるものは自分自身の成長であると私は思っている。職場での業務を通じてしか得られない経験がたくさんある。以前は難しかった事が出来るようになったことに気付いて自分自身での成長を感じた時や，困難な課題をみんなで力を合わせて乗り越えたときの達成感は何物にも代えがたい経験である。毎日いろんなものに追いかけられながら，なんとか一日ずつを乗り切るような日々が続いても，それでも会社を辞めないで頑張ろうと思うモチベーションは，職業を通じて得られる経験がかけがえのないものだと思うからである。そうとはいえ，自分の体は一つだし，一日は誰にも等しく24時間である。であるからには，どこかで何かを削らないと一日を回せないだろう。お恥ずかしながら私の場合は家事のレベルをぎりぎりまで落としている。もはや「健康で文化的な生活」ではないかも知れない。このような状況の中，家族にも相当に協力してもらいながらなんとか日々を回しているのである。こんな私でもどうにか職業を持ち続けられているということで皆さんに肩の力を少しでも抜いていただければ幸いである。

６．技術者を目指す方たちへ

思うままに書き散らしたが，何かご参考にしていただける事があったであろうか。これから技術者を目指す女性の皆さんに対しては，「成せば成る」の心持ちで前進していただきたいと思う。まだまだ女性が職業を持つことに対して課題は残されているが，少子高齢化社会に向かう日本では労働力確保の観点，財政的な観点からも，女性の社会進出に対して間違いなく追い風が吹いている。現在山積する課題も次第に解決させるであろうし，何より，社会進出する女性が増えることで課題解決のスピードも速まるであろう。是非，臆することなく，夢をかなえていただきたい。

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

特集：ガスタービンの世界で活躍する女性研究者・技術者

ワーク・ライフバランスを実践してみて

葉狩　智子*1
HAGARI Tomoko

1．はじめに

男女共同参画に向けた取り組みが始まって20年が経過し，技術系でもその流れは定着してきつつあるようだ。企業の女性採用数も年々増えて，女性が男性と同じ作業着を着て職場を歩いていても不自然な目で見られることはない。大変ありがたいことである。我々中堅世代が元気に働き続けることによって，先輩方が切り拓いてきた道を，さらに良い状態でこれから社会へ出る後輩の方々に橋渡しできればと願うばかりである。ごく普通の経歴の筆者ではあるが，一女性技術者のワーク・ライフバランス実践例として参考になれば幸いである。

2．業務経歴

私は，2000年に川崎重工業㈱に入社しガスタービン・機械カンパニー ガスタービンビジネスセンターでガスタービンの開発部門に所属している。2008年まで航空用エンジンの燃焼器の開発に携わり，の燃焼試験や，燃焼器ライナの冷却設計を主な業務としていた。2009年からタービンの開発部門に所属し，産業用ガスタービンの冷却翼開発，およびその他高温部品の冷却設計に携わっている。具体的には，種々の冷却構造の伝熱試験や数値流体力学（CFD）による評価が主な業務で，試験装置の設計，計測，評価まで一通りを自分の采配で行う。佳境に入ると忙しいが，基本的に業務の流れを自分で制御できるし，力仕事以外で困ることは特にない。幸い，ワーク・ライフバランスを取りやすい環境にあると思う。

3．学生時代～入社までの経緯

もともと理系科目は不得意だったが，高校に進学したころから物理と数学に目覚めて理系を目指すようになった。当時大きく話題となった日本人宇宙飛行士の活躍の影響で航空宇宙の勉強をしたいと思い，工学部を志すことにした。素人なりにいろいろ調べていく中で，ジェットエンジンは何やら奥の深い機械らしいということで興味を持った。これがガスタービンとの最初の出会いである。

無事某国立大学工学部に入学となり，期待に胸を膨らませてキャンパスへ足を踏み入れると，ほとんど男子校という目を疑う光景に出くわした。１学年1000人中，女子50名。消費税並みの割合だが，それでも随分増えたらしい。中学・高校と女子高で育った私はその異様な環境を前にえらいところに来てしまったと一瞬後悔したが，目標の進路を目指すにはとにかく慣れるしかない。地元から遠く離れて心細いスタートを切ることになったが，幸い授業に研究と毎回沢山の刺激があったおかげでそんな環境にも馴染み，気づけばすっかり「工学部のヒト」になっていた。

研究室では，極超音速流の数値流体解析をテーマに再突入環境における機体回りの熱流動解析コードを作っていた。プログラムと検証という見た目に地味な内容だが，自分との闘いという要素が大きく胃がきりきりするような逆境も多々あった。学術的なことも沢山学んだが，それ以上にそうした環境での頭の切り替え方や問題の解決方法をとことん模索できたのが今の私の最大の財産である。もう１つの財産は，苦しい時にお互い支えあった数少ない同期女子仲間だった。卒業して十数年経ち，励まし合うのは専ら家庭内のことだが，今でも家族ぐるみで付き合うかけがえのない戦友である。

さて就職先を決めるにあたり，航空機に関連していて大型の機械を扱う企業に興味があったのだが，指導教官がかつて川崎重工業の技術者で，話を聞いていて比較的身近な印象を持っていたので，川崎重工業を志望した。配属先としてガスタービンを志望したのは，もともと航空用のジェットエンジンに携わりたかったからである。無事希望の部門に配属が決まったら，驚いたことに今度は周りに女性事務職ゼロだった。男性と同じ作業着を着て歩く初の女性という思わぬ名誉（？）をいただき，若干居心地の悪い技術者人生のスタートとなった。とはいえ，珍しいおかげで得をする面もなくはなかったので，ものは考えようである。

一方，業務としては殆ど経験ゼロの実験を担当することになり，胃が痛む数値解析から開放されて嬉しい反面，試験のノウハウを覚えるまでに別の苦労をすることになった。しかし，試験と数値解析の両方について苦労したのはいい経験だったと思う。指導教官が常々言われていた「数値解析も実験も，あくまで現象を知るための手段，最も重要なのはその手段を正しく制御して結果に対する適切な評価を下すことができるかだ」ということを実感できたからである。どちらの手段がどうという以前に，論理的に議論を組み立てられるかが全てなのだ。当たり前のようだが，一つの手段に偏りがちだと見失いかねない。今でも業務上勉強することは沢山あるが，当時のことを忘れずに取り組み続けていきたいと思う。

原稿受付　2012年８月10日
＊１　川崎重工業㈱　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　技術総括部
要素技術部 タービン課
〒673-8666　兵庫県明石市川崎町１－１

Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

4．ワーク・ライフバランス

私生活では，2002年に結婚し，仕事と家庭の両立生活がまず始まった。初めに夫と取り決めたのは，「家事は担当を決めず，その時できる人がする」ということだった。共働きだからという理由以前に，この情報にあふれた便利なご時世で「だれが」などという垣根は家事でも仕事でもほぼないに等しいからである。下手な垣根のせいで互いにストレスをためるより，両方が苦にせずできる環境を整えたほうが有利だろう。「どこの世界でも，『どちらかがやるものだ』と決めてかかると必ず破綻するようだし，どちらかが倒れた場合のリスクが高い。」最初は渋られたが，話し合いの結果，このような合意に達し生活はスタートした。

お互いに仕事と家事の両立が軌道に乗ったころ第一子を出産して，子育ても両立の一要素となった。子供が生まれると，とにかく難しいのは時間の管理と自分の体力維持である。家庭でも職場でも，とにかく時間がない。子供が寝たら自分の時間と思っても，目が回るほど疲労しているので，子供を寝かしつけて気が付いたら朝である。また，小さいうちは病気が多く，昼間は仕事，夜は看病という時もよくある。非常に時間管理が難しい上，産前産後で激変する身体のバランスにもなかなかついていけず，そう体力もない私は相当に消耗していたと思う。

幸い結婚当初の取り決め通り，保育園の送迎から掃除・洗濯まで一通りのことは夫が分担してくれたが，最初の数年はうまくいかないことも多かった。そのことで子供にも迷惑をかけたかもしれない。しかし毎日の家事や子育ては両親が主体となって関わることが教育上重要だという確信があったので，祖父母を頼ることも可能ではあったが家族での分担生活を試行錯誤しながら続けた。お互いを信じて細かいことは目をつむる，意見は素直に聞くなど，相手を尊重するという地味かつ当たり前な努力を続けるうちに８年が過ぎた。今となっては２人主婦体制が定着し，共に朝晩台所に立つことで，座ってゆっくり話をする機会が少なく，子育ての事から仕事の話まで風通し良く話ができるようになった。台所に立つのは同じなのに，なぜ８年の間に円滑に回るようになったのか。キーワードは「主体性」だと思う。何でもそうだが，お手伝い感覚では歯車はかみ合わない，互いに尊重され主体的に行動することが苦でなくなったから，次第に一体感が得られたのだろう。これこそが私が結婚に際して思い描いた姿である。ここまで時間はかかったが，様々な問題を抱えこまずに済むようになったおかげで精神的に開放され，結果体力的にも楽になった。各家庭で方針は違うだろうが，我が家にはこれが合ったようで。つくづく諦めなくて良かったと思う。2010年に第二子を出産し体力的に負担はさらに増えたが，体調も壊さずワーク・ライフバランスが成立しているのはいい形で肩の力を抜くことができているからだろう。共に頑張ってくれた夫と娘に感謝するばかりである。この我々の努力が教育上に報われるかはこの先10年にかかっているが，相手を尊重し自分が成長できる人間になって欲しいと祈るばかりである。

一方，職場に関しては，基本的にほぼゼロ，日中に子供が体調を崩せば即帰宅である。２回育児休業を取得したが，どちらも復帰して最初の一年は急な早退や連続休暇が多く，職場に迷惑をかけた。幸い理解ある上司や同僚に恵まれたおかげで何とか乗り切ることができたが，明らかに仕事の仕方が違う自分への不安，周囲への罪悪感は常に付きまとった。子育てをしながら仕事を全うするにはどうしたらよいのか。模索した結果，たどり着いたには結局ごく当たり前のことだった。一つは，できるだけ具体的に毎日の業務をイメージすること。今日明日の業務の達成目標や問題点，優先順位を朝のうちに具体的に紙に書いてから業務に臨む。続けていると段取り力が上がるので，残業が無理でも自分なりのペースで仕事をこなせるようになった。結局，仕事で重要なのは時間の長さではないのだ。10年後の自分を具体的に考えるとこと。仕事でも私生活でも，どうなっていたいのかという根幹の部分を明確にすると前向きになると同時に自分の課題も見るし，周りへどう働きかければ達成できるのかといった枝葉も見えるようになる。一見地味で月並みなことばかりだが，続けるうちに行動力がついたと同時に無駄に悩むことが減った。ちょっとしたことだが，私には絶大な効果を生んでくれた。

私のワーク・ライフバランスも始めて10年が過ぎ，周囲の温かいご協力と自分なりの意識改革を経て「なるようになる」と思えるようになってきた。特別な自己啓発や勉強をしたわけではないが，仕事も家族も周囲に頼りすぎずに自分なりの希望を持って具体的に行動するのが，持続する秘訣のようだ。家事や子育て＝時間の制約は必ずしもマイナスではなく，私にとっては働く意識をいい方向に変える大きなチャンスだった。今後も色々な局面があるだろうが，柔軟に変化しながら流れに乗って過ごしていきたいと思う。

5．おわりに

男女共同参画が定着しつつあるが，未だに結婚や育児を経て長く仕事を続けるということは当事者にも周囲にも高いハードルという見方が強い。しかし，ハードルを越えるのは特別な能力は必要なく，自分の内面と謙虚に向きあい当たり前のことを続けるだけで十分なのだと思う。周りへの感謝を忘れず，自分の意識を柔軟に働かせれば，やりがいを持ってワーク・ライフバランスを続けることは十分可能である。若い女性技術者の方々，気負わず後悔しない道を突き進んでください。また，家事や子育てに無関係でも少子高齢化が進み介護の需要も増すこれからの時代，仕事と私生活のバランスは他人事ではなくなるはずである。互いに敬遠するのではなく，明日はわが身のつもりでともに理解を深めることが，真の意味での男女共同参画であろう。

Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

特集：ガスタービンの世界で活躍する女性研究者・技術者

ガスタービン女性技術者としての業務紹介

森川　朋子*1
MORIKAWA Tomoko

弊社ガスタービン技術部ガスタービン統合開発グループに所属し，タービン翼の開発に携わって入社10年目になります。

入社当時は部全体で女性１人という環境でしたが，現在は同じグループに３人増えて，彼女たちもタービン翼の要素開発や計画業務に携わっています。

部内では一番年長者の女性社員ということで，この度の執筆のお話をいただきました。現在同じ環境で頑張っていらっしゃる方や，将来技術者として頑張って行きたいと考える方に少しでも参考になるお話ができれば幸いです。

１．業務内容

入社一年目でタービン翼の開発グループに配属になりました。最初に担当した業務は，タービン内の流体解析と実機計測でした。

タービン冷却翼を設計するためには，設計の境界条件となる温度・圧力を詳細に知る必要があります。
これらの境界条件は冷却翼の信頼性や性能向上の基盤となるために精度向上が課題となります。

設計，というと机に向かっているイメージがありますが，実際には実機での特殊計測や要素試験をとおして精度の向上を積み重ねることも多く，同じ敷地内にある実証設備や研究所を自転車で行き来する毎日を送りました。

入社２・３年目で実証設備でのタービンガス温度・圧力計測の取り纏めを担当しました。実機内部の流れ場は，理想的な条件を仮定するCFDなどの解析とは異なり，個々の要素が複雑に影響した流れ場になっていると考えられます。

このように複雑なタービン内部の状態を少しでも精度よく把握できるように試験を計画しました。試験実施には計測翼の加工や計測計画，解析，とやることは多く，関係課には沢山の協力を仰ぎ，結果的には貴重なデータが取得できたと思っています。

また，この業務をとおして弊社のアメリカの設計事務所からも技術的なアドバイスを受ける機会が増えたため，その経験からその後１年半をアメリカ事務所の駐在員として過ごしました。駐在員時代には流体解析の他，流体と動翼の振動の挙動や，タービン翼の空力性能，サイクル計算検討など沢山の仕事に関わることができました。

その後は1600度級のJ形ガスタービンの開発に初期から携わることができ，エンジンが白紙の状態から形になっていく姿を経験することができたのは，設計に携わって一番よかったと感じます。教科書でみるサイクル計算に，実際の技術的な要素や制限を受けながら，段数や翼形が決まっていく姿をみることができたのは，貴重な経験です。

J形の開発では，念願の要素設計であった冷却翼の要素開発と冷却設計を担当しました。

打ち合わせ風景

２．学生時代の様子とガスタービンに関心を持った背景，理由

大学では航空宇宙工学を専攻し，原動機推進系のコースに進学しました。ガスタービンに興味を持ったのは，大学４年生の時の卒業設計でジェットエンジンを選択し，エンジンの仕様を決めるところから簡単なサイクル計算をして最適点を決め，設計したエンジンの断面図を手書きした経験をとおして，このエンジンを作りたい，作る仕事に就きたいと感じたことがきっかけでした。卒業設計は３ヶ月程度の短い期間でしたが，とても没頭したことを覚えています。

手書きで図面を書くために，少し検討を修正して軸長が変わると軸方向に消しゴムで全部消して書き直す，という繰り返し作業もありましたが，その中で図面に愛着が出てきて，色々なことに気付かされるので学ぶことが楽しかったです。

そんな経験があったからこそ，就職活動で弊社（高砂

原稿受付　2012年８月10日
＊１　三菱重工業㈱　原動機事業本部
ガスタービン技術部ガスタービン統合開発グループ
〒676-8686　兵庫県高砂市荒井町新浜２－１－１

Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

製作所）を訪れた時には，航空用とは異なる産業用のガスタービンの大きさの迫力や，使用条件の過酷さに対する技術的なチャレンジに魅力を覚えて入社にいたりました。

3．ワーク・ライフバランス

私事ですが，昨年一児の母になり，産休・育休で1年半ほど仕事から離れた後，この５月に職場復帰しました。復帰前と同じ所属に戻り，仕事の内容も以前のものを継続できるところから始めています。会社から保育園までが遠い理由もあって育児中の短縮勤務制度を使い，現在は9：00-16：00の勤務です。

入社当時は，ひたすら頑張り，平日であれば帰宅してからも勉強したり仕事のことを考えたりしてオン・オフの区別がつきにくかったように感じます。それでも土日は体を動かしたり，休みには旅行したりと普通の生活を送っていました。

ただ，若さゆえに仕事に遊びに頑張りすぎたせいか体調を崩すこともしばしば経験しました。そのような中で，仕事を続けていく上では自分の健康な体と健康な精神が不可欠なのだと，当たり前のことに気づきました。女性は特に体調の変化が何事にも影響しやすいように思います。体を休めるためには仕事は効率よく行わないとならないし，精神を休めるためにもオン・オフの切り替えが重要だと再認識しています。

育児中の今は，さらに時間との戦いで，仕事も家事も，子供との時間も大切にして自分の体調も管理する，と課題は多いです。ただ，忙しい今の方が以前より自分を大切にしていると感じます。

ところで，正直なところ，出産を機に仕事を続けていくことができるのかについては悩んでいました。

同じ部に出産後の復帰の先例がなく，私自身も比較的古い考えの持ち主なので，なんとなく出産したら家庭に入ることに違和感もなく，育児中に短縮勤務や休暇をとりながら仕事を続けるのでは仕事に対して責任が果たせないのではないかと葛藤していました。

仕事の継続を選んだのは，「今から出産後のことをあれこれ想像してみても分からないし，復帰してやってみてから考えていくしかないじゃないか。」と言ってくれた上司の言葉も大きかったです。産休前にはチームで食事会を開いて盛大に送り出していただき，おかげさまで前向きに出産・育休をとることができました。

育児休暇というのは，会社生活とは全く異なった時間の流れ方で，１対１で子供と過ごす大変さを知り，かけがえのない有意義な経験ができました。たった１年半でも心身ともにあらたに鍛えられたと思います。

また，こういうイベントを乗り越えたからこそ，会社でサポートしてくれる上司をはじめ同じチームの人や家族にも感謝の気持ちは強くなりました。

結婚や出産前の女性ならライフイベントと今後の仕事の継続について同じように悩んでいる方も多いかもしれません。あれこれ悩んでも仕方がない，と分かっていながらも漠然とした不安は拭えないと思いますが，産休・育休というイベントは，長い会社生活で考えたらきっとほんの一時期ですし，育休中の生活はかけがえのない経験になるので，仕事を頑張って行きたいという人にこそ前向きに仕事と育児の両立を考えてほしいと思います。

モニュメント前にて

4．後輩達へのアドバイス

工学の分野でも，女性が勉学や研究に励んで，就職後にその分野で活躍できる環境は整っていると思います。やりたいことを仕事にできることは幸せです。

これから技術系でばりばり働きたいという女性にこそ，仕事も応援したいし，出産・育児も応援したい。私もまだまだ新米ワーキングマザーで試行錯誤の毎日ですが，仕事に，家庭に，頑張っていきます。

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

論説◆解説

特集：ガスタービンの世界で活躍する女性研究者・技術者

就職先や将来の家庭と仕事の両立に悩む工学系女子学生の方へ

中島　智美*1
NAKAJIMA Tomomi

キーワード：ワークライフバランス

1．業務内容

入社以来一貫して蒸気タービンの研究開発，特に振動強度，信頼性に関する研究に従事しています。ここ数年はタービン動翼に作用する非定常力について研究しています[1]。この非定常力はNPF（Nozzle Passing Frequency）励振力と呼ばれるもので，静止したノズル近隣に配置された回転する動翼に生じる，ノズル本数×回転数の整数倍の周波数の励振力を指します。非定常力は翼形状や静翼-動翼間距離など多様な因子の影響を受けて複雑に変化するため，事象を解明し翼の信頼性を確保することが望まれています。なお，非定常力は蒸気タービンのみならずガスタービンにおいても生じます。

2．学生時代

高校時代から振り返ってお話します。当時，私は数学や物理といった自分で考える力を必要とされる教科で良い成績を収めていました。しかし，「仕事をするなら好きなことに従事したほうがよいだろう」と考えており，趣味の読書を兼ねて図書館の司書になることを漠然と夢見ていました。ところが，高校二年からの文系・理系選択時に，「得意なことを生かさないともったいない」という親友の強い勧めによって理系を選択することになりました。これによって人生の方向づけが大きく変わったように思います。また，このとき得た助言は今でも私の進路選択の指針となっています。例えば，高校卒業後は筑波大学の基礎工学類に入学したものの，将来の仕事を具体的にイメージしての選択ではなく，得意なことを生かすためでしたし，その後も同様の選択をする傾向が多いように感じます。

修士時には原子力用材料のき裂の発生，進展に関する研究に従事しました[2]。実験と計算を通して，実際の物に触れながら研究を進めるスタイルにやりがいを感じることに気付きました。そこで就職活動ではものづくりに定評があると思われる会社を，製品を特定せずに訪問しました。結果，弊社に採用されたのですが，実はそれまでタービンというものに関わったことはなく，蒸気タービンについて具体的には何も知らない状態からのスタートでした。私の知り合いでタービン関連の研究，製品開発をしている方々は，学生時代から類似の研究をしている，もしくはタービンという大きい，または過酷な環境下で作動する製品に憧れて入社する傾向があるため，私のような入社理由は珍しいかもしれません。

人それぞれかとは思いますが，学生時代は自分のしたい勉強をのびのびとすればよいように感じます。学校は専門的な知識を習得する場であると同時に，学問の仕方など基礎的な事柄を学ぶ場でもあるからです。もちろん，学問以外の多種多様な経験をすることも大事です。ただ，私の時代は充実した学生生活・研究生活をしていれば自分に適切な仕事はおのずとみつかるものでしたが，今はより厳しい社会情勢にあるため，ここに示したことは参考にはならないかもしれません。

3．社会人となって

タービンについて一から勉強して今に至っています。学生時代における知識が直接役に立ったことは数割程しかありませんが，諸先輩方のおかげでタービンに関する研究をここまで続けてこられました。製品を良くしたいという意志や，研究を進める上での基本的な思考法を持ち合わせていれば，多少の分野の違いは乗り越えられるものだと思います。企業ではその時解明が求められる事象が研究テーマとなるため，研究分野が変わることも少なくありません。そのため，テーマには固執せず，「製品を良くすること」を第一目的に研究するように心がけています。

多くの方がご存じのように，工学界，特にタービン分野で活躍する女性の数は非常に限られています。この点に不安を感じ，就職先としてタービン業界を考慮されない女子学生は少なからずいることかと思います。しかし，このような環境下であることが理由で困った経験は，私にはそれほどありませんでした。どの世界においても，女性であること以前に，自分のパーソナリティーを理由としたトラブルはつきものであることは，幼少時代，学生時代を通して誰もが実感していることと思いますが，これと同程度のトラブルであったことが多かったように感じます。現在，弊社含め多くの企業では女性が働きやすい施策・環境が整ってきていますし，男性が多いからとタービン業界を敬遠される必要は，特に研究分野では

原稿受付　2012年8月3日
＊1　㈱日立製作所　日立研究所
〒317-0073　日立市幸町3-1-1

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

なくなってきたように思います。タービンに興味のある女子学生の方々，ぜひ関係企業を見学してみてください。

4．ワークライフバランス

入社して数年後に結婚，２人の子供に恵まれました。弊社では育児をする社員のための各種制度が充実しているため，仕事と家庭を無理なく調和することができています。

興味のある方のために，以降は子育てと仕事の両立について，私の経験や考えを述べたいと思います。まず妊娠中，当たり前ですが，これまでのように思ったとおりに仕事をすることはできなくなる可能性があります。私は第一子，第二子妊娠中ともに産休前まで働きましたが，つわりで体調が悪い時期もありましたし，緊急入院，自宅療養を経験したこともあります。また，子供を保育園に預けて職場に復帰したのちも，（個人差はあるものの）最初の数年は子供が病気をもらいやすく，看病のために突発的に休まざるをえない状態が続きます。インフルエンザのような伝染病をもらえば丸々一週間，兄弟姉妹に感染すればさらにその倍，出社することはできません。子供が成長し丈夫になっても，保護者役員の遂行など，自分の力の何割かは家庭に割かねばならない状況が続きます。どのような職種につく女性であれ，子を望む方はこのような生活となる可能性を事前に理解しておく必要があるかと思います。

しかし，この期間は決して無駄にはならないと後輩の方にはお伝えしたいです。確かに仕事の面では順調に進まないことが多々あります。けれどこの期間なしでは子供を産み育てることはできないことも事実です。失うかもしれないものに固執するよりは，得られるものに喜びを感じるようにするほかありません。また，子供自体も得難い宝ですが，他の育児経験者の本，記事などでよく示されているように，育児を通して自分の人間性を向上させることができる点も大きな収穫です。例えば，子供や子供に関わる人たちと繋がることで，人は多種多様であること，自分の知らない世界が広いことを強く認識できます。これらを知らずして真にダイバーシティを理解することはできません。他にも，何事も理想通りに進むとは限らないこと，突然の事象への対処法，忍耐強くなるなどのマインド強化，などが習得できます。例えば，弊社では「和」「誠」「開拓者精神」の３点を社訓としていますが，「誠」=integrityはマネージャになるために必須の素質であると経営学で著名なドラッカーが述べています（integrityは'真摯さ'と訳されることが多いです）。この素質は企業のトップに立つものには必須の，天性のものであるとドラッカーは述べていますが，一般的な管理者が必要とするレベルであれば教育によって補うことができるようです。他にも管理者となるために必要な素質は多々あります。働く女性は職場のみならず家庭においても管理者となるため，実践的プログラムに長期間かけて参加できると考えれば，育児期間というのは非常に有益な期間だと思います。

ワークライフバランスというと，最近では，古い発想である解釈する方も多いです。ワークもライフの一部であるとか，ワークとライフを分けずにライフの中に適宜ワークを入れる，などといった発想です。私のこれまでの経験から述べさせていただくと，ライフあってのワークであることは間違いありません。とはいえ，ライフ，つまり家庭での時間，自分の時間を優先させすぎるあまりワークを犠牲にすることも社会人としてはよくないことでしょう。そのためワークとライフのバランスとは，自分で決める適切だと考える範囲と，会社や社会が決める範囲とのバランスをとることだろうと私は考えます。そうはいっても，家庭や仕事の負荷が増せば，自己のモチベーションを維持できないほど疲労するときもあるかと思います。そのようなときは一時のことであれば無理せず休むとよいと思います。一生フルスロットルでかけ続けることができる人もいれば，そうではない人もいます。自分というものをよく理解し，自分の心や体をうまく制御することで，長い会社生活，人生をより良いものにしてください。以上，子育てと仕事の両立について簡単ですがアドバイスとさせていただきます。

5．後輩たちへのアドバイス

ワーキングマザーの先駆けといえば慶応大名誉教授の米沢先生が思い出されます。先生の半生が日経新聞の「私の履歴書」で2012年６月に掲載されていたのでご存じの方もいると思いますが，非常にポジティブな方です。三人の娘さんを育てながら，大学院時代から毎年５,６編の論文を書き続けていたそうで，大病を患うときがありながらも研究を邁進されてきました。先に書いたことと若干重複しますが，無理なことや失くすものに固執せず，今あるものに感謝することで，家庭と仕事を充実させることができたのだろうと私は感じました。女性の就労ではワークライフバランスの問題が注目されがちですが，他の状況であっても，または男性であっても，人は悩み苦しむときが必ずあります。深刻な状況から早期に抜け出すことができるか，はては一生浸り続けるかはその人次第です。環境や制度はもちろんですが，非常時にうまく切り抜けられる心の制御手法こそが良い研究，充実したライフに繋がる最良の道であると，私は確信しています。自己を制御するためには自分についてよく知り，自分を成長さることが必要です。学生の方々は，今を精いっぱい生きることで自分を成長させてください。

6．参考文献

(1)　Nakajima, T., Shikano, Y., Yamashita,Y., IGTC2011-0053 (2011-11)

(2)　中島智美，渡部修，機械学会年次大会論文集，2002-2 (2002-9)，p.75-76

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

CO_2回収型高効率IGCC用クローズドサイクルガスタービンの開発

長谷川　武治*1
HASEGAWA Takeharu

キーワード：ガス化，CO_2回収，セミクローズドサイクルガスタービン，燃焼器，燃焼排気特性，排気ガス反応特性，反応数値解析

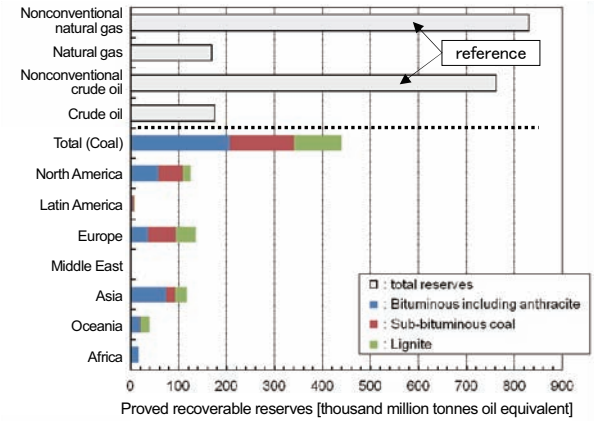
1．緒　言

エネルギー資源の多様化と地球環境問題への対応から，化石燃料発電の高効率化および環境対策のための技術開発が世界中で進められている。特に，石炭は，わが国の電源構成において，エネルギーセキュリティーの観点から最も重要な資源の一つとして位置づけられている。

図１は，地域別の石炭の確認可採埋蔵量について，在来型天然ガスおよび原油の可採埋蔵量と比較して示す。参考として，非在来型天然ガスおよび原油の究極可採埋蔵量も併せて示している。世界の石炭の埋蔵量は在来型天然ガスまたは原油の埋蔵量の２倍に相当し，しかも，比較的政情の安定した北米および欧州に広く分布しており，安定供給の観点から地政学リスクが小さい。また，非在来型天然ガスおよび原油の究極可採埋蔵量も併せて示しているが，石炭の確認可採埋蔵量はそれらの約1/2に相当し，しかも石炭の究極可採埋蔵量については天然ガスおよび原油の在来型および非在来型資源の合計の２倍以上になると予想されている。従来の瀝青炭だけでなく，低品位炭の発電用燃料としての環境保全性に配慮した有効活用は，エネルギー資源の発掘，競争力確保の観点からも非常に重要であると言える。

近年，石炭の需要が急増してきている。図２は，世界の地域ごとの石炭消費量と可採年数の推移について，重油および天然ガスの可採年数と比較して示す。1985年から2010年の四半世紀で，世界の石炭消費量は約1.7倍に増加し，一方で，アジア太平洋地域の石炭消費量は実に3.6倍に増大しており，この増加量は2010年の世界の石炭消費量の約半分に相当する。特に，最近10年間のアジア太平洋地域の石炭消費量は２倍に急増しており，石炭の可採年数を低下の要因となっている。石炭を含め，重油，天然ガス等の化石燃料資源の開発競争が，これまで以上に激化することが予想される。

一方で，わが国の電気事業では，電源構成のバランスを確保する方針が採られてきた。図３は，日本の電源構成の推移を示している。1970年代の２度にわたる石油危機を契機に，エネルギーの安定供給を目的に，火力発電における電源構成を中東に偏在する原油から世界に広く分布する石炭や天然ガスにシフトしてきた。現在，石炭は日本の国内電力需要の約1/4を賄い（2009年度），また，世界では一次エネルギー需要の29.6%を占め，約42%の電力量を賄っている（2010年）。



Notes: Coal proved reserves expressed in tonnes oil equivalent are calculated using coal productions based on data expressed in tonnes oil equivalent and coal productions in tonnes. Nonconventional natural gas shows data not including methane hydrate reserves. Nonconventional crude oil includes oil shale and oil sand reserves.

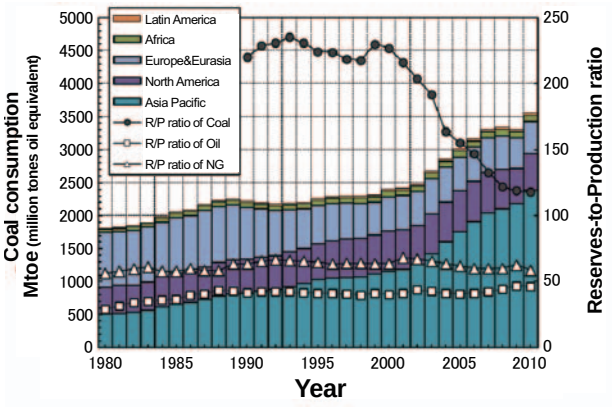
Fig. 1 Proved recoverable reserves of coal by region at end 2010, compared with oil and natural gas reserves. Source of reserves data: BP statistical review of world energy 2011[1].

さらに，環境対策に関しては，1997年に京都で開催された気候変動枠組条約第３回締約国会議（COP3）において2000年以降の温室効果ガスの排出目標を定めた京都議定書が採択された。わが国においても，電気事業を含め各業界が自主行動計画を定めるなど，二酸化炭素（CO_2）等の地球温暖化ガスの排出を抑制し，地球規模で環境保全を図るとの機運が高まってきた。石炭は，単位発熱量あたりのCO_2発生量が天然ガスの場合の1.8倍にのぼり，石炭火力発電におけるCO_2回収技術の開発は重要な課題の一つである。

以上の背景の下に，現在，石炭による高効率発電お

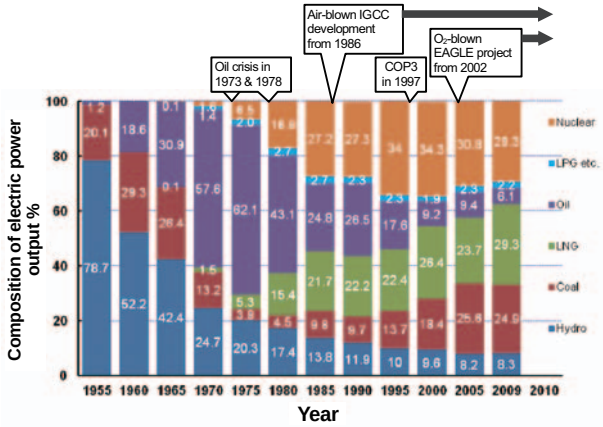
原稿受付　2012年６月７日
＊１　一般財団法人　電力中央研究所，エネルギー技術研究所
〒240-0196　横須賀市長坂２－６－１

Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.



Note: Coal data include anthracite, bituminous, sub-bituminous, and lignite. And reserves-to-production（R/P）ratios are approximate values based on the total proved recoverable reserves of bituminous coal, anthracite, lignite and sub-bituminous coal. Sources are BP statistical review of world energy[1] and data reported for precious World Energy Council Surveys of Energy Resources[2].

Fig. 2　World coal consumption by region and proved recoverable reserves-to-production（R/P）ratio of coal, oil and natural gas（NG）at end 2010.



COP3: The 3rd Session of the Conference of the Parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change

Fig. 3　Trend in composition of power sources in Japan[3]

よびCO_2排出量削減のための技術開発の重要性が益々高まってきており，CO_2回収を図る火力発電システムに関する研究・開発が国内外で進められている。この技術の一つとして，CO_2回収機構を組み込む石炭ガス化複合発電（Integrated coal gasification combined cycle，通称「IGCC」）について注目されている。電力中央研究所では，CO_2回収プロセスとクローズドサイクルガスタービンを組み合わせることにより高熱効率化が期待されるCO_2回収型高効率IGCC（Oxy-fuel IGCC）発電システムを提案し[4]，現在，ガス化炉など各構成要素の実現可能性の評価について検討を進めている[5]-[11]。提案するCO_2回収型高効率IGCCシステムでは，Pre-combustionシステムを採用するIGCCにおける水蒸気シフト反応機構の適用を必要とせず，また，排気ガス中の水分を汽水分離して高純度のCO_2を分離･回収することにより，CO_2回収動力を低減するゼロエミッション型IGCC発電を実現する。現在，資源エネルギー庁／NEDOの事業の一つとして「革新的ガス化技術に関する基盤研究事業『CO_2回収型次世代IGCC技術開発』」が実施されており，第一期計画（2008～2013年度）で，ガス化技術，ガス精製技術に関する基盤技術開発およびシステム全体の成立性や課題抽出等の検討が進められている。

当研究所では，CO_2回収型高効率IGCCの主要技術である排気循環によるO_2量論比燃焼セミクローズドサイクルガスタービンの特性について調査検討を進めてきた。本稿では，CO_2回収型高効率IGCCシステムの特徴について記すとともに，ガス化燃料の排気循環・O_2量論比燃焼セミクローズドサイクルガスタービンの燃焼特性と開発課題について紹介する。

2．CO_2回収型火力発電システム

2.1　CO_2回収方式の概要

図4にCO_2回収機構を組み込む微粉炭火力発電システムおよびIGCC発電システムの概要例を，図5に各発電システムのプラント熱効率（HHV基準）の試算例を比較して示す。CO_2の回収方法としては従来から検討が進められている3方式[13],[14]に，本稿が対象とするOxy-fuel IGCC方式を加えて4方式に大別される。

図4のa）に示すPost-combustionシステムは排気ガス中のCO_2を化学吸収，物理吸収法，膜分離法または圧力スウィング吸着法等を用いて分離回収するものであり，

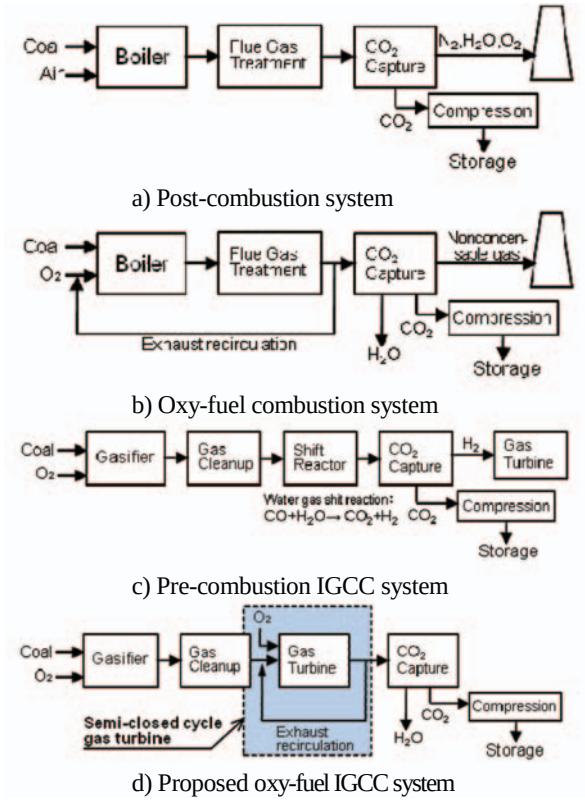


Fig. 4　CO_2 recovery from coal-fired power generation process

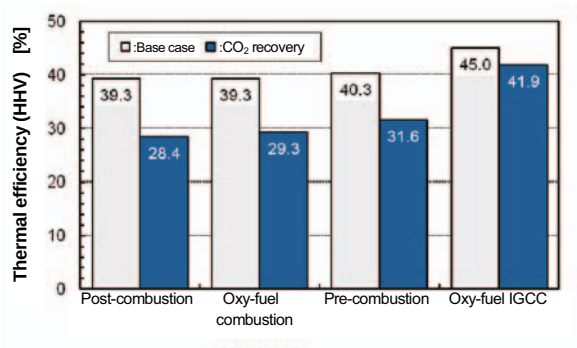
Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

吸着剤の再生に多量の水蒸気を必要とするなど，多くのエネルギーを要する。従来の微粉炭ボイラ発電を対象にCO_2回収率を90%とした場合，プラント熱効率は39.3%から28.4%に低下すると試算されている[13]。

図４のb）に示すOxy-fuel combustionシステムは空気の代わりにO_2を用いて微粉炭を燃焼させ，CO_2とH_2O成分からなる排気ガスから水蒸気を凝縮させることによりCO_2を分離・回収する汽力発電システムであり[15]，CO_2分離システムを簡素化すると同時に，CO_2分離動力を低減できる。ただし，O_2製造のための空気分離設備と排気循環のためのブロワーを必要とし，熱効率は29.3%と約1ポイントの向上にとどまる[13]。現在，オーストラリアのカライドで実証試験が実施されている[16]。

図４のc）は，酸素吹きIGCCを対象に燃料の段階でCO_2回収を図るPre-combustion システムを示す。酸素吹きガス化燃料は主にCOとH_2成分で構成され，水蒸気シフト反応（$CO+H_2O \rightarrow CO_2+H_2$）を応用して燃料中のCOを$CO_2$に転換して回収する。Post-combustionシステムに比較して処理するガス量が小さくなる利点があるものの，水蒸気シフト反応に多くの水蒸気を用いる。このため，Fクラスガスタービンを採用し，CO_2回収率を90%とした場合の熱効率はIGCCによる熱効率向上分を併せて31.6%になると試算されている[13]。現在，システムの実証に向けた多くの研究開発[13],[14],[17],[18]が実施されている。

一方で，電力中央研究所では酸素吹きIGCCに酸素燃焼セミクローズドサイクルガスタービンを採用し，排気ガスからCO_2を分離回収するCO_2回収型高効率IGCCシステムを提案している[4]（図４のd））。この場合，Pre-combustion IGCCシステムに見られるような水蒸気シフト反応の適用を必要とせず，CO_2分離回収のための所内動力を低減できる。本システムでは，O_2-CO_2吹き石炭ガス化炉，乾式ガス精製および1573K（1300℃）級セミクローズドサイクルガスタービン等を開発・導入し，しかもCO_2回収率を99%以上に向上した場合で，送電端熱効率41.9%（HHV基準）を目標に検討が進められている。



Note: In the three conventional cases of post-, oxy-fuel and pre-combustion, currently available technologies are employed and CO_2 recovery rate is set at 90%[13]. In the case of oxy-fuel IGCC employing technologies currently under development, CO_2 recovery rate is set at 99%[5].

Fig. 5 Thermal efficiency of coal-base power plants with and without CO_2 capture and compression

2.2　CO_2回収型高効率IGCCおよび排気循環・O_2量論比燃焼セミクローズドサイクルガスタービンの特徴

図６は本研究で対象とするCO_2回収型高効率IGCCおよびセミクローズドサイクルガスタービンの構成を示す[4]。提案するCO_2回収型高効率IGCCシステムは，O_2-CO_2 吹きガス化炉，乾式ガス精製システム，O_2量論比燃焼セミクローズドサイクルガスタービンおよびCO_2回収システムから構成され，以下の特徴を有する。

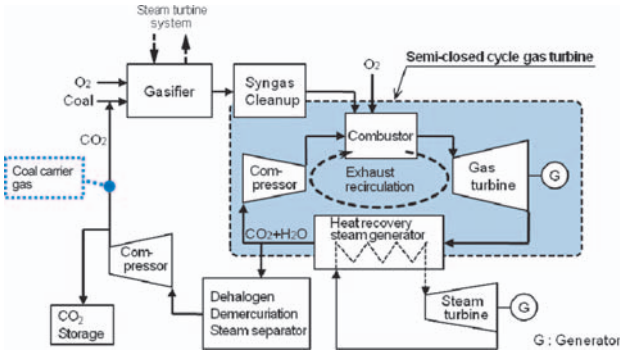


Fig. 6 Schematic diagram of oxy-fuel IGCC and semiclosed cycle gas turbine[4]

2.2.1　O_2-CO_2吹き噴流床石炭ガス化炉方式

本システムでは，ガスタービン排気ガスからCO_2回収機構を経て回収されたCO_2を搬送ガスとして，微粉炭を酸素吹き噴流床ガス化炉に供給し，O_2によりガス化する。O_2-CO_2吹きガス化方式は，従来のN_2搬送による酸素吹き石炭ガス化方式に比較して冷ガス効率が向上することがわかっている。図７はCO_2およびN_2ガスを用いた乾式搬送による石炭ガス化方式によるガス化特性についての一次元反応モデルによる数値解析の結果[4]を示す。CO_2搬送の場合，冷ガス効率を２ポイント向上し，チャーの生成を大幅に抑制できることが示されている。

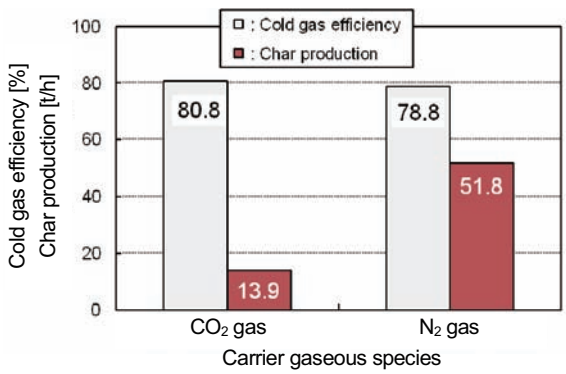


Fig. 7 Influence of carrier gas conveying pulverized coal into gasifier on oxygen-blown gasification performance under conditions of coal input of 118.5t/h [4]

Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

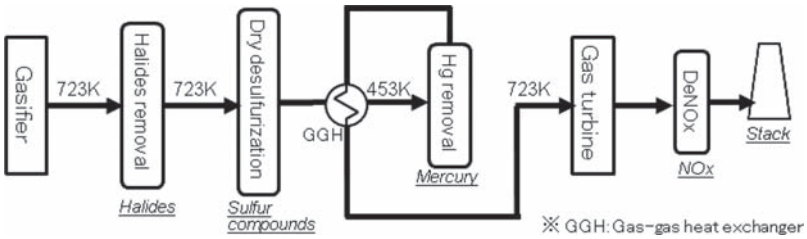


Fig. 8 Schematic flow diagram of demonstration plant of dry gas purification system for current IGCCs

また，電力中央研究所では，加圧条件下におけるチャーの生成特性に及ぼすガス化剤成分（CO_2またはH_2O）の影響や，O_2-CO_2吹き石炭ガス化特性に及ぼすCO_2添加の効果についてdrop tube furnace[10]や３トン/日規模のベンチスケールガス化炉[11]を用いて検討を進めており，CO_2添加はガス化特性を向上することを検証している。

2.2.2 乾式ガス精製システム

乾式ガス精製システムは主に高温集塵と乾式脱硫装置から構成され，所内動力を低減してプラント熱効率を向上するとともに，システムの簡素化を実現する[9]。高温集塵技術は，金属またはセラミック製の多孔質フィルターが開発され，すでにIGCCに実用されている。また，電力中央研究所では，これまで石炭ガス化燃料に含まれる硫黄化合物を除去するために亜鉛フェライト系ハニカム脱硫剤[9]を開発すると共に，その他の微量物質の乾式除去を目的に$NaAlO_2$を用いたハロゲン化物吸収剤[19]，銅系水銀吸収剤[20]，ZSM-5ゼオライトにニッケルを担持したNH_3分解触媒[21]を開発した。図８は通常のIGCCを対象に現在開発が進められている乾式ガス精製システムの実証プラントの構成を示す[22]。図には示されていないが，NH_3分解除去プロセスは脱硫装置の後の設置が考えられている。ガス精製プロセスの構成は各吸収剤と触媒の運転温度および仕様により決定される。現在，CO_2回収型高効率IGCCを対象に，これらの要素技術を組み合わせた新たなガス精製システムの構築を進めている。

2.2.3 セミクローズドサイクルガスタービンとCO_2回収システム

CO_2回収型高効率IGCC用セミクローズドサイクルガスタービンでは，O_2-CO_2吹き石炭ガス化燃料をO_2にて量論比燃焼させ，CO_2およびH_2Oを主成分とするガスタービン排気ガスは排熱回収ボイラで熱回収され，一部はスクラバおよび汽水分離器によりハロゲン，水銀やH_2Oを分離・除去した後，CO_2を回収し，残りはリサイクルして燃焼器に供給して燃焼温度を調整する閉ループを構成する。また，回収したCO_2のうち約１割をガス化炉への石炭搬送に使用する。石炭の発火を防ぐため，搬送ガス中の残留O_2成分を低いレベルに低減することが必要になる。

表１は，セミクローズドサイクルガスタービン燃焼器の定格条件での各種流体の状態量等を示す。本研究では，燃焼器出口における平均ガス温度T_{ex}を燃焼温度として1573K（1300℃），燃焼器内圧力を2.2MPaに設定した[5]。希釈剤中のO_2成分を考慮せず，燃料と酸化剤のみから算出される見かけの当量比ϕ*は0.98に設定している。燃料の高位発熱量は11.5MJ/m^3（273K, 0.1MPa基準）になる。燃焼温度を調整するために燃焼器に供給する希釈剤としての排気ガスの循環量の割合（Dilution ratio）は，モル比で燃料の5.54倍供給する。これは燃料と酸化剤の合計の3.75mol/mol倍になる。

Table 1 Rated conditions of semiclosed cycle gas turbine combustor

	Gasified Fuel	Oxidizer	Dilution
Components CO [vol%]	66.2	0	0
H_2	23.8	0	0
CH_4	0.3	0	0
CO_2	4.9	0	69.5
H_2O	3.2	0	26.9
N_2, Ar	1.5	2.5	2.7
O_2	0	97.5	0.9
Pressure in combustor	2.2MPa		
ϕ *	0.98 (Overall equivalence ratio is 0.89)		
Exhaust recirculation (Dilution ratio)	5.54mol/mol : exhaust/fuel molar ratio		
Exhaust temp.T_{ex}	1573K at combustor exit		

表２に，燃焼排気ガスを希釈剤として用いるガス化燃料・O_2量論比燃焼の特徴と課題について，従来のLNG焚きガスタービン燃焼の場合と比較して示す。多量の空気で酸素過剰燃焼させるLNG焚きガスタービンとは異なり，O_2による量論比燃焼では短い反応時間で完全燃焼させることは難しい。特に，燃焼ガスで希釈するため，燃料の酸化反応が抑制されることが懸念され，燃焼制御技術が重要となる。たとえば，若干の酸素過剰条件で燃焼させると燃焼効率は上昇するものの，余剰のO_2が燃焼ガス中に残留し，ガス化炉への石炭搬送用ガスとしての燃焼排気ガスの使用を制限する。また，O_2やAr，N_2などの非凝縮性ガスの混入はCO_2を凝縮させ，回収する動力を増加させる[23]。

一方，量論比よりも少し高めの燃料過剰条件で燃焼させた場合には排気ガス中に未燃焼燃料成分が残留し，燃

Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

Table 2 Subjects of semiclosed cycle gas turbine of gasified fuel/O_2 stoichiometric combustion with exhaust recirculation

	Oxy-fuel combustion in IGCC	Conventional LNG-fire GT
Equivalence ratio	Stoichiometric (ϕ * = 0.98)	0.4～0.5
	Oxidation reaction is restrained and unburned fuel is emitted.	at T_{ex} =1573K ～1773K
Dilution gas to adjust combustion temp.	Exhaust recirculation	Air
	Some exhaust is used as coal carrier gas, and then O_2 concentration has to be decreased to a safe level.	
NOx emissions	Hot/dry cleanup and exhaust recirculation cause increased NOx emissions	Only thermal-NOx emissions

焼効率が大幅に低下することが懸念される。さらに，乾式ガス精製を採用した場合にはフュエルNOxが生成し，排気ガス循環によりフュエルNOx濃度は増加するため，NOx濃度の低減が必要になる。本稿では，CO_2回収型高効率IGCC用セミクローズドサイクルガスタービンの燃焼排気特性を示すとともに，排気循環ガスの反応特性について調べた結果[6]-[8]を示す。

3．燃焼器解析モデルと反応動力学数値解析法

燃焼器やバーナ構造について検討する前段階として，排気循環によるO_2量論比燃焼の基本的な燃焼特性を把握することを目的に，燃焼器に完全攪拌反応器を仮定してガスタービン燃焼排気ガス特性について検討した。燃料，酸化剤および希釈剤は全て予混合して燃焼器頭部から供給され，二次供給は設けられていない。すなわち，すべての化学種は均一に混合されているものとし，拡散・混合過程は考慮せず，反応は一定温度で進行するものとしている。

本解析で使用した反応モデルはMillerとBowman[24]によって提案された反応スキームで，ガス化燃料のアンモニアの還元分解反応[25]やCH_4の予混合火炎におけるアンモニアの酸化反応[24]などにおいて，実験結果と比較することにより妥当性が確認されている。

反応スキームは248式の素反応から成り，考慮されている化学種は50成分である。MillerとBowmanは，C1とC2炭化水素の酸化反応とアンモニアの酸化還元反応の詳細反応機構について提案している。著者ら[25]は炭化水素とアンモニアの詳細反応機構を結合し，反応解析に使用するとともに，流通管型反応器を用いた実験により適用範囲を確認している。近年，様々な素反応機構が提案されており，例えば，GRI Mech 3.0などがある。しかしながら，O_2-CO_2吹きガス化燃料はCH_4を微量含み，C2炭化水素を含まないため，当該ガスタービン燃焼の解析[26]にはGRI mech 3.0などのC2およびC3炭化水素まで解析できる詳細素反応機構の適用を必要としない。

熱力学データは，JANAFの熱化学物性値[27]の値を使用し，本物性値表に記載のない化学種については，式(1)で示されるGibbsの標準生成エネルギー（ΔG°）と化学平衡定数（K）の関係から導出する。

$$\Delta G^\circ = R \times T \times \ln(K) \qquad (1)$$

ΔG°の値は，CHEMKINデータベース[28]から求める。微分方程式の解法は，陰的な多段解法であるGear法[29]を用いた。

解析モデルについては，ガスタービン燃焼器に完全攪拌型反応器（PSR）モデルを採用し，膨張タービンから煙道までを対象にプラグフロー反応器（PFR）モデルを適用した複合モデルを提案している。ガスタービン燃焼器については，燃焼器構造検討の前段階として，構造に依存しない反応特性を調べることを意図してPSRモデルを適用している。これは，Prattら[30]によって提案されたモジュラーモデルの最もシンプルな形態に相当し，燃焼器の攪拌部分に適用されるモデルである。膨張タービンと煙道についてはPFRモデルを適用し，セミクローズドサイクルガスタービンの燃焼器排気ガス特性および排気ガスの反応特性に及ぼす排気循環の影響ついて検討した。

4．排気循環によるO_2量論比燃焼特性

4.1　空気による燃焼との比較

表１に示す定格条件での主な化学種の経時変化について，均一予混合反応を仮定した反応解析による結果を図９に示す。図10はCH_4の空気による燃焼時の主な化学種の経時変化を示す。CH_4の場合と比較すると，排気循環によるガス化燃料・O_2量論比燃焼では燃料成分の酸化反応が大幅に遅れ，数十msの反応時間では十分な燃焼効率は得られていない。例えば，燃焼器内燃焼ガスの燃焼反応時間を20msと仮定すると，燃焼器出口における燃焼排気ガスはO_2成分を2.5vol%，COおよびH_2成分をそれぞれ2.9vol%，0.4vol%含み，式(2)で示される燃焼効率ηは約76% にとどまることがわかる。

$$\eta = \left(1 - \frac{M_{ex} \times H_{ex}}{M_{fuel} \times H_{fuel} + M_{cir} \times H_{cir}}\right) \times 100 \qquad (2)$$

$H_{ex}, H_{fuel}, H_{cir}$：燃焼器出口における排気ガスの未燃焼成分から算出される低位発熱量，燃焼器に供給される燃料の低位発熱量，および燃焼器に供給される排気循環ガスの低位発熱量［MJ/kg］

$M_{ex}, M_{fuel}, M_{cir}$：燃焼器出口における排気ガスの質量流量，燃焼器に供給される燃料の質量流量，および燃焼器に供給される排気循環ガスの質量流量［kg/s］

図11に，燃焼器出口ガス温度T_{ex}を1573Kとする場合の，燃焼器排気ガス特性および燃焼効率について，ガス化燃料またはLNGの主成分CH_4の空気による燃焼と比較して示す。排気循環によるガス化燃料・O_2量論比燃焼

Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

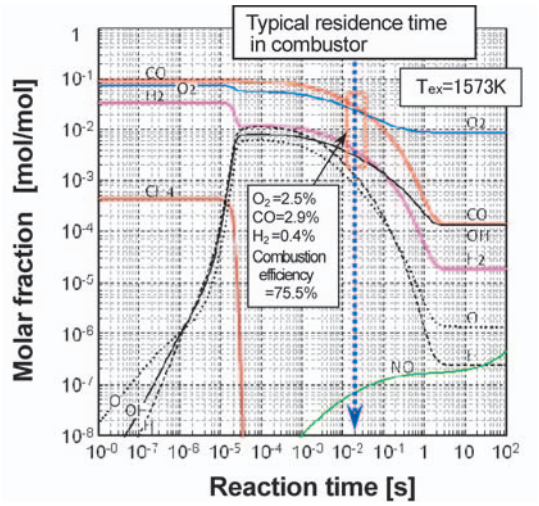


Fig. 9 Chemical species behavior over time in gasified fuel/O_2 stoichiometric combustion with exhaust recirculation

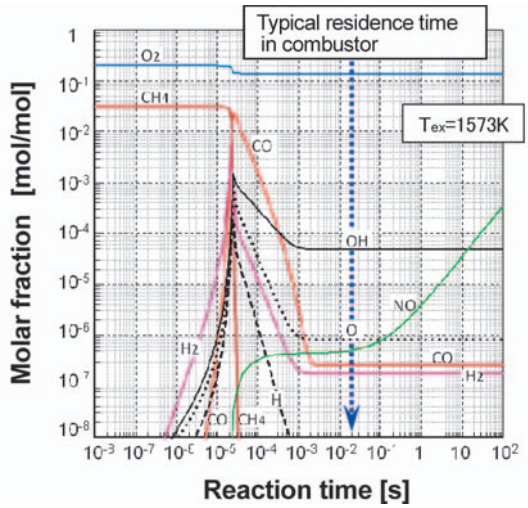


Fig.10 Chemical species behavior over time in conventional CH_4/air combustion

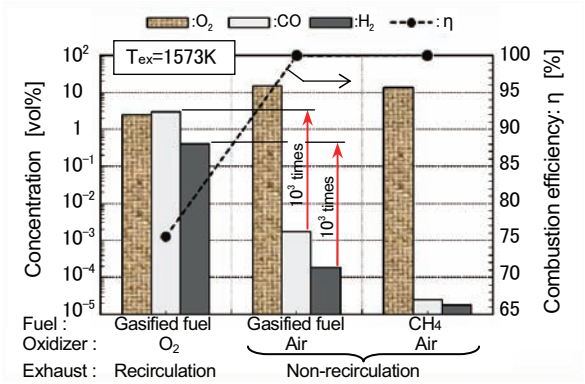


Fig.11 Comparison of emission characteristics with conventional air-fired combustions

ガスタービンでは，多量の空気で酸素過剰燃焼させる従来のガスタービンとは異なり，燃焼効率は大幅に低下する。このため，燃焼性を向上させ，未燃焼COを低減する安定燃焼技術の開発が重要となる。

4.2 H_2, LNG燃料の排気循環・O_2量論比燃焼との比較

図12にH_2燃料（H_2成分=100%）による排気循環・O_2量論比燃焼時の主な化学種の経時変化を示す。解析では，燃焼温度，圧力条件等を表１に示す定格条件と同等とし，総括当量比を１として水蒸気の希釈量により燃焼温度調整している。H_2の酸化反応の開始時間はガス化燃料のO_2量論比燃焼（図９）またはCH_4の空気燃焼（図10）とほぼ同等で，その後のH_2成分の酸化反応速度はガス化燃料の場合より速くなることがわかる。

図13は，H_2，LNGの主成分CH_4およびガス化燃料のO_2量論比燃焼時の燃焼器出口における排気ガス特性について比較して示す。希釈剤は各燃料のO_2量論比燃焼時の平衡条件に相当する組成に設定し，燃焼温度T_{ex}が1573Kとなるように希釈剤の供給量の割合（希釈比率）を調整している。ここでは，比較のために総括当量比を１に設定している。なお，参考としてWE-NETプロジェクト[31]を対象とした解析も実施し，公開されている試験データ値と同レベルにあることを確認している。

燃焼温度T_{ex}を1573Kとする場合，水蒸気希釈による

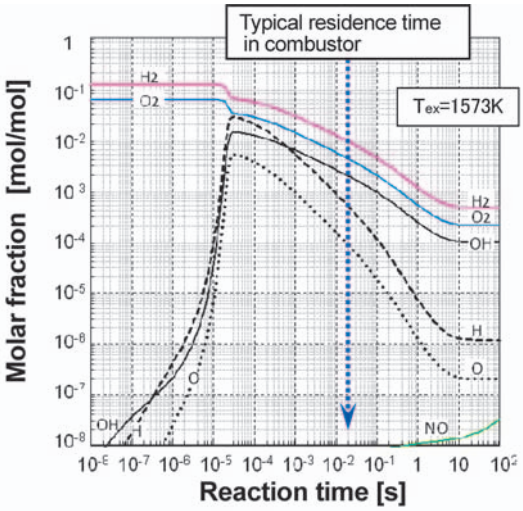


Fig.12 Chemical species behavior over time in H_2/O_2 combustion with steam recirculation

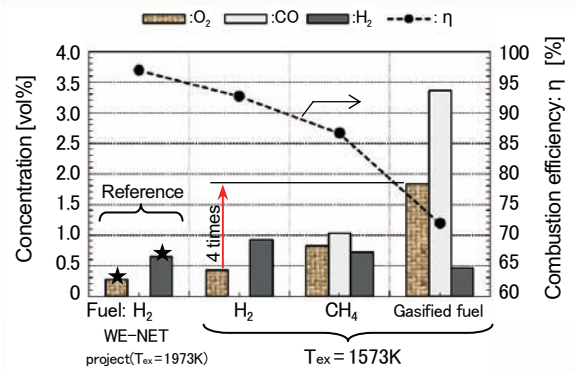


Fig.13 Stoichiometric combustion characteristics of each fuel; overall equivalence ratio is 1, markers（★）are test data under conditions where combustion pressure is set at 2.5MPa and recirculated steam temperature is 623K [31].

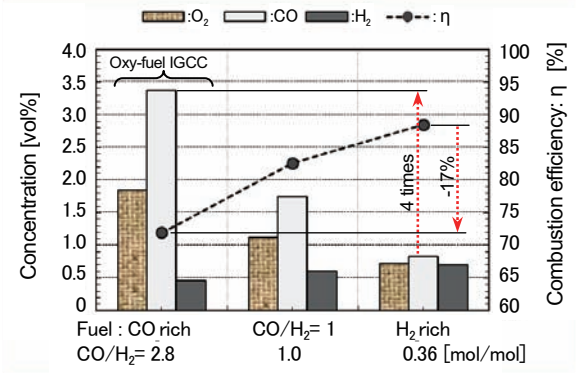
Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

H_2・O_2量論比燃焼では，燃焼排気ガス中の残留O_2およびH_2濃度は反応時間約20msで１％以下にまで低減し，燃焼効率は93%に達する。同様に，CH_4燃料によるクローズドサイクルガスタービンの場合，燃焼ガス中に残留するO_2成分およびCO成分濃度は増加するものの，いずれも１％程度であり，燃焼効率は87%を維持される。一方で，ガス化燃料・O_2量論比燃焼時の残留O_2成分および未燃焼CO成分は，H_2およびCH_4燃料の場合の数倍にのぼり，燃焼効率は72%にまで低下する。すなわち，CO成分の酸化反応は，H_2やCH_4燃料の場合よりも排気ガス循環により強く抑制される。このため，CO_2回収型高効率IGCC発電システムで採用する排気循環によるガス化燃料・O_2量論比燃焼セミクローズドサイクルガスタービンでは，わが国のWE-NETプロジェクトやPre-combustion IGCCシステムで検討されているガスタービン燃焼器技術よりも，一層の燃焼性向上を図る燃焼制御技術が必要になる。

4.3　燃焼排気ガス特性に及ぼす燃料中のCO/H_2モル比の影響

燃焼器に供給するガス化燃料の組成は原料種やガス化条件，さらには水蒸気シフト反応の採用などによって変化する。

図14は，定格温度条件（T_{ex}=1573K）において，ガス化燃料の可燃性成分の組成を変化させた場合の燃焼排気ガス特性について比較して示す。燃料中のCO/H_2成分モル比については，表１に示す定格条件（CO/H_2モル比=2.78）を基準として，CO/H_2モル比を１（≡45vol%/45vol%）とした場合，COとH_2成分を入れ替えて，H_2濃度を高くした場合（CO/H_2モル比=0.36（≡23.8vol%/66.2vol%））について比較している。希釈剤は各燃料のO_2量論比燃焼時の平衡条件に相当する組成に設定し，燃焼温度T_{ex}を1573Kとなるように希釈比率を僅かに調整している。ここでは，比較のために総括当量比を１に設定している。



Notes: In the case of changing the fuel CO/H_2 molar ratio from 2.8 of base condition to 0.36, the amounts of CO and H_2 constituent replace each other under the condition where the total amount of CO and H_2 is set constant of 90vol%.

Fig.14 Effects of CO/H_2 molar ratio in fuel on stoichiometric combustion characteristics; overall equivalence ratio is 1.

CO/H_2モル比の低下に伴い未燃焼成分の総量は減少し，燃焼効率は上昇する傾向を示す。すなわち，CO/H_2モル比を2.8とする基準のCOリッチなガス化燃料では，H_2濃度の高いガス化燃料の場合（CO/H_2モル比=0.36）に比較して，燃焼排気ガス中に残留する未燃焼CO成分の濃度は４倍に上り，一方で，H_2については大幅な減少を示さず，燃焼効率は約17ポイント低下している。これは，図９に示す様に，連鎖創始反応によりH_2はOHおよびH基に分解するものの，COについては式(3)で示される酸化反応が希釈剤中のCO_2により抑制されることによる。Pre-combustion IGCCのガスタービン燃焼に比べて，一層の燃焼促進を図る燃焼技術の開発が重要になる。

$$CO + OH\ (O{+}M,\ O_2,\ HO_2) \Leftrightarrow CO_2 + H\ (M,\ O,\ OH) \quad (3)$$

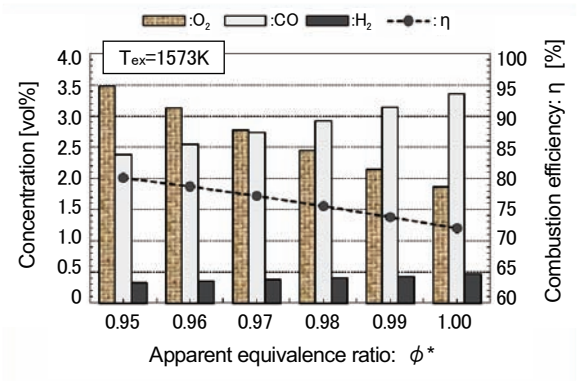
H_2はCOよりも酸化反応が速く，結果として，排気循環によるO_2量論比燃焼ではCO成分濃度がガス化燃料の総括的な酸化反応速度に大きく影響することになる。すなわち，燃料中CO/H_2モル比が上昇すると，COの酸化反応速度とO_2の消費速度は低下する。また，COリッチ燃料またはH_2リッチ燃料の排気循環によるO_2量論比燃焼では，燃焼過程で逆反応速度が大きくなり，希釈剤中のCO_2またはH_2O成分に起因してCOおよびH_2をそれぞれ生成する。そのため，排気循環によるガス化燃料・O_2量論比燃焼はCO成分とH_2成分の酸化過程に関する逆反応が正反応に拮抗するほどの反応速度を有することに特徴づけられ，当該システム用クローズドサイクルガスタービンの燃焼促進には主に希釈剤中CO_2およびH_2O成分の逆反応を抑制する燃焼制御技術が重要となる。

4.4　燃焼排気ガス特性に及ぼす当量比の影響

図15は，定格温度条件（T_{ex}=1573K）での，燃焼排気ガス中に残留するO_2成分，未燃焼CO，H_2成分の濃度，および燃焼効率に及ぼす見かけの当量比ϕ*の影響を示したものである。解析において，見かけの当量比ϕ*を変化させる場合，当量比の相違に応じて理論断熱火炎温度を1573Kで一定となるように希釈比率D/Fを僅かに調整している。横軸の見かけの当量比ϕ*は，希釈剤中の酸素成分を考慮せず，ガス化燃料と酸化剤から算出される当量比を示している。

見かけの当量比ϕ*の低下に伴い，燃焼ガス中に残留するO_2成分濃度は増加し，未燃焼COおよびH_2成分の濃度は減少して燃焼効率は上昇する。すなわち，見かけの当量比ϕ*が0.98から0.95に低下すると，燃焼効率は約５ポイント上昇する。ただし，この場合，希釈剤中の酸素成分まで考慮した総括当量比は0.89から0.75まで低下しており，燃焼排気ガス中の残留O_2濃度は高くなり，ガス化炉への石炭搬送用ガスとしての燃焼排気ガスの使用を制限するとともに，酸素製造装置の所用動力は増加す

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.



ϕ^*: apparent equivalence ratio calculated from fuel and oxidizer without O_2 in recirculated exhaust

Fig.15 Effects of apparent equivalence ratio（ϕ^*）on combustion emission characteristics

る。また，石炭搬送用排気ガス中のO_2濃度を低減するために，ガス化ガスまたは炭化水素等の可燃性成分を使用して，酸化反応によりO_2濃度を低減することが考えられる。そのため，システム全体の熱効率と各構成機器の性能および許容値に及ぼす影響を総合的に考慮して当量比を決定する必要がある。

4.5 燃焼排気ガス特性に及ぼす酸化剤中O_2濃度の影響

ガスタービンに供給する酸化剤中のO_2濃度は酸素製造装置のO_2分離能によって異なる。図16は，定格温度条件（T_{ex}=1573K）の下で，残留O_2成分，未燃焼CO，H_2成分の濃度および燃焼効率について，酸化剤中O_2濃度条件ごとに比較して示す。酸化剤としては，表１に示す定格条件時の酸化剤成分を基準として，O_2成分濃度を80vol%～100vol%の範囲で変化させ，残りをN_2成分としている。解析において，酸化剤中O_2濃度を変える場合，酸化剤成分に起因する比熱の相違に応じて理論断熱火炎温度を1573Kで一定となるように希釈比率D/Fを僅かに調整している。また，図13の場合と同様に，比較のために総括当量比を1に設定している。

酸化剤中O_2濃度の上昇に伴い燃焼排気ガス中に残留

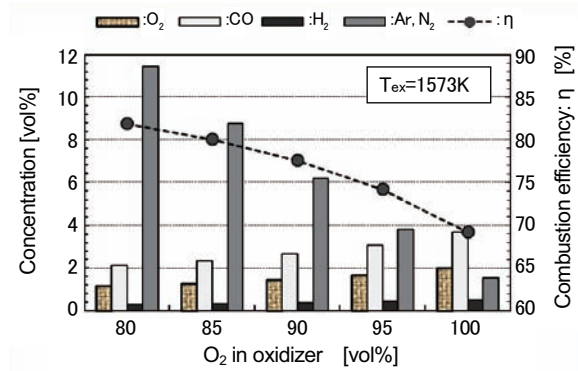


Fig.16 Effects of Oxygen concentration in oxidizer derived from air separation unit on combustion emission characteristics; overall equivalence ratio is 1.

するO_2濃度，未燃焼COおよびH_2濃度はいずれも増加し，燃焼効率は低下する傾向を示している。例えば，酸化剤中O_2濃度を80vol%から100vol%に上昇させた場合，燃焼効率はは約13%低下するものの，一方で，空気に起因するArまたはN_2の残留濃度は低下する。すなわち，O_2，ArおよびN_2等の非凝縮性ガス濃度の上昇はCO_2回収のための圧縮動力を増加させる[23]。そのため，全体システムまたは各構成機器の性能および許容値に及ぼす，排気ガス中に残留する非凝縮性ガス成分の影響については，総合的に検討する必要がある。

4.6 ガスタービン排気ガスの反応特性

図17は，ガスタービン燃焼器出口部から排気循環ガス用圧縮機入口部までの排気ガスの温度および圧力履歴についての一例を示す。ガスタービンでは，燃焼温度T_{ex}=1573K（1300℃），圧力2.2MPaの燃焼ガスが膨張タービンで動力回収され，ガス温度953K（680℃），圧力はほぼ大気圧（0.11MPa）に低下する。その後，排熱回収ボイラ（HRSG）にて熱回収され，圧縮機入口では約373K（100℃）にまで低下する。解析では，ガスタービン排気ガス中の各成分は均一に混合しており，同一反応時間において混合気内に温度分布および圧力分布は無く，また，外部からの酸化剤，希釈剤の混入は無いものとする。

以上の解析条件の下に，ガスタービンに供給された燃料，酸化剤および希釈剤が燃焼器で燃焼し，その後，燃焼ガス中の主な化学種が膨張タービン，排熱回収ボイラを経て，圧縮機入口部までに変化する様子について解析を実施した結果を図18に示す。ガスタービン燃焼器出口部において燃焼ガス中に高濃度残留する未燃焼COおよびH_2成分は，膨張タービンおよび排熱回収ボイラ部の温度条件の下で酸化反応が進行し，排気ガス中の残留O_2，未燃焼COおよびH_2成分の濃度は低下する。そして，排熱回収ボイラ部で排気ガス温度が673K（400℃）以下に低下すると，COとH_2成分の酸化反応はほぼ停止する。

以上の結果を基に，排気ガス特性について，ガスタービン各部位ごとに比較して図19に示す。ガスタービン燃焼器での燃焼時間を約20msとする場合，燃焼器出口における排気ガスはO_2成分を2.3vol%，COおよびH_2成分をそれぞれ3.0vol%，0.4vol%含むものの，膨張タービンを経て，排熱回収ボイラ入口相当時間（400ms）では，O_2濃度は0.9vol%とほぼ平衡濃度にまで低下し，COおよびH_2濃度はいずれも0.01vol%と大幅に低下する。この時，燃焼効率は99.8%に達する。この際，未燃焼成分の酸化への寄与は膨張タービンおよび煙道でほぼ同程度になると予想される。さらに排熱回収ボイラ内で673K（400℃）以下に低下するまでの反応時間を４～10sと仮定すると，燃焼ガス中の未燃焼COおよびH_2濃度はいずれも10ppm以下にまで低下し，燃焼効率はほぼ100%を示す。

以上のように，本研究で対象とする，排気循環による

Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

ガス化燃料・O_2量論比燃焼ガスタービンでは，燃焼ガス中に残留する未燃焼成分は膨張タービンを通過後も緩慢な酸化反応を継続して十分な燃焼効率を得ることが可能であり，ここでの反応熱はシステムの適正化により排熱回収ボイラ部で回収することができる。しかしながら，ガスタービン燃焼器での燃焼効率の低下は，膨張タービンによる動力回収を低減するため，CO_2回収型高効率IGCCの実現には熱効率を向上するガスタービン燃焼技術の開発が重要である。今後は，燃焼効率を向上する最適な燃焼反応条件について検討するとともに，燃料，酸化剤および排気循環ガスの供給方法の工夫等により反応促進を図るガスタービン燃焼技術について検討していく。

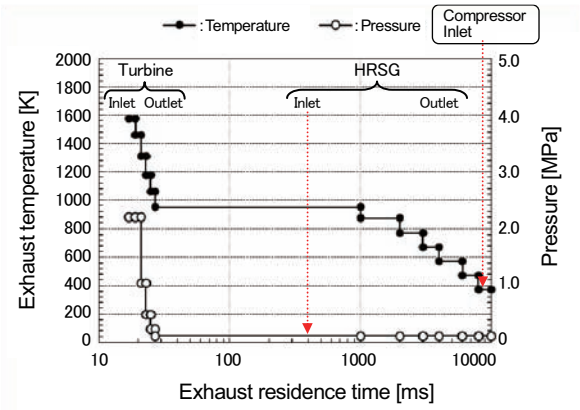


Fig.17 Typical stream history of exhaust temperature and pressure from gas turbine inlet to compressor inlet of recirculating exhaust

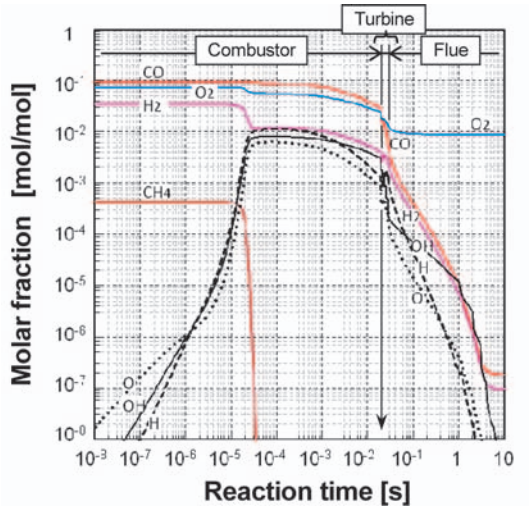


Fig.18 Chemical species behavior of combustion and exhaust gas over time in semiclosed cycle gas turbine

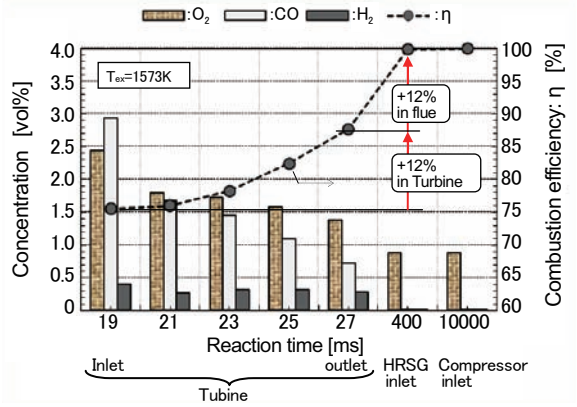


Fig.19 History of combustion emissions from gas turbine inlet to compressor inlet of recirculating exhaust

4.7　サーマルNOx排気特性に及ぼす排気循環の影響

図20は，NOx生成濃度が排気循環の回数によりどのような挙動を示すか，反応解析により調べた結果の一例を示している。解析では，表１に示す燃料，酸化剤および希釈剤の組成を対象に，循環する希釈剤の成分のうちNOx成分以外はすべて一定として，NOxの生成挙動に及ぼす排気循環の直接的な影響を把握した。燃焼反応温度は1623K（1350℃），反応圧力は3.0MPa，反応時間は31ms で一定とし，燃焼ガス中に生成したNOx成分は燃焼器出口で反応凍結するとした。

サーマルNOx生成濃度は排気ガスの循環により増加し，排気ガスを１回循環させた場合のサーマルNOx生成濃度の約６倍の値に収束する傾向を示す。ただし，表１に示す様にガスタービンへの供給ガス中に含まれるN_2成分濃度は小さいことから，サーマルNOx生成量は小さな値にとどまる。一方で，サーマルNOxの生成は火炎温度に強く依存し，燃焼器内の各流体の混合特性に影響される。ここでは，ガス化燃料・O_2量論比燃焼ガスタービンのサーマルNOxの基本的な生成特性を把握することを念頭に，均一燃焼を仮定した解析を実施した。今後は，燃焼器設計や反応プロセスの検討を念頭に，燃焼器に供給するガス化燃料，酸化剤および希釈剤の混合の不均一性や混合特性等の影響について検討を進める。

7．結　語

排気循環によるO_2量論比燃焼セミクローズドサイクルガスタービンを採用するCO_2回収型高効率IGCCは，高効率なゼロエミッション発電を実現する技術として期待されている。本稿では，IGCCシステム全体の概要について記す共に，クローズドサイクルガスタービン燃焼

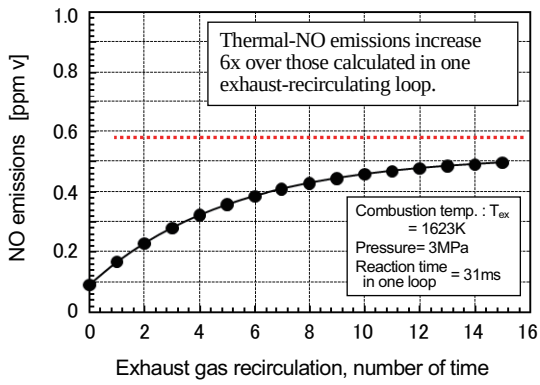


Fig.20 Influence of exhaust recirculation on thermal-NO emissions

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

器の燃焼排気特性と排気ガス中未燃焼成分の煙道での反応特性について数値解析により検討した結果を紹介した。当該システムでは高効率化のための技術開発や回収したCO_2の貯留の問題などの多くの課題が存在する。わが国は資源を持たない技術立国として，独自の高効率化・環境対策技術を開発することが重要であり，各業界および機関の力を合わせて取り組むことを切に願っている。

参考文献

(1) BP Statistical Review, "Historical Statistical Data from 1965-2010" and "BP Statistical Review of World Energy 2011", http://www.bp.com/statisticalreview/(accessed on 13 March 2011).

(2) for example, The Energy Data and Modelling Center, The Energy Conservation Center, Japan, 2010, "2010 EDMC Handbook of Energy & Economic Statistics in Japan", ISBN:978-4-87973-365-8.

(3) The Federation of Electric Power Companies of Japan, FEPC INFOBASE, http://www.fepc.or.jp/library/data/infobase/pdf/infobase2011.pdf/(accessed on 13 March 2011).

(4) 白井，ほか9名，CO_2回収型高効率石炭ガス化複合発電システムの提案とその課題，電力中央研究所報告書 M07003 (2007).

(5) 中尾，ほか2名，CO_2回収型次世代IGCCシステムの開発—高効率化に向けたシステム構成及び運転条件に関する検討—，電力中央研究所報告書 M08006 (2009).

(6) 長谷川，ほか2名，CO_2回収型高効率IGCCシステムにおけるガスタービン燃焼特性（第2報），電力中央研究所報告書 M10005 (2011).

(7) Hasegawa,T., "Combustion Performance in a Semi-Closed Cycle Gas Turbine for IGCC Fired with CO-Rich Syngas and Oxy-Recirculated Exhaust Streams," J. Eng. Gas Turbines and Power vol.134, Issue 9, (2012).

(8) 長谷川，CO_2回収型高効率IGCCクローズドサイクルガスタービンの開発－排気循環·O_2量論比燃焼ガスタービンの排気特性－（技術紹介），第40回日本ガスタービン学会定期講演会，(2012).（掲載予定）

(9) 小林·布川，CO_2回収型高効率IGCCシステム用乾式脱硫プロセスの最適化－炭素析出条件の把握と析出抑制策の検討－，電力中央研究所報告書 M09015 (2009).

(10) Umemoto, S., et al., 2010, "Modeling of coal char gasification in coexistence of CO_2 and H_2O," Proceedings of The 27th Annual International Pittsburgh Coal Conference, The University of Pittsburgh, Hilton Istanbul, Istanbul, TURKEY (13 October 2010).

(11) Kidoguchi, K., et al., 2011, "Development of oxy-fuel IGCC system with CO_2 recirculation for CO_2 capture -experimental examination on effect of gasification reaction promotion by CO_2 enriched using bench scale gasifier facility-," Proceedings of the ASME Power Conference 2011 and the International Conference on Power Engineering 2011 (14 July 2011).

(12) Engineering Advancement Association of Japan, WE-NET Home Page/WE-NET report, http://www.enaa.or.jp/WE-NET/report/report_j.html (accessed on 13 September 2011).

(13) Ciferno,J.P., et al., 2010, "DOE/NETL carbon dioxide capture and storage RD&D roadmap (December 2010)," available online: http://www.netl.doe.gov/technologies/carbon_seq/refshelf/CCSRoadmap.pdf (accessed on 13 September 2011).

(14) Ciferno,J.P., et al., 2011, "DOE/NETL Advanced CO_2 Capture R&D Program: Technology Update, May 2011 Edition," available online: http://www.netl.doe.gov/technologies/coalpower/ewr/pubs/CO_2CaptureTechUpdate051711.pdf (accessed on 1 November 2011).

(15) (See for example), Buhre,B.J.P., Elliott, L.K., Gupta,R.P., and Wall,T.F., "Oxy-fuel combustion technology for coal-fired power generation", Prog. Energy Combust. Sci., 31, (2005), pp.283-307.

(16) Yamada,T., 2006, "Current status of the Callide a oxy-fuel demonstration project," Proc. Clean Coal Day in Japan 2006, Japan Coal Energy Center, Sept. 2006, Tokyo, (2006), pp.L-7-9-L-7-20.

(17) Bancalari,Ed., Chan,P., and Diakunchak,I.S., 2007, "Advanced hydrogen gas turbine development program," Proceedings of the ASME Turbo Expo 2007: Power for Land, Sea and Air GT2007, ASME paper GT2007-27869, Montreal, Canada, May 14-17, 2007.

(18) Todd,D.M. and Battista,R.A., 2000, "Demonstrated applicability of hydrogen fuel for gas turbines," Proceedings of the IChemE Gasification 4 Conference, Noordwijk, the Netherlands, April 11-13, 2000.

(19) Nunokawa,M., Kobayashi,M., Shirai,H., 2008, "Halide compound removal from hot coal-derived gas with reusable sodium-based sorbent," Powder Technology, 180 (1-2), pp.216-221.

(20) Akiho,H., Kobayashi,M., Nunokawa,M., Tochihara,Y., Yamaguchi,T., Ito,S., 2008, "Development of Dry Gas Cleaning System for Multiple Impurities -Proposal of low-cost mercury removal process using the reusable absorbent - ," Central Research Institute of Electric Power Industry, Report No.M07017. (in Japanese)

(21) Ozawa,Y. and Tochihara,Y., 2010, "Study of Ammonia Decomposition in Coal Derived Gas - Decomposition Characteristics over Supported Ni Catalyst -," Central Research Institute of Electric Power Industry, Report No.M09002. (in Japanese)

(22) Nunokawa,M., Kobayashi,M., Nakao,Y., Akiho,H., Ito,S., 2010, "Development of gas cleaning system for highly-efficient IGCC -Proposal for scale-up scheme of optimum gas cleaning system based on generating efficiency analysis-," Central Research Institute of Electric Power Industry, Report No.M09016. (in Japanese)

(23) Li,H., Yan,J., and Anheden,M., "Impurity inpacts on the

Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

purification process on Oxy-fuel comubtion based on CO_2 capture and storage system," Appl. Energy 2009; 86, (2009), pp.202-213.

(24) Miller,J.A. and Bowman,C.T., "Mechanism and modeling of nitrogen chemistry in combustion," Prog. Energy Combust. Sci., vol.15 (1989), pp.287-338.

(25) Hasegawa,T., et al., "Study of ammonia removal from coal-gasified Fuel," Combust. Flame 114 (1998), pp.246-258.

(26) C.Y. Liu, G. Chen, N. Sipocz, M. Assadi, X.S. Bai, "Characteristics of oxy-fuel combustion in gas turbines," Applied Energy, Volume 89, Issue 1 (2012), pp.387-394.

(27) Chase, Jr.M.W.; Davies, C.A.; Downey, Jr.J.R.; Frurip, D.J.; McDonald, R.A.; Syverud, A.N., "JANAF Thermodynamical Tables, 3rd Edition.," J. Phys. Chem. Reference Data, Vol.14 (1985).

(28) Kee,R.J., Rupley,F.M., and Miller,J.A., 1990, "The CHEMKIN Thermodynamic Data Base," Sandia Report, SAND 87-8215B.

(29) Hindmarsh,A.C., 1974, "GEAR: Ordinary differential equation system solver," Lawrence Livermore Laboratory, Univ. California, Report No. UCID-30001, Rev.3.

(30) Pratt, D.T.; Bowman, B.R.; Crowe, C.T. "Prediction of Nitric Oxide Formation in Turbojet Engines by PSR Analysis, " AIAA paper 1971, No.71-713.

(31) Engineering Advancement Association of Japan, WE-NET Home Page/WE-NET report, http://www.enaa.or.jp/WE-NET/report/1998/japanese/gif/823.htm#823 (accessed on 12 March 2012).

Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

技術論文

超臨界CO_2クローズドサイクルガスタービンの開発
― ベンチスケール装置による運転試験結果 ―

Development of Super-critical CO_2 Closed Cycle Gas Turbine
― Results of Power Generation Experiments in Bench Scale Test Facility ―

蓮池　宏[*1]　HASUIKE Hiroshi
小川紀一郎[*1]　OGAWA Kiichiro
宇多村元昭[*2]　UTAMURA Motoaki
山本　敬[*3]　YAMAMOTO Takashi
福島　敏彦[*3]　FUKUSHIMA Toshihiko

ABSTRACT

Power generation with supercritical CO_2 closed cycle gas turbine was successfully demonstrated using a bench scale test facility. 60 minutes self-sustaining operation including 40 minutes of continuous power generation was realized. Compressor work reduction depending on decrease in compressibility coefficient at the compressor inlet was experimentally confirmed. The typical continuous power output was 200W, which was much smaller than the designed specification of the test plant. The main reason of small generated power was estimated to be low adiabatic efficiency of the turbo machineries, windage around the generator rotor, leakage flow from the compressor outlet to the turbine inlet through the inside of generator.

Key words：Gas Turbine, Carbon Dioxide, Supercritical, Power Generation, Demonstration

1．はじめに

超臨界CO_2クローズドサイクルガスタービンは，CO_2を臨界点近傍の超臨界状態下で圧縮し，実ガス効果により圧縮動力を低減するとともに，理想気体に近い数百℃の領域で膨張させ大きなタービン仕事を取り出すことにより高効率を得ることを特長としている。

このシステムは，主として原子力分野への適用を目指して，米国，日本，フランス，韓国等で開発が行われており，圧縮機等のコンポーネント開発の結果が報告されている[(1),(2)]。

筆者らは，既報[(3)]で報告したとおり，発電システムの要素をすべて含む小規模実験装置を製作し，原理検証を行うことを計画してきた。2010年秋より運転試験を開始し，発電出力を継続的に取り出すことに成功した。本報告では，それらの運転試験の結果を述べる。

原稿受付　2011年５月27日
校閲完了　2012年２月17日
＊１　財団法人エネルギー総合工学研究所
〒105-0003　港区西新橋１-14-２
＊２　東京工業大学
＊３　熱技術開発㈱

2．試験装置の概要

2.1　全体構成

Fig. 1に試験装置（CO_2ループ）の構成を示す。圧縮機，タービン，発電機は一体であり，その他再生熱交換器，電気加熱器，水冷式冷却器からなる。設計温度圧力および設計流量はTable 1のとおりである。

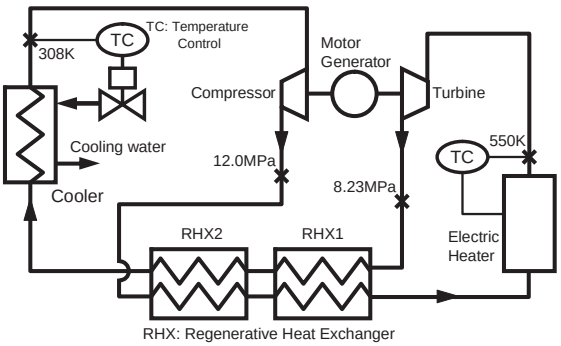


Fig. 1　Flow Diagram of CO_2 Loop for Brayton Cycle

2.2　ガスタービン発電機

圧縮機とタービンの定格動作条件はTable 1のとおりであり，定格出力を10kWに設定してパラメータ検討を

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

Table 1　Design Specifications of CO_2 Loop

	Pressure (MPa)	Temp. (℃)	Mass Flow (kg/s)
Compressor inlet	8.23	35	1.2
Compressor outlet	12	67	1.2
Turbine inlet	11.8	277	1.2

行い，定格回転数を100,000rpmに設定した[3]。Fig. 2 にガスタービン発電機の断面図を示す。圧縮機形式は遠心型，タービン形式は半径流型である。中央部がモータ兼用発電機であり，発電機ロータの両端に圧縮機とタービンが直結されている。発電機は，永久磁石型同期機である。軸受はCO_2によるガス軸受を採用している。

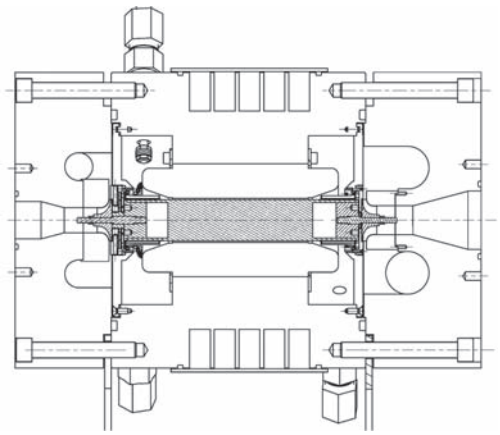


Fig. 2　Cross Section of Gas Turbine Power Generator

2.3　再生熱交換器

再生熱交換器も今回の一連の研究において開発したものであり，主要仕様はTable 2 のとおりである。技術の詳細は別報[4]において述べる。

2.4　冷却器と加熱器

冷却器は水冷式で市販のプレート型熱交換器を用いた。加熱器は，タンタル線ヒータを埋め込んだ円筒形のセラミックヒータ（合計最大電気入力160kW）をCO_2流通管の外側に設置する方式とした。

Table 2　Specification of Regenerative Heat Exchangers

	Item	Specification
RHX1	Temperature effectiveness	0.98
	Heat exchange capacity	153kW×2 units
RHX2	Temperature effectiveness	0.98
	Heat exchange capacity	26kW×1 unit

3．運転結果

3.1　運転結果の概要

1 回の運転は，CO_2封入，暖機運転，本試験，停止，冷却運転の手順となる。この一連の運転を延べ24回実施し，4 回の運転において自立（加熱器への熱入力のみで回転を維持する状態）を達成し，そのうち 3 回において発電出力を得た。更にそのうち 1 回では，負荷を接続した状態で約40分，無負荷と負荷接続を含む自立状態では約60分の継続運転を行った。

Fig. 3 は自立に至るまでのデータ計測値である。自立前は発電機をモータとして機能させ，外部電源に接続されたインバータで駆動する。タービン入口温度の上昇とともにインバータ消費電力が減少し，最終的にゼロとなる様子が示されている。

Fig. 4 は発電継続時の計測値である。完全に安定はしていないが，約180 ～ 210Wの発電出力が得られている。この間の回転数は約64,000 ～ 70,000rpm，タービン入口温度は約260 ～ 270℃であった。

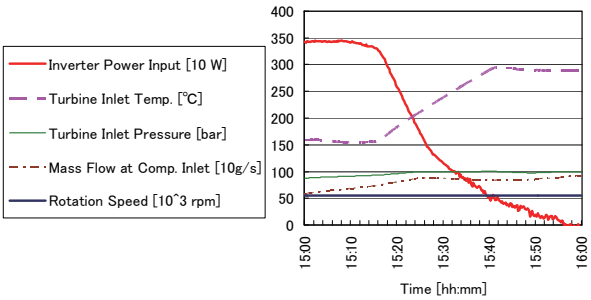


Fig. 3　Trend of Operation Data in Inverter Input Reduction

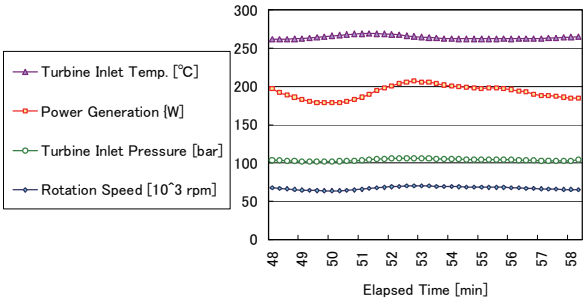


Fig. 4　Trend of Operation Data in Stable Generation

3.2　自立時のサイクル状態

自立後，回転数が最大となった時点および継続して発電出力を維持していた時点のサイクル状態をFig. 5 に示す。

最大回転数は，モータ駆動用インバータを切り離し軽負荷のまま回転数が上昇するのを観察した際に得られたもので，最高で87,804rpmまで回転数が上昇した。圧縮機の圧力比は1.66が得られ，これは100,000rpmでの設計値1.46を超えている。

発電継続時の回転数は70,104rpm，タービン入口温度は263.9℃であった。圧縮機の圧力比は1.45であり，この回転数においてほぼ100,000rpmでの設計値1.46と同等の性能が得られている。

圧縮機出口からタービン入口に至るまでの比エンタルピー増加のうち，65 ～ 70%が再生熱交換器から供給さ

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

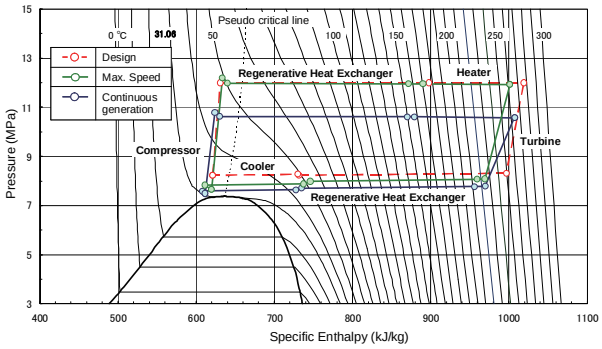


Fig. 5　Morrier Diagram of Plant Operations at Maximum Speed and Stable Power Generation

れている。タービン出口ガスが持つ高温のエネルギーが有効利用されており，これが本サイクルの特徴の一つである。

設計値と比較して，両ケースとも圧縮機入口条件が臨界点に近くなっている。臨界点の近傍は圧縮係数が小さく，圧縮動力が低減される。一方，臨界点に近づくほど擬似臨界線付近での物性値の変化が急峻になり，圧縮機内で擬似臨界線を通過するようなことが起こった場合には，圧縮機負荷が大きく変動し，圧縮機や軸受にダメージを与える恐れがある。このため，設計段階では臨界点から少し離れたポイントを圧縮機入口条件に設定した。しかしながら運転試験の過程で，臨界点にかなり近い条件であっても問題なく圧縮機を運転することが可能であることが確かめられた（3.4項参照）。このため，ここに示した運転では圧縮機入口条件を臨界点に近いところに設定した。

もう１点，設計と異なるのが，両ケースともタービン出入口の比エンタルピー差が設計より大きいことである。条件によっては断熱熱落差よりも大きな比エンタルピー差が計測されており，断熱膨張以外の温度低下要因の存在が示唆される。この主原因は，圧縮機出口から発電機内部を通過してタービン入口に入るリークが存在しているためと推定される。このリーク流の温度はタービン入口計測点の温度より遙かに低く，実質的なタービン入口温度は計測値より低くなっていたと考えられる。リーク流に関する考察は3.6項に後述する。

3.3　圧縮機とタービンの断熱効率

運転中の圧縮機とタービンの断熱効率 η_c と η_t を(1)式および(2)式により評価し，流量係数 ϕ （(3)式）に対してプロットした。

$$\eta_c = \frac{h_{c2}(p_{c2},s_{c1}) - h_{c1}(p_{c1},T_{c1})}{h_{c2}(p_{c2},T_{c2}) - h_{c1}(p_{c1},T_{c1})} \quad (1)$$

$$\eta_t = \frac{h_{t1}(p_{t1},T_{t1}) - h_{t2}(p_{t2},T_{t2})}{h_{t1}(p_{t1},T_{t1}) - h_{t2}(p_{t2},s_{t1})} \quad (2)$$

$$\phi = m / \rho A U \quad (3)$$

ここで　h：比エンタルピー　s：比エントロピー

p：圧力　　T：温度

m：質量流量　　ρ：密度

A：翼車外周の流路面積

U：翼車周速

添え字　c：圧縮機　　t：タービン

1：入口　　2：出口

タービン入口温度は3.2項で指摘したリーク流の影響を受けるため，リーク流の流量と温度を用いて補正した。発電継続時の測定データからの算出結果をFig. 6 とFig. 7 に示す。

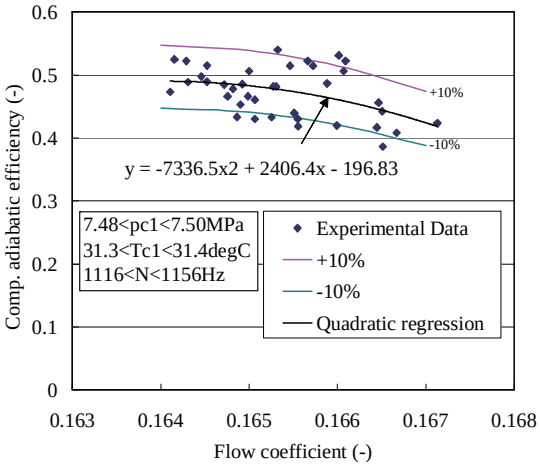


Fig. 6　Adiabatic Efficiency of Compressor

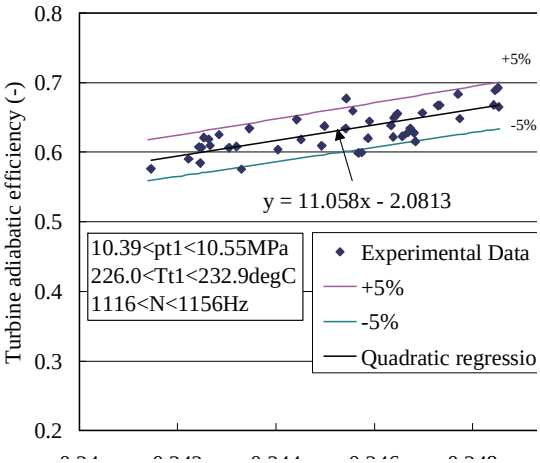


Fig. 7　Adiabatic Efficiency of Turbine

運転範囲では，流量係数の影響は比較的少ない。設計値（圧縮機0.60，タービン0.65）に対して0.05 ～ 0.15低い。この理由としては，小型機であるため加工精度等の問題から性能が低下しやすいことに加えて，運転中の損傷を避けるためチップクリアランスを広めに調整したことが影響していると考えられる。

3.4　圧縮機入口条件と圧縮動力の低下

本システムにおける高効率化実現の重要要因であるCO_2の圧縮係数と圧縮動力の関係を検証するため，圧縮機入口における圧縮係数が圧縮動力に及ぼす影響を実験

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

的に評価した。

今回の試験装置では圧縮動力を直接計測することができないので，圧縮機入口と出口の温度・圧力の計測値から出入口でのCO_2の比エンタルピー差を計算した。これは，単位流量当たりの圧縮機仕事に相当する。結果をFig. 8 に示す。

圧縮機入口での圧縮係数は設計条件では0.26であるが，0.21の条件においても安定的に運転することができた。今回試験した温度・圧力の領域では，圧縮機の出入口の比エンタルピーの差そのものが小さく，僅かな計測値の差が大きなばらつきとなって現れる。例えば，同一圧力での温度0.1℃の差は比エンタルピーにおいて約 1 kJ/kg の差となる。このため，Fig. 8 はややばらつきの大きい結果となっているが，全体として圧縮係数と圧縮機出入口の比エンタルピー差とは比例する傾向が見て取れる。

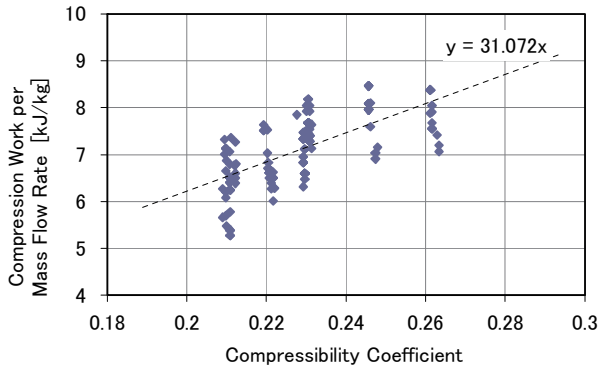


Fig. 8　Relationship between Compressibility Coefficient and Compression Work

3.5　ガスタービンにおけるワークバランス

計測された温度，圧力，電力消費・発電出力のデータを用いてガスタービン発電機における動力のバランスを分析した。自立前（モータ駆動時）と発電時を対象とし，回転軸に対するパワーの供給と消費に分けて評価した。

自立前の場合，回転軸に対するパワー供給は，インバータからの電気入力とタービンが行う仕事の合計になる。電気入力は直接計測される。発電時の場合は，電気入力がなくなり，発電出力がパワー消費側に追加される。タービン仕事は，タービン出入口の温度・圧力，CO_2流量の計測値から算出した。タービン入口温度は，3.3項の分析と同様に，リーク流の流量と温度を用いて補正した。

供給されたパワーの消費先として，圧縮機の仕事と発電機ロータの風損を見積もった。圧縮機仕事は圧縮機出入口の温度・圧力とCO_2流量から算出し，風損は回転数，CO_2密度，CO_2粘度，回転体形状等をパラメータとする経験式を用いて算出した。

自立前と発電時におけるバランス評価結果をFig. 9 に示す。パワーの供給量と消費量は概ねバランスしているが，若干の相違がある。両ケースともパワー供給量の方

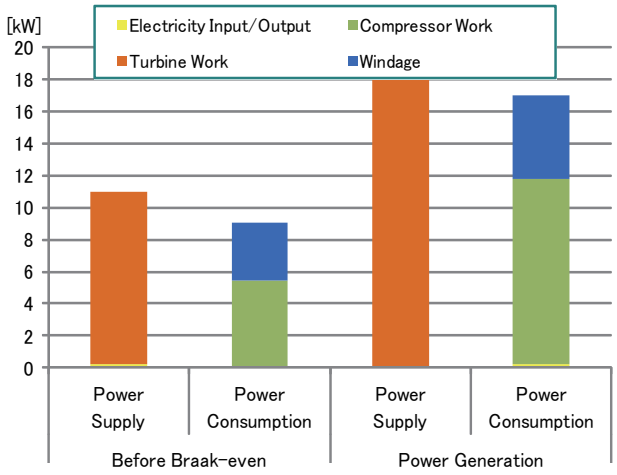


Fig. 9　Work Balance in Gas Turbine Generator

が大きい。この差は，放熱ロス（表面からの熱放射や冷却水への放熱）と解釈することができる。放熱ロスの値は直接計測することができないが，ガスタービン発電機の表面温度と表面積から推計した概算値と概ね一致する。

タービンは11 ～ 18kWの仕事を行っていると評価される。圧縮機仕事はタービン仕事の 5 ～ 7 割程度であるが，圧縮機仕事の1/2程度のパワーが風損として消費されていると推定される。

風損によって消費されたパワーは，発電機内部で熱に変換されるので，発電機内を通過するリーク流の温度上昇として観測できる。リーク流の温度上昇には，風損以外の機械ロスや発電機ロスによる発熱，ならびにタービンから発電機への伝熱が含まれていると考えられる。ただし，Fig. 9 の運転では電気入力・出力が相対的に小さいので，発電機ロスは更に小さい。

風損の計算結果と，測定データから求めたリーク加熱量とを比較した結果をFig.10に示す。両者はほぼ連動しており，風損の計算方法が妥当であること，そしてリーク流の温度上昇の大部分が風損によるものであることを示唆している。

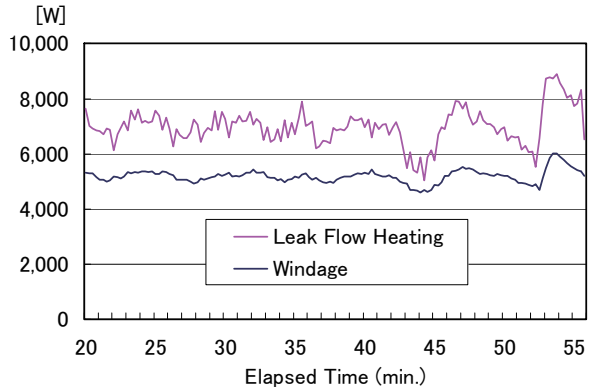


Fig.10　Trend of Windage and Leakage Flow Heating

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

3.6　リーク

本研究に用いたガスタービンはガス軸受を採用しており，構造上，圧縮機からタービンに向けて発電機の内部を通過するリーク流が生じることが避けられない。Fig.11に示すように，圧縮機を出たCO_2の大部分は再生熱交換器と加熱器を通ってタービン入口に達する（これを「主流」と呼ぶ）が，一部が発電機内部を通過してタービン入口で主流と合流する。リーク流は，発電機内部で多少加熱されるだけでタービン入口に流入するので，タービン入口温度を低下させてタービンの仕事を減少させ，結果的にサイクル性能を悪化させる。

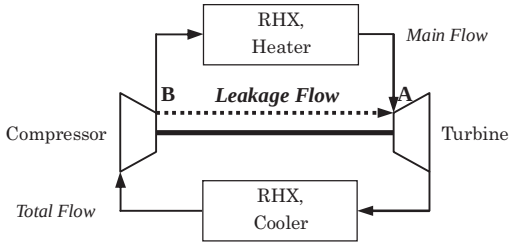


Fig.11　Leakage Flow Pass

リーク流量を評価するため，主流と全体流の重量流量を計測したが，両者の比（つまりリーク流量の比率）は運転条件で大きく変動した。そこで，さらに以下の分析を行った。

主流とリーク流の流路の中で，最大の隘路（流路断面積が最小）となっている箇所が，その流れの体積流量を規定していると想定した。流路断面積最小の箇所は，主流はタービンノズル出口，リーク流はスラスト軸受のガス導入部と考えられるが，その箇所の温度・圧力は測定していないため，最も近い計測点，具体的には主流はタービン入口（Fig.11のA），リーク流は圧縮機出口（Fig.11のB）の測定値で代用した。

Fig.12は，リーク削減対策を実施する前のNo.20の運転において，主流に対するリーク流量の比を調べたものである。リーク流量は，重量比でみるとタービン入口温度と連動して大きく変化しているが，体積比はほぼ一定である。この傾向は他の運転においても同様であったが，体積比の値のレベルは，軸受等の部品を変更することにより変化した。これより，上記の箇所での体積流量比を用いてリーク流の大小を評価することができることが分かった。

サイクル性能の観点からはリーク流が少ないほど望ましく，そのためには回転部と静止部分との隙間の最小化が必要である。一方で，回転中の接触を避けるためには，ある程度の隙間を確保する必要がある。本開発では，リーク流の隘路部分を推定し，そこに対策を施すことにより軸受等の損傷を避けつつリーク流を減少させることができた。体積流量比で最大５％以上あったリーク流量を，最終的には1.9%まで減少させることができた(Fig.13)。先に示したFig. 3 ～ Fig.10のデータは，いずれもリーク削減対策を施した運転において取得されたものである。この場合でも，重量比としては，タービン入口温度を上げた状態で10%以上のリークが存在しており，実質的なタービン入口温度を下げる影響があったと考えられる。

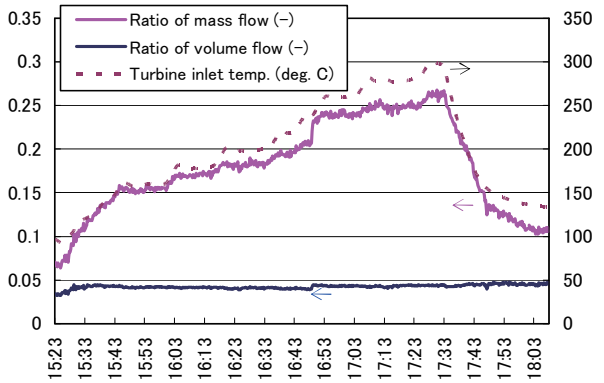


Fig.12　Trend of Leakage Flow Ratio
(No.20, without leakage reduction measures)

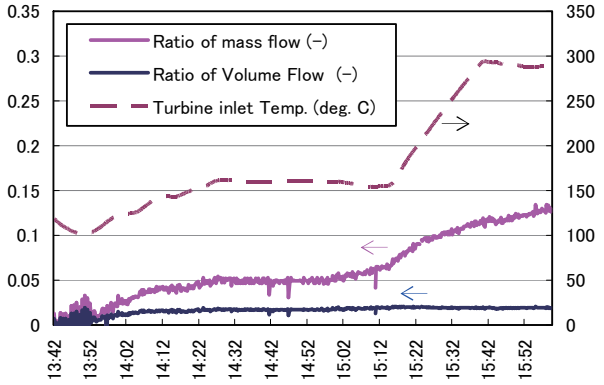


Fig.13　Trend of Leakage Flow Ratio
(No.24, with leakage reduction measures)

4．出力未達の原因

今回の試験装置の設計出力は10kWであったのに対し，継続的に得られた電力は約200Wであった。設計値に到達しなかった要因は，次の５項目に纏められる。

(1) ターボマシナリーの空力性能

3.3項に述べたように，今回使用した圧縮機とタービンは，損傷のリスクを抑えるためチップクリアランスを広めに取ったこと等により，空力性能が犠牲になっている。

(2)機械損失

3.5項に述べたように，発電機ロータ周りにかなり大きな風損が発生していると推定される。これは，発電機内部を通過するリーク流の温度上昇からも確認された。

(3)リーク流

リーク流の影響で実質的なタービン入口温度が低下した。ただし3.6項に述べたように，本開発の過程である

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

程度，改善を図ることができた。

⑷放熱損失

点検補修作業の効率化の観点から，ガスタービン周囲への断熱材設置を省略しており，放熱によってタービンの仕事が減少した可能性がある。

⑸加熱器の容量

加熱器の容量に余裕が無く，発電持続運転においてタービン入口温度を十分に上昇できなかった。

以上の要因のうち加熱器容量以外は，本質的に試験装置が小規模であるほど影響が大きく現れやすく，影響がさらに大きければ自立に至らなかったであろう。今回の開発では，これらの性能劣化要因を出来る限り抑えることによって自立と発電運転が実現できたとも言える。

5．スケールアップに向けての課題

本システムの実用化を目指すためには，スケールアップ機の運転実証が不可欠である。このスケールアップ試験に関する検討課題は次のように考えられる。

前項にまとめた10kW試験機における課題のうちターボマシナリーの空力性能に関しては，大容量化によって翼車寸法が大きくなるため，対策は講じやすくなる。本システムは，一般的な開放サイクルガスタービンに比較して圧力が高く，作動流体の体積流量当たりの出力は10倍以上である。今回の10kW機は，作動流体の体積流量の点では１kW以下の開放サイクルガスタービンに相当すると見ることができ，スケールアップによる空力性能の向上は十分に期待することができる。

風損に関しては，大容量化によってターボマシナリーの寸法が大きくなると共に回転数が小さくなるため，課題そのものが軽減される。一方，実用機では今回より高い圧縮機出口圧力を想定しており，ロータ周りのCO_2の密度が大となって風損の増大をもたらす。定格回転数の減少により風損が無視できるようになるのは出力数十MW以上と予想され，それ以下の容量での実用化を目指すためには，何らかの風損低減機構を開発する必要がある。

リークに関しては，出力増大によって主流の通過面積に対するリーク流の通過面積の比が小さくなると見込まれ，基本的には大容量化によって対策は容易になると考えられる。ただし本システムでは圧縮機出口においてCO_2が擬似液体の状態で密度が大であるため，リークの体積流量比は小さくても重量流量比は大きくなる。このため，リーク対策はより厳重に行う必要がある。なお，今回採用したような発電機の両側に圧縮機とタービンを配置する構造では，使用温度に制限のある永久磁石を用いた発電機ロータの冷却をリーク流が担っている。リークの削減においては，この点にも留意する必要がある。

以上の考察は，基本的に今回採用した回転機械の構造（Fig２）を前提としているが，大容量化により翼車や発電機ロータの寸法・重量が増大すれば，発電機の方式や構造，軸受，シール方式などが変わる可能性がある。その場合，特にリークと風損については発生条件自体が変わり，改めて低減対策を検討することも必要になると予想される。逆に，リークや風損の低減可能性が，発電機や軸受方式の選択における重要な基準になると思われる。

回転機械以外の機器については，再生熱交換器の大容量化が必要である。マイクロチャンネル熱交換器の使用を前提とすれば，プレートの大面積化と積層枚数の増加を検討し，限界がある場合は複数機を並列に使用することとなる。

加熱器に関しては，実用機では燃料燃焼式または排熱利用式が想定されるので，ある段階からそうした方式を採用することが必要となる。

6．まとめ

超臨界CO_2クローズドガスタービンの発電システムの要素をすべて含む小規模実験装置を製作して原理検証試験を行い，以下の結果を得た。

⑴　負荷を接続した状態で約40分間，無負荷と負荷接続を含む自立状態では約60分間の継続運転を達成した。

⑵　本システムにおける高効率化実現の重要要因であるCO_2の圧縮係数と圧縮動力の関係について，圧縮機入口におけるCO_2の圧縮係数の低下とともに圧縮仕事が低減することを実運転において確認した。また，圧縮機入口における圧縮係数0.21前後の条件で安定して運転することができた。

⑶　試験装置は発電出力10kWとして計画したが，達成できた連続出力は約200Wにとどまった。この主な原因は，圧縮機とタービンの断熱効率が設計値よりも0.05～0.15低かったこと，機械損失（特に風損）が大きいこと，圧縮機からタービンに向けて発電機内を通過するリーク流が存在したこと，と考えられる。

本システムの実用化に不可欠であるスケールアップ機の開発においては，上記の課題への対応が基本となるが，リークと機械損失の低減については，発電機や軸受方式の選択も含めて検討することが必要である。

謝辞

本研究の成果は，（独）新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託業務の結果，得られたものです。

参考文献

⑴　東京工業大学，プレスリリース，2010年２月19日.

⑵　Sandia National Laboratories, Operation and Analysis of Supercritical CO_2 Brayton Cycle, September 2010.

⑶　宇多村元昭ほか，超臨界CO_2クローズドサイクルガスタービンの開発 －第二報 超臨界CO_2ガスタービンの原理検証実験計画－，第37回日本ガスタービン学会定期講演会，2009年10月.

⑷　宇多村元昭ほか，超臨界CO_2クローズドサイクルガスタービンの開発 －第三報 再生熱交換器の開発－，第39回日本ガスタービン学会定期講演会，2011年7月.

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

技術論文

軸流圧縮機遷音速段における３次元翼形状の多目的最適化

A Multi-Objective Optimization of Three-Dimensional Blade Shape for an Axial Compressor Rotor in Transonic Stage

明連　千尋[*1]　MYOREN Chihiro
高橋　康雄[*1]　TAKAHASHI Yasuo
加藤　泰弘[*1]　KATO Yasuhiro

ABSTRACT

An aerodynamic design system to optimize a 3D blade shape of an axial compressor transonic stage is developed in this paper. Three aerofoil profiles and a radial stacking line of the blade are optimized using 3D-CFD. In order to estimate an off-design performance of the blade, shock positions and pressure differences at leading edges are introduced as objective functions. Applying this system to a design of an axial compressor transonic rotor, the efficiency of design point increased and the operation range is expanded compared with the original blade.

Key words：圧縮機，３次元翼，多目的最適化，遷音速，衝撃波損失，スイープ

１．緒言

近年の軸流圧縮機設計では，性能向上とコスト低減の両立を目的として，翼の高負荷・高効率化が求められている。その中でも圧縮機上流側の遷音速段では高負荷化によって衝撃波損失が増加するため，非定型翼形や３次元翼等による衝撃波損失の低減が試みられている[(1),(2)]。最近では３次元翼の一種であるスイープ翼に対し，スタッキングライン形状をS字形状とすることで衝撃波損失の低減を達成した研究も報告されている[(3),(4)]。

また近年の最適化技術の発展に伴い，CFDによる３次元翼設計の最適化に関する研究が行われている[(5),(6)]。これらの研究の多くには，複数の設計項目の同時最適化を目的として，多目的最適化が用いられている。ただし最適化する設計項目は設計点の空力性能と強度（または振動）であることが多く，off-design性能に注目している例は少ない。この理由として，off-design性能を検討するには設計点以外の作動点の性能計算が必要であり，設計時間が大幅に増加するためだと考えられる。

そこで本研究では，設計点以外の作動点の性能計算を行わずにoff-design性能を評価する，３次元翼の多目的最適設計システムを構築した。このシステムを圧縮機初段動翼設計に適用し，得られた最適解の空力性能を，従来手法で設計した翼列と比較することによって考察した。

原稿受付　2011年３月28日
校閲完了　2012年８月３日
＊１　㈱日立製作所　日立研究所
〒312-0034　茨城県ひたちなか市堀口832-２

２．３次元翼設計システム

2.1　システム概要

構築した最適設計システムのワークフローを図１に示す。本システムでは翼形状定義と妥当性確認，流れ解析

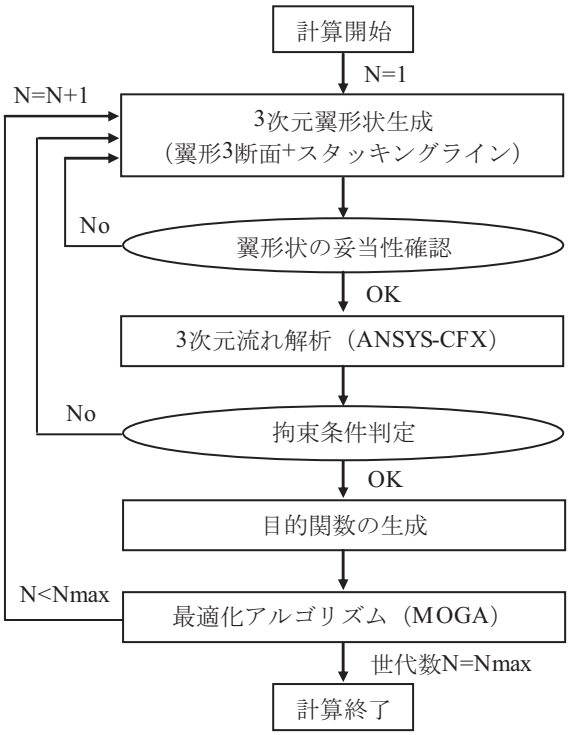


図１　設計システムのワークフロー

Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

と拘束条件判定，目的関数生成，最適化アルゴリズムによる評価の順に処理される。一連の処理は最適化支援ツールmodeFRONTIER 4.2.0[7]上で行われ，世代数Nが予め入力した世代数Nmaxに到達した時点で計算が終了する。各処理の詳細については次節以降で説明する。

2.2　翼形状定義方法

本システムでは3次元翼の形状を，翼形とスタッキングラインの組合せによって定義した。定義方法の概要を図2に示す。翼形の定義位置はhub，mean，tipの3箇所で，他の位置の翼形は3断面からの補間によって算出している。スタッキングラインは4つの制御点とhub，tip断面の傾きによって定義された，4階のノンユニフォームB-スプライン曲線である。制御点の移動方向を翼形のスタッガ角の方向とし，衝撃波損失低減に効果があるとされるスイープ翼を生成可能にしている。

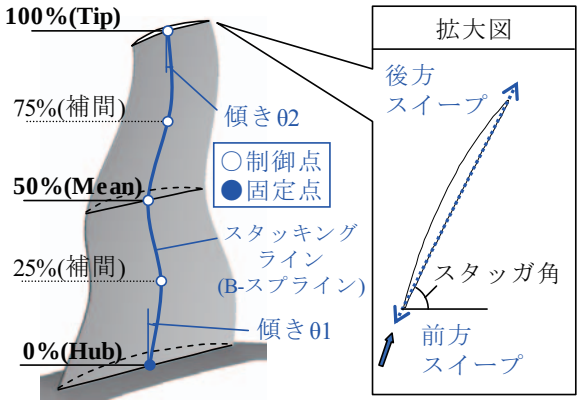


図2　翼形定義方法の概要

翼形設計パラメータの詳細を図3に示す。翼形には背側と腹側の翼面をそれぞれ2つの円弧によって構成した多重円弧翼（Multi Circular Arc, MCA）[8]が用いられている。設計パラメータは2つの円弧の接続点（そり接続点），円弧同士の中心角の比率（超音速キャンバ比），最大厚み位置，および入射角の合計4つであり，これらを変化させることで翼厚みやキャンバ分布，およびスタッガ角の異なる翼形が生成される。設計パラメータの組合せによっては，翼面にくびれが生じて翼厚みの極端に小さい翼形が生成されるため，本システムでは事前に翼形の成立する範囲を算出して評価することで，不要な計算ケースの増加を抑制している。

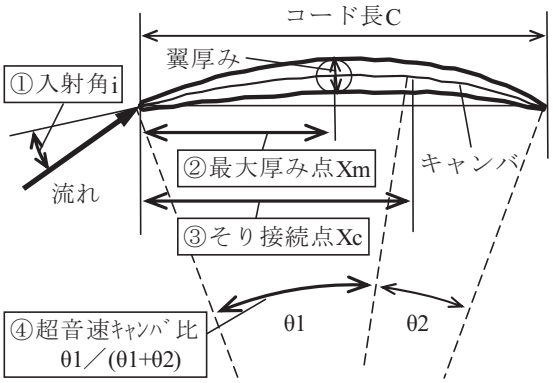


図3　翼形設計パラメータの詳細

2.3　最適化手法と目的関数

本システムでは設計点1点の性能計算結果を用い，設計点性能とoff-design性能を同時に最適化する。このため，設計点性能からoff-design性能を評価する指標を定義した。説明として，図4に遷音速翼列の流量－効率特性線図の例を，図5に遷音速翼列の失速点における流れ場の概念図を示す。

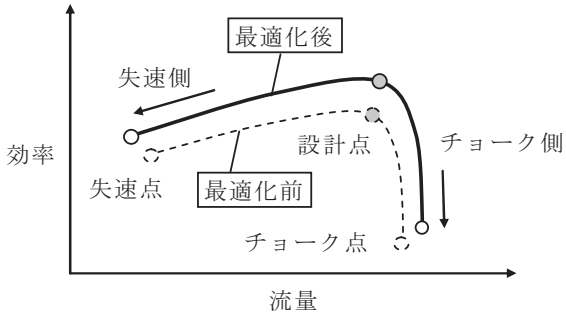


図4　遷音速翼列の流量－効率特性線図の例

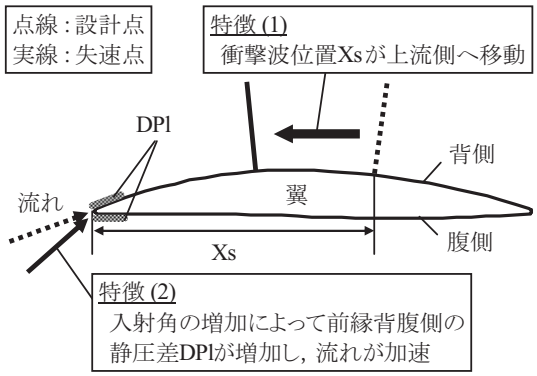


図5　失速点での流れ場の概念図

図4において，本システムでは全流量範囲で最適化前の翼列の特性を上回るよう，最適化が実行される。このうち，流量の大きいチョーク側の効率は衝撃波の強さに依存するため，設計点での衝撃波損失の低減によって効率向上が可能となる。よって本システムでは，チョーク側に関するoff-design性能の評価指標は設けていない。

一方流量の小さい失速側には，off-design性能の評価指標が必要となる。図5のように設計点から失速点近傍に作動点が移る場合，入射角の増加によって翼前縁近傍の背側と腹側の静圧差が増加し，同時に翼背側の衝撃波が上流側へ移動する。この2つのいずれかが原因で翼背側の流れが剥離し，翼列は失速に至る。よって本システムではoff-design性能の評価指標として，設計点の翼背

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

側衝撃波位置*Xs*と翼前縁部背腹側の静圧差*DPl*の２つを用いることとした。具体的には，*Xs*は前縁から翼背側で発生する衝撃波位置までの距離をコード長で無次元化した値として，*DPl*は翼背側および腹側の前縁から３％コードまでの平均静圧の差を前縁の静圧で無次元化した値として定義した。ただし*Xs*と*DPl*のoff-design性能に対する影響はスパン方向位置によって異なるため，式(1)(2)のようにスパン方向位置による重み付き平均としている。

$$Xs = \sum_{k=1}^{5} \alpha_k Xs_k \cdots (1), \quad DPl = \sum_{k=1}^{5} \beta_k DPl_k \cdots (2)$$

式(1)(2)におけるkは各スパン方向位置の番号，αとβは各評価指標に対する重みを表しており，それぞれ表１の通りとした。強い衝撃波が発生するtip側では*Xs*の影響が，強い衝撃波が発生しないhub側では*DPl*の影響が支配的になるように重み付けされている。

表１　各評価指標に対する重みαとβ

k	スパン位置	値	
		α_k	β_k
1	5%（内径側）	0	0.2
2	25%	0.1	0.8
3	50%（平均径）	0.2	0
4	75%	0.3	0
5	95%（外径側）	0.4	0

なお本システムで解析対象とした遷音速翼列（以下，基準翼）は翼背側で垂直衝撃波のみが生じる流れ場であったため，Xsにおける衝撃波位置を翼背側の10%コードから90%コードの間で翼面静圧増加が最大となる箇所として定義した。このため翼面に複数の衝撃波が生じる場合は上記定義が妥当でない可能性がある。ただし上記定義による衝撃波位置は，翼列性能に対して支配的な強い衝撃波の位置を表すため，複数の衝撃波が生じる場合に上記定義を適用しても大きな問題はないと考えられる。

以上のように定義した*Xs*と*DPl*，および以下の式(3)で定義される設計点効率ηdが本システムにおける最適化の目的関数となる。式(3)におけるPt，Tt，γはそれぞれ全圧，全温，比熱比を表しており，添字の１は翼列入口を，２は翼列出口を示している。３つの目的関数を同時に最適化するため，アルゴリズムには解探索能力に優れる多目的遺伝的アルゴリズム（Multi-Objective Genetic Algorithm，MOGA）を用いている。

$$\eta_d = \frac{\left(Pt_2/Pt_1\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1}{Tt_2/Tt_1 - 1} \cdots (3)$$

2.4　流れ解析手法と拘束条件

流れ解析手法と境界条件の一覧を表２に示す。使用ソルバーは商用ソフトのANSYS-CFX10.0であり，乱流モデルには標準型k-εモデルを用いた。流入境界では絶対系の全圧，全温，流入角のスパン方向分布を固定し，流出境界では境界面における静圧の面積平均値を指定している。この際の静圧のスパン方向分布については，半径平衡を満たすよう算出される。周方向には周期境界条件を課し，翼列を模擬している。

表２　流れ解析手法と境界条件

項目	内容
解析ツール	ANSYS CFX 10.0
流入条件	絶対系の全圧，全温，流入角固定（スパン方向分布固定）
流出条件	境界面の静圧の面積平均値固定
乱流モデル	標準型 k-εモデル

最適化に課した拘束条件の一覧を表３に示す。拘束条件は設計点性能に関する条件とoff-design性能に関する条件とに大別される。前者は流量，圧力比および平均転向角であり，これによって設計点性能の低下と速度三角形の大幅な変化を抑制している。後者は2.3節で定義した*Xs*と*DPl*であり，これによって失速側の性能低下を抑制している。

表３　最適化の拘束条件

大項目	項目	記号	内容
設計点性能	流量	G	基準翼以上
	圧力比	π	基準翼以上
	平均転向角	$\Delta\beta$	基準翼との誤差1°未満
off-design性能	前縁静圧差	DPl	基準翼以下
	衝撃波位置	Xs	基準翼より下流側

3．システムを用いた遷音速動翼設計

3.1　最適化対象翼列と計算格子

最適化対象である基準翼の翼列仕様を表４に示す。基準翼は産業用ガスタービンの初段動翼を模擬して設計された翼であり，mean断面より外周側（tip側）で流入マッハ数が１以上となる。この場合翼列に衝撃波が発生すると考えられるので，最適化による損失低減効果が期待される。なお実際には翼端隙間が存在するが，本システムでは考慮していない。

図６に計算格子の例を示す。計算時間短縮のため，最適化計算には粗メッシュ（約15万点）を，得られた最適解に対するoff-design性能評価には密メッシュ（約30万点）を用いた。粗メッシュの使用によって異なる最適化結果が得られることがないよう，密メッシュの設計点計算結果と大きな差が生じない範囲で粗メッシュの格子点

表４　基準翼の翼列仕様

項目	hub	mean	tip
圧力比	1.41	1.32	1.37
流入マッハ数	0.82	1.02	1.21
ソリディティ	1.59	1.30	1.14

Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

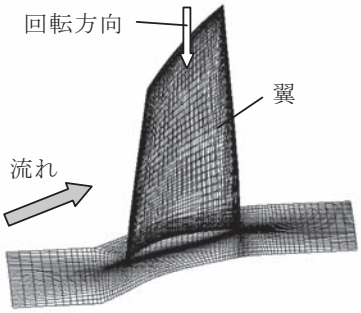


図６　計算格子の例（基準翼，密メッシュ）

数を選定した。

なお相対流入マッハ数が１以上となる箇所ではunique incidence則によって流入角が一意に決まるため[9]，2.4節で示した境界条件（流入角固定）は厳密には正しくない。そこで図６のメッシュに比べて境界位置を無限遠方に近づけ，境界条件の影響を緩和したメッシュ（流入境界位置をmean断面コード長の約５倍延長）を作成し，境界条件が流入角に与える影響を検討した。検討の結果，図６のメッシュの流入境界位置における流入角の差は最大でも約0.3°と小さかったため，少なくとも本翼列仕様に対しては2.4節で示した境界条件を用いても大きな予測誤差は発生しないと考えられる。

3.2　最適化計算結果

計算結果として，図７および図８に翼前縁部背腹側の静圧差*DPl*－翼背側衝撃波位置*Xs*線図および翼背側衝撃波位置*Xs*－設計点効率η d線図を示す。ただし設計点効率η dは基準翼の効率で無次元化して表示している。図７と図８において，それぞれ左上，右上にある解ほど性能の良い解であり，本最適化によって複数の最適解（パレート解）が得られる様子が確認できる。なお最適化計算には4CPUのPCクラスタ（CPU：Dual Core 2.2GHz，メモリ：8GB）を使用した。１ケース当たりの計算時間は15～20分で，本最適化結果を得るのに有した時間は約２週間であった。

図７，図８において，*Xs*と*DPl*が基準翼に比べてバランス良く増加してoff-design性能の向上が見込める，図

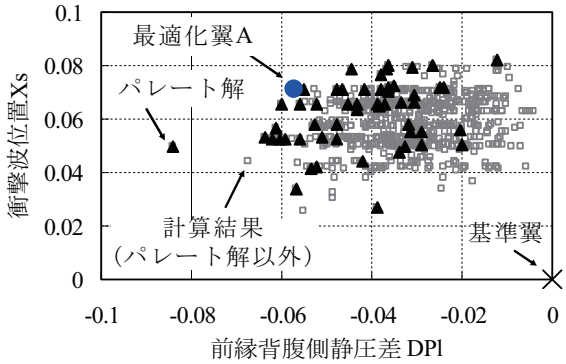


図７　*Xs*－*DPl* 線図

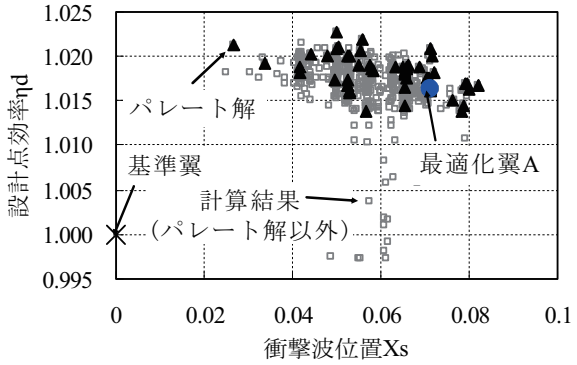


図８　*Xs*－η d 線図

中の●で示された点を最適化結果（以下，最適化翼A）として選定し，性能評価を実施した。本最適化手法によるoff-design性能の向上効果を確認するため，*Xs*と*DPl*を目的関数に含めず，η dのみを最適化した翼（以下，最適化翼B）についても同様の性能評価を実施している。

結果として表５に空力性能のまとめを，図９に流量－圧力比特性を，図10に流量－効率特性を示す。計算結果は全て基準翼の設計点解析結果を用いて無次元化している。図中の失速点は，設計点から出口圧力を徐々に増加させて計算した場合に計算が収束しなくなる直前の点として定義した。なお各翼の設計点性能は，基準翼と同一の出口静圧を課した際の性能として定義している。

表５，図９，図10から，最適化翼Bは設計点効率が大きく向上するものの，失速点圧力比が大きく減少し，off-design性能が悪化することが分かる。一方最適化翼Aは設計点での効率向上量が最適化翼Bより小さいものの，全流量範囲で基準翼より効率が向上している。これより，*Xs*と*DPl*を目的関数に含めた本最適化手法によって，設計点だけでなくoff-design性能も向上する解を生成可能なことが示された。ただし本最適化手法は流れ解析を設計点に対してのみ行っているため，得られたパレート解のoff-design性能が必ずしも基準翼より向上するとは限らない。そこで，最適化翼A同様に*Xs*と*DPl*が基準翼に比べてバランス良く増加するパレート解数ケースについても，同様のoff-design性能計算を実施した。その結果，失速点流量が基準翼より数%減少する解も存在したものの，選択した解の設計点，失速点，チョーク

表５　空力性能まとめ

作動点	項目	基準翼	最適化翼	
			A	B
設計点	流量	1.000	1.009	1.023
	圧力比	1.000	1.003	1.016
	効率	1.000	1.016	1.041
失速点	流量	0.904	0.898	1.002
	圧力比	1.149	1.171	1.058
	効率	0.986	0.988	1.035
チョーク点	流量	1.000	1.009	1.025
	圧力比	0.904	0.908	0.924
	効率	0.931	0.947	0.980

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

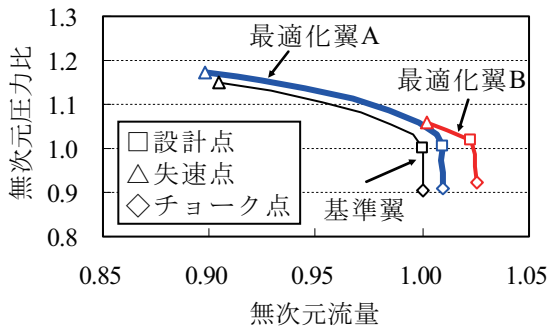


図9　流量－圧力比特性比較

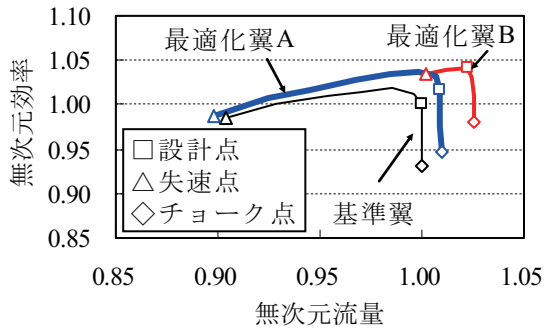


図10　流量－効率特性比較

点における圧力比と効率は基準翼より高くなっていた。このため，本最適化手法によって得られた解のうち，少なくとも*Xs*と*DPl*がバランス良く増加する解を選ぶことで，設計点だけでなくoff-design性能も向上する解を得られる可能性は高いと考えられる。

次に翼形状の比較として，図11～図13に翼弦長Cで無次元化した翼形の比較を，図14にスタッキングラインの比較を示す。図11～図14から，最適化翼Aの翼形は基準翼や最適化翼Bに比べてhub断面のスタッガ角が増加し，mean断面の前縁近傍翼厚みが基準翼より減少した翼形になる。スタッキングラインはtip側になるほど上流側に移動した，いわゆる前方スイープ形状である。一方最適化翼Bは，hub断面とmean断面のスタッガ角が基準翼より減少し，mean断面の前縁近傍翼厚みが基準翼より減少した翼形になる。スタッキングラインは75%断面で下流側に，tip断面で上流側に移動したS字形状となる。つまり，最適化翼AとBで翼形状の傾向，特にhub断面のスタッガ角とスタッキングラインの傾向に大きな差があることが分かる。

そこで図15と図16にmean断面と75%断面における翼面上マッハ数分布比較を，図17に設計点の翼背側マッハ数分布比較を示す。図15～図17において，最適化翼Bは基準翼に比べてピークマッハ数が大きく低減するものの，75%断面での衝撃波位置が大きく上流側に移動する。この衝撃波位置の移動とスタッガ角減少によって，図10のように失速側での性能が大きく低下すると考えられる。衝撃波位置が上流側に移動する原因は，最適化翼Bでは前縁近傍厚みの減少とS字形状のスタッキングラインによって流路断面積変化を緩和し，mean断面からtip断面にかけての衝撃波損失を最小化しているためだと推定される。

一方最適化翼Aは，ピークマッハ数の減少量は最適化翼Bより小さいが，衝撃波位置は基準翼より下流側に移動する。最適化翼Aのスタッキングラインは前方スイープ形状なので，mean断面～tip断面の翼重心位置が大きく上流側へ移動し，相対的な衝撃波位置が下流側に移動していると推定される。また最適化翼Bほど顕著でないものの翼重心位置が軸方向に変化し，前縁近傍厚みも基準翼より減少しているため，流路断面積変化が緩和されてピークマッハ数も低減すると予想される。以上のようにピークマッハ数の低減と衝撃波位置の下流側への移動を両立させることで，図10のように最適化翼Aは基準翼

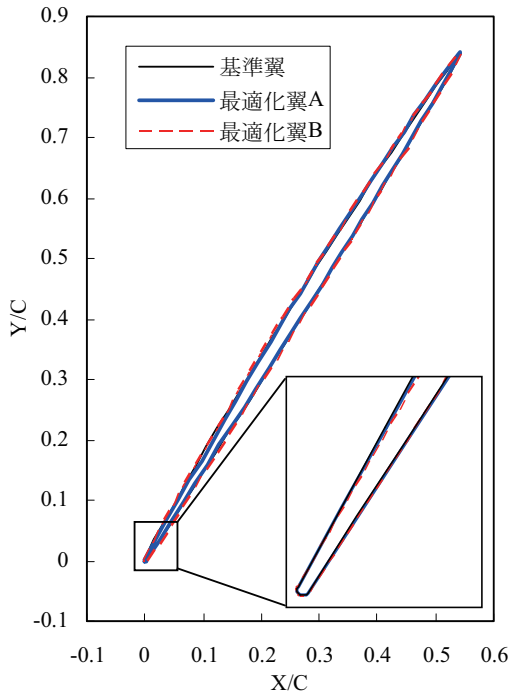


図11　翼形比較（tip 断面）

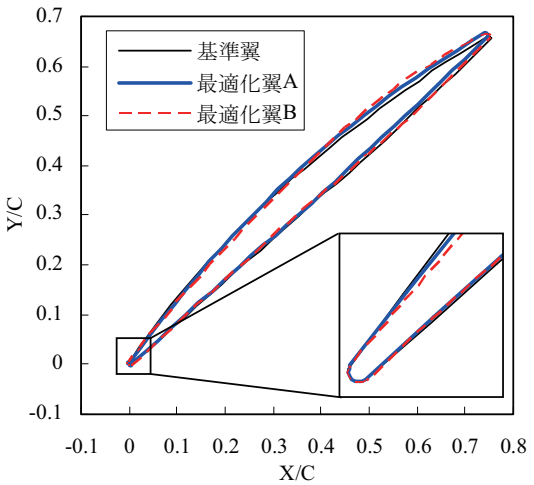


図12　翼形比較（mean 断面）

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

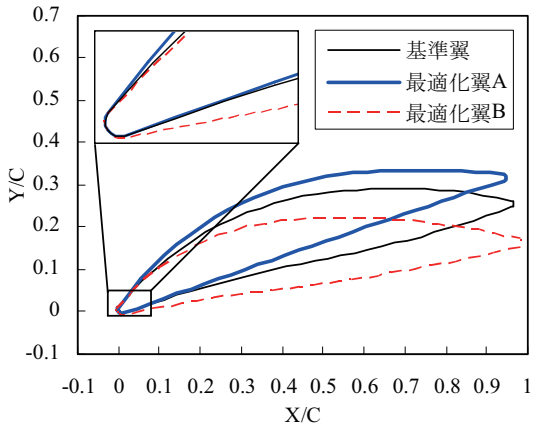


図13　翼形比較（hub 断面）

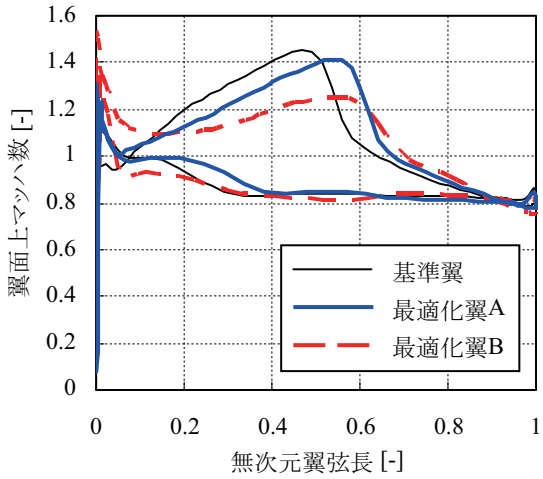


図15　翼面上マッハ数分布比較（mean 断面）

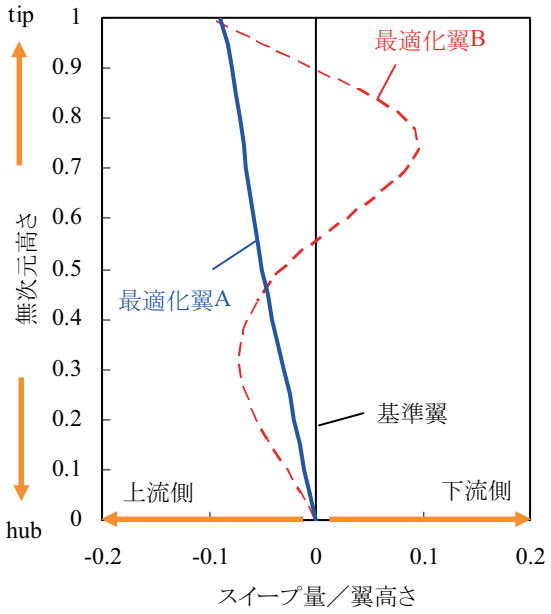


図14　スタッキングラインの比較

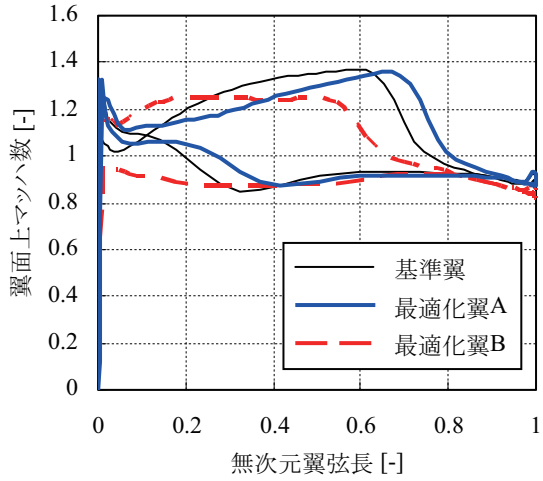


図16　翼面上マッハ数分布比較（75%断面）

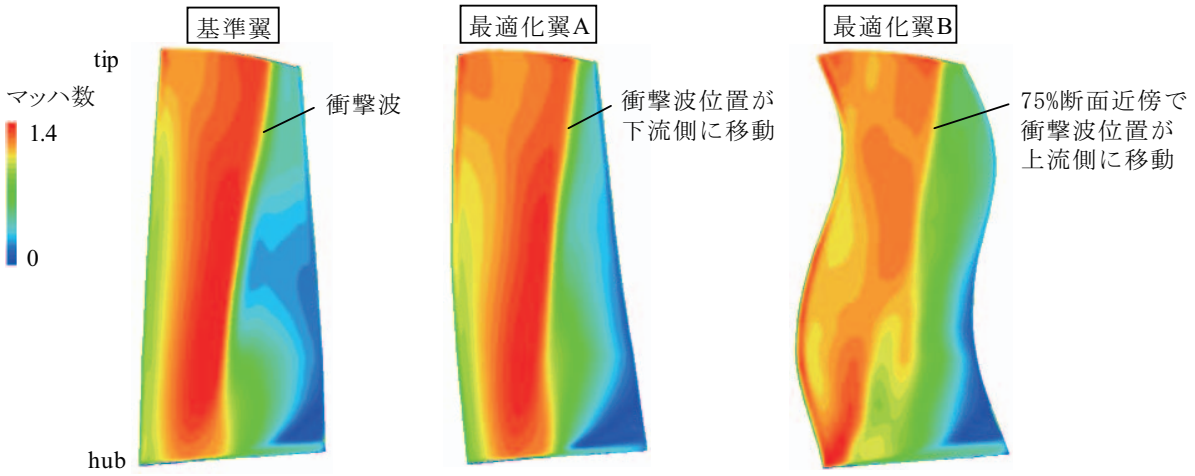


図17　翼背側マッハ数分布比較

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

に比べて全流量範囲で性能向上していると考えられる。

４．結言

設計点以外の作動点の性能計算を行わずにoff-design性能を評価する，３次元翼の多目的最適設計システムを構築した。本システムを圧縮機初段動翼設計に適用し，得られた最適解の１つ（最適化翼A）の空力性能を従来手法で設計した基準翼と比較したところ，全流量範囲で基準翼より性能向上することを確認した。さらに設計点効率のみを最適化した翼に比べ，最適化翼Aはoff-design性能が向上することも確認した。

参考文献

(1) J.D.Denton, L.Xu, : The Effects of Lean and Sweep on Transonic Fan Performance , ASME Turbo Expo 2002, GT 2002-30327, (2002-6)

(2) D.Bonaiuti, M.Zangeneh, Y.Li : Redesign of a Transonic Compressor Rotor by means of a Three-Dimensional Inverse Design Method : A Parametric Study, ASME Turbo Expo 2007, GT2007-27846, (2007-5)

(3) J.Iwatani, E.Ito, T.Owaki, N.Nagai, N.Seki : Development of Compressor Transonic Rotor for Next Generation Gas Turbine, IGTC2007 Tokyo TS-051, (2007-11)

(4) R.Zheng, J.Xiang, J.Sun : Blade Geometry Optimization for Axial Flow Compressor, ASME Turbo Expo 2010, GT2010-22229 (2010-6)

(5) H.D.Li, L.He, Y.S.Li, R.Wells : Blading Aerodynamics Design Optimization with Mechanical and Aeromechanical Constraints, ASME Turbo Expo 2006, GT2006-90503, (2006-6)

(6) Luo, C., Song, L., Li, J., and Feng, Z. : Multiobjective Optimization Approach to Multidiciplinary Design of a Three-Dimensional Transonic Compressor Blade, ASME Turbo Expo 2009, GT2009-59982, (2009-6)

(7) ESTECO社modeFRONTIER, http://www.cdaj.co.jp/product/020000modefrontier/index.html

(8) 生井武文，井上雅弘：ターボ　送風機と圧縮機，コロナ社（昭63), P398

(9) N.A.Cumpsty : Compressor aerodynamics , Longman Scientific & Technical (1989), P199

Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

2012年ASME国際ガスタービン会議
1．全　般

本阿弥　眞治*1
HONAMI Shinji

ASME Turbo Expo 2012は，６月11日㈪から15日㈮までコペンハーゲンで開催された。欧州で開催された会議では，規模が拡大し，論文セッション数が前回の243に比べ，262であった。会議中，受付で確認した論文数は1140編（プログラムでは1149編），参加者数は2700名を越え，2日目の朝には，講演論文を収録したCDの在庫が尽きていた（未配布の参加者へは７月中旬に郵送）。2009年12月にCOP15がコペンハーゲンで開催され，再生エネルギ利用が進んでいることを象徴するかのようにBella Center入口に3MWの風車が聳え立ち，ホテルと会議場が一体となった施設である（写真１）。

初日に基調講演が3件あり，Keynote Themeは”Reliable Gas Turbines Operation in Extreme Environments”であり，Pratt & WhitneyのAl Brockett氏, GE AviationのMark Pearson氏, Siemens のHenrik Stiesdal氏による講演があった。併せて，バージニア工科大学Walter F. O'Brien教授とAlstomスイスのJaan Hellat氏による受賞記念講演があった。

過去６年間の総論文数，分野別論文数比率を表１と図１に示す。総論文数はヨーロッパで開催された偶数年に多い。分野別では，過去６年間，ターボ，伝熱，構造，燃焼の順位に変化はなく，上位４分野で全体の65%に達する。ターボの比率は2008年の26.2%から低下している。但し，2011年に設置されたファン･ブロワを含めるとやや減少する程度である。他の分野の比率に大きな変化は見られない。

写真１　会場玄関前の風車とブレード

Panelセッションでの発表件数126（カッコ内昨年103）とTutorialセッションでの講師数39人（32）は表１に含まれていないが，総じて，論文セッションが少ない分野ほど，PanelとTutorialセッションを多数企画する傾向にある。尚，今回の施設見学ツアーはデンマーク工科大学機械工学科だけで，例年に比べ，非常に少ない。

総括すると，Userの参加を促すため，Userセッションが設定され，２年前29セッションから本年は68と定着している。企業新人・大学院生向けのTutorialセッションが用意され，理解しやすい内容で，各分野で若い世代の教育が重視されている。さらに，社会の動向に合わせ，2010年には蒸気タービン（委員会昇格は2011年）と風力タービン，2011年に太陽光サイクル，そして2012年に超臨界CO_2サイクルと順次，新しい委員会を設置し，広い分野を網羅して，会議の規模を拡大することに努めていることがわかる。

次回は2013年６月３日より米国San Antonioで開催される。最後に，過年度論文数は過去の見聞記から引用した。各著者に謝意を表する。

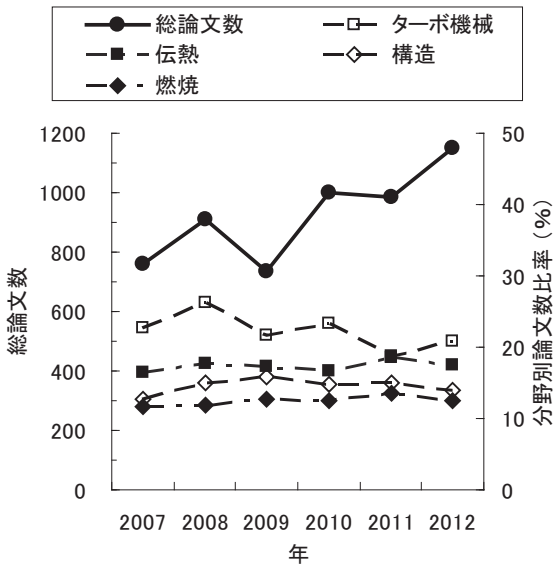


図１　上位４分野の論文数比率（百分率）

原稿受付　2012年７月24日
＊1　東京理科大学　工学部
〒102-0073　千代田区九段北１-14-６

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

表１　分野別論文数比率（百分率）

年	2012	2011	2010	2009	2008	2007
総論文数	1149	983	1001	734	910	758
都市	Copenhagen	Vancouver	Glasgow	Orlando	Berlin	Montreal
航空用	3.7	4.2	3.8	3.0	2.4	3.2
セラミッス	0.3	0.6	0.9	1.2	1.1	1.8
石炭･代替	2.0	1.6	1.9	2.5	1.0	1.8
燃焼	12.4	13.5	12.6	12.7	11.9	11.7
制御･診断	2.6	4.8	4.0	3.5	4.3	5.5
サイクル	3.8	3.3	5.2	6.8	5.1	6.1
教育	0.7	0.6	0.4	0.8	0.4	1.1
電力	1.0	2.0	1.4	1.5	1.2	2.5
環境						0.5
ファン･ブロワ	1.3	2.1				
伝熱	17.5	18.6	16.6	17.2	17.8	16.5
コジェネ	1.9	1.4	2.2	2.2	3.5	3.2
製造･材料	2.3	1.2	2.0	3.1	2.4	3.0
舶用	2.3	1.2	1.5	1.0	1.5	1.5
小型GT	3.9	3.1	3.8	4.6	4.0	3.8
オイル･ガス	1.9	1.8	1.9	2.5	2.3	2.1
太陽光	0.9	1.4				
蒸気タービン	3.1	2.2	2.4			
構造･力学	14.0	14.9	14.8	15.8	14.9	12.8
超臨界CO_2	1.0					
ターボ	20.8	18.8	23.4	21.7	26.2	22.8
風力	2.6	2.5	1.3			

2．航空用ガスタービン

渡辺　紀徳*1
WATANABE Toshinori

航空機エンジン関係では12のセッションが設けられた。このうち論文発表が８セッションあり，33件の論文が発表されている。他にパネルセッションが２つ，パネル及び論文セッションと位置付けられたものが２つあった。後者では３件の論文が発表された。昨年と比べて２セッション減っており，論文件数も少なくなっているが，その分パネル討論に力が入れられていると見ることができる。

パワープラント・モデリングをテーマとするパネルセッションが実施され，世界中から７人のパネリストが登壇してそれぞれの経験と現在の活動について発表した。モデリングの内容は多岐にわたり，環境適合技術や保守管理に関するもの，エンジン性能に関する基礎的なものなど，やや統一性を欠く観があったものの，多方面の動きを知ることができる機会となった。ヨーロッパのClean Skyプロジェクトが非常に組織的に実行されている様子が印象的であった。また，中国の登壇者はモデリングではなく中国におけるジェットエンジンの開発計画を紹介し，国産150席機エンジンを2022年までに投入するとのことだった。一方，モデリングには実験による検証が極めて重要という当然の指摘がアーヘン工科大学の研究者からなされ，参加者が深く頷いていた。中国と韓国からパネリストが出ていたが，日本からは登壇がなく，

原稿受付　2012年７月26日
＊1　東京大学大学院　工学系研究科　航空宇宙工学専攻
〒113-8656　文京区本郷７－３－１

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

問題ではないかと感じられた。この他，筆者は出席しなかったが，単通路狭胴機の機体とエンジンに関するパネルセッションが行われ，新しい情報の交換が行われたようである。

モデリングとシミュレーションに関しては論文セッションもあり，適応モデリングによる要素性能マップのチューニングの検討（GT-69688），エンジン初期設計における多目的自動最適化（GT-68612），飛行経路の最適化ツール開発（GT-69862）などの研究が発表された。

ジェットエンジン騒音のセッションが２つあり，11件と多数の論文が発表された。ジェット騒音に関してノッチノズルによる減音効果を，小型ジェットエンジンを用いた高温ジェットの試験で確認した研究が発表された（GT-69507）。ノズルは従来より小さなノッチを有するものに改良されている。マイクロジェットによる騒音の能動抑制についても発表され（GT-68821），マイクロジェットによる流れ場の変化が可視化等により詳細に明らかにされた。また，ジェットと機体面との干渉に関する研究（GT-69631，69639，69801），騒音発生状況のLES数値解析（GT-69624，70140）なども発表された。ファン騒音に関しては，反転オープンローターから発生する騒音の数値解析が行われた（GT-68625，68982）。発生騒音について前後翼列の枚数を変化させた場合の比較や，離昇時と巡航時の比較などが行われているが，CFDの手法と結果の妥当性検討の域を出ていない。一方，ダクト内音場に対し，多孔壁からの冷却空気吹き出しが与える影響を実験的に調べた研究もあった（GT-68916）。

二次流れと補機に関するセッションが２つあった。軸受とシールまわりの流れに関する研究が５件（GT-68138，68139，68753，68984，69513）発表されたほか，APUを用いた冷却システムの解析（GT-68643），軸受室とシールの接触部分のパイロメーターによる温度計測（GT-68354）などが発表された。

バイオ燃料・合成燃料の適用とグリーン技術というセッションがあったが，発表は３件しかなく，やや期待外れであった。合成燃料であるCHEFA（Camelina Hydroprocessed Ester and Fatty Acid fuel）をT56ターボプロップエンジンに用いて地上試験を行い，性能とエミッションのデータを取得した研究が発表された（GT-69978）。性能や振動特性にはほとんど影響がない一方，微粒子の生成が著しく減少する結果が得られている。その他，ヘリコプターへの代替燃料適用のモデル解析（GT-69417），オンウィングでの圧縮機洗浄の効果に関する研究（GT-68995）があった。

インテイクとノズルのセッションでは，逆推力発生装置に関する論文３件（GT-68934，68554，68810）と，ミキサーの混合性能向上に関する論文1件（GT-70081）が発表された。

システム検証のセッションでは様々な要素に関する事前検討や検証の研究が発表された。ガスタービンの作動中の諸計測値から定常作動点にどの程度近いかを決定する手法（GT-68632），保炎器周りの乱流に関する実験と数値解析（GT-69377），反転ファンの設計（GT-69587），次世代小型遠心圧縮機がシステムの安定性に及ぼす影響（GT-68214），などが研究されていた。

3．産業用ガスタービン

田中　良造[*1]
TANAKA Ryozo

産業用ガスタービンに関連の深いCommitteeとしては，”Cycle Innovations”，“Electric power”，”Industrial & Cogeneration”，”Oil & Gas Application”，“Marine”があるが，近年，再生可能エネルギーとしてさまざまなメーカー・研究機関が取組み始めている太陽エネルギーを熱源としたガスタービンに関する研究を対象とした”Concentrating Solar Power Plants”なるCommitteeが新たに設置された。

原稿受付　2012年７月18日
＊１　川崎重工㈱　ガスタービンビジネスセンター
ガスタービン開発部
〒673-8666　明石市川崎町１－１

１．Cycle Innovations：革新サイクル

論文件数は44件であり，研究対象は産業用に限らずおおよそブレイトンサイクル，ランキンサイクルから発展した革新的なサイクルを取り扱うCommitteeである。航空用ターボプロップエンジンのモニタリングに関する研究（GT-68158），小型ガスタービンの自動車用動力への適用評価（GT-68402）等も含まれ，多岐にわたる研究を含んでいる。産業用GTに関連が深い研究分野としては，OXY-FUEL燃焼及びCO_2の圧縮回収を前提としたGTシステムの研究（GT-69470，69988），またIGFCとCO_2を組み合わせた高効率な発電プラントシステムの研究（GT-69999），風力発電における発電量の平滑化のア

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

イデアとして，電力余剰時に液体窒素として貯蔵，不足時には液体窒素を気化させ発電する“CRYOGENIC RANKINE CYCLE”の研究（GT-68180）等，自然エネルギーの有効利用やCO_2排出量の削減といった地球環境保護をテーマとする研究が多かった。

2．Electric Power：電力事業用ガスタービン

論文件数は11件，ガスタービンメーカーの最新技術，運用技術や保守技術に関する論文発表・パネルセッションが多かった。部屋も通常の会議室よりも大きな講演会場で開催されることが多く活況を呈していた。

1600℃級の新開発ガスタービン（MITSUBISHI 501J）の各種評価試験に関する発表（GT-68574）や，空力・冷却・シール技術などの最新の要素技術の評価及び実機適用検討に関する発表（GT-68573），現行機種の高温寿命延長や寿命管理といった保守技術に関する研究（GT-68363，69103），またOXY-FUEL・水素燃料への対応に関する発表（GT-68169，68301）があった。

3．Industrial＆Cogeneration：産業用GT&コージェネレーション

論文件数は22件，最新型の産業用GT（KAWASAKI L30A, SIEMENS SGT5-8000H）に関する発表（GT-68668，69621）があった。全体としてはガスタービンの設置環境，年間の気温変動を考慮した出力・効率向上方法に関する研究が多い。吸気冷却効果の地域差あるいは対象とするGTモデルによる差に関する研究（GT-68057，68332），Foggingに関する発表（GT-70097，68088）があった。

4．Oil & GAS Applications：石油・ガス産業用途

論文件数は22件，最新型のOIL& GAS用途のGT（SIEMENS SGT750, MAN TURBO 6MW級）に関する発表があった（GT-68249，68897），また石油・ガス産業でのUpstream/Midstreamと呼ばれる掘削，圧送あるいは貯蔵工程で使用されるGTの運用方法に関する研究（GT-68005，68006），またGTの信頼性向上に関する研究としてディスク・ブレード系のミスチューニングに関するクライテリアの研究（GT-69014），静翼の励振による動翼の共振に関するクライテリアの研究（GT-69976，70013）といったGT設計者にとって非常に興味深い発表があった。

5．Marine：舶用ガスタービン

論文件数は26件，舶用用途ガスタービンに関する最適運用技術に関する発表（GT-68069），信頼性向上技術に関する発表（GT-68605，70101）があった。また航空用に開発されたR&R Trentを舶用に転用したMT30のパッケージングに関する発表は産業用GTのパッケージングに共通する点も多く興味深かった。

6．Concentrating Solar Power Plants：集光型太陽熱発電

今年より新たに設置されたCommitteeであり，論文件数は10件，集光型太陽熱発電に適したGTシステムが数多く提案されており今後の技術動向が注目される分野であると感じた。システムの最適設計に関する研究（GT-68054，68134），太陽熱発電に適した作動流体としてヘリウムの適用検討（GT-69407）等があった。

4．小型ガスタービンおよびセラミックス

倉田　修[*1]
KURATA Osamu

マイクロタービン・小型ターボ機械関連の論文件数は，熱交換器が4件，ローター動力学が5件，燃焼器が6件，ターボ過給機の概念とシステムが4件，ターボ過給機の最適化が4件，ターボ過給機の脈動が6件，要素設計が7件，性能が5件，複合サイクルが3件，他に，代替燃料，燃焼器，新サイクル，教育，熱伝導，ターボファンなど，計55件の発表が行われた。

セラミックス関連の論文件数は，CMC（Ceramics Matrix Composite）が4件，他に，製造材料やマイクロガスタービンが3件，計7件の発表が行われた。

原稿受付　2012年6月21日
＊1　産業技術総合研究所　エネルギー技術研究部門
ターボマシングループ
〒305-8564　つくば市並木1－2

1．マイクロタービン（MGT）と小型ターボ機械

熱交換器の設計，最適化と材料において，ガスタービン再生器中に曝露したATI 20-25+Nb Alloy（GT-68163），レーザー焼結セラミックと金属で構成されるマイクロ再生器（GT-68320），セラミックマイクロチャネル再生器の形成法（GT-68510），再生器のリブ型乱流生成器の出力と熱効率（GT-69879）について発表があった。

ローター動力学とベアリングにおいて，油とガスの混在下おける圧縮機・膨張機のローター動力学（GT-69119），計算流体力学による細溝式マイクロスラストベアリングの剛性と振動（GT-69403），歯科用ドリルの磁

Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

気空力ベアリングの性能（GT-68538），高速マイクロターボ機械の動力損失（GT-69558），卵形穴溝を用いたマイクロタービン用弓状ベアリングのトライボロジ（GT-69383）について発表があった。

燃焼器の設計，最適化と代替燃料において，バイオディーゼル燃料の霧化特性（GT-68039），バイオ燃料利用EGRフレームレス燃焼の解析（GT-68720），ラムジェット燃焼器への新TBCの適用（GT-68725），60kW MGT燃焼器における改質ガス代用の影響（GT-68950），5kW MGT天然ガス燃焼器の設計解析（GT-69180），マイクロスケール燃焼器の設計（GT-69522）について。

ターボ過給機の概念とシステムにおいて，エンジン増出力・回生用の電気式タービン補助装置（ETA）（GT-68246），過給ディーゼル機関性能へのタービン形状の影響（GT-69239），ETAのベアリング動力学（GT-69114），非再生ブレイトンサイクルの提案（GT-68300）について。

ターボ過給機の設計と最適化において，脈動のある混合流れタービンの最適化（GT-68233），インペラの失速領域に対する自己渦法（GT-68335），半浮輪ベアリングフィルム潤滑系の熱移動解析（GT-68355），脈動のある多気筒エンジン用ツインスクロールタービンの中心線モデル（GT-69018）について発表があった。

ターボ過給機の変動と脈動応答において，自動車用タービン脈動の新モデル（GT-68422），タービン脈動の混合流れ法を利用した設計（GT-68575），ターボ過給機脈動の非定常効果（GT-69053），ターボ圧縮系の強いサージ（GT-69124），低高温熱伝達を考慮したターボ過給エンジンの性能予測（GT-68758），混合流れ法と中心線法によるタービン脈動の解析（GT-69176）について。

要素の設計と最適化において，3～36kWマイクロタービンのスケーリング（GT-68685），マイクロインペラ用のすべり係数とチップクリアランス流れ（GT-68752），FLC（Fuzzy Logic Controller）による小型ターボジェットのスラスト制御解析（GT-68892），熱動力計測法によるMGT用可搬試験装置（GT-68095），TURBOCLAW低速ターボ圧縮機（GT-69074），HFE7100（Methoxy Nano Fluoro Butanes）を作動媒体とするマイクロタービンの解析と実験（GT-69222），タービン段のスケール化（GT-69693）について発表があった。

性能において，CHP用3kWマイクロタービンの最適化（GT-68686），蒸気タービン制御弁の性能と不安定解析（GT-68740），タービン性能に対する加工粗さの影響（GT-69500），70kWマイクロタービンの空力性能の改善（GT-68195），油とガスの混在下おける圧縮機・膨張機の開放ループ空力性能（GT-69017）について。

複合サイクルとハイブリッド系において，MGTのコージェネおよびトリジェネ（GT-69735），発電機：高速直接駆動か低速直接接続か（GT-70118），150kW級マイクロ蒸気タービンの負荷遮断と動力学（GT-68267）について発表があった。

その他，（3）代替燃料（GT-68238，68239，69790，68976），（4）燃焼器（GT-69421），（6）MGT燃料電池（GT-69258），診断技術（GT-68580），（7）設計（GT-70025），可搬型試験装置（GT-69419），（12）熱伝導（GT-69759），（33）ターボファン（GT-69956）について発表があった。

2．セラミックス

セラミックス－CMCの性能と耐久性において，高温におけるSiCマトリクスの引張・圧縮破壊（GT-68902），ガスタービン燃焼器における酸化CMCの耐性（GT-68974），SiC CMCにおける電気抵抗と音響による破壊状態の同定（GT-69167），CMCにおけるCMAS（Calcium Magnesium Alumino Silicate）とFODの複合的な影響（GT-70049）について発表があった。

その他，（18）製造材料と冶金－材料と特性において，金属で強化したCMC（GT-68293）について，（20）マイクロタービン－熱交換器において，セラミックマイクロ再生器（GT-68320，68510）について発表があった。

5．ターボ機械の性能と流れ　5.1 軸流関係
5.1.1 ファン・圧縮機

酒井　祐輔[*1]
SAKAI Yusuke

軸流ファン・圧縮機では10のセッションで合計52件の論文が発表された。国別ではドイツと中国が各13件で，全体の半数を占めている。全体の論文数は昨年の38件から増加しているが，大半が中国からの発表の増加によるものである。セッションは，昨年とほぼ同様の構成であったが，「腐食・汚れ・公差の影響」および「圧縮機オペレーション」のセッションが新設された。

原稿受付　2012年7月19日
＊1　川崎重工㈱　ガスタービンビジネスセンター
〒673-8666　明石市川崎町1－1

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

設計・解析・試験は，４つのセッションで計22件の発表があった。自動最適化の手法を用いたものが６件あり，高効率化と広作動範囲化，応力評価等を組み合わせた多目的最適化を採用して実用的な翼形状を得る方法が報告された（GT-69272，68993，69252など）。２重反転動翼に関する論文が５件あり，２重反転ファン試験機について全周非定常解析を実験結果と検証した研究（GT-69734）や，２重反転オープンローター試験機をモデルに全周非定常解析（格子点数12000万点）を行い離陸時の迎角が性能に与える影響に関する研究（GT-69901）など，近年の計算機能力の進歩に伴う大規模計算を用いた研究が発表された。その他，航空エンジン用HPCの性能向上に対してCFDの活用事例の紹介（GT-68844），多段圧縮機の中間段抽気の最適形状を実験で調査したもの（GT-68242），多段圧縮機の初期設計で用いられる1次元計算のブロッケージ予測方法を改善することで非設計点性能の予測精度を向上させたもの（GT-69115）等が報告された。

チップクリアランス流れでは，５件の発表があり，産業用ガスタービンの中間段を対象にCFDを用いてクリアランスを段階的に変化させた最適クリアランスの調査（GT-68367），大型低速試験機でSPIVを用いて翼端漏れ流れの構造を詳細に計測した論文（GT-69148）等が報告された。

圧縮機のモデル化では，５件の発表があり，離散的に配置したチップインジェクションの下流段への影響を初期設計から考慮するための流線曲率設計システムへのモデル化（GT-69554）や，LES,URANS,RANS計算結果を実験値と比較してケーシングトリートメントの評価に対する非定常性の研究が報告された（GT-68411）。

流れの制御は５件で，高負荷亜音速翼の負圧面に境界層吸い込みを採用して２次元翼列性能を実験と数値解析を用いて評価した論文（GT-69011）や，バルブでチップインジェクションの量を調整してサージマージンを効果的に拡大する機構の実験（GT-68460）が発表された。また，プラズマアクチュエーション，シンセティックジェット等の機構を用いて境界層の剥離を能動的に制御する研究が発表された（GT-6919，69476，69535）。

静翼エンドウォールおよびシュラウド漏れ流れでは，６件の発表があった。可変静翼の円座形状とクリアランス形状が性能に与える影響を調べ，新しい円座形状を提案した論文（GT-69757，68404）や，静翼のハブシュラウド漏れ流れの周方向速度成分が翼列性能へ与える影響を調査した論文（GT-69217）があった。

腐食・汚れ・公差の影響では，４件の発表があった。新造および運用後の翼前縁形状を計測し，翼列のインシデンス特性に与える影響の2D-CFDを用いた研究（GT-68633）や，遷音速翼の腐食による前縁形状変化とその補修形状が性能に与える影響の研究（GT-69064）が報告された。

圧縮機オペレーションでは５件の発表があった。レイノルズ数効果を遷音速動翼およびOGVに対してそれぞれ調査した論文（GT-68273，69956）や，吸気への水噴射が性能に与える影響を翼列試験で調査した研究（GT-69464）が発表された。

5.1 軸流関係　5.1.2 タービン

妹尾　茂樹[*1]
SENOO Shigeki

「軸流タービンの空気力学」では，12論文セッションで，59件の論文が発表された（昨年43件）。近年の動向としては，より実機に近い複雑形状，複合現象の研究が進んでいる。具体的には，先端シールや静動翼間キャビティからの漏れ流れ（leakage or purge flow）との干渉，冷却流や燃焼器流との干渉，非軸対称側壁や拡がり角の大きな子午面形状の影響などである。現象面では，低レイノルズ数10^4～5×10^5の高負荷翼の，負圧面境界層の層流乱流遷移やはく離に関する研究が，昨年同様多い。世界中からの発表があり，特に中国からの発表は増加している。一方，日本人主著の発表が０件で，少し寂しく感じた。

今回から正式に委員会として独立した「蒸気タービン」では，パネルセッションと，８論文セッションで36件の論文が発表された（昨年22件）。ここでは，翼間流れだけではなく，起動時間短縮や部分負荷特性などの運用フレキシビリティ，湿り蒸気流れ，出入口静止流路など，蒸気タービンの広範囲にわたる研究が発表された。

PIV（Particle image velocimetry）や非定常流プローブなどの計測技術や，流体解析技術の進歩により，複雑現象の詳細な解明が進み，それに基づく性能・信頼性向上策が多く提案された。その反面，個々の研究が独自問題の解決に向かい，複雑現象を，物理法則や数学を用いて，ターボ機械としての汎用的な知見に収束させる研究は少ないように感じた。この傾向が続くのか，どこかで

原稿受付　2012年７月18日
＊1　㈱日立製作所
〒319-1292　日立市大みか町７－１－１

Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

収束に転じるのか，今後の研究動向に注目したい。

1．軸流タービンの空気力学

筆者の知る中で最も盛況であったのは，Dentonケンブリッジ大学名誉教授の側壁損失に関する講演（GT-69173）である。150名収容の部屋で，立ち見に加え，部屋の外まで聴講者が溢れていた。側壁損失は，流入側壁境界層の渦への巻き上がり，二次流れ渦と翼面境界層との干渉，二次流れ渦の散逸（混合損失）など複数の損失発生機構からなること，二次流れ運動エネルギーの散逸は，翼列下流や次段翼列でも引き続き起こり損失となること，動翼への流入側壁境界層のねじれや大きな主流乱れを考慮するために，単一翼列だけではなく段落としての評価が必要であることなど，今後の研究の方向性も含め，示唆に富んだ講演がなされた。個人的に興味深かったのは，乱流遷移は損失に大きな影響を及ぼすが，側壁近傍流れのような複雑流での予測は難しいため，流体解析中では実験結果を用いて，強制的に遷移位置を決めていた点である。

漏れ流れ干渉に関し，1.5段タービンの動翼間での先端漏れ渦構造が，５孔ピトー管，熱線流速計，ステレオPIV，ボアスコープ型PIV，非定常圧力センサー（外ケーシング），油膜法可視化により調べられた（GT-69568）。先端を上流負荷翼とすることで漏れ渦崩壊損失を低減し，漏れ損失が15%低減できることを流体解析で示した（GT-68302）。静動翼間からの吹き出し流れと翼間二次流れ渦との干渉を，1.5段タービンと非定常流プローブで調べ，その段落効率低下は，入射角変化よりも流量係数変化による影響が大きいことが報告された（GT-69466）。

低レイノルズ数での高負荷翼の境界層遷移やはく離に関し，２段タービンの第２静翼負圧面境界層流れが，薄膜フィルムと熱線流速計で調べられた（GT-68906）。音響励起による境界層はく離抑制が，翼列試験における熱線流速計とPIV計測により調べられ，はく離せん断層のKelvin-Helmholtz不安定波の基本周波数で励起し，せん断層の渦崩壊を促進することで，はく離長が縮小できることが示された（GT-69618）。前縁をスパン方向に波状（tubercles）にすることで翼面に縦渦を導入し，正の迎角時に負圧面境界層遷移を促進し，はく離を抑制，損失を低減した直線翼列試験結果が報告された（GT-69926）。

2．蒸気タービン

パネルセッション「近代蒸気タービン発展の軌跡」では，各メーカーに加え，先述のDenton名誉教授もパネリストとして参加された。「私のこの分野での40年の知識と経験を次の世代に伝えたい」から始まる（“年をとって忘れ去る前に”と付け加えて笑いをとってはいたが）熱意のこもった講演は，150名を超える聴講者を鼓舞する素晴らしいものであった。蒸気タービン低圧段に関し子午面流線曲率の考え方が，単純半径方向平衡式＋フリーボルテックス設計からの高効率化に大きく貢献し，今でも三次元スタッキング静翼や子午面拡大流路設計の基本であること，衝撃波干渉・非平衡凝縮・漏れ流れ干渉が引き起こす非定常現象を理解し，効率向上に繋げることが，次の課題といった内容であった。各メーカーからは，最終段長翼，700℃級A-USC，再生可能エネルギーとの融合のための運用フレキシビリティ，地熱用蒸気タービン，寿命と信頼性向上のための最先端診断技術の利用，継続的な流体性能向上技術開発の重要性などが報告された。

湿り蒸気に関する論文が多かったが，中でも実機大試験で運転条件と最終段翼長を変えて，湿り損失を推定した発表（GT-69613，70056）が注目された。A-USCに関して２件の発表（GT-69009，69822）があったが，特にSiemens Chinaの発表からは，電力需要の成長が著しい中国が，700℃級A-USCに非常に前向きで，世界で最初に商用プラントを実現したいという意図が伺えた。

Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

5.2 遠心関係

坂口　大作*1
SAKAGUCHI Daisaku

遠心関係では７セッション34件の講演があった。また，遠心型ターボを取り扱った論文は遠心のセッション以外でも発表されており，Design Method & CFD Modeling ３件，Fans & Blowers 4件，Supercritical CO_2 Power Cyclesの２件を含めると，合計43件の発表があった。発表件数は昨年の36件の発表より増加傾向にある。高効率化および運転流量範囲の拡大を主なキーワードとするものが多く，CFDによる非定常不安定流動の解明，二次流れの積極的利用および多目的最適化を用いた形状設計法などが注目された。

動翼の内部流動を取り扱ったものとして，翼負荷分布の異なる２種類の羽根車について実験による圧力変動解析およびCFDによる詳細な非定常解析を行い，流量によっては翼先端漏れ渦の崩壊が不安定流動を抑制しているという新しい見解（GT-68947）が発表された。また，不安定流動の初生に関わる現象として回転不安定擾乱の解析（GT-68266）が行われ，実験およびCFDを融合させることにより非定常現象のトリガーを解明しようとする研究が注目された。また，実験で現象を捉えることが困難なキャビティ内の流れ解析（GT-68288，68380）や動静翼干渉をより精度良く解析するモデル（GT-69151）などが紹介された。

広い運転流量範囲が要求されるターボチャージャ用遠心圧縮機には循環流型ケーシングトリートメントにより不安定流動を抑制する試みが多く発表された。周方向に部分的に配置した溝により，舌部に起因した非軸対称性流れを解消して不安定流動のさらなる抑制が可能としたもの（GT-68219），長年に亘って企業で検討されてきたケーシングトリートメントの研究をまとめたもの（GT-69340），循環流路内のキャビティベーン形状が圧力比，効率および運転範囲拡大効果に及ぼす影響について調べたもの（GT-69415），1次元簡易モデルにより循環流量や損失の推定を行うケーシングトリートメント形状の簡易設計法（GT-68915）が紹介された。

ディフューザに関しては，小弦節比翼列ディフューザを採用し，さらに翼前縁半径位置を動翼出口へ近づけることで羽根なし部分での失速抑制に成功した事例（GT-69203）や，小弦節比ディフューザを二重翼列化することにより二次流れ効果を広い流量範囲で有効に作用させることができること（GT-69369）が紹介された。また，パイプディフューザの下流に円形翼列をタンデム配置した新しい形状の提案（GT-68449）などがあった。

多目的最適化設計手法は，遠心関係においても実用性が高く多くの発表が行われた。多段圧縮機の動翼形状およびディフューザ形状の最適化を行い，効率改善のみならずサージマージンの改善も実証したもの（GT-69162）や，リターンチャンネルの最適化により圧縮機全体の効率が1.0％改善した事例（GT-68671）が紹介された。また，タービン翼について多目的最適化設計を行い，チョークマージンを大幅に改善できた事例（GT-69645）や空力的性能および力学的性能を多目的に最適化したもの（GT-68403），遠心圧縮機の多目的最適化設計における計算コストの削減法としてのメタモデル（GT1021-68358）などが紹介された。

原稿受付　2012年７月20日
＊１　長崎大学大学院工学研究科
〒852-8521　長崎市文教町１-14

5.3 非定常流れと数値流体力学

賀澤　順一*1
KAZAWA Junichi

ターボ機械の非定常流れに関しては７つのセッションで33件の論文が発表された。

境界層と遷移に関するものとして，タービン静翼の境界層遷移に対する下流動翼からのポテンシャル干渉の影響を調べた研究（GT-68334），圧縮機拡散制御静翼の前縁から生成される境界層へのレイノルズ数，入射角の影響を調べた研究（GT-69384）などが発表された。

タービンの動静翼干渉について，二重円筒ダクト内音響モード解析の理論を用いて時間・空間方向FFTによってモード分解を行い非定常流れ場の評価を行った研

原稿受付　2012年７月17日
＊１　宇宙航空研究開発機構研究開発本部
〒182-8522　調布市深大寺東町７-44-１

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

究（GT-68582），CFDにて効率的に非定常多段解析を行うために，動静翼間の接続部でのデータ授受について３種類の方法を比較した研究（GT-69019）などが発表された。

失速・サージ関係では，失速初生の流れ・予知・能動抑制に関する研究が今回も多数発表された。実験ではセンサーの高性能化により詳細な非定常流れ場の計測が可能となってきており，高周波数応答センサーを用いた圧力計測による旋回失速・サージの詳細解析とサージ能動抑制法の提案（GT-68312），サージ検出までの翼端隙間内流れ場の詳細計測（GT-68627）などが発表された。CFDに関しても，Detached Eddy Simulation（DES）のような高負荷な手法が身近になってきており，実験とDESを用いた失速初生に関する研究（GT-69186）などが発表された。

ターボ機械の設計手法とCFDモデリングのセッションは９つあり，47件の論文が発表された。

CFDに関してはインハウスコードを用いた研究より市販ソフトを用いた研究が多く見られた。また，近年のコンピューターの発展により，全周多段解析のような大規模な計算も珍しくなくなってきている。

非定常段解析のCFDとして，non linear harmonic法（NLH）を用いた結果を実験や全周非定常解析と比較した研究（GT-68029，68227など）が発表された。また，NLHと同様に短時間で非定常解析が可能であるharmonic balance法を用いて1.5段タービンの非定常流れを計算した研究（GT-69690）もあった。

構造・力学委員会とターボ機械委員会の合同セッションとして，空力励振・減衰のセッションが５つあり，26件の論文が発表された。流体・構造連成解析法（FSI）を用いた研究が多かった（GT-69543，68150，68148，69439，68102）。Non synchronized vibration（NSV）をFSIで解析し，翼端渦と翼端漏れ流れがNSVの要因であることが報告された（GT-68150）。Forced Responseによる振動についてもFSIで解析した研究（GT-69543，68102）が発表された。また，フラッタが発生する試験条件でのCFDで，単段では発生しない結果となるが，多段で解析することによりフラッタ発生が試験と同傾向となったことが報告された（GT-68631）。

一方で，高負荷な計算をせずにフラッタ予測を行うための研究として，ファン・デル・ポール振動子を用いたNSV予測法の提案（GT-68145）やLatin Hypercube, risk based samplingなどを用いて様々な作動点でのフラッタ境界を予測する研究（GT-69775）が報告された。

騒音とその革新的低減法についてファン騒音で１つ，コア騒音で１つの計２つのセッションが設けられた。聴衆は少なかったが，試験法からCFDまで幅広く報告がなされており，今後更に活発になることを期待したい。

6．伝熱関係

羽田　哲*2
HADA Satoshi

キーワード：ガスタービン，数値解析，内部冷却，フィルム冷却，外部流

伝熱関係の発表は，Heat Transfer Committee主催のSessionとして，General Interest 18 Sessions（70 Papers），Film Cooling 12 Sessions（60 Papers），他のCommitteeと共催のSessionとして，Internal Air Systems & Seals 9 Sessions（43 Papers），Heat Transfer in Transitional Flows 1 Session（4 Papers），Combustion 5 Sessions（20 Papers），Structures 1 Session（2 papers），Steam Turbine 1 Session（5 papers）であり，合計47 Sessions（204 Papers）であった。セッションは14の時間帯に分けられていたため，平均３～４セッションが同時平行に行われており，かつ，伝熱関係以外にも，多数興味深いセッションもあり，今回の見聞記で伝熱関係を網羅できる自信はないが，雰囲気だけでもお伝えしたいと思う。

まずHeat Transfer Committeeで発表された昨2011年度のBest Paperを紹介する。Ohio州立大のグループが発表した実機1段静翼へのCoal Ashの堆積状況およびその伝熱性能への影響を調べた研究（GT-45894），Cambridge大のグループが発表したシュラウド付動翼のチップの流動状況についての実験及び数値解析（GT-45977，45979），Bath大のグループのタービン動静翼間のGAPに対する実験的研究の３点であった。

本年度の伝熱関係の発表（構造関連，蒸気タービン関連を除く）を国別に比較すると，欧州での開催ということで，欧州が62件，米加州が41件，中国11件，日本９件，その他９件であった。最近は中国からの発表が目立ち，数だけではなく，研究の質の点でも，欧米に肉薄するものがすくなくなかった。これは最近数年，特に感じられる傾向である。

原稿受付　2012年７月30日
＊1　三菱重工業㈱　原動機事業本部　ガスタービン技術部
〒655-8686　兵庫県高砂市荒井町新浜２－１－１

Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

また，本年度からの新しい試みとして，それぞれのCommitteeが，Tutorial Sessionと題し，基本的事項やTopicsについて，２時間の特別Sessionをいくつか開催していた。Heat Transferでは，「Basics of Gas Turbine Heat Transfer」と題し，GE Global ResearchのRon Bunkerが講師であった。Basicsとはいうものの，伝熱の基礎から，産業用・航空エンジンのタービン翼の実際の伝熱設計まで広く網羅した講義で，講師も熱が入っており，これだけでも参加する価値のある貴重なもの。来年以降参加される方には，是非聴講をおすすめしたい。最近の伝熱設計，あるいは伝熱研究の傾向として，CFDなどの数値解析が多用されるが，その数値解析のValidation，Engine Online Dataの有効利用，Manufacturing Toleranceによる研究テーマの絞込みが，重要であるとされた。また，今後重要な研究テーマとして，Uniform Internal Cooling, Ultimate Discrete Micro Cooling, Micro 3D surfaceなどであり，“Micro”が一つのKey Wordであるとされた。

次に本年度の各分野の研究動向と，発表論文のなかから代表的なものをピックアップすることとしたい。

内部冷却　例えばタービュレータリブ，インピンジメント，ピンフィンなどの伝熱要素は，今でも活発に研究されているが，その形状を一工夫したものが目立った。例えばインピンジメントでは，噴流の孔の形状を従来の丸孔から変更し，その冷却性能を評価した研究（例えば，GT-68199），ピンフィンでは，ピンフィンを傾斜させ，かつ流路を波打たせて伝熱性能を上げる研究（GT-69625）など。また，Conjugate Heat Transferの手法を用いた数値解析の研究は活発に行われており，多くの研究がなされていた。ただし未だ実験室レベルであり，今後実機の直接メタル温度計算までは，まだ時間がかかるように感じられた。そのValidationが充分でないもの，あるいは実機の境界条件や形状を無視したものが多く，開発設計に利用できるレベルにあるか，という観点で疑問がある。

フィルム冷却　数値解析の研究が増えてきており，数値解析の計算速度の増大に呼応し，メッシュ数が細かくなったり，非定常性を議論したり，フィルム形状やフィルム配列などを最適化（例えばGT-69049）したりするものが目立った。また，LESのような比較的大規模な解析も，普通に使われるようになってきている。一方で，未だに単純な平板上のフィルム冷却に対して，数値解析のベンチマークを実施している例もある。

また，更なるフィルム効率向上を狙い，フィルム孔の形状を工夫する努力，例えば，Anti Vortex Film Cooling（GT-69237），Dendritic Turbine Vane Cooling（GT-69910），Mist冷却（GT-70110），Trench Film（GT-70029），Sister Holeなどは数年来継続して行われている。加えてNEKOMIMI Film（GT-68400）のような新形状も出てきているが，いずれも形状の加工に課題があり，加工方法の改善が待たれる。

ガス側熱伝達率　内部冷却やフィルム冷却と比較し，低調であり，非軸対象Endwall Contouringに研究の焦点が集中している。いずれも空力性能向上と伝熱性能の両立が課題となっていた（例えばGT-68425）。

セカンダリーフロー　セカンダリーフロー関連では，プリスワールシステム，回転キャビティ，リムシール及びラビリンスシールに関するものが比較的多い。この分野は，欧州からの発表が多く，米国からの発表がほとんどなかったことが特徴的であった。

Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

7．燃焼および燃料関係

小山　正道*1
KOYAMA Masamichi

1．論文発表

Combustion, Fuels & Emissionsでは，30のPaper Sessionが開催された。発表件数は143件であり，昨年の128件より増加した。図1に国別の論文発表数を示す。41件のアメリカを筆頭に日本は7件の6位であった。昨年11件で3位であった中国は，今年は大幅に発表件数を落とした。日本の7件は，JAXAからTechCLEANプロジェクトに関するものが2件（GT-68590，68468），川崎重工から航空用エンジンについて（GT-28272），川崎重工／北海道大学の共著による産業用L20Aの数値解析について（GT-68925），Aachen university of applied science／B&B-AGEMA／川崎重工の共著によるMicromix 燃焼について（GT-69421），東京大学から液膜微粒化に関するもの（GT-70087），JAXA／新潟原動機の共著で液体燃料を用いたLSB（Low Swirl Burner）に関するもの（GT-68662）であった。全体の論文発表件数が増えているにも関わらず昨年の6件と同程度の発表件数に留まっており，私を含め日頃の研究・開発の成果を世界に向けて発表する意識の更なる向上が求められる。図2にPaper Session別の論文発表件数を示す。燃焼振動に関する発表が例年通り最も多く，実験的及び数値解析的アプローチで合わせて38件であった。確かにこのセッションの聴講者は多く100人近く収容できる会場がほぼ満席となる盛況であった。その他の低エミッション化に関するセッションも論文数の上位に位置しており，各分野における環境保護への意識の高さが伺える。水素燃焼のセッションは8件の論文発表であったが水素燃料を用いた研究は他のセッションでも多く発表されていた。Alternative FuelやFuel Flexibilityのセッションと合わせると燃料多様化に関係する研究もまた盛んに行われていることが分かる。図3に論文を実験的，数値解析的及びその両方のアプローチによるものに分類したものを示す。総論文数の半分以上で数値解析が取り入れられており，近年の汎用数値解析ソフトユーザーの拡大が現れている。展示ブースでもANSYS，CD-adapco，Concepts，CF-turboなど汎用数値解析ソフトに関する展示が数多く見られた。

2．パネルセッション

パネルセッションは13日，14日の午後に合計2セッション開催された。一つはガスタービンエンジンへの要求事項と今後の技術課題についての討議で，GE，P&W，MHI，Siemens，R&R，Alstomからプレゼンがあった。全体を通じて共通のテーマとなっていたのは，低エミッション，騒音，逆火及びコストに関するものであった。GEでは多種燃料への対応も今後積極的に取組んでいく報告がなされた。もう一つは電力供給の今後の動向のような少しスケールの大きいテーマであった。ガスタービンではステージング燃焼を用いた低NOx域の作動範囲拡大がGE，Alstomからコメントされた。また，風力発電はどの企業でも注目しているようで，GEからは2030年までに電力の20%を風力発電により供給する展望も述べられた。

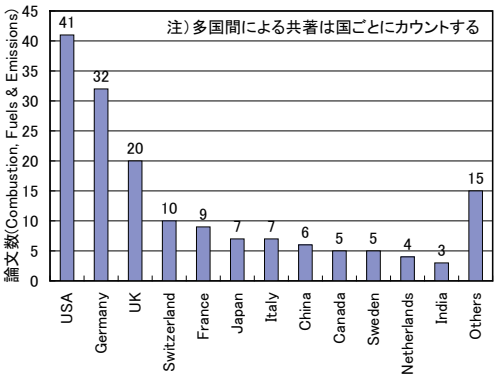


図1　国別論文発表数

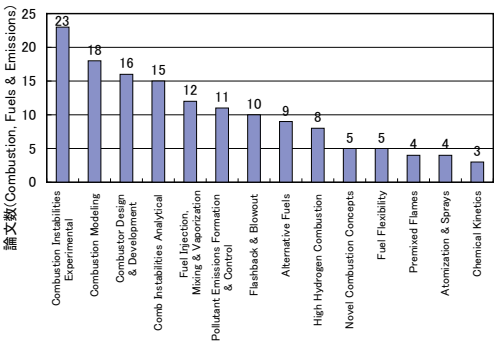


図2　Paper Session別論文発表数

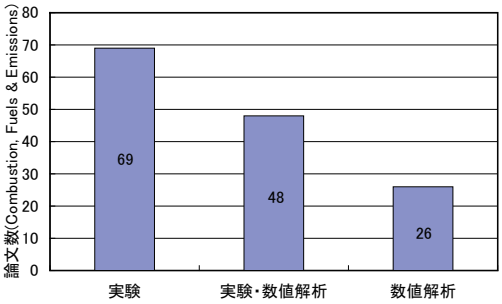


図3　論文の実験／数値解析の割合

原稿受付　2012年7月9日
＊1　新潟原動機㈱
〒957-0101　新潟県北蒲原郡聖籠町東港5-2756-3

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

8．制御と診断

森岡 典子*1
MORIOKA Noriko

1．全般

制御分野はControls, Diagnostics&Instrumentation（CDI）コミッティが主管しており，技術分野は制御（Controls），診断（Diagnostics）および計測（Instrumentation）に分類されている。筆者はControlsのセッションで論文発表を行うとともに，本セッションを中心に聴講を行った。

2．制御技術分野の動向

CDIコミッティ主催のセッションは，ペーパー・セッションが7，そのうちControlsが1，Diagnosticsが2，Instrumentationが4である。論文数はそれぞれ5件，9件，16件であり，総数30件となっている。昨年度に比べると，Instrumentationの論文数はほぼ同等であるものの，ControlsおよびDiagnosticsはセッション数，論文数とも半減しており，技術的ないし学術的課題の方向性が変わりつつあることが示唆される。

本年度は新たな取り組みとして，チュートリアル・セッションおよびパネル・セッションが設けられた。学生や若手エンジニアを対象とするこれらの取り組みからも，制御技術分野の課題や方向性を学会自ら示すことにより，新たな技術探究や産業界の貢献につながるインセンティブを模索している様子が明らかである。

3．制御

筆者は，Controlsのセッションで航空用エンジン制御システムの電動化コンセプトにおける電動燃料システム設計に関する論文（GT-68374）を発表した。CDIセッションにおいて，既にエンジン制御システムに関わる論文は稀であるが，今回はNASA Glenn Research CenterのControls&Diagnostics BranchチーフのS.Garg氏から航空用エンジンにおいて応答性を高める制御方法の論文（GT-70017）が発表されたことが特筆される。

本論文は，機体を制御する手段として積極的にエンジン推力を使用してもらうことをモチベーションとする点で，従来CDIセッションで論じられてきている内容と視点が異なる。現状のエンジン制御システムにおいては，種々のエンジン・パラメータに制限値を設けてエンジンが安全に運用できるようにしているが，これが逆にエンジン応答性に対しては足かせとなり，最大限の応答性を引き出すことを阻害している。この阻害要因を“Conditionally Active Min-Max Limit Regulators”の導入によって緩和することでエンジン応答性をより高めようとする提案である。機体故障などの緊急時にエンジン推力を機体制御の一手段として用いる考え方は推進系としての学術的な新たな方向性を提案するものであり，その実現において課題とされているエンジン応答性向上に対して一具体的手段を述べた論文として興味深い。

4．チュートリアル・セッション

“Challenges in Aircraft Engine Control and Gas Path Health Management”と題して，NASA Glenn Research CenterのControls&Diagnostics Branchの研究者が講師を務めた。50人規模の会場はほぼ満席で，比較的若い年齢層だけでなくベテラン層の聴講者も熱心に聴講していた。

“Challenges in Aircraft Engine Control”では，前述したGarg氏が講師となり，油圧機械式コントロールに始まるエンジン制御の歴史から，将来に向けた，性能や信頼性が高くエミッションの少ないエンジンを実現するためのインテリジェント・エンジン制御へのアプローチまで俯瞰した内容の講義を行った。将来のエンジン制御はアクティブ・コントロールおよび，機体制御との統合化がキーテクノロジーとなるとの見解が示された。

“Challenges in Aircraft Engine Gas Path Health Management”は，同じくNASA GRCのD.Simon氏による，ヘルス・マネジメントの基礎的内容についての講義であった。本分野における今後の課題として，大容量・高速のデータ通信・処理，センサ技術革新，エンジン・モデル改良などがあげられたが，いずれも従来から存在する課題を丁寧にまとめたものであり，新たな研究者の取り組みを促すことを意図していることが伺われる。

全般を通して，ガスタービン制御技術は性能・機能・信頼性の競争の研究から，ユーザー視点の研究開発へ変革しようとしており，CDIコミッティは機敏にこの変革を認識し新たな取り組みを始めている。制御・診断の分野は改良改善から非連続的な技術革新が起こる前兆の時期を迎え，世界が変わろうとしている。我が国においても学術的な方向性がその流れを主導しなければならないと感じた。

原稿受付 2012年7月2日
＊1 ㈱IHI 航空宇宙事業本部 技術開発センター 制御技術部
〒190-1297 東京都西多摩郡瑞穂町殿ヶ谷229

Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

9．材料，構造および製造技術

中原　徹也*1
NAKAHARA Tetsuya

1．全般

材料，構造および製造技術に関わる委員会として，(1)材料および製造技術，(2)構造力学：疲労，破壊，寿命予測，(3)構造力学：信頼性手法の３つのセッションが開催された。論文発表が66件，パネル講演が28件，チュートリアルセッションでの講演が５件あり，昨年より論文発表件数は増加している傾向にある（27件増）。以下に，各コミッティの講演から，聴講した内容をピックアップして紹介する。

2．材料および製造技術

10セッション，40件の講演が行われた。内訳は論文発表が22件，パネルセッションが14件，チュートリアルセッションが４件である。

遮熱コーティングのペーパーセッションでは，YSZ（イットリア安定化ジルコニア）にTiO_2を添加することで，エロージョン耐性を向上させる方法についての発表（GT-68172）や，航空機エンジンに搭載する温度測定センサーのコーティング方法（GT-69923）などについて報告がなされた。

製造工程と補修技術に関するペーパーセッションでは，CMSX-4®のブレードを補修する材料を開発し，補修部でクラックが広がらないこと，耐酸化性が母材と同等であることを検証した発表（GT-69814）や，ろう付けおよび溶接による単結晶材ブレードの補修方法（GT-68092）についての報告があった。

ガスタービン材料に関するパネルセッションでは，各社における単結晶材，遮熱コーティングへの取り組みが紹介された。単結晶材については，レアメタルであるレニウムを添加することなく高強度を有する合金を開発することが1つの大きな課題として挙げられており，レニウムに変わる材料に関する議論が行われていた。コーティング技術に関しては，1700℃級のガスタービンに向けたNi基合金への遮熱コーティングに対する取り組みなどが紹介された。

3．構造力学：疲労，破壊，寿命予測

７セッション，34件の論文発表が行われた。寿命予測のペーパーセッションでは，微小き裂の進展現象を忠実に再現するための試験手法として，平板試験片にFocused Ion Beamで予き裂を導入する手法についての発表があった（GT-68376）。また，CMSX-4®のLCF荷重サイクルにHCFサイクルを重ね合わせた複合サイクル疲労を評価することで，寿命予測精度を向上させたとする報告（GT-68452）があった。更に，Ni基単結晶材の複合サイクル疲労（LCF-熱疲労）を精度良く評価するため，温度に依存する疲労強度を補正するライフィングモデル（GT-68786）や，Ni基単結晶材の中空翼の熱疲労（GT-68523）に関する発表があった。他にも，エネルギー法を用いたLCF，HCF強度評価法についての報告があり，アルミ合金のLCF強度に対して比較的良い精度で評価可能であるが，HCF強度評価およびTi合金の寿命評価については安全側になるとしていた（GT-68889，68905，68911，68919，69079）。本セッションでは，Creep，LCF，HCF，熱疲労などの複合サイクルを評価する方法に関する講演が多く，これらに対する関係者の関心の高さが伺えた。

4．構造力学：信頼性手法

６セッション，25件の講演が行われた。内訳は，論文発表が10件，パネルセッションが14件，チュートリアルセッションでの講演が４件である。

寿命，リスク評価に関する信頼性手法のペーパーセッションでは，RISC（Rotor Integrity Sub-Committee）委員会の活動としてチタン合金のHard αの評価を見直す活動について報告があった（GT-68987）。また，Hard αの評価ツールとして用いられているDARWIN（Design Assessment of Reliability With INspection）を，AC33.70-2で規定される孔加工部の信頼性評価に使用できるよう拡張した発表があった（GT-69968）。

パネルセッションにおいては，各社における信頼性設計への取り組みが紹介された。各社共に，設計・解析・試験のプロセスに信頼性手法を取り込んでいる模様。不確かさの定量化（Uncertainly quantification :UQ）に対する取り組みとして，UQの重要性に対する教育活動や定量化手法についての紹介もあり，各社が信頼性評価に対し，力を入れていることが伺えた。また，ベイズ推定に関する講演も多く，ベイズ推定を使い，実験と解析の結果を結び付けて評価するモデル（ベイズハイブリッドモデル）についての紹介などがあった。

原稿受付　2011年７月20日
＊１　㈱ＩＨＩ 航空宇宙事業本部　技術開発センター
エンジン技術部
〒196-8686　昭島市拝島町3975-18

CMSX-4®：キャノン-ムスケゴンコーポレーション登録商標です。

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

10. ロータダイナミクスとベアリング

井上 秀行*1
INOUE Hideyuki

1．全般

ロータダイナミクスに関しては，最も多い７セッションを有するStructures & Dynamicsコミッティで29件，昨年に新設されたBearing & Seal Dynamics コミッティ／２セッションで９件，その他４つのコミッティで９件，合計47件の研究発表が行なわれた。

関連して，ベアリング要素固有技術については５コミッティ／７セッションで19件，同じくシール要素固有技術については，７コミッティ /11セッションで30件の研究発表が行なわれた。

以下，研究発表をテーマ別に整理し，それぞれのトレンド情報を報告する。

2．ロータダイナミクス解析

Structures & DynamicsコミッティのRotordynamicsおよびRotordynamic Analysisセッションで，ロータダイナミクス解析において精度良く実機を模擬すべく，例えば２軸のスクリューポンプのローターへの流体力やロッド締結によるローターへの軸方向予荷重，ミスチューンされたブレードの評価法などについての新しい提案に関する研究発表が行なわれた（GT-69965，68221，68391）。

その他，Rotordynamic Malfunctionsセッションでは，種々のロータダイナミクス的トラブルに対する新しい診断法，例えばローターに発生したき裂の早期発見方法の提案（GT-68960，69921）や，実機のトラブルシューティング事例に関する発表が行なわれた。

多くの発表は，古典的ロータダイナミクス解析にとどまらず，実験結果に加えてFEMやCFDなど複数の技術を連成させて，さらに一歩踏み込んで事象の分析を行うというスタイルがトレンドとなっているようである。

3．ロータダイナミクスとベアリング

磁気ベアリング（11件，内アクティブが10件）とフォイルベアリング（６件）の発表が多く行なわれた。その中でも，コンプレッササージを磁気ベアリングを用いることで抑制し，安定性領域を21％拡大したという研究成果（GT-70011）は，今後の磁気ベアリングのアプリケーション範囲の拡大に大きく寄与するものと考える。また，磁気ベアリングとフォイルベアリングを組み合わせ，許容負荷能力と低速時の摩擦摩耗特性を向上させるという研究（GT-68394）は，まだシミュレーションの域であるものの非常に興味深い結果であった。

その他，ティルティングパッドベアリングに関しては，ベアリングパッドやピボットの変形を加味した解析の研究がなされ（例えばGT-69804，69809），ベアリング性能の予測を向上させるためにその必要性を提唱している。

また，自動車用フローティングリングベアリング，航空機用ボールベアリングについて研究発表が行われ（GT-68355，68138），CFDを駆使した効率良い潤滑油供給方法を提案している。特にボールベアリングへの潤滑油供給方法については，結果として流量を50％低減しながらも発熱を30％抑える画期的な方法が示され，他分野での適用も予期するものであった。

4．最後に

モノづくりの高精度化もさることながら，FEMやCFDの進化よってダイレクトシミュレーションが可能となり，飛躍的に性能予測の精度が上がり，ここ数年の格段のロータダイナミクス解析技術向上に寄与しているという解説が研究発表の随所で聞かれた。その一つがタービンブレードに関するものであろう。Steam TurbinesコミッティおよびElectric Powerコミッティのパネルセッションを聴講し，特にそれを感じた。また，これからの重要課題に関しては，機器のシール効率向上をパネラーの各社そろって挙げており，ブラシシールやリーフシールなどのフィラメントシールやホールパターンを有する固定環状シールなど，二律背反するシール特性とロータダイナミクス特性を両立できる最適なシール機構の開発が今後のトレンドの一つとなっていくであろう。

一方のベアリングについては，磁気ベアリング，フォイルベアリング，スクイズフィルムダンパーを内蔵したベアリング，さらにはそれらの複合体が引き続き研究の対象となるであろう。

原稿受付 2012年７月19日
＊1 イーグル工業㈱ 技術本部研究部
〒350-0285 埼玉県坂戸市片柳1500

Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

11. 展　示

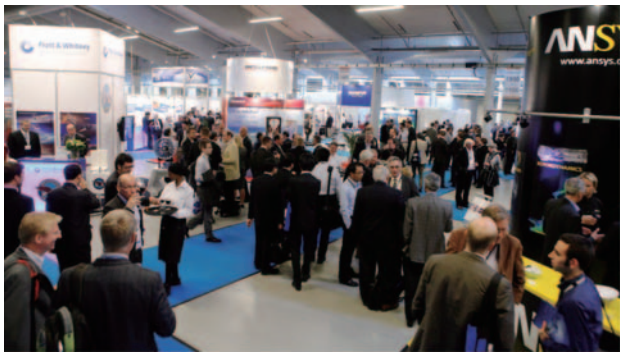
谷口　智紀*1
TANIGUCHI Tomoki

展示はTURBO EXPO期間中の２日目（６/12）から４日目（６/14）までの３日間，Bella Center内のExhibition Hallにて行われた。２,３日目は12：30～18：30，４日目は11：30～14：30のみの開催であったが，ホール内には昼食会場も設置されており，連日開始直後から多くの人が訪れて賑わっていた。セッションが開催される時間帯は人も少なくなっていたが，セッション終了後の17時以降はアルコール類が提供されることもあってか訪れる人が一気に増え，出展メーカーとのみならず，会議の参加者どうしでも積極的に情報交換がなされていた。

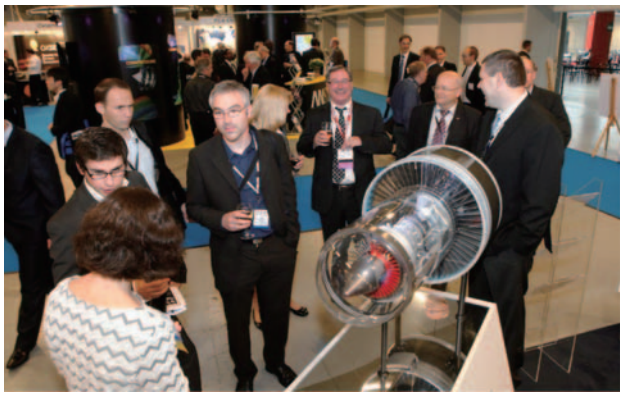
出展した企業・団体の数は，大小のブースを合わせて約100で例年と同程度，ガスタービンメーカーからの出展は少なく（GE,Pratt&Whitney），流体・構造解析のソフトウェアや計測機器，計装など研究開発者向けの企業が多いというのも例年と同様の傾向である。地域別に見ると，欧州が約50，北米（アメリカ，カナダ）が約40で全体の90%を占めている。残りは，ロシア：３，アジアでは韓国：１（韓国機械学会），中国：２，日本：２（アイコクアルファ，日本ガスタービン学会）となっている。出展者の詳細については，Turbo Expo 2012のホームページにリスト（Exhibitor Directory）が掲載されているので，そちらを参照されたい。

展示会場はセッション会場と同じフロア内にあり，少しでも時間ができればすぐに展示会場に移動することができて非常に便利であった。会場に入ってすぐのところには，ANSYSの派手なブースがあり，そこから会場奥へと延びるメイン通路にはPratt&WhitneyやGE，DRESSER-RANDなどの大きなブースが並ぶ。ブースのつくりも派手で，会場の中では圧倒的な存在感を放っていた。展示もエンジン模型やタービンの鋳造翼など少し大きめのものが並び，足を止める人が多くいた。その他のほとんどのメーカーは，３メートル四方の小さなブースで，担当者２名ほどで対応にあたっていた。中には，展示だけでなく論文も出してセッションで発表し，自社の技術を有効にアピールしているメーカーもあった。しかし，全体的には展示品も小さなサンプルを並べる程度のところが多く，パネルを設置しただけのところもあった。見学していても，積極的に話しかけてきて売り込むというところは少なく，全体的に地味な印象であった。

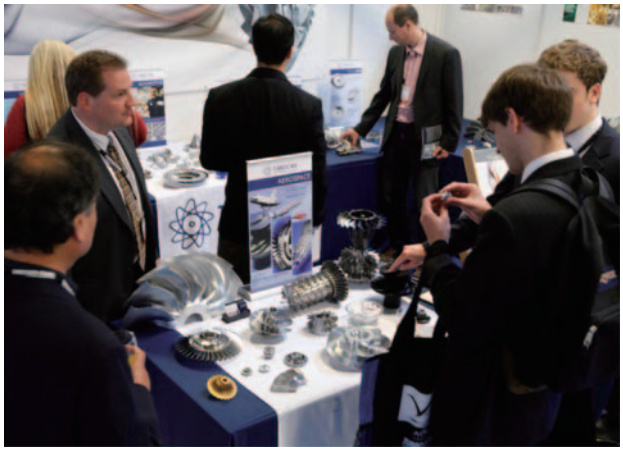
また，会場の一角にはステージが設けられ，ソフトウェア・メーカーを中心とする計12のメーカーが３日間にわたって各30分間のプレゼンを行っていた。会場内は展示の見学者が多く，落ち着いて聴講するという雰囲気ではなかったせいか，聴衆はそれほど多くなく，こちらも静かな雰囲気であった。



会場風景（ASME IGTI提供）



Pratt&Whitney社（同）



Turbocam International社（同）

原稿受付　2012年７月19日
＊１　川崎重工業㈱　ガスタービンビジネスセンター
ガスタービン開発部
〒673-8666　明石市川崎町１－１

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

ファンボローエアショー2012に参加して

藤岡　順三*1
FUJIOKA Junzo

横川　忠晴*1
Yokokawa Tadaharu

キーワード：ファンボローエアショー2012，物質・材料研究機構，航空機，ジェットエンジン

ファンボローエアショー（Farnborough International Airshow）はパリエアショーと交互に隔年開催され，今年も英国ロンドンより列車で45分の郊外にあるFarnborough Aerodomeで7月9日(月)～15日(日)に開催された。9日(月)～13日(金)が招待客を対象としたTrade Exhibition，14日(土)～15日(日)は一般客が参加するPublic Airshowで，来場者は20万9千人，この間フライトショー，約150の航空機野外展示，屋内各社展示，プレス発表が行われた。また，大手の航空機メーカー，エンジンメーカーなどは別途に約100のBusiness Chaletを設け，会期中に大きな商談が成立する。

1．フライトショー

民間航空機ではB787が初めてフライトショーに登場した。カタール航空にデリバリーされる787-8型（エンジンはGEnx）の「A7-BCB」で，赤紫のロゴを用いた様子はANAのブルーと違った色合いであった（図1）。また今回もAirbus社の2階建A380が連日飛行していた。これに戦闘機，練習機，輸送機，ヘリコプターが加わり，12～16機，3～6時間のフライトショーが毎日行なわれた。

図1　カタール航空のB787

2．我国の国産旅客機，MRJ（Mitsubishi Regional Jet）

三菱航空機㈱（MAC：Mitsubishi Aircraft Corporation）がプレス発表を行い，またシャーレーを設けてMRJの展示，宣伝を展開して大きな注目を集めた。三菱航空機とリージョナル運航で世界最大を誇る米スカイウェスト社が，MRJ100機の確定発注に向けて基本合意に至ったことが発表された。これまでのANAからの25機，米トランス・ステーツ・ホールディングス社（TSH）からの100機，ANI Group Holdingsからの5機の受注と，今回のスカイウェスト社と基本合意した受注が確定すると，MRJの合計受注機数は230機（確定170機，オプション60機）となる。

このニュースは現地で大きく報道され，会場で配られる雑誌のほとんどが7月12日発行の第一面で取り上げた。

3．屋内展示

Boeing, Airbus, P&W がシャーレーだけでブースがなかったことがなかったこと（昨年のパリエアショーでもBoeing，RR，P&Wはブースがなかった），いつもの日本のJAXAや宇部興産の出展がなかったことなど物足りないこともあったが，4つの建屋に39か国，1,506の展示があった。日本からは，日本航空宇宙工業会（SJAC）が取りまとめたブースに，MHI, KHI, IHI, Nabtesco, 日本飛行機，富士重工，三菱マテリアルが展示を行った。

3.1　航空機メーカーの展示

ロシア，中国の航空機のPRが今回も注目された。

ロシアの主要な民間機・軍用機メーカーを統合して2006年に作られた国有会社であるUnited Aircraft Corporationが，MRJに相当するSUKHOI Superjet 100とA320Neo, B737Max に対抗するIRKUT社の150人乗りMC-21の模型を展示していた。（図2）また，United Engine Corporationがそのエンジン（SaM146 for Superjet 100, PD-14 for MC-21）を展示していた。

中国はCOMAC（Commercial Aircraft Corporation

図2　United Aircraft社（ロシア）の航空機（Superjet 100, MC-21）模型

原稿受付　2012年8月10日
＊1　独立行政法人　物質・材料研究機構
〒305-0047　つくば市千現1－2－1

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

of China）がMRJに相当するARJ 21と150人乗りのC-919の模型を展示していた（図３）。

なお，エンジンは，MC-21は上記のPD-14とP&WのGTFであるPW1400Gを，C-919はCFM InternationalのLeapを採用する。

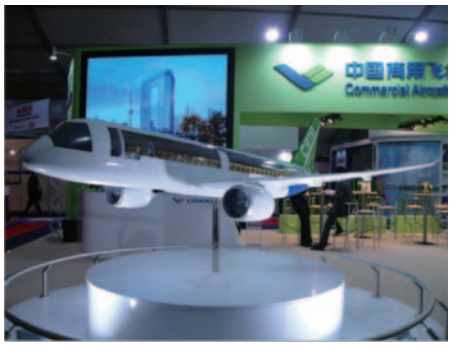


図３　COMAC（中国）の150人乗り航空機（C-919）模型

3.2　エンジンメーカーの展示

Rolls-Royce社が2012年１月にANAに納め国内試験飛行と運行にも用いられたTrent1000（ESN 10042）を展示した。また，Trent1000のPackage A, B, Cに続いてTrent1000-TEN（Thrust Efficiency New technology）を発表した。Trent1000-TEN は開発中のTrent XWBの技術を取り込み，78,000lbの推力はB787-8, -9, -10Xのすべてをカバーし，現在のTrent1000-Bよりも３％の効率向上を図るもので2016年前半に運航の予定である。GE社はエンジンテストに用いた開発試験用のGEnx，CF38などのエンジンを展示していた。Engine Alliance社はA380 用のGP7200エンジンを展示した。

次世代の150人乗りのA320neo, B737MaxそしてCOMACのC919用のエンジンとして，CFM International社とSafran社の両方のブースにLeapエンジンを展示し大きなPRを行った（図４）。

図４　CFM International社のLEAP

3.3　部品メーカー，材料メーカーの展示

CFM International社のLeapエンジンでは，重量低減と耐久性向上を目的として，セラミック複合材料（CMC：Ceramic Matrix Composite）を高圧タービンの１段シュラウドに用いる計画である。また，CMCを回転部品に使用することもロードマップに乗せられている。CMC部品は繊維，マトリックスともにSiCと思われ，Ni合金の1/3の重量で，より高温で使用できることによるコンプレッサーからの冷却空気量低減によってエンジン効率に寄与する。

γ－TiAlはCast&Machine法の低圧タービン翼がGEnxで実用化されているが，ATI 社（米）は粉末冶金法で，Avio社（伊）は粉末積層法（Additive manufacturing）でGEnx用低圧タービン翼の製造開発を行っておりその試作品を展示していた（図５）。また，Leistritz社（独）は鍛造法でP&WのPW1100エンジンの低圧タービン翼の開発を行っており，その試作品を展示していた。

図５ Avio社のTiAl翼の試作品，
（左）積層・焼結後，（右）機械仕上後

また，いくつかの新しい材料部品製造法が展示されていた。その中で，３次元炭素繊維織物に樹脂を充填してゆくRTM（Resin Transfer Molding）法と呼ばれるFRP製造法はLeapエンジンのファンブレード，ケーシングに用いられる。Blisk 製造法として，Linear Friction Welding は実用化が近いことを感じた。また，FRPの補修法，TiやTiAl部品の製造法としてのLaser Additive Manufacturing の展示があった。

4．終わりに

今年のファンボローの気候は晴れ・曇り・雨と変わる毎日であったが，日中は過ごしやすい温度で夜は長袖が必要なくらい涼しかった。フライトショーや航空機展示，航空機・エンジン産業を広くカバーする展示，報道からの情報収集，これらの見聞を通して航空宇宙産業全体の中でのジェットエンジンの現状・動向と将来展望を把握する機会を得ることができた。例えば，材料や部品加工技術ではCMCなどが実用化されつつあり，これらの技術は将来発電用ガスタービンにも普及してゆくものと考えられる。そして，三菱航空機㈱がMRJの大型受注を発表して大きな注目を集めるのを目の当りにして，日本に夢を与える事業の成功を願うとともに，国産の機体・エンジン開発の重要性を実感した。

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

報　告

第21回ガスタービン教育シンポジウム報告

澤　　徹
SAWA　TETSU

2012年７月５日㈭，６日㈮の２日間にわたり，「第21回ガスタービン教育シンポジウム」が東京都昭島市のＩＨＩ昭島事業所と近接するＩＨＩ瑞穂工場にて開催された。今年度は関東地区，関西地区それぞれで開催されるため，参加者数の減少が心配されたが，最終的には72名（学生23名，社会人49名）となり昨年度とほぼ同じ参加者数となった。

本シンポジウムは，主にガスタービンの初心者を対象に，ガスタービンの基礎知識を学んで頂く目的で，第一線で活躍されている各専門家による講義と，実際のガスタービンとその関連の製造及び研究開発施設等の見学を併せた企画であり，今回も１日目に講義２テーマと特別講義（ターボファンエンジン用複合材ファン部品の開発）及びＩＨＩ瑞穂工場の生産設備・試験設備見学と「ＩＨＩそらの未来館」の見学会を実施し，２日目に講義４テーマを実施した。

１日目は，集会行事委員会の山根理事による開会の挨拶の後，３テーマの講義，⑴ガスタービン概論（二村尚夫委員長），⑵ターボファンエンジン用複合材ファン部品の開発（盛田英夫氏），⑶ガスタービンと流体工学（濱崎浩志氏）の講義が行われた。その後，官学・ガスタービンユーザー企業参加者とメーカー企業参加者に別れ，生産設備・試験設備の見学と「ＩＨＩそらの未来館」の見学をそれぞれ行った。官学・ガスタービンユーザー企業参加者は，瑞穂工場内の生産設備として航空機用エンジン組立ラインと部品検査・メンテナンス工程ラインを，試験設備として最大推力４万ポンド級のジェットエンジン試験セルを，研究関連として技術開発センター展示室にて小型エコエンジンプロジェクトなどで開発された先進技術の見学をおこなった。一方，メーカー企業参加者はＩＨＩ航空機関係の各工場の概要ならびに研究内容のビデオ紹介があった後，ＩＨＩ昭島事業所内に併設されている「ＩＨＩそらの未来館」を見学した。館内には日本のガスタービン開発の歴史ならびにＩＨＩの生産，開発の歴史をたどるように航空機用や発電用のガスタービンの実物や模型が展示されており，本物の大型ジェットエンジンを前にして史料館案内者による詳細な説明があった。

設備見学終了後，同事業所内にある多目的ルームで懇親会が開催された。懇親会にはシンポジウム参加者の約８割の方が出席し，１日目の講師の先生方にも出席頂いた。会場の各所で官学および企業間の枠をこえた議論と相互交流がなされ，時間いっぱいまで有意義な時間を過ごすことができた。

２日目は，前日に引き続きガスタービン関連の４テーマの講義，⑷ガスタービンと伝熱工学（福山佳孝氏），⑸ガスタービンと燃焼工学（岩井保憲氏），⑹ガスタービンと材料工学（屋口正次氏），⑺ガスタービンと制御工学（古川洋之氏）が行われた。各講義はガスタービンの基礎ならびに最新の技術動向を専門家の立場から説明していただいたことから，受講者にとっても今後の研究・仕事などを進める上で多いに役立つ内容の濃い講義となっており，皆熱心に聴講していた。全講義終了後，２日間にわたる講義に参加者の修了の証として受講修了証が全員に手渡された。また，参加者に対し今後の当シンポジウムの運営及び教材に関するアンケートの提出に御協力頂いた。アンケート集計結果は次回以降の企画及び教材の改訂に反映する予定である。

本シンポジウムでは「ガスタービン技術継続教育教材作成委員会」で編集された書籍を教材として用い，その執筆者の先生方を中心に講師をお願いしている。今回の講義では教材の中の基礎編のみを扱ったが，教材には応用編や練習問題も含まれているので，参加された皆様にはこれらを有効に活用し，ガスタービンの知識を深めるのに役立てて頂ければ幸いである。

最後に，講義，資料等の作成・準備にご尽力して頂いた講師の先生方々に感謝すると共に，会場の提供，見学会及び懇親会についてご協力を頂いた株式会社ＩＨＩの関係者各位に深く感謝いたします。

（集会行事委員会委員）

講義風景

懇親会風景

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

報　告

2012年度第１回見学会報告

中村　友行
NAKAMURA Tomoyuki

本年度の第１回見学会が2012年７月13日㈮に神奈川県川崎市のかわさきエコ暮らし未来館（以下，未来館とする）及び同県横浜市の東京ガス㈱扇島工場に建設中であるTL22LNG地下タンク（以下，地下タンクとする）において，参加者30名で開催された。特に地下タンクについては，完成後はLNGが充填され内部の見学はできなくなるため，参加者の関心は高かったと思われた。

一行は12時に川崎駅で集合し，貸切バスで見学場所へ向けて移動した。最初の見学場所である未来館では，床一面に貼られた川崎市の航空写真（縮尺1/3,300）によって近隣の環境関連施設の配置状況等を確認したり，再生可能エネルギーなど環境学習に関する展示を見学することができた。中でも太陽光発電パネルや発電用風車のロータ部品が参加者の目を引いていた。

未来館を後にした一行は貸切バスに30分ほど乗車し，東京ガス㈱扇島工場に移動した。会議室での概況説明の後，展示ブースで液化天然ガス（LNG）が持つ性質について，目の前で行われる実験を見ながらの説明を受けた。その後，建設工事中の地下タンクに移動した。地下タンク内部への見学にあたっては，作業者のために組まれた工事用階段で屋根上に設置された足場に登り，そこから仮設された小型の作業用エレベータに６分ほど乗って地下タンク底部まで降りる必要があった。そのため，安全確保に貸し出されたヘルメット，安全帯を各自が装着しての行動となった。地下タンクの形状は円形筒型であり，内径はϕ72m，液深は61.7mであった。容量は25万KLであり，現状で世界最大容量のLNGタンクとのことであった。内部の工事の様子は，内壁のコンクリート打ちは完了し，マイナス162℃のLNGを保冷するための保冷・メンブレン工事にかかる状況であった。2013年に予定される完成時点では環境への配慮による覆土緑化が施され外観は円墳状となり，隣接する既設のタンクとともに首都圏にガスを供給する用途に使用されるとのことであった。見学の後，会議室に移動し質疑応答となった。予定の時間を大幅に超える活発な質疑応答がなされ，参加者も見学による知見を更に深めることができたようであった。質疑応答後，貸切バスで川崎駅にもどり解散となり，参加者に怪我もなく無事に全行程を終えることができた。

最後に建設中の地下タンクの見学という貴重な機会をいただいた東京ガス㈱，清水建設㈱の関係者の皆様，見学会に参加された皆様に心よりお礼申し上げます。

（集会行事委員会委員）

写真１　地下タンク（屋根上の足場からの外観）

写真２　会議室での質疑応答状況

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

会　告

▷入会者名簿◁

〔正会員〕

金澤　拓海(ＩＨＩ)　中山　智裕(ＩＨＩ)　松尾　明寛(ＩＨＩ)　村山　達也(ＩＨＩ)
加藤　祐司(出光興産)　土井　圭吾(出光興産)　三井　豊(出光興産)　坂本　龍三(出光興産)
太田　康弘(川崎重工業)　佐藤　康平(川崎重工業)　日比野　真也(川崎重工業)　堀　秀一郎(川崎重工業)
田中　優佑(三菱重工業)　西田　俊介(宇宙航空研究開発機構)　楠　至(エイ・エス・アイ総研)
長谷川　浩之(エッチ・ケー・エス)　石井　郁太郎(キグチテクニクス)　加納　龍也(キグチテクニクス)
木口　貴弘(キグチテクニクス)　角　拓美(キグチテクニクス)　武久　浩之(キグチテクニクス)
久保　智敬(ＪＦＥスチール)

〔学生会員〕

小山　敦史(大阪大学)　平林　佑太(大阪大学)　宮内　隆志(大阪大学)　道浦　涼介(大阪大学)
Wongphan Warot(大阪大学)　石井　孝樹(大阪大学)　柳井　雄太(大阪大学)　寺本　昌平(大阪大学)
吉浦　安太郎(法政大学)　大内　一平(大阪府立大学)　菊地　紀子(大阪府立大学)　安藤　秀幸(首都大学東京)
高橋　瞬(首都大学東京)　多田　洋史(首都大学東京)　本郷　悠(拓殖大学)　貞森　友章(東京大学)
田代　俊治(東京大学)　幅　大地(東京大学)　北川　和也(東京農工大学)　小西　孟(東京農工大学)
古田　小春(東京理科大学)　鎌形　桂太(東京理科大学)　富山　好子(東京理科大学)　中本　尚吾(東京理科大学)

〔学生会員から正会員〕

三鑰　善裕(新潟原動機)

〔賛助会員〕

住重フォージング

◯本会共催・協賛・行事◯

主催学協会	会合名	共催/協賛	開催日	会場	詳細問合せ先
日本流体力学会	第26回数値流体力学シンポジウム	協賛	2012/12/18-20	国立オリンピック記念青少年総合センター	日本流体力学会 TEL:03-3714-0427,FAX:03-3714-0434 URL:http://www.nagare.or.jp/

Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

2012年度シンポジウム開催のお知らせ

テーマ「先進ガスタービンシステムの技術開発状況」

2011年３月11日の東日本大震災以降，ガスタービンの役割は大きくなりつつあり，それと共に，さらなる高効率化への要求も高まりつつあります。本シンポジウムでは，ガスタービンを使った発電システムを対象に，さらなる高効率化に向けた先進的な技術について紹介いただくとともに，今後のガスタービンの研究開発の方向性について議論したいと思います。

１．日時：2012年10月２日㈫　13：00－16：15

２．場所：東京理科大学　九段校舎KS301教室
（地下鉄九段下駅下車徒歩１分，靖国神社正面，URL:http://www.tus.ac.jp/info/campus/kagurazaka.html）

３．内容：

⑴　13：00－13：05　開会挨拶

⑵　13：05－13：40 「先進発電サイクルにおけるガスタービンの役割」　　幸田　栄一　（(一財）電力中央研究所）
LNGコンバインドサイクルの熱効率はLHV基準で60%超を達成したが，現在も高温・高効率化のみならず，中小容量向け高効率ガスタービンサイクルや，極限まで熱効率向上を目指した燃料電池ハイブリッドサイクル，さらには自然エネルギーの活用を図ったサイクルなど，様々な先進ガスタービンサイクルの研究が進められている。本講演では，これらのサイクルの概要を紹介するとともに，それらのサイクルの実現に向けたガスタービン技術の役割について述べる。

⑶　13：40－14：15 「先進ガスタービンの技術開発（1700℃級GT）と実機適用（J形GT）」伊藤　栄作　（三菱重工業㈱）
経済産業省の補助事業として，我が国は1700℃級ガスタービンの技術開発に取り込んでいる。これまで，主に，燃焼器・タービン・圧縮機などのキーコンポーネントの先進技術開発を行ってきた。既に，これらの技術は，1600℃級J形ガスタービンに適用されており，同ガスタービンは2011年の試運転を経て，2012年８月時点で7000hr以上（2012年８月中旬）の運用実績がある。これに加えて，今年度より技術開発の項目を増やし技術開発に取り組んでいる。本シンポジウムでは，これまでの技術開発について，概要を報告する。

⑷　14：15－14：50 「高湿分空気利用ガスタービンシステムの開発」　　圓島　信也　（㈱日立製作所）
2008年から2011年にかけて進めてきた高湿分空気利用ガスタービンシステムの開発状況について報告する。具体的には，小容量３MW級システム検証機による高湿分空気利用ガスタービンのシステム全体成立性，起動時間等の運用性検証について，さらに，中容量ガスタービン実用化総合試験装置による，高圧，高湿分環境下でのガスタービン（圧縮機，燃焼器，タービン），吸気噴霧，増湿装置，再生熱交換器の相互作用確認について報告する。

⑸　14：50－15：25 「エクセルギー再生による熱効率向上を目指す次世代石炭ガス化発電技術の基礎研究」
鈴木　善三　（(独）産業技術総合研究所）
IGCCに代わる次世代石炭ガス化発電システムの基礎研究をNEDOプロジェクトとして実施した。プロセス排熱をガス化炉にリサイクルしエクセルギー再生を図ることで，熱効率を飛躍的に向上させることをその原理としている。実現のための重要技術課題として，エクセルギー再生を可能とする低温ガス化技術とこれを担保するための高濃度・高流束粒子循環技術，触媒ガス化技術，プロセス最適化，を主要サブテーマに選定し基礎研究を行った。本講演ではプロジェクトの概要と成果について講演する。

⑹　15：25－15：40　休憩
⑺　15：40－16：10　パネルディスカッション「今後の産業用ガスタービン技術開発の方向性について」
司会：幸田幸一（(一財）電力中央研究所）
パネリスト：伊藤栄作（三菱重工業㈱），圓島信也（㈱日立製作所）
鈴木善三（(独）産業技術総合研究所），壹岐典彦（(独）産業技術総合研究所）
⑻　16：10－16：15　閉会挨拶

（本シンポジウムの後16時30分から，「東日本大震災におけるガスタービン設備の信頼性の調査研究結果報告会」（参加無料）が開催されます。

４．定員：50名
５．参加費：会員3,150円，非会員5,250円，学生1,050円（消費税込）
６．申し込み方法：E-mailまたはファックスにて，お名前，ご所属，会員区別連絡先（E-mail等）を明記の上，
９月26日㈬までに日本ガスタービン学会事務局までご連絡ください。

公益社団法人日本ガスタービン学会　事務局
E-mail：gtsj-office@gtsj.org，Fax：03-3365-0387

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

調査研究委員会報告会開催のお知らせ
― 東日本大震災におけるガスタービン設備の信頼性の調査研究結果報告 ―

2011年３月11日午後に発生した東北地方太平洋沖地震により，東北から関東までの太平洋沿岸部を中心に，広域にわたり甚大な被害を受けました。この東日本大震災に対して，公益社団法人日本ガスタービン学会は調査研究委員会を設置し，ガスタービン関連施設の被害状況，復旧状況などについて調査し，調査結果を学会ホームページですでに公表しております。この度，報告書の内容について，下記のとおり，報告会を開催いたしますので，奮ってご参加ください。

記

１．日時：2012年10月２日㈫16：30－17：30

２．場所：東京理科大学　九段校舎KS301教室
（地下鉄九段下駅下車徒歩１分，靖国神社正面，
URL:http://www.tus.ac.jp/info/campus/kagurazaka.html）

＊　2012年度シンポジウムに引き続き，報告会を開催いたします。

３．講演：「東日本大震災におけるガスタービン設備の信頼性の調査研究」
講演者：　調査研究委員会幹事　　壹岐　典彦　（(独）産業技術総合研究所）

４．参加申込等：　入場無料。
事前登録は不要です。直接会場にお越しください。
なお，同会場で，16時15分までシンポジウムを開催しておりますので，報告会のみご参加の方は，16時20分以降にご入場ください。

５．その他：　第40回日本ガスタービン学会定期講演会（10月17日，18日　釧路市）においても，18日にご報告の機会を予定しております。

以上

◇◇

第41回ガスタービンセミナー開催のお知らせ

第41回ガスタービンセミナーを下記の通り開催いたします。

今回は，「ガスタービンの最新技術とCO_2削減を目指した技術動向・展望」をテーマとしています。

最前線で活躍されている方々のご講演を通して，発電用および航空用ガスタービンに関する最新技術動向を学ぶと共に，CO_2排出削減に関する最新技術，自然エネルギーの現状，展望についても知見を広める内容としました。

（詳細につきましては，11月号学会誌，ホームページ等で後日お知らせいたします）

１．日　　時：2013年１月24日㈭　09：30 ～ 17：20
25日㈮　09：30 ～ 17：30

２．場　　所：三菱重工横浜ビル33階
神奈川県横浜市西区みなとみらい３－３－１

３．テ　ー　マ：「ガスタービンの最新技術とCO_2削減を目指した技術動向・展望」

４．参加要領：11月号学会誌，当学会ホームページに掲載
（http://www.gtsj.org/）

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

会　告

第40回日本ガスタービン学会定期講演会(釧路)・見学会のお知らせ

第40回日本ガスタービン学会定期講演会・見学会を以下のように開催します。
多数のご参加をお待ちしております。

主　　催：公益社団法人 日本ガスタービン学会
協　　賛：協賛団体はガスタービン学会ウェブサイト（http://www.gtsj.org/）をご覧ください。
開 催 日：講演会　2012年10月17日㈬，18日㈭，見学会　2012年10月19日㈮

開催場所：釧路市観光国際交流センター　北海道釧路市幸町３－３
http://www.kushiro-kankou.or.jp/kkc/
㈳釧路観光協会　Tel：0154-31-1993

講 演 会：
・一般講演　：空力，燃焼,システム,伝熱，材料，蒸気タービン等
・オーガナイズド セッション：「噴霧と燃焼　－モデリングとシミュレーションの最前線－」
・パネルセッション　：「将来のエネルギー動向と需給システム（仮題)」
・特別セッション　：「東日本大震災におけるガスタービン設備の信頼性の調査研究結果」
・特別講演　：「釧路コールマインの事業活動と将来」 松本裕之氏（釧路コールマイン常務）

参加登録費（税込)：
・会員・登壇者　13,650円（ただし，学生は論文集有りで4,200円，論文集無しで1,050円）
・協賛会員　15,750円（ただし，学生は論文集有りで4,200円，論文集無しで1,050円）
・会員外　18,900円（ただし，学生は論文集有りで7,350円，論文集無しで4,200円）

懇親会：
・第１日目の講演会終了後，釧路全日空ホテルにて開催いたします。
住所：北海道釧路市錦町３－７，Tel：0154-31-4111，http://www.anahotelkushiro.jp/
懇親会参加費（税込）：3,150円
懇親会にて　学生優秀講演賞の表彰を行ないます。

見学会：
・日　時：10月19日㈮
・見学先：釧路コールマイン㈱（または旧太平洋炭礦炭鉱展示館)，日本製紙㈱，㈱道新総合印刷釧路工場等
・定　員：45名程度，先着順，講演会参加登録者に限ります。
・参加費（税込)：6,300円
・注意事項：見学会申込締切は10月４日㈭です。釧路コールマインの海底炭坑見学には人数制限があるため，２つの見学コースを設定いたします。参加者には事前に希望のコースをお伺いします。希望者が多数の場合は抽選となり，希望に添えない場合もございますのでご容赦願います。

参加申込方法：
学会HP（http://www.gtsj.org/）から登録されるか，本号掲載参加申込書に必要事項をご記入の上，学会事務局宛にお申込み下さい。参加登録は，受付の混乱を避けるため，事前登録をお願いします。講演者も参加登録をお願いします。

市民フォーラム：
10月16日㈫に釧路高専にて一般の方を対象とするフォーラムを開催します。ガスタービンの基礎やジェットエンジンの最新技術等について（独）宇宙航空研究開発機構　野崎理氏にご講演いただく予定です。参加は無料（事前登録が必要）です。詳細につきましては学会ウェブサイトに随時掲載します。

Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

第40回日本ガスタービン学会定期講演会・見学会（2012年10月17～19日）

参加申込書

公益社団法人　日本ガスタービン学会　行　FAX：03-3365-0387　　TEL：03-3365-0095

参加者の連絡先（複数人申し込まれる場合は，代表者の方の連絡先）

会社／大学等名称	
所在地	〒
TEL/FAX	
E-MAIL	

参加者名

フリガナ 氏　　名*1	所　　属	TEL/FAX E－MAIL	所属学会 (GTSJ会員番号)	会員資格 (正/学)	懇親会 (17日) (3,150円)	見学会*2 (19日) (6,300円)
					出席 欠席	参加 不参加
					出席 欠席	参加 不参加
					出席 欠席	参加 不参加
					出席 欠席	参加 不参加

＊1登壇者の方は氏名の後に○を記入してください。
論文集無し（学生のみ）の場合は，下記の参加登録費の金額に反映してください。
＊2見学会は，２つの見学コースがあります。参加希望の方は右欄に希望コースをご記入下さい。
詳細は学会ウェブページをご覧頂くか，学会にお問い合わせ下さい。

見学希望コース

【事務局への連絡事項】

払込方法（○印をつけてください）　参加登録料・参加費入金予定日　　月　　日(10月16日までにお払込みください)

1．銀行　（みずほ銀行　新宿西口支店　普通　1812298）
2．郵便振替　（00170－9－179578）
3．現金書留

送金金額　　円(内訳：参加登録費　　円　懇親会参加費　　円　見学会参加費　　円)

当日支払いは原則として受け付けません。（当日不参加の場合でも参加費はお支払いいただきます。）

＊請求書の発行について
1．要　宛名（　　）　2．不要

＊領収書の発行について
1．要　宛名（　　）　2．不要

Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

第40回日本ガスタービン学会定期講演会（釧路）プログラム（仮）　－ 第1日 －

2012年9月3日現在

（一般講演　講演時間15分　討論5分、＊印：登壇者、学：学生優秀講演賞の審査対象講演、連名者の所属が省略されている場合は後者と同じ）

A室

10:00 <<一般講演>> 空力1　座長：内田竜朗（東芝）

A-1　車両過給機用遠心圧縮機の低圧力比域におけるサージング特性に関する研究
＊田中隆太（IHI），山方章弘（IHI）

A-2　低レイノルズ数領域におけるタービン翼列数値解析
＊見上千尋，青塚瑞穂，山脇るり子（IHI），加藤進（VINAS），山本一臣，賀澤順一（JAXA），船崎健一（岩手大）

A-3　子午面粘性流れ解析による軸流タービン翼列流れの予測
＊古川雅人，山田和豊（九大），柴田貴範（日立）

A-4　羽根付ディフューザを有する遠心圧縮機の部分流量時における非定常挙動
＊後藤尚志（早大），水野敦仁，森田洋平（早大院），太田有，大田英輔（早大）

A-5　JAXAにおける小型エンジンを用いた研究
＊水野拓哉，賀澤順一，田頭剛，正木大作（JAXA）

11:40

12:40 <<一般講演>> 空力2　座長：平野孝典（拓大）

A-6　感圧塗料による振動翼表面非定常圧力計測の試み
＊木村泰徳（日立），渡辺紀徳，姫野武洋，井上智博，鵜沢聖治（東大）

A-7　周方向単一溝型ケーシングトリートメントが遷音速圧縮機性能に及ぼす影響
＊佐久間康典（東大院），渡辺紀徳，姫野武洋（東大），加藤大，周藤由香里（IHI）

A-8　CFDを用いた圧縮機動翼の翼振動応答解析
＊青塚瑞穂，加藤大（IHI），山本一臣，賀澤順一，野崎理（JAXA），堀口泰生（ASI総研）

A-9　産業用ガスタービン用高圧力比多段軸流圧縮機の開発
＊松岡右典，酒井祐輔，池口拓也，坂野好伸（川崎重工），吉浦健一郎（日本航空機エンジン協会）

A-10　吸気噴霧冷却を適用したガスタービン圧縮機の液滴蒸発流れ解析
＊川村康太，明連千尋，高橋康雄，柴田貴範（日立）

14:20

14:30 <<オーガナイズドセッション>>　座長：渡邊裕章（電中研）

「噴霧と燃焼　－モデリングとシミュレーションの最前線－」

○第1部　講演　講演時間25分　討論5分

講演1 気体噴射を付加した衝突微粒化促進方法の提案
＊井上智博，渡辺紀徳，姫野武洋，鵜沢聖治（東大）

講演2 詳細数値解析のアプローチによる噴霧形成および初期蒸発反応過程の解明
＊新城淳史（JAXA）

講演3 平均粒径および粒径分布が噴霧火炎構造に与える影響
＊林潤（阪大），泰中一樹（阪大院），中塚記章（阪大），森合秀樹（三菱重工），赤松史光（阪大）

講演4 乱流噴霧燃焼のラージ・エディ・シミュレーション
＊黒瀬良一（京都大学）、林雅人（京都大学院）、森合秀樹（三菱重工）、渡邊裕章（電中研）、小森悟（京都大学）

○第2部　総合討論　討論時間30分

17:00

17:10 （A室）
<<特別講演>>　座長：山本　武（JAXA）
釧路コールマインの事業活動と将来　松本裕之（釧路コールマイン常務）
18:10

B室

10:00 <<一般講演>> 空力・伝熱　座長：高橋康雄（日立）

B-1 学　可搬型ガスタービン発電機からの高温排熱の拡散性状に関する研究
＊有波裕貴，赤林伸一（新潟大学），石川真也（東北電力），坂口淳（新潟県立大）

B-2 学　翼端隙間を考慮した動静翼列における着氷シミュレーション
＊林亮輔（東理大院），鈴木正也（JAXA），山本誠（東理大），室岡武（IHI）

B-3 学　流体-構造連成法による多自由度翼列フラッターの数値解析
＊立石敦（東大院），渡辺紀徳，姫野武洋，井上智博（東大）

B-4 学　ガスタービン前縁フィルム冷却におけるインシデンスの効果
＊川端浩和，船崎健一，高橋大地，中田諒大（岩手大），大北洋治（IHI）

B-5 学　ジャイロミル型風車のピッチコントロールによる起動性能向上に関する研究
＊本郷悠（拓大院），平野孝典，藤本一郎（拓大）

11:40

12:40 <<一般講演>> 燃焼2　座長：斉藤圭司郎（三菱重工）

B-6 学　出力500W級プロパン燃料超小型ガスタービン用燃焼器における振動燃焼の抑制と排ガス特性
＊安部裕志（首都大院），桜井毅司，湯浅三郎（首都大）

B-7 学　UMGT用極超小型プロパン燃料燃焼器における排ガス特性
＊石崎恒平，小野洋平（首都大院），桜井毅司，湯浅三郎（首都大）

B-8 学　低NOxステージング燃焼器における燃焼振動の火炎自発光画像解析
＊金井洸太（早大院），立花繁，山本武，下平一雄，吉田征二，鈴木和雄（JAXA），佐藤哲也（早大）

B-9 学　低NOx予混合二段燃焼器の高温高圧場におけるPIV計測
＊吉浦安太郎（法政大院），松浦一哲，黒沢要治，山田秀志，下平一雄，山本武（JAXA），林茂（法政大）

14:20

14:30 <<一般講演>> サイクル・材料　座長：幸田栄一（電中研）

B-10 学　エクセルギー損失解析によるエンジンシステムの性能向上に関する研究
＊菊地紀子，金子憲一，辻川吉春（阪府大院）

B-11 学　常圧タービン（APT）を用いたバイオマスガス化ガスの高効率利用に関する研究
＊大内一平，金子憲一，辻川吉春（阪府大院）

B-12 学　バーチャルジェットエンジンの高精度化
＊秋山直輝（農工大院），福山佳孝（JAXA）

B-13 学　SiC/SiC複合材料部材表面に適用するための高温熱輻射反射機能耐環境コーティングの基本設計
＊山添正裕，香川豊，垣澤英樹（東大），北岡 諭（ファインセラミックスセンター）

15:50

16:00 <<一般講演>> 材料　座長：香川　豊（東大）

B-14 Ni基単結晶超合金部品のリサイクル法の開発
＊小林敏治，横川忠晴，原田広史，小泉裕，坂本正雄，大澤真人（物材研）

B-15 Ni基超合金Inconel Alloy 706のクリープおよびクリープ疲労特性に及ぼす環境およびショットピーニングの影響
＊吉岡洋明，齊藤大蔵，角谷利恵，石橋和利，伊藤勝康（東芝），小林大輔，伊藤明洋，宮部正道，鍵谷幸生（中電）

17:00

C室

<<一般講演>> 燃焼1　座長：山本　武（JAXA）

C-1　CO2回収型高効率IGCC用クローズドサイクルガスタービンの開発―排気循環・O2量論比燃焼ガスタービンの排気特性―
＊長谷川武治（電中研）

C-2　CO2回収型高効率IGCC用クローズドサイクルガスタービンの開発―第2報　排気循環ガスの分割供給による燃焼促進―
＊長谷川武治（電中研）

C-3　輻射を考慮した部分予混合燃焼のLarge-Eddy Simulation
＊西家隆行（数値フローデザイン），黒瀬良一（京大），渡邊裕章（電中研），張会来（数値フローデザイン），小森悟（京大）

C-4　軽質燃料対応用低NOx燃焼器の開発
＊鈴木伸寿，伊東正雄，岩井保憲，大友文雄，森澤優一，山下裕（東芝）

C-5　1700℃級ガスタービン排ガス再循環システムの燃焼器開発
＊田中優佑，野勢正和，中尾光宏，斉藤圭司郎，西田幸一，伊藤栄作，塚越敬三（三菱重工）

<<一般講演>> サイクル　座長：壹岐典彦（産総研）

C-6　CNT4002MN型ポンプ駆動用ガスタービン装置の開発
＊樽井真一（新潟原動機）

C-7　高湿分空気利用ガスタービンシステムの総合試験状況
＊武田拓也，荒木秀文，八木学，田川久人，小金沢知己，明連千尋（日立）

C-8　炭坑通気メタン（VAM）焚きガスタービン発電装置の開発
＊上村大助，合田真琴，山崎義弘，黒坂聡，堂浦康司（川崎重工）

C-9　超臨界CO2クローズドサイクルガスタービンの開発　－第五報　従来型ガスタービンとの複合サイクルの検討　－
＊蓮池宏，小川紀一郎（エネ総研），宇多村元昭（東工大）

C-10　高出力乾式ガスタービンシステムの評価
＊福山佳孝，藤原仁志（JAXA）

<<一般講演>> 蒸気タービン　座長：東部泰昌（川崎重工）

C-11　周期的後流の影響を受ける平板境界層の乱流計測に関する研究
＊小藪栄太郎，本間孝知，戸澤弘祥，見藤歩，蘇武栄治（苫小牧高専）

C-12　部分流入段閉止部周りにおける損失発生メカニズムに関する研究
＊笹尾泰洋（帝京大），高田真司，山本悟（東北大），田沼唯士（帝京大）

C-13　蒸気タービン最終段におけるノズルスタッキングの効果
＊小野英樹，妹尾茂樹，工藤健，村田健一（日立）

C-14　蒸気タービン長翼用高反動度型超音速タービン翼列の設計法
＊妹尾茂樹（日立）

<<一般講演>> 空力3　座長：太田　有（早大）

C-15　NACA0015翼前縁剥離流れに関する大型風洞試験
＊松田寿，田中元史（東芝）

C-16　プラズマアクチュエータによるタービン翼列負圧面側の剥離制御実験における主流速度の影響
＊松沼孝幸，瀬川武彦（産総研）

C-17　プラズマアクチュエータを用いた能動剥離制御システムの導電性ブレードへの適用技術
＊瀬川武彦，湯木泰親，前田茂，前田哲彦，阿部裕幸（産総研），小方聡（首都大），武川信也（PSI）

Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

会告

第40回日本ガスタービン学会定期講演会（釧路）プログラム（仮）　－ 第2日 －

（一般講演　講演時間15分　討論5分、＊印：登壇者、学：学生優秀講演賞の審査対象講演、連名者の所属が省略されている場合は後者と同じ）

時間	A室	B室	C室
9:30	<<一般講演>>　伝熱1　座長：仲俣千由紀（IHI）	<<一般講演>>　航空機用GT　座長：姫野武洋（東大）	<<一般講演>>　材料・TBC　座長：吉岡洋明（東芝）
	A-11　上流側パージ空気を伴う高圧タービン静翼エンドウォール上の熱流体特性 Wan Aizon（岩手大院），＊船崎健一（岩手大），三浦健光（岩手大院），田川久人，三好市朗（日立）	B-16　対向衝突噴流による流路内の混合現象 ＊長尾隆央，松野伸介（IHI），林光一（青山学院大）	C-18　ガスタービン翼のTBCを対象としたテラヘルツ波によるトップコート膜厚測定技術の開発 ＊福地哲生，布施則一，岡田満利，尾関高行，藤井智晴（電中研）水野麻弥，福永香（NICT）
	A-12　正方配列マルチ衝突噴流の熱伝達特性に及ぼす吹出形状の影響 ＊山根喜三郎（東理大院），山本誠，元祐昌廣，本阿弥眞治（東理大）	B-17　Mass Flow Liner に関する基礎研究 ＊和田恵（サイエンス・サービス），石井達哉（JAXA），川崎雄介，新宅啓志（電気通信大学），森本純平（キャンパスクリエイト）	C-19　ガスタービン翼のTBCを対象としたはく離の非破壊検出手法の開発 ＊藤井智晴，岡田満利，福地哲生，尾関高行（電中研），森田聡（関西電力）
	A-13　内部冷却リブと孔後方突起を有する平板膜冷却のロバスト最適化 ＊酒井英司，高橋俊彦（電中研）	B-18　レーザー誘起プラズマ分光分析（LIPS）による高圧燃焼ガスの局所当量比計測 ＊福本敦（早大院），吉田征二（JAXA），Laurent Zimmer（CNRS,Ecole Centrale Paris），立花繁，鈴木和雄（JAXA），佐藤哲也（早大）	C-20　ガスタービン翼のTBCを対象とした熱抵抗の非破壊評価法の開発 ＊尾関高行，藤井智晴，酒井英司，福地哲生，布施則一（電中研）
	A-14　Lattice(Matrix)冷却の数値的検討（第2報　流路傾斜角の影響） ＊葉狩智子，石田克彦（川崎重工）	B-19　高圧力比エンジン圧縮機の低回転における特性曲線の改善 ＊天沼光博，太田豊彦（ASI総研）	C-21　異なる制御モード下でのTBCシステムの熱機械疲労試験による損傷挙動の比較：危険な制御モードの推定 ＊北澤留弥（東大，現 JAXA），香川豊，垣澤英樹（東大），後藤健（JAXA）
10:50			
11:00	<<一般講演>>　伝熱2　座長：仲俣千由紀（IHI）	<<一般講演>>　航空機用・騒音　座長：姫野武洋（東大）	<<一般講演>>　材料　座長：藤井智晴（電中研）
	A-15　高湿分空気利用ガスタービンにおける高湿分冷却翼の冷却特性評価 ＊堀内康広，八木学，田川久人（日立）	B-20　実機エンジンを用いたジェット騒音低減デバイスの推力・騒音評価 ＊田中望，大石勉（IHI），石井達哉，生沼秀司（JAXA）	C-22　ガスタービン高温部品の損傷評価と寿命延伸技術開発 ＊伊藤勝康，斉藤大蔵，石川揚介（東芝）
	A-16　30MW級ガスタービンL30Aの動翼温度計測 ＊谷口智紀，篠田祐司，田中良造，笠正憲（川崎重工）	B-21　ノッチノズルのエンジン騒音試験 ＊石井達哉（JAXA），田中望，大石勉（IHI）	C-23　異なる二次方位を有する第一段高圧タービンブレードとして実機使用した単結晶Ni基超合金のγ’相の形態 ＊三浦信祐，近藤義宏（防衛大学校），茂木翔大（防衛大学校，現 航空自衛隊）
		B-22　クローミキサのエンジン騒音試験 ＊石井達哉（JAXA），中村聡（東理大院），生沼秀司，長井健一郎（JAXA）	C-24　SiC/SiC複合材料の損傷挙動のX線CTを利用したその場観察と破壊過程の解析 ＊香川　豊，垣澤英樹（東大），間宮崇貴幸(東大，現 島津製作所)，J.M. Yang（UCLA）
12:20			C-25　熱応力サイクルと機械応力複合環境下における単結晶合金の組織変 ＊山根敬（JAXA），青木亮太（東京農工大），福山佳孝（JAXA）
	昼休み（12:20～13:20）		
13:20	（A室） <<パネルセッション>>　座長：壹岐典彦（産総研） 将来のエネルギー動向と需給システム（仮題） 講演時間30分 講演1 我が国のエネルギー需給の現状（仮題）　赤井誠（東工大） 講演2 発電技術の動向（仮題）　幸田栄一（電中研） 講演3 メーカーにおけるエネルギー機器開発の動向（仮題）　小森豊明（三菱重工）		
15:20	討論　討論時間　30分		
15:30	（A室） <<特別セッション>>　座長：山本　武（JAXA） 調査研究委員会報告： 東日本大震災におけるガスタービン設備の信頼性の調査研究結果 調査研究委員会幹事　壹岐典彦（産総研）		
16:20			

Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

会　告

2012年度役員名簿

会長	佃　嘉章（三菱重工）
副会長	坂田　公夫（JAXA）
法人管理担当執行理事	幸田　栄一（電中研），六山　亮昌（三菱重工），山脇　栄道（ＩＨＩ），渡辺　紀徳（東大）
公益目的事業担当執行理事	畔津　昭彦（東海大），太田　有（早大），加藤　泰弘（日立），永井　勝史（川崎重工），二村　尚夫（JAXA），船崎　健一（岩手大），古谷　博秀（産総研），村田　章（東京農工大），山根　秀公（防衛省）
理事	高西　一光（関西電力），田沼　唯士（帝京大），寺本　進（東大），新関　良樹（東芝），宮原　忠人（エネルギーアドバンス）
監事	本阿弥眞治（東京理科大），吉田　豊明（JAXA）

2012年度委員名簿（順不同）

2012年８月６日現在

○は委員長

倫理規定委員会　○加藤　泰弘（日立），太田　有（早大），幸田　栄一（電中研），六山　亮昌（三菱重工），山脇　栄道（ＩＨＩ），渡辺　紀徳（東大），二村　尚夫（JAXA），山本　武（JAXA），伊藤　高根（前　日本ガスタービン学会事務局長）

自己点検委員会　○六山　亮昌（三菱重工），太田　有（早大），加藤　泰弘（日立），幸田　栄一（電中研），山脇　栄道（ＩＨＩ），渡辺　紀徳（東大），二村　尚夫（JAXA），山本　武（JAXA），伊藤　高根（前　日本ガスタービン学会事務局長）

運営委員会　○渡辺　紀徳（東大），伊藤　高根，太田　有（早大），笠原　公輔（ＩＨＩ），加藤　泰弘（日立），川上　龍太（東京電力），幸田　栄一（電中研），小森　豊明（三菱重工），酒井　義明（東芝），村田　章（東京農工大），山脇　栄道（ＩＨＩ）

企画委員会　○幸田　栄一（電中研），太田　有（早大），加藤　泰弘（日立），六山　亮昌（三菱重工），山脇　栄道（ＩＨＩ），渡辺　紀徳（東大）

国際委員会　○中村　良也（アイ・エヌ・シー・エンジニアリング），石田　克彦（川崎重工），太田　有（早大），岡井　敬一（JAXA），小森　豊明（三菱重工），廣光　永兆（ＩＨＩ），福田　雅文（物材研），藤綱　義行（ESPR），船崎　健一（岩手大），松田　寿（東芝），三好　市朗（日立），山根　敬（JAXA），山本　誠（東京理科大），渡辺　紀徳（東大）

学術講演会委員会　○山本　武（JAXA），壹岐　典彦（産総研），内田　竜朗（東芝），太田　有（早大），斉藤圭司郎（三菱重工），高橋　康雄（日立），武田　淳一郎（富士電機），東部　泰昌（川崎重工），仲俣千由紀（ＩＨＩ），姫野　武洋（東大），平野　孝典（拓殖大），渡邊　裕章（電中研）

集会行事委員会　○二村　尚夫（JAXA），岡　芳彦（三井造船），加藤　泰弘（日立），木村　武清（川崎重工），酒井　英司（電中研），澤　徹（東芝），谷光　玄行（ＩＨＩ），仲村　晋（ＪＡＬエンジニアリング），中村　友行（防衛省），西村　英彦（三菱重工），古谷　博秀（産総研），松沼　孝幸（産総研），藤井　達（日立），水野　拓哉（JAXA），山形　通史（富士電機），山根　秀公（防衛省），山本　誠（東京理科大），吉田　英生（京大）

ガスタービン技術普及委員会　○山根　秀公（防衛省），秋山　陵（日立），伊藤　栄作（三菱重工），賀澤　順一（JAXA），木村　武清（川崎重工），齊藤　大蔵（東芝），仲村　晋（ＪＡＬエンジニアリング），福山　佳孝（JAXA），古川　洋之（ＩＨＩ），宮原　忠人（エネルギーアドバンス），村田　章（東京農工大），屋口　正次（電中研），山本　誠（東京理科大），渡辺　紀徳（東大）

学会誌編集委員会　○船崎　健一（岩手大），荒木　秀文（日立），壹岐　典彦（産総研），刑部　真弘（東京海洋大），柏原　宏行（川崎重工），加藤　千幸（東大），川上　龍太（東京電力），岸根　崇（三菱重工），櫻井　一郎，佐藤　哲也（早大），鈴木　伸寿（東芝），鈴木　康文（防衛省），田沼　唯士（帝京大），辻田　星歩（法大），寺澤　秀彰（東京ガス），寺本　進（東大），中野　健（ＩＨＩ），新関　良樹（東芝），服部　学明（三井造船），早田　陽一（ダイハツ），北條　正弘（JAXA），三鴨　正幸（中部電力），山下　一憲（荏原），吉野　展永（ＩＨＩ），渡辺　和徳（電中研）

英文論文集編集委員会　○渡辺　紀徳（東大），山根　敬（JAXA），壹岐　典彦（産総研），石田　克彦（川崎重工），太田　有（早大），加藤　大（ＩＨＩ），幸田　栄一（電中研），柴田　貴範（日立），鈴木　康文（防衛省），田頭　剛（JAXA），姫野　武洋（東大），船崎　健一（岩手大），山本　武（JAXA），山本　誠（東京理科大），吉岡　洋明（東芝）

ガスタービン統計作成委員会　○永井　勝史（川崎重工），山上　展由（三菱重工），井出　琢磨（ＩＨＩ），荒木　伸二（日立），米田　幸人（ヤンマー），澤　徹（東芝），恵比寿　幹（三菱重工），原田　純（川崎重工），野村　藤樹（ターボシステムズユナイテッド）

産官学連携委員会　○渡辺　紀徳（東大），赤城　正弘（防衛省），壹岐　典彦（産総研），石井　潤治（東芝），岡崎　正和（長岡技術科学大），幸田　栄一（電中研），永留　世一（川崎重工），西澤　敏雄（JAXA），幡宮　重雄（日立），福泉　靖史（三菱重工），藤岡　順三（物材研），船崎　健一（岩手大），古川　雅人（九大），本阿弥眞治（東京理科大），満岡　次郎（ＩＨＩ），吉田　英生（京大）

広報委員会　○杉本　隆雄（兵庫県立大），村田　章（東京農工大），船崎　健一（岩手大），寺本　進（東大），姫野　武洋（東大），東部　泰昌（川崎重工），松沼　孝幸（産総研），山根　敬（JAXA）

表彰委員会　○坂田　公夫（SKYエアロスペース研究所），太田　有（早大），加藤　泰弘（日立），二村　尚夫（JAXA），船崎　健一（岩手大），村田　章（東京農工大），渡辺　紀徳（東大）

財政健全化委員会　○坂田　公夫（SKYエアロスペース研究所），山脇　栄道（ＩＨＩ），渡辺　紀徳（東大），幸田　栄一（電中研），六山　亮昌（三菱重工），鈴木　健（ＩＨＩ）

創立40周年記念事業実行委員会　○筒井　康賢（高知工科大），太田　有（早大），幸田　栄一（電中研），福山　佳孝（JAXA），二村　尚夫（JAXA），船崎　健一（岩手大），山本　誠（東京理科大），渡辺　紀徳（東大）

ACGT2012実行委員会　山根　敬（JAXA），福田　雅文（物材研），船崎　健一（岩手大），松田　寿（東芝），山本　誠（東京理科大），渡辺　紀徳（東大）

調査研究委員会　○濱　純（産総研），壹岐　典彦（産総研），岸部　忠晴（日立），小森　豊明（三菱重工），辻田　星歩（法大），永井　勝史（川崎重工），満岡　次郎（ＩＨＩ），山本　悟（東北大）

Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

編集後記

オリンピックイヤーということで，暑い夏が更に暑くなったようなこの夏でしたが，会員の皆様はどのようにお過ごしになられたでしょうか。さて，本号を無事お届けでき，編集人としてまずはほっとしております。本号は内容的にも編集方法としても今までにないものになっているからです。

まずは，編集方法ですが，従来は，各号の編集責任者及び編集グループが企画を立案し原稿を取りまとめさらに校正作業にあたりますが，本号は編集委員長持ち込み企画ということで，今期の委員長である私（船﨑）が全てを担当しております。

また，企画の内容ですが，ガスタービンやその関連分野で活躍されている「理系女子（リケジョ）」をいろいろな企業，研究機関から推薦していただき，理系を選んだ理由や現在の所属先を選んだ理由などの他に，ワークライフバランスなど，昨今関心を集めている話題にも触れていただきました。また，巻頭記事として，大島まり先生に理工系分野における女性研究者・技術者の現状や製造業での女性活用の促進などについて執筆していただき，ガスタービンの世界にもなでしこパワーを吹かせましょう，とエールを頂戴しました。さらに，現役女子学生から見た工学や女子高校生の工学への関心を高める活動である「工学ガールズ」について執筆していただきました。いずれも大変読み応えのある内容の原稿となっており，これからこの分野に進もうとしている女子学生や，女性技術者，研究者がお勤めの企業等の方々に大変参考になる情報満載の号となっております。編集に携わった私自身，この企画に十分な手応えを感じた次第です。読後の感想を是非学会へお送り頂ければ幸いです。

本号では，二つの見聞録を掲載しております。一つはコペンハーゲンで行われたASME TURBO EXPO，もう一つはファンボロー国際航空ショーに関するものです。毎年恒例のビッグイベントですが，読者の皆様の関心も高い分野でもあり，非常に有益で重要な情報が記載されております。

オリンピックの話に戻りますが，柔道の不振は競技の国際化に遅れたから，との解説を耳にします。ガスタービンはまさに世界を相手にする産業であり，それを支えるすべてのセクターが国際化へ適切に対応して行かなければなりません。その意味で，工学教育面の刷新と女性の理系（工学）分野への更なる進出の促進はまったなしの状況と言っても過言ではないでしょう。本号が今後の議論の契機になることを念じております。

（船﨑健一）

（表紙写真）
今回の表紙については【論説・解説】【見聞記】の各著者より流用しております。
詳細については、各記事をご参照ください。

・岩手大学“工学GIRLS”の取り組み ……（P.192 ～ 193）
・2012年ASME国際ガスタービン会議　1. 全般 ……（P.228）
・ファンボローエアショー 2012に参加して ……（P.243）

☘事務局だより✉☘

夕方になると虫の音が聴こえてくるようになりましたが，残暑はまだまだ続いております。テレビの情報によると，夏バテは目から入ってくる紫外線によるところが大きいそうで，今年の夏は，日傘，サングラス，水筒の３点セット必携の通勤となりました。その上，近眼と老眼のめがねもかばんに入っていますので，荷物は重くなり，肩は凝るわ，歩くのは遅くなるわ，と冴えない姿で街を歩いております。

さて，８月にはアジアガスタービン会議が無事に終了しました。引き続いて９月，10月は行事が目白押しです。本号がお手元に届くころには終わっていますが，９月中旬には，今年２回目の教育シンポジウムが関西（明石）で開催されます。また，10月には，シンポジウム，その後，釧路で定期講演会と続きます。東京でのシンポジウムと釧路での定期講演会では，調査研究委員会でまとめられた「東日本大震災におけるガスタービン設備の信頼性の調査研究結果」の報告会が併催されます。いずれも盛りだくさんの企画となっていますので，是非ご参加ください。

事務局では次々に開催される行事の準備に追われています。限られた時間と人数での対応ですので，効率的に仕事をこなさなければとあせるのですが，反面，細かいことが気になってきます。結局は，細やかな準備対応が当日のスムーズな運営につながるのだと言い聞かせ，あせらずじっくり仕事にとりかかっております。

（中村）

Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

学会誌編集規定

2003.8.29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
情報記事欄	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程を定める。

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．学会誌に掲載された著作物の著作権は原則として学会に帰属する。
　但し，著作者自身または著作者が帰属する法人等が，自ら書いた記事・論文等の全文または一部を転載，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の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。

８．著作者は，学会または学会からの使用許諾を受けた者に対し著作者人格権を行使しない。

９．本会発行の著作物に掲載された記事，論文などの著作物について，著作権侵害者，名誉毀損，またはその他の紛争が生じた場合，当該著作物の著作者自身又は著作者の帰属する法人等を当事者とする。

付記1．原稿送付先および原稿執筆要領請求先
ニッセイエブロ㈱ 制作部 ガスタービン学会誌担当
〒105-0004 東京都港区新橋5-20-4
Tel. 03-5733-5158 Fax. 03-5733-5164
E-mail：eblo_h3@eblo.co.jp

技術論文投稿規定

2010.8.27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。
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16,000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.40 No.5 2012.9
発行日 2012年９月20日
発行所 公益社団法人日本ガスタービン学会
編集者 船﨑 健一
発行者 佃 嘉章
〒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
銀行振込 みずほ銀行 新宿西口支店
㈱ 1703707
印刷所 ニッセイエブロ㈱
〒105-0004 東京都港区新橋5-20-4
Tel. 03-5733-5158 Fax. 03-5733-5164

©2012，公益社団法人日本ガスタービン学会

複写をご希望の方へ
本学会は，本誌掲載著作物の複写に関する権利を一般社団法人学術著作権協会に委託しております。
本誌に掲載された著作物の複写をご希望の方は，一般社団法人学術著作権協会より許諾を受けて下さい。但し，企業等法人による社内利用目的の複写については，当該企業等法人が公益社団法人日本複写権センター（一般社団法人学術著作権協会が社内利用目的複写に関する権利を再委託している団体）と包括複写許諾契約を締結している場合にあっては，その必要はございません（社外頒布目的の複写については，許諾が必要です）。

権利委託先 一般社団法人 学術著作権協会
〒107-0052 東京都港区赤坂９－６－41 乃木坂ビル３F
FAX：03-3457-5619 E-mail：info@jaacc.jp

複写以外の許諾（著作物の引用，転載，翻訳等）に関しては，㈳学術著作権協会に委託致しておりません。直接，本学会へお問い合わせください。

Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.