

特集：ガスタービンに関わる国内外の学術会議等

特集号「ガスタービンに関わる国内外の学術会議等」によせて

佐藤 幹夫^{*1}
SATO Mikio

キーワード：ガスタービン，国内会議，国際会議，セミナー，講演会

Gas Turbine, Domestic Conference, International Conference, Seminar, Lecture Meeting

あけましておめでとうございます。

今回の特集では「ガスタービンに関わる国内外の学術会議等」と題して、今日、ガスタービンやジェットエンジンに関わる、さまざまな国内外の学術会議、セミナー、講演会について広く全体を俯瞰し、体系的に整理してその歴史や成り立ち、特徴、参加するメリットなどを解説することで、会員各位の情報収集や技術交流等への参考に資することを目的としています。

本特集では、主要な国際会議としてASME Turbo Expo, AIAA Propulsion & Energy, ISABE Conference, IGTC (ETN主催), AJCPP, ISAIF, ICOPE, Power-GEN International, AICFMなどが紹介されています。米国機械学会が主催するASME Turbo Expoは質・量ともに世界一の規模を誇る、発電用、航空用、船用などガスタービン技術を網羅する国際会議です。発電用ガスタービンに関する会議としては、米国PennWell社が主催する世界最大規模の火力発電技術の国際会議であるPower-GEN Internationalや日本機械学会動エネ部門が主催するICOPEなどがあります。また、航空用エンジンに関する国際会議として、米国航空宇宙学会が主催するAIAA Propulsion & EnergyやInternational Society for Air Breathing Enginesが主催する空気吸込み方式の航空機用原動機に関する技術討議、情報交換を行う場としてのISABE Conferenceなどが紹介されています。

また、国内のガスタービン技術に関する定期講演会やシンポジウムとして、日本機械学会動エネ部門主催の「動力・エネルギー技術シンポジウム」、火力原子力発電技術協会主催の「火力原子力発電大会」、「日本機械学会年次大会」が紹介されています。その他にもガスタービン技術に関連するトピックスを扱う不定期な講演会も数多く開催されています。

ガスタービンは、流体、伝熱、燃焼、計算力学、機械力学、材料、設計、システム、制御、計測などなど非常に幅広い学術・工学分野から成り立つ総合技術です。それゆえ、広く機械工学に関する学術会議、セミナー、講演会などのほとんどがガスタービン技術に係る課題を扱っていると言っても過言ではないと思います。その

ような観点から、本特集でも、技術分野別の主要な国内会議も取り上げられています。

国内外の学術会議、セミナー、講演会などに参加する目的はさまざまだと思います。新規性のある学術的成果の発表、自社技術のアピール、関連する研究者との会議外も含めた意見交換、最新の技術情報の収集などなど。参加される方は、それぞれの目的に最も適した効果的な場を選定されていると思います。

ガスタービン技術に携わる者にとって、ガスタービンに直接関係する学術講演会などだけではなく、エネルギーや環境などに関する講演会などへの参加による情報収集も重要だと思います。例えば、石炭、石油、天然ガスなどの一次エネルギー資源や地球環境問題などに関わる世界的な動向は、ガスタービンにも影響を及ぼします。米国のシェールガス革命によるガス価格の低廉化とKWh当たりのCO₂排出原単位の低さから、米国内の老朽化した石炭火力の代替としてガスタービン発電設備の導入が進んでいます。また、ドイツでは固定価格買取制度（FIT）の導入などにより、太陽光、風力などの再生可能エネ発電の導入が急速に進んでいます。ドイツの2013年の総発電電力量約630TWhの内訳は、再生可能エネルギー24%（バイオマス7%、水力3%、太陽光5%、風力8%、他1%）、原子力15%、石炭46%（亜炭26%、褐炭20%）、天然ガス10%、その他5%となっています。再生可能エネ発電の急激な増加により、電気料金の高騰や電力システムの安定性確保、出力が不安定な再生可能エネ発電への対応として従来火力プラントの起動停止時間の短縮や負荷変化速度の一層の向上などの課題への対応が求められています。電力卸価格の急激な低下はMerit Orderの形で高効率なガスタービンC.C.の設備稼働率の大幅な低下をもたらしています。このようにガスタービンを取り巻く諸情勢に関する情報を掴んでおくこともガスタービン技術に携わる者にとって重要でしょう。

本年（2015年）11月15～20日に本学会が主催するIGTC2015 Tokyo（International Gas Turbine Congress 2015 Tokyo）が虎ノ門ヒルズ（東京）で開催される予定です。研究成果の発表、情報収集、意見交換、自社技術のアピールなどの場として多くの方々のご参加を期待しております。

原稿受付 2014年11月17日

*1 （一財）電力中央研究所

〒240-0196 横須賀市長坂2-6-1

特集：ガスタービンに関わる国内外の学術会議等

ガスタービン・ジェットエンジンに関する 主要な国内学術会議等の俯瞰と整理

船崎 健一^{*1}
FUNAZAKI Ken-ichi

藤井 智晴^{*2}
FUJII Tomoharu

高橋 俊彦^{*2}
TAKAHASHI Toshihiko

長谷川 武治^{*2}
HASEGAWA Takeharu

岡田 満利^{*2}
OKADA Mitsutoshi

森田 聡^{*3}
MORITA Akira

キーワード：ガスタービン，ジェットエンジン，国内学術会議
Gas Turbine, Jet Engine, Domestic Science Council

1. 緒言

ガスタービン・ジェットエンジンは機械工学の粋とも言える工業製品であり，それに関する国内の学術会議を拾い上げれば数限りがないが，流体，伝熱，燃焼，材料関係の会議等でガスタービン関連技術等が扱われるものを以下に紹介する。

なお，日本ガスタービン学会（GTSJ）主催の定期講演会やガスタービンセミナー等の行事については，学術講演会委員会と集会行事委員会による取りまとめ記事にて紹介していることから，本稿ではGTSJ以外が主催する国内学術会議や講演会・セミナー等について紹介する。

2. ガスタービン・ジェットエンジンの主要な国内会議

2.1 動力・エネルギー技術シンポジウム（藤井 智晴^{*2}）

本会議は，一般社団法人日本機械学会（以下，JSME）の動力エネルギーシステム部門が主催し，毎年6月頃に開催される。開催期間は通常2日間であり，6会場程度を使用して，動力・エネルギー分野のオーガナイズドセッション，特別講演，海外からの招待講演などが行われる。2014年度は19回目の開催となり，137件の発表が行われた。動力・エネルギーシステム全般が対象となっているため，ガスタービンに関わる発表は決して多くはない。例年，オーガナイズドセッションのうち，「高効率発電システム」，「保全・設備診断技術」においてガスタービンを利用した新システムや保守，材料等に関する発表が数件行われている。また，優れた講演を行った26歳未満の若手講演者に対して，若手優秀講演フェロー賞

が授与され，表彰されている。

2.2 火力原子力発電大会（藤井 智晴^{*2}）

本会議は，一般社団法人火力原子力発電技術協会（以下，火原協）が主催し，毎年10月頃に開催される。2013年度までは2日講演，1日見学会のスケジュールで開催されていたが，2014年度から講演会が1日に短縮された。全体で4会場程度で実施され，そのうち2～3会場で火力発電に関する口頭発表やポスター発表が行われている。2014年度は，全体の発表件数が65件であり，ガスタービンの開発，建設，運用，保守，材料に関する発表が5件あった。会議体の名称の通り，火力原子力発電に関わる技術全般を対象としており，ガスタービンが中心ではないが，他の学会等ではあまり発表されないガスタービンの建設，運用，保守に関する成果が発表されている。口頭発表した講演は，翌年の2月頃に発刊される火力原子力発電大会論文集（CD）に掲載される。また，優秀な論文に対しては，論文賞が授与される。なお，本会議は見学会のコースが充実していることが特徴であり，ガスタービンプラントが見学対象となる場合もある。

2.3 日本機械学会年次大会（藤井 智晴^{*2}）

本会議は，JSMEが主催し，毎年9月頃に開催される。開催期間は通常4日間であり，そのうち1日は一般市民向けの市民フォーラムに充てられている。30会場程度を使用して，機械工学全般に関する様々なセッションが設けられ，発表件数は1000件を超える。また，特別講演，各セッションでの基調講演，先端技術フォーラム，ワークショップ，女性技術者向け企画，見学会，学生交流会が行われる。セッションとしては，動力・エネルギーシステムに関する高効率発電などで，ガスタービンに関わる発表がなされている。また，3章で示す個別の技術のセッションにおいては，ガスタービンに関連する伝熱，

原稿受付 2014年11月17日

*1 岩手大学工学部

〒020-8551 盛岡市上田4-3-5

*2 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

*3 一般財団法人電力中央研究所 材料科学研究所

〒240-0196 横須賀市長坂2-6-1

流体、燃焼、材料に特化した発表も行われている。国内最大級の学術会議であり、ガスタービンやジェットエンジンそのものに関連する幅広い分野での研究成果が発表されている。

2.4 学協会主催講演会等（藤井 智晴*2）

定期的な学術会議以外にも、学協会が主催する講演会が不定期に開催されている。前述のJSMEや火原協が主催する講演会では、ガスタービンが対象となるものも含まれる。JSMEが主催する講演会の場合、各支部および各部門で年数回ガスタービンに関する内容は、毎年数件程度である。また、火原協が主催する講演会の場合、火力原子力発電に関わる技術全般が対象となるため、ガスタービンが中心とはならないが、ガスタービンの運用、保守等に関する内容が多数行われている。これらの講習会に参加することによって、運用や保守に関する幅広い知識を習得できる。また、合わせて開催される見学会において、ガスタービンプラントの見学が可能である。

2.5 セミナー企画会社による講習会（藤井 智晴*2）

セミナー企画会社が主催する、ガスタービンに関する有料のセミナーや講習会が、年に数回開催されている。セミナーによって参加費は違うが、3～5万円程度が相場のようなものである。講師は、ガスタービンメーカーの技術者（現職またはOB）や研究所の研究者が務め、設備の保守技術やLNG複合発電の最新技術に関するセミナーが行われている。内容としては、開発動向、余寿命評価技術、トラブル事例やその対策に関する紹介が多い。このようなセミナーに参加することで、短時間で保守のポイントを把握する事ができる。また、ガスタービンメーカーの技術者や同業者間での面識ができる機会となる。

2.6 ジェットエンジン関係の会議（船崎 健一*1）

国内におけるジェットエンジン関係の主要会議としては、日本航空宇宙学会（JSASS）の原動機推進部門が主催する会議が挙げられる。会議の名称は、国内単独開催の場合には航空原動機・宇宙推進講演会、国際会議として開催される場合にはAsian Joint Conference on Propulsion and Power（AJCPP）である。詳細については、国際会議に関する記事に詳しい。

3. 技術分野別の主要な国内会議等

2章では、ガスタービンやジェットエンジン全体をとらえて取り扱う会議体等をリストアップしたが、ガスタービンは様々な技術の集合体であり、個々の要素でそれぞれ専門的な議論ができる会議体が存在する。本章では、流体、伝熱、燃焼、材料を切り口に、各分野の主要な会議体についてとりまとめる。

3.1 流体関連（高橋 俊彦*2，船崎健一*1）

(1)ターボ機械協会講演会

本会議は、一般社団法人ターボ機械協会が主催し、毎年5月頃に総会講演会、9月～10月頃に地方開催講演会として、年に2回開催されている。ターボ機械協会は、ターボ機械技術および周辺技術に関連する各分野の研究・設計・製作・使用に従事する技術者に対する、研究の活発化と技術の向上、および産官学の交流と連携をはかることを目的として、1973年に設立されている。総会講演会は1日で行われ、今年度の第71回総会講演会は、発表件数は27件に加え特別講演が行われた。また、地方開催においては、講演会1日と見学会1日が設けられ、今年度の第72回大分講演会は、発表件数58件に加えて特別講演が行われた。あらゆるターボ機械が対象となるため、必ずしもガスタービンやジェットエンジンに関するものは多くないが、ファン、圧縮機、タービンにおける空力技術、空力弾性技術などについての研究成果が報告されている。

(2)日本流体力学会年会

一般社団法人日本流体力学会は、前身である流体力学懇談会が1968年に設立され、1982年に同会を改組し、「日本流体力学会」に名称が改められた。本会は、毎年8月～9月頃に年1回開催されている。通常は3日間にわたり行われ、2014年度の発表件数はおよそ260件であった。そこには、論文賞等の受賞記念講演や特別講演も含まれる。ガスタービンとの関連に関しては、流体機械のセッション等において、タービン、圧縮機に関する流れを中心とした研究成果について、毎回数件の研究成果が報告されている。

(3)日本機械学会流体工学部門講演会

本会議はJSMEの流体工学部門が主催する講演会であり、毎年10月～11月頃に年1回開催されている。通常は2日間開催され、2014年度第92期講演会では、32のセッションでおよそ280件の発表が行われた。ガスタービンとの関連においては、主に流体機械に関するセッションにおいて、タービン、圧縮機、ファンの空力に関する研究成果が発表されている。本会の講演論文集は、近年USBメモリで配布されるようになった。また、応募した講演者に対して、若手優秀講演フェロー賞および流体工学部門優秀講演表彰が設けられている。

(4)数値流体力学シンポジウム

本会議は、前出の一般社団法人日本流体力学会が主催し、毎年12月頃に年1回開催されている。1987年に文部省科学研究費補助金重点領域研究「数値流体力学」の実行グループによって企画され、同グループを主催者として同年12月に第1回が開催されている。重点領域研究終了後の1990年以降は数値流体力学シンポジウム組織委員会、1992年以降は同年に設立された日本数値流体力学会、日本流体力学会と日本数値流体力学会が合流した2002年以降は日本流体力学会が主催して現在に至っている。

る。通常は2日間にわたり行われ、2013年度の発表件数は、特別講演を含め255件であった。ガスタービンとの関わりとしては、タービンや圧縮機に関するCFD解析が報告されている。数値解析に特化されている特徴として、応募されたCFDによる画像に対して、ベストCFDグラフィックスアワードが設けられている。

(5)翼列研究会

翼列研究会は、今年度で27回目となる研究会である（担当：東京理科大学）。主催団体が存在しないインフォーマルな研究会であり、文字通り翼列に関する空力、伝熱、エアロメカなどを扱う。非定常翼列に関する日本機械学会研究分科会が研究会の発端であり、研究分科会の委員長や幹事など主要委員であった東北大学教授（当時）西山哲男先生、東大教授（当時）谷田好通先生他の方を中心に、分科会での活動を発展的に研究会として継続することを目的として1987年3月に開催された。発足当時は、日本機械学会総会（現在の年次大会）の開催日（4月初め頃）の前日に行われていたが、総会が年次大会に移行したのを契機に開催時期を定めず随時開催することになったが、数年前に秋開催が定着し現在に至っている。主に首都圏の大学・研究機関（IHNAL、現在のJAXA）、企業などが交互に主催団体となるのが通例となっているが、関西での開催もあった（三菱重工など）。

(6)流体力学講演会／航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム

この講演会は、日本航空宇宙学会空気力学部門委員会が企画・運営する流体力学講演会（略称、流力講演会）とJAXAが主催してきた航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム（略称、ANSS）を2007年から毎年7月頃に合同開催しているものである。両者合わせて流力ANSSと呼称されることもあり、2014年で流力講演会は46回目、ANSSは32回目の開催となった。それぞれが招待講演の招聘、企画セッションの設定を独自に行うが、講演会プログラムの編成上は一体で、講演申込み受付、参加登録も航空宇宙学会が担当する。

流力講演会でのガスタービン関連の発表はほぼ皆無であるが、1983年に当時の航空宇宙技術研究所（航技研）が始めた航空機計算空気力学シンポジウムから1998年に名称を改めたANSSにおいては、航技研が保有する最先端のスーパーコンピュータの利用による大規模翼列CFDの共同研究結果などが数多く発表されてきた。ANSSは参加が無料であったが、流力講演会との合同開催により有料化されたため、ガスタービン分野の研究者が会員料金で参加できるように本学会に協賛が依頼されている。

3.2 伝熱関連（高橋 俊彦*2）

(1)日本伝熱シンポジウム

本会議は、公益社団法人日本伝熱学会が主催し、毎年5～6月頃に年1回開催されている。1964年に第1回が

開催されており長い歴史を有するとともに、伝熱関連の学術会議では最大規模を誇っている。通常は、3日間にわたり行われ、2014年度 第51回の発表件数は、特別講演や産学連携イベントなども含め、およそ380件であった。ガスタービンとの関連としては、強制対流や冷却、ふく射伝熱、燃焼に関連する伝熱現象・技術に関連する研究成果が報告されている。本会議への参加により、最新の伝熱技術に関する研究についての情報入手が期待できる。また、学生・若手研究者（28歳以下）を対象とした優秀プレゼンテーション賞が設けられている。

(2)日本機械学会熱工学カンファレンス

本会議はJSMEの熱工学部門が主催する講演会であり、毎年10月～11月頃に年1回開催されている。2002年度までは熱工学講演会として開催されていたが、2003年度から熱工学カンファレンスに名称変更された。通常は、2日にわたり行われ、2014年度は52セッションでおよそ220件の発表が行われている。ガスタービンとの関わりとしては、冷却技術や対流伝熱についての研究成果が報告されている。優秀な講演に対して、講演論文表彰（1件）が設けられている。

3.3 燃焼関連（長谷川 武治*2）

(1)燃焼シンポジウム

本会議は、一般社団法人日本燃焼学会が主催し、毎年12月頃に年1回開催されている。1964（昭和38）年に日本化学会講堂で開催された“日本燃焼研究会昭和38年度燃焼シンポジウム”を第1回とし、今年で52回を数える。通常は、3日間にわたり行われ、近年では6会場を使用して、基礎燃焼、反応、熱流動、燃焼器などの燃焼に関する様々な講演、ポスターセッションが行われている。発表件数はおよそ300件、参加者は600名にものほり、ガスタービンやジェットエンジンなどの連続燃焼に関する研究成果が数多く発表されている。また、ガスタービン燃焼にかかわらず、燃焼に関する多くの発表があり、関連する多くの情報を入手することが可能である。講演論文集については、有料での入手が可能となっている。

(2)日本機械学会熱工学カンファレンス

3.2でも紹介した熱工学カンファレンスでは、約1割が燃焼に関する発表である。ガスタービン燃焼だけでなく、基礎技術、周辺機器の燃焼または火災に関する講演など、幅広い範囲にわたる発表が行われている。

(3)日本エネルギー学会大会

本会議は、一般社団法人日本エネルギー学会が主催し、毎年7～8月頃に年1回開催されている。各種燃料に対する燃焼技術が主眼となる会議であり、同学会が定める石炭・重質油分野、天然ガス分野、バイオマス分野、新エネルギー分野、省エネルギー分野等、各分野にて計170件程度の研究発表、特別講演、招待講演、基調講演が行われている。

(4)自動車技術会学術講演会

本会議は、公益社団法人自動車技術会が主催し、毎年春と秋に年2回開催されている。年2回の合計で約600～700件の発表が行われている。自動車エンジンにおける燃焼であるので、ガスタービン燃料として灯油等の液体燃料を使用する場合の噴霧燃焼技術の視点から、共通となる重要な技術の発表が多く行われている。

(5)その他の微粒化に関する会議

ガスタービン燃焼器または自動車用エンジンの燃焼に関する基本技術として噴霧燃焼がある。噴霧燃焼の重要な要素である微粒化に関する会議として、日本液体微粒化学会が主催する微粒化シンポジウムが、毎年12月頃に、年1回開催されている。2日間にわたる講演会で、微粒化に関する発表が40件程度発表されている。その他、微粒化に関する講習会「微粒化フォーラム」、微粒化セミナーが日本液体微粒化学会により開催されている。

3.4 材料・コーティング関連 (森田 聡^{*3}, 岡田 満利^{*2})

(1)日本鉄鋼協会講演大会

本会議は、一般社団法人日本鉄鋼協会が主催し、毎年3月と9月の年2回開催されている。長い歴史を有しており、今年度で168回を数える。通常は3日間にわたり行われ、20会場程度を使用して、鉄鋼に関する様々なセッションが設けられている。発表件数は、400件程度にのぼる。また、討論会や国際セッションなども行われるほか、公益社団法人日本金属学会との共同セッションが開催される。研究発表としては、ガスタービンやジェットエンジンそのものに使われる金属材料、コーティングなどのセラミックス材料に対する最新の研究成果が集まっている。様々なセッションが存在するので、関連する多くの情報を入手することが可能である。また、若手講演者に対しては、優秀講演発表の表彰が行われている。

(2)金属学会講演大会

本会議は、公益社団法人日本金属学会が主催し、毎年3月と9月の年2回開催されている。先述した日本鉄鋼協会講演大会と同時に開催され、共同セッションが設けられている。約20の会場を使用し、強度だけではなく、拡散、凝固、相変態、酸化、腐食など金属材料に関する多様な現象が扱われている。材料の種類も、鉄鋼、軽合金、機能性材料と幅広く、コーティングのセッションも設けられる。最近のコーティングに関する発表のトレンドとしては、施工方法と強度特性の関係についての発表や、強度特性だけではなく、摩耗、酸化、拡散についての発表も行われている。規模としては日本鉄鋼協会講演大会よりも大きく、例年800件程度の研究発表が行われている。シンポジウム講演やポスターセッションが行われる。こちらの会議にもガスタービン・ジェットエンジン材料に対する最新の成果が集まっている。本会議では、35歳未満の発表者を対象に、優秀講演発表賞の表彰が行

われる。

(3)日本機械学会材料力学部門講演会

本会議は、JSMEの材料力学部門が主催して毎年夏～秋に開催されており、通称、M&Mカンファレンスと呼ばれている。通常は、全日程4日間（講演3日、市民向け1日）にわたって行われ、12室程度を使用して、疲労、高温強度などの多様な現象のセッションとともに、コーティング、構造材料、生体材料などの幅広い材料が扱われている。最近のコーティングに関する発表のトレンドとしては、TBCなどのコーティング損傷劣化評価手法に関する研究や、新たな溶射方法で施工されたコーティングの機械特性に関する発表がなされている。例年400件程度の研究発表に加え、ポスターセッション、特別企画講演、産学連携フォーラム、見学会が行われるほか、一般市民向けに市民講座も開催される。本会議にも、ガスタービンやジェットエンジンそのものに使われる材料、コーティングなどのセラミックス材料に対する最新の研究成果が集まっている。

(4)日本材料学会学術講演会

本会議は、公益社団法人日本材料学会が主催し、毎年5月に年1回開催されている。通常は2日間の講演と1日見学会が行われる。7会場程度を使用し、疲労、クリープ、衝撃など様々な現象のセッションが設けられるとともに、コーティング、構造材料、生体材料、ポリマー、木材、コンクリートなど様々な分野の材料に関して発表が行われており、ガスタービンに限らず、幅広い分野の材料についての情報を得ることができる。また、高温強度や疲労の部門委員会の公開委員会や特別講演会も開催される。例年の発表件数は、200件程度である。ガスタービンやジェットエンジンそのものに使われる材料全般の研究成果が発表されるほか、最近のコーティングに関する発表のトレンドとしては、TBCの疲労などによる損傷の評価手法を中心に発表がなされている。本会議では、35歳未満の発表者を対象に、優秀講演発表賞の表彰が行われる。

(5)日本材料学会の部門委員会

公益社団法人日本材料学会の各種部門委員会が主催するシンポジウムが設けられており、それぞれの部門の視点からガスタービンやジェットエンジンそのものに使われる材料、コーティングなどのセラミックス材料に対する成果が発表されている。

高温強度部門委員会が主催する高温強度シンポジウムが、毎年12月に年1回開催されている。1つの会場で2日間にわたり約30件の講演が行われ、充実した討論ができる特徴がある。

破壊力学部門委員会が主催する破壊力学シンポジウムは、他の部門委員会との合同開催として、2年に1回開催されている。2日間にわたり約60件の講演が行われる。

信頼性工学部門委員会が主催する信頼性シンポジウムが、他の部門委員会との合同開催として、毎年12月に年

1 回開催されている。2 日間にわたり約60件の講演が行われる。

その他、疲労部門委員会が主催する疲労シンポジウムが、2 年に1 回開催されている。

(6)日本溶射学会全国講演大会

本会議は、一般社団法人日本溶射学会が主催し、毎年6 月と11月に年2 回開催されている。通常は、2 日間の講演が行われる。1つの会場を使用し、溶射方法、前処理・後処理方法、特性評価方法について、発表が行われ、溶射に関するシンポジウムも行われている。新しい溶射方法や溶射されたコーティングの特性評価方法についての発表がなされており、溶射方法に関する幅広い知識を得ることができる。例年の発表件数は、およそ20件～30件である。ガスタービン・ジェットエンジン用TBC (Thermal Barrier Coating) や耐食コーティングに関する講演発表が行われている。

4. その他

(1)再使用型宇宙推進系シンポジウム

日本航空宇宙学会北部支部が主催団体となって、ラム／スクラムジェットシンポジウムが1991年3月に初めて、支部総会・講演会に併設された。また、その際には、推進系や高速空気力学関係の著名な研究者を国内外から招いて特別講演を実施し、遠方からの参加者数の増加に努めたことが本シンポジウムのその後の発展につながった。

北部支部設立10周年を過ぎた1998年1月には、これまでの実績を認められたこともあって、第38回航空原動機・宇宙推進講演会と、北部支部の第8 回ラム／スクラムジェットシンポジウムが仙台で合同開催された。そのため、その年の北部支部講演会では、対象を推進系のみならず、より広げた「再使用ロケット/スペースプレーンシンポジウム」を併設して実施した。この背景には、当時、米国で行われていた、「DC-X」や「X-33」の再使用ロケットの研究開発も少なからず影響していた。翌1999年3月には、ラム／スクラムジェットシンポジウムが再び北部支部講演会に併設されたが、同時に、特別企画として、再使用型宇宙輸送システムのセッションも設けられ、再使用型ロケットエンジンの講演等も行われた。

これらの紆余曲折を経て、翌2000年3月には、ラム／スクラムジェットや再使用型ロケットエンジンを統合した名称として、再使用型宇宙推進系を冠した、「第1 回再使用型宇宙推進系シンポジウム」が北部支部講演会に

併設された。その後は現在に至るまで、再使用型宇宙推進系シンポジウムは北部支部講演会に併設される形での開催が継続されている。

(2)ターボ機械・航空宇宙の空力伝熱セミナー

本セミナーは、インフォーマルなセミナーとして、1995年から毎年実施されている。岩手大学（船崎健一）-東北大学（山本悟）-東京大学（渡辺紀徳）の3研究室が毎年ローテーションで主催し、岩手県内、宮城県内及び関東でそれぞれ開催されている。研究室の教員、大学院生を中心に企業、研究機関等からの若手-中堅技術者が参加し、ガスタービン、蒸気タービン等に関する研究の最新動向紹介、技術、製品紹介などを発表し、意見交換などを行っている。参加した学生の多くが、関連する企業に就職し、企業側メンバーとして本セミナーに参加するなど、人材育成という点でも業界に対して大いに貢献している。

5. まとめ

国内におけるガスタービンに係る講演会等を拾い上げ、その概要を紹介した。それらを図式的に表したものを図1に示す。この図からも明らかなように、ガスタービンの裾野の広さを理解することができる。しかし、学協会間の連携が必ずしも緊密であるとは言えず、ガスタービン関係学会の更なる発展の阻害要因ともなっている。今回の調査を機に、今まで以上に有機的でかつ意味のある水平展開を学会として検討するべきであろう。

最後に、今回の記事作成にあたってご協力頂いたJAXA山根敬氏、熊川彰長氏に深くお礼申し上げる。

参考 各学協会のURL (2014年11月時点)

日本機械学会 <http://www.jsme.or.jp/>
 火力原子力発電技術協会 <http://www.tenpes.or.jp/>
 ターボ機械協会 <http://www.turbo-so.jp/index.htm>
 日本流体力学会 <http://www.nagare.or.jp/>
 日本伝熱学会 <http://www.htsj.or.jp/index-j.html>
 日本燃焼学会 <http://www.combustionsociety.jp/>
 日本エネルギー学会 <http://www.jie.or.jp/>
 自動車技術会 <http://www.jsae.or.jp/>
 日本液体微粒化学会 <http://www.ilass-japan.gr.jp/index.php>
 日本鉄鋼協会 [https://www.isij.or.jp/](http://www.isij.or.jp/)
 日本金属学会 <http://jim.or.jp/>
 日本材料学会 <http://www.jsms.jp/>
 日本溶射学会 <http://www.jtss.or.jp/inde>

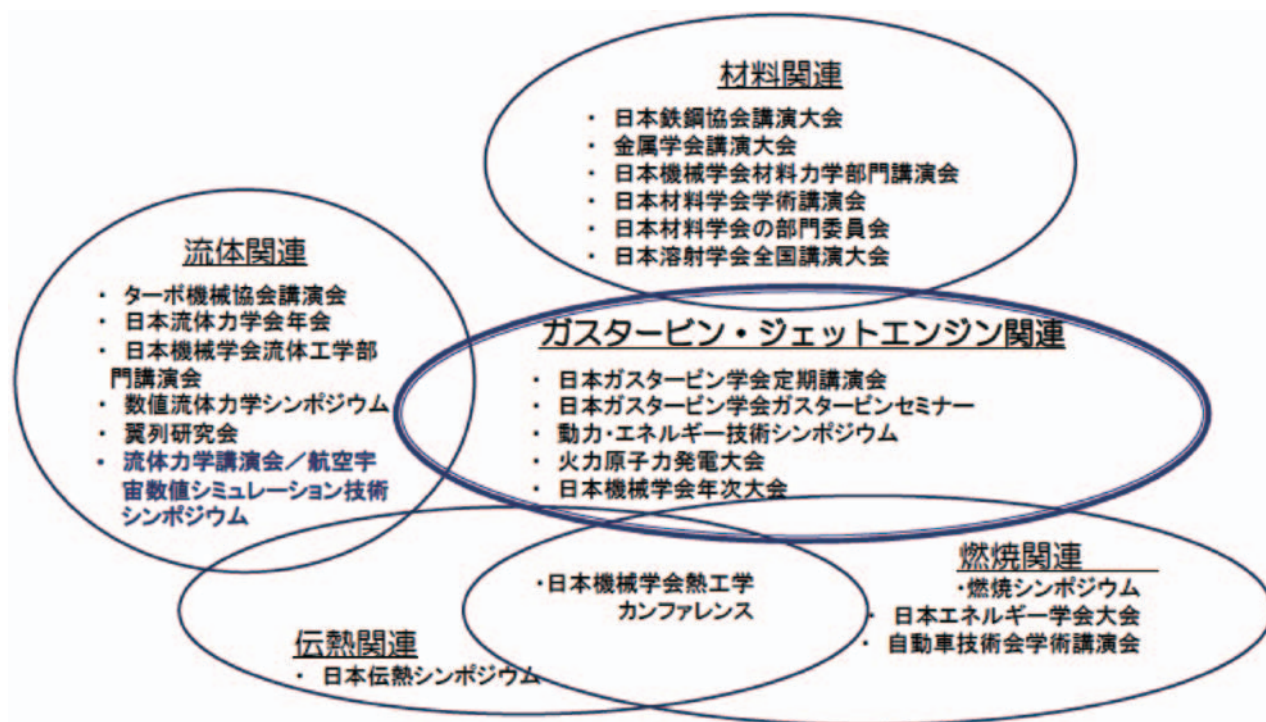


Fig. 1 Academic conferences in Japan related to the gas turbine and jet engine

特集：ガスタービンに関わる国内外の学会会議等

ガスタービン・ジェットエンジンに関する 主要な国際会議の紹介

仲俣千由紀^{*1}
NAKAMATA Chiyuki

岡井 敬一^{*2}
OKAI Keiichi

児玉 秀和^{*1}
KODAMA Hidekazu

後藤仁一郎^{*3}
GOTO Jinichiro

山根 敬^{*4}
YAMANE Takashi

山本 誠^{*5}
YAMAMOTO Makoto

沖 裕壮^{*6}
OKI Yuso

濱田 博之^{*6}
HAMADA Hiroyuki

宮川 和芳^{*7}
MIYAGAWA Kazuyoshi

三好 市朗^{*3}
MIYOSHI Ichiro

キーワード：ガスタービン，ジェットエンジン，国際会議

Gas Turbine, Jet Engine, International Conference

1. 緒言

今日，ガスタービンやジェットエンジンに関わる，さまざまな国内外の学会会議，セミナー，講演会等が開催されている。本論では，これらのうち主要な国際会議について，特徴や，参加するメリットなどを解説する。主要な国際会議については個別に紹介し，最後に技術分野別に注目すべき国際会議について一覧表にまとめた。

GTSJ主催の国際会議であるIGTCについては別記事にて紹介されているので，本稿では他学会が主催する国際会議を取りまとめる。なお，本稿はGTSJ国際委員会を中心にまとめた。

2. 主要な国際会議

2.1 ASME Turbo Expo

ASME (The American Society of Mechanical Engineers) のIGTI (International Gas Turbine Institute) が主催で，毎年開催されるガスタービン技術に関する学術講演会(展示会を含む)である。質・量ともに世界一の規模を誇るガスタービン会議として名高い。2015年(モントリオール開催)で60周年の節目を迎えるこの会議は，近年では1000を超える論文数を誇っており，ガスタービン関連技術の最新の研究成果が数多く報告されることから，技術動向を把握するには最適の会議であると考えられている。GTSJでも，参加者から情報を取りまとめた見聞記が，学会誌に毎年報告されている。本学会についてはあらためて解説の必要はなからうと思われるが，筆者の知りうる，ここ10年のASME Turbo Expoの様子を紹介させていただこうと思う。

この会議は毎年6月頃に，北米と欧州で交互に開催されている。ここ数年は会期5日間(月曜日から金曜日)で，中3日に展示会が講演会と平行して開催されるとい

うスタイルで実施されている。また，会議開催前の土日で2日間または1日のセミナーが複数開講されており，会議参加に合わせて，これらのセミナーを受講することが可能となっている。筆者も一度，セミナーに参加したことがあるが，各分野の第一人者が講師を担当しており，限られた人数でゆっくりと時間をとって実施されるので，質問もしやすく，とても有意義であった。

講演会では，初日の午前中に2時間程度のオープニングセレモニーが行われる。この中で基調講演や各賞の授賞式が行われる。技術講演の数が多い会議であるためか，並行する技術講演がない形で行われる講演はこの基調講演1件だけである。基調講演では，毎年設定されるテーマにあわせて選ばれた3-4名の講演者が登壇し，講演を行う。技術講演は5日間で1000を超える発表が行われるために，講演室数は20を超えている。論文数が多い技術分野では，その分野だけで複数部屋同時並行で講演が行われる。聞きたい講演を聞き逃さないようにするには，プログラムを事前によく検討しておかねばならない。

展示会は3日間行われており，ガスタービンメーカーの他，解析ソフトメーカー，計測機器メーカー，加工メーカーなどがブースを出している。参加者の多くは，講演会が行われていない昼休みの時間や講演会が終わった夕方の時間に展示会場を訪れている。特に，展示会初日の昼は参加者で賑わう。展示会場にはところどころに机や椅子が配置されており，参加者同士の交流の場としても機能しているようである。

さてここで，ASME Turbo Expoの規模の変遷について少し触れてみよう。北米開催に比べて欧州開催時は論文数が増える傾向にあるが，全体的に論文数は増加傾向にある。2004年(ウィーン)で700強だった論文数は2008年(ベルリン)で1000を超え，2014年(デュッセルドルフ)では1230に至っている。論文数の増加を受けて，

原稿受付 2014年11月7日

著者所属はP13に記載

2008年（ベルリン）から講演会日数は5日間となった。論文数の増加に伴い、参加人数も増え続け、今年2014年には3000名以上に上った。

また、この会議では、2005年からWomen's networkingという会が催されている。男性諸氏には謎のこの企画について、少し述べたい。この活動は、この業界で少数派である女性同士が人脈を形成し、情報を交換し、互いに刺激を与え合ってよりよく成長していけるように、との趣旨の下、ペンシルバニア州立大学のK. Thole教授（2014年のASME IGTI Board Chair）のご尽力で始まったものである。記念すべき第1回は2005年（リノ）で開催された。このときは参加者十数名で昼食会という形であったが、2年後の2007年（モントリオール）には夕食会になり、その後参加人数は増え続け、今年2014年には約140名の参加者を数えるまでになっている。しかし、2014年は全体の参加人数が3000名を超えていることを考えると、Women's networkingに参加した女性は5%に満たず、依然として女性比率は少ないと言えよう。

冒頭で述べたようにASME Turbo Expoは2015年（モントリオール）で60周年の節目を迎える。また、その次の2016年には初のアジア開催（韓国・ソウル）を迎える予定であり、ASME Turbo Expoはアジアを巻き込んでさらに大きく発展してゆくことになるだろう。

（仲俣 千由紀^{*1}）

2.2 AIAA Propulsion & Energy (Joint Propulsion)

米国航空宇宙学会（AIAA）の講演会群は2014年より再編集約されており大きく4つ（SciTech, Aviation, Space, Propulsion and Energy）にまとめられているが、航空および宇宙推進技術に関する講演会として、AIAA Propulsion and Energyが挙げられる。

これは、推進系の会議である、AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference (JPC) と、エネルギー変換工学国際会議（International Energy Conversion Engineering Conference (IECEC)）に加え、IEEE/INCOSE Energy Techを合わせた会議体からなる。AIAAの各種委員会の内、推進系はPropulsion & Energy Groupがまとめるが、正に連携して開催される会議となっている。JPCとIECECは従来それぞれ単独で開催されていたが、2014年のAIAAの講演会群の再編に先立って、2009年デンバーでの開催から、同一場所（Co-located）開催となり、先行して連携が進んでいる。JPCは2014年に50回目の開催となるがIECECは2014年で12回目と比較的開催数が少ない。これは、2002年まで、37回にわたり（同じ略称の）Intersociety Energy Conversion Engineering Conferenceとして開催されていたものが、2003年第1回よりAIAAの会議として国際的な発展を目指しInternationalと冠して再出発したことによる。

JPC/IECECとして融合が進んでいるが、両者の関係

は、JPCが長くAIAAを代表する航空・宇宙推進技術を扱う会議であるのに対し、IECECが航空分野に限らないエネルギー変換工学技術、代替燃料、燃焼、再生可能エネルギー、燃料電池、蓄電池、エネルギーグリッド、燃料貯蔵などを幅広く対象としていることである。最近の航空推進技術に関する代替燃料への関心、電動化技術の進展に伴って、積極的にIECECの技術背景を将来の航空技術に適用しようとフォーラムやパネル討論が企画されていること、宇宙推進にあってもGreen Propellantなどでの融合・連携が見られることが注目される。

JPCにおいて、航空エンジンシステム・要素技術に関する講演は、2000年代前半は宇宙推進に比べるとやや物足りないと思う参加者が多かったようだが、同一場所開催となった2009年を前後して、特にNASAのSFW（Subsonic Fixed Wing）プロジェクトの内、特に中長期的な視野に入る（N+2, N+3）に関する進捗状況がパネル討論、講演などで詳細に辿ることができるようになっている。

航空エンジン技術については、Pulse Detonation Engine, Wave Rotor, 電動ハイブリッド推進といった将来技術に関する検討や基礎的な研究成果に関する講演が比較的多く、燃焼や回転機械・空気吸込み口・ノズル・システム・制御・騒音などの基盤的要素技術に関する講演数は、全体規模からすると多くはない。特に、開催時期が7月後半～8月上旬となるため、燃焼分野については隔年の国際燃焼シンポジウムの開催年には時期が重なり比較的手薄になる。その一方で、最近はIcingのセッションが盛況であり興味深い。

総じていうと、本会議は航空エンジン関連研究者から見ると、NASA等のプロジェクトの進捗と関連した米欧の大学・機関の研究状況を把握するには最適であり、また、エネルギー消費・環境負荷低減を目指した新規技術に関する異分野間の相互交流の場としての意義が強まっていると考える。こうした取り組みの視点は、現にガスタービン学会が取り組んでいるところだろうが、参考になるところも多いと思われる。

なお、AIAAの年会講演会に相当する1月開催のAIAA SciTechでも幅広い分野の一部として推進技術が取り上げられており、エンジンを含む騒音研究については、AIAA Aviationでも最新動向把握が出来る。

（岡井 敬一^{*2}）

2.3 ISABE Conference

ISABE ConferenceはInternational Society for Air Breathing Enginesという組織が運営する国際会議で、空気吸込み方式の航空機用原動機に関して技術討議、情報交換を行う場になっている。1972年の第1回マルセイユ大会はDr. P. Gostelow (Cambridge Univ.), Prof. B.A. Reese (Purdue Univ.), Dr. J.E. Bubbs (NASA), Prof. J. Valensi (l' Université d' Aix-Marseille) が発起人

になってInternational Symposium on Air Breathing Enginesという名称で開催されたそうで、最大のスポンサーはUS Air Force (European Office) であった。当初から自由な参加を呼び掛けたようで、冷戦下に西側の軍が支援した会議であるにも関わらずソ連から論文発表1件を含めた数名の参加があり、また1974年の第2回シェフィールド大会には中国からも参加があった。この会議に参加することが如何に有益かについては当初から高い評価があったと言える。組織の確立はDr. S.N.B. Murthy (Purdue Univ.) の尽力によって定款が制定された1983年の第6回パリ大会においてであり、これ以降US Air Forceの表立った支援はなくなっている。現在組織は30弱の会員国によって構成されており、各国を代表する27名から成る運営委員会によって運営されている。

第1回から1993年の第11回東京大会までの歴史については「第11回エアブリージングエンジン国際会議・東京大会」(日本ガスタービン学会誌, Vol.21, No.84, pp.100-103) に述べられている。昨年(2013年)の第21回釜山大会まで、3年空けて開催された1979年の第4回オーランド大会を除くと全て隔年で実施されてきた。東アジアでの開催は1985年の第7回北京大会が最初で、次が第11回東京大会、そして2007年の第18回にまた北京で開催され、昨年の第21回釜山大会と続いた。会議の規模を論文数で見ると、第1回から第4回まで50編弱で続いていたものがその後増え続け第11回の東京大会では約3倍の148編まで増えている。その後さらに増え続け最近の4大会を見ると当初の5倍近い220～230編の論文数を維持している。

ISABE Conferenceの魅力はレベルの高い一般論文発表の他に世界の有力な航空機エンジンメーカーや大学、研究機関からの招待講演があり、世界的な技術動向を把握できることにある。それぞれの講演者から短期的のみならず中長期的な技術開発の取組みが紹介されるが、レギュラーメンバーになっているところからは2年毎に紹介があるため技術開発の進捗度や達成度を知ることができ大変興味深い。また最終日の金曜日にテーマを決めて招待講演やパネルディスカッションを行うのが定番になっているが、このFriday Sessionも毎回楽しい企画である。(児玉 秀和^{*1})

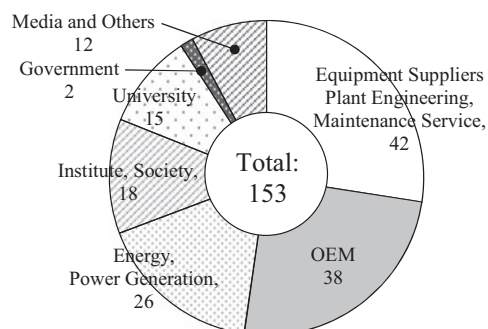


Fig. 1 Participant for IGTC-12

2.4 IGTC (ETN主催)

ベルギーの首都ブリュッセルに本拠を置く団体: European Turbine Network (以下ETN) が主催する国際会議International Gas Turbine Conference (以下IGTC) は、The Future of Gas Turbine Technologyなるメインタイトルが与えられ、2年に1回の頻度で開催されている。2012年10月に開催されたIGTC-12は、第6回となる。IGTC-12を例に、同会議の特徴を纏める。

配布されたリストによる参加者の所属先(筆者調べ)は図1のとおりである。機器ベンダやエンジン会社、OEMメーカー、発電/エネルギー供給事業者の順に多かった。なお、日本人は報告者含めて5名であった。

IGTC-12では、2日間の会議中、以下の4つのテーマでキーノートセッションが行われた。

- ・ Power Generation Trends and the Role of Gas Turbines in the Energy Mix towards a Decarbonised Economy by 2050.
- ・ What do utilities require for their future Gas Turbine Power Generation Fleet?
- ・ What Gas Turbine Technology Advancements are foreseen by OEMs to satisfy the changing market.
- ・ Next Generation of Gas Turbines: Challenging target of 65% efficiency.

これらのセッションでは、ガスタービンに関する中長期のトレンドに関して、各機関の代表による発表とパネルディスカッションが行われた。

8つのテクニカルセッションでは、負荷追従性、メンテナンス、要素技術(材料、燃焼)などの応用技術を中心に合計28件の発表が行われた。

エネルギーや環境保全に対して非常に敏感であり、また主要ガスタービンメーカーのお膝元でもあるEU圏で開催されることもあり、各メーカーの経営層、世界をリードする研究機関、大学の代表、ユーザが一堂に会してガスタービンの将来の姿を真剣に議論する姿は非常に印象的である。

本年開催のIGTC-14には参加できなかったが、Preliminary Programの内容は、前述の特徴を維持しつつ、直近2年間のトレンドが反映されていた。

(後藤 仁一郎^{*3})

2.5 AJCPP

日本航空宇宙学会(JSASS)の原動機推進部門は航空及び宇宙関係の推進技術に関する国内最大の講演会として航空原動機・宇宙推進講演会を毎年開催してきたが、アジア域を中心とした国際会議へと発展させることを目的に、2004年に韓国推進工学会(Korean Society of Propulsion Engineers: KSPE)とともに第1回のAsian Joint Conference on Propulsion and Power(AJCPP)をソウル(韓国)で開催した。AJCPPは当初の計画では韓国と日本が交替で毎年実施することにして

おり、航空原動機・宇宙推進講演会の名称はAJCPPに併記し、純粋な国内講演会としては一旦終了した形となった。翌年のAJCPP2005は北九州（日本）で開催されたが、中国からの参加者が大幅に増加したことから中国工程熱物理学会（Chinese Society of Engineering Thermophysics : CSET）が主催する工程熱物理国際会議もAJCPPに加わることであった。

北京（中国）で開催されたAJCPP2006での関係者ミーティングにおいて、国内の講演会も従来通り実施している韓国側と、国内講演会の再開への要望が寄せられていた日本側の事情を考慮し、AJCPPは3か国の回り持ちで隔年開催することが決定された。また開催時期を3月上旬とすることになった。その後、AJCPP2008は慶州（韓国）、AJCPP2010は宮崎（日本）、AJCPP2012は西安（中国）、AJCPP2014は済州島（韓国）と回を重ねている。なお、JSASSは中間の年に単独で以前と同様の航空原動機・宇宙推進講演会を開催している。また、本学会はAJCPPならびに航空原動機・宇宙推進講演会に協賛している。

直近のAJCPP2014では航空推進、超音速／極超音速推進、ロケット推進、電気推進、ターボ機械、燃焼、数値解析のセッションで、122件の発表が行われた。セッションルームの数は開催年によって異なるが概ね5室程度で、見学会も含めて3日間の会期となるのが通例である。一般講演の採否はアブストラクト段階で決定され、講演論文の査読は行われない。特別講演等は開催国の主催団体が企画・運営し、ポスターセッションが実施されることもある。

AJCPPは発足の経緯、アジア域が対象であること、規模、開催頻度の点で、本学会が共催しているACGTと非常に似た国際講演会である。今後、関連性の強い国際会議、たとえばAIAAの関係講演会やISABEとどのように連携するかが発展の鍵となるであろう。

（山根 敬⁴¹）

2.6 ISAIF

中国科学院工程熱物理研究所（IET/CAS）が中心になって開催しているInternational Symposium on Experimental and Computational Aerothermodynamics of Internal Flows（通称ISAIF）は、1990年の北京（中国）を皮切りに、1993年プラハ（チェコ）、1996年北京、1999年ドレスデン（ドイツ）、2001年グダニスク（ポーランド）、2003年上海（中国）、2005年東京、2007年リヨン（フランス）、2009年慶州（韓国）、2011年ブリュッセル（ベルギー）、2013年杭州（中国）というように、2年毎（最初は3年毎）に東アジアとヨーロッパで交互に開催されてきた。これまでに11回開催されており、次の第12回は2015年にジェノバ（イタリア）で開催されることが予定されている。

本国際会議の特徴は、会議名称が示すように、講演対



Fig. 2 Lyon, the venue for ISAIF 2007

象となる研究分野が非常に広範囲をカバーしていることにある。基本的には内部流が対象ではあるが、外部流を排除している訳ではない。例えば、圧縮機・タービン・インテーク・ノズルなどにおける流れ、遷音速流・超音速流、衝撃波／境界層干渉問題、乱流遷移・はく離、サージ・失速・流体騒音などの非定常流、燃焼器や伝熱などに関する流れ関連問題、各種の流れ制御、流体計測法などが定番のセッションとして毎回設けられている。また、最近では、マイクロ・ナノ流体、バイオ流体、燃料電池、再生可能エネルギーなどといったホットなトピックスに関するセッションも組まれるようになっており、カバーする研究分野はさらに広がりつつある。筆者の視点だが、ごく基礎的な内容から実用的な問題まで幅広く聞き、討論することができる点で面白いと思う（ただし、研究内容のレベルは玉石混交である）。参加者は、東アジアから日本、中国、韓国、ヨーロッパからドイツ、イタリア、ベルギー、フランスなどで、アメリカ大陸からの参加は少ない。これは、本国際会議の中心人物がYu教授（Chinese Academy of Sciences）とそのヨーロッパの友人達だからではないかと思われる。なお、この国際会議の面白いところをもう一点挙げると、シンポジウム・ツアーが3～4日間ある会議期間中に設けられる点で、参加者全員でバスに乗って、半日程度の観光（ハイキングや史跡めぐりが主）をするのが慣例になっている。さまざまな国の研究者と交流の輪が自然に生まれる点で、多くの参加者、特に若い人にとっては有益な



Fig. 3 Banquet during ISAIF 2007

のではないだろうか。

2007年にリヨンで開催されたときのリヨンの街（図2）とボールボキューズ本店でのバンケットの様子（図3）を写真で示しておく。本国際会議の雰囲気が少しでも伝われば幸いである。

（山本 誠^{*5}）

2.7 ICOPE

ICOPE (International Conference on Power Engineering) は、(一社) 日本機械学会 (JSME) の動力エネルギーシステム部門が、ASME (Power Division), CSPE (Chinese Society of Power Engineering) と2年に一度共催している国際会議である。1993年にJSME-ASME Joint Int. Conf. on Power Engineering (ICOPE - 93) として東京で開催したのを皮切りに、2年後にはCSPEが参加して上海で第2回が、以降2年毎に東京 (1997), サンフランシスコ (1999), 西安 (2001), 神戸 (2003), シカゴ (2005), 杭州 (2007), 神戸 (2009), デンバー (2011), 武漢 (2013) で開催されてきた。

ICOPEの特徴は、原子力を除く、動力エネルギーに関する幅広い分野をターゲットとしている点であり、その講演内容は、IGCC, A-USCといった最新鋭高効率火力に関する実用的技術の開発動向から、エネルギー供給システム、あるいは数値解析や熱伝導といった先端的基礎研究まで、多岐にわたっている。特に、2015年に横浜で開催されるICOPE-15では、再生可能エネルギーやスマートシティなども視野に入れ、欧州からも委員を招いて、一層の国際化を指向することが表明されている。

講演数は2013年の武漢大会が210編、2011年のデンバー大会が210編、2009年の神戸大会が222編と200編以上となっている。

2013年の武漢大会では、GT関連のトピックとして以下が発表され、講演会場が多数の聴講者でにぎわった。

- ・「Multiple-injection dry Low-NOx combustors – For hydrogen-rich syngas fuel; testing and evaluation of the performance in an IGCC pilot plant –」(Hitachi, Ltd.)
- ・「Effects of swirling arrangement on gas turbine combustion chamber flow field」(Tsinghua University)
- ・「Development of Mitsubishi New Large Frame Gas Turbine J-series for Power Generation」(Mitsubishi Heavy Industries, LTD.)
- ・「Performance analysis of a solid oxide fuel cell and gas turbine hybrid system fueled with biomass」(Shanghai Jiao Tong University)
- ・「Combustion characteristics of cluster nozzle burners for a 40MW class advanced humid air turbine system」(Hitachi, Ltd.)

・「40MW-class advanced humid air turbine test」(Hitachi, Ltd.)

・「Dynamic Simulation of the Natural Gas Supply System in Gas Turbine Power Plants」(Shanghai Jiao Tong University)

これらのことから、GT関連技術の動向情報収集にも適切な会議と期待される。

（沖 裕壮^{*6}）

2.8 POWER-GEN International

POWER-GEN InternationalはPennWell社が主催する世界最大規模の火力発電技術に関する国際会議で毎年11月から12月頃にアメリカで開催している。今年で26回目を迎え、12/9～12/11の日程でフロリダ州オーランドにて開催される。毎年、90カ国以上の国から22,000人以上が参加し、1400社以上の企業ブースが設けられる。なお、2013年はフロリダ州オーランドで開催され、12会場で、39セッションを実施し、発表者数が300人以上、参加者数が92カ国22,000人以上であった。

POWER-GEN Internationalの特徴は、火力発電に関する幅広い分野をターゲットとしている点であり、その発表内容は、バイオマス混焼やCO₂回収技術といったCO₂排出抑制技術の開発動向から、プラントの効率改善、機器の維持管理技術や環境問題・排出規制など多岐にわたっている。

今年は、3日間の日程で12トラック、41のセッションが行われる。ガスタービン技術のトラック (Gas Turbine Technologies I, II) が設けられており、その中で、「ガスタービンの維持管理技術 (Gas Turbine Technologies O&M (Operation and Maintenance))」, 「ガスタービンの設計と応用 (Gas Turbine Design and Applications)」, 「維持管理技術の進展 (Gas Turbines : Advances in O&M Upgrades)」, 「コンバインドサイクル (Combined Cycle Session I, II)」, 「小型ガスタービン (Small Gas Turbines)」というセッションが行われる。また、プラント性能のトラック (Plant Performance II) では、「ガスタービンの最新情報と性能最適化 (Gas Turbine Updates & Performance Optimization)」のセッションが行われる。さらに、メガセッションとして「Large Frame Gas Turbine」が設けられ、以下の主要なガスタービンメーカーがそれぞれのガスタービンの最新の開発状況を紹介する。

- ・「Mitsubishi Hitachi Power Systems Gas Turbine Line up and J Fleet Experience」(Mitsubishi Hitachi Power Systems America, Inc.)
- ・「Alstom Gas Product Portfolio for Flexible Power Generation」(Alstom)
- ・「A Decade of H-Class Learning and Innovation」(GE Energy)
- ・「F and H Class High Performance Siemens Gas

Turbines」(Siemens Energy)

企業ブースにおいては、主要なガスタービンメーカーや保守技術を持ったメーカーがそろっており、種々の情報を入手することができる。また、ガスタービンだけでなく、ボイラや蒸気タービンなどの火力発電技術に関するいろいろな情報が得ることが可能である。

これらのことから、POWER-GEN Internationalはガスタービン関連技術の最新動向や保守技術の情報収集に適した会議と期待される。

(濱田 博之^{*6})

2.9 AICFM

アジア流体機械国際会議 AICFM (Asian International Conference on Fluid Machinery) は、流体機械分野における研究者間の情報共有、産学連携の推進、アジア地域ネットワークの強化、環境、エネルギーを考慮した流体機械の発展などを目的として昨年まで12回継続されてきた。日本側の主催団体はターボ機械協会である。始めは日中流体機械会議として日本、中国の2カ国で開催されていたが、1993年の第4回から国際会議として展開された。第5回から第12回までは、Seoul (1997), Johar Baru (2000), Fukuoka (2003), Yichang (2005), Jeju (2007), Kuala Lumpur (2009), Chennai (2011), Yogyakarta (2013) でそれぞれ開催されている。第13回は、2015年9月7日から10日にかけて東京で開催される。また、組織委員会であるアジ

ア流体機械委員会 (Asian Fluid Machinery Committee (AFMC)) は、第9回のJeju開催時に設立された。出席者は、各回でばらつきはあるもののアジア各国から約200名、投稿論文数は、120編くらいである。会議は、3, 4日の日程で組まれ、3から5部屋の並行したセッションが行われてきた。キーノート講演も毎回行われ、アジアに限らず世界各国から著名な研究者が招待され最近の技術、研究動向などの興味深い報告が行われてきた。また、機器展示も同時に開催される場合も多く、会場に多くのブースが設置され、計測システムや解析ソフトウェアなどが展示されている。内容は流体機械全般を網羅するもので、ガスタービン、蒸気タービン、ファン、プロワー、ポンプ、水車などの機種や、空力、振動、騒音、数値解析、キャビテーションなどの要素技術でのオーガナイズドセッションが毎回組まれている。ガスタービンに関しても、開発から要素技術に至るまでの論文が発表され、他機種との横通しも含めアジアでの研究者間での情報共有に役立っている。

(宮川 和芳^{*7})

3. 技術分野別の主要な国際会議

ガスタービンの進化には力学、材料、強度、燃焼、実験計測、生産技術に関して最先端の研究開発が必要不可欠である。技術分野別に主要な国際会議を紹介する(表1)。

(三好 市朗^{*3})

Table 1 Internal Conferences Focusing on Component Technology for Gas Turbine

	国際会議	紹介
材料(合金)	Superalloy	Ni基, Co基合金関係の国際会議で4年毎に開催。鍛造材(ディスク系)から鋳造材まで含む。
材料(セラミック)	International Conference and Exposition on Advanced Ceramics and Composites(ICACC)	米国セラミックス学会(ACerS)主催。毎年1月, 米国フロリダにて開催。論文数1000以上の規模。
材料(強度, 力学的特性)	International Conference on Mechanical Behavior of Materials(ICM)	材料の力学的挙動に関する国際会議。4年毎に開催。
材料(疲労)	International fatigue congress	疲労に関する国際会議。4年毎に開催。
材料(疲労)	International Conference on Low Cycle Fatigue	疲労に関する国際会議。5-8年間隔で開催されており、開催地はドイツ。
溶射(熱遮蔽コーティング)	International Thermal Spray Conference	溶射に関する国際会議。高圧タービン翼の熱遮蔽コーティング技術が該当。溶射装置メーカー、ユーザーとして航空、自動車関連メーカーが多数参加。
燃焼	International Symposium on Combustion	燃焼一般。アプリケーションより基礎的な物理現象に関する研究発表が多いのが特徴。
実験計測	The Propulsion Instrumentation Working Group (PIWG)	ジェットエンジン、ガスタービンの計測技術に関する会合。
非定常流体現象	International Symposium on Unsteady Aerodynamics, Aeroacoustics and Aeroelasticity of Turbomachines(ISUAAAT)	ターボ機械の非定常流体現象を取り扱う会議
計算力学	World Congress on Computational Mechanics (WCCM)	計算力学全般を取り扱う国際会議。構造解析、流体解析技術動向を把握するのに役立つ。
機械力学一般	International Mechanical Engineering Congress & Exposition (IMECE)	米国機械学会(ASME)主催の機械工学全般の国際会議。毎年11月に米国で実施。対象は機械全般なので広範。技術分野毎にセッションが組まれるので、ガスタービン関連の発表があらこちに分散されるが、業種にかかわらず広く技術を見られる点が利点。機械工学全般の技術動向を把握するのに役立つ。

著者所属

*1 : (株) IHI 航空宇宙事業本部

*2 : 東京大学 大学院工学系研究科

*3 : 三菱日立パワーシステムズ(株)

*4 : 宇宙航空研究開発機構 (JAXA) 航空本部

*5 : 東京理科大学 工学部

*6 : (一財) 電力中央研究所 エネルギー技術研究所

*7 : 早稲田大学 基幹理工学部

特集：ガスタービンに関わる国内外の学術会議等

日本ガスタービン学会主催会議・ 行事の歴史と概要

春海 一佳^{*1}
HARUMI Kazuyoshi

山根 敬^{*2}
YAMANE Takashi

キーワード：ガスタービン，講演会，セミナー，シンポジウム，見学会
Gas Turbine, Conference, Seminar, Symposium, Technical Visit

1. 緒言

日本ガスタービン学会はガスタービンおよび過給機（公益法人化後はガスタービン及びエネルギー関連技術）に関する学術・技術の進展及び社会の発展に寄与することを目的とし、発足当初より様々な行事を主催してきた。本稿では、学術講演会委員会が担当する定期講演会、集会行事委員会が担当するセミナー、教育シンポジウム、見学会・技術懇談会、シンポジウム、特別講演会等について、その歴史と現状を解説する。

2. 定期講演会

2.1 現在

ガスタービン学会の目的が、定款第3条で「ガスタービン及びエネルギー関連技術に関する研究発表・調査・知識の交換並びに関連学協会との連絡・提携を図り、もって学術・技術の進展及び社会の発展に寄与することを目的とする。」と定められている。そして、同第4条には「前条の目的を達成するため、次の事業を行なう。(1)研究発表会及び学術講演会等の開催」とある。毎年開催されている定期講演会は「学術講演会」のことであり、学会そのものの目的を達成するための手段のひとつということになる。また、この「手段」を有効なものにするには講演会を適切に開催する必要があるが、それを担当するのが学術講演会委員会である。学術講演会委員会運営要領によれば、同委員会は「学術講演会の企画、開催、運営」を行う、と定められている。

現在、定期講演会は、講演会および見学会がセットとなって開催されている。また、2009年からは講演会前日に市民フォーラムを開催し、ガスタービンに関する情報発信を広く行っている。講演会では特別講演が行われ、

企画セッションも催されている。また懇親会の場合も設けられている。一方、一時期実施されていた展示は、現在行われていない。これらを企画し運営するのが学術講演会委員会の役割であるが、例えば、企画セッションの立案時には委員会外の人々の協力を得る、あるいは、市民フォーラムの講師選定に当たっては技術普及委員会の協力を仰ぐ等、多くの方々の協力のおかげで成り立っているのが実情である。これらの方々の大きな貢献により現在の定期講演会は成立していると言えよう。

また、将来を担う若い人々が積極的に講演会に参加するきっかけとすべく、学生優秀講演賞の表彰が行われている。さらに学生への参加旅費助成もある。社会人の参加が多い定期講演会に学生が参加することは、社会とのつながりを身近に感じられる、あるいは社会人との交流を通じて自身の将来を考えるきっかけとなるだろう。また、定期講演会は、将来のガスタービン関連分野に携わる可能性を持った若者の人材育成の場ととらえることも可能であり、学生会員等の積極的な参加が期待される。

2.2 過去

2014年10月に第42回日本ガスタービン学会定期講演会が熊本で開催された。この「第42回」から1973年に第1回が開催されたと推測できよう。

ガスタービン学会は1972年（昭和47年）発足の「日本ガスタービン会議」（GTCJ）を前身として、1976年（昭和51年）に設立され、2011年より公益社団法人となっているが、実際、1973年に第1回の定期講演会が国立教育会館（虎ノ門ホール）で日本ガスタービン会議の主催として開催されている。この講演会は2室1日で催され、26の講演があった。なお、国立教育会館は2004年（平成16年）に解体され、現在、その跡地は霞が関コモンゲートの一部となっている。

参考までに、講演タイトルを示す。

- 1) 車両用ヒューエルコントローラー
- 2) 自動車用ガスタービンの制御
- 3) 自動車用ガスタービンの動特性に関する研究

原稿受付 2014年11月12日

- *1 学術講演会委員会委員長
（独）海上技術安全研究所 環境・動力系
〒181-0004 三鷹市新川6-38-1
- *2 集会行事委員会委員長
（独）宇宙航空研究開発機構航空本部
〒182-8522 調布市深大寺東町7-44-1

- 4) 2軸形ガスタービンの制御
- 5) ジェットエンジンの計算機制御
- 6) ハイブリッド計算機によるガスタービンシミュレータ
- 7) 動圧型空気軸受の開発について
- 8) リラクタンス圧力変換器
- 9) ジェットエンジン要素計測の自動化
- 10) VLCC用推進プラントとしての産業用ガスタービン
- 11) 1000KVAガスタービン電源車
- 12) 400MW級STAGプラントについて
- 13) 魚雷艇用IM300ガスタービン
- 14) ガスタービン用高温燃焼器の研究 (第2報)
- 15) ガスタービンの燃焼特性
- 16) 重・軽油燃焼ガスタービンの低公害燃焼法
- 17) 鑄造用耐熱合金の表面反応について
- 18) 高温タービンに関する二・三の問題
- 19) 冷却翼の温度分布
- 20) 圧縮・膨張過程において外部授受熱と内部摩擦を考慮したガスタービンサイクルの検討
- 21) エンジンガシフィヤーガスタービンのサイクル計算
- 22) ソニックアナリシスの予備的研究
- 23) 翼列の空力減衰特性に関する実験
- 24) 液体ロケット用超音速タービン翼型の開発
- 25) 遠心及び斜流羽根車における翼面負荷の性能特性に及ぼす影響
- 26) 遷音速軸流圧縮機の産業用ガスタービンへの応用

自動車、あるいは船舶へのガスタービンの適用ターゲットとした発表が、複数見られるのは興味深い。また、「ハイブリッド計算機」といった言葉があるが、これはデジタルコンピュータとアナログコンピュータを連携する形で活用した計算機であり、まさに隔世の感がある。また、第1回の講演会にもかかわらずタイトルに「第2報」とあるのが面白い。著者名は示さなかったが、後に会長となられた方の名前も見られる。原稿には手書きのものも多く、かえって当時の熱気を伝えてくれているように感じられる。

第2回以降、開催場所を東京タワーの直ぐ近くにある機械振興会館に移し、例外はあるものの毎年5月あるいは6月に開催されていた。論文集の表紙を見ると、第7回以降は機械学会との共催になっていることがわかる。これ以降、第37回定期講演会までが機械学会との共催であるが、第38回以降は協賛団体のひとつに機械学会が名を連ねる形となっている。また、2002年5月には創立30周年記念ガスタービン講演会が開かれている。この講演会は通常の定期講演会とは異なる位置づけだったのか、機械学会との共催ではない。なお「第30回定期講演会」は同年10月に富山で開催された講演会となっている。ちなみに、創立10周年(1982年)の際は日本ガスタービン学会設立十周年記念行事が6月3日、4日にわたって行われ、その行事の中で第10回定期講演会が6月4日に開催された形となっている⁽¹⁾。また、20周年(1992年)の

際は、6月18日から19日の午前中にかけて第20回定期講演会が開かれ、その後記念式典が行われている⁽²⁾。いずれも機械学会との共催である。なお、現在、毎回行われる特別講演は第16回以降に定着したようである。

一方、表2に示すように1985年からは、定期講演会とは別に秋季講演会が開催されている。第1回秋季講演会の講演論文集の表紙には、「日本ガスタービン学会秋季大会鹿児島地区講演会」と表記されている。学会誌に掲載された報告⁽³⁾によれば、見学会が実施され、特別講演もあったことがわかる。1987年には秋季講演会が開催されていないが、これは同年IGTCが開催されたことによるものと考えられる。これ以降、IGTC開催年には秋季講演会の開催月を8月あるいは9月等に変更し、IGTCの開催時期(通常10月頃)を避ける形で、講演会を実施している。表1から、秋季講演会開催により、講演会が年2回の開催となつて以降も定期講演会の講演数はほぼ維持されていることがわかる。しかし、秋季講演会の講演数はすぐに定期講演会のものを上回るようになっており、比重が秋季講演会に移りつつあることがわかる。なお、秋季講演会はいずれも機械学会との共催である。こういった状況を背景としたのだと思われるが、2002年以降、定期講演会を年1回のみ秋の開催として、現在に至っている。今までの開催地は全国津々浦々に渡っており、全国制覇(?)が期待される。

2.3 将来

定期講演会においては、限られた期間ではあるものの、共通する技術分野において活動を行っている人々が実際に集い、コミュニケーションを取ることができる。ネットの時代であっても、この直接的な情報共有のメリットが無くなることはないであろう。したがって、今後とも定期講演会は開催され続けられると思われるが、一方で現状の形が最良という保証はどこにもなく、過去においても「進化」してきているわけである。事実、第1回定期講演会開催時にはなかった特別講演や見学会の開催が、今や常態化している。

今後とも、定期講演会を学会の目的達成あるいは会員へのサービス提供の「手段」としてどう活用すべきかを考え、あり方を見直しながら開催し続ける必要があるのだろう。

3. ガスタービンセミナー

今年度で43回目の開催となるガスタービンセミナー(以下セミナー)は、ガスタービンに関わる各種技術分野の最前線で活躍するメーカーや大学・研究機関の方に講師を依頼して、各1時間で技術解説や事例紹介などしていただく形式の講演会である。第1回のセミナーは1974年1月25日に開催されており、本学会発足の翌年度から続いている歴史ある行事である。また第1回セミナーの準備のために編成された特別企画委員会が後の企画委員

Table 1 List of Annual Conferences

期	年度	定期講演会	開催日	場所	演題数
	昭和48年度	第1回定期講演会	1973/6/1	国立教育会館	26
	昭和49年度	第2回定期講演会	1974/6/4	機械振興会館	28
	昭和50年度	第3回定期講演会	1975/5/30	機械振興会館	19
1期	昭和51年度	第4回定期講演会	1976/6/4	機械振興会館	20
2期	昭和52年度	第5回定期講演会	1977/9/27	機械振興会館	18
3期	昭和53年度	第6回定期講演会	1978/6/2	機械振興会館	22
4期	昭和54年度	第7回定期講演会	1979/6/4	機械振興会館	26
5期	昭和55年度	第8回定期講演会	1980/6/6	機械振興会館	16
6期	昭和56年度	第9回定期講演会	1981/6/5	機械振興会館	28
7期	昭和57年度	第10回定期講演会	1982/6/4	機械振興会館	27
8期	昭和58年度	第11回定期講演会	1983/6/3	機械振興会館	20
9期	昭和59年度	第12回定期講演会	1984/6/1	機械振興会館	25
10期	昭和60年度	第13回定期講演会	1985/6/7	機械振興会館	28
11期	昭和61年度	第14回定期講演会	1986/6/6	機械振興会館	23
12期	昭和62年度	第15回定期講演会	1987/6/5	機械振興会館	15
13期	昭和63年度	第16回定期講演会	1988/6/3	機械振興会館	18
14期	平成元年度	第17回定期講演会	1989/6/2	機械振興会館	24
15期	平成2年度	第18回定期講演会	1990/6/1	機械振興会館	24
16期	平成3年度	第19回定期講演会	1991/5/31	機械振興会館	24
17期	平成4年度	第20回定期講演会	1992/6/18-19	早稲田大学国際会議場	34
18期	平成5年度	第21回定期講演会	1993/6/4	機械振興会館	24
19期	平成6年度	第22回定期講演会	1994/6/3	機械振興会館	24
20期	平成7年度	第23回定期講演会	1995/6/2	機械振興会館	24
21期	平成8年度	第24回定期講演会	1996/5/29	早稲田大学国際会議場	33
22期	平成9年度	第25回定期講演会	1997/5/30	早稲田大学国際会議場	35
23期	平成10年度	第26回定期講演会	1998/5/29	名古屋国際会議場	28
24期	平成11年度	第27回定期講演会	1999/5/26	早稲田大学国際会議場	24
25期	平成12年度	第28回定期講演会	2000/6/2	都立科学技術大学	24
26期	平成13年度	第29回定期講演会	2001/6/1	都立科学技術大学	22
27期	平成14年度	創立30周年記念 ガスタービン講演会	2002/5/24	早稲田大学国際会議場	23
		第30回定期講演会	2002/10/9-10	富山国際会議場	54
28期	平成15年度	第31回定期講演会	2003/6/25-27	北見市芸術文化ホール木のプラザ	54
29期	平成16年度	第32回定期講演会	2004/10/20-22	高知市かるぽーと	50
30期	平成17年度	第33回定期講演会	2005/9/14-16	伊勢観光文化会館	45
31期	平成18年度	第34回定期講演会	2006/10/25-27	弘前文化センター	51
32期	平成19年度	第35回定期講演会	2007/9/19-21	長良川国際会議場	43
33期	平成20年度	第36回定期講演会	2008/10/15-17	日立シビックセンター	62
34期	平成21年度	第37回定期講演会	2009/10/21-23	山口県教育会館	61
35期	平成22年度	第38回定期講演会	2010/10/20-22	アスティとくしま	67
2011	平成23年度	第39回定期講演会	2011/7/6-7	長野県松本文化会館	54
2012	平成24年度	第40回定期講演会	2012/10/17-18	釧路市観光国際交流センター	72
2013	平成25年度	第41回定期講演会	2013/10/16-17	沖縄産業支援センター	67
2014	平成26年度	第42回定期講演会	2014/10/22-23	熊本市国際交流会館	51

Table 2 List of Fall Annual Conferences

期	年度	秋季講演会	開催日	場所	演題数
10期	昭和60年度	第1回秋季講演会	1985/11/4	鹿児島大学	19
11期	昭和61年度	第2回秋季講演会	1986/11/27	広島工業大学	22
12期	昭和62年度				
13期	昭和63年度	第3回秋季講演会	1988/11/3	愛媛大学	26
14期	平成元年度	第4回秋季講演会	1989/10/26	金沢工業大学	23
15期	平成2年度	第5回秋季講演会	1990/11/8	東北大学	30
16期	平成3年度	第6回秋季講演会	1991/8/26	北海道大学	39
17期	平成4年度	第7回秋季講演会	1992/11/5	ルネッサンス長崎・伊王島	37
18期	平成5年度	第8回秋季講演会	1993/10/6	岩手大学	42
19期	平成6年度	第9回秋季講演会	1994/11/10	島根県立産業交流会館	40
20期	平成7年度	第10回秋季講演会	1995/9/7	オークラホテル新潟	39
21期	平成8年度	第11回秋季講演会	1996/11/7	宮崎厚生年金会館	48
22期	平成9年度	第12回秋季講演会	1997/10/16	奈良県新公会堂	35
23期	平成10年度	第13回秋季講演会	1998/10/8	大沼国際セミナーハウス	48
24期	平成11年度	第14回秋季講演会	1999/8/26	ビッグバレット福島	26
25期	平成12年度	第15回秋季講演会	2000/11/9	北九州国際会議場	38
26期	平成13年度	第16回秋季講演会	2001/10/25	秋田市民会館	42

会となり、現在の集会行事委員会にその任務が引き継がれている。

セミナーの開催時期は当初より毎年1月下旬にほぼ固定されており基本的に東京地区での開催であるが、大阪で第6回セミナーを9月に開催した1978年に限っては年2回開催となった。またこの回までは1日間で5件程度の講演を行う形式であったが、1979年の第7回以降は2日間の開催となった。

第1回セミナーの5件の講演の題目は、「ガスタービンの動向と応用分野」、「エネルギー問題におけるガスタービンの役割」、「構造面より見たガスタービンの特徴」、「ガスタービンの負荷特性と制御」、「ガスタービンの燃焼とExhaust Emissionの低減法について」というもので、ガスタービン全般にわたる内容であったが、第2回では騒音と燃焼の問題にかかわる4件の講演で構成されており、次第にその回のテーマを決めてセミナーを企画するようになり、第7回以降は資料集にテーマが明記されるようになった。特に、研究発表されることが少ない問題、例えば運用・保守・メンテナンスなどもテーマとして取り上げることが特徴の一つとなっている。また、2001年に初めてパネルディスカッション「マイクロガスタービンの現状と展望」が実施されて以降、その回のテーマに関するパネルディスカッションが企画されることが増えている。

現在のセミナーは、集会行事委員会によって以下のように準備されている。年度当初の委員会でまずテーマについて議論するが、最近では「ガスタービンの最新技術」といった幅広いキーワードとともに、前回のセミナーのアンケート結果や注目されている技術分野などを

参考に、より範囲を限定したキーワードを選定することが多い。次に委員会メンバーが所属する組織を中心に提供可能な話題を抽出するとともに、最近の定期講演会などで行われた発表の中からより詳しく話をしていただければ有益と思われる話題について講演を依頼するなどし、9月頃には講演者候補を決定する。正式な講演依頼ののち資料集用の原稿の執筆を11月下旬の締め切りでお願いし、委員会内で原稿の査読を行った後、年末には印刷発行の準備を終える。並行して当日の運営分担を検討してセミナーの前の週の委員会で準備状況を最終確認する。

セミナーの資料集は第1回から発行されており、参加者に配布されるとともに、残部があれば販売もしている。講演内容に即して書下ろししていただいているが、当日の講演時に使用されるパワーポイントとは必ずしも一致しないことがある。アンケートでも資料集の記述内容と講演内容との統一の要望が寄せられているが、特にメーカーからの講演については、配布資料には記載できない踏み込んだ情報の提供や意見交換が行われることによって、より実のあるセミナーとなることも期待しており、あまり厳密に同一性は求めないのが現在の委員会の考え方である。なお、これまでの資料集は、長年、モノクロ印刷であったが、第43回からはカラー印刷となった。

参加者数は第1回の164人を皮切りに、おおむね100人を超えており、定期講演会と並ぶ規模の行事である。開始当初は組織の壁を越えてガスタービンに対する理解を深める役割を担っていたが、各メーカーの得意分野や役割分担が進んだ今日においても、他社の技術に触れることができる貴重な機会となっているのが本セミナーである。研究者のみならず、ガスタービンの実務に携わる方々の

学習の機会としても、引き続き参加・活用を期待したい。

4. 見学会・技術懇談会（技術フォーラム）

本学会の前進の日本ガスタービン会議が発足した1972年の11月6日に早くも第1回の見学会が実施され、以来、通算100回を超えた。現在では年2回の開催が標準的であるが、過去には最大5回実施された年度もある。見学会に加えてまとまった時間の講演が付随する場合に「見学会・技術懇談会」と称し、それ以外は単に「見学会」と称している。また公益法人化以前は地方委員会も「見学会・技術フォーラム」の名称で企画・運営を担当した。

これまでの見学先を業種別に分類したものを表3に示す。累積データではメーカが圧倒的に多いが、近年は同業者の見学を受け入れてもらえないケースがほとんどであり、企画しにくくなったことは否めない。しかし物を作る現場を知ることは、特に若手にとっては貴重な機会であり、参加人数が見込める場合は引き続きメーカの見学も検討したいところである。

最近定番となっているのが、旅客機・ジェットエンジンのメンテナンス関係で、ほぼ2年に1回、実施している。多くの場合はエアラインが一般向けにも公開しており本学会の企画でなくても見学できる内容ではあるが、参加者の構成から自ずと専門的な質疑が行われる傾向にある。

公益法人化により、不特定多数の者の利益の増進に寄与する公益目的事業の実施が求められていることを念頭に、見学会の参加条件には極力、会員資格の有無を問わないように努めている。2013年度に2回実施した見学会では、会員外の参加者の割合が30%弱であった。また参加者の利便性を考慮して土曜日に開催したこともあるが、見学先の対応可能日の関係で平日の開催がどうしても多くなる。

公益法人化に伴う組織見直しにより地方委員会がなくなったこともあり、見学会開催地が首都圏に集中していることは、今後の課題の一つととらえている。以前は、首都圏以外の企業が魅力的な見学先の一つであったが、前述の同業者の参加が困難になっている事情もあり、参加者数が見込めないおそれがある。一方で後述の教育シンポジウムの開催場所で行う見学や、首都圏以外で開催する定期講演会に伴う見学会は必ず開催地周辺で行われることを考慮すると、単独の見学会が参加者の集まりやすい場所となることは必然かもしれない。

Table 3 Summary of Technical Visit (up to FY2013)

業種	件数
発電、エネルギー事業等	21
メーカ	42
エアラインのメンテナンス関係	9
ユーザ	14
研究機関等	21

5. ガスタービン教育シンポジウム

本学会が発足して20年以上たち、コンバインドサイクル発電プラントが普及し高バイパスファンエンジン搭載旅客機が主流となった一方で、ガスタービンに関する講義を行う大学は少なく、若手技術者の多くは就職して初めてガスタービンという機械技術の粋を結集したシステムに接していた。そこで1995年からガスタービン教育シンポジウム（以下、教育シンポジウム）が開始された。

第1回は日立製作所で実施され、53名の参加者を集め、初日は「概論」、「ガスタービンと流体力学」、「ガスタービンと伝熱工学」、「ガスタービンと燃焼工学」の4コマの講義と懇親会、2日目は日立工場と勝田工場の見学というものであった。参加資格は「工学系大学、大学院、高等専門学校、工業高校在籍者」と学生に限定していたが、第3回からは「若手技術者」を加えて社会人も対象とし、現在では「大学、大学院、高等専門学校在籍者、ならびに技術者（ガスタービン初心者）」としている。

その後、講義内容に「ガスタービンと材料工学」、「ガスタービンと制御工学（回によってはガスタービンと運転・制御）」が加わるとともに、開催場所の企業・組織での研究・開発の紹介を行うスタイルが2004年の第10回までに確立した。

2005年の第11回までは、関東で8回、関西で3回、いずれも7月に2日間開催されてきたが、2006年からは毎年7月に関東、隔年で9月に関西で開催する現在の方式となった。会場としてお借りする企業や組織の研究・開発の紹介とともに見学会も実施しているが、前項でも記したように、最近では同業者の見学が許可されないことに関して、参加者へのアンケートでも「残念である」という声が多々寄せられる点は、何か工夫ができないか思案しているところである。そのような制約がほとんどないJAXA調布航空宇宙センターでの開催は前身の航空宇宙技術研究所の時代を含めると2014年度までの全25回中8回を数える。同じ開催場所が続くことについて運営側としてはもっとバリエーションを持たせたいと思いつつも、参加者のほとんどは1回のみ参加であることを考えると、あまり問題ではないのかもしれない。

教育シンポジウムで使用する教材は、第10回まではその回の講師が自分が担当する講義の分を用意し、学会事務局でコピー・バインドして参加者に配布されたが、2004年にガスタービン技術継続教育教材作成委員会が発足し、40名を超える執筆者の協力による簡易製本で約350ページの教材「ガスタービン」が完成、2005年から使用した。以降、講師は教材に即してパワーポイントを準備し、講義を行う方式となった。

教材は2006年、2008年、2010年とおおよそ2年ごとに改訂されたが、並行して教科書の出版について教材作成委員会を中心に議論が行われ、2011年にガスタービン学会創立40周年記念事業として教科書の発刊が決定された。

公益法人化にともない教科書出版事業はガスタービン技術普及委員会（以下、技術普及委員会）が担当することとなり、教育シンポジウムの教材に大幅な改訂を加えて、2013年8月31日に教科書「ガスタービン工学」初版が発行された⁽⁴⁾。以後、教育シンポジウムではこの教科書を教材として使用するため参加費に教科書代を含んでいるが、大学での教育等で先に購入している受講者がいることに配慮し、教育シンポジウム受講者の教科書には確認印を押印することとし、押印のない教科書を持参した受講者の参加費を割り引いている。

教育シンポジウムの開始当初は担当する当時の企画委員会が講師の選定を行った。現在は教科書との整合性を重視して、技術普及委員会の協力により教科書編集や執筆に関わっていただいた方の中から開催地ごとに適任者を選任している。講義で使用するパワーポイントは教科書の記述をふまえて講師独自の資料も付け加えることでより充実させているが、一方で教科書上の対応するページとの関係が判りにくいとの意見が受講者へのアンケートからも寄せられている。現在、集会行事委員会で改善を検討しているところである。

例年、教育シンポジウムへの参加を機に多くの方に本学会への入会を申し込んでいただいている。開始から20周年となるこの行事は、教育普及事業の大きな柱であるとともに、学会発展にも欠かせないものとなった。

6. ガスタービンシンポジウム、特別講演会

1979年7月6日に開催されたシンポジウム「セラミックとガスタービン」がガスタービンシンポジウム（以下、シンポジウム）の始まりである。以降、おおよそ年1回開催されてきたシンポジウムは、毎回、一つのテーマを

設定して、午後半日に収まる程度のプログラムで実施されてきた。テーマとする分野の専門家数名の講演を軸に意見交換を行うスタイルで、ガスタービンを支える個別技術や動向に関する知見を深める行事である。他の行事と異なり、実施時期は特に定まっていない。最近ではセミナーで設定するテーマがシンポジウムの枠組みによる企画と似る傾向にあることや、定期講演会でのパネルディスカッションなどの企画が充実していることもあり、単独の行事としてのシンポジウムの企画立案がやや難しくなってきたと感じている。

毎年4月に開催される総会の後には、1名の方に1時間程度の講演をお願いする特別講演会が開催されている。総会に出席する会員の専門技術分野は多岐にわたることから、特別講演会では特定分野の研究や開発ばかりでなく、企業戦略についてお話をいただくこともある。講師の選定は技術普及委員会が主担当として関連委員会と連携して行い、司会進行役を集会行事委員長が担当している。なお、この特別講演会についても、可能な場合は非会員の参加を認めている。

7. 参考文献

- (1) 遠藤征紀, “設立十周年記念行事経過報告”, 日本ガスタービン学会誌, Vol. 10, No.37 (1982), pp. 101-102.
- (2) 有賀一郎, 大田英輔, “学会設立20周年記念行事を終えて”, 日本ガスタービン学会誌, Vol. 20, No.78 (1992), pp. 59-60.
- (3) 有賀一郎, “ガスタービン秋季大会鹿児島地区講演会を終えて”, 日本ガスタービン学会誌, Vol. 13, No.51 (1985), pp. 70-72.
- (4) 公益社団法人日本ガスタービン学会, “ガスタービン工学”, 2013

特集：ガスタービンに関わる国内外の学会会議等

Asian Congress on Gas Turbines 2014 報告

葉狩 智子^{*1}
HAGARI Tomoko

キーワード：ACGT, ガスタービン, 計測, 数値解析, 再生可能エネルギー, 空力, 伝熱, 燃焼, 構造
ACGT, Gas Turbine, Experiment, Numerical Simulation, Renewable Energy, Aerodynamics,
Heat Transfer, Combustion, Structure

1. はじめに

アジア地域におけるガスタービン関連技術に関する情報交換と人的交流を促進することを主目的として始まったAsian Congress on Gas Turbines (アジアガスタービン会議) の第4回会議ACGT2014が2014年8月18日から20日まで、韓国のソウル国立大学で開催された。この会議は、本会主要行事の一つとして4年ごとに開催されるInternational Gas Turbine Congress (IGTC) の中間の年に日本・中国・韓国の3か国を中心として2年毎に開催されているもので、今回は7カ国から161名が参加して盛会裏に終了した。なお、本会議の発足及びその後の経緯などは過去のACGT2009, 2012の報告記事 (ACGT2009: 本誌Vol.37 No.6, 2009.11掲載, ACGT2012: 本誌Vol.40 No.6, 2012.11掲載) に詳細が掲載されているので、そちらを参照されたい。

2. 会議概要

ACGT2014は2014年8月18日(月)から20日(水)の3日間の会期で、ソウル国立大学Gwanak main campusで開催された。会場となったキャンパスは、ソウル中心部から漢江を挟んで15kmほどの位置にある冠岳山の中にある。駐留米軍のゴルフ場だった敷地を利用して建設されたとのことで、学内が非常に広く起伏が激しいため、参加者はホテルから会場まで送迎バスで移動した。参加登録費は一般US\$250, 学生US\$100と過去3回と同じ水準で、Proceedings (CD), 会期中の昼食, Banquetを含んでいた。なお、今回は見学会は行われていない。

講演は、Keynote Speech 4件, Tutorial Session 1件, Forum 1件, OEM Session 2件, そして一般講演は最大6室の平行セッションで113件の発表が行われた。一般講演は過去最高の件数で、参加者も多く会期を通して盛況であった。国別の発表論文数について、過去の数値と合わせて表1に示す。今回は、日中韓3か国の他にインドからの発表が多く、ガスタービン分野の研究が盛

Table 1 Statics of the number of technical session papers by country

	2009年	2012年	2014年
韓国	17	7	38
日本	34	23	30
中国	10	55	31
スイス	2		
米国			2
インド			10
インドネシア	1		
イラン		6	
英国		1	
ギリシャ		1	
マレーシア		1	
合計	63	93	113

んな様子がうかがえた。

プログラム編成としては、一般講演以外のセッションが毎日午前・午後の最初に行われる形となっていた。一日に一回は参加者全員が一つの部屋に集合するため、他の国際学会とは違いアットホームな雰囲気であった。

2.1 Keynote Speech

今回は日本, 中国, 韓国, インドからそれぞれ1件ずつ講演が行われた。またTutorial Sessionとして2日目の最後に1件の講演が行われた。以下、順に概要を記す。

18日(月)朝の最初のKeynote speechは、中国の北京航空航天大学 (Beihang University) のXiaofeng Sun教授より "Some New Phenomena of Unsteady Flow in Turbomachinery" と題した講演が行われた。動翼・静翼間の干渉により発生する振動のメカニズム、鳥の羽ばたき時の動きを模擬して静翼を振動させることにより干渉を抑制する研究について紹介された。

19日(火)は2件のKeynote speechとTutorial sessionがあり、午前はインド工科大学 (IIT Bombay) のB.V.S.S.Prasad教授による, "Gas Turbine Secondary Air System - Some Developments" と題したKeynote speechが行われた。ガスタービンの二次空気系におけ

原稿受付 2014年11月4日

*1 川崎重工(株) ガスタービンビジネスセンター 要素技術部
〒673-8666 明石市川崎町1-1

る構造一流体を連成させた評価方法について、ラビリンスシールや予旋回ノズル、回転ディスクキャビティを題材にした研究が紹介された。二次空気系の構造の最適化はエンジンが小さいほど重要であること、形状および流れの条件が複雑であるため単独のアプローチによる全体評価は難しいことが研究事例紹介とともに示された。

午後は韓国の浦項工科大学校（Pohang University of Science and Technology, POSTECH）のJehyun Baek教授より”Endwall Treatment in Turbomachinery”と題してKeynote speechが行われた。圧縮機の翼端漏れ流れによる損失低減方法について、Endwall treatment deviceの配置やContouringに関する研究が紹介された。最後にTutorial sessionとして、米国GE AviationのDr. Hyoun-Woo Shin氏より”Unsteady Flow Field Measurements and Analyses for the Next Generation Turbomachinery”と題した講演が行われた。ファン、圧縮機の非定常流れ計測に関するGEでのこれまでの取り組み事例と今後の展開が紹介された。失速の予測、翼端渦の計測などについて試行錯誤の経緯を織り交ぜながら示され、質疑応答も合わせて活気のある内容だった。

最終日の20日(水)には、日本から東京理科大学の本阿弥真治名誉教授による講演,”Recent Development of Flow Control Technology in Gas Turbine Application”が行われた。二次流れの制御による空力・伝熱性能向上及びその評価方法について、研究事例とともに紹介された。

2.2 Forum

ACGTでは、テーマを決めて複数の講演者による関連講演と議論を行うフォーラムを企画することが恒例となっている。今回は”National Energy Strategy Forum”と題して中、印、日、韓各国におけるエネルギー事情と今後の戦略が紹介され、討論が行われた。図1に講演者、図2に会場の様子をそれぞれ示す。講演会実行委員長のソウル国立大学Seung Jin Song教授による司会で、中国からは西安交通大学のZhenping Feng教授、インドからはIIT MadrasのAjit Kolar教授、日本からは電力中央研究所の服部徹氏、韓国からは韓国エネルギー技術評価院（KETEP）のNamsung Ahn氏が講演を行った。以下に、各講演の概要を示す。

エネルギー消費が世界の20%を占める中国では、数十年先まで電力供給は増える傾向にある。環境保護の観点から、現在エネルギー供給の約7割を占める石炭の使用を削減して、水力、再生可能エネルギーなどのシェアを拡大する必要があるが、そのためにはエネルギー効率の改善が喫緊の課題であるとしている。インドでも、中国と同様エネルギー供給源として石炭を主に使用しているが、再生可能エネルギーとして風力発電を積極的に取り入れようとしている。未だ4億人の国民が電力を使えな



Fig. 1 Panelists of the forum session (from left, Prof. Song, Mr. Hattori, Prof. Feng, Prof. Kolar, and Mr. Ahn)



Fig. 2 Atmosphere of participants in the forum session

い環境にあることから、これから10年で電力を10万MW増大させ、長期的にはすべての国民に電力を供給することをエネルギー戦略の目標としているとのことであった。

日本のエネルギー政策としては Economic Efficiency, Energy Security, Environment Protection の3Eが重要であり、その中でもEnergy Securityに重点を置いていること、今後はさらにSafetyを追加した3E+Sがキーとなるとしている。それらを確保するためのベースロード電力として原子力発電は重要な役割を担うこと、一方で現在の電力供給方法を見直すことでエネルギー利用の合理性を高める必要があることが言及された。韓国からは、再生可能エネルギーのシェア拡大に向けた動きとともに2013年に開発された1350℃クラスの高スタービンの紹介が行われた。

2.3 OEM Session

実機開発プログラムの紹介として、米国と日本から講演が行われた。米国からはGE Power & WaterのDavid Leach氏による”GE H Class Gas Turbine Leadership – 20 Years of Technology Development”と題した講演が行われ、H型ガスタービンに適用されている最新の要素技術と運転実績が紹介された。日本からは三菱日立パワーシステムズ（MHPS）の田中克則氏による”Development of MHPS Advanced Large Scale Gas Turbines”と題した講演が行われ、韓国におけるMHPSの製品シェアやJ型ガスタービンの運転実績、TIT（ター

ビン入口温度) 1700℃級の次世代ガスタービン開発の内容について紹介された。

2.4 論文講演

今回は、30のセッションで113編の論文が発表された。その内訳は以下の通りである。

- (1)空力：Compressor Cascade Aerodynamics (4件), Fan Aerodynamics and Performance (4件), Aerodynamics and Performance of Turbines (4件), Aerodynamics of Gas Turbine Components (4件), Centrifugal Turbomachinery (4件), Separation and Wake Issues in Compressors (3件), Fundamental Flow Phenomena (4件), Compressor Design and Optimization (4件), Leakage Flows in Turbine (4件), Compressor Leakage Flows (4件), Flow Instability in Compressors and Fans (4件), Topics in Compressors (4件), Topics in Turbines (4件), Numerical Analysis of Novel Fluid Machinery (3件)
- (2)システム関係：Advanced Cycles (3件), Test and Simulation of Gas Turbine Systems (3件), Small and Micro Gas Turbines (4件)
- (3)伝熱：Film and Novel Cooling (3件), Internal Cooling I & II (8件), Heat Transfer Measurement (3件)
- (4)燃焼：Combustor Development (4件), Combustion Characteristics (4件), Combustion Stability (4件), Fuel Diversity and Emission (4件), Spray and Atomization of Fuel (3件)

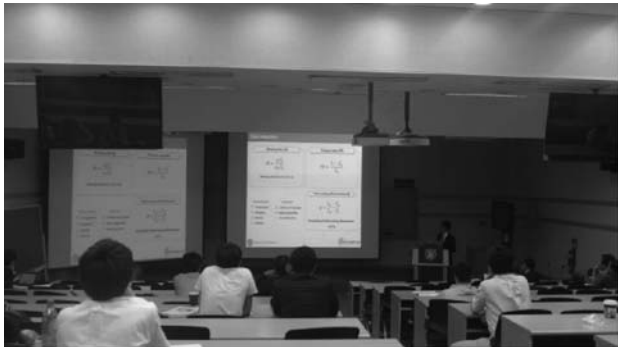


Fig. 3 Technical session room



Fig. 4 Waiting participants during civil emergency drill

(5)材料：Superalloys (4件)

(6)構造・損傷・保守：Gas Turbine Development and Maintenance (4件), Blade Vibration and Structure/Fluid Interaction (4件)

各セッションの司会 (1名) は日中韓からの参加者が分担し、日本からは5セッションを担当した。今回は各講演のアブストラクト集は配布されず、Proceedingsはこれまで通りCD-ROMで配布された。一般講演の様子を図3に示す。

今回印象的だったのは、3日目午後のセッション途中に市民軍事訓練が行われたことである。訓練が行われる事については、午前中のセッション開始前に参加者へアナウンスされた。その連絡通り14時に緊急放送が入って、一番大きい部屋に全員が集められた。その場で30分ほど拘束された後、終了の放送で元の部屋に戻りセッションが再開された。訓練時間中は、図4に示すように参加者は雑談するなどして時間をつぶしていた。「民防の日」として毎月行われているとのことだったが、日本人にとっては日常生活の中で緊張感が高まる珍しい体験であった。

2.5 バンケット

2日目のTutorial Session終了後、会場近くにある大学内のレストラン (図5) にてバンケットが開催された。最初に実行委員長であるソウル国立大学のSeung Jin Song教授から開会の挨拶があり、延世大学のHyung-Hee Cho教授の音頭で乾杯が行われた。その後は各テーブルで和やかに食事を楽しみ、はじめは国ごとにテーブルを囲んでいた参加者も後半には色々なテーブルへ移動して交流を深めていた。最後に、次回のACGTはここ数年のインドからの参加状況を反映してインドのボンベイ



Fig. 5 Banquet hall

で開催する旨アナウンスがあり、新たな開催国を歓迎する雰囲気の中で終了した。

3. 今後のACGTについて

2日目の昼食時に、講演会運営委員によるInternational Organizing Committee Meetingが開催され、ACGTの今後について以下のように議論・確認された。

インドからの参加が増えてきている状況を鑑みて、今回よりインドから3名が委員として承認された。ACGTの運営には従来の日中韓の3か国に加えてインドが参加することになり、国際的に発展してきている。

それに伴い、冒頭の論文発表数が示す通り規模は年々大きくなっているが、今後もリーズナブルな参加費で友好的な雰囲気を維持できるように運営していくことが重要であることを確認した。

最後に、インドが委員会に参加したことを受けて次回ACGT2016はインドのボンベイにて開催されることが決

定した。なお、過去3回のACGTは8月に開催されてきたが、インドの気候を考慮して11月に開催されることになった。

4. おわりに

近年アジア地域に対するASME/IGTI等の注目が高まっているが、アジアからの情報発信の場としてのACGTは今回からインドが運営に加わることにより、さらに存在感が高まるものと期待される。そのような中において、本学会としてもこの講演会を核とした国際活動の強化がますます重要になっていくと思われる。

最後に、ACGT2014の準備・運営は、中心となって活躍されたソウル国立大学のSeung Jin Song教授と研究室のスタッフの方々、並びにLocal Organizing Committeeメンバーの多大な努力により素晴らしくオーガナイズされたものであった。関係の皆様に深く感謝したい。

(国際委員会／ACGT2014実行委員会)

特集：ガスタービンに関わる国内外の学会会議等

IGTC2015 Tokyoについて

渡辺 紀徳^{*1}

WATANABE Toshinori

キーワード：IGTC2015, 国際ガスタービン会議, 国際活動, 国際協力

IGTC2015, International Gas Turbine Congress, International Activity, International Cooperation

1. はじめに

International Gas Turbine Congress (IGTC) は日本ガスタービン学会が独自に開催してきたガスタービンを中心とする分野の国際会議である。1971年にASMEのGas Turbine Divisionが東京で開催した国際ガスタービン会議東京大会を発祥としている。このときに日本側で対応された学界および産業界の方々が、会議後に日本ガスタービン会議を組織され、これが1975年に日本ガスタービン学会へと発展した。その後IGTCは4年に1度の開催が定着し、次回のIGTC2015 Tokyoが第11回目を数えるに至っている。参加者は毎回500名前後で、外国からの参加を増やすことが課題とされてきたが、近年はそれも増加傾向にある。また、会議と同時に展示会を開催し、最新の機器情報を得ることができるのも特徴となっている。

ここでは本年11月に開催されるIGTC2015の準備状況や計画を、近年の会議の動向を交えて紹介する。IGTCの魅力がお伝えできれば幸いである。なお、IGTCの歴史については学会誌に詳細な解説¹⁾が掲載されているので参照されたい。

2. 近年のIGTC

筆者がIGTCに論文発表だけでなく、運営にも関わったのは、第7回のIGTC1999 Kobeからである。もっとも学生アルバイトとしては、サンシャインプリンスホテルで開催された第3回のIGTC1983 Tokyoで裏方を分担した。初めて国際会議のお手伝いをしたので強く印象に残っている。

神戸国際会議場で開催されたIGTC1999 Kobeでは、論文発表の質を上げるため、初めてフルペーパー査読を実施した。まだ電子メールが発達しておらず、紙ベースで論文査読や論文集発行を行った最後の会議であった。筆者は論文委員会の幹事で、ハンドリングの手間が非常に大変だったことを記憶している。この回は615名の参加者があり、現在までのレコードとなっている。また、

関西での開催はこの時が初めてであった。

続くIGTC2003 Tokyoはタワーホール船堀で行われた。実行委員会の手作り感あふれる会議で、会場で抹茶のサービスが行われるなど、外国人参加者に好評であった。この回からASME IGTI (International Gas Turbine Institute) の協賛が復活し、その効果であるかは明確でないが、海外からの参加者が117名にのぼった。これが現在までの最多記録である。

その後、ASME IGTIは継続的に協賛しており、協力関係はIGTCに限らず、学会の国際活動において進展している。

IGTC2007 Tokyo (京王プラザホテル)、IGTC2011 Osaka (グランキューブ大阪) でも海外からの参画が活発で、会議の浸透・定着が感じられた。前回のIGTC2011では論文数が過去最多の192件にのぼり、全体の参加者はやや少なかったものの、外国人の参加者は113名と多かった。

2014年4月に実施された学会のアドバイザリー委員会では、海外企業所属の委員から、IGTCは社内で広く知られるようになっており、技術者が参加する会議の一つとして明確に位置付けられているとのコメントがあった。

IGTCの講演会では論文発表の他、招待講演やパネルディスカッション、フォーラムなどが多様に盛り込まれており、最新の国際的学術・技術情報が得られる機会となっている。IGTC2011ではNASA Glenn研究所、Rolls-Royce社、EUコミッションなどからの講演があった。また、若い研究者・技術者の参考になると思われる、名誉会員のお二方 (David Wisler氏、吉中司氏) からの特別講義もあった。元GE社のWisler氏はLearn to Think Like an Expertという技術者教育に関する講演をされ、元P&Wカナダ社の吉中氏はジェットエンジン開発の経験をもとに、My Hope to Young Gas Turbine Professionals - Approach to Technical Opportunities - という題目で若い技術者へのメッセージを語られた。パネルディスカッションはジェットエンジン関係と電力関係の2件が行われた。ジェットエンジンについては環境適合・CO₂削減の短期・中期動向をテーマとし、パネリストは国交省の山口茂彦氏、Rolls-RoyceのSimon Weeks氏、Pratt & WhitneyのAlan Epstein氏、IHIの

原稿受付 2014年11月10日

*1 IGTC2015実行委員長

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

児玉秀和氏, JALの斉藤徹氏, ANAの野口利彦氏であった。また, 経産省の金井隆幸氏がオブザーバーとして参加した。電力関係はやはりCO₂削減がテーマで, ETHのAbhari教授, 関西電力の砥山氏, 東芝の鈴木氏がパネリストであった。この他フォーラムが2件行われ, ジェットエンジン環境対応技術の長期展望をテーマとしたフォーラムではNASAのKenneth Suder氏, EUコミッションのRemy Denos氏, JAXAの西澤敏雄氏が講演をされた。もう一つは近年毎回実施している, アジア地域のエネルギー戦略に関するフォーラムで, ソウル大学のSong教授と北京航空航天大学のGui教授の司会により, ハルビン船用ボイラー・タービン研究所のWen氏, 中国科学院のLin氏, Inha大学のKim教授, エネルギー総合工学研究所の黒沢氏が講演をされた。

これらのセッションで最新の国際情勢, 技術動向が把握されるとともに, 広範な議論が活発にできる機会が作られており, 今後も継続的に実施して行くことが望まれる。また, 日本の技術や今後の展望を国際的に発信する絶好の機会となっており, 学会として極めて貴重な活動であると考えられる。

展示会には毎回40社前後の出展があり, ガスタービン・ジェットエンジンおよび関連機器, 部品, 工作, 計測, ソフトウェア, 出版など様々な関連分野の技術情報・製品情報を得ることができる。展示会は参加登録者だけでなく, 広く一般に公開されている。

その他, 毎回の行事として, ウェルカムレセプション, バンケット, プラントツアーが行われ, 参加者間の情報交流や人的交流が活発に行われている。

3. IGTC2015の準備経過

3.1 準備委員会

IGTCの準備は, 準備委員会の発足から始まる。IGTC2015準備委員会は2012年10月に発足し, 委員長(渡辺)の他, 総務担当(JAXA 西澤氏), 論文担当(早大 太田教授), 展示担当(東芝 松田氏), 行事担当(IHI 大石氏), 財務担当(日立 井上氏)の計6名で準備を行った。

準備委員会では会場と会期の検討, 会議の基本理念, 開催趣旨, 重点分野等の検討を中心に準備を進めた。会場については東京周辺の数か所の候補を挙げ, 会議規模や講演セッション数に見合った部屋の確保, 展示会場の確保, 利便性, 行事のやりやすさ, そして費用など, 様々な観点から詳細な検討を行った。その結果, 2014年完成予定だった虎ノ門ヒルズが最終候補として絞られ, 更に財政面で詰めの検討を行い, 開催可能との結論に達したため, ここに決定した。虎ノ門ヒルズは本年6月に無事開業している。このビルの4階と5階が会議場となっており, 虎ノ門ヒルズフォーラムと称して, 周囲とは隔離された会議空間になっている。虎ノ門ヒルズはオープンから大きな話題となっており, 既によく知られ

ていると思うが, この地域の再開発拠点として注目を集めている施設である。立地もよく, 多くの人々で賑わっている。従来よりも一層多数の参加者を期待しているところである。会期はこれまでのIGTCの開催時期を踏襲し, 2015年11月15日(日)~20日(金)とした。

3.2 IGTC2015の開催趣旨と現状認識

準備委員会で設定したIGTC2015の基本理念, 開催趣旨は以下の通りである。

<基本理念>

日本のガスタービンおよびエネルギー関連技術の発展に資する国際的な情報交換と発信および人的交流を促進する。

<開催趣旨と意義>

- ・ガスタービン・エネルギー関連分野の国際的情報交換と人材交流の場の提供
- ・技術セッション, フォーラム, パネルにおける議論を通じた国際情勢の認識共有, 技術動向と将来技術に関する討論, 今後の協力に向けた議論
- ・日本の工学・技術・ユーザー情報の国際発信
- ・国際体験を通じた若手人材育成
- ・アジア域における求心力の向上

また, 関連する周辺情勢とエネルギー・技術情勢を以下のように捉えている。

<周辺情勢>

- ・IGTCは4年に1度の国際会議として定着している。今回は第11回。
- ・2003年からはASME/IGTIとの協力関係が復活している。
- ・公益社団法人として本格的に実施する第1回目である。(前回開催された2011年には既に公益法人化されていたが, 準備段階では旧社団法人だった。)
- ・公益法人化に合わせて学会の活動範囲をガスタービンだけでなくエネルギー関連技術に広げた。
- ・前回まで存続していた組織委員会は設置しないことになった。
- ・アジアでは日中韓の協力でACGT (Asian Congress on Gas Turbines)を開催している。最近インドが運営に参加することになった。
- ・ASME Turbo Expoが2016年にソウルで開催される。

<エネルギー・技術情勢>

- ・震災後のエネルギーシナリオが混沌としている。
- ・原子力の厳しい状況から, ガスタービン・ターボ機械の重要性が従来より高まっている。
- ・環境技術の重要性は変わらないが, CO₂削減のシナリオは不透明となっている。
- ・再生可能エネルギーなどの新エネルギー導入に関する強い関心がある。これに対応する新しいガスタービン技術, ターボ機械技術も議論されている。
- ・ジェットエンジンについてはV2500国際共同開発が商

業的に成功し、現在は後継エンジンPW1100G-JMの開発が進んでおり、日本の技術の国際競争力強化に関する議論や活動も活発化している。更に日本主導の技術革新に向けて種々検討が行われている。

- ・ジェットエンジンに関する低燃費・環境技術は引き続き重要課題である。日本はフロントランナーの一角を占めている。

3.3 実行委員会

準備委員会は2013年9月までの1年間に7回開催し、次に続く実行委員会の構成案を作成して業務を完了した。

続いてIGTC2015実行委員会が、準備委員会の案に基づいて2013年10月に設置された。実行委員会には総務委員会、論文委員会、展示委員会、行事委員会、財務委員会の各委員会が置かれ、それぞれ担当業務を行う。各委員会の委員長・幹事が集まって実行委員会を構成するシステムとなっている。なお、実行委員会にも委員長・幹事が置かれている。委員会メンバーを下に示す。12名で構成されるが、各委員会のメンバーを合わせると総勢約50名となる。実行委員会はIGTC2015の準備から会期中の運営、会議後の報告書の発行まで、全てを担当する。したがって任期は2015年にとどまらず、2016年の5月頃までとなる。

IGTC2015実行委員会

実行委員長 渡辺紀徳（東大） 幹事 姫野武洋（東大）
 総務委員長 西澤敏雄（JAXA） 幹事 牧田光正（JAXA）
 論文委員長 太田 有（早大） 幹事 寺本 進（東大）
 展示委員長 松田 寿（東芝） 幹事 北山和弘（東芝）
 行事委員長 大石 勉（IHI） 幹事 山上 舞（IHI）
 財務委員長 井上 洋（MHPS） 幹事 後藤仁一郎（MHPS）

4. IGTC2015の計画概要

4.1 実施計画概観

会期 : 2015年11月15日(日)～20日(金)
 (講演会は16日(月)～19日(木))
 会場 : 虎ノ門ヒルズフォーラム
 参加者 : 500名
 講演 : 一般講演180件 (最大210件)、招待講演、
 パネル・フォーラムセッション、オープン
 セミナー
 展示 : 約70小間
 見学会 : 11月20日(金) 2コースを実施
 ウェブサイト :

<http://www.gtsj.org/english/igtc/IGTC2015/index.html>

論文スケジュール :

2015年1月31日 アブストラクトの締切り
 2015年2月28日 採択通知
 2015年4月30日 ドラフト論文提出
 2015年8月31日 最終論文提出

アブストラクトの締切りは1月末である。是非忘れずに投稿していただくようお願いしたい。

4.2 講演会

(1)論文発表 180件を計画しているが、会場の使用方法の工夫などにより、210件までは受入れが可能である。これまでのIGTCと同様、6室のパラレルセッションを予定している。募集トピックスはウェブサイトにもアップされている1st Circularを参照されたい。

(2)パネルディスカッション エネルギー関係と航空エンジン関係の2件を計画している。

エネルギー関係では、将来のエネルギー戦略とネットワークにおけるガスタービンの役割を考えるとといったテーマで、日米欧の関連機関、電力会社、メーカーからパネリストをお願いしようと計画している。また、航空エンジン関係では今後の推進技術動向をテーマに日米欧の研究機関、メーカー、日本の航空会社、官公庁のパネリストで議論したいと考えている。

(3)フォーラム 2件のフォーラムの一つは、毎回行っているアジア地域のエネルギー情勢と展望に関するものとする予定である。もう一つは論文委員会で検討中であり、日本の独自性が発揮できるテーマを模索している。

(4)招待講演 3件の講演を予定している。これまでに2名の講演者がほぼ決まった。

①Mr. James M. Free (NASA Glenn研究所長) NASAにおける推進・エネルギー技術研究開発

②Dr. Shailesh Patel (Precision Castparts Corporation 技術開発統括副社長) 航空エンジン・発電用ガスタービン材料技術の変遷と今後の開発動向

もう1件は検討中で、日本の官公庁または研究機関の方に、再生可能エネルギーを含む日本のエネルギー戦略についてお話いただくことを計画している。

4.3 展示

約70小間のブースを設定する予定である。講演セッションと同じフロアに展示室が設けられ、また講演会場ホワイエにもブースを設営する計画で、多数の来場者が見込まれる。虎ノ門ヒルズの立地条件が良好なことから、多くの展示希望が集まるのではないかと期待している。

2014年6月にデュッセルドルフで開催されたASME Turbo Expo2014で、日本ガスタービン学会が初めて展示ブースを出した。ASME IGTIの多大なサポートによりブースを提供していただき、多くの来訪者に学会の活動やIGTC2015の紹介をすることができた。これを踏まえ、ASME IGTIに対しIGTC2015における展示ブースの提供をオファーしたところ、是非出展したいとの希望が寄せられた。このため、1小間のブースを提供してASMEが展示を行う予定である。

4.4 行事

(1)プラントツアー

11月20日(金)に実施する。以下の2つのコースを計画している。

コースA：東芝京浜事業所，J-POWER磯子火力発電所

コースB：JAXA調布航空宇宙センター，

IHI昭島Aerospace Museum

どちらも虎ノ門ヒルズ発着のバスで1日のツアーである。

これとは別に、会期中に虎ノ門ヒルズのエネルギー供給施設を見学するバックヤードツアーを計画している。

(2)ウェルカムレセプションとバンケット

いずれも講演会と同じ虎ノ門ヒルズフォーラムで実施する。ウェルカムレセプションは11月15日(日)の午後6時から8時まで、バンケットは11月18日(水)の午後6時から8時30分までの開催を計画している。

5. おわりに —国際会議の情勢について—

以上、IGTC2015の準備状況と計画概要をまとめて紹介した。会員各位には国際的な情報発信、情報収集、討論の機会として、また、人的交流を促進する機会として、是非積極にご活用いただけると幸いである。また、会議の成功には皆様からのご協力が不可欠であり、心よりお願いする次第である。

さて、学会誌の報告記事などでも分かる通り、近年、日本ガスタービン学会の国際活動は非常に活発化している。IGTCの開催はその基盤をなしており、これまで極めて重要な活動を展開してきた。

一方、当学会が主導してACGTを2005年に発足させたことは周知の通りである。当初、韓国流体機械協会と共催したこの国際会議は、その後中国科学院が加わって3か国の持ち回りとなり、現在は2年に1度の開催となっている。また、新たにインドが運営に加わり、次回は2016年11月にボンベイで開催されることが決まった。

他方、毎年開催されるASMEのTurbo Expoは、これまで北米とヨーロッパで交互に実施されてきたが、2016年にはソウルで開催されることになり、ASME IGTIはこれを機にアジア域での活動を広めようと計画している。

このような国際情勢の下で、日本ガスタービン学会がどのように国際活動、国際会議実施活動を展開して行くか、これまでの活動を踏まえ改めて深く考えなければならない時期に来ている。その中でIGTCの役割も変容して行くであろう。海外の委員から構成されるInternational Advisory Committeeにおいても、アジア域における国際会議のレベルアップに日本ガスタービン学会がリーダーシップを発揮すべきである、ASME Turbo Expoとアジア地域の相互関係を構築する上でヨーロッパの対応が参考になる、などのご意見をいただいている。今後、国際委員会が様々な要因を考察し、会員各位の意見をまとめた上で、戦略的な国際活動を企画して行くことが期待される。

参考文献

- (1) 大田英輔，川口修，藤岡照高，長谷川武治，「日本ガスタービン学会を支えてきたIGTCと日本のガスタービン産業界」，日本ガスタービン学会誌，Vol.41，No.1 (2013)，pp.2-9.

特集：ガスタービンに関わる国内外の学術会議等

アーヘン工科大学のターボ機械研究見聞

井上 智博^{*1}
INOUE Chihiro

佐久間 康典^{*1}
SAKUMA Yasunori

キーワード：アーヘン工科大学，ターボ機械研究，見聞記

RWTH Aachen University, Institute of Jet Propulsion and Turbomachinery, Site Visit Report

1. はじめに

ドイツ西部の都市デュッセルドルフにて，2014年6月16日から20日までの5日間，ASME Turbo Expo2014が開催された。著者と渡辺紀徳教授，立石敦君，中村優美氏（GTSJ）の5名は同会議に参加したあと，6月21日に，デュッセルドルフからさらに西，ベルギーとオランダの国境に程近い都市アーヘン（図1）にある，RWTH Aachen University（アーヘン工科大学）を訪問した。本稿では，アーヘンの街並みと同大学のInstitut für Strahlantriebe und Turboarbeitsmaschinen（IST，英語名Institute of Jet Propulsion and Turbomachinery）におけるターボ機械研究を紹介した後で，見学した感想を述べる。

2. アーヘン

中世ヨーロッパの文化的・宗教的中心地であったアーヘンには，大聖堂や市庁舎をはじめ，幾つもの歴史的建造物が存在し，ヨーロッパの中心として栄えた古都の面影を今に伝える。2014年は，アーヘンの地にフランク王国の王宮を設置したカール大帝の没後1200年にあたり，我々が訪れた6月21日には丁度その特別展が開催されていた。街は観光客で大変賑わい，店先にはカール大帝の立像が並べられていた。世界文化遺産に登録されているアーヘン大聖堂（図2）では聖歌隊による賛美が行われるなど，様々なイベントが企画されていた。

アーヘンの市街地は，大聖堂を中心とした直径1.7 kmほどの市壁跡の環状道路に囲まれている。アーヘン工科大学の敷地は，この円形の中心市街の北西に位置する。町の中心から徒歩で向かうと，門や塀に遮られることなく大学に入る。フォン・カルマンの名を冠したKármán Auditoriumの横を通り，さらに進んだ先にISTがある。

3. アーヘン工科大学のターボ機械研究

Prof. Peter JeschkeをヘッドとするISTでは，ジェット推進とターボ機械の教育研究が精力的に行われている（HP: <http://www.ist.rwth-aachen.de>）。研究実務をマネージするDr. Herwart Hönenを中心に，多くの博士課



Fig. 1 Location of Aachen



Fig. 2 Aachen Cathedral seen from the City Hall

程学生が，高いレベルの研究成果を継続的に発表している。かつては，ガスタービン学会名誉会員であるProf. Gallusが教鞭をとられていた。企業の基礎研究部門を担うISTは，設備規模と研究内容の面から，大学というより企業や研究機関の研究所という印象に近い。

図3に示すISTは，5階建ての建屋に居室があり，隣接して試験場がある。体育館大の試験場建屋に入って2階のギャラリーから全体を見渡すと，ターボ機械の試験装置群に圧倒される。さながら工場である。眺めているだけで楽しい。1階のアリーナには，圧縮機とタービンの回転翼列試験装置が整然と並ぶ。アリーナを囲む1階と2階には，校正用風洞や直線翼列試験風洞，タービン伝熱試験風洞など様々な装置が一部屋ごとに設置されている。空気源の圧縮機から圧縮空気を供給することで，いずれも連続運転が可能である。試験設備を見るだけでも，ターボ機械の空力分野を幅広く網羅していることが分かる。以前訪問した際には，2階の外壁を壊して屋外から風洞を納入しており，いつもこうするのかと尋ねたところ，そうだと言われた。建物に入る試験装置を使うのではなく，試験装置を置くために建物を作り替える。

特に印象的だったのは，試験装置の製造と計測方法の校正における品質管理であった。居室建屋1階にある工作室には，3軸・5軸のマシニングセンターなど，新規製造設備を積極的に導入している。こうした設備を活用して，試験翼はもちろん，図4に示す直径800mmを超える直線翼列試験風洞の翼固定円盤まで自作する。製作した部品形状を3Dスキャナーで読み込むことで，仕上がり

原稿受付 2014年11月10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



(a) Institute building with offices and classrooms
(Laboratory building is in the back, ref: HP)



(b) Sign at the entrance (blue letters on white background)

Fig. 3 Institute of Jet Propulsion and Turbomachinery

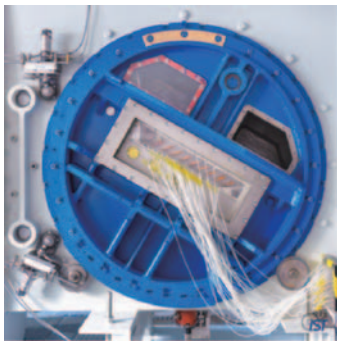


Fig. 4 Outer wall of linear cascade wind tunnel
(Beautiful blue disk is set on the white side wall, ref: HP)

を確認するとともに、実形状のCFD解析に繋げる。無響室に校正用風洞を設置し、ロボットアームを導入することで熱線流速計や多孔ピトー管を校正する際の位置を自在に制御する試みがなされていた。また、センサーの校正を行うために、製造会社と同等の設備一式を揃えている。実験環境を細部まで自ら管理することで、研究の質を担保するという信念を強く感じた。一連の高い技術の維持と伝承に不可欠な技術職員の重要性が正当に評価され、人数が確保されている点を忘れてはならない。高品質な研究成果と下支えの技術が良い循環で回っている。

4. 見学した感想

アーヘン工科大学におけるターボ機械研究は、日本の大学とは比較にならない圧倒的な規模を誇る。膨大な数の回転翼列試験に裏打ちされた、現象に対する知見と自信は、実体験しなければ得られないであろう。研究テーマの設定の仕方も印象的であった。過去に直線翼列試験を通じて知られた現象でも、改めて回転翼列試験機を用いて、実機作動環境を再現した上で詳細な計測を行う。

一種のデータベースを整備することが重要な研究テーマになる。研究の重厚さに驚かされる反面、新鮮味と柔軟さに欠けるように感じた。著者が所属する大学の立場から見ると、アーヘン工科大学のターボ機械研究とは、同じ土俵では勝負にならない。これから5年・10年経っても、日本の大学のターボ機械研究の意義を主張するためには、従来通り主要要素を対象とした伝統的なテーマを更に掘り下げる活動に加えて、これまであまり研究されてこなかった補機や、新たなサイクルで生じる問題など、先を見据えた課題にも取り組むことが重要だと感じた。

伝統にとらわれることなく先を見据えた研究を立ち上げ、発展させるためには、実際に手を動かす若手研究者の横のつながりが不可欠であると思う。アーヘン工科大学のターボ機械研究は集約的であるため、同世代の研究者が何をやっているかすぐにわかる。しかし、拠点が分散する日本では、同世代の研究者が次に何を考えているか、また、自分が新しく考えたテーマの筋が良いのか、議論する機会に限られる。学会の講演会に場としての役割が期待されるものの、最近では学会の数が多く、必ず会って話ができるとは限らない。もし仮に、一緒に手を動かす機会があれば、お互いの技術やアイデアを更に高めることができるのではないかと。近年、法人格が変わったこともあって、研究助成を行う学会が増えている。若手個人に対する助成が多いようであるが、例えば、“手を動かす人（プレーヤー）”がグループを作り、一つのテーマに取り組む、あるいは、セミナーを行う活動を支援する仕組みがあると良いと思う。海外にはターボ機械研究の横綱があり、また、既にかかなり成熟したターボ機械分野もある。大学でもプレーヤーの年齢に限界がある。こうした実情を俯瞰すると、日本の大学で、有意義なターボ機械研究を一層発展させるためには、研究室や大学・企業といった所属を超えて、同世代のプレーヤーと議論して、先を見越したテーマを立ち上げ、一緒に手を動かす仕組みがあると良いと思う。実際にうまく回すのは難しい点もあり、また、研究テーマ全てを効率的に設定するのは逆に面白みに欠けることは承知した上で、自分のテーマの一つに、同世代のプレーヤーと一緒に手を動かすものがあっても楽しいと思う。いい成果が出れば儲けもので、失敗しても種が出来る。

5. おわりに

アーヘン工科大学のターボ機械研究を紹介し、見学しての個人的な感想を述べた。最後の拠り所は自分の手を動かして獲得した知見と技術しかなく、それこそが国内外の仲間を作る礎になると思う。

6. 謝辞

Dr. Herwart Hönenには、土曜日にもかかわらず、アーヘン工科大学を案内して頂いた。心より御礼申し上げます。

特集：ガスタービンに関わる国内外の学術会議等

ACGT2014見聞記

畠谷 尊明*1
HATAYA Takaaki

キーワード：ガスタービン，ジェットエンジン

Gas Turbine, Jet Engine, ACGT, Asian Congress on Gas Turbines

1. はじめに

ACGT (Asian Congress on Gas Turbines) は、日本ガスタービン学会が共催するガスタービンを主題とした学会である。これまでにアジア各国において本学会が開催されてきた。

今年開催されたACGT2014は、2014年8月18日から8月20日まで韓国ソウルのソウル国立大学にて3日間に渡り行われた。本学会には、アジアを中心とする7カ国の地域から数百人の技術者や学生が参集した。また、ソウル国立大学は2005年に開催されたACGT2005の会場でもある。

2. ACGT2014の参加・運営形式及び論文投稿数

この度、ACGT2014の議長をお務めになったのはソウル国立大学のSeung Jin Song先生である。ACGTはKuliteやSAMSUNG TECHWINをはじめ多くのスポンサーの支援のもと開催された。発表会場はソウル国立大学の最奥部に位置する301棟であった（図2）。参加登録は301棟1階のキーノート等が行われる大会場前で行われた。ACGTの参加費は学生で170 USDであった。筆者は当日の発表者としての参加にあたり、1ページのアブストラクトおよび5ページの論文を投稿した。また当日の参加登録時にAnflux製のカンファレンスバッグと共に、ACGTガイドブック、CD論文集、パンケットと昼食のチケット、さらにサムスン製のUSB充電器を頂いた。パンケットでは中国料理が振る舞われていた（図3）。以上が、ACGTの参加・運営形式の概要である。次に論文寄稿数について述べる。

ACGT2014では表1・図1に示すとおり、各国から全113報の論文が寄せられており、これらの内30報が日本からの投稿であった。これは全体の投稿数の24%に相当する。また論文投稿の大部分が韓国、中国そして日本によって占められている。同じくソウル国立大学で行われたACGT2005と比較すると中国の投稿件数が大幅に増加している。また参加国も増えていることから、今後

ACGTがますます盛況していく事が期待されるだろう。

発表に関しては、各日6または12のセッションに別れ、それぞれのセッションで4つ程度の発表が行われた。

Table 1 Participating nation and the number of papers

参加国	投稿件数
韓国	38
中国	31
日本	30
インド	10
アメリカ合衆国	2
ギリシャ	1
マレーシア	1
合計	113

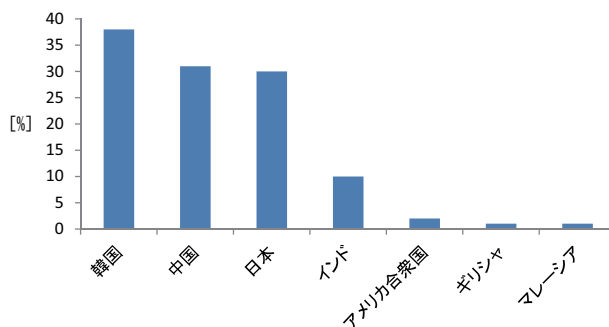


Fig. 1 The rate of contributions for each country

3. キーノートスピーチ，フォーラムおよび OEM・Tutorialセッション

本学会ではキーノートスピーチが9：20頃に行われ、昼食を挟んでフォーラムおよびOEM・Tutorialセッションが13：30から行われた。下記が発表されたセッションの一覧である。

1) キーノートスピーチ

Some New Phenomena of Unsteady Flow in Turbomachinery
Professor Xiaofeng Sun, Beihang University

Gas Turbine Secondary Air System - Some Developments

原稿受付 2014年11月4日

*1 東京理科大学 大学院
〒125-8585 葛飾区新宿6-3-1

Professor B V S S Prasad, India Institute of Technology

Endwall Treatment in Turbomachinery

Professor Jehyun Baek, Pohang University of Science and Technology

Recent Development of Flow Control Technology in Gas Turbine Application

Professor Shinji Honami, Tokyo University of Science

2) フォーラム

National Energy Strategy Forum

Professor Zhenping Feng, Zian Jiatong University, China

Professor Ajit Kolar, IIT Madras, India

Dr. Toru Hattori, CRIEPI, Japan

Dr. Namsung Ahn, KETEP, Korea

3) OEM・Tutorialセッション

GE H Class gas Turbine Leadership-20 years of technology development

Mr. David Leach, General Electric Power & Water

Development of MHPS Advanced Large Scale Gas Turbines

Dr. Katsunori Tanaka, Mitsubishi Hitachi Power Systems

Unsteady Flow Field Measurements and Analyses for the Next Generation Turbomachinery

Dr. Hyuon-Woo shin, General Electric Aviation

4. 各キーノートスピーチ及びセッションの概要

ACGTで発表されたキーノートスピーチ及びセッションの内容は3章で示した通り、主にエネルギー問題・ガスタービンで扱われる各種センサーなどの発展が挙げられた。次節以降に各日程におけるキーノート及びセッションの概要に加え、筆者が発表を行ったセッションについて述べる。

4.1 ACGT 1日目

ACGT初日のキーノートスピーチは、Xiaofeng Sun先生(BUAA, 中国)によるターボ機械において発生する各種の非定常現象に関する御講演であった。同日午後は、インド、中国、韓国、日本の4カ国がエネルギーの需要と供給に関して各国が抱える問題についてフォーラムが行われた。やはりどの国においても、エネルギーの需要と供給のバランスは長期的に取り組まれてきた問題であり、いかにエネルギーを自給できるかが今後のエネルギー枯渇問題の鍵となるのだと考えさせられた。特に中国では、数十年前まではエネルギー自給率が低く他国に大きく依存している形であったが現在ではかなり自給率が高くなっているようだ。日本に関しても東日本大震

災によって新たに浮上した電力不足などのエネルギー問題を考えると安全に自給できる方法が必要であると改めて感じた。これに対して発表の中には、ガスタービンを用いてエネルギーを自給する方法についても触れており、今後もガスタービンの高効率化は非常に重要な課題であると痛感した。

4.2 ACGT 2日目

ACGT 2日目のキーノートスピーチでは、さまざまな講演があった。1つ目は、Secondary Air Systemを用いた翼の冷却のシミュレーション法についてB V S S Prasad先生(インド工科大学マドラス校)が御講演された。別の講演では、Jehyun Baek先生(POSTECH, 韓国)がターボ機械の効率損失に大きく寄与するとされる翼端漏れ渦の抑制の方法についてであった。ターボ機械における損失の3割は翼端漏れ渦といわれており、翼端漏れ渦の抑制は全世界共通の課題となっている。実際に筆者が所属する研究室においても、この問題に注目してタービン動翼端漏れ渦の制御に関する数値シミュレーションが過去に行われてきた。

また、Hyoun-Woo Shin先生(GE, 米国)が次世代ターボ機械における非定常流の測定法について御講演された。講演ではまずGEエンジンの発展に触れ、どのような運転試験・実験を行ってきたかの説明をされていた。特にジェットエンジンに鳥類を投入するバードストライクの実験動画がとても印象的であった。また本題の非定常流の測定法の中で、ストールの回避方法について触れられていた。ストールが発生する運転速度を実験により測定し、そのストールが発生する運転速度を超過しそうになった場合にセンサーが自動的に感知して運転速度を下げるような方法では、ストールを避けたことにはならないと仰っていた。ここで問題となるのは、センサーはどの位置に取り付けられたのか、どれくらいの数取り付けたのか、チップクリアランスの大きさ、エンジンの経年数などがセンサーの精度に影響することであり、これらを正確に調査しなければならないとの事だ。Hyoun-Woo Shin先生は、センサー自体の開発に限らず、センサーの設置方法なども工夫をされているようであった。実際の運転試験に限らず、流体の数値シミュレーションの場合は実験流体と組み合わせた検証が必要となるため、このような実験の不確かさは数値解析の信頼性を検証する上で重要な要素となる。

したがって、このような側面からもターボ機械に関する研究は必要であり、非常に興味深い分野だと感じた。

4.3 ACGT 3日目

ACGT 3日目のKey noteスピーチは、本阿弥眞治先生(東京理科大学)がプラズマアクチュエーターなどの流体制御装置の動向や応用について御講演をなさった。本阿弥先生は筆者の恩師であり、学部生の時に流体制御

装置に関する講義を受けたことがある。今回は、実験の様子などを動画を用いて御説明なさっていたので、大学の講義とは違った角度で拝聴することができた。

4.4 セッションFundamental Flow Phenomenaについて

筆者は今回の学会においてFundamental Flow Phenomenaのセッションで発表を行った(図4)。

このセッションでは、ターボ機械において確認される基礎的な流体现象のシミュレーションに関して焦点をあてている。本セッションの発表では、間欠度輸送方程式を用いた遷移予測、ピンフィンにおける円形ジェットの影響、圧縮機システムの安定性に対する管路動特性の効果があり、他のセッションに比べて多様性に富んだ発表の場であったと感じた。私は、このセッションでサンドエロージョン現象の数値シミュレーションに関する発表を行った。サンドエロージョンとは気体中に含まれる砂などの小さな固体粒子が機械部品の壁面に衝突し、その表面の一部が脱離現象である。この現象はいわゆる機械の損傷現象であるため機械部品の寿命・性能の低下を招く原因となるため世界中で注目されている。このような基本的な流体现象をシミュレーションし、ターボ機械の設計段階で対策を取るということは今後も重要となるのではないかと筆者は考えている。今後もこのようなセッションで発表できれば幸いである。



Fig. 2 Engineering facilities of Seoul National University

5. 次回のACGTについて

次回のACGTは、インドのインド工科大学ボンベイ校で行われる。開催日程は2年後の2016年の11月14日から11月16日に予定されている。ACGT2014は夏季に行われたがインドの特にボンベイにおいては、夏季は猛暑が続くため開催日は11月に設定されたようである。

6. 最後に

以上がACGT2014の概要である。私はこれまでターボ機械における一現象に関する研究を行ってきたが、今回の学会を通して、今アジア各国で何が注目されているかを知ることができ、より視野を広げることができたのではないかと考えている。またACGT2014は筆者にとって最初の海外発表の場であり、とても貴重な体験をさせていただいた。特に各国がどのような研究背景を持ち、それに対していかなる姿勢で研究に取り組んでいるかを知ることができた。それが自分の研究を改めて顧みる良い機会となったと実感した。

最後にACGT2014の議長をお務めになったソウル国立大学のSeung Jin Song先生をはじめに、このような貴重な学会の開催に尽力を為された全ての企画者ならびに運営者に最大の感謝の意を表すとともにこの見聞録を締めくくりたいと思う。



Fig. 3 Chinese dishes served at banquet



Fig. 4 Appearance of presentation by author

特集：第42回定期講演会（熊本）特集

第42回日本ガスタービン学会定期講演会報告

渡邊 裕章^{*1}

WATANABE Hiroaki

玉井 亮嗣^{*2}

TAMAI Ryoji

1. 市民フォーラム

定期講演会の前日である10月21日に、熊本大学黒髪北キャンパスにおいて、ガスタービン市民フォーラムを開催した。このフォーラムは、ガスタービン産業の振興やガスタービン技術について、一般の方々に広く知って頂くことを目的としており、今回は、熊本大学大学院自然科学研究科の吉川浩行准教授ならびに宗像瑞恵准教授の全面的な協力のもとで実施された。

今回の市民フォーラムの講演は、東京大学の渡辺紀徳教授による、「ジェットエンジン／ガスタービン-技術の基礎と研究開発の前線-」であった。熊本大学を始めとする県内の大学で流体力学を学ぶ学生の熱心な参加もあり、180名の参加者を得た。学生向けに平易な表現で講演頂き、一般の研究者・技術者にとっても、ガスタービン技術を中心として、ガスタービン技術の基礎から最先端の研究開発事例まで分かり易く知ることができ、大いに刺激を受けた。予定の終了時間に至るまで学生からの熱心な質問が途切れることなく続いたことから、聴講者にとって実りある市民フォーラムとなったことを感じた。



Fig. 1 Participants in the open forum.

2. 定期講演会

市民フォーラムに続き、10月22日から23日にかけて、

原稿受付 2014年11月26日

* 1 九州大学 大学院工学研究院 機械工学部門
〒819-0395 福岡市西区元岡744

* 2 川崎重工(株) ガスタービン・機械カンパニー
ガスタービンビジネスセンター

熊本市国際交流会館にて、「第42回日本ガスタービン学会定期講演会」を開催した。この会場は、JR熊本駅から市電・バスで約15分、市の中心部である熊本城のすぐ隣という、参加者にとって大変便の良い場所であった。講演会は、一般参加者を含め139名と、例年同様に多くの参加者を得て行われた。

講演会1日目には、特別講演1が行われた。今回は、熊本県くまもとブランド推進課課長の成尾雅貴氏による「『くまモン』を活用した熊本県のブランド推進戦略」であった。成尾氏から、くまモンのキャラクターは、熊本県の「くまもとサプライズ」というキャンペーンのおまけキャラとして生まれたこと、どんな場面にも使えるようベースデザインは極めてシンプルであること、当初は熊本県を前面に出さず、キャラクター自身の認知度向上を図ってから、熊本ブランドとのコラボを進めたこと、等が紹介された。これだけ知名度が上がったくまモンを、一過性のブームとしないよう、苦労を重ねながら様々なブランド戦略を図っている点を強調されていたのが印象的であった。

講演会2日目には、熊本大学先進マグネシウム国際研究センター長の河村能人教授による「マグネシウム新時代の到来 -KUMADAIマグネシウム合金-」と題する特別講演2が行われた。河村教授からは、当初はその高い反応性ゆえに安全性の観点から採用が進まなかったマグネシウム合金材料が、近年の技術革新により、軽量かつ高い強度をもつとともに、沸点に達しても着火しない不燃合金が河村教授の研究グループによって開発され、様々な分野での活用が計画されていることが紹介された。航空機材料など、ガスタービンとも深く関わりのある分野での新たな取り組みに、とても感銘を受けた。

特別講演2に引き続いて、企画セッション「負荷変動対応型先進的ガスタービン技術」が実施された。本企画セッションは、ガスタービン学会の産官学連携委員会・調査研究委員会との共催で行われ、前半が講演会形式、後半がパネルディスカッション形式であった。講演会形式では、まず再生可能エネルギー大量導入時の火力発電分野全体への影響を調査している（一社）火力原子力発電技術協会（火原協）の中沢治久氏と船橋信之氏の協力により、火原協RE研究会の活動紹介「これからの火力発電の役割と価値」がRE研究会委員である(株)IHI米澤克夫氏より紹介された。その後、東京大学渡辺紀徳氏から総括講演「負荷変動対応型先進ガスタービン技術の

研究開発について「ガスタービン学会における検討の経緯とねらい」が、産業技術総合研究所壱岐典彦氏から「『負荷変動対応型先進発電設備に関する技術可能性調査』プロジェクト紹介」が、電力中央研究所高橋徹氏から「ガスタービン発電設備の負荷変動対応技術」が、三菱重工業(株)齊藤圭司郎氏、ならびに三菱日立パワーシステムズ(株)岸部忠晴氏から「大規模・中規模GTの発電量制御、効率維持技術」が、川崎重工業(株)合田真琴氏から「小規模GTの発電量制御、需給予測技術、負荷追従制御技術」が、(株)IHI米澤克夫氏から「航空機転用GT運用における系統安定化制御技術」が、(株)東芝齊藤大蔵氏から「高負荷変動時の材料特性評価技術」がそれぞれ講演された。講演後のパネルディスカッションでは、本プロジェクトの方向性や検討すべき対象技術について、大学やメーカ等、様々な立場からの熱心な意見交換が行われた。

一般講演は、51件の発表件数を集めた。その内訳は、空力：14件、伝熱：4件、燃焼：11件、材料：7件、システム：7件、その他：8件であった。内訳を見ても分かるとおり、今回は、空力分野と燃焼分野の発表が多い傾向にあった。各セッションでは、多岐にわたる分野からの参加者を得て、大変闊達な議論が展開されていた。今年、24件もの対象講演を集めた学生表彰では、早稲田大学の藤澤信道君ならびに三井博明君に優秀発表賞が授与された。



Fig. 2 Panel discussion on advanced GT technologies for fast cycling and rapid start-up.

3. 懇親会

懇親会は、会場からほど近い熊本交通センターホテルにて開催された。藤谷康男会長の挨拶、高田浩之氏による乾杯の挨拶で始まり、熊本の特産物に舌鼓を打ちつつ、会員同士の交流が図られた。学術講演会委員会の春海一佳委員長からの次回の開催地米子での再会を呼びかけの後、田沼唯士副会長による中締め挨拶で散会となった。

4. 見学会

今回の見学会は、36名の参加者があり、有明海に面した熊本県長洲町に位置する日立造船(株)有明工場、同工場に隣接するジャパンマリユニテッド(株)有明工場、20世紀初頭の石炭産業において中核的な役割を果たした三池炭鉱万田坑、および熊本大学先進マグネシウム国際研究センターの4施設を巡るコースであった。日立造船(株)有明工場は、同社最大かつ最新鋭の工場であり、主として船用ディーゼルエンジンを製造している。工場では、製缶、機械加工、組立など、7MW級ディーゼルエンジンの一連の製造工程を見学した後、エンジン試験設備にて、排ガス脱硝装置の開発状況の説明を受けた。参加者からは、エンジンの加工組立方法や脱硝装置の構成などについて、熱心な質疑応答がなされた。ジャパンマリユニテッド(株)では、バスで敷地内を巡り、車中より、加工、ブロック組立、塗装、艀装など、一連の造船工程を見学した。最後にバスを降り、ドックにて建造中の18万積載重量トン型バルクキャリアを間近で見た際には、一同、その迫力に圧倒された。



Fig. 3 Participants in the technical tour (at Hitachi Zosen site).

5. 謝辞

市民フォーラムの開催に多大なご協力を頂いた熊本大学吉川准教授、宗像准教授、定期講演会の開催に多大なご協力を頂いた講演者および参加者の方々、見学会の開催にご協力を頂いた関係各位に御礼申し上げます。

特集：第42回定期講演会（熊本）特集 特別講演

マグネシウム新時代の到来！ —KUMADAIマグネシウム合金—

河村 能人^{*1}
KAWAMURA Yoshihito

キーワード：マグネシウム合金，軽量材料，長周期積層構造，難燃性，不燃性

Magnesium Alloys, Light Weight Materials, LPSO Structure, Flame Resistance, Non Flammability

1. 緒言

軽くて強い材料の開発は，輸送機器の高速・高性能化，省エネルギー化，CO₂排出抑制のために重要である。マグネシウムは，その比重が鉄の四分の一，アルミニウムの三分の二であり，実用金属の中で最も軽量である。資源も豊富で，人体や環境にも優しく，リサイクル性にも優れた金属である⁽¹⁾。特に，その単位重量当たりの曲げ剛性が実用金属中で最も高く，軽量構造材料として有利な特徴を持っている⁽²⁾。しかしながら，マグネシウム合金は発火し易く，その機械的特性もアルミニウム合金に比べて劣っているために，期待したほど普及が進んでいないのが現状である。一般的なマグネシウム合金の発火温度は470～550℃であるが，CaやCaOやYを市販合金に1～2 wt%添加することによって発火温度が620～810℃に改善されている⁽³⁾。しかし，これらの難燃マグネシウム合金は市販合金をベースにしているので，その機械的強度は依然としてアルミニウム合金よりも劣ったままである。

このような状況で，発火温度と機械的強度を高めた新しいマグネシウム合金が我が国で開発された^{(4),(5),(6)}。開発された新合金は，KUMADAI耐熱マグネシウム合金とKUMADAI不燃マグネシウム合金である。これら2種類のKUMADAIマグネシウム合金の出現によって，マグネシウム合金の普及を阻害していた課題が一気に解決できる目処が立ち，マグネシウム新時代が到来するものと期待されている。

本稿は，第42回日本ガスタービン学会定期講演会の特別講演の内容をまとめたものであり，新しく開発されたKUMADAIマグネシウム合金の特徴と研究開発状況ならびに今後の展望について述べる。

2. KUMADAI マグネシウム合金の特徴

2.1 耐熱合金

耐熱性が極めて高いという特徴を持つKUMADAI 耐熱マグネシウム合金はMg-M-RE（M=Co, Ni, Cu, Zn, Al, RE=Y, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm）系の合金であり，MとREはそれぞれ1～2 at%である⁽⁴⁾。この合金は，図1の casting材の断面写真に示すように，長周期積層構造（LPSO構造：Long Period Stacking Ordered Structure）という新奇な原子配列構造を持つ相（LPSO相）と α -Mg相の二相で構成されている。LPSO相が強化相であることから，LPSO 型マグネシウム合金とも呼ばれている。Mg-Zn-Y合金中に存在するLPSO相の広角散乱暗視野走査透過電子顕微鏡（HAADF-STEM）写真を図2に示す^{(7),(8)}。ZnとYが濃化した4原子層（写真の白いコントラスト）が6周期という長い周期で積層していることがわかる。ZnとYが濃化した2原子層に挟まれる形で積層欠陥という構造変調が存在しており，この構造変調と濃度変調が同期しているという意味でシンクロ型LPSO構造と呼ぶ場合がある。

KUMADAI 耐熱マグネシウム合金は，鑄造した状態では平凡な機械的特性しか示さないが，塑性加工すると，

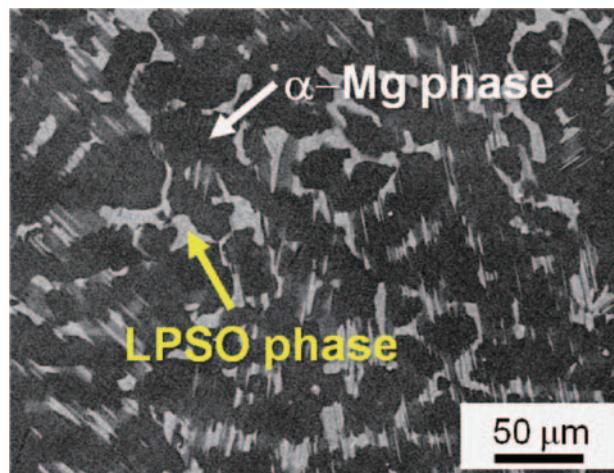


Fig. 1 Microstructure of KUMADAI heat-resistant Mg₉₇Zn₁Y₂ alloy

原稿受付 2014年11月13日

* 1 熊本大学先進マグネシウム国際研究センター
〒860-8555 熊本市中央区黒髪 2-39-1

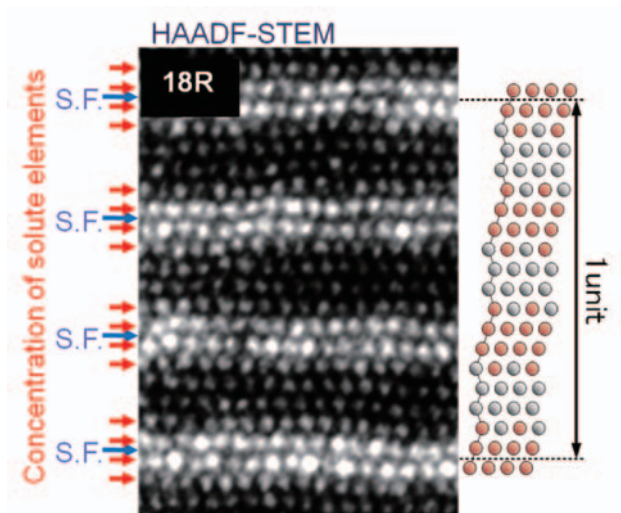


Fig. 2 Synchronized LPSO structure of KUMADAI heat-resistant Mg-M-RE alloys

LPSO相にキンク帯が形成されて延性を保持しながら機械的強度が著しく向上する⁽⁴⁾。図3に、LPSO相に形成されたキンク帯を示す⁽⁹⁾。キンク帯は、異方性の強い層状物質にみられる挫屈形態であり、地層の褶曲においてもしばしば観察される。キンク帯が材料を強化するという現象は、KUMADAI 耐熱マグネシウム合金において初めて見出され、この「キンク帯強化」が新しい材料強化法として注目されている。ラボサイズの押出加工材ではあるが、KUMADAI マグネシウム合金は、市販マグネシウム (AZ31合金) の2倍近い400MPa以上の常温耐力を持ち、図4に示すように、単位重量当たりの耐力 (比耐力) で比較すると、超々ジュラルミン等の高強度アルミニウム合金を凌駕する⁽⁴⁾。また、KUMADAI 耐熱マグネシウム合金の200℃での高温耐力は、図5に示すように、既存の耐熱マグネシウム合金や耐熱アルミニウム合金よりも高く、300℃までは熱的に安定である⁽⁴⁾。耐熱合金と言われる所以がここにある。KUMADAI 耐熱マグネシウム合金の発火温度は図6に示すように、780～940℃であり⁽²⁾、CaやCaOを単独添加あるいはCaとYを複合添加した難燃マグネシウム合金の発火温

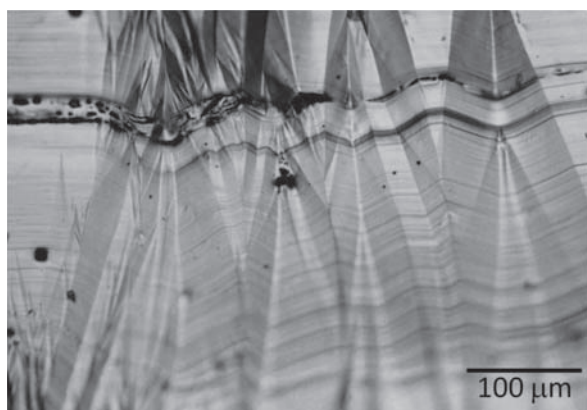


Fig. 3 Kink bands formed in LPSO phase

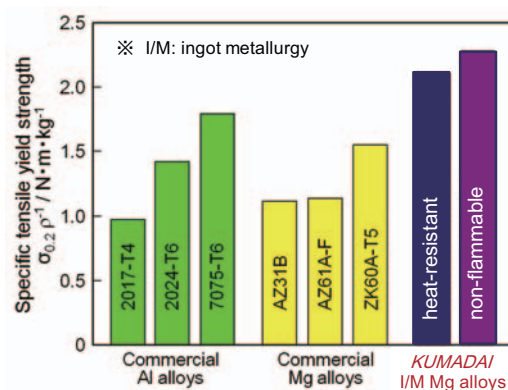


Fig. 4 Room-temperature specific tensile yield strength of KUMADAI Mg alloys

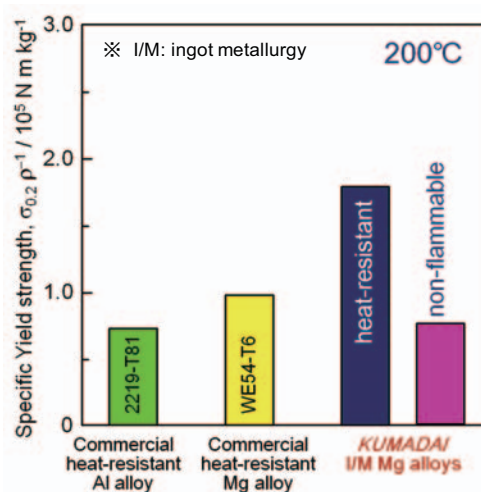


Fig. 5 Elevated-temperature specific tensile yield strength of KUMADAI Mg alloys

度 (650～810℃) を凌駕する⁽³⁾。このように、優れた機械的特性と耐熱性を持ちながら、従来の難燃マグネシウム合金を凌駕する難燃性を併せ持っていることに、KUMADAI 耐熱マグネシウム合金の革新性がある。

2.2 不燃合金

発火温度が極めて高いという特徴を持つKUMADAI 不燃マグネシウム合金はMg-Al-Ca系の合金であり、図7に示すように、AlとCaの添加量が多く、それぞれ8～11at%と4.0～6.5at%である⁽⁶⁾。この合金は、図8に示すように、C36型の (Mg, Al)₂Ca金属間化合物相とα-Mg相の二相で構成されており、C36型化合物が塑性加工によって微細分散して優れた機械的特性が発現する⁽⁶⁾。

KUMADAI 不燃マグネシウム合金の単位重量当たりの室温耐力 (比耐力) は、図4に示すように、超々ジュラルミン等の高強度アルミニウム合金を凌駕する⁽⁶⁾。また、KUMADAI 不燃マグネシウム合金の200℃における高温耐力は、図5に示すように、KUMADAI 耐熱マグネシウム合金や市販の耐熱マグネシウム合金 (WE54) には及ばないものの、単位重量当たりの耐力

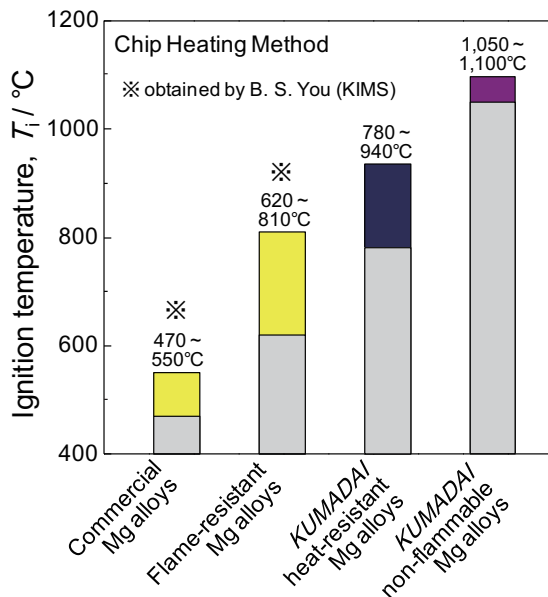


Fig. 6 Ignition temperature of KUMADAI Mg alloys

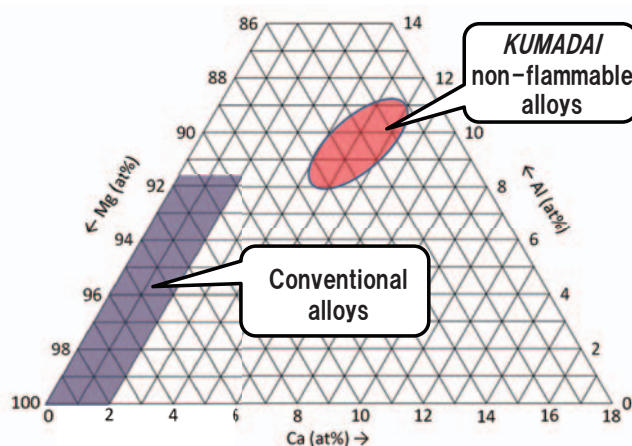
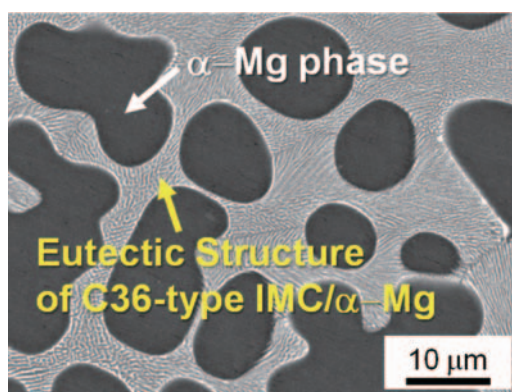


Fig. 7 Compositions of KUMADAI non-flammable Mg-Al-Ca alloys

Fig. 8 Microstructure of KUMADAI non-flammable $Mg_{85}Al_{10}Ca_5$ alloy

(比耐力)で比較すると、市販の耐熱アルミニウム合金と同等である⁽⁶⁾。粉末加熱法で測定したKUMADAI 不燃マグネシウム合金の発火温度は、図6に示すように、1,050 ~ 1,100°Cに達し⁽⁶⁾、従来の難燃マグネシウム合金やKUMADAI 耐熱マグネシウム合金の発火温度を大幅

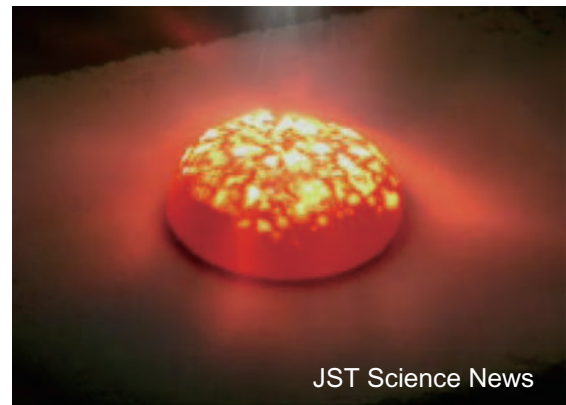


Fig. 9 Simmering KUMADAI non-flammable Mg-Al-Ca alloy without burning on acetylene burner flammability test

に上回る。図9は、直径30mm×厚さ20mmの試料をアセチレンバーナーで加熱するという燃焼実験においてKUMADAI 不燃マグネシウム合金が沸騰しても発火していない様子を示している⁽¹⁰⁾。この方法による燃焼実験では、1,117°Cまで加熱しても発火しないことが実証されており、この温度がKUMADAI 不燃マグネシウム合金の沸点(約1,065°C)のみならず純マグネシウムの沸点(1,091°C)を超えていることから、不燃性のマグネシウム合金が世界で初めて実現できたと言える。このように、優れた機械的特性と不燃性を併せ持っていることに、KUMADAI 不燃マグネシウム合金の革新性がある。

2.3 急速凝固粉末冶金法による高性能化

上述の2種類のKUMADAI マグネシウム合金は、鑄造材を塑性加工するという一般的な製造法で作製したものであるが、急速凝固粉末を押出固化するという急冷法を用いることによってKUMADAI マグネシウム合金の特性は大幅に向上する⁽⁵⁾。例えば、KUMADAI 耐熱マグネシウム合金を急冷法で作製することによって、室温耐力が約1.6倍に、耐食性が10倍以上に向上するとともに、高速超塑性という優れた成形加工性が発現する⁽⁵⁾。

また、引張りと圧縮での耐力の差が小さいという高対称性の機械的特性と、押出方向とその直角方向の耐力の差が小さいという等方的な機械的特性を持っていることも、急冷法で作製した合金の大きな特徴である⁽⁵⁾。

表1に示すように、急冷法で作製した $Mg_{96.7}Zn_{0.85}Y_{2}Al_{0.45}$ 合金の耐力と伸びはそれぞれ533MPaと10.6%であり、疲労強度は超々ジュラルミンの275MPaよりも高い値を示す。またその耐食性は超々ジュラルミンの2倍近くに達する。この結果は、マグネシウム合金が腐食し易いという従来の概念を覆すものであり、急冷法で作製したKUMADAI 耐熱マグネシウム合金の特筆すべき特性である。一方、KUMADAI 不燃マグネシウム合金に関しては急冷材の研究はあまり進んでいないが、急冷法で作製した $Mg_{85}Al_{10}Ca_5$ 合金が500MPaの耐力と5%の伸びを示すことが報告されている⁽¹¹⁾。

Table 1 Performance comparison of KUMADAI heat-resistant Mg-Zn-Y-Al alloy produced by rapidly solidified powder metallurgy (RS P/M) process with extra super duralumin (7075-T6)

	RS P/M KUMADAI Heat-resistant Mg Alloy (Mg _{96.75} Zn _{0.75} Y ₂ Al _{0.5})	I/M Extra Super Duralumin (7075-T6)
Tensile Properties		
Yield Strength	533 MPa	505 MPa
Elongation	10.6 %	11 %
Fatigue Property		
Fatigue Strength at 10 ⁷ cycles	325 MPa	275 MPa
Corrosion Property		
Corrosion Rate	0.160 mm/year	0.285 mm/year

2.4 米連邦航空局（FAA）の燃焼試験

米連邦航空局（FAA）は、これまで航空機の内装品にマグネシウムを使用することを禁止していたが、それを解禁するために、2007年からマグネシウム合金の燃焼試験法の策定を開始している⁽¹²⁾。近々解禁されることから、航空機産業にもマグネシウム新時代が到来しようとしている。FAAが策定中の燃焼試験法は、図10に示すように、厚さ6.35mm、幅38.1mm、長さ508mmのバー材を約930℃のオイルバーナーで4分間加熱するという方法である^{(12),(13)}。試験片が燃えることを前提に判定基準が検討されており、バーナーによる加熱開始から2分以内に発火せず、しかもバーナー加熱停止から3分以内に自然鎮火するものが合格となるような判定基準である。KUMADAI 耐熱マグネシウム合金とKUMADAI 不燃マグネシウム合金の燃焼試験をFAAに実施してもらったところ、FAAの担当官から「両方のKUMADAI合金はオイルバーナーで4分間加熱しても燃えることすらなく、極めて容易に燃焼試験をパスした」という報告を受けた^{(2),(14)}。KUMADAI合金は燃えないことから、「Superior」にランクされるようである。これによって、KUMADAIマグネシウム合金が2種類とも航空機用マグネシウム合金として使用できる耐燃焼性を持っていることが明らかになった。

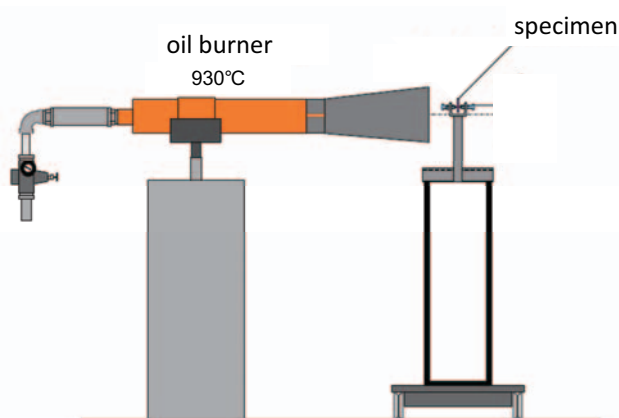


Fig. 10 FAA flammability test method for magnesium alloys

3. 大型素材の製造技術開発

KUMADAI 耐熱マグネシウム合金の casting 法については、400kg溶解規模での溶解・精製・ casting 技術を既に確立している^{(4),(14)-(16)}。希土類金属を直接溶解・合金化するとともに、目標組成に対して±5%の精度で成分を制御し、耐食性を低下させるFe, Ni, Cu等の不純物濃度を50ppm以下まで低減することが可能である。また、100μm以上の介在物が無く、それ以下の介在物が0.1個/cm²以下の極めて清浄な溶湯を作製することができるフィルタリング技術や、結晶粒径が400μm以下で均一な組織を有する直径200mmの casting ビレット（図11）を製造することができる半連続 casting 技術を確立している。さらに、図12に示すような直径22～55mmの押出材や幅50～150mmの板材等が作製できる押出技術や圧延技術を確立している⁽¹⁶⁾。現在、これらの押出材や板材は、様々な応用製品を開発するために、試作品として提供されている。

一方、急冷法については、溶解量が1kgではあるが、従来の高圧ガスアトマイズ法に比べて安全性と量産性と製造コストの点で優れている単ロール式急速凝固薄片製造装置を開発するとともに、その製造技術を確立している⁽⁵⁾。薄片状急速凝固材の爆発燃焼性は、市販のアルミニウム合金粉末と比較しても低く、安全性が高いことが実証されたことから⁽⁵⁾、実用化に向けて大きく前進したものと考えられる。現在、直径69mmの予備成形ビレットを押出固化成形することによって、直径20mm程度の丸棒材や幅50mmで厚さ5mmの板材が作製できるようになっている。今後、さらに大型化を図っていく予定である。

4. 今後の展望

KUMADAI 耐熱マグネシウム合金とKUMADAI 不

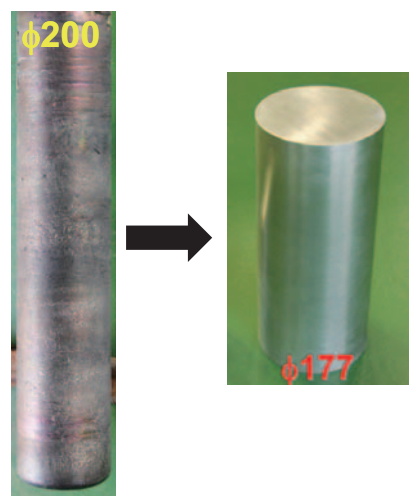


Fig. 11 Semi-continuous cast billet and its peeled billet of KUMADAI heat-resistant Mg-M-RE alloy

燃マグネシウム合金の波及効果として、①航空機、高速鉄道車両など素材の発火を嫌う分野への用途拡大、②防燃ガス使用量の大幅な削減による温暖化ガス排出の大幅な削減と低コスト化、③溶解・鋳造、切削、溶接などの作業時における安全性の向上などが期待される。

今後の研究開発の課題としては、①開発合金のさらなる高性能化を目指した研究開発の推進、②大型素材の低コスト量産技術の確立、③接合や表面処理も含めた大型素材の2次加工技術の確立、④リサイクル技術の確立、⑤開発合金を用いた応用製品の開発、⑥規格化と国際標準化ならびに認証取得、などが挙げられる。

現在、KUMADAI 耐熱マグネシウム合金に関しては、図13に示すように、基礎と応用の両面で研究開発を進めている。実用化に対しては、産学官連携を通して、大型素材の量産化技術の開発と素材を用いた応用製品の開発を並行して進めている。実用化第一号としてKUMADAI 耐熱マグネシウム合金製の「ネジ」が今年の春から市販されている。また、昨年から、KUMADAIマグネシウム合金の航空機用構造部材への実用化を目指したプロジェクト研究（2013～2015年度）を、「経済産業省の次世代構造部材創製・加工技術開発

プロジェクト」として開始している。一方、基礎研究に対しては、KUMADAI 耐熱マグネシウム合金の強化の源であるシンクロ型LPSO構造の学理的構築を目指した基礎研究（2011～2015年度）を、「文部科学省の新学術領域研究」として実施している¹⁷⁾。シンクロ型LPSO構造の原子配列構造解明、形成メカニズム解明、力学特性解明と新強化原理確立を目的に、国内の23研究機関から材料工学系、物理系、機械工学系の58名の研究者が結集して、オールジャパンの異分野融合体制で取り組んでいる。

5. 結言

KUMADAI マグネシウム合金の開発によって初めてアルミニウム合金に対して優位性のある高強度の難燃・不燃マグネシウム合金を実現することができた。マグネシウム新時代の到来である。画期的な材料が発見されるたびに技術革新が起こってきたことは歴史が証明しており、KUMADAI マグネシウム合金が契機となって技術革新が起こるものと期待される。今後は、産官学連携を通して、KUMADAI マグネシウム合金の実用化研究を推進していく予定であり、今後の進展に期待したい。

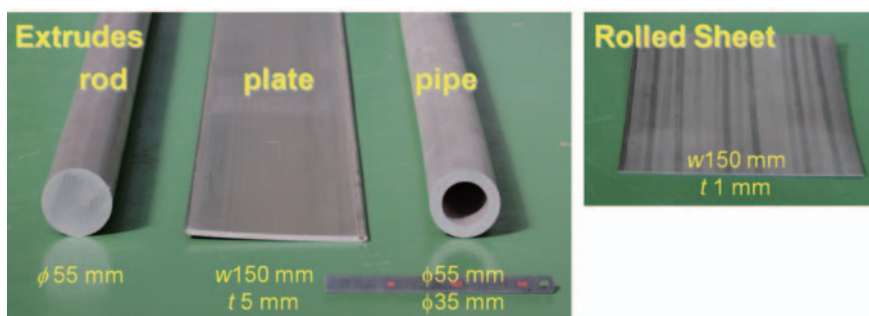


Fig. 12 Rod, plate and pipe produced by extrusion of cast billet, and sheet produced by rolling of extruded plate for KUMADAI heat-resistant Mg-M-RE alloy

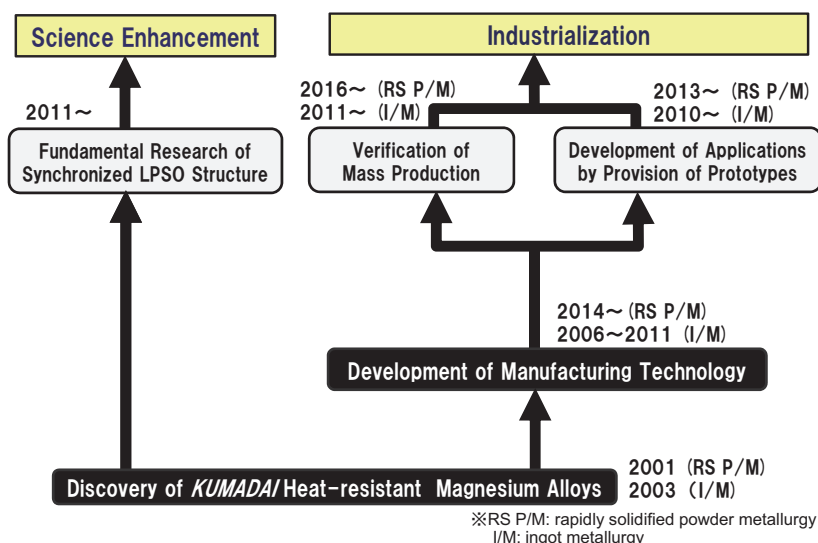


Fig. 13 R&D vision on KUMADAI heat-resistant Mg alloys

参考文献

- (1) Magnesium and Magnesium Alloys, eds. M.M. Avedesian and H. Baker (ASM International, Materials Park, OH, 1999).
- (2) 河村能人, “航空宇宙分野にマグネシウム新時代の到来－KUMADAI マグネシウム合金－”, アルトピア, No. 8 (2013), pp.18-25.
- (3) B.S. You, “High Performance Non-flammable Magnesium Alloys: Overcoming Fundamental Limitations”, 第45回高性能Mg合金創成加工研究会講演概要集, 熊本大学, (2012), pp.23-28.
- (4) 河村能人, “長周期積層構造相を強化相にした高強度・高耐熱マグネシウム合金”, 金属, Vol. 80, No. 7 (2010), pp.581-588.
- (5) 河村能人, 大河内均, 関川貴洋, 関義和, “急速凝固法による長周期積層構造型ナノ結晶マグネシウム合金”, 金属, Vol. 80, No. 7 (2010), pp.623-630.
- (6) 河村能人, “沸騰が始まって発火しないKUMADAI 不燃マグネシウム合金”, アルトピア, No. 8 (2012), pp.9-13.
- (7) E. Abe, Y. Kawamura, K. Hayashi and A. Inoue, “Long-Period Ordered Structure in a High-Strength Nanocrystalline Mg-1at%Zn-2at%Y Alloy Studied by Atomic-Resolution Z-Contrast STEM”, Acta Mater., Vol. 50, (2002), pp.3845-3857.
- (8) D. Egusa, E. Abe, “The Structure of Long Period Stacking/Order Mg-Zn-RE Phases with Extended Non-stoichiometry Ranges”, Acta Materialia, Vol. 60 (2012), pp.166-178.
- (9) K. Hagihara, N. Yokotani Y. Umakoshi, “Plastic Deformation Behavior of Mg₁₂YZn with 18R Long-period Stacking Ordered Structure”, Intermetallics, Vol. 18 (2010), pp.267-276.
- (10) JST Science News 2012, <http://sc-smn.jst.go.jp/playprg/index/6775>.
- (11) Y. Kawamura, K. Hayashi, A. Inoue and T. Masumoto, “Rapidly Solidified Powder Metallurgy Magnesium Alloys with Novel Mechanical Properties”, Materials Science Forum, Vols. 386-388 (2002), pp.529-534.
- (12) T. Marker, Fire Tests January 2013 Final Report.pdf, FAA, (2013).
- (13) T. Marker, maker-0313-mgtask.pdf, FAA, (2013).
- (14) 河村能人, “高強度と高耐熱性と難燃性を併せ持つ KUMADAI 耐熱マグネシウム合金”, 高圧ガス, Vol. 50, No. 8 (2013), pp.18-25.
- (15) 河村能人, “マグネシウム新時代の到来－KUMADAI マグネシウム合金－”, 機械と工具, Vol. 4, No. 3 (2014), pp.74-80.
- (16) 河村能人, “マグネシウム新時代に向けた高性能化 ～ KUMADAI マグネシウム合金～”, 素形材, Vol. 55, No. 6 (2014), pp.32-38.
- (17) <http://www.mg-lpso.org/> (参照 2014-11-10)

特集：第42回定期講演会（熊本）特集 パネルディスカッション報告

火力原子力発電技術協会 RE研究会の活動報告 － これからの火力発電の役割と価値 －

中沢 治久^{*1}
NAKAZAWA Haruhisa

キーワード：再生可能エネルギー，調整力，周波数制御
Renewable Energy, Adjustability, Frequency Control

1. はじめに

FIT（Feed-in Tariff, 固定価格買取制度）の導入により日本でも急速に再生可能エネルギーが拡大している。（図1に示す）

現下のエネルギー事情では，今後も再生可能エネルギーの拡大が見込まれるが，それが電力系統に与える影響とその際の火力発電の役割について概説する。

2. 再生可能エネルギーへの期待

2014年4月に閣議決定された第四次エネルギー基本計画において，再生可能エネルギーに大きな期待を寄せられている。ポイントは2点。

- ・発電時に二酸化炭素を排出しない電源として地球温暖化問題に資する電源であること
- ・純国産エネルギーとして，エネルギーの安全保障に寄与すると考えられること

再生可能エネルギーとひと括りにされているが，その種類は多岐にわたっている。主なものをあげると水力，風力，太陽光，地熱，バイオマス，波力，潮力などがある。

このうち水力は，古くから水力発電として利用され有望な地点はあらかじめ開発されてしまっており，今後発電量が大きく伸びることは期待できない。

火山国であることから期待の地熱発電も，30年ほど前オイルショックの頃に代替電源として一通り検討された経緯があり，温泉や自然環境との折り合いを考えると，現行の技術ではすぐに大規模開発に繋がるという情勢にはない。

このため，国内の再生可能エネルギーで当面大きな伸びが想定されるのは太陽光発電と風力発電ということになる。

太陽光発電と風力発電は，どちらも発電量が天

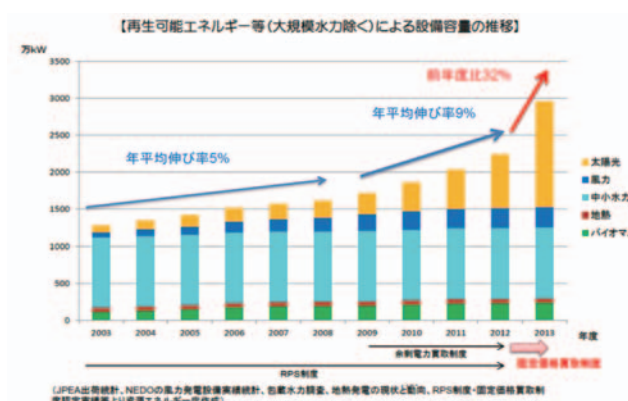


Fig. 1 Transition of the installed capacity of renewable energy⁽¹⁾

候に左右されるという特徴あり，導入量の拡大に伴い電力系統の運用が難しくなるという点が顕在化してきている。

再生可能エネルギーの影響といっても，

- ・電力系統全体の調整力不足の問題
- ・電力を需要地まで送るための送電線容量の問題
- ・ローカル配電系統での電圧維持の問題

等が複雑に絡み合っていて，ひとつの対策だけで解決できるものではない。

本稿は，火力発電に関係し，最大の課題である電力系統全体の調整力不足の問題に着目していくことにする。

3. 電力系統運用の実態

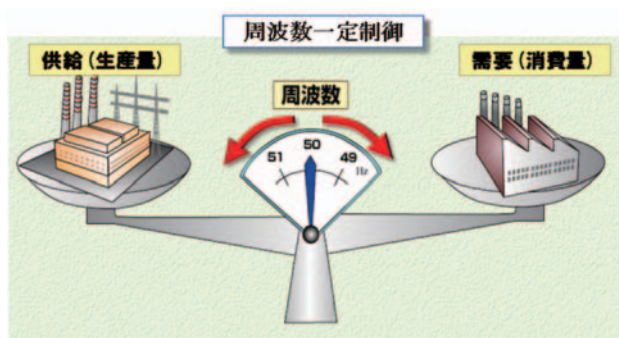
電気は貯めることができないため，電力系統は，需要と供給が常にバランスするよう運用されている。これは周波数を常時一定となるよう調整し続けることにより実現される。

図2で示す天秤のように，需要に対し供給力が不足すると周波数が低下し，多すぎると周波数が上昇する。

ひとつの電力系統の中では周波数はどこでも同

原稿受付 2014年11月5日

*1 (一社)火力原子力発電技術協会
〒105-0014 港区芝2-31-15

Fig. 2 Conceptual diagram of frequency control^[2]

値となる。系統に並列する多くの発電機は同期発電機であり、周波数に比例する回転数で回ることによって発電している。

需要と供給のバランスが崩れ周波数の偏差が大きくなると、交流モーター等需要側の機器に影響が出るばかりでなく、同期発電機側でも並列運転が継続できなくなりこれが連鎖すると大停電となる恐れがある。

周波数の異なる東日本と西日本、そして直流送電でしか連系されていない北海道では、別々の電力系統として周波数を調整する必要がある。(図3を参照)

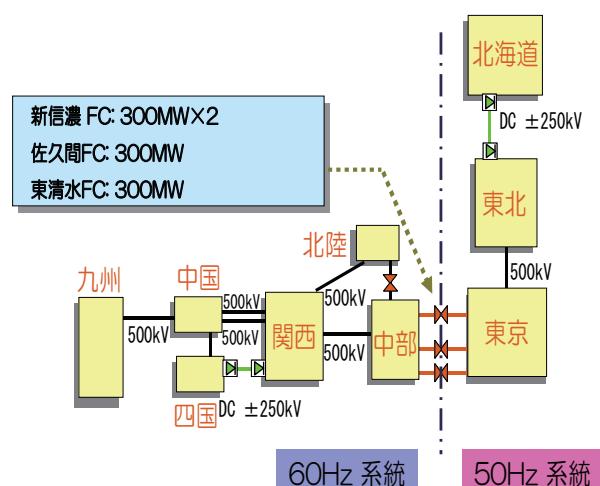


Fig. 3 Power system diagram of Japan

電力系統運用におけるポイントは三つ。

- ・需要と供給の一致 (余ってもいけない)
- ・常時バランスしている (秒単位で調整)
- ・日本には三つのパワープール (東, 西, 北海道)

系統容量が小さければ、それだけ需要の変動を受けやすくなるので、このことが北海道や島嶼への再生可能エネルギー導入を難しくする要因の一つとなっている。

需要と供給のバランスをとる需給調整は、周波数の変動周期ごとに図4のような分担に分かれている。

数分程度までの短い周期の調整は、調整電源側で自律して行っている。系統周波数の変動は発電機の回転数の偏差として捉えることができ、この偏差が0になるように各発電機の出力を調整している。

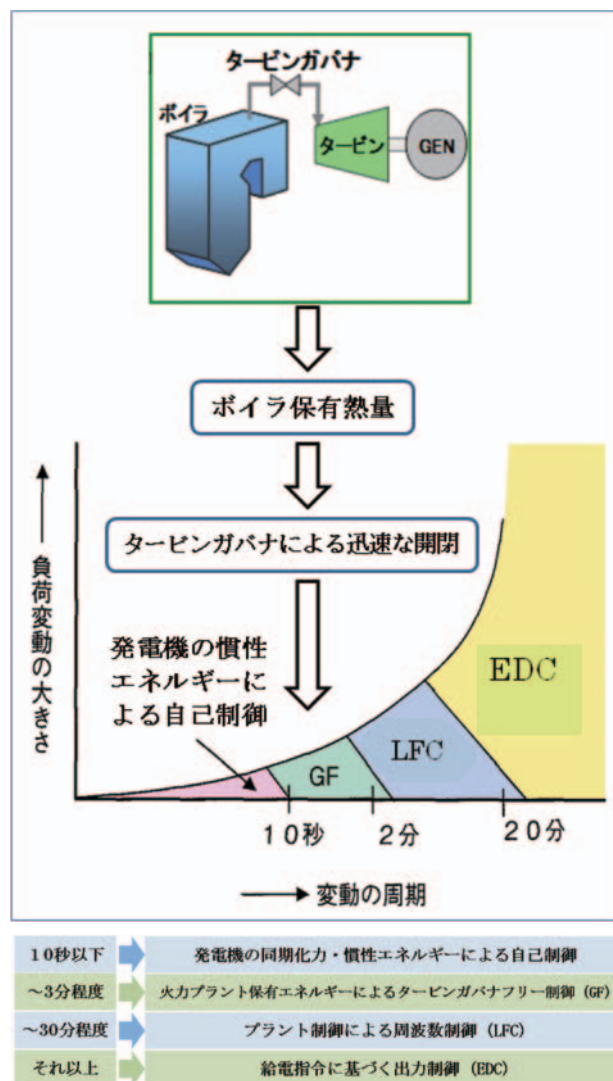


Fig. 4 Roles in the frequency adjustment

10秒以下 → タービン発電機の慣性エネルギーや同期化力による自己制御

数分程度まで → タービンのガバナフリー運転による制御より長周期の周波数調整は、給電所側で周波数を監視し、必要な出力指令を各発電設備に出す仕組みである。

数分～10数分 → 負荷周波数制御による調整 (LFC, Load Frequency Control)

給電所側で周波数の偏差を検知し、調整電源の出力指令にフィードバック制御信号を追加して行う自動制御

それ以上 → 経済負荷配分制御による調整 (EDC, Economic Dispatching Control)

電力系統の直後の需要予測に基づき先行的に各電源に出力増減指令を給電所から出す。この際、出力増減は増分燃料費の安い順番に行うのが原則で、このやり方をメリットオーダーと言う。

実際の需給調整をグラフにすると図5となる。

大きな変化はEDC、細かい変動はガバナフリー、その間をLFCで調整している。電力系統の調整機能は、こ

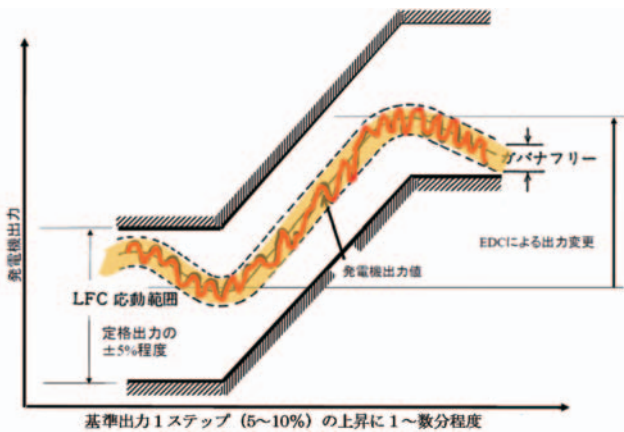


Fig. 5 Conceptual diagram of frequency adjustment

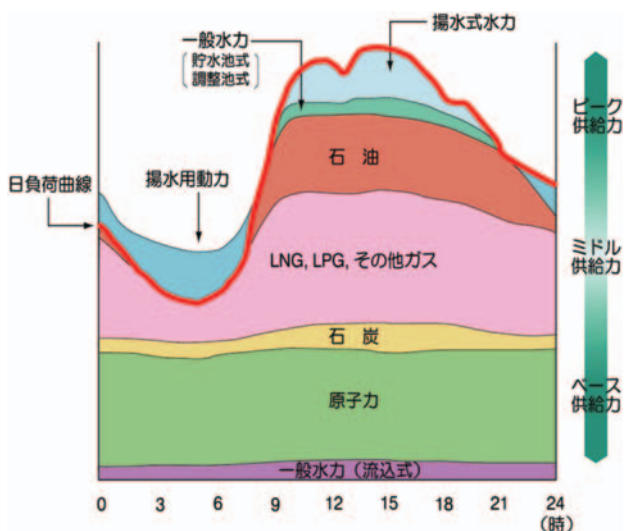
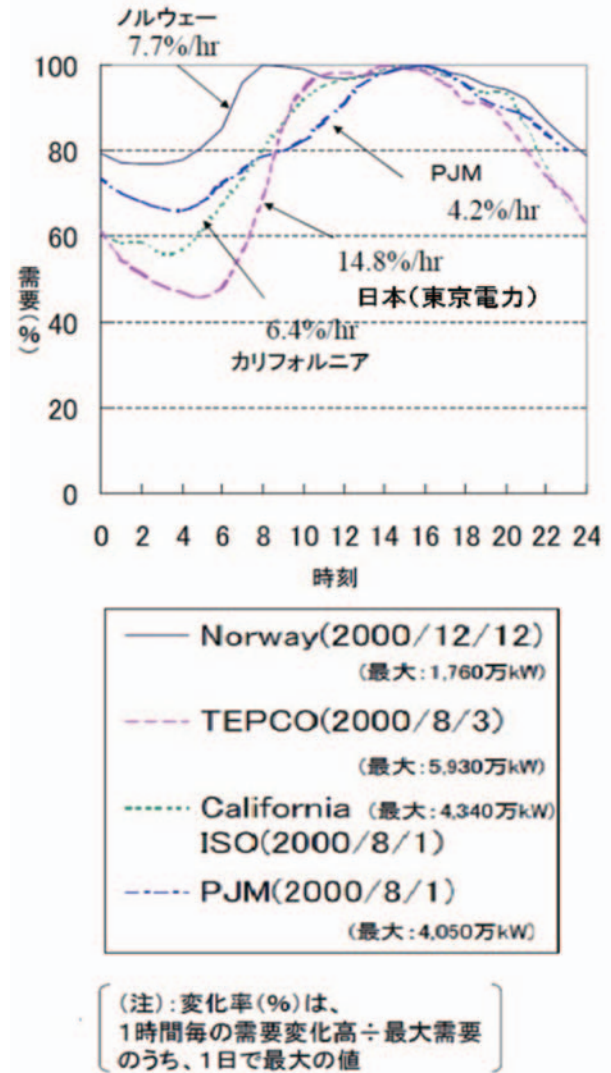
これらの機能を組み合わせることで実現しているが、調整機能を持つということは、需要の変動周期により分担は変わるが、常に上げ側にも下げ側にも余裕代を持っているということであり、その際必要となるのは、調整幅とスピード（変化率）ということになる。

次に、1日の中での需要の変化をみる。

図6は、夏季に最大電力が出る日の需要カーブである。深夜の最低需要から昼間の最大需要まで、日本全国では6,000万kW以上、大型発電設備60機分の需要が1日の中で変動する。

他の季節では昼夜間の差は小さくなるものの、この需要の変化に対する調整を日々行うことになる。

図7は、各国の最大電力発生日の需要曲線である。日本では昼夜間の需要の差が大きく、夏期平日の朝の立ち上がりの変化速度は、欧米各国と比べて2～3倍となっている。このスピードに対応するための調整力（＝負荷変化速度）を日本の火力設備は持つようにしており、さらに多くの火力機がDSS（日間起動停止）の機能を有し、また最低負荷を低く設定している。このことから日本の調整電源のポテンシャルは、現状でもかなり高い。

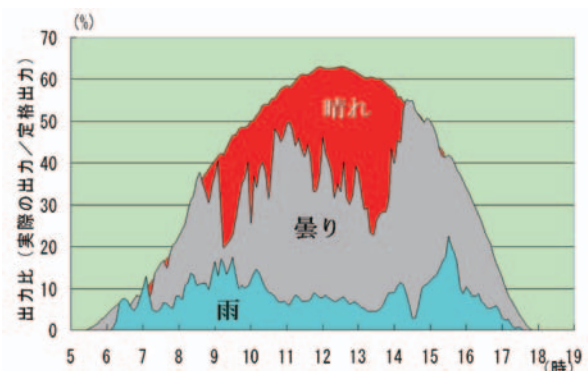
Fig. 6 Daily load curve ⁽³⁾Fig. 7 Demand change speed of each country ⁽⁴⁾

4. 太陽光発電、風力発電の特徴

太陽光発電の発電量は、図8に示すように基本的に太陽高度に依存し天候によっても大きく左右される。

雲がかかることによる短周期変動が大きい、広い地域に多数分散配置されればならし効果も期待できる。

ならし効果による平準化のシミュレーション結果を図

Fig. 8 Output change of the photovoltaic generation by the weather ⁽⁵⁾

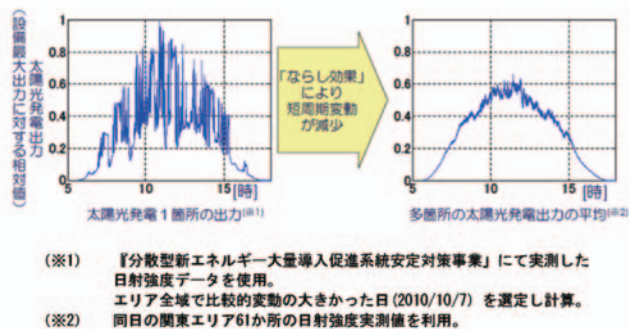


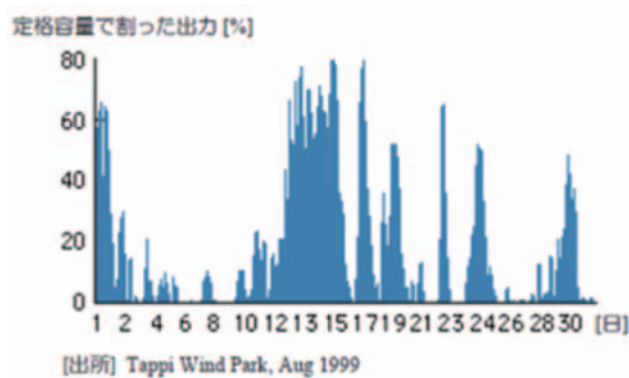
Fig. 9 The example of the equalization effect

9に示す。

夏季の電力ピークは、晴天高温時に発生するので太陽光もある程度供給力として期待できるが、一方冬季については、夕方暗くなり気温が下がるにつれ需要が増加するので供給力としては期待できない。

次に風力発電の特徴を説明する。

図10は、1ヶ月間の風力の発電実績をグラフ化したものである。風力発電は夜間でも発電できるが、風が弱すぎても強すぎても発電できない。

Fig.10 Change of power output in August 1999 at Tappi Wind Park ⁽⁶⁾

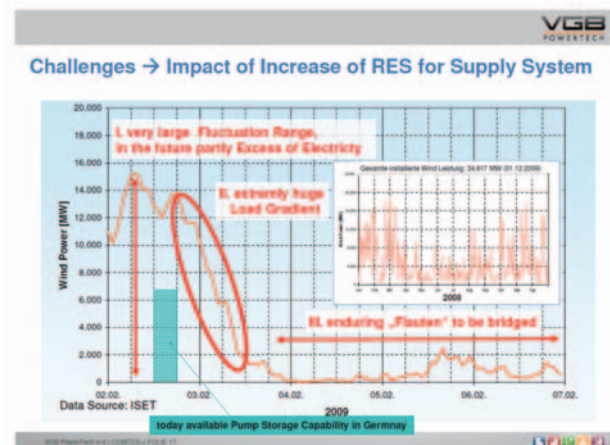
広範囲にわたる気候変動があると、ならし効果が効かず一定時間出力が上昇あるいは低下するという現象がおこる場合もある。

図11はドイツの実績であるが、約半日で1,000万kW以上発電量が低下している。これは当日の揚水可能量（約700万kW）を大きく上回る発電量の変化である。この発電量をカバーしなければいけないと共に、この変化を予測できるのかという点も大きな課題である。

このように太陽光発電と風力発電は、発電出力が不安定で、設備量の一部しか供給力として期待できない、出力の変動を別途補償しなければならないといった特性により系統運用上は扱いにくいものの、燃料費がかからない特徴を有することから運用上は優先的に扱われる。

5. 火力発電の役割と価値

需給調整で必要なのは調整量とスピードであるが、こ

Fig.11 Impact of wind power expansion ⁽⁷⁾

れは調整を行うひとつの電力系統全体として十分かということである。調整用電源の比率が高ければ個々の設備への要求はゆるく、逆に低くなると厳しい運用が求められることになる。

図12は、太陽光・風力が5%ずつ導入された場合のゴールデンウィーク期間中の出力変動シミュレーションである。

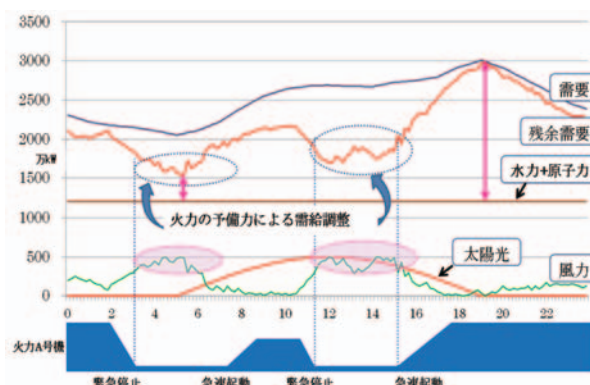


Fig.12 Supply and demand adjustment simulation

再生可能エネルギーは、発電量が需要に関係なく変動する上に、優先給電となるため発電量の変動は残余需要の変動となって現れる。

調整電源の稼働は、ベースロード電源である水力+原子力の線と残余需要との間であり、太陽光・風力が無い場合と比べかなり小さくなっているのが分かる。これは火力機の並列台数が少なくなっていることを意味するが、停止している発電機は周波数調整に寄与できないので、この傾向が強くなると周波数調整機能が不足することになる。再生可能エネルギーの不安定さも問題であるが、優先給電により調整電源の比率が下がることも系統運用の安定確保の面では好ましくない。

表1は、設備タイプごとの負荷調整力を表としたものである。

今後の調整力不足に対応するため、設備毎の出力変化率やLFC等の性能向上（幅とスピード）が求められる。

Table 1 List of adjustment capability

プラントタイプ	出力変化率	最低出力	起動時間
USC (石炭) 600～1,000MW	1～3%/分	30%程度	4時間以上
GTCC (1軸多軸) 1,100～1,500℃級	1～5%/分	50%程度	1時間程度

- LFC (AFC) : 出力の±5%程度(調整幅)
- DSS (日間起動停止) : GTCCや中小容量機が中心

また、現状でもDSS(日間起動停止)は運用されているが、夜間のみならず昼間の時間帯でもそれを行う可能性が出てくる。停止～起動までの間隔が一定でなくなり、起動回数も増加することから設備劣化を進行させる要因となる。

さらに、低負荷帯での火力機並列台数を確保するため最低出力を引き下げる取組みが必要となる。

いずれの場合も、設備への追加機能分のコストがかかると共に過酷な運転によるプラントの疲労劣化への影響が懸念される。

次に、年間での調整電源への影響を説明する。

図13-1の左側は、1年間の電力需要を1時間ごとにグラフ化したもので、右側の曲線は、その1時間値を需要の大きい順に並べ替えたもので、需要の出現率を表すグ

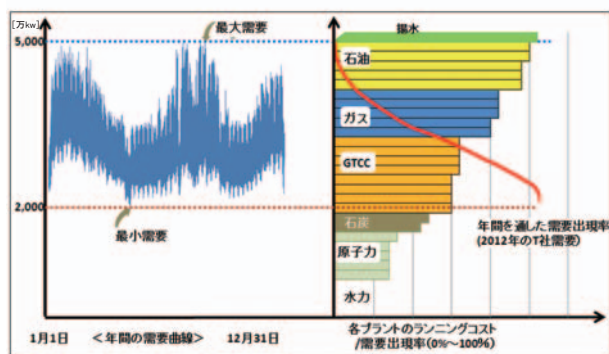


Fig.13-1 Changes of utilization ratio by the merit order
-Present Condition

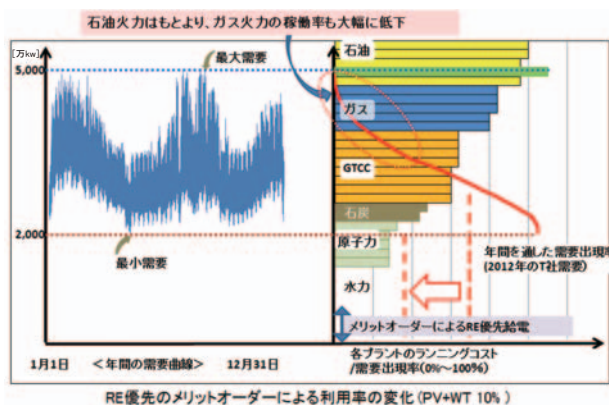


Fig.13-2 -At the time of 10% of RE energy introduction

ラフとなる。(デュレーションンカーブ)

この需要に対し単純なメリットオーダーで資源別に積み上げると、それぞれの設備の稼働率が表される。

再生可能エネルギーが少ない段階では、水力、原子力、石炭までは常時フル運転であり、所謂ベースロード電源であることが分かる。

ここに再生可能エネルギーが10%導入されると図13-2に変わる。ランニングコストがゼロの太陽光・風力は優先給電で一番下に入ってくるので、全体が上に押し上げられ、その結果石炭でも負荷調整を行う必要性が生じ、石油や従来型LNG火力の稼働率は大幅に低下する。

しかし、太陽光・風力は最大電力発生時に出力を出せる保障はなく、稼働の予測が立たない分について火力機等でバックアップする必要がある。

このため、現状8～10%とされる適正予備率の考え方を抜本的に見直す必要が生ずる。

図14はイタリアでの実績である。

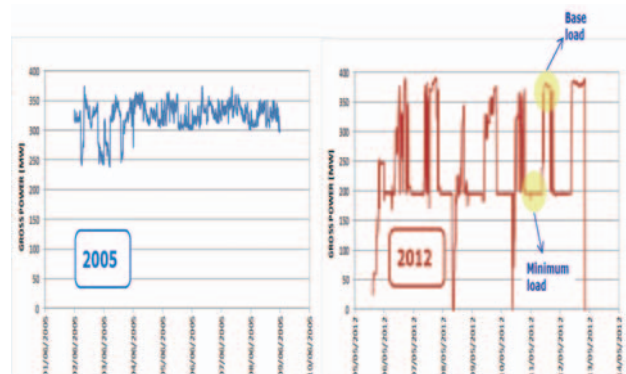


Fig.14 Typical weekly trend of combined cycle power in the Italian market ⁽⁸⁾

再生可能エネルギーの大量導入によってガスコンバインドサイクル設備の稼働率が数年で大幅に低下している。ドイツなどでも、再生可能エネルギーの固定価格買取制度により家庭での電気料金負担が増える一方で卸電力価格は低迷し、時にはマイナスの価格となる事態も発生している。火力設備の稼働率低下により発電会社の経営が圧迫されている。

このような状況のため、不安定な再生可能エネルギーが増えた分、系統維持のための調整電源を確実に確保することが大きな課題となっている。

欧米では各電源に対する要求規格(Grid Code)を示す動きが拡大している。一方で経営的に厳しい状況となる火力発電に配慮した制度への見直しが必要であり、そのための取り組みも始まっている。(CRM Capacity Remuneration Mechanism 等)

系統運用の柔軟性向上のための技術的施策は、既存の電源を活用する以外にも以下のように複数検討されている。これらは図15のように相互に繋がっている。

① 既存電源の活用



Fig.15 Supply and demand adjustment of power system

- ② 再生可能エネルギーの調整力拡大（抑制）
- ③ 新しい電力貯蔵技術（二次電池，水素製造）
- ④ 需要の能動化（デマンドコントロール）
- ⑤ 送電網の拡充と連系線の活用（広域運営）

一般的には、今後の対応として新技術であるバッテリー等の電力貯蔵装置やデマンドコントロールへの期待が語られることが多いが、電力系統の維持費用は社会的コストであり総額が最小となるよう各施策を組み合わせることが肝要である。

確かに、火力設備の調整機能を拡大する場合、機能追加費用や過酷な運転によるメンテナンス費用により発電コストが上昇する。また、発電設備が調整力確保のために上げ代を持つということは設備の出力を常に絞っておくということであり、それによる発電機会制限による売上げ減少、効率低下による非効率運用という問題もある。しかし、バッテリー等で同様のことを実現することと比較すれば、既存の設備や技術を活用する分コスト的に有利であり、既存の発電設備のさらなる活用は、当面調整力の主力と位置付けられるべきである。

現在、電力自由化の制度設計の議論がなされているが、公平性の視点のみならず、調整力確保という観点での具体的議論が必要である。つまり、系統維持のための調整力の発揮はそれにかかるコスト以上の価値があり、その対価が支払われるような仕組みを作り必要な調整電源を確保できるようにしなくてはならない。（表2を参照）

制度設計の議論の中で、予備力確保につながる容量市場の導入などは組上に上っているが、調整力確保という観点での議論はまだ十分とは言えない。

Table 2 Valuation of a supply and demand adjustment function

需給調整機能の価値評価

【追加費用】 - 過酷な出力変動、過度の起動停止による設備の疲労劣化によるメンテナンス費用の増加

【機会の逸失】 - 需給調整による稼働率低下、売上減少

【効率低下】 - 部分出力・起動停止といった非経済運用の増加

仮に、単純なメリットオーダーのkWh価値だけで電力系統が運用されるのであれば、追加コスト等によるデメリットを被る調整電源を運用する発電事業者はいなくなってしまうであろう。

この課題について、技術面と制度面を一体的に解決することが再生可能エネルギー大量導入の鍵となる。火力設備の調整力向上への期待は大きいですが、その費用をまかなう仕組み作りはこれからの課題である。

6. おわりに

エネルギー問題は、地球温暖化、原子力、電力自由化、エネルギーセキュリティ、経済に与える影響等々の問題がからみ合っている。また、再生可能エネルギーに関しては、ローカルな電圧調整や送電線容量の問題もある。

これらは相互に干渉しあうため、総合的な視点での議論が深まり、その中で再生可能エネルギー大量導入時の課題が解決されていくことを期待する。

参考文献

- (1) 総合資源エネルギー調査会 新エネルギー小委員会（第1回）資料3 p5
- (2) 電力中央研究所 研究紹介映像 「電力系統の安定運用のために」（2001年11月）をもとに作成
- (3) 東京電力より情報提供を受け作成
- (4) 風力発電系統連系対策小委員会 第1回資料 2006 資料5 p7
- (5) エネルギー白書 2006 P181
- (6) エネルギー白書 2006 P183
- (7) VGB-TENPES International Symposium (2013.11)
- (8) Sauro Pasini, VGB-TENPES International Symposium (2013.11)

特集：第42回定期講演会（熊本）特集 パネルディスカッション報告

負荷変動対応型先進ガスタービン技術の研究開発について —ガスタービン学会における検討の経緯とねらい—

渡辺 紀徳^{*1}

WATANABE Toshinori

キーワード：ガスタービン，研究開発プロジェクト，負荷変動，再生可能エネルギー，産学連携

Gas Turbine, R&D Project, Load Fluctuation, Renewable Energy, Industry-University Cooperation

1. はじめに

日本ガスタービン学会では，産官学連携委員会，およびそのワーキンググループとしてガスタービンを考える会を設置し，日本のガスタービン技術の現状と周辺状況，今後の研究開発と事業展開，世界戦略などについて，関連各社，諸研究機関の技術者や研究者により，自由な雰囲気です話し合っている。一つの成果として産業用および航空用ガスタービンの技術ロードマップを策定し，定期講演会や学会ホームページ，学会誌等で紹介した⁽¹⁾。その後，ロードマップに基づいて共同研究開発プロジェクトを提案することを目指し，議論を重ねてきたが，この度，新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の「エネルギー・環境新技術先導プログラム」にプロジェクト案を応募する段階に至った。ここでは学会におけるこれまでの検討経過や議論の内容を紹介する。

2. 検討の経緯

まず産業用ガスタービンの研究開発プロジェクト案策定を具体的に進めることとし，ガスタービンを考える会の参加各機関で議論を続けた。企業間の競争関係を含め，様々な角度から話し合った中で，学会活動であるため共通基盤的な技術開発が肝要であること，今後の日本のガスタービン技術の発展と国際展開に資するものであること，各社・各機関が参加して益があること，などの条件が提示された。その上で広範な議論を行った結果，東日本大震災以降にますます重要となっている再生可能エネルギーの大量導入や，継続的なCO₂低減の要求に照らして，電力グリッド内の急激な負荷変動を吸収し，平準化するガスタービン技術の開発を見据え，まずは必要な技術課題を調査する研究提案が妥当であろうとの方向性がまとまった。

産官学連携委員会ではこの方向で研究開発プロジェクト案をまとめるため，2013年度に調査研究委員会を設置

し，具体案の検討を行うこととした。

将来の電力供給システムで，どの程度の規模のグリッドが適切であるか，現時点で絞り込むことは困難であることから，当面は大型，中型，小型それぞれのサイズのガスタービンを調査研究対象とすることにした。また，ユーザーの要望や今後の電力供給計画との整合が必須であることから，火力原子力発電技術協会の再生可能エネルギー研究会と情報交換を行うこととし，双方で合意した。

負荷変動対応型のガスタービンとして重要な技術課題は，急速起動・停止特性の更なる向上と，部分負荷における効率および低NO_x特性の確保と考えられる。そこで各サイズにおける当面の技術目標値を表1のように設定した。

Table 1 Intended Specifications (2030 target)

	小容量 ～10MW	中容量 10～100MW	大容量 100MW～
出力 変化率	40%/min	30%/min	15%/min
最低 負荷率	——	10%	25%
始動 時間	3分	5分	10分
最高 効率	現状+ 2ポイント	53% (HHV)	59～60% (HHV)

当初のプロジェクト基本案ではこの目標をベースに，必要な技術検討を行いつつ研究開発項目を抽出し，それぞれの項目に担当機関を割り振って，1年間の調査研究を実施することとした。

基本案が理事会で承認された後，経済産業省研究開発課に相談したところ，2014年度にNEDOで先導研究プログラムを新規に実施することになっており，これに応募するのが妥当であろうとの教示を受けた。

そこで産官学連携委員会で調査研究委員会のミッションを更新し，2014年度の調査研究委員会でNEDOへの提案書をまとめることとした。先導研究プログラムは調査

原稿受付 2014年11月4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

研究と少し趣が異なるため、研究項目をより具体的に絞り込み、シミュレーションなどを実施する計画への改訂を行った。なお、調査研究委員会では、NEDO提案を実施するだけでなく、並行して自前で調査研究を進める計画を立てている。

プロジェクト案は理事会に継続的に提示し、ご意見をいただいている。また、2014年4月のアドバイザリー委員会で概要を紹介したところ、電力関係の委員も含め、委員会メンバーから好意的なご意見を多々いただいた。

2014年8月25日、NEDO「エネルギー・環境新技術先端プログラム」の公募が開始され、完成したプロジェクト案を応募した。実施案では7機関の連名による並行契約に、大学・研究所への再委託を組み込んだ体制を立て、ガスタービン学会の調査研究委員会が全体を横通しして総括することとした。連名提案機関は電力中央研究所、三菱重工業、三菱日立パワーシステムズ、川崎重工業、IHI、東芝、産業技術総合研究所の7機関で、電力中央研究所に代表となつていただく。再委託機関は現在のところ物質・材料研究機構、首都大学東京、長岡技術科学大学、京都大学、東京大学である。なお、応募案の詳細は別項で紹介される。

3. 大学の参画 -シミュレーション高度化-

ガスタービンを考える会と調査研究委員会による検討の中で、基盤共通的な研究開発課題の一つに、各種シミュレーションの高度化が挙げられた。産業界からの「高度化」の要求レベルは大変高く、技術実証や認証のために実施する試験を一部代替し、コスト削減を可能にするレベルと言われている。この実現は容易ではないと思われる。

プロジェクト案に関連して、メーカー各社から重要度の高いシミュレーション分野を挙げてもらったところ、以下の通りであった。

(1)燃焼シミュレーション

大きな負荷変動に対して安定燃焼を確保する技術、部分負荷で低NO_x特性を維持する技術などの開発に向けて、燃焼シミュレーションの高度化が非常に重要であるとの意見が、各社から一致して得られた。的確な燃焼シミュレーションはガスタービンに限らず、様々な分野で従来から強く求められているが、本プロジェクトでもやはり重要度が高い。

(2)非定常流れシミュレーション

急速起動時、大幅な負荷変動時のサージや旋回失速の発生とその対策に関する技術開発で、非定常流れ現象のシミュレーションの高度化は必須である。既に多くの研究がなされている分野ではあるが、更に精度を上げる研究開発が必要である。現今のスーパーコンピュータを利用した大規模数値シミュレーションや、乱流の取扱いの一層の高度化などに取り組むことになる。

(3)構造過渡応答シミュレーション

急速起動時の急激な回転速度変動に際し、遠心力場、温度場、流れ場等が急激に変動し、これに対応して構造が変形を起こす。このため翼端間隙が大きく変化することなどに起因して、ガスタービンの性能や安全性に様々な影響が表れる。変形の予測には各社がノウハウを有しているが、学術的に裏付けられた一般性を持つ予測手法は未整備である。プロジェクトを契機に予測技術を構築することは今後の技術開発に意義が大きい。

本プロジェクトでは、大学が再委託契約で参画することにより、モデリングとシミュレーションの高度化に取り組む計画である。

また、材料関係でも耐熱合金や遮熱コーティングに関連する技術課題について、複数の大学が参加する。

4. おわりに

研究開発プロジェクトをまとめるまでの検討経過や、議論の内容について紹介した。先導研究の成果は次の国家プロジェクトへのシーズを出すこととなっている。今後は大型の国家プロジェクト実現に向け、更に活動を進めて行きたい。その際には現プロジェクトに参加いただいていない多くの会員各位にも参入をお願いし、より広範で高度な連携により国家プロジェクトを展開することを計画している。

これまでのプロジェクト案策定には学会の関係各位から多大なご支援をいただいた。ここに深く感謝するとともに、今後ともご協力をいただけるよう、心よりお願いする次第である。

参考文献

- (1) 渡辺紀徳,「ガスタービン これまでの40年, これからの40年:総論」,日本ガスタービン学会誌, Vol.41, No.1 (2013), pp.14-19.

特集：第42回定期講演会（熊本）特集 パネルディスカッション報告

『負荷変動対応型先進発電設備に関する技術可能性調査』 プロジェクト紹介

壹岐 典彦^{*1}
IKI Norihiko

松沼 孝幸^{*1}
MATSUNUMA Takayuki

キーワード：ガスタービン発電，航空転用ガスタービン，再生可能エネルギー，系統安定化，負荷変動
Gas Turbine Power Plant, Aeroderivative Gas Turbines, Renewable Energy, Power System Stabilization, Load Fluctuation

1. はじめに

世界的なエネルギー需要の拡大がある一方，地球温暖化ガスの排出削減が求められている。このため，化石燃料については高効率化に関する研究開発が進められており，更に石炭火力発電については，二酸化炭素回収・貯留技術（CCS）を組み込んだシステムの研究開発が進められている。ヨーロッパではEUが環境目標20-20-20を打ち出し，2020年までの中期目標として

- ・90年比で温室効果ガス20%削減
- ・最終エネルギー消費量に占める再生可能エネルギーの割合を20%に
- ・一次エネルギー需要の20%削減

を掲げるなど，再生可能エネルギーの導入を進めてきた。米国でも2030年に20%の導入が目標とされている。

一方，国内では，東日本大震災以降，原子力発電の新規導入を前提としたエネルギー供給について見直しが求められ，再生可能エネルギーの大量導入が期待されており，今後は気象により発電量が変動する電力がかなり大きな割合を占めるものと考えられる。政策的にも再生可能エネルギーの大量導入が進められており，第4次エネルギー基本計画では2030年頃に発電電力量の20%程度の導入を目指している。その際には現状技術の発展だけで電力需要と電力供給の時間的なギャップをカバーすることは困難である。

スマートグリッドなどの取り組みにより，電力系統の負荷変動を緩和することが期待されているが，電力の安定供給・電力系統の安全性／健全性を担保する上では，負荷変動に対応して発電量を大きく変化できる発電設備の低コスト化と高効率化が必要である。

係る状況を踏まえ，公益社団法人日本ガスタービン学会では産官学連携推進委員会の下に調査研究委員会を立ち上げ，ガスタービンを考える会と連携しながら，産業用ガスタービンの国家プロジェクト立ち上げを目指して

調査検討を進めてきた。2013年に調査研究の案をまとめて2013年に調査研究案をまとめて理事会へ報告した後に，提案活動を開始した。その過程で2014年8月に公募が行われたNEDOエネルギー・環境新技術先導プログラムに応募することになり，このスキームに合わせて提案内容を見直した。先導研究を行うこととし，佃ガスタービン学会元会長をプロジェクトマネージャー，（一財）電力中央研究所をとりまとめ機関として，「再生可能エネルギー大量導入時代の系統安定化対応先進ガスタービン発電設備の研究開発」を提案した。この先導研究を通して研究開発の国家プロジェクトの計画を練り，その立ち上げを目指す予定である。

2. 負荷変動への対応へのガスタービン利用

系統安定化のためにガスタービンを利用するといっても，再生可能エネルギー大量導入時に対応するには技術の革新が必要である。そのため，当該先導研究では，系統安定化対応型先進ガスタービン発電設備に関する技術開発の国家プロジェクト立ち上げを目指して，将来のガスタービン発電設備について負荷変動追従性を高めるために必要となる基盤技術や解決すべき課題について研究を行う。具体的には，長時間の定格運転を前提とし，特に最高効率を狙ってきたガスタービン発電システムを基盤としつつも，その延長線ではなく，負荷変動追従性を重視し，過渡応答性に優れ，繰返し負荷に耐えるガスタービン発電システム（言わば，高効率とジェットエンジン同様の機動性を両立する発電システム）の実現に向け，研究開発の方向転換を行う。設計思想，運用方法を従来から大きく見直すとともに，産学官の人材を結集し，わが国が得意とする先進的な耐熱金属，スマート複合材料，環境負荷低減，非定常熱流動解析等の基盤技術を統合することで，系統安定化対応型先進ガスタービン発電設備の技術を世界に先駆けて獲得する。成果は，再生可能エネルギーの大量導入と電力系統の健全性担保を両立しうる日本発の技術として，人類の持続的発展に貢献する科学技術立国の姿勢を内外に示すことに加え，わが国

原稿受付 2014年11月12日

*1 独立行政法人産業技術総合研究所エネルギー技術研究部門
〒305-8564 つくば市並木1-2-1

が主導する新たな市場を創出することにも繋がると期待できる。本プロジェクトを通じて次の項目について研究を開始する計画である。

3. 提案内容

負荷変動対応は、定格負荷での最高効率を狙うピンポイントでの性能から、様々な状況に柔軟に対応できる運用性を向上させた状態での性能を重視するという設計思想の転換になるため、多くの技術課題が生じるが、本プロジェクトではいち早く着手すべき課題として表1のものを取り上げる。

(1)急速負荷変動のガスタービンプラントへの影響検討・評価

プラント動特性解析や各種調査・検討、各実施機関の成果をもとに指針を得て、開発項目を明らかにし、国家プロジェクトでの技術目標を定める。

(2)負荷変動を吸収するもしくは負荷変動に対するマージンを拡大する技術

特に燃焼性能、圧縮機のサージ安定性、各部のクリアランス制御などが解決すべき課題となってくる。更に、現状技術の下でマージンを単に拡大した設計を行うのであれば発電効率が低下してしまう。マージン拡大と効率維持の両立さらには効率向上を達成する設計の革新が必要である。そのため、シミュレーション技術の高度化およびシステム調査検討に取り組む。

Table 1 Research item and target

実施項目	内容	目標
(1)急速負荷変動のガスタービンプラントへの影響検討・評価		
ガスタービン発電設備への負荷変動の影響評価	急速な負荷変動に起因する設備内部の温度や圧力、空燃比等への影響評価 担当：電中研	影響評価による開発項目の明確化
負荷変動を吸収する発電システムの検討	発電量の急速可変、蓄エネルギー等のシステム構成を含めた検討 担当：産総研	システムの発電規模、変動への応答速度・対応可能な変動範囲、開発要素、各種コスト等を明確化
(2)負荷変動を吸収するもしくは負荷変動に対するマージンを拡大する技術		
燃焼シミュレーション高度化	燃焼器追従性予測評価技術の確立に向けた解析手法や数値モデルに関する検討 担当：電中研	急速な負荷変動に対する燃焼シミュレーションの現状の解析手法や数値モデルの課題の明確化
非定常流れシミュレーション高度化	圧縮機サージマージンを予測する解析手法の改良 担当：三菱重工	圧縮機のサージマージン拡大のための指針を得る
構造過渡応答シミュレーション	構造の過渡的な変化を熱流体シミュレーションと連成して解く手法を検討 担当：三菱重工	クリアランスの変動を予測するための解析手法構築の指針を得る
発電量を制御できるガスタービンの効率維持	発電量制御と効率変化の調査 担当：MHPS	効率維持の両立さらには効率向上を達成する設計の指針を得る
(3)負荷変動に急速に追従する技術、急速起動を可能にする技術		
航空転用ガスタービンをを用いたシステム安定化制御技術	急速起動・高速負荷追従・繰り返し起動停止などの機能・性能を電力系統安定化に積極的に使用するために必要な技術の検討 担当：IHI	シンクロナスコンデンサー、初動周波数制御（PFC）技術、予備力裕度制御（RMC）技術などの有効性調査と実用化に必要な技術課題の明確化
(4)負荷変動を予測して発電量を変化させる技術		
需給予測に基づく発電量制御技術	速やかなる負荷追従のため、発電量や電力需要の変動を予測する技術と、それを基に負荷追従制御を行うために必要な技術の検討 担当：川崎重工	需給ギャップの予測手法と需給変動追従制御システムを確立する上で必要となる技術の調査検討と実用化に向けた課題の明確化
(5)過渡応答、繰り返し負荷による材料劣化への対応技術		
高負荷変動に対するガスタービン材料特性評価技術	高負荷変動の影響、材料劣化メカニズム、作動条件、高温疲労支配型の材料評価技術の検討 担当：東芝	材料損傷の推測、熱疲労強度の評価手法の把握、高熱疲労強度合金を得るための施策提案

(3)負荷変動に急速に追従する技術、急速起動を可能にする技術

急速起動・高速負荷追従・繰り返し起動停止などの特性に優れているガスタービンとして、航空転用型ガスタービンがある。この特性を更に向上させるとともに、電力系統の安定化に積極的に使用するための技術検討を行う。

(4)負荷変動を予測して発電量を変化させる技術

需給ギャップに速やかに追従するため、発電量や電力需要の変動を予測する手法と、その情報をもとに負荷追従制御を行う手法が重要となる。このため、シミュレーションをベースにシステム化を検討する。

(5)過渡応答、繰り返し負荷による材料劣化への対応技術

高負荷変動運用下では、耐クリープ性能を重視したこれまでの材料は受ける損傷が大きくなる。そこで、そのような過酷な環境下でも劣化が少ない材料の開発に向けて、高負荷変動の影響把握、材料劣化メカニズム解明、作動条件把握、高温疲労支配型の材料評価技術を検討する。

これらの提案を実施するために図1の実施体制で取り組む。プロジェクトマネージャーはNEDOの立場で研究開発のマネジメントを行い、その下で各参加企業・研究機関が委託を受ける。更に大学等に再委託を行う形である。研究開発期間は1年間を予定している。その成果として、国家プロジェクト案をまとめてその実施を目指している。国家プロジェクトの実施にあたっては更に多くの機関の参加を想定している。

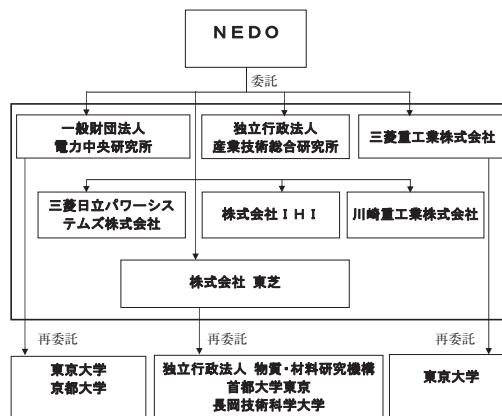


Fig. 1 Organization

4. 最後に

国際エネルギー機関のエネルギー技術展望2014においても「再生可能エネルギー電力の大胆な整備計画を策定している地域では、ガス火力発電所の全負荷効率よりも、部分負荷効率や傾斜率（ランプ速度）、ターンダウン比、起動時間の方がより重要である。」と指摘されている。先導研究の提案内容はこの報告にも合致しており、世界に先駆けて開発を成功させ、実用化を図ることは、日本のみならず、世界の再生可能エネルギー導入に貢献することになるものといえよう。

第42回定期講演会（熊本）特集 パネルディスカッション報告

ガスタービン発電設備の負荷変動対応技術

高橋 徹^{*1}
TAKAHASHI Toru

丹野 賢二^{*1}
TANNO Kenji

キーワード：ガスタービン、柔軟性、再生可能エネルギー、発電設備、シミュレーション
Gas Turbine, Flexibility, Renewable Energy, Power Plant, Simulation

1. はじめに

これまでの火力発電設備の研究開発は、主に定格出力での熱効率の向上とエミッションの低減を主体として進められてきた。現行でのガスタービン開発の国家プロジェクトでは、2020年代での実用化を目指し、大容量設備として1700℃級ガスタービンの62-65% (LHV)⁽¹⁾、また、比較的燃焼温度の低い100-200MW程度の中容量設備としてアドバンスド高湿分空気ガスタービンシステムの57% (LHV)⁽²⁾達成に向けて研究開発が進められている。

一方で、再生可能エネルギーの大量導入が政策的に進められている。第四次エネルギー基本計画ではその導入目標として、2030年に発電電力量で約2割に相当する水準が示され、すでに固定買い取り制度といった国の施策により再生可能エネルギーの導入が確実に進んでいる。

不安定な再生可能エネルギーの導入量が大幅に増加した場合、電力系統において急激な周波数変動や負荷変動が生じる恐れがある。再生可能エネルギー大量導入時代の電力系統安定性維持のため、今後の火力発電設備には一層の負荷調整力向上が重要性を増し、また、発電分離に伴いアンシラリーサービス市場が拡大することも考えられる。これらに対応するためには、熱効率向上やエミッション低減だけでなく、これまで以上に負荷変動追従性の高いガスタービン発電設備の開発が必要であると考える。

そういった背景から、本稿では欧州の状況と、負荷変動追従性の高いガスタービン発電設備の開発に向けて当所が取り組みを考えている検討課題について紹介する。

2. 欧州の状況

すでに再生可能エネルギーの導入が進んでいる欧州では、ガスタービンコンバインド発電設備の運転時間が減少している一方で、起動停止回数が大幅に増えているとの報告がある。そのため、ガスタービン高温部品やTBC (Thermal Barrier Coating) の寿命短縮が懸念されており、これまでのような運転時間による寿命管理だ

けでなく、起動回数を考慮した寿命予測手法が求められている。また、ガスタービン本体だけでなく、排熱回収ボイラ、特に過熱器ヘッダおよび蒸発器ドラムにおいて、急激な温度差に起因する熱応力の増加や、起動・停止時の水質低下による腐食などが問題視されており、補修コストの増加も懸念されている。

一方で、プラントに大きな影響を及ぼさない起動方法の検討も進められている。起動時に早めに補助蒸気を蒸気タービンに送り蒸気タービン出力を上げることによりガスタービンへの急激な燃料投入を回避することで、ガスタービン排ガス温度の急激な上昇を抑えて速やかに起動させる方法や、モニタリングとモデリング予測による起動方法の最適化などの取り組みがなされている。また、部分負荷運転において、燃空比の低下を抑えることにより、燃焼温度を極力下げずに熱効率の低下を緩和すると共に、CO生成を抑制することなどに取り組んでいるプラントもある。

3. 検討課題

3.1 プラントへの影響評価

欧州に比べて電力系統が小さい日本においては、再生可能エネルギー大量導入による電力系統や発電プラントへの影響はさらに大きくなるものと考えられる。火力発電設備には、運転安定性を維持し補修コストの上昇を抑えた上での負荷調整力向上が必要である。負荷調整力の主な項目としては、以下が挙げられる⁽³⁾。

- ・起動時間の短縮（起動コスト低減）
- ・負荷変化率向上
- ・負荷（周波数）応答性の改善
- ・運転負荷帯の拡大（最低負荷低減）

現状のガスタービンコンバインド発電設備では、起動時間60分（コールド起動）、負荷変化率が5%/min程度であるが、再生可能エネルギーが電力系統に大量導入された場合、それらを超える急速な起動や負荷変動、周波数変動への対応が必要となる可能性がある。

電力系統によって必要となる電源は異なるため、様々なケースでの検討を行う必要がある。発電システム全体の検討として、想定される負荷変動パターンおよび周波

原稿受付 2014年11月5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

数変動パターンに対してケーススタディを行い、それら変動により設備内にどのような影響が生じるかを明らかにし、また、急激な負荷変動および周波数変動に対応できる発電設備の開発項目を明確にする必要があると考える。運用性の向上として、起動速度や負荷変化率のみならず、部分負荷での熱効率向上の検討も重要な項目である。さらに、頻繁に起こりうる起動停止や急激な温度変化による熱応力が機器・材料寿命に与える影響の把握や予測手法も今後の課題として挙げられる。

3.2 燃焼シミュレーション手法の高度化

負荷調整力の向上において、憂慮すべき事態のひとつとして、燃焼器内における燃焼の不安定性が挙げられる。想定される過酷な運転条件において、火災が失火することなく安定的に保たれるか事前に検討することは重要である。

負荷変動時の燃焼器内部の燃焼状態を事前に評価するためには、数値シミュレーションの活用が有効であると考えられる。しかしながら、現在一般的に行われている燃焼シミュレーションは、定常的な運転状態のデータを境界条件として用いており、負荷変動時の非定常的な境界条件を入力値とする数値シミュレーションはこれまでほとんど実施例がなく、数値シミュレーションの適用性も不明である。

そこで、数値シミュレーションによる、負荷変動時におけるガスタービン燃焼器追従性予測評価技術の確立に向け、解析手法や数値モデル開発に関する課題を抽出が必要と考える。具体的には、LNG火災の非定常状態を捉えることが可能な化学反応機構について検討するとともに、想定される負荷変動パターンに対応する入力条件

を与えた、ガスタービン燃焼器内の数値シミュレーションを実施し、負荷変動時の燃焼安定性や、NO_x排出特性について評価するとともに、現状技術の課題の抽出を行う必要がある。

想定される負荷変動パターンに対応する入力条件を与えたガスタービン燃焼器の燃焼シミュレーションにより、負荷変動時の燃焼安定性やNO_x排出特性を明らかにするとともに、燃焼シミュレーションによる負荷・周波数変動に対するガスタービン燃焼器追従性予測評価技術の確立に向けた解析手法や数値モデルの開発に関連する課題の抽出を行いたいと考えている。

4. おわりに

高効率で急速な負荷変動対応型のガスタービン発電設備を開発することで、これまでのような個々の発電設備の高効率化では無く、再生可能エネルギーの大量導入促進による電力系統全体での高効率化が図られ、二酸化炭素排出量および化石燃料消費量の削減に繋ぐことができる。本研究開発は、再生可能エネルギーと火力発電が調和した社会の実現、地球温暖化防止と社会経済発展の両立の実現に向けて重要であると考えられる。

参考文献

- (1) 伊藤ら,超高温ガスタービンの要素技術の開発, 三菱重工技報, Vol.48, No.3 (2011).
- (2) 後藤ら,高効率・フレキシブルなガスタービンシステム AHAT,日立評論, Vol.93, No.8 (2011).
- (3) 再生可能エネルギー時代の火力発電”新たな役割と価値, 一般社団法人 火力原子力発電技術協会

特集：第42回定期講演会（熊本）特集 パネルディスカッション報告

大規模・中規模GTの発電量制御，効率維持技術

伊藤 栄作^{*1}
ITO Eisaku岸部 忠晴^{*2}
KISHIBE Tadaharu

キーワード：ガスタービン，効率，制御，再生可能エネルギー

Gas Turbine, Efficiency, Control, Renewable Energy

1. 緒言

再生可能エネルギー増加に伴い，電力品質の悪化や，ドイツのように電力価格が2倍以上になるなど経済面への悪影響が認識されつつある。国レベルや大規模電力システムレベルでは，比較的時定数の長い大容量の発電量調整が可能であり，これを既存の発電所の容量にマッチする大・中規模のGT発電システムで担うことができれば，最も高効率で発電コストが低く，消費者の負担が小さい持続可能な解となる。一方，負荷変動追従性を実現するGT発電システムでは，圧縮機・燃焼器の作動安定性，クリアランス制御などが課題となる。現状技術の下でマージンを拡大して設計すると，発電効率が低下してしまう。そこで，マージン拡大と効率維持の両立さらには効率向上を達成する設計の革新が必要となる。本書では，大・中規模GTにおける発電量制御，効率維持技術を紹介し，今後の研究開発の指針を示す。

2. 大規模GTの発電量制御，効率維持技術

大規模GTによるコンバインドサイクルは定格で60%超（低位発熱量基準），1/2負荷でも55%程度の発電効率を維持できる。しかしながら，信頼性重視の1軸構造において，負荷変動追従性を格段に高める場合，1軸多段圧縮機（1600℃級J形では15段）の急速な圧力比変化に伴うサージ発生の回避が必要となる。また，急速な燃料量の増減に伴う吹き消えや燃焼振動発生，大型部品の大熱容量によるクリアランス制御が課題となる。

これを解決するために，まず，大規模な数値シミュレーションを実施し，流体，燃焼，熱変形に関する技術課題を明確にした上で，大型部品の特徴を活かして，従来にはない局所の流動制御，燃焼制御，伝熱条件の制御を介した各部品の過渡応答性制御などを行う計画である。

3. 中規模GTの発電量制御，効率維持技術

大規模GTにおける圧縮機・燃焼器の作動安定化，クリアランス制御技術などは，中規模GTにおいても有効であり，ここでは，主として中規模GTに適用可能なGTシステムについて述べる。

日本オリジナルの技術である高湿分空気利用ガスタービンシステム⁽¹⁾（AHAT：Advanced Humid Air Turbine）は，ガスタービン単独の再生サイクル発電システムであり，シンプルサイクルでコンバインドサイクルと同等の発電効率が期待できる中容量発電システムである。圧力比と燃焼温度の上昇によらず高効率化が可能で，ボイラや蒸気タービンを利用しないため負荷変化率等フレキシブルな運用が期待できる。

GTは，大気温度が高い場合，空気密度が小さくなることで投入燃料量を減少させる必要があり，その結果として出力が低下する。そこで，吸気部で水噴霧を行うWAC⁽¹⁾（Water Atomization Cooling）などのような技術が開発され，気温上昇による出力低下の抑制が図られている。

また，ガスタービンにモータを組み合わせるシステム⁽²⁾が検討されている。2軸ガスタービンの圧縮機側を可変速運転することで，負荷変化率や高大気温での性能向上を実現するシステムである。

本調査プロジェクトでは，これらのシステムも含め中規模GTの発電量制御，効率維持技術について調査・検討し，実用化に向けた課題の抽出とそれを解決するために必要な技術開発内容を特定する計画である。

4. 引用文献

- (1) Myoren, C., Takahashi, Y., et al.: Evaluation of Axial Compressor Characteristics under Overspray Condition, ASME Paper GT2013-95402, (2013).
- (2) Hino, N., Kothet, A., and Kusumi, N.: A New Concept of Gas Turbine System; Motor-Assisted Gas Turbine with High-Speed Motor, IEEE Energy Conversion Congress & Expo (ECCE 2014).

原稿受付 2014年12月1日

^{*1} 三菱重工業(株)
〒676-8686 高砂市荒井町新浜2-1-1^{*2} 三菱日立パワーシステムズ(株)
〒317-0073 日立市幸町3-1-1

第42回定期講演会（熊本）特集 パネルディスカッション報告

小規模GTの発電量制御，需給予測技術，負荷追従制御技術

合田 真琴^{*1}
GOUDA Makoto足利 貢^{*2}
ASHIKAGA Mitsugu

キーワード：ガスタービン，制御，再生可能エネルギー，電力自由化，電力変動

Gas Turbine, Control, Renewable Energy, Electricity Market Liberalization, Power Fluctuation

1. はじめに

太陽光や風力などの再生可能エネルギーの大量導入や電力システム改革の進展により，電力市場における事業参入機会が増えるとともに，省エネルギーやエネルギーの有効利用への貢献も期待されている。その一方で，気象に依存し変動が避けられない発電源の増加，アグリゲータ事業などによる電力需給形態の多様化に起因して，商用系統が不安定になることが懸念されている。

このような課題に対し，比較的小規模なグリッドを対象とした場合には，負荷追従性の高い小型ガスタービン発電システムを活用することにより，ローカルグリッド内での安定化を図り，商用系統への影響を最小限にする技術を適用することが有効と考えられる。⁽¹⁾

本稿では，上記のようなグリッド（分散型発電システム）を主対象として，商用系統の安定化を図るための技術開発について紹介する。

2. 分散型発電システムの系統安定化技術

2.1 システムの基本構成と概要

図1に，本稿にて説明する技術開発の実現形態として，基本的なシステム構成および機能概要を示す。システムの主要な構成要素としては，後述するように，電力需給ギャップを予測するシステムと，その情報に基づいて系統安定化のためのガスタービン発電量を制御するシステムにより構成される。

2.2 電力需給ギャップ予測システム

再生可能エネルギーの導入を前提とした場合，気象条件による発電量の変動は避けられないため，まずはこの発電量変動を予測するためのシステムが重要である。また，ローカルグリッドにおいてデマンドレスポンスなどによる負荷調整が行われる場合，需要家側における負荷

変動も通常より大きくなることが予想される。したがって，給電側・需要家側ともに電力変動がより頻繁になり，そこに需給ギャップが生じやすくなると予想される。

ローカルグリッドにおける電力安定化を図るためには，まずはこの需給ギャップを推定することが重要であり，これを予測する技術・システムの確立が必要である。

給電側，すなわち再生可能エネルギーによる発電システムに関しては，気象条件に対する発電量特性をモデル化することにより，気象データに基づいて発電量変動を予測するシステムを構築することが可能と考えられる。

一方で，需要家側に関しては，季節や曜日・日時，天候などを基にしたデマンドパターンのデータベースを構築し，これにデマンドレスポンスなどによる需要変動を補正ファクターとして加えることで，需要電力を推定するシステムを構築することが可能と考えられる。

これらの技術を組み合わせることにより，ローカルグリッドにおける需給ギャップを予測するシステムを実現することが可能となる。

2.3 電力変動追従制御システム

小型ガスタービンは，比較的負荷変動追従性能が高いことから，上述したような需給ギャップを埋めるための発電装置として適している。しかしながら，商用系統への影響を最小限に抑えるためには，できるだけ速く需給ギャップに追従する必要がある，そのために前節にて述べた需給ギャップ予測の情報を活用した発電量制御システムが必要になる。

本システムでは，この需給ギャップに基づいてガスタービンの発電量を制御し，ローカルグリッドにおける電力変動を抑制することで，商用系統に対する影響を最小限に抑えることを目標に考えている。

具体的には，細かい需給ギャップの変動に対してはガスタービンの出力を高応答で増減させる発電量制御機能にて対応し，比較的大きな需給ギャップが予想される場合には，複数台のガスタービンで出力調整を行えるよう，事前に必要台数のガスタービンを起動しておくような発停制御（台数制御）機能が考えられる。

これらを，需給ギャップ予測システムと連携して機能

原稿受付 2014年11月4日

*1 川崎重工(株) ガスタービン・機械カンパニー
エネルギーソリューション本部
〒673-8666 明石市川崎町1-1

*2 川崎重工(株) 技術開発本部
システム技術開発センター

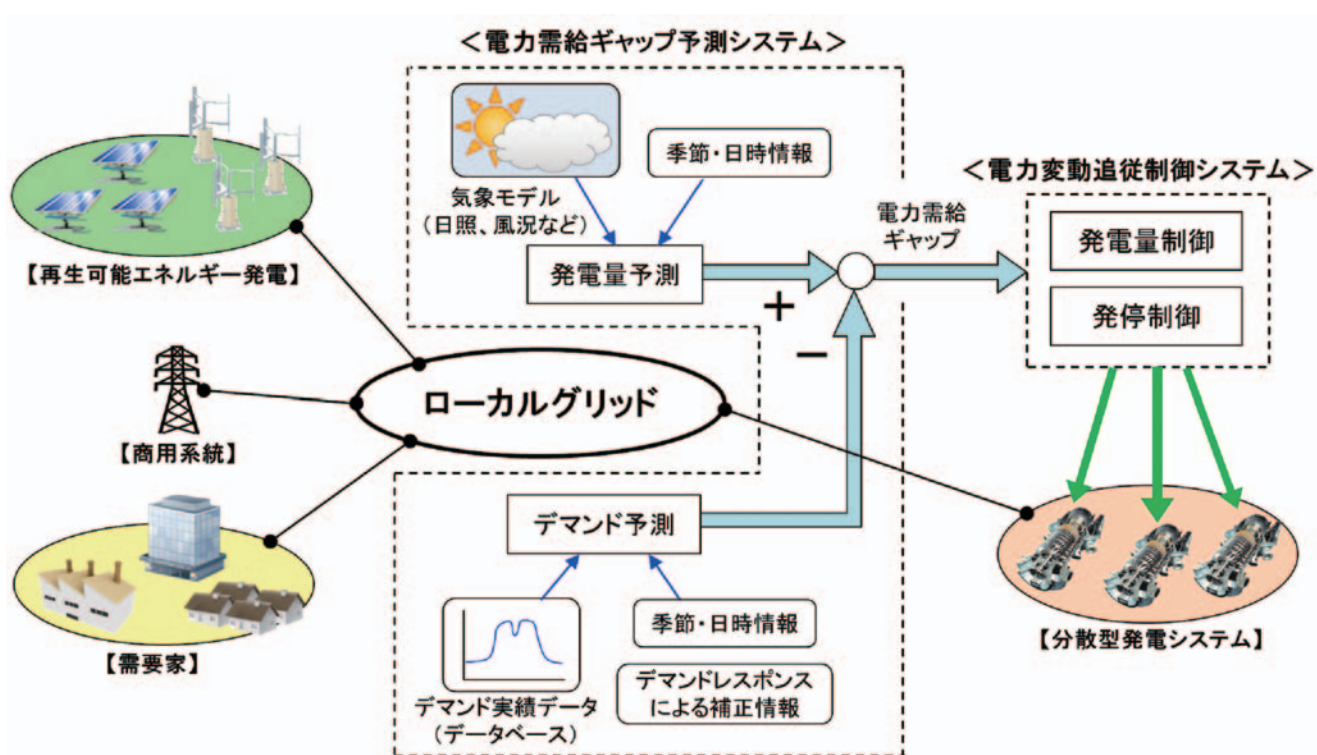


Fig. 1 Concept of Grid Stabilization Technology at Distributed Generation System

させることにより，再生可能エネルギーによる発電量変動や需要家側の様々な負荷変動に応答性良く追従できるガスタービン発電システムを構築することが可能と考えられる。

3. まとめ

今後，再生可能エネルギーの導入や電力市場の自由化はさらに進むと予想され，系統の不安定要因となる電力変動の規模も相対的に大きくなると考えられる。この課題に対して，商用系統の安定性を維持していくためには，

ローカルグリッドでの需給変動が系統に及ぼす影響を最小限にする必要があり，本項で述べた需給変動追従型の小型ガスタービン発電システムは，上記課題を解決するための有効な手段になるものと考えている。

参考文献

- (1) 井上俊彦, "ガス・コージェネ用ガスタービン・ガスエンジンの最新動向", 産総研講演会「スマートエネルギー社会を支える分散型電源の開発とその利用」資料, (2012).

特集：第42回定期講演会（熊本）特集 パネルディスカッション報告

航空機転用GT運用における系統安定化制御技術

米澤 克夫*¹
YONEZAWA Yoshio高村 薫*¹
TAKAMURA Kaoru

キーワード：ガスタービン、航空機転用、GE、LM6000、シンプルサイクル

Gas Turbine, Aero-derivative, Technology Innovation, GE, LM6000, Simple Cycle

1. はじめに

世界的な発電ポートフォリオは恒常的に温室効果ガスの削減に向けた挑戦となっており、再生可能エネルギー大量導入の時代の到来は避けられない。電力システム改革による電力市場自由化の流れも系統の負荷変動の一要因になり得るが、最も考慮すべきは再生可能エネルギーの大量導入であろう。

本解説では、再生可能エネルギーの浸透率が著しく、かつ浸透の速度が非常に速いアメリカにおける電力系統の課題を眺め、再生可能エネルギーが大量に系統に導入されたときの系統安定化にはどのような電源が必要になり、どのような制御方法が求められるかについて考察する。

2. カリフォルニア州のアヒル曲線

アメリカでは再生可能エネルギーの浸透が広範囲に進んでいるが、特にカリフォルニア州では風力発電、太陽光発電ともに急速に電力系統に導入されてきている。図1はカリフォルニア州の電力需要カーブを示す図であり、全体の電力需要から再生可能エネルギー発電量を差し引いた電力需要を示すものである。つまり制御可能な火力電源が背負うべき正味の需要（Net Load）を示す曲線である。その形がまるでアヒルのように見えることから“アヒル曲線（ダックカーブ）”と呼ばれている。横軸は1日の時間であり、2012年、2013年の曲線はそれぞれ3月31日の実績値である。2014年以降何が起きているかということ、太陽光発電の台頭により日中の正味の需要はまるでアヒルの胃が垂れ下がるように年々減少していく。その結果、太陽光が陰り始める夕方から1時間に4ギガワット以上の需要の増加率になり、あるいは正午から3時ぐらいの時間帯においてはオーバージェネレーション（供給過剰）のリスクが生じてくる。太陽光発電が増えれば増えるほど火力は発電を抑えなければならないが、抑えきれなくなるとオーバージェネレーションになる。かといって火力を一旦停止してしまうと、数時間

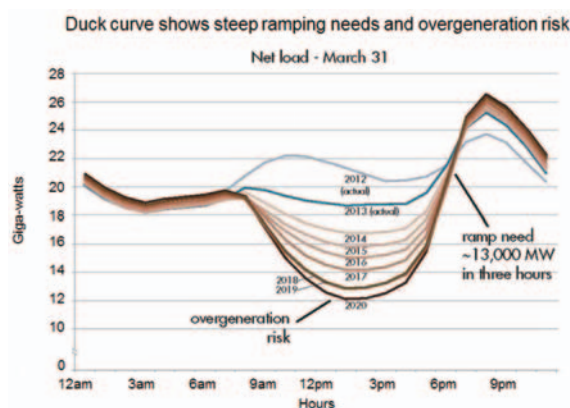


Fig. 1 Duck Curve of Power Grid in California State

後に訪れる需要の急激な増加に対応できなくなる。カリフォルニア州ではこのような心配が現実味を帯びて差し迫っており、カリフォルニア州の広域系統運用者であるCAISOは危機感を募らせている。CAISOは2020年までのすべての日の電力需要プロファイルをシミュレーションしている。

図2はより現実味を帯びた図であり、どのようにアヒル曲線ができあがるかを示している。図1は3月31日のプロファイル（電力需要曲線）であったが図2は2020年の1月のある日のシミュレーションである。全体需要から太陽光発電と風力発電を差し引けば正味の需要（Net Load）が得られる。これを見ると1日に4回需要の急上昇と急降下が起きることになる。この変化に火力発電がついていかなければならないことになる。

日本においても、早朝から就業開始までの時間帯には急激な需要の上昇があり夕方から深夜にかけては急激な需要の降下があるが、それは1日に1回だけの上げ下げである。それに比べて図2の状況は、朝の急上昇のすぐ後に急降下があり、それからしばらくしてまた夕方に急上昇が表れて、そのすぐ後に急降下になるというプロファイルであることに注意しなければならない。つまり火力発電を立ち上げたり止めたりということを繰り返すことを意味している。効率も考えれば部分負荷での運転はできるだけ避けたいし、最小負荷で待機するような運転も好ましくない。従ってこれらの需要の変動に経済

原稿受付 2014年10月23日

*1 (株)IHI エネルギー・プラントセクター
〒135-8710 江東区豊洲3-1-1

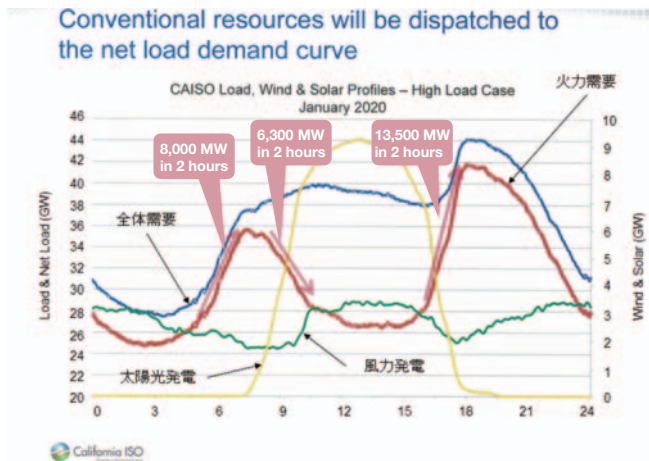


Fig. 2 Prediction of Power Demand in California

的・性能的・環境的に耐えられるような調整電源が求められるわけである。太陽光発電の大量導入が予想される日本の電力系統においても十分発生し得る事象である。

太陽光発電や風力発電は自然条件に左右される変動性電源である。広域的な設置によって変動の影響を平均化したり、あるいは風力で言えば風力タービンの技術開発によって発電量を制御したり、風の通り道の分析による最適な風力タービン設置分布によって変動の影響を最小化する研究も進んでいる。しかしながらそのような研究がどんなに進んでも制御不能な変動は避けられない。変動をキャンセルするための積極的な協調電源が必要になる。風力発電との協調発電の事例をいくつか眺めてみよう。

3. 再生可能エネルギーとの協調発電

図3はアメリカの風力発電とガスタービン発電の協調発電の事例であり、1週間の運転プロファイルの実績である。タイトルにもあるように、良い風力発電運転の代表例として論文紹介されたものである。この例では400メガワットの風力発電を100メガワットのガスタービン発電が協調するというプロジェクトである。ガスタービンとして航空転用型のLMS100が使われている。LMS100は単機で100メガワットの発電容量を有する。風力発電の予測に対して実績が少ない分をガスタービン発電が補うことになる。補いきれない場合には発電不足となる。発電不足は1週間の間に5回発生しているが、よく見るといずれもガスタービンがフルに発電している時間帯に発生しているので単純にガスタービン発電の設備不足を意味しているだけであり、風力の変動に追従できなくて発電不足になっているわけではないことが分かる。つまり押しなべてガスタービン発電が風力発電の足りない分を補償できているということである。風力実績が予測を上回る場合は風力余剰となる。発電不足よりも風力余剰の方がはるかに大きい。発電不足や風力余剰は系統からの受電や系統への送電になる。この図で見る限り、風力の予測がいかに重要かが分かる。

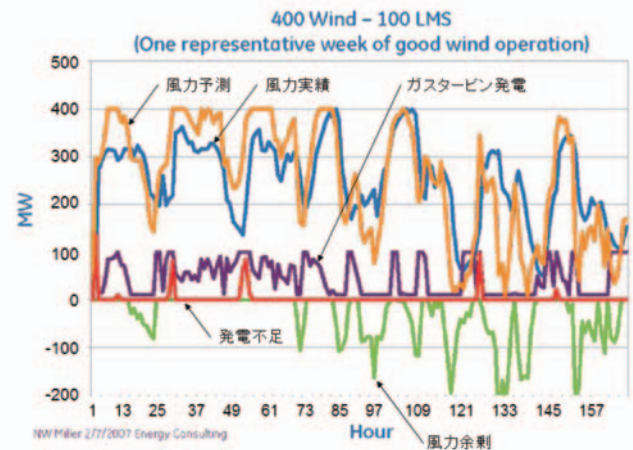


Fig. 3 Collaboration of Wind and Gas Turbine

2例目は図4に示すアメリカの中心部カンザス州のエンポリア発電所であり2008年に運転を開始した。カリフォルニア州、テキサス州について、アメリカ中心部は風力発電の盛んな地域である。カンザス州のほぼ全域はウェスターエナジーという電力会社が管理しており、自社で大規模風力発電を所有している。カンザス州の法律で2020年までに夏季ピーク需要の20%を風力発電で供給することが目標になっており、現在はおよそ15%まで拡大している。このエンポリア発電所はそれらの風力発電との協調運転を設計思想として建設され、変動する需要に対応している。公称発電設備容量665メガワットのシンプルサイクル発電所で、ヘビーデューティ型と航空転用型が混在しているところが特徴的であるが、ベースロード運転ではなく、あくまで需給調整用の運転プロファイルを示している。航空転用型ガスタービンはLM6000が4基で、1基あたり月平均で20回の起動、180時間の運転をしている。1回の起動あたりおよそ9時間の運転になる。

3つ目の事例は図5に示すカリフォルニア州のセンチネルエナジー発電所である。この発電所は図1や図2に示しているようなカリフォルニア州における再生可能エ



Fig. 4 LM6000x4 Emporia Power Station

エネルギーの急激な浸透に対する施策として建設された発電所であり、航空機転用型ガスタービンLMS100を8基持つ公称発電設備容量800メガワットのシンプルサイクル発電所である。パームスプリング市の北に広がる広大な風力発電地帯の中にあり、風力発電の変動を補償する目的の調整電源として2013年から運用している。冷態停止状態から10分で最大定格まで達することができる制御を行っている。

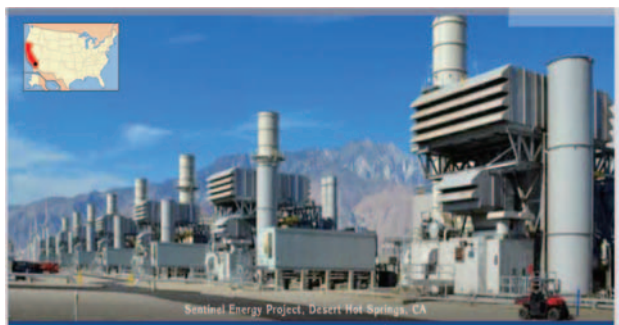


Fig. 5 LMS100x8 Sentinel Energy Power Station

4つ目の事例はスマートグリッドの中の需給調整電源である。図6のハワイ州マウイ島は完全なアイランド系統である。風資源やバイオ資源も豊富であり、それなりに人口も多く、スマートグリッドの実証試験場所としては最適である。再生可能エネルギーとしては島西部に広がる風力発電がメインとなる。2009年からスマートグリッド実証のプロジェクトを実施しており、現在ではかなりプロジェクト成果が出ていると思われる。島全体のピーク需要は200メガワットであり、それに対する発電設備容量は280メガワットである。この中に4基の航空機転用型ガスタービンLM2500が使われている。LM2500は単機20メガワットであり、合計80メガワットの需給調整能力を有する。

以上、今まで見てきたように、再生可能エネルギーとの協調を目的とした需給調整電源として、航空機転用型ガスタービンが数多く使われている。それは、航空エンジンの特長である機動性を最大限に活かした活用方法である。冷態からの10分以内に最大定格発電ができる急速起動、50メガワット/分を超える高速負荷追従性能、停止からすぐに次の起動に入ることができる繰り返し発電能力、クラス最高のシンプルサイクル発電効率、厳しい環境規制に合致した低排ガス特性などの諸特性が、需給調整用の電源として求められる諸要件を満たすものと評価されている。

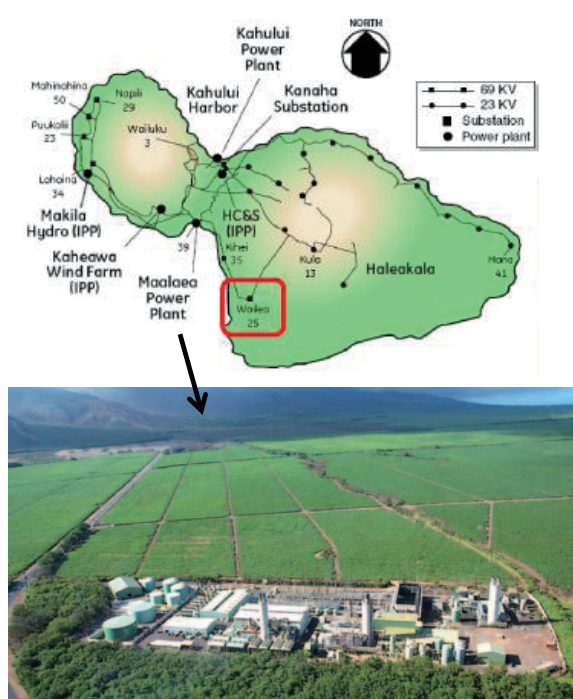


Fig. 6 Smart Grid Project in Maui Island

4. 無効電力の有効利用

系統安定化のためのもう一つの使い方としてシンクロナスコンデンサがあり、それを紹介する。シンクロナスコンデンサは同期調相機やロータリーコンデンサと呼ばれる同期発電機を指す。同期発電機が系統と連系した後に発電機を原動機から切り離すことによって、同期発電機は系統に連系したまま回り続けることになる。このとき同期発電機はもはや発電機ではなく系統からの電力によって動く同期電動機になっている。この同期電動機の界磁電流を調整することにより無効電力を供給したり消費したりすることができる。これをシンクロナスコンデンサと呼ぶ。

一般に電力系統の安定化を考える場合、電力需給のアンバランスによる系統周波数の変動を想定する。最悪のシナリオとしては停電（ブラックアウト）である。それは電力を暗黙のうちに有効電力ととらえているからである。つまりキロワットやメガワットと呼ばれるものである。しかしながら電力には有効電力と無効電力がある。図7に示すように、交流電気回路において電圧 E と電流 I の間に位相差 θ があるとき、有効電力 P_a は $EI\cos\theta$ であり、電圧と直角の関係にある電流成分 $I\sin\theta$ との積 $EI\sin\theta$ を無効電力 P_r と呼ぶ。有効電力はエネルギーを伝達するが、無効電力はエネルギーを伝達しない。その意味において無効電力と命名されたものであるが、決して無駄な電力という意味ではなく、さまざまな意味において活躍する電力であり、負荷が求める電力である。

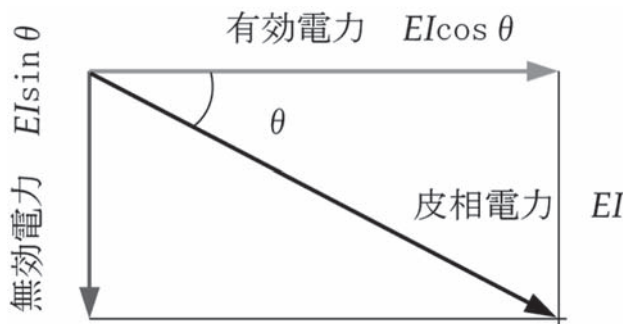


Fig. 7 Vector Field of Alternating Electric Circuit

系統の安定化を考える場合には有効電力と同様に、あるいはそれ以上に無効電力の役割を考える必要がある。系統の電圧は発電端と受電端でできるだけ一定電圧であることが望ましいが、電圧一定送電に有効に作用するのは無効電力である。あるいは系統の電圧が変動した場合などに電圧を元に戻すことができるのは無効電力である。さらに力率を改善することにより有効電力の送電量を増大することができる。 $\cos \theta$ を力率と呼ぶ。無効電力は有効電力と同じように系統安定化に貢献する電力であり、その重要性は再認識されなければならない。決して副産物的に生産される厄介な電力ではないのである。

英語では無効電力をReactive Powerと呼んでおり、日本語の「無効」に対応する意味はない。回帰性電力あるいは反作用電力という呼び方が正しいと思われる。つまり長い送電線を行ったり来たりしている電力である。それに対して有効電力は発電源から負荷に向かって一方向に流れる電力である。図8は有効電力と無効電力の時間変化である。有効電力 P_a は強弱があるものの常に「+」の値であり、電力が常に負荷に向かっていることを示している。一方無効電力 P_r は「+」と「-」を上下している。「+」の時間帯では負荷に向かって供給されるが、次の周期では「-」の値となり、負荷から電源に向かっていく。線路を行ったり来たりしている電力といえる。つまり有効電力は平均すると $EI\cos \theta$ という正の値を持つが、無効電力は平均するとゼロになる。このことが無効電力を、エネルギーを生成しない無効な電力と呼ばしめたものである。有効電力は平均値をキロワットで表現することができるが、無効電力を平均値で表現するといつもゼロになってしまうので、無効電力の場合には瞬時最大値をバール (Var) と定義している。

数ある無効電力の貢献の中で、力率の改善による有効電力の底上げという仕組みを採り上げてみたい。図7における皮相電力とは電圧と電流を掛けたベクトル量である。有効電力はこのベクトルの $\cos \theta$ 成分である。 θ がゼロに近づけば近づくほど力率 $\cos \theta$ は1.0に近づくことになり、電圧と電流の積が全て有効電力になるので、エネルギー損失がなく、効率的な電力になる。このことを力率改善と呼ぶ。つまり送電線路の力率を改善することにより、より多くの有効電力を送電できることになる。

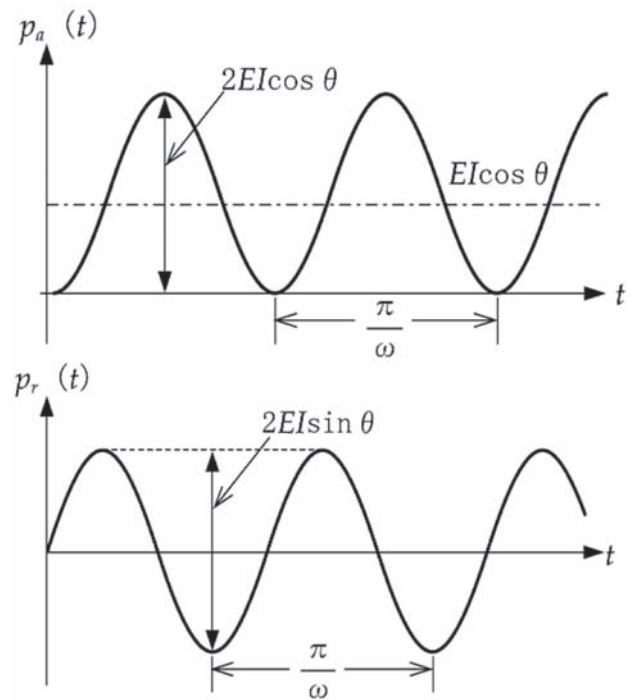


Fig. 8 Time Chart of Active and Reactive Power

このことを分かり易く示した図が図9である。この図は上下2段になっている。上の段では原発から供給された蒸気で発電する蒸気タービン発電機は $P \pm jQ$ という発電を行っている。 $\pm jQ$ は負荷によって求められる無効電力であり必要な電力である。この無効電力 $\pm jQ$ を蒸気タービンではなく、蒸気タービンと並列しているシンクロスコンデンサにより供給すれば、蒸気タービンは有効電力だけ発電すればいいことになる。そのときの有効電力 P' は上段の P よりも大きくなるので、送電線に流せる有効電力の容量を上げることができる。つまり上段より下段のほうがより大きな有効電力を送電することができるということになる。これをシンクロスコンデンサ利用による有効電力の底上げと呼んでいる。

もちろん無効電力はそれだけではなく、系統電圧の安定化にも貢献する。静止型の無効電力供給装置に比べ、

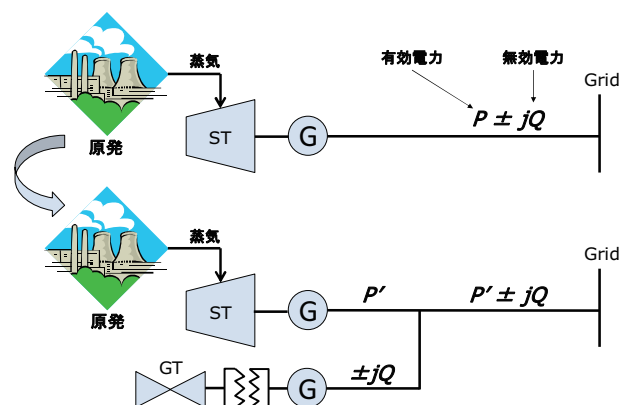


Fig. 9 Raise of Active Power Transmission Capacity by means of Power Factor Improvement

シンクロナスコンデンサは、連続制御性、慣性力、高調波対策不要、メンテナンス不要など数々の利点があって見直されている。またこの下段のシステム構成においてはシンクロナスコンデンサの原動機であるガスタービンは、いざというときのブラックスタート電源にもなり得るし、必要な量の有効電力供給源にもなる。この点が非常に重要なポイントであり、単に無効電力の供給のみを目的とするのであればシンクロナスコンデンサ、つまり発電機だけ用意すればいいことになるが、それを機動性の高い航空転用型のガスタービン原動機と組み合わせることで、必要ときに必要な電力を供給できる発電機となり得るのである。例えば、通常はシンクロナスコンデンサとして系統に無効電力を供給していながら、有効電力の需給バランスが崩れた場合には、速やかにガスタービンを起動してクラッチ嵌合すればたちまち有効電力が得られることになる。このように原動機と発電機を機械的に嵌合・離脱できる仕組みがシンクロ・セルフ・シフト（SSS）クラッチであり、図10のような構成になる。

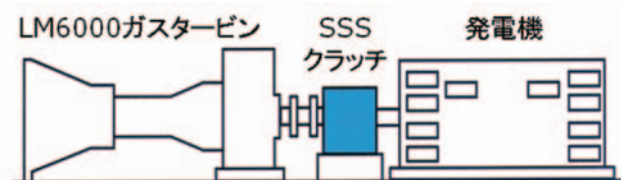


Fig. 10 High Maneuverability Synchronous Condenser

最後に、この高機動性シンクロナスコンデンサを利用して系統安定化に貢献している事例を2つ紹介する。1つ目はここで説明した送電容量の引き上げであり、2つ目は電力自由市場における無効電力売買である。

1つ目の事例はカナダのサスク電力において見ることができる。サスク電力は高度化するグリーン化や増大する電力需要に対して20年以上に及ぶ長期戦略を実施している。サスク電力の戦略は送電容量を増強する必要性を最小化することであり、またピーク需要への対応は遠隔地の負荷の近くにピーク対応発電所を置くことである。ピークではない時間帯には、需要家はベースロード発電所からの電力を使用し、ピーク発電所はシンクロナスコンデンサとして運転して、送電線容量を押し上げるのに必要な無効電力を供給する。そして、ピーク需要時間帯には、追加的な電力を地域で発電する。つまり、地域の電圧を維持するために新たな送電線を建設するよりは、高速起動のシンプルサイクルガスタービンを配置した方がいいという決定であり、その決定のもとに2009年に運開したのが図11のケロバート発電所である。LM6000によるシンクロナスコンデンサが2基設置されている。その後2010年にLM6000シンクロナスコンデンサ3基のイエローヘッド発電所が運開している。

2つ目の事例はアメリカのチェサピーク発電所である（図12）。このサイトは米国最大の自由市場PJM ISO管

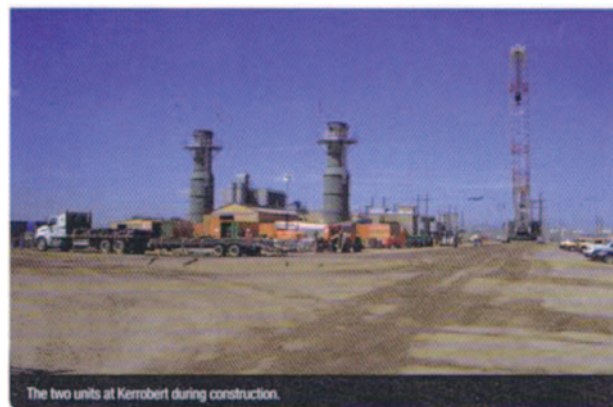


Fig. 11 LM6000x2 Kerrobert Power Station

理下にある発電所で、北東部バージニア州のデルマーバ半島先端部に位置する。いわゆる系統末端である。この発電所には7台の航空転用型ガスタービン発電機があり、そのうちの4台がSSSクラッチ装備のシンクロナスコンデンサである。この発電所ではPJM ISOの卸電力市場での電力取引を行っている。北東部にはPJM ISOの他にも小さな管理区域のISOがあるが、2003年のニューヨーク大停電の教訓を受けてこの北東部に位置する複数のISOでは無効電力が市場商品として取引されている。ニューヨーク大停電の原因が無効電力不足によるものという分析結果に基づいている。実際にこの発電所の4台のシンクロナスコンデンサの運用状態を見てみる。



Fig. 12 LM6000x7 Chesapeake Power Station

図13はチェサピーク発電所の4台のシンクロナスコンデンサの2001年から2014年までの無効電力発電時間を示したものである。無効電力発電時間というのは、発電機がシンクロナスコンデンサとして系統につながったまま無効電力の供給を1年間に行った時間であり、原動機は回っていない。横軸は年であり、縦軸が1年間の無効電力供給時間（Condensing Hours）である。発電所は2001年に運開したが、2003年のニューヨーク大停電を機に発電時間が急激に増加したように見える。特に2008年から2012年は年間6000～8000時間の運転時間を記録しており、2011年には8500時間に及ぶ長さである。1年は8760時間なので、ほとんど1年中発電機は系統にぶら下がったまま回っていることになる。2013年はなぜか極端

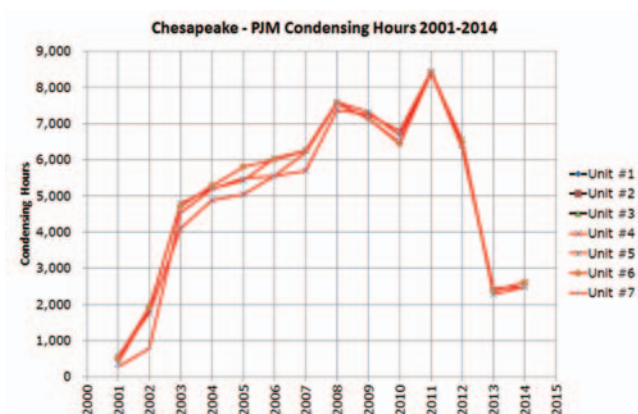


Fig. 13 Reactive Power Generation of Chesapeake Power Station

に短い時間になったが、2014年には4月までで2013年レベルになっているので3倍すればほぼ2012年レベルに復帰するものと思われる。このように、アメリカの北東部の電力市場では無効電力が市場取引されている。

5. おわりに

再生可能エネルギーの系統への導入は発電ポートフォリオの自然の流れであり、グローバルに急速に浸透している。日本においては特に太陽光発電が加速度的に伸びている。少し前までは未来物語だった話が現実の世界と

なって我々の目の前に現出し始めているのである。変動電源である再生可能エネルギーが大量に導入された時の系統安定化は、今まで日本の電力システムが直面したことのないような挑戦的な課題になると思われる。その実現に求められる需給調整電源の要件は急速起動、高速負荷追従、繰り返し起動停止、高効率、低排出ガスという多方面の機能性能要求であり、なおかつ無効電力を供給できる能力があることが望ましい。そういう特性を持つ調整電源は、周波数の安定化だけではなく、ピークカット、アンシラリー電源、非常時のバックアップ電源として用いられ、さらに再生可能エネルギーとの協調発電や系統電圧の安定化に貢献する。その解として、航空エンジンを陸上据え置き発電用に転用した航空転用型ガスタービンを原動機とする発電機セットを提案したい。

6. 参考文献

- (1) Flexible Resources Help Renewables Fast Facts, CommPR/HS/10.2013, California ISO
- (2) Daniel Loero; New Aero Solutions for Firming the Grid, GE Gas Turbine Technology Symposium, Oct. 2009
- (3) Joe Zwiers; Taking Care of the Long Term via Spinning Reserve, Power Engineering, Apr. 2011

特集：第42回定期講演会（熊本）特集 パネルディスカッション報告

高負荷変動時の材料特性評価技術

齊藤 大蔵^{*1}
SAITO Daizo北山 和弘^{*2}
KITAYAMA Kazuhiro吉田 耕平^{*3}
YOSHIDA Kohei

キーワード：ガスタービン，再生可能エネルギー，材料技術，熱疲労，劣化

Gas Turbine, Renewable Energy, Material Technology, Thermo-Mechanical Fatigue, Degradation

1. はじめに

日本の第4次エネルギー基本計画において，2020年の発電電力量の内，太陽光や風力などの再生可能エネルギー等の割合を13.5%（1,414億kWh），2030年の割合を約20%（2,140億kWh）という目標値が示された。

再生可能エネルギーが電力系統の中で大きな割合を占めると，電力需要と電力供給の時間的なギャップが非常に大きくなり，系統における電力の品質が担保できなくなることが懸念されている。このような電力需給ギャップを解消し，再生可能エネルギーの導入を推進する有効な手段として，出力調整が容易なガスタービンによる発電が大いに期待できる。

ところが，出力調整のために負荷変動が繰り返し行われると，ガスタービンの燃焼器，静翼や動翼などの高温部品の損傷が顕著になり，特に熱疲労による損傷が懸念される。従って，負荷変動に対応するガスタービンの高温部品には熱疲労特性に優れた材料が必要になると考えられる。

熱疲労特性に優れた材料の開発には損傷メカニズムの解明が重要であり，ここではそのメカニズム解明のために行われている評価技術について述べる。

2. 熱疲労特性に関する評価技術

2.1 基材

ガスタービンの燃焼器，静翼および動翼等の高温部品にはNi基およびCo基超合金が用いられ，とりわけ使用環境が厳しい第1段動翼ではNi基超合金が用いられている。このNi基超合金は動翼の高温，遠心応力場での環境に鑑みて，強度評価は主としてクリープ特性を重視したものとなっている。負荷変動が大きいガスタービンの使用環境は，高温から低温，そして高温というような熱サイクルを繰り返し受けることになり，従来のクリープ

特性より，熱疲労（Thermo-Mechanical Fatigue）特性の評価が重要となる。ガスタービンの起動，定格，停止において，動翼の外表面は図1に示すように温度やひずみの変化が生じる。このような実機の動翼で生じている履歴を模擬するための熱疲労試験が行われている⁽¹⁾。

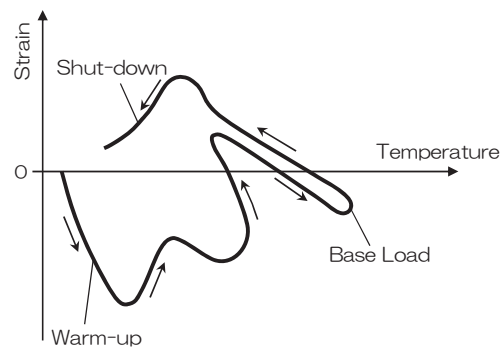


Fig. 1 Temperature-strain condition of actual blade

熱疲労試験では熱疲労寿命に及ぼす波形，保持時間，化学成分および組織因子等の影響について検討されている。特に保持時間の影響が大きく，保持時間を6分とした熱疲労寿命は保持時間がないものの約45%まで低下する⁽¹⁾。Ni基単結晶合金ではAl，Co，Ruの添加量が熱疲労寿命を増大させ，主強化相の γ' 相の体積率が影響を及ぼすことが示唆されている⁽²⁾。

2.2 コーティング

動翼には高温強度に優れたNi基超合金が用いられるが，燃焼ガスの高温化に伴って，過度な温度上昇を抑制するための遮熱コーティング（Thermal Barrier Coating）が用いられている。基材の表面に耐高温酸化性に優れた合金からなるボンドコートを厚さ100～200 μm 形成し，その上にトップコートとして，熱伝導率が小さいセラミック層を200～600 μm の厚さで形成する。表面のセラミック層が低熱伝導のため熱流が遮られ，セラミック層内で大きな温度勾配が生じる。この温度勾配は，厚さ250～300 μm で60～170℃程度と確認されている⁽³⁾。

原稿受付 2014年11月28日

- *1 ㈱東芝 電力・社会システム技術開発センター
〒230-0045 横浜市鶴見区末広町2-4
- *2 ㈱東芝 京浜事業所 原動機部
〒230-0045 横浜市鶴見区末広町2-4
- *3 ㈱東芝 火力・水力事業部 火力改良保全技術部
〒212-8585 川崎市幸区堀川町72-34

このような温度勾配の中で、高負荷変動に伴う起動停止の回数が増加すると、耐熱性やはく離寿命評価が重要となる。この特性を評価する手法としては、均一加熱法および温度傾斜場法がある。均一加熱法はヒータにて試験片を加熱するもので、工業規格化された試験法である^{(4),(5)}。この試験では長時間の酸化に主眼をおいた評価となる。一方、温度傾斜場法はコーティング内に意図的に温度勾配を生じさせる方法で、熱流束を測定でき、また、遮熱性および耐熱性を評価でき、熱サイクルによるはく離寿命も評価できる試験法である⁽⁶⁾。加熱源をバーナまたはレーザとした試験設備の概要を図2に示す。

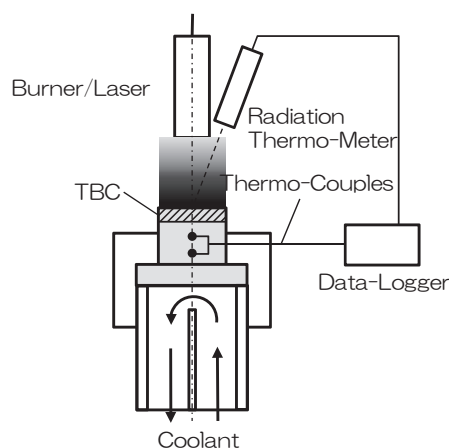


Fig. 2 Test facility for Thermo-Mechanical Fatigue properties

加熱源をアーク加熱，プラズマ加熱，レーザ加熱，赤外線ランプ加熱とした試験設備があり，実機をさらに模擬した試験法として，荷重負荷バーナ加熱試験法⁽⁷⁾も提案されている。

3. おわりに

ガスタービンが高負荷変動となる運用ではクリープ特性を重視したこれまでの材料から、より熱疲労特性に優れた材料が必要となる。熱疲労特性を低下させるメカニズムを解明するとともに高温疲労支配型の材料評価技術を検討し、過酷な環境下でも劣化が少ない材料を開発するための課題を明確にすることが重要であると考えられる。

なお、本論文記載の商品名称は、それぞれ各社の登録商標として使用している場合がある。

4. 引用文献

- (1) 緒方隆志, 山本真人: Ni基超合金 IN738LCの熱疲労寿命評価法の提案, 材料, Vol.51, No. 3 (2002) pp.307-313.
- (2) 大島宏文, 横川忠晴, 小林敏治, 呂芳一, 原田広史: Ni基単結晶合金の重回帰分析による熱疲労寿命予測, 日本金属学会誌, Vol.70, No. 3 (2006) pp.246-249.
- (3) 吉葉正行: 日本ガスタービン学会誌, Vol.25, No.98 (1997) pp.80.
- (4) 金属材料の高温連続酸化試験方法, JIS Z2281-1993.
- (5) 金属材料の高温繰返し酸化試験方法, JIS Z2282-1996.
- (6) 高木健太, 脇拓郎, 川崎亮, 渡辺龍三: 紛体および粉末冶金, Vol.44, No. 8 (1997) pp.734-739
- (7) 久保貴博, 日野武久, 亀田常治, 伊藤義康: 日本機械学会2002年度年次大会講演論文集(Ⅱ), (2002) pp.331-332

高湿分空気利用ガスタービンシステム総合試験設備を用いた吸気噴霧冷却時の軸流圧縮機性能検討

Study on an Axial Compressor Characteristics under Overspray Condition using a Test Facility for AHAT System

明連 千尋^{*1}
MYOREN Chihiro

高橋 康雄*¹
TAKAHASHI Yasuo

森崎 哲郎^{*2}
MORISAKI Tetsuro

川村 康太^{*1}
KAWAMURA Kota

柴田 貴範*1
SHIBATA Takanori

岸部 忠晴*¹
KISHIBE Tadaharu

ABSTRACT

An axial compressor of an industrial gas turbine equipped with the WAC (Water Atomization Cooling) system was newly developed. Since it operates under the overspray condition, a prediction method implementing a droplet evaporation model was developed and applied to the compressor design. The compressor performance was evaluated by using a 40MW-class test facility for the advanced humid air turbine system and the developed prediction method. The test results and prediction results showed that the WAC decreased temperatures at the compressor inlet and outlet, and improved the compressor performance.

Key words : Inlet fogging, Overspray, Axial compressor design, AHAT system, Performance prediction

1. 緒言

ガスタービンの夏の出力低減抑制策の1つに、吸気に微細液滴を噴霧する吸気噴霧冷却技術（Water Atomization Cooling, WAC）⁽¹⁾がある。WACは簡素な設備変更で比較的大きな性能向上効果が得られるため、多くの適用事例が報告されている。

WAC時には、吸気部での液滴蒸発による吸気冷却効果と、圧縮機内部での液滴蒸発による中間冷却効果の2つによって、動力が低減し出力が向上する。このうち後者の効果を分析するには、圧縮機内部に液滴が導入された場合の挙動を考慮する必要がある。そこで液滴蒸発を考慮した圧縮機平均径性能予測手法の開発^{(2),(3)}や、CFD (Computational Fluid Dynamics) による性能予測^{(4),(5)}が行われている。

一方弊社では、WACと圧縮機出口部での加湿により性能向上を図るAHATシステム（Advanced Humid Air Turbine System）の研究開発を進めている。2006年に3 MW級の小容量システム検証機で成立性を実証し^{(6),(7)}

現在は40MW級の総合試験設備によって中容量重構造型ガスタービンへの適用性を実証中である⁽⁸⁾。圧縮機については、液滴挙動モデルを組み込んだ軸流圧縮機性能予測手法を開発し、設計に適用している^{(9),(10)}。

本報では予測手法による設計結果，および総合試験設備を用いたWAC試験結果について報告する。

2. 40MW級AHATシステム総合試験設備

2.1 全体構成

図1に40MW級AHATシステム総合試験設備の機器構成図を示す。本設備はガスタービン本体、WACシステム、加湿装置、および再生熱交換器から構成される。

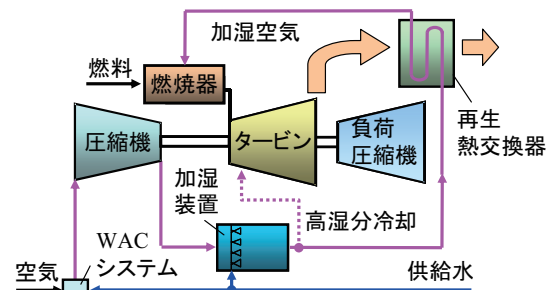


Fig. 1 Schematic of the 40MW-class test facility for advanced humid air turbine system

原稿受付 2013年9月3日

校閱完了 2014年11月17日

* 1 三菱日立パワーシステムズ株式会社 研究所

* 2 三菱日立パワーシステムズ株式会社
ガスタービン技術本部

AHATシステムは圧縮機と燃焼器の間に加湿装置と再生熱交換器を備えているため、圧縮機出口には抽気配管が設けられている。出力は負荷圧縮機（4段遠心圧縮機）にて吸収される。

2.2 圧縮機およびWACシステム

表1に総合試験設備の圧縮機仕様を、図2にガスタービンの写真を示す。圧縮機は弊社の重構造型ガスタービン圧縮機（ベース圧縮機）を元にして設計された。ただし(1)(2)に示すAHATシステム用圧縮機特有の課題があるため、この点を考慮した設計がなされている。

- (1) 圧縮機出口～燃焼器入口間における圧力損失増加によるサージマージン減少
- (2) WAC時の圧縮機内部での液滴蒸発による後段翼負荷の増加

まず(1)に対しては、ベース圧縮機からサージマージンを拡大する設計とした。サージマージン拡大と性能向上を両立させるため、最適化翼設計技術⁽¹⁾が適用されている。一方(2)に対しては、液滴挙動モデルを組み込んだ軸流圧縮機性能予測手法^{(9),(10)}を開発し、設計に適用した。

Table 1 Designed specifications of compressor of the 40MW-class test facility

項目	単位	値
圧力比	—	16.1
段数	—	17
回転数	rpm	6410
大気温度	°C	15
大気湿度	RH%	60
WAC蒸発量(吸気流量比)	wt%	2.0

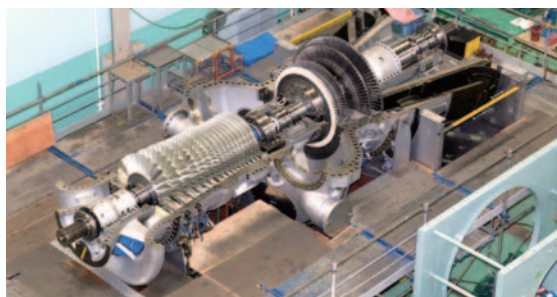


Fig. 2 Photo of the gas turbine

次にWACシステムの外観を図3に示す。WACシステムは噴霧ノズルとマニホールドによって構成される。吸気冷却効果と中間冷却効果が両方得られるように、マニホールドは吸気サイレンサの下流に配置した。各マニホールドの上流には電磁弁が取り付けられており、使用マニホールド数を調整することで噴霧水量の調節が可能である。噴霧ノズルは小容量システム検証機と同様、(株)共立合金と共同開発した高圧水衝突型の1流体ノズル⁽¹²⁾を用いている。ノズルの設計噴霧水圧と流量はそれぞれ7 MPaと0.15 kg/sで、ザウター平均径は約18 μmであ

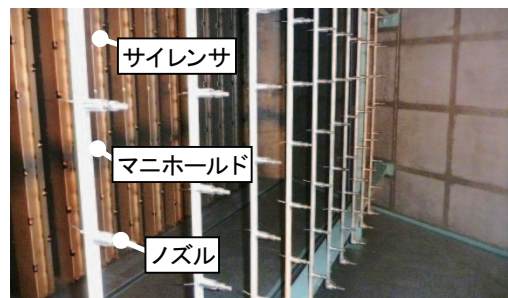


Fig. 3 Appearance of WAC system

る。ただし総合試験設備における噴霧水圧は8 MPa以上であり、設計噴霧水圧より大きい。ノズル単体試験結果^{(7),(12)}によれば、噴霧圧力8.5 MPaの場合ザウター平均径は設計条件より小さい約15 μmであるため、本試験では15 μm程度のザウター平均径になることが予想される。

2.3 性能予測手法と圧縮機設計結果

前節で述べた、液滴挙動モデルを組み込んだ性能予測手法の計算フローを図4に示す。本手法は流線曲率法を用いたIn-houseの軸流圧縮機性能計算手法をベースとしており、液滴蒸発モデル、湿り空気物性モデル、および翼列間液滴衝突モデルを組み込むことでWAC時の性能予測を可能としている。各モデルの詳細については文献^{(9),(10)}に記載しているので、ここでは概略のみ説明する。

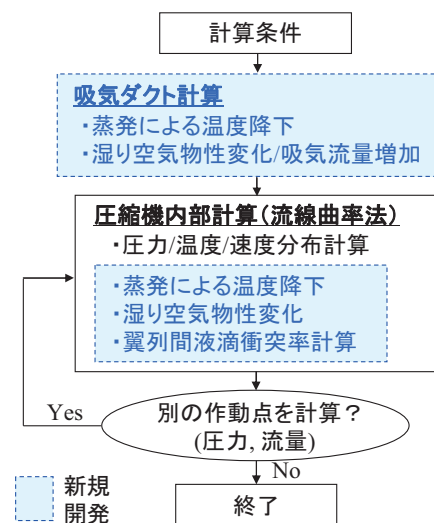


Fig. 4 Calculation flow of the prediction method

まず液滴蒸発については、噴霧水を径の異なる複数の球状液滴の集合体としたモデルを用いた。液滴と主流の熱/物質輸送の考え方はChakerの手法⁽¹³⁾を適用した。すなわち蒸発が液滴周辺の一定の範囲のみで行われると仮定することで、蒸発進行時の蒸発速度低下を模擬している。また蒸発の効果は1次元的と仮定した。これより周方向および径方向に対する温度低下量は一定となる。

次に湿り空気物性については、WACに関連して湿度への依存性の高い気体定数R、定圧比熱Cp、および

比熱比 γ の3つを、乾燥空気と水蒸気の質量平均として定義するモデルを用いた。本手法ではこのモデルを圧縮機内部だけでなく吸気部にも適用しているため、WAC時の吸込流量増加も計算可能である。

最後の翼列間の液滴衝突については、蒸気タービン低圧段の凝縮液滴挙動予測に用いていたモデル⁽¹⁴⁾を改良して適用した。このモデルでは代表的な主流流線（2次式で仮定）に対して液滴の運動方程式を解いて代表液滴軌跡を求め、両者を比較することで翼面に対する衝突液滴量を算出している。衝突後の液滴については、単純にドレンとなるか衝突前の状態を維持したまま透過すると仮定し、圧縮機内部の発生ドレン量を算出している。両者の比率は入力として与える内部ドレン化率CRIによって決定されるが、本試験設備の圧縮機内部ではほぼドレンが発生しないことが判明しているため⁽¹⁰⁾、本報告における計算は全てCRI=0（全液滴が透過する）としている。

開発した性能予測手法による、総合試験設備の圧縮機設計結果の一例を図5に示す。図5は翼負荷の指標である段温度上昇の分布であり、初期設計時のWACなし条件（DRY条件）の値で無次元化されている。計算条件は表1と同一で、噴霧時の液滴径は $15\mu\text{m}$ （単一粒径）とした。

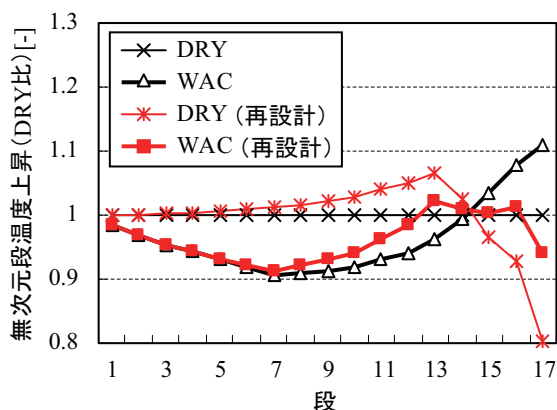


Fig. 5 Axial distributions of stage temperature increase ($15\mu\text{m}$)

図5において、初期設計時はWACによって圧縮機後段負荷が上昇する様子が確認できる。特に最終段では段温度上昇が10%以上増加し、流れの剥離による失速が発生しやすい条件となる。つまり初期設計ではWAC時に圧縮機の信頼性が低下することが予想される。そこで、再設計による信頼性確保を試みた。具体的には後段静翼の取付角を増加させ、後段の翼負荷を前段側にシフトさせることとした。その結果、WAC時の段温度上昇はほぼ全翼で初期設計のDRY条件と同等以下となり、信頼性を確保しつつ設計条件でのWACが可能な見通しを得た。

3. 試験結果

3.1 計測手法

図6にWAC関連計測の概略を示す。WAC関連計測の

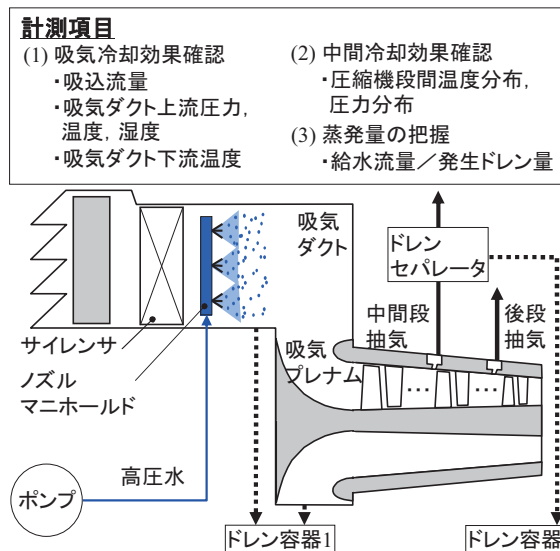


Fig. 6 Overview of measurement related to the effect of WAC

目的は、(1)吸気冷却効果の確認、(2)中間冷却効果の確認、および(3)蒸発量の把握の3種類に大別される。

まず(1)の吸気冷却効果確認のため、吸気ダクト入口における状態量（吸込流量、圧力、温度、湿度）および吸気ダクト下流のプレナムにおける温度を計測した。プレナム温度計測に関しては、通常の熱電対では噴霧液滴が受温部に付着してしまうため、小容量AHATシステム検証機で用いた莢管付きの熱電対を使用した。

また(2)の中間冷却効果確認については、圧縮機入口から出口にかけての物理量（圧力、温度）の分布を計測した。圧力はケーシング内壁（流路側）に設けた静圧孔により、温度はケーシング内壁に設けた掘込部に突き出した熱電対により計測した。これらの計測によって出口温度低下や段負荷分布変化といった、圧縮機内部におけるWACの効果を確認することができる。また蒸発完了段前後では付着液滴の消滅によって測定温度が急激に上昇するため、温度分布計測によって蒸発完了範囲の推定も可能となる。

さらに(3)の蒸発量の把握のため、給水流量および発生ドレン量を計測した。ドレン量の計測には、吸気プレナム部下方と中間段の抽気配管中に設けられた計測容器を用いた。各容器の上部と下部にはレベルセンサが設けられており、ドレン水が各センサ間で検知される時間を測定することで単位時間当たりの発生ドレン量を求めることができる。なおドレン量の多い吸気部ではセンサによる液位検知の他に備え付けのレベルゲージによる液位上昇監視を併用してドレン量を計測している。

3.2 試験結果

表2に40MW級総合試験設備を用いたWAC試験結果のまとめを示す。WAC試験はPhase II（2012年3月まで）とPhase III（2012年4月以降）の2つの開発段階で合計14回実施された。Phase IIでは中容量重構造型ガス

タービンに対するシステムの適用性検証を優先したため負荷20MW、噴霧量1.7wt%に留まっていたが、PhaseⅢでは定格負荷40MWに到達し、最大出力51MWを達成した。また最大噴霧量は定格負荷近傍（41MW）で2.7wt%、最大出力時に2.5wt%であり、部分負荷時（24MW）には3.1wt%を達成した。

Table 2 Summary of the test results of WAC

開発段階	時期	WAC試験回数	最大負荷 [MW]	最大噴霧量 [wt%]
PhaseⅡ	～2012/3	4	20	1.7
PhaseⅢ	2012/4～	10	51 (定格:40)	2.5(51MW) 2.7(41MW) 3.1(24MW)

3.3 部分負荷試験のWAC性能検討

表3にPhaseⅡで最大負荷（20MW）を達成した際のWAC試験結果（2012年3月実施）を、図7と8にその際の圧縮機特性線図と段間温度分布を示す。なお図表には開発した性能予測手法によるトレース計算結果も併記している。

まず表3から、WAC前（DRY）に比べて吸気温度や出口温度が低下しており、液滴蒸発によって吸気冷却効果と中間冷却効果が得られていることが分かる。これによりガスタービンのマッチングが変化し、表3と図7に示す通り流量と圧力比もそれぞれ1.8%、1.1%増加する。性能予測でも定性的に傾向が一致する結果が得られており、WACによる圧縮機性能向上効果を確認することができた。

また図8において、□と△の差として表されるWAC前後の温度差は前段～中間段にかけて増加し、その後減少して圧縮機後段側ではほぼ一定となる。これは前段～中間段にかけて熱電対に付着して予測誤差を発生させていた未蒸発液滴が、後段では付着していないことを表している。よって本試験では、圧縮機出口に到達する前にほぼ全ての噴霧液滴が蒸発したと推定される。また性能予測結果はDRY時にはほぼ全域で、WAC時には噴霧液滴が存在しない後段側で試験の温度分布をほぼ再現している。これより、構築した性能予測手法の妥当性も確認できたと考えられる。

Table 3 Test result of WAC (PhaseⅡ, 20MW)

項目	単位	試験	予測
WAC噴霧量	wt%	1.7	1.7
入口温度低下量	℃	1.6	0.5
出口温度低下量	℃	36.7	34.3
吸込流量増加率	%	1.8	2.4
圧力比増加率	%	1.1	1.1

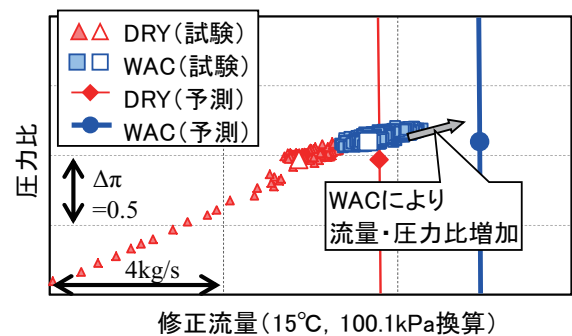


Fig. 7 Mass flow characteristic of pressure ratio (PhaseⅡ)

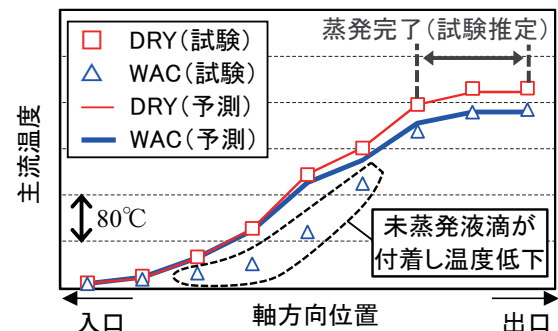


Fig. 8 Axial distributions of main flow temperatures inside compressor (PhaseⅡ, 20MW)

3.4 定格負荷試験のWAC性能検討

表4にPhaseⅢのWAC試験結果（2013年6月実施）を、図9～12にその際の運転スケジュールと圧縮機特性線図、および段間温度分布を示す。本試験では図9の通り部分負荷でWACを開始後に定格負荷近傍（41MW、図中のW1）に到達し、最終的に最大出力（51MW、図中のW2）を達成したため、W1とW2の両方に関するWAC性能を分析した。ただし前節と異なりW1とW2に対応するDRY条件のデータが存在しないため、WAC時の性能変化は同一の大気温度条件や圧力比を仮定した性能予測計算によって評価している。

図11、12および表4から、W1とW2の両作動点において、試験と性能予測の圧縮機入口および出口温度がほぼ一致している様子が確認できる。一方図11、12から、W2では圧縮機中間段～後段から試験と性能予測の温度がほぼ一致するのに対し、W1では圧縮機後段～出口近傍まで一致しない。W1はW2に比べて相対的な噴霧量が多く、かつ圧力比と主流温度が小さいため、W1の蒸発完了範囲の方がW2より下流側にあると推定される。性能予測でも同様の傾向を示していたため、開発手法によって少なくとも定性的には、定格負荷時の圧縮機内部の主流温度分布予測も可能だと考えられる。

次に中間冷却効果確認のため、W1とW2、および前節のPhaseⅡ試験に対する圧縮動力を検討した。検討方法は、試験時の動力推定（PhaseⅡ試験のみ）と性能予測による動力計算の2つである。試験時の動力は、WAC前後の圧力比と流量変化が1～2%前後と小さいことか

ら圧縮機効率を一定と仮定し、試験結果の圧縮機出口温度と一致するような比熱比と定圧比熱を逆算して推定した。また動力計算については、圧縮動力を平均径で動翼になされた仕事の和と考え、以下の式(1)で定義した。式(1)において、 $nstage$: 段数、 L_c : 圧縮動力、 G : 流量(噴霧水含む)、 U : 動翼周速、 C_{θ} : 周方向絶対速度であり、添字1と2はそれぞれ翼列入口と出口を表している。

$$L_c = \sum_{k=1}^{nstage} \{G_k (U_{2,k} C_{\theta 2,k} - U_{1,k} C_{\theta 1,k})\} \quad (1)$$

検討結果として圧縮動力低減率の比較を表5に示す。まずPhase II 試験結果の分析から、単位流量当たりの低減率の予測誤差は1%以内と小さいため、本手法によってある程度圧縮動力を正確に予測できていると考えられる。また表5より作動点の変化によって動力が増加する場合もあるが、単位流量当たりの動力は全ケースで低下しており、WACによる中間冷却効果が得られていることが確認できる。特に定格負荷条件のW1と最大負荷条件のW2における動力低減量はそれぞれ6.3%、6.6%と大きく、WACによる効果が顕著に現れていたと考えられる。

Table 4 Test result of WAC (PhaseIII, prediction)

項目	単位	W1 (41MW)	W2 (51MW)
WAC噴霧量	wt%	2.7	2.5
入口温度	低下量	°C	7.2
	試験との差	°C	0.0
出口温度	低下量	°C	64.6
	試験との差	°C	-0.8
吸込流量増加率	%	2.0	2.7

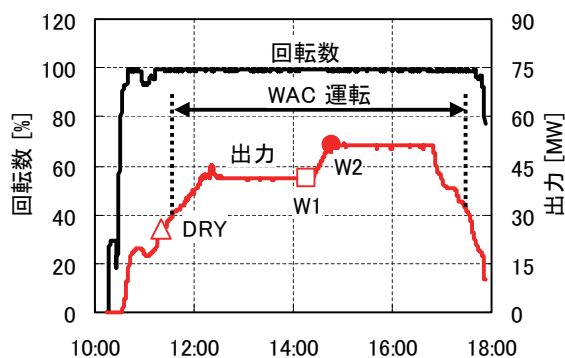


Fig. 9 Time schedule of the test run (PhaseIII)

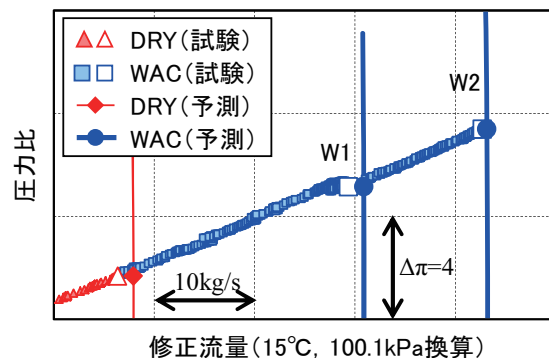


Fig. 10 Mass flow characteristic of pressure ratio (PhaseIII)

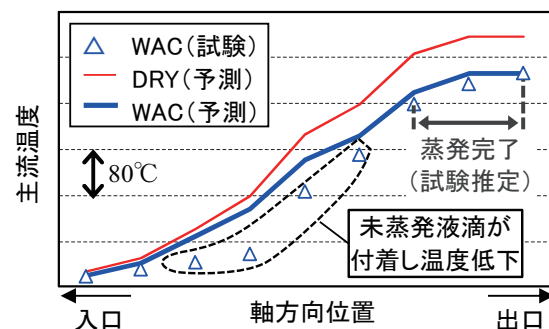


Fig. 11 Axial distributions of main flow temperatures inside compressor (W1)

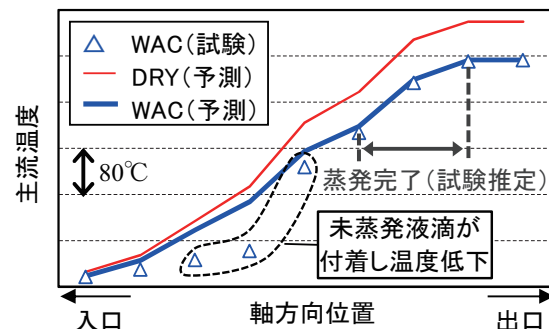


Fig. 12 Axial distributions of main flow temperatures inside compressor (W2)

Table 5 Comparison the reduction ratio of compression work

項目	単位	Phase II	Phase III	
			W1	W2
動力低減率	試験	%	0.0	—
	予測	%	-1.0	2.7
動力低減率 (単位流量)	試験	%	3.0	—
	予測	%	2.5	6.3

4. 結言

AHATシステム開発の一環として、液滴挙動モデルを組み込んだ軸流圧縮機性能予測手法を開発し、40MW級総合試験設備の圧縮機設計に適用した。総合試験設備を用いたWAC試験により、以下の結論を得た。

- (1) 部分負荷試験 (20MW)、定格負荷試験 (最大51MW) のいずれでもWAC時に圧縮機入口温度

と出口温度が低下しており、WACによる吸気冷却効果と中間冷却効果が確認された。また部分負荷試験では、流量と圧力比がそれぞれ1.8%、1.1%増加した。

- (2) 性能予測手法による圧縮機入口温度と出口温度（もしくは温度低下量）の予測誤差は、本試験では3℃以内と小さく、本手法によってWAC前後の圧縮機全体性能変化をある程度予測可能だと考えられる。またWAC時の圧縮機内主流温度分布の定性的傾向も予測可能である。
- (3) 予測手法による圧縮動力の検討結果から、WAC時には単位流量当たりの動力が低減した。特に定格負荷条件での低減量は6%以上と大きく、中間冷却効果が顕著に現れていると考えられる。

なお本研究は、経済産業省資源エネルギー庁から、エネルギー使用合理化先進的技術開発費補助金（高効率ガスタービン技術実証事業）の支援を受けている。ご支援に対し深く感謝の意を表する。

参考文献

- (1) Utamura, M., Takehara, I., and Karasawa, H., "MAT, a Novel, Open Cycle Gas Turbine for Power Augmentation", *Energy Conversion Management*, vol.39 (1998), pp.1631-1642.
- (2) White, A. J., and Meacock, A. J., "Wet Compression Analysis Including Velocity Slip Effects", *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, vol.133 (2011), 081701
- (3) Matz, C., Kappis, W., Cataldi, G., Mundinger, G., Bischoff, S., Helland, E., and Ripken, M., "Prediction of Evaporative Effects within the Blading of an Industrial Axial Compressor", *ASME GT2008-50166* (2008)
- (4) Khan, J. R., and Wang, T., "Simulation of Inlet Fogging and Wet-compression in a Single Stage Compressor Including Erosion Analysis", *ASME GT2008-50874* (2008)
- (5) Sun, L., Zheng, Q., Luo, M., Li, Y., and Bhargava, R., "Understanding Behavior of Water Droplets in a Transonic Compressor Rotor with Wet Compression", *ASME GT2010-23141* (2010)
- (6) Higuchi, S., Koganezawa, T., Horiuchi, Y., Araki, H., Shibata, T., and Marushima, S., "Test Results from the Advanced Humid air Turbine System Pilot Plant - part 1: Overall Performance", *ASME GT2008-51072* (2008)
- (7) Shibata, T., Takahashi, Y., and Hatamiya, S., "Inlet Air Cooling with Overspray to a Two-Stage Centrifugal Compressor", *ASME GT2008-50893* (2008)
- (8) Yagi, M., Araki, H., Tagawa, H., Koganezawa, T., Myoren, C., and Takeda, T., "Progress of the 40MW-class Advanced Humid Air Turbine Tests", *ASME GT2013-95172* (2013)
- (9) Myoren, C., Kishibe, T., Shibata, T., and Takahashi, Y., "Performance Prediction for an Axial Compressor of an Industrial Gas Turbine with Inlet Fogging", *ACGT2012-1003* (2012)
- (10) Myoren, C., Takahashi, Y., Yagi, M., Shibata, T., and Kishibe, T., "Evaluation of Axial Compressor Characteristics under Overspray Condition", *ASME GT2013-95402* (2013)
- (11) Myoren, C., Takahashi, Y., and Kato, Y., "Multi-Objective Optimization of Three-Dimensional Blade Shape for an Axial Compressor Rotor in Transonic Stage", *IGTC2011-0055* (2011)
- (12) 井上 久道, 唐澤 英年, 村田 英太郎, 下世 昭一, "大流量微小水滴用1流体噴霧ノズルの開発", 第11回微粒化シンポジウム講演論文集 (2002)
- (13) Chaker, M. A., Meher-Homji, C. B., and Mee, T., "Inlet Fogging of Gas Turbine Engines - Part A: Fog Droplet Thermodynamics", *Heat Transfer and Practical Considerations*, *ASME GT2002-30562* (2002)
- (14) 坪内邦良, "蒸気タービン長翼の水滴エロージョン評価法に関する研究", 慶應義塾大学理工学研究科博士論文 (1993)

日本ガスタービン学会学生優秀講演賞選考結果について

表彰委員会
学術講演会委員会

2014年10月22日(水)、23日(木)に熊本市国際交流会館で開催されました第42回日本ガスタービン学会定期講演会で実施いたしました「日本ガスタービン学会学生優秀講演賞」の選考結果についてご報告いたします。

本年この学生優秀講演賞の対象となった講演は、材料関係：2件、空力関係：7件、システム・補機関係：7件、燃焼関係：3件、着氷・液滴関係：5件の合計24件でした。発表内容・発表態度等について、複数の審査員により厳正な評価を行い、全ての審査対象講演の終了後に審査会を開催し、以下のとおり授賞が決定されました。

・早稲田大学大学院 基幹理工学研究科 修士課程2年 藤澤 信道君

講演題目：「羽根付きディフューザを有する遠心圧縮機に発生する失速と前縁渦の関係」

・早稲田大学大学院 基幹理工学研究科 修士課程2年 三井 博明君

講演題目：「軸流圧縮機におけるサージ・旋回失速共存系の非定常内部流動の可視化」

授賞式は、講演会最終日（23日）の閉会前に行われ、藤谷 康男会長より賞状及び副賞が授与されました。

今回、学生優秀講演賞の対象講演24編の発表はどれも素晴らしく、積極的にご参加頂いた学生の皆様に感謝申し上げますと共に、審査をお願いした方々には、多くの審査対象講演の聴講や審査会の開催など貴重なお時間を頂戴いたしましたことを、この場を借りて御礼申し上げます。

日本ガスタービン学会学生優秀講演賞

羽根付きディフューザを有する遠心圧縮機に発生する失速と前縁渦の関係

早稲田大学大学院 基幹理工学研究科 修士課程2年
藤澤 信道



この度、第42回日本ガスタービン学会定期講演会（熊本市）にて学生優秀講演賞を頂きましたことを大変光栄に思います。

今回、私は羽根付きディフューザを有する遠心圧縮機に発生する失速と前縁渦の関係と題しまして、ディフューザ案内羽根に発生する前縁渦の非定常挙動とディフューザ失速の発生との関連についてご報告させて頂きました。本研究にて学生優秀講演賞を頂きましたことを励みにして、今後の研究活動に邁進いたします。

最後に、ご指導ご鞭撻頂いている太田有教授および日々の研究活動にご協力頂いている方々へ、この場をお借りして厚く御礼申し上げます。

軸流圧縮機におけるサージ・旋回失速共存系の非定常内部流動の可視化

早稲田大学大学院 基幹理工学研究科 修士課程2年
三井 博明



このたびは日本ガスタービン学会学生優秀講演賞を頂きまして、大変光栄に存じます。受賞にあたり、太田有教授をはじめとする研究室の皆様にご心より御礼申し上げます。

今回の講演では、軸流圧縮機の部分流量運転時に発生するサージと旋回失速の共存現象に対して、詳細な計測を通して条件付き二重位相固定平均法を適用し、サージ中の失速セル挙動とサージサイクルの関係を評価した結果を報告いたしました。今後も軸流圧縮機の非定常現象に関する更なる理解を目指して、研究活動に励んでいきたいと思っております。

学術講演会発表助成について

表彰委員会

2014年10月22日(水)、23日(木)に熊本市で開催されました第42回日本ガスタービン学会定期講演会に参加して講演を行った学生(大学院生も含む)に対して、本人からの申請に基づき、交通費の助成を行った結果についてご報告いたします。

本助成制度は、ガスタービン学会定期講演会で講演する学生発表に対して、往復交通費の半額相当の旅費を助成することで、ガスタービン関連分野の若手人材の育成と技術の発展を奨励することを目的としたものです。今回の講演会では申請を行った19名に対して、表彰委員会で慎重審議を行い、「学術講演会発表助成に関する内規」に則り、以下のように助成を行うことを決定いたしました。

東北地区からの参加者2名に対しては各2万円、東京地区からの参加者12名に対しては各1万5千円、中部地区からの参加者2名に対しては各2万5千円、四国地区からの参加者1名に対しては1万7千円、九州地区からの参加者2名に対しては各6千円。

本助成制度を有効に活用して頂き、来年度以降のガスタービン学会定期講演会においても、学生諸君の積極的な講演発表を期待しております。

次号予告 日本ガスタービン学会誌2015年3月号 (Vol.43 No.2)

特集「資源エネルギーの有効利用と低炭素社会へのガスタービンの取組み」

巻頭言 壹岐 典彦 (産業技術総合研究所)

水素燃焼技術の開発 堀川 敦史 (川崎重工業)

柏崎市自然環境浄化センターの消化ガス発電について 高橋 潤 (新潟県柏崎市ガス水道局)

黒部市下水道バイオマスエネルギー利活用事業における発電システムについて 村椿 謙一 (黒部市上下水道部)

低濃度メタン燃焼ガスタービン発電 黒坂 聡, 山崎 義弘 (川崎重工業)

高炉副生ガス焚きガスタービンの最新状況 屋納 光一郎 (三菱日立パワーシステムズ)

VOC焚きIM270ガスタービンの商用運転 井出 智広, 野原 隆樹, 永濱 淳哉, 平野 学 (IHI)

MGTの今後の可能性 「MGT」によるVOC処理とコージェネレーションシステムがもたらす価値の提言

青島 康一郎 (アオシマシステムエンジニアリング)

エネルギーキャリアとしてアンモニアを用いたガスタービン 倉田 修, 壹岐 典彦 (産業技術総合研究所) 他

航空機排出CO₂削減の取組み 藤原 仁志 (宇宙航空研究開発機構), 岡井 敬一 (東京大学)

※タイトル、執筆者は変更する可能性があります。

第43回日本ガスタービン学会定期講演会・見学会のお知らせ（予告）

第43回日本ガスタービン学会定期講演会を以下の日程で開催いたします。

講演会開催日 2015年9月9日(水)、10日(木)
 講演会開催場所 米子コンベンションセンター BiG SHiP
 鳥取県米子市末広町294
<http://www.bigship.or.jp>
 見学会 2015年9月11日(金)

講演申込要領は、学会ウェブページ (<http://www.gtsj.org>) (3月掲載予定) および学会誌3月号に掲載いたします。
 奮ってご応募くださいますようお願い申し上げます。

講演申込締切 2015年5月11日(月)予定
 申込講演採否連絡 2015年6月19日(金)予定
 講演論文原稿締切 2015年7月21日(火)予定

参加申込方法は、学会誌7月号、学会ウェブページに掲載予定です。



訃 報

ご逝去の報に接し、謹んで哀悼の意を表すとともに、ご冥福をお祈り申し上げます。

名誉会員 村田 暹 氏
 2014年12月9日逝去（享年91歳）
 [本会関係略歴]
 入会 1972年6月
 理事（GTSJ 3,4期）
 評議員（GTCJ 1,2,3,4期）（GTSJ 1,2,5,6,7,8,9,10,11,13,14,16期）
 1993年4月終身会員
 1994年4月名誉会員
 [略歴]
 1945年9月 東京帝国大学第二工学部卒業
 1946年4月 法政工業専門学校教授
 1948年5月 大阪工業専門学校教授
 1962年5月 山梨大学教授
 1963年11月 大阪大学教授
 1982年4月 豊田工業大学教授
 1993年3月 同大学 退職
 大阪大学名誉教授、豊田工業大学名誉教授

International Gas Turbine Congress 2015 Tokyo 講演募集

IGTC2015実行委員会

既にご案内しておりますように、『2015年国際ガスタービン会議東京大会 (IGTC2015)』は、虎ノ門ヒルズを会場として、2015年11月15(日)～20(金)の日程で開催されます。

アブストラクト申し込みが2015年1月末に迫っておりますので、会員のみなさまからの講演申込を心よりお待ちしております。

1. 開催期間 2015年11月15(日)～20(金)

2. 会場 虎ノ門ヒルズ フォーラム (東京・虎ノ門 <http://toranomonhills.com/ja/>)

3. ホームページ <http://www.gtsj.org/english/igtc/IGTC2015/>

4. 論文関係スケジュール

2015年1月31日 アブストラクトの締め切り

2015年2月28日 採択通知

2015年4月30日 ドラフト論文提出

2015年8月31日 最終論文提出

5. 申し込み方法

以下の申し込みページより、500word以内のアブストラクトPDFをアップロードしてください

(1) IGTCホームページの“Submission” → “submit an abstract” から、

投稿システムPaperCept (<https://controls.papercept.net/conferences/scripts/start.pl>) にアクセス

(2) IGTCバナー右の“Submit a contribution to IGTC2015”をクリック

(3) ページ下の表“First Submissions”の“Submit”をクリック

(4) 既にPIN (PaperCept用ID) を取得している場合を除き、主著者、共著者全員のPIN を取得) (*)

(5) 必要事項を記入し、次ページでPDFをアップロード

(註※) IGTC2015では、電子投稿・査読システム (PaperCept) を採用しています。講演申込に際しては、共著者を含む著者全員にPersonal Identification Number (PIN) を取得して頂く必要があります。代表著者が、共著者のPINを代理登録することも可能ですが、PINは一人一つが原則ですので、共著者のPINを登録する際は、共著の方がすでにPINを取得されているかどうか、確認いただくようお願いします。

6. 問い合わせ先

IGTC2015 論文委員会

igtc2015-paper@gtsj.org

2014年度役員名簿

会長 藤谷 康男 (MHPS)

副会長 田沼 唯士 (帝京大)

法人管理担当執行理事 伊東 正雄 (東芝), 鈴木 健 (IHI), 幡宮 重雄 (日立), 正田 淳一郎 (MHPS)

公益目的事業担当執行理事 壹岐 典彦 (産総研), 岡崎 正和 (長岡技科大), 佐藤 哲也 (早大), 武 浩司 (川崎重工), 辻田 星歩 (法政大), 春海 一佳 (海技研), 姫野 武洋 (東大), 山根 敬 (JAXA), 山本 誠 (東京理科大)

理事 桂田 健 (JAL), 松崎 裕之 (東北電力), 渡辺 和徳 (電中研), 渡邊 啓悦 (荏原), 藁谷 篤邦 (本田技術研究所)

監事 塚越 敬三 (MHPS), 藤綱 義行 (東京農工大)

2014年度委員名簿 (順不同)

2014年6月26日現在

○は委員長

倫理規定委員会 ○幡宮 重雄 (日立), 鈴木 健 (IHI), 伊東 正雄 (東芝), 正田 淳一郎 (MHPS), 山根 敬 (JAXA), 春海 一佳 (海技研)

自己点検委員会 ○幡宮 重雄 (日立), 鈴木 健 (IHI), 伊東 正雄 (東芝), 正田 淳一郎 (MHPS), 山根 敬 (JAXA), 春海 一佳 (海技研)

運営委員会 ○鈴木 健 (IHI), 幡宮 重雄 (日立), 正田 淳一郎 (MHPS), 伊東 正雄 (東芝), 山根 敬 (JAXA), 壹岐 典彦 (産総研), 春海 一佳 (海技研), 太田 有 (早大), 酒井 義明 (東芝), 村田 章 (東京農工大), 堀内 直人 (東京電力), 渡辺 紀徳 (東大), 安田 聡 (MHPS), 塚原 章友 (MHPS)

企画委員会 ○正田 淳一郎 (MHPS), 鈴木 健 (IHI), 幡宮 重雄 (日立), 山根 敬 (JAXA), 壹岐 典彦 (産総研), 春海 一佳 (海技研), 渡辺 紀徳 (東大), 塚原 章友 (MHPS)

国際委員会 ○仲俣千由紀 (IHI), 岡井 敬一 (東大), 太田 有 (早大), 小森 豊明 (三菱重工), 葉狩 智子 (川崎重工), 福田 雅文 (高効率発電システム研), 船崎 健一 (岩手大学), 松田 寿 (東芝), 三好 市朗 (MHPS), 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 ○春海 一佳 (海技研), 山本 武 (JAXA), 楠田 真也 (IHI), 齊藤 圭司郎 (三菱重工), 渋谷 直紀 (東芝), 高橋 康雄 (MHPS), 武田 淳一郎 (富士電機), 玉井 亮嗣 (川崎重工), 姫野 武洋 (東大), 平野 孝典 (拓殖大), 松沼 孝幸 (産総研), 渡辺 裕章 (電中研)

集行事務委員会 ○山根 敬 (JAXA), 尾関 高行 (電中研), 木村 武清 (川崎重工), 澤 徹 (東芝), 鈴木 正也 (JAXA), 瀬川 武彦 (産総研), 辻田 星歩 (法政大), 中村 友行 (防衛省), 西江 俊介 (三井造船), 西村 英彦 (MHPS), 浜辺 正昭 (IHI), 藤井 達 (日立), 細川 哲也 (JALエンジニアリング), 山形 通史 (富士電機), 吉田 征二 (JAXA), 藁谷 篤邦 (本田技術研究所)

ガスタービン技術普及委員会 ○岡崎 正和 (長岡技科大), 秋山 陵 (日立), 賀澤 順一 (JAXA), 木村 武清 (川崎重工), 齊藤 大蔵 (東芝), 檜山 貴志 (MHPS), 福山 佳孝 (JAXA), 古川洋之 (IHI), 細川 哲也 (JALエンジニアリング), 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 ○壹岐 典彦 (産総研), 荒木 秀文 (MHPS), 有岡 和也 (三井造船), 石川 揚介 (東芝), 加藤 千幸 (東大), 阪井 直人 (川崎重工), 櫻井 一郎 (元JAL), 佐藤 哲也 (早大), 潮崎 成弘 (MHPS), 鈴木 康文 (防衛省), 辻田 星歩 (法政大), 寺澤 秀彰 (東京ガス), 寺本 進 (東大), 中野 健 (IHI),

中野 剛 (JALエンジニアリング), 新関 良樹 (東芝), 野原 弘康 (ダイハツディーゼル), 北條 正弘 (JAXA), 堀内 直人 (東京電力), 松崎 裕之 (東北電力), 三鴨 正幸 (中部電力), 山下一憲 (荏原製作所), 吉野 展永 (IHI), 渡辺 和徳 (電中研), 渡邊 啓悦 (荏原製作所)

論文委員会 ○寺本 進 (東大), 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 (MHPS), 田頭 剛 (JAXA), 姫野 武洋 (東大), 船崎 健一 (岩手大学), 山根 敬 (JAXA), 山本 武 (JAXA), 山本 誠 (東京理科大), 吉岡 洋明 (愛媛大), 渡辺 紀徳 (東大)

統計作成委員会 ○武 浩司 (川崎重工), 恵比寿 幹 (三菱重工), 澤 徹 (東芝), 野村 藤樹 (ターボシステムズユニテッド), 原田 純 (川崎重工), 村上 麻里子 (川崎重工), 山上 展由 (MHPS), 山上 舞 (IHI), 吉田 知彦 (MHPS), 米田 幸人 (ヤンマー)

産官学連携委員会 ○渡辺 紀徳 (東大), 壹岐 典彦 (産総研), 岡崎 正和 (長岡技科大), 金津 和徳 (IHI), 幸田 栄一 (電中研), 佐々木 隆 (東芝), 永井 勝史 (川崎重工), 西澤 敏雄 (JAXA), 幡宮 重雄 (日立), 平野 篤 (防衛省), 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 (九州大), 本阿弥 眞治 (東京理科大), 吉田 英生 (京大)

広報委員会 ○村田 章 (東京農工大), 酒井 義明 (東芝), 佐藤 哲也 (早大), 高橋 康雄 (MHPS), 岡崎 正和 (長岡技科大), 姫野 武洋 (東大), 吉田 征二 (JAXA), 山根 敬 (JAXA)

表彰委員会 ○田沼 唯士 (帝京大), 春海 一佳 (海技研), 壹岐 典彦 (産総研), 児玉 秀和 (IHI), 幡宮 重雄 (日立), 山根 敬 (JAXA), 姫野 武洋 (東大)

情報システム化推進委員会 ○村田 章 (東京農工大), 酒井 義明 (東芝), 佐藤 哲也 (早大), 高橋 康雄 (MHPS), 岡崎 正和 (長岡技科大), 姫野 武洋 (東大), 吉田 征二 (JAXA), 山根 敬 (JAXA)

調査研究委員会 ○壹岐 典彦 (産総研), 松沼 孝幸 (産総研), 伊藤 栄作 (三菱重工), 岸部 忠晴 (日立), 合田 真琴 (川崎重工), 齊藤 大蔵 (東芝), 高橋 徹 (電中研), 原田 広史 (物材研), 米澤 克夫 (IHI), 渡辺 紀徳 (東大), 寛 幸次 (首都大), 寺島 洋史 (東大), 岡崎 正和 (長岡技科大), 黒瀬 良一 (京大), 渡辺 和徳 (電中研)

ACGT2014 実行委員会 ○山本 誠 (東京理科大), 小森 豊明 (三菱重工), 葉狩 智子 (川崎重工), 山根 敬 (JAXA)

IGTC2015Tokyo 実行委員会 ○渡辺 紀徳 (東大), 姫野 武洋 (東大), (総務委員会) ○西澤 敏雄 (JAXA), 牧田 光正 (JAXA), 小見 淳介 (IHI), 沼田 祥平 (MHPS), (論文委員会) ○太田 有 (早大), 寺本 進 (東大), 山本 誠 (東京理科大), 西岡 卓宏 (日立), 辻田 星歩 (法政大), 山根 敬 (JAXA), 山本 武 (JAXA), 吉岡 洋明 (愛媛大), 岡井 敬一 (東大), 新関 良樹 (東芝), 玉木 秀明 (IHI), 仲俣千由紀 (IHI), 葉狩 智子 (川崎重工), 福田 雅文 (高効率発電システム研), 三好 市朗 (MHPS), 幸田 栄一 (電中研), 田頭 剛 (JAXA), 檜山 貴志 (MHPS), 長谷川 武治 (電中研), 茨木 誠一 (三菱重工), 三浦 信祐 (防大), 小田 豊 (関西大), (展示委員会) ○松田 寿 (東芝), 北山 和弘 (東芝), 猪亦 麻子 (東芝), 岡村 直行 (東芝), 石川 智貴 (東芝), 種橋 信哉 (GE), 井上 俊彦 (川崎重工), 原田 純 (川崎重工), 吉國 孝之 (IHI), 藤木 貴子 (IHI), 西村 真琴 (MHPS), 吉田 知彦 (MHPS), 山形 通史 (富士電機), 牧野 敦 (JAXA), (行事委員会) ○大石 勉 (IHI), 山上 舞 (IHI), 酒井 英司 (電中研), 藤本 秀 (IHI), 堀川 敦史 (川崎重工), 吉田 征二 (JAXA), (財務委員会) ○井上 洋 (MHPS), 後藤 仁一郎 (MHPS), 鎌田 直人 (MHPS), 廣川 順一 (IHI)

○ 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
日本機械学会 関西支部	第336回講習会「実務者のための騒音防止技術（展示、簡易実習付き）」	協賛	2015/1/26-27	大阪科学技術センター 8階中ホール	日本機械学会関西支部 TEL:06-6443-2073, FAX:06-6443-6049 E-MAIL:info@kansai.jsme.or.jp
日本航海学会	海事三学会合同「次世代エコシップシンポジウム」	協賛	2015/1/29	笹川記念会館	日本航海学会 navigation@nifty.com
日本非破壊検査協会	第22回超音波による非破壊評価シンポジウム	協賛	2015/1/29-30	日本非破壊検査協会 亀戸センター	日本非破壊検査協会 学術課 TEL:03-5609-4015, FAX:03-5609-4061
コージェネレーション・エネルギー高度利用センター	コージェネシンポジウム2015	協賛	2015/2/5	イイノホール	コージェネレーション・エネルギー高度利用センター 業務・広報部 TEL:03-3500-1612, FAX:03-3500-1613
日本マリンエンジニアリング学会	第59回特別基金講演会「排ガス低減技術の現状と将来」(案)	協賛	2015/3/13	東京海洋大学 越中島会館講堂	日本マリンエンジニアリング学会 http://www.jime.jp
日本機械学会	第20回動力・エネルギー技術シンポジウム	協賛	2015/6/18-19	東北大学工学研究科 青葉記念館および中央棟	日本機械学会 http://www.jsme.or.jp/pes/index-j.html



▷ 入 会 者 名 簿 ◁

〔正会員〕

園田 隆(三菱重工)	最首 直志(エネルギーアドバンス)	陶山 修二(日本航空機エンジン協会)
平井 一貴(ヤンマー)	平川 香林(I H I)	黒澤 裕也(東北電力)
太間 康二(本田技術研究所)	瀬立 良太(三菱日立パワーシステムズ)	恵藤 陽介(三菱日立パワーシステムズ)

〔賛助会員〕

(株)東洋コントロールズ



◇ 2015年度会費納入のお願い ◇

2015年度会費（2015年3月1日～2016年2月末日）の納入をお願い申し上げます。つきましては、2015年4月30日までに以下の通り納入くださいますようお願い致します。

なお、すでに口座自動振替をご利用の方は、2015年3月23日にご指定の口座よりお引き落としさせていただきます。

< 2015年度会費（不課税） >

正会員	8,000円
正会員（65歳以上*）	5,000円
学生会員	2,500円
賛助会員 1口	70,000円
(*2015年3月1日現在)	

【納入方法】

郵便振替： 00170-9-179578
 銀行振込： みずほ銀行 新宿西口支店
 普通預金口座 1703707
 いずれも口座名は、
 シャ) ニホンガスタービンガッカイ です。
 振込手数料は貴方にてご負担願います。

※会費の納入には、簡単・便利な口座自動振替をお勧め致します。自動振替をご利用されますと、振込手数料は学会負担となります。ご希望の方は巻末の「預金口座振替依頼書」にご記入の上、学会事務局までお送りください。

日本ガスタービン学会入会のご案内

日本ガスタービン学会は、「エネルギー」をいかにして効率よく運用し、地球規模の環境要請に応えるかを、ガスタービンおよびエネルギー関連分野において追求する産学官民連携のコミュニティです。

会員の皆様からは、「ガスタービン学会に入会してよかったと思えること」の具体例として次の様な声が寄せられています：

- タテ（世代）とヨコ（大学、研究機関、産業界）の交流・人脈が広がった。
- 学会誌が充実しており、学会・業界・国外の専門分野の研究動向や技術情報が効率的に得られた。
- ガスタービンに熱い思いを持った人達と、家族的雰囲気ですら階層を意識せず自由な議論ができ、専門家の指導を得られた。

学会の概要（2013年3月現在）

会員数：2,056名（正会員 1,968名、学生会員 88名）

賛助会員：101社

会員の出身母体数：企業・研究機関・官公庁等 約300、学校 約100

会員のメリット

個人会員（正・学生会員）：

学会誌無料配布（年6回）、学術講演会の論文発表・学会誌への投稿資格、本会主催の行事の参加資格と会員参加費の特典、本会刊行物の購入資格と会員価格の特典、調査研究委員会等への参加賛助会員：

学会誌の無料配布、学会誌広告・会告掲載（有料）、新製品・新設備紹介欄への投稿、本会主催行事参加および出版物購入について個人会員と同等の特典

入会金と会費（2013年度から）

会員別	入会金	会費（年額）	後期入会時 会費（初年度のみ）
正 会 員	500円	8,000円	4,000円
正 会 員（65才以上※）	500円	5,000円	2,500円
学生会員	500円	2,500円	1,250円
賛助会員	1,000円	一口 70,000円とし、一口以上	一口 35,000円

※当該年度3月1日現在

後期・・・9月1日～翌2月末まで

入会方法

学会ホームページにて入会手続きができます（<http://www.gtsj.org/index.html>）。

学会事務局にお電話いただいても結構です。申込書を送付致します。



公益社団法人

日本ガスタービン学会

Gas Turbine Society of Japan

〒160-0023 東京都新宿区西新宿7-5-13 第3工新ビル402

電話番号：03-3365-0095

E-mail: gtsj-office@gtsj.org

新年明けましておめでとうございます。会員の皆様におかれましては、新たな気持ちで穏やかな新年を迎えられたことと拝察いたします。

今月号の特集企画は、ガスタービンに関連した国内外の学術会議等と、昨年10月に開催された定期講演会の二つを取り上げました。ガスタービンは、流体・伝熱・燃焼・材料・制御など様々な技術の粋を集めた総合技術から成り立っており、技術者にとっては専門性のみならず幅広い知見が求められます。しかしながら、専門外の情報やその情報源についてはあまり詳しくなかったり、ジェットエンジンと産業用ガスタービンに分かれるだけでも、お互いの業界の最新技術動向など意外に分からないことが多かったりすると思います。そこで、ガスタービンそのものから関連する要素技術まで、日本ガスタービン学会が主催する行事に限らず国内外の主な学術会議等を俯瞰し、まとめることを試みました。会員の皆さまの情報収集の一助として、ご参考になれば幸いです。

さて、今月号の表紙のくまモンをご覧になって、驚かれた方もいらっしゃるのではないのでしょうか？ご存知の通り、今年度の定期講演会は熊本で開催されており、熊本市の担当者より「『くまモン』を活用した熊本のブランド推進戦略」と題した特別講演を頂きました。当日はくまモンが来場することはありませんでしたが、せめて会誌の表紙に登場させたいと思い、学会事務局に交渉していただき、実現したものです。ある意味、保存版になるかもしれません。

また、企画セッション「負荷変動対応型先進的ガスタービン技術」では、有志による「ガスタービンを考える会」での議論を実現すべく、NEDO事業「エネルギー・環境新技術先導プログラム」に応募している提案

内容について概要を紹介いただくとともに、会場とのディスカッションが行われました。本誌には、パネルディスカッションの会場で当日配布された予稿集をベースに、当日の議論やその後の検討を反映していただいた原稿を掲載しています。無事に採択され、我が国の産官学が一体となってオールジャパンとして取り組む、ガスタービン開発の大型プロジェクトが動き出すことを願っています。

最後に、今年は日本ガスタービン学会にとっては4年に一度のIGTCが開催される年です。企画・運営に携わる実行委員の皆様のご尽力に感謝申し上げますとともに、多数の会員の皆様のご参加をお願いいたします。

(渡辺和徳)

● 1月号アソシエイトエディター

渡辺 和徳 (電力中央研究所)

● 1月号担当編集委員

潮崎 成弘 (三菱日立パワーシステムズ)

阪井 直人 (川崎重工業)

吉野 展永 (IHI)

(表紙写真)

今回の表紙については、【報告】の著者より流用及びお借りしています。

詳細については、下記記事をご参照ください。

・【第42回日本ガスタービン学会定期講演会報告】

..... (P.33 ~ 34)

だより

♣事務局 ☒ ♣

明けましておめでとうございます。会員の皆様の年越しは如何でしたでしょうか。

さて、当学会は2011年3月1日に公益社団法人に移行してから3年が経過し、公益認定法第21条の定めにより、内閣府公益法人認定等委員会の立入検査を昨年12月8日に受けました。当日は検査官お二人を当学会総務および財務担当執行理事とともに緊張の中お迎えしましたが、検査結果の講評では「重大な指摘事項はなし、執行状況は概ね良好」であるという総合評価を得て、まずはほっとしたところですが、しかし、満点というわけにはいかず、口頭伝達による指摘事項が数件ありました。すでに済ませたものもありますが、定款の改定が必要な案件があり、これは4月の総会の審議事項となります。定款の改定は

正会員の3分の2以上の賛成が必要となりますので、予め皆様のご理解とご協力をお願いしておきます。

今年は国際会議IGTC2015が11月に開催されます。事業規模は例年の2倍に膨れますので、事務局もそれなりに忙しくなりそうです。事務局職員の山本さんと川崎さんにはアルバイト職員として2年間学会を支えてきていただきましたが、これからは嘱託職員としておつとめ願うことになりました。事務局体制としてはより強固になり、心強く思っています。事務局職員全員、連携良く対応していきたいと思っています。よろしく願いいたします。

最後に、今年一年の皆様のご健勝とお仕事の発展を祈念して筆を置きます。

(平岡克英)

学会誌編集および発行要領（抜粋）

2014年6月25日制定

1. 本会誌の原稿はつぎの3区分とする。
 - A. 依頼原稿：学会誌編集委員会（以下、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。執筆者は本学会会員（以下、会員）外でもよい。
 - B. 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。
 - C. 学会原稿：本学会の運営・活動に関する記事（報告、会告等）および会員による調査・研究活動の成果等の報告。
2. 依頼原稿および投稿原稿は、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、情報欄記事の掲載欄に掲載することとし、刷り上がりページ数は原則として以下のとおりとする。

論説・解説、講義	6ページ以内
技術論文	技術論文投稿規定による
速報	4ページ以内
寄書、随筆	3ページ以内
書評	1ページ以内
情報欄記事	1/2ページ以内
3. 依頼原稿の執筆者は、本会誌の原稿執筆要領に従って原稿を執筆し、編集委員会事務局（以下、編集事務局）まで原稿を提出する。編集事務局の所在は付記1に示す。
4. 依頼原稿は、編集委員会の担当委員が、原稿の構成、理解の容易さ等の観点および図表や引用文献の書式の観点から査読を行う。編集事務局は査読結果に基づいて、執筆者への照会、修正依頼を行う。
5. 投稿原稿のうち技術論文以外のものは、編集委員会が審査し、本会誌への掲載可否を決定する。
6. 投稿原稿のうち技術論文の審査、掲載については、技術論文投稿規定に従う。
7. 依頼原稿の執筆者には、本学会の事務局（学会事務局）から原則として謝礼（図書カード）を贈呈する。
8. 依頼原稿および投稿原稿の執筆者には、抜刷を10部贈呈する。
9. 本会誌に掲載された著作物の著作権は原則として本学会に帰属する。本学会での著作権の取扱いについては別途定める著作権規程による。
10. 他者論文から引用を行う場合、本会誌に掲載するために必要な事務処理及び費用分担は著者に負うところとする。

付記1 原稿提出先および原稿執筆要領請求先（編集事務局）
ニッセイエブプロ(株) PM部
学会誌担当：山田 鈴子
〒105-0004 東京都港区新橋5-20-4
TEL：03-5733-5158
FAX：03-5733-5167
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、編集委員会が採否を決定する。
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.43 No.1 2015.1

発行日 2015年1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 壹岐 典彦

発行者 藤谷 康男

〒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

(普) 1703707

印刷所 ニッセイエブプロ(株)

〒105-0004 東京都港区新橋5-20-4

Tel. 03-5733-5158 Fax. 03-5733-5167

©2015, 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、(社)学術著作権協会に委託致していません。直接、本学会へお問い合わせください。