



2016年度会長就任挨拶

久山 利之^{*1}

KUYAMA Toshiyuki

この度、日本ガスタービン学会2016年度臨時理事会にて、田沼唯士前会長の後任として2016年度会長に選出されました。諸先輩の築かれた伝統ある日本ガスタービン学会の会長を拝命しましたことは、たいへん光栄でありますとともにその責任の重さに身の引き締まる思いです。

近年における我が国のガスタービンの開発を振り返りますと、1971年にスタートした通商産業省工業技術院の大型プロジェクトで航空宇宙技術研究所を中心とする研究機関と民間企業が、我が国最初の高バイパス比ターボファンエンジンFJR710の研究開発を行い、その高度な技術が認められて現在ベストセラーとなっている国際共同開発エンジンV2500に繋がりました。また、このV2500の成功をベースに多くのエンジン開発プロジェクトが進められています。一方、発電用途のガスタービンでは、同じく工業技術院が1978年からスタートさせたムーンライト計画で世界最高水準の高効率ガスタービンAGTJ-100Aの開発が成功裏に終了し、ここで培われた世界最高レベルの高温技術が礎となり、現在の我が国の事業向け・産業向け発電用ガスタービンの発展に繋がっています。当学会は、まさにこのようなガスタービンの黎明期に発足し、国内の技術者・研究者・学者などが自由な雰囲気の中で活発に情報交換を行う場を提供しながら、産業の発展と共に今日まで歩んでまいりました。

航空機分野では今後20年間で世界の民間航空機需要が約2倍に拡大することが見込まれております。このような環境の中で昨年11月に国産小型ジェット旅客機「MRJ」が初飛行に成功したことは非常に明るいニュースで、航空機産業は裾野が広く他産業への技術波及効果が高いと言われており、ガスタービンを含むこの産業が今後ますます発展していくことが期待されます。また、エネルギー供給分野ではガスタービンを動力とするコンバインドサイクルあるいはコージェネレーションは、高い熱効率とCO₂の発生が少ないという特徴から、発電・熱電併給のシステムとして、電力会社や各種製造工場の皆様に利用していただいておりますが、今後ますます技術の高度化による省エネルギー化、低炭素化が期待されています。我が国のガスタービン産業が世界の一大勢力となるように、学会と産業界が、従来にも増してしっかりと連携することが必要であり、その橋渡し役を当学会が担っていかなければならないと考えています。

ガスタービンの事業は、開発～製造～運転～運用～MRO (Maintenance, Repair, Overhaul) まで幅広く、多くの技術者が携わっています。我が国の産業を発展させるために、当学会はそれぞれの技術に広く注目し、焦

点をあてて行きたいと考えています。たとえば、当学会の産官学連携に関する調査研究の活動では、地方企業との懇談会を催して地方の製造業の参画等について意見交換を行っており、地方創生の一助となるように今後も継続していきたいと考えています。

ガスタービンの技術開発に終わりはありません。世界中の大学、研究機関や企業において、日々その技術の高度化のための研究開発が進められています。当学会では、国内では毎年開催する学術講演会やセミナーを通して、ガスタービン技術者に最新技術の情報交換の場を提供しています。さらに4年に1度、国際ガスタービン会議International Gas Turbine Congressを開催し、海外の技術者との交流を促進する活動を行っています。昨年は、第11回のIGTC2015 Tokyoを開催し、特に外国人としてはこれまでのIGTCで最大の27か国から155名の参加があり、国際会議として広く認知されてきたと自負しています。

また、アジア地域に注目をあてて2年に1度開催してきた国際会議Asian Congress on Gas Turbineは、共催をこれまでに韓国、中国と順次増やしてきましたが、今年度から経済発展が著しいインドを加え日韓中印の4か国で、今年の11月にインド最大都市ムンバイで開催する予定です。活発な技術者の交流を期待し、多数の皆様のご参加をお願いしたいと思います。

2016年度の学会運営は、船崎健一副会長と力を合わせて、理事、委員の皆様と一致団結して、ガスタービンに関連する幅広い分野について最新の有益な技術情報を提供し、魅力ある集会行事の開催と学会活動の更なる普及・活性化に繋げて参ります。会員の皆様には、ACGTや学術講演会を始めとする学会行事に是非ご参加いただき、日本ガスタービン学会を研究や業務にご活用いただきたいと思ひます。

終わりにになりますが、2015年度の学会運営を担当された会長、理事、委員および関係者、学会事務局の皆様のご尽力に深く感謝申し上げますとともに、会員各位のますますのご健勝とご発展を祈念致しまして、会長就任の挨拶といたします。

(追記)

この就任挨拶の原稿を提出後、熊本地方を中心に大きな地震が発生致し、多くの方々が犠牲、被害にあわれました。また4月14日の最初の地震から2週間が経過しますがいまだに大きな余震が続いており、被災された方々は不安な日々を過ごされていると思います。亡くなられた方々のご冥福をお祈りし、また被災された方々にはお見舞い申し上げますとともに、一刻も早く落ち着いた日常に戻られることを願っております。

原稿受付 2016年4月19日

*1 川崎重工業株式会社

ガスタービン・機械カンパニープレジデント

特集：ガスタービンの活躍の場

「ガスタービンの活躍の場」 特集号の企画にあたって

壹岐 典彦^{*1}

IKI Norihiko

キーワード：ガスタービン，ジェットエンジン，ユーザー，メンテナンス，コジェネレーション
Gas Turbine, Jet Engine, User, Maintenance, Cogeneration

様々な分野の技術開発において「社会実装」という表現が使われています。研究開発された技術が一般社会で使われ、活用されるまでには時間がかかりますが、ガスタービンも特許取得が1791年、ガスタービン発電所が1939年、ジェット機の飛行が1939年であり⁽¹⁾、一般社会に出るまでに長い時間がかかっています。その後、ガスタービンは航空用、船舶用、車両用、自動車用、発電用、産業用などと活躍の場を広げています。これはガスタービンを開発してこられた諸先輩方のご苦労の賜物ですが、この機械のメリットを理解し、採用を行ったユーザー各位の貢献も大きいと言えます。

日本ガスタービン学会は公益法人化して「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」を目的としています。ガスタービン技術を進展する上で、ガスタービンメーカーでは顧客ユーザーの声をフィードバックしていることと拝察しますが、ガスタービンが様々なところで活躍している現在では、ユーザーの置かれている状況も利用している経緯も様々で、自社の顧客ユーザー以外のガスタービンユーザーの声を聞く機会は少ないのではないかと思います。

ガスタービンという機械を社会の役に立てていくためには、作る側と使う側が両輪としてガスタービンを発展させて行くことが大切であり、当学会がその交流の場となれることを期待し、その一環として、今回は「ガスタービンの活躍の場」と題して、ガスタービンのユーザーの皆様にご執筆頂く企画を組ませて頂きました。ユーザー毎に異なるニーズや使用方法をまとめて俯瞰することで、ノウハウの応用や共通課題が見えてくるのでは無いかとの思いもあります。電力業界、産業界、不動産業界、航空業界、研究開発機関と様々なユーザーにご執筆頂きました。

電力業界からは、2年前に純国産ガスタービンコンバインドサイクルの累積発電時間20万時間到達の記事をご執筆頂いていますが⁽²⁾、今回は東日本大震災の被害を踏まえて導入される最新の常用発電設備、原子力発電所の非常用発電設備をご紹介します。

産業用では、日本ガスタービンユーザー会の皆様にはこれまでも本学会誌の記事^{(3),(4)}をはじめ、日本ガスタービン学会の様々な活動でご協力を賜っておりますが、ガスタービン活用事例、メーカー・技術者へのご要望・期待をご紹介します。

不動産業界からは、2015年国際ガスタービン会議東京大会（IGTC2015）の会場となった虎ノ門ヒルズのガスタービン発電設備についてご紹介頂きました。災害時を想定して、デュアルフューエル型ガスタービンを導入し、都市ガス供給では15日間の連続運転が可能とのこと。

航空業界からは、火山灰をはじめ航空機エンジンが遭遇する過酷な環境の影響をご紹介します。また研究機関での電力供給の例として、都市における規制と選定理由、ピークカット運転パターン、東京都環境条例に伴うCO₂総量排出削減義務の影響もご紹介頂きました。

最後に、本特集を組むに当たって様々な方にご協力を賜りました。ご執筆頂いた皆様、ご協力頂きました皆様に感謝申し上げます。

引用文献

- (1) 池上壽和，“産業用大型ガスタービンの技術系統化調査”，国立科学博物館技術の系統化調査報告，第13集，（2009）
- (2) 佐藤裕市，藤田範生，岩崎洋一，味崎隆久，“東新潟火力発電所3-1号系列ガスタービン累積発電時間20万時間到達について”，日本ガスタービン学会誌，Vol. 42，No. 4（2014），pp. 341-346.
- (3) 岩間秀司，金子清隆，寺澤秀彰，“ガスタービン自家発電設備の改善事例（日本ガスタービンユーザー会）”，日本ガスタービン学会誌，Vol. 43，No. 5（2015），pp. 330-336.
- (4) 岩間秀司，“『産業向け最新鋭自家発電用ガスタービン』特集号に寄せて”，日本ガスタービン学会誌，Vol. 44，No. 1（2016），pp. 1-1.

原稿受付 2016年4月4日

^{*1} 国立研究開発法人産業技術総合研究所 エネルギー・環境領域 省エネルギー研究部門 ターボマシングループ
〒305-8564 つくば市並木1-2-1

特集：ガスタービンの活躍の場

新仙台火力発電所第3号系列における 熱効率向上への取組みについて

阿部 雅宏^{*1}
ABE Masahiro

西村 由明^{*1}
NISHIMURA Yoshiaki

多田 和幸^{*1}
TADA Kazuyuki

キーワード：ガスタービンコンバインドサイクル，高効率，タービン入口ガス温度，リプレース
Gas Turbine Combined Cycle, High Efficiency, Turbine Inlet Gas Temperature, Replace

1. はじめに

東北電力㈱は、国内初となる大容量ガスタービンコンバインドサイクル発電設備（GTCC）を東新潟火力発電所に導入して以降、環境負荷および発電コスト低減による競争力強化の観点より、GTCC新設毎に高効率化に取り組んでいる。

本原稿では、現在建設中の新仙台火力発電所第3号系列における熱効率向上への取組について紹介する。

2. 当社のGTCC導入経緯⁽¹⁾

1970年代の2度にわたる石油危機から脱石油・省エネルギーが国家的課題となるなか、当社は国内初の国産大容量GTCCを1984年、東新潟火力3号系列（出力1,090MW）に導入した。タービン入口ガス温度（以下、TIT）1100℃級ガスタービンを採用、当時としては画期的な熱効率48%（LHV：低位発熱量基準）を達成すると同時に、コンバインドサイクルプラントの運転特性および環境特性の良さを実証することができた。

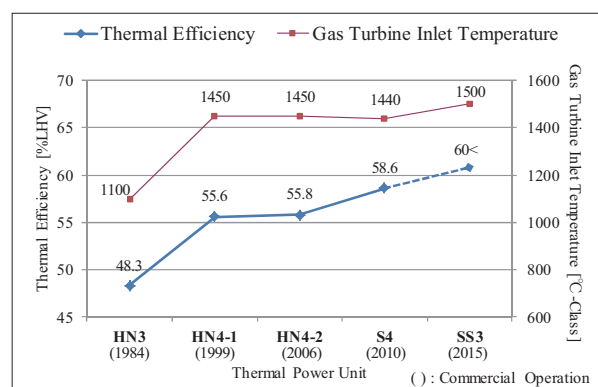
その後、3号系列の運用実績をもとに、ガスタービンのより一層の高効率化、大容量化を図るため、国内重電メーカーと共同で「高効率ガスタービンの開発研究」（AGT共研）を1989年より6年間にわたり実施した。1999年にはAGT共研成果を反映し燃焼器に蒸気冷却方式を適用したTIT 1450℃級ガスタービンを東新潟火力4-1号系列に導入し運転開始した。東新潟火力4-1号系列（出力805MW）では、当時世界最高水準の熱効率55%（LHV）を達成した。

また、二酸化炭素の排出抑制および発電コスト低減による競争力強化を目的として、1959年以来40年以上運転した仙台火力1～3号機をリプレース、新たにGTCCとして仙台火力4号機（出力446MW）を2010年7月に運転開始した。仙台火力4号機では、開発初号機となる燃焼器空気冷却方式によるTIT1440℃級ガスタービンを導入しており、TIT 1440℃級と東新潟火力4号系列に比

べTITは低いものの熱効率58%（LHV）を達成し、更なる高効率化が実現できた。（図1）

3. 新仙台火力3号系列について⁽²⁾

新仙台火力3号系列（出力490MW×2軸）は、電力の安定供給と二酸化炭素の排出抑制を目的に、経年化が進んだ仙台火力1、2号機を廃止し、新たにGTCCとして平成24年1月よりリプレース工事を開始、平成27年12月に半量となる3-1号を運転開始した。更に、平成28年7月には3-2号を含めた全量を運転開始する予定である。（図2）（表1）



HN3 : Higashi-Niigata Unit No.3
HN4-1,2: Higashi-Niigata Unit No.4-1, No.4-2
S4 : Sendai Unit No.4
SS3 : Sin-Sendai Unit No.3

Fig. 1 Historical trend of thermal efficiency



Fig. 2 Aerial view of No.3 Shin-Sendai power station

原稿受付 2016年3月11日

*1 東北電力㈱ 火力原子力本部 火力部
〒980-8550 仙台市青葉区本町1-7-1

Table 1 Comparison of Sin-Sendai units

Item	New Unit		Original Unit	
	No.3-1	No.3-2	No.1	No.2
Type of Generation	Combined-Cycle (Gas and Steam Turbine)		Conventional (Steam Turbine)	
Output	490MW	490MW	350MW	600MW
Fuel	LNG		Heavy Oil	Heavy Oil Natural Gas
Commercial Operation	DEC, 2015	JUL, 2016	JAN, 1971	JUN, 1973

3.1 設備の特徴

新仙台火力3号系列では、自然災害に対して燃料供給源の分散により安定した燃料供給を目的に、当社として初となるLNG燃料設備（160,000kl×2基）を構内に建設するとともに、東日本大震災で太平洋側の発電所を中心に大きな被害を受けたことを教訓に、災害に強い発電所を目指して地震・津波などへの各種対策工事を行った。地震対策として、耐震性の強い機器の採用などにより耐震性を高める対策を講じた。また、津波対策として、発電所の海沿いに高さ5mの盛土と防潮堤を設置するとともに、電気設備などの重要機器については津波の影響が及ばない2階以上に配置している。

3.2 最新鋭ガスタービンの導入

新仙台火力発電所第3号系列では、当時、三菱日立パワーシステムズ株式会社が最新鋭の燃焼器空気冷却方式によるTIT 1500℃級F形ガスタービンを開発したことを受け、更なる二酸化炭素排出量の削減や化石燃料消費量の削減を図るため、本ガスタービンの開発初号機を導入することとした。

また、最新鋭ガスタービンの導入は、低炭素社会への貢献のみならず、新仙台火力が世界最高レベルの熱効率

を誇るプラントとして生まれ変わり、先の東日本大震災で甚大な被害を受けた東北地方の『復興』と『未来』をつなぐ架け橋となるプラントとして、大きく貢献することを期待したものである。

3.3 ガスタービンの特徴

新仙台火力3号系列で導入したTIT 1500℃級F形ガスタービンは、先行機である仙台火力4号機導入のTIT1440℃級F形ガスタービンをベースに、他のガスタービン機種で実証された先進要素技術を取り入れることにより、高効率・高運用性を図ることを基本コンセプトとしている。（図3）

空気圧縮機は1440℃級F4形ガスタービンをベースに、従来NACA翼を使用していた中後方段動静翼にCDA翼を採用した。CDA翼はCFDを用いた最新設計技術で最適化した翼であり、NACA翼より薄肉化する等によって圧力損失の低減を図っている。

燃焼器は運用性に優れた空気冷却方式の1500℃級GAC形（G Air Cooledの略。なお、東新潟火力4号系列G1形採用燃焼器は蒸気冷却方式）を採用しており、燃焼性に大きく影響を与えるノズル、スワラについては、GAC形で実証しその後1600℃級J形でも実績を有する低NOx燃焼技術を反映している。また、尾筒の構造簡素化のため、従来附属のバイパス弁を廃止している。

タービンは前方段に1600℃級J形ガスタービンの技術（プロファイル、冷却構造）を適用することで優れた空力性能と冷却性能を確保するとともに、新設計となる後方段は、長翼化によるタービン効率の向上および排気損失の低減を図っている。また、タービン翼の冷却強化技術として、従来以上の遮熱効果および耐久性を有する先進TBCの翼表面への施工、従来フィルム冷却に比べより効果的な翼冷却が可能な高性能フィルム冷却の適用を各々設計に反映している。

以上のとおり、新仙台火力3号系列では、各形式のガスタービン技術を最適化することで信頼性と熱効率・運用性の向上を同時に達成した。

3.4 更なる熱効率向上への取組み

新仙台火力3号系列では開発初号機であるTIT1500℃級F形ガスタービンを、より信頼性の高い設備として運転開始するため、当社は三菱日立パワーシステムズ株式会社の協力を得ながら設計断面の各種試験に参画し、これまでプラント保守・運用で得た知見を活用しながら設備信頼性向上に対する技術検証を行ってきた。

その取組みにおいて、実機運転条件を模擬した燃焼器試験の結果から、タービン翼冷却構造の調整等によって、熱効率向上施策としてTITを当初計画より30℃上昇可能な見込みを得た。

更に、TIT30℃上昇による高温部品のメンテナンス性およびボトムギング側のヒートバランスを確実に評価した上で、試運転にてTITを当初計画より30℃上昇させて運転状態の確認を行った。

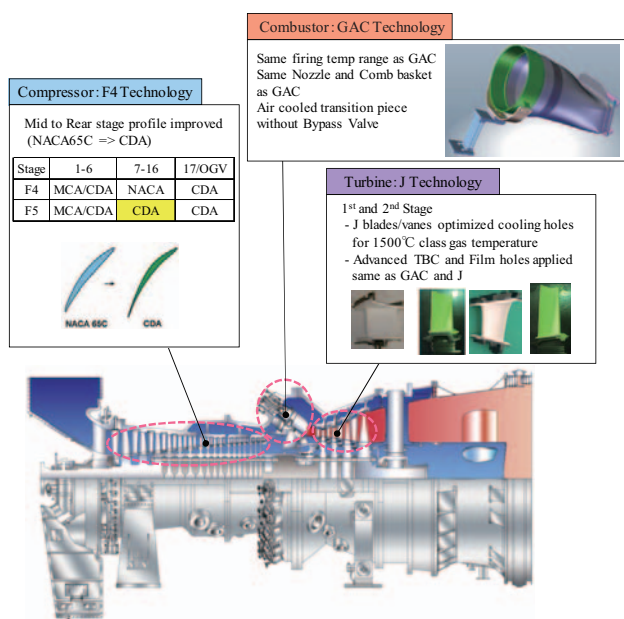


Fig. 3 TIT1500℃ class F series gas turbine

4. 新仙台火力3-1号試運転での検証結果

当社はこれまでも開発初号機を導入した際は、新技術の性能及び信頼性の検証を行った上で設計、製作を進め、最終試運転での特殊計測結果の確認まで新技術の一つ一つを検証してきた経緯がある。

3-1号試運転中では吸気流量、燃焼振動、タービンメタル温度、冷却空気量、チップクリアランス等、1500点程度の特殊計測を敷設し、性能及び信頼性の確認を実施した。

4.1 空気圧縮機

各IGV開度にて吸気流量を計測し、流量調整幅が計画値に一致していることを確認した。(図4)

また、旋回失速による圧力変動についても1段動翼チップ部の圧力変動を計測し、クライテリアに対して十分低いことを確認した。

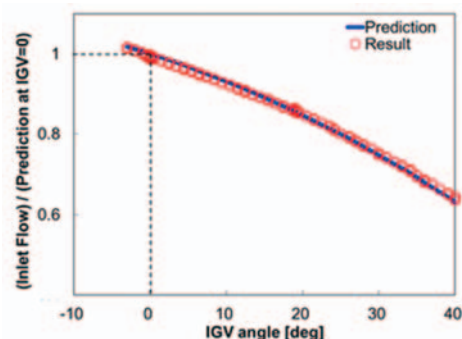


Fig. 4 Compressor inlet flow

4.2 燃焼器

燃焼振動、メタル温度、振動応力、NO_x等が、設計断面で確認した実圧試験の結果およびクライテリアに対して十分低いことを確認した。(図5)(図6)

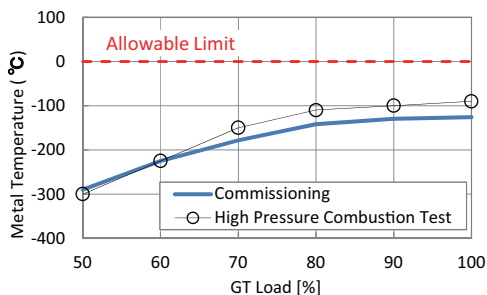


Fig. 5 Combustor metal temperature result

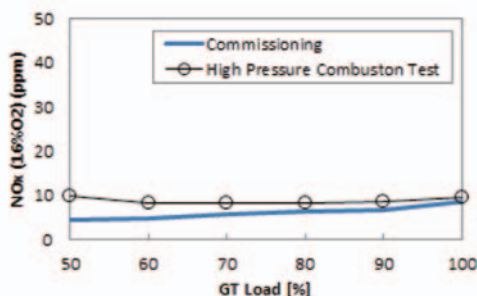


Fig. 6 NO_x emission result

4.3 タービン

タービン翼はメタル温度、ガス温度、圧力分布、冷却空気量の特殊計測を実施し、クライテリアに対して十分低いことを確認した。例としてタービン1段静翼はクライテリアに対して50℃以上低く、信頼性に問題がないことを確認した。(図7)

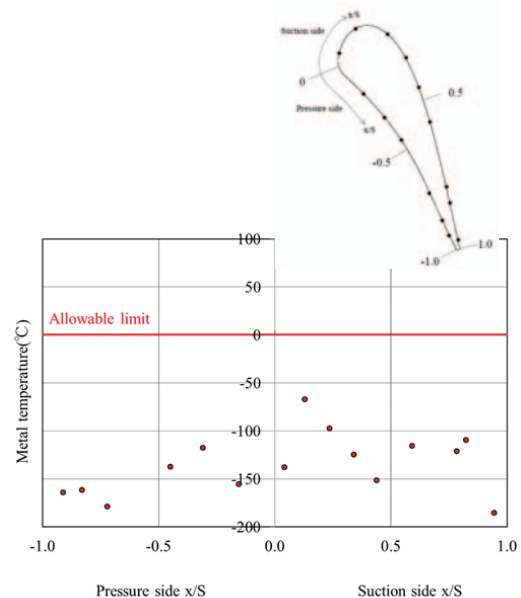


Fig. 7 Turbine row 1 vane metal temperature

4.4 熱効率

熱効率は、プラント性能試験にて世界最高水準となる60.3% (LHV) を達成した。これにより、従来型のガス火力と比較して年間の燃料費・二酸化炭素排出量ともに約3割程度削減が可能となる。

5. おわりに

当社におけるGTCCの役割は、高熱効率プラントとしてベースおよびミドル電源を担うと同時に、高い運用性(DSS, AFC, GF等)から、負荷調整プラントとしても活躍している。

当社は、今後の建設計画においても熱効率向上の取組みを推進していくことで、低炭素社会の実現に貢献するとともに、コスト競争力を確保しながらこれまでどおりの電力安定供給の達成を図っていく。

更には、電力システム改革や再エネ大量導入等の環境変化が火力電源に及ぼす影響を見据えて、GTCCの運用性向上(最低負荷低減)や高温部品の寿命延伸(起動・停止に対する耐性向上)について製造メーカーと共に技術開発に取り組んでいきたい。

参考文献

- (1) コンバインドサイクル発電(平成22年度改訂版), 社団法人 火力原子力発電技術協会
- (2) 安威俊重, 正田淳一郎, 伊藤栄作, J形ガスタービン技術を適用した高効率/高運用性ガスタービンM701F5形の開発, 三菱重工技報, Vol.51 No.1 (2014), p2-10

特集：ガスタービンの活躍の場

浜岡原子力発電所における ガスタービン発電機の導入

赤羽 孝之^{*1}
AKAHANE Takayuki杉谷 知昭^{*1}
SUGIYA Tomoakiキーワード：ガスタービン発電機，原子力発電所
Gas Turbine Generator, Nuclear Power Plant

1. はじめに

2011年3月11日の東日本大震災に起因した津波によって福島第一原子力発電所にて原子力災害が発生したことは周辺住民の方をはじめ国内外を問わず多くの方々に大きな社会的影響を与えた。この災害は原子力の仕事に従事している私たちにとって、痛恨の極みであり、二度と同じようなことが起きないようにと、気持ちを新たに、業務に取り組んでいる。

中部電力㈱浜岡原子力発電所では、安全性向上のため多くの工事を行っている。防波壁の設置、建屋への浸水防止対策、耐震補強、原子炉への注水機能の強化、フィルター付きベント設備の設置、電源の強化など多岐に渡る。ここでは、電源強化のために新たに設置したガスタービン発電機について紹介する。

2. ガスタービン発電機の採用の経緯

福島第一原子力発電所が事故に至った主要な要因の一つに電源喪失が挙げられている。原子力発電所は通常時は外部電源（送電線）から受電しているが、万一の停電に備え非常用のディーゼル発電機、蓄電池を発電所内に複数系統備えている。福島第一原子力発電所では、地震に起因したけい崩れで送電線が倒壊し外部電源からの給電が途絶えたが、ディーゼル発電機が起動し原子炉の停止及び冷却が行われていた。しかし、その後の津波による建屋内への浸水と屋外にあるディーゼル機関冷却のために使っている海水取水ポンプが津波によって冷却機能喪失したため、ディーゼル発電機も停止してしまった。外部電源とディーゼル発電機を失った後、蓄電池によって最低限の原子炉への注水を行っていたが、蓄電池にも容量の限界があり枯渇してしまった。このようにして全ての電源を失った原子力発電所は原子炉冷却のための注水ポンプ等を動かすことができず、炉心溶融や水素爆発へと至ってしまった。

なお、福島第一原子力発電所の原子炉全てが炉心溶融や水素爆発が起きたわけではなかった。ディーゼル発電機が生き残った6号機と、そこから電源融通を受けることができた5号機については、大きな事故を起こすことなく原子炉を冷温停止状態へと導くことができた。このことから、電源確保が原子力発電所の安全にとって極めて重要であることが分かる。

浜岡原子力発電所のディーゼル発電機本体が1階、補機が地下階に設置されていることから、ディーゼル機関の冷却に海水を利用していることから、津波に対して弱いと言える。そこで新たに緊急用の発電機を津波の影響を受けない高台（海拔40m）に設置することとした。この緊急用発電機への主な要求事項は以下の通りである。

- ・耐震性に優れていること。
- ・冷却水を使用しない設備であること。
- ・大容量であること。
- ・起動時間が短時間であること。

これらの条件を考慮すると大容量のディーゼル発電機は冷却水を要することから、緊急用発電機としては不向きである。そこで目を付けたのが当社の火力発電所の非常用電源として採用されているガスタービン発電機であった。

ガスタービン発電機は近年、一般産業向けの非常用電源として普及してきており、大容量（数千kW級）で起動時間が短い（消防法で要求される40秒以内）機器が製品化されている。機器の冷却についても、ガスタービン機関周辺の通風だけでよく、冷却水が不要であることから緊急用の発電機としての条件を満たしている。また冷却に水を使わないことで、付属設備が減り、設置場所の制約を受けにくく、工事費が安価などのメリットもある。

耐震性については、強度評価や加振試験等の実績はないものの、ガスタービン発電機は東日本大震災及びその余震による停電時の稼働率が99.7%⁽¹⁾という災害時の稼働実績を有している。これは、補機が少ない、地震波のような低周波の振動と共振するような部品が少ないためである。

原稿受付 2016年3月11日

*1 中部電力㈱浜岡原子力発電所
保修部 改良工事グループ
〒437-1695 御前崎市佐倉5561

以上のことから、浜岡原子力発電所では緊急用発電機としてガスタービン発電機を導入することとした(図1)。

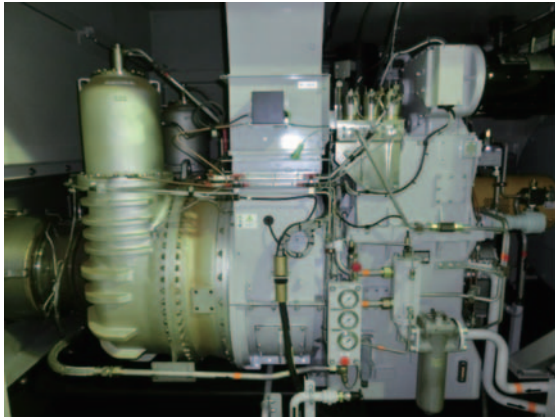


Fig. 1 The gas turbine generator installed in the Hamaoka Nuclear power plant.

3. ガスタービン発電機の運用について

浜岡原子力発電所では、南海トラフ巨大地震により、東日本大震災を上回る地震に襲われることを想定している。ガスタービン発電機は巨大地震に対する耐震性の知見がないことから、そのまま地面に設置するだけでは耐震性については十分であるとは言い難い。また、浜岡エリアは塩害が厳しいこともあり屋外に機器を置いておくことで錆により著しく劣化する。そこで、ガスタービン発電機を図2に示す免震建屋に設置することとした。



Fig. 2 The seismic isolated building in which the gas turbine generators are installed.

図3に建屋地下部に取り付けた免震装置の一部を示すが、これらの装置で免震建屋の揺れを地上面の半分程度にまで低減させることができ、これをもって、ガスタービン発電機の耐震性を担保することとした。



Fig. 3 The seismic isolation systems at the basement of the building.

図4に浜岡原子力発電所におけるガスタービン発電機から原子炉冷却に必要な機器への給電の構成を示す。

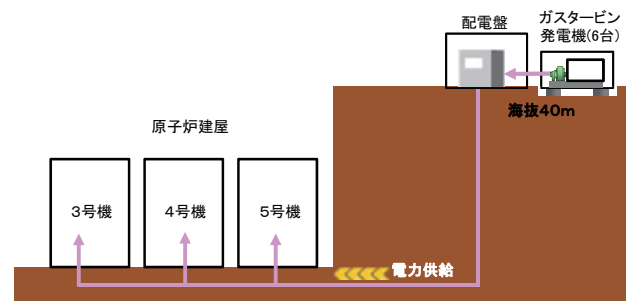


Fig. 4 The electric circuit from the gas turbine generators to the reactor buildings.

浜岡原子力発電所には、運転終了した2基(1, 2号機)を除いて、3基(3, 4, 5号機)の発電所があり、ガスタービン発電機からの給電対象となるのは3基の発電所である。3基の発電所を安全な状態に保つために必要な発電容量を確保するだけでなく、2,000kWを超える大型ポンプの始動電流に対し過負荷トリップしないだけの容量を確保する必要がある。また、不慮のトラブルや点検等で使用不可能な発電機があった場合に備えて複数台の発電機を確保しておく必要もある。これらのことを考慮し、定格出力3,200kWのガスタービン発電機6台(合計19,200kW)を並列運転させて3基の発電所へ給電する構成とした。

ガスタービン発電機で発電された電気は一旦、当発電装置と同様に高台(海拔40m)に設置した配電盤へ送られ、6台の発電機を同期させる。この配電盤から地下埋設の電路を通して電気を必要としている発電所へ給電する。これらの一連の操作は発電所運転員が常駐している中央制御室から図5に示す制御盤にて遠隔操作が行えるようになっており、有事の際にはガスタービン発電機のある高台まで運転員が行く必要が無く、速やかな対応ができる。また6台の発電機の同期については自動並列が可能になっており、運転員の負担が小さくなるよう配慮している。

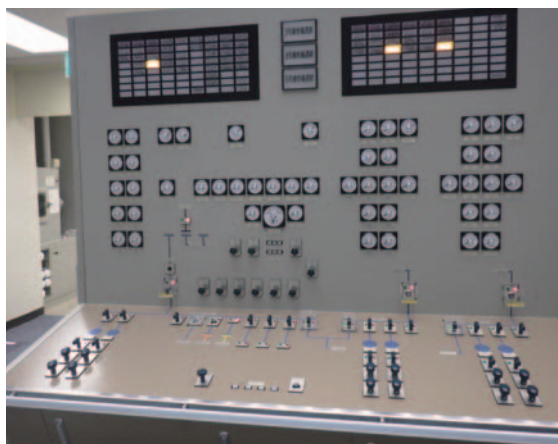


Fig. 5 The remote control panel in the main control room.

ガスタービンの燃料は軽油であるが図6に示す100kl地下タンクを16基（合計1,600kl）ガスタービン発電機建屋の横に併設しており、ガスタービン発電機6台が1週間連続で定格運転できるようにしている。1週間ガスタービン発電機で発電所への電源供給ができれば、外部電源の復旧や軽油の補充を期待することができ、原子炉を長期的に安全な状態に保つことができる。



Fig. 6 The fuel tank under the ground.

ここまで述べてきたことから、浜岡原子力発電所において、ガスタービン発電機が原子力安全上、必要不可欠な役割を担っていることが分かっていただけたと思う。この発電機を起動させるような機会が無いことが望ましいが、万一の時には発電所の安全に大きく貢献することになるであろう。

4. おわりに

原子力発電所では、一般産業と比べ信頼性・耐震性の要求が高く実績を重視することから、新技術の導入のハードルが高い。ガスタービン発電機も、一般産業において広く普及してきていたが、これまで国内の原子力発電所で導入された例は無かった。しかし、福島第一原子力発電所の事故以降、各地の原子力発電所でも導入されてきている。今後、原子力分野からのガスタービン発電機の需要は高まっていくことが予想される。

5. 参考文献

- (1) 日本ガスタービン学会，調査委員会報告書「東日本大震災におけるガスタービン設備の信頼性の調査研究結果」，(2012年6月)，p10

特集：ガスタービンの活躍の場

ガスタービン自家発電設備の活躍の場 (日本ガスタービンユーザー会事例)

寺澤 秀彰^{*1}
TERASAWA Hideaki

キーワード：産業用ガスタービン，自家発電設備ユーザー，運用事例

Industrial Gas Turbines, Power Generation for Industrial Users, Usage Experience

1. はじめに

『ガスタービンユーザーが相互に技術情報交流することにより，自社のガスタービンの運用技術の向上と会員の技術の向上を図る』と宣言し，1991年に日本ガスタービンユーザー会が発足した⁽¹⁾。現会員50事業所（累計入会事業者数93）から構成される本会はガスタービン自家用発電設備の信頼性向上と経済性向上を両立させるべく，ユーザーおよびメーカーとの交流を進めることで我が国の自家発電設備の運用技術の向上に大きく寄与してきたものと自負している。

特集号『ガスタービンの活躍の場』を発行するにあたり，日本ガスタービンユーザー会会員の事例を基に，産業向け自家発電設備のガスタービンの活躍について紹介したい。

2. 日本ガスタービンユーザー会会員のガスタービン活用事例

日本ガスタービンユーザー会の2016年幹事会社は会長：富士フイルム，副会長：JXエネルギー，事務局長：東京ガス，代表幹事：住友化学，幹事：東燃化学，旭化成ケミカルズ，出光興産，富士石油，太陽石油の9社にて運営されている。幹事会を構成する会社から分かるよ

うに，会員の多くは化学コンビナートや大規模化学工場，エネルギーセンター等である。

以下に日本ガスタービンユーザー会に参画するガスタービン自家発電設備の代表的な事例を業種別に紹介を行う。各事例のガスタービン自家発電設備の仕様概要については表1に示す。

2.1 石油製造工場事例

石油製造工場内に設置されているガスタービンは生産設備から発生する副生ガスや重油等の複数の燃料を使用する（図1参照）。ガスタービン廃熱を回収するための廃熱ボイラ（以下WHB）が設置されるが，工場内の熱需要を調節するためダクトバーナーを設けて蒸気発生量を増加させるシステムを採用することが多い。発生した蒸気は工場内の高圧～低圧蒸気ラインへ送られるが，多くの場合，蒸気ライン間を結ぶ背圧蒸気タービンや復水タービンを用いる，産業用コンパインドの形式が採用される。

2.2で紹介する化学コンビナート事例を含め，コンビナートでは工場内の製造プロセスで使用する蒸気についてWHBが大きく寄与するため，WHBの停止は，コンビナートの製造プロセスの稼動に大きなダメージを与えることになる。

Table 1 The Specification of Power Generation for Industrial Gas Turbine Users

サイト	石油製造工場事例		化学コンビナート事例								化学工場事例			地域冷暖房センター事例	
	1号	2号	事例A	事例B	事例C	事例D	事例E	事例F	事例G	事例H	事例I	事例J	事例K	事例L	事例M
発電所	1号	2号	1号	1号	2号	1号	2号	1号	2号	1号	2号	3号	1号	1号	2号
原動機メーカー	三井造船	MHPS	MHPS	MHPS	GE	MHPS	MHPS	MHPS	MHPS	Siemens	Rolls-Royce	川崎重工業	MHPS	Rolls-Royce	Rolls-Royce
GT仕様	発電出力 [kW]	8,800	16,100	38,000	38,000(5°C)	36,700(5°C)	18,000	37,200	40,000	7,100	6,400	7,700	16,000	4,500	4,000
[15°C]	燃料	副生ガス/A重油	LPG/A重油	LPG+副生ガス	副生ガス	副生ガス	副生ガス/都市ガス	ブタン、メタン	ブタン	都市ガス	都市ガス	都市ガス	都市ガス	都市ガス	都市ガス
	蒸気噴射 [有無]	有	有	有	有	有	有	有	有	有	有	有	有	有	有
	最大蒸気噴射量 [t/h]	6.0	6.4	28.0	27	21	14.0	無	17	6.2	9.8	無	13	2	1
	追焚きバーナー [有無]	有	無	有	有	無	有	有(分解炉)	有	有	有	無	有	無	無
	廃熱ボイラ蒸気発生量 [t/h]	30	30	110	140	65	50	275	240	23	13	20	13	11	7
	自立運転 [有無]	無	無	有	有	有	無	有	有	有	有	有	有	有	有
	吸気冷却 [有無]	有	有	有	有	無	無	有	有	有	有	有	無	無	無
	点検周期 [年]	2年	2年	2年	2年	2年	2年	2年	2年	1年	1年	1年	2年	1年	1年
	運用開始	1993	1998	1993	1988	1994	1993	1985	1992	1996	1999	2013	1991	1994	1990

原稿受付 2016年3月17日

*1 日本ガスタービンユーザー会 事務局長
東京ガス(株) ソリューション技術部
〒105-8527 港区海岸1-5-20

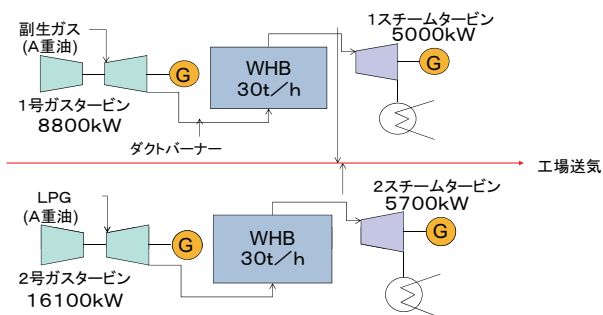


Fig. 1 Case of Oil Production Plant

従って、ガスタービンの計画外停止を回避するために設備・電装品の冗長化を行うが、万一ガスタービンが停止してもWHBに装備された押し込み送風機（FDF）が燃焼用空気をバックアップし、蒸気の供給を継続できるシステムとなっている。

2.2 化学コンビナート事例A, B, C

化学コンビナート内に設置されるガスタービンは、ナフサ由来のLPG（C3、C4、C5）とオフガス（13AベースのC1）を燃料とすることが一般的であり、エチレン装置をベースに所内で完結される燃料バランスとなっている。WHBを含むボイラ群は、背圧タービンを介してプラント内の高圧～低圧蒸気ラインにつながっており、熱バランスを最適化するガスタービン及びボイラ・

蒸気タービン発電（BTG）運用を行ってきた（図2、3、4参照）。従来、復水タービンの稼働を極力抑える運用を行ってきたが、2014年下期以降の原油安に伴い、電力会社から購入する電力よりも自家発電費が勝っているため、逆潮しない程度まで燃料を使って発電を行う運用へ移行している。

米国の原油輸出再開を受け、BCP（Business Continuity Planning）だけではなく、原油安が継続する限り採算性からもガスタービン産業用コンバインドへの期待は大きい。

2.3 化学コンビナート事例D

化学コンビナートの中核を形成するエチレンセンターでもガスタービンが活躍している。エチレン分解炉にガスタービンの排ガスを直接投入し、助燃バーナーによる熱を加えることでエチレンの分解を行う手法である（図5、6参照）。過去のエチレン分解炉の燃焼用空気は、FDF+誘引送風機（IDF）の炉内圧制御と、その排ガスを再導入し省エネと環境対策を実施してきた。

ガスタービンの排ガスを利用したシステムは、大容量の燃焼排ガスを排出するガスタービンの特徴を活かしたもので、ガスタービンの排ガス直接利用の省エネルギー技術と言える。この場合においても、ガスタービンの不慮の停止に備え、FDFの危急起動バックアップシステムがコンビナートの安定運転を支えている。

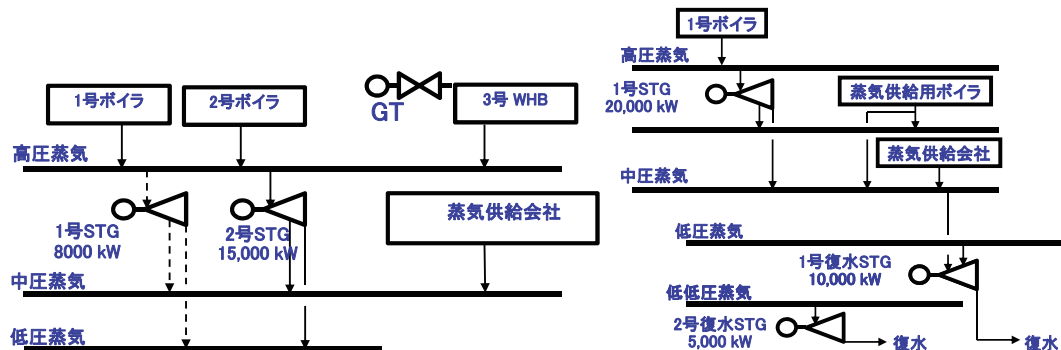


Fig. 2 Case A of Industrial Complex

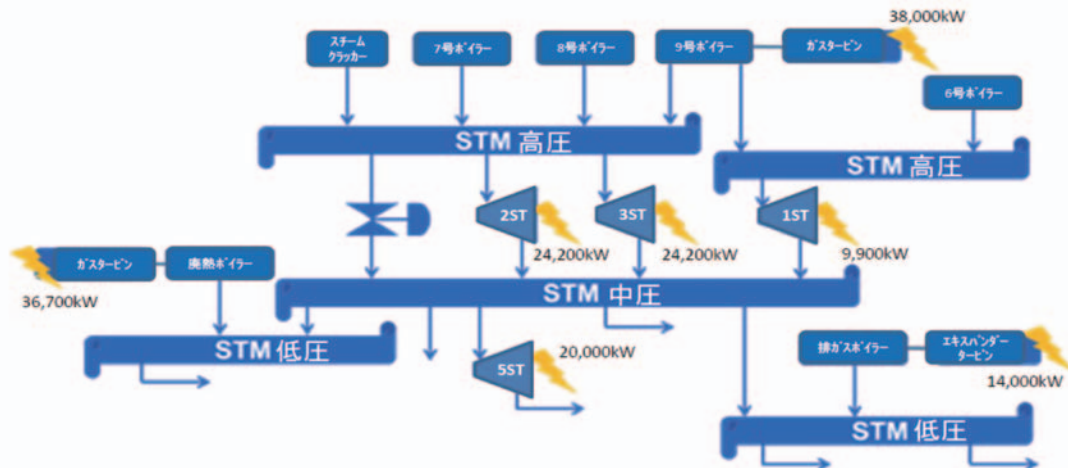


Fig. 3 Case B of Industrial Complex

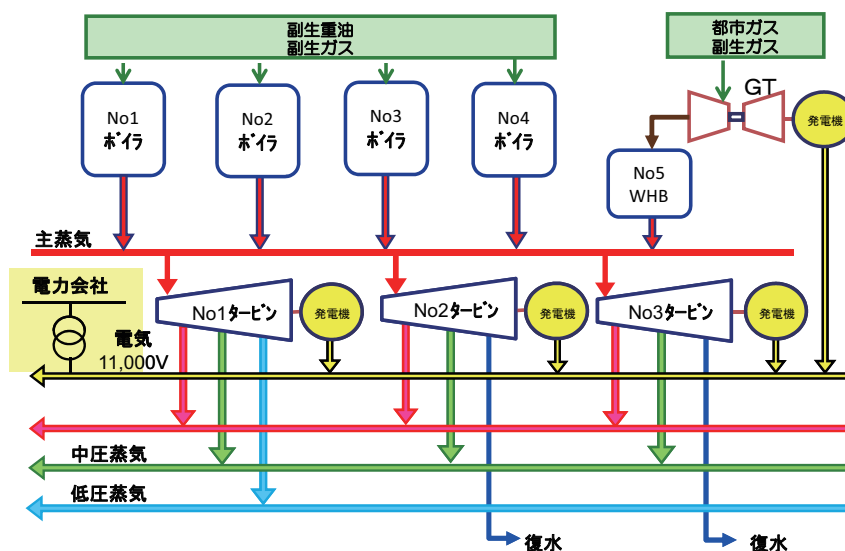


Fig. 4 Case C of Industrial Complex

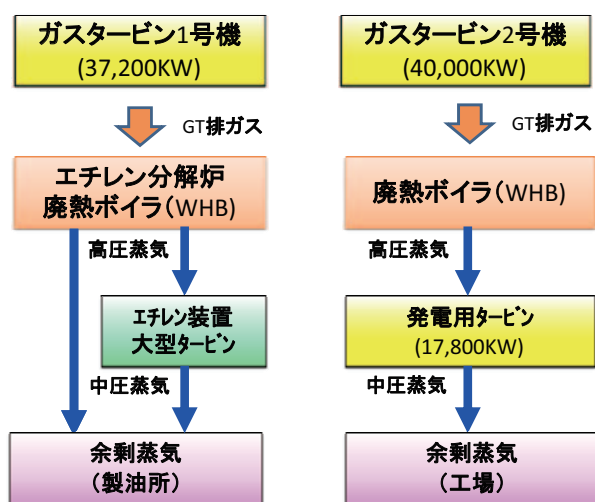


Fig. 5 Case D of Industrial Complex

2.4 化学工場事例A

工場内の電力、熱需要の変化に応じて複数の特長の異なるガスタービンを使い分けることで蒸気タービンを使用することなく、エネルギーの最適化を図るシステム事例である（図7参照）。2台のガスタービンは廃熱ボイラで発生した蒸気をガスタービンに噴射することで発電量を増やすことができるチェンサイクルを採用している。さらに、廃熱ボイラはダクトバーナーを設けているため、電力・熱の幅広い需要変化に対応することができる。1台のガスタービンは希薄予混合燃焼を採用しており、定格負荷での省エネルギー・環境負荷軽減に優れている。

2.5 化学工場事例B

多燃料（重油、都市ガス）、各種原動機（ガスタービン、ガスエンジン、復水・背圧蒸気タービン）の特長を活かして、工場のBCPを行いつつ、生産設備への熱（高圧、中圧、低圧）と電力供給の経済性の最適化を図って

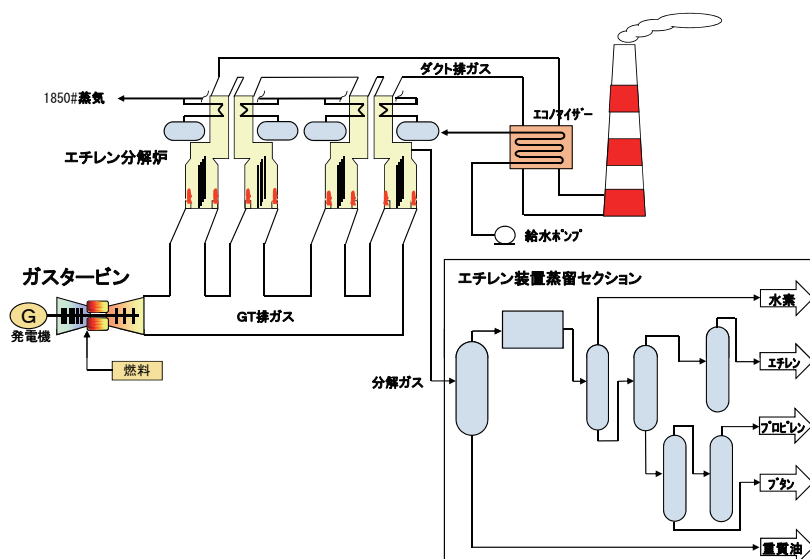


Fig. 6 Case D of Industrial Complex (Flow of Gas Turbine for Cracking)

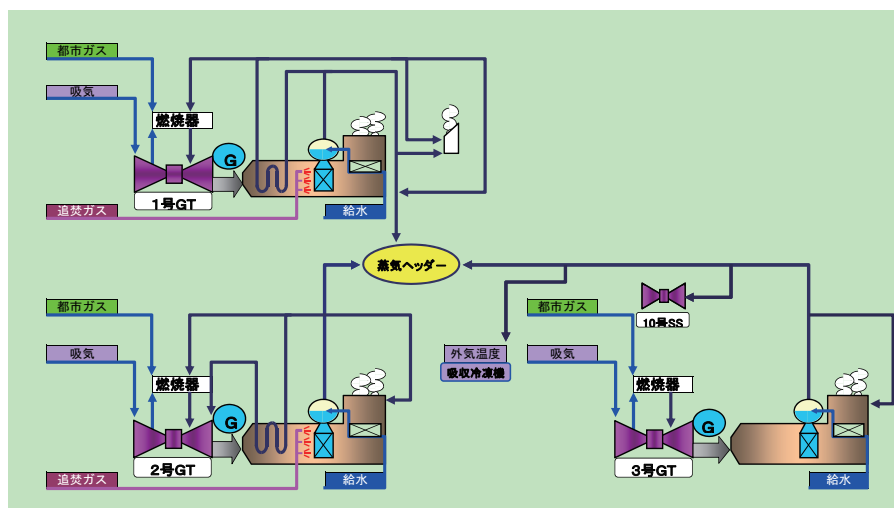


Fig. 7 Case A of Chemical Plant

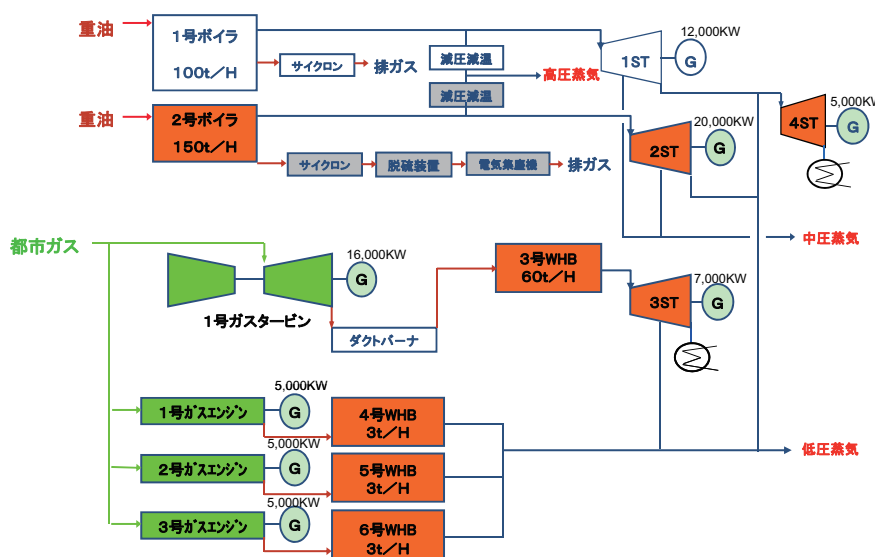


Fig. 8 Case B of Chemical Plant

いる（図8参照）。また、電力供給については他工場への自己託送を実施して、各工場の省コストを行うプロフィットセンターと位置付けられている。

2.6 地域冷暖房センター事例

地冷に設置されている2台のガスタービンの内、1台は地冷に隣接する高層ビルに電力を供給し、もう1台は行政庁舎に特定供給を行うことで、BCPに貢献している（図9参照）。ガスタービン廃熱については蒸気回収を行うとともに、蒸気駆動のターボ冷凍機や吸収冷凍機によって冷水を製造する。製造された蒸気、冷水は総延長8,000mにおよぶ地域配管によって各高層ビルへ熱供給を行なっている。

3. ガスタービンメーカー・技術者への要望など

3.1 求められるガスタービン自家発電設備像

代表的な業種別のガスタービン活用について前章で説明したとおり、産業向けの自家発電設備は構内の電力需要とプロセスへの廃熱供給を使命としており、工場プロ

セスの一翼をなす。工場の運用スタイルは業種によって異なるが、化学製品向けの工場の場合、2年間の連続操業が一般的である。機器の故障や送電供給不具合に伴う自家発電設備停止は生産調整を余儀なくされ、工場の生産性の低下に直結する。そのため、ユーザー会では会の発足当初から信頼性を向上させる仕様の普及に努力している^{(2),(3)}。また、ユーザーの多くは電力系統の不具合時には自家発電設備による構内重要負荷への単独供給を行うシステムが採用されている。このシステムは震災以降、BCPとして注目されており、災害時などで操業を継続するための切り札として位置づけられている。

自家発電設備は生産設備の動力源でもあり、効率の低い原動機では製品単価の上昇を招く。そのため、他業種にもまして、産業用ガスタービン自家発電設備は信頼性と経済性の両立が強く求められる。経済性にはランニングコストに直結する効率の他、高温部品の交換補修を含めた長期間のメンテナンスコスト、さらに短期間で定期

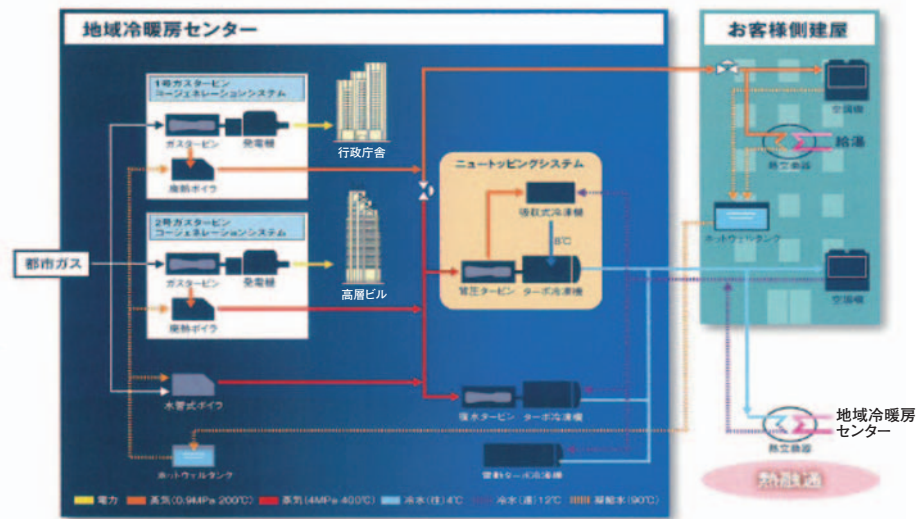


Fig. 9 Case of District Heating and Cooling Center

点検を進めるメンテナンス性や想定外の高温部品の損傷が見られた場合、補修などを短期間で行うためのメーカー体制や予備品の速やかな提供体制等、幅広い技術が要求される。

3.2 高効率ガスタービンの開発

学会誌1月号特集の『産業向け最新鋭自家発電用ガスタービン』に対して、ユーザーを代表して日本ガスタービンユーザー会より最新鋭自家発電設備向けのガスタービンについて抱負を巻頭言に記載させて頂いた⁽⁴⁾。CFD解析の高度化、DS翼や単結晶翼の採用により今後もタービン温度の高温化、高効率化が進められていくことを期待する。

3.3 信頼性向上のための活動

ガスタービン本体の信頼性はもちろんのこと、自家発電設備全体としての信頼性を維持することが重要である。ガスタービンメーカーには発電設備、廃熱回収機器などを含めた総合エンジニアリングが要求されている。そのため、ユーザーニーズを把握した上での仕様決め、定期点検の内容、老朽化対策など、ユーザーとの間の各種信頼性向上のための協議を継続することが重要である。

例えば、個々のユーザーの運転データ・点検履歴に基づく計画的な保全管理、監視データの傾向管理手法に基づく予防保全、老朽化に伴う部分更新計画や精密点検などの適切な提案が求められている。

また、ガスタービンの多くはICT (Information and Communication Technology) を駆使した監視システムによって綿密な運転管理が行われているため、運転データと経験に基づく知見を故障予知やCBM (Condition Based Maintenance) に活用し、更なる信頼性向上を図りたい。

3.4 環境負荷低減技術の開発

小型ガスタービンの市場では最新技術の希薄予混合を行う低NO_x燃焼器を搭載したガスタービンが国内の市場の過半数を占める状況になってきた。これは水・蒸気

噴射を使用することでの効率低下やランニングコスト上昇を嫌うことや空燃比制御を使用することにより部分負荷時の効率低下抑制が期待できるためである。数万kWクラスの産業向けガスタービンについても、今後は蒸気噴射によるNO_x低減方式から希薄予混合方式を採用するケースが増えてくるものと思われる。ただし、系統から切り離れた単独運転を行う場合、急負荷変動に対する追従性に関する信頼性など、さらなる技術開発が求められる。また、コンビナート内での回収蒸気の熱融通など、環境負荷を低減する技術の進展が望まれる。

3.5 経済性向上を念頭に置いた開発

定期点検コストの主要な費用はガスタービンの高温部品補修費や部品交換費用である。ガスタービンの高効率化に伴うタービン温度上昇によって、材料の高度化（部品材料の高額化）が予想される。ユーザー観点からガスタービン自家発電設備の経済性を評価する場合、初期投資、ランニングコスト、運用期間のメンテナンスコスト、そして不具合に伴う損失などを踏まえたトータルコストの最小化が図られるガスタービン自家発電設備が望ましい。

4. おわりに

第21回国連気候変動枠組み条約締結国会議 (COP21) にて2020年以降の地球温暖化防止の新たな枠組みとなる『パリ協定』が採択された。日本は30年時点で温暖化ガスの排出量を13年比で26%減らす目標を掲げている。従来にも増して、省エネルギー・低炭素社会実現のため、電気と熱の面的な利用を可能とする地産地消の分散型システムの開発が期待される。

東日本大震災以降、エネルギーセキュリティのニーズは高まっている。電力系統に万一の供給支障が発生した場合でも大規模工場内に構築されたエネルギーネットワークを利用して周辺エリアへのエネルギー供給を可能とするため、ガスタービン自家発電設備は中核的な役割

を発揮することが期待される

大規模工場内に構築されたエネルギーネットワークの代表例は石油精製・石油化学コンビナートに導入された自家発電設備であるが、コンビナート各社は、原油及び原料であるナフサの価格下落と取り巻く環境の変化が激しく、生き残りをかけた統廃合や再編等の選択肢を模索している。さらに、大規模工場稼働中のガスタービン設備の多くは、運開後20年を超えている設備も多く、老朽化による経済性や信頼性の低下懸念が顕在化しつつある。一方で、今年の電力の完全自由化により、既存インフラを生かして発電事業に参画を目指す石油化学会社も多数見られる。

日本ガスタービンユーザー会加盟の各社の進む道は益々多様化していくものと思われるが、ユーザーがガスタービン自家発電設備を運用するためのキーワードである経済性、省エネルギー性、環境保全性、BCP対応等を達成するためにも、ガスタービン自家発電設備の信頼性・耐久性に裏打ちされた運用技術の向上を今後も進めていきたい。

5. 引用文献

- (1) 池上作三, 金子清隆, 寺澤秀彰ほか, “自家発電設備用ガスタービンの進展と将来展望-日本ガスタービンユーザー会の20年-”, 日本ガスタービン学会誌, Vol.41, No.1 (2013), pp. 72-77
- (2) 金子清隆, 岩間秀司, 寺澤秀彰 “自家発電設備用ガスタービンの吸気系改善事例 (日本ガスタービンユーザー会)”, 日本ガスタービン学会誌, Vol.42, No.3 (2014), pp. 22-29
- (3) 岩間秀司, 金子清隆, 寺澤秀彰 “ガスタービン自家発電設備用の改善事例 (日本ガスタービンユーザー会)”, 日本ガスタービン学会誌, Vol.43, No.5 (2015), pp. 24-30
- (4) 岩間秀司, “巻頭言『産業向け最新鋭自家発電用ガスタービン』特集号に寄せて”, 日本ガスタービン学会誌, Vol.44, No.1 (2016), pp. 1

特集：ガスタービンの活躍の場

虎ノ門ヒルズの発電システムについて —災害時の事業継続計画(BCP)—

大塚 幸夫^{*1}
OTSUKA Yukio

キーワード：ガスタービン，デュアルフューエル，事業継続計画
Gas Turbine, Dual Fuel, Business Continuity Plan

1. はじめに

虎ノ門ヒルズは、東京都港区虎ノ門に東京都が施行する第二種市街地再開発事業として2011年4月に着工し2014年6月に開業した大規模複合ビルである(図1)。

当社は、都市開発ディベロッパーとしての経験とノウハウを活かし、施行者(東京都)と権利者とのパートナーとして、2002年から再開発計画について助言・提案等に関わり、2009年からは「特定建築者」として、再開発施設の建設と保留床の取得および運営を推進している。

2. 計画概要

敷地面積：17,068.95m²

延床面積：244,360.27m²

階数：地上52階，地下5階，塔屋1階

高さ：247m(最高高さ255.5m)

主要用途：事務所，店舗，住宅，ホテル，
カンファレンス施設，駐車場



Fig. 1 Appearance of Toranomon Hills

3. ガスタービン発電機設備

3.1 導入の経緯

当初は、液体燃料(特A重油)で稼働するガスタービン発電機を非常用発電機として設置する予定であった。この発電機は商用系統が停電した際に防災設備や保安用負荷へ電源供給を行い、最大72時間の連続運転が可能なオイルタンクを設置する計画としていた。

しかし、虎ノ門ヒルズ着工の直前に発生した東日本大震災を要因とした原子力発電所事故により電力の安定的な供給への不安が高まってきた。

そこで当社も事業継続性(Business Continuity Plan: BCP)の必要性から計画の見直しを行うこととした。液体燃料の場合、燃料の調達にはタンクローリーによる陸送が主な手段であるが、災害時には交通網の寸断や製油施設の被災等により補充が出来ない恐れがあるため、より安定的・継続的に供給が可能なガス燃料(都市ガス)を主燃料とするデュアルフューエル型ガスタービン発電機を導入することとした。

3.2 デュアルフューエル型ガスタービン発電機

虎ノ門ヒルズには、地下5階に仕様は同じだが目的の異なる2台のデュアルフューエル型ガスタービン発電機を非常用発電機として設置している。非常用発電システムの概念図を図2に示す。

1台目の「非常用発電機」は、消防法に基づく非常電源用および建築基準法に基づく予備電源用として設置するもので、商用系統が停電状態で且つ火災が発生した場合に、各法規に基づく防災設備への電源供給を行う。また、火災が発生していない場合には、ビルの稼働に必要な最低限の負荷への電源供給を行う。

2台目の「オフィスシェア用発電機」は、オフィステナント専用部のバックアップ電源用として設置している。これは商用系統が停電した際にテナントオフィス内へ電源を供給するために設置するもので、テナントからの要望によりオプション対応にて電源の供給を行う。

ガスタービンエンジンと発電機の仕様を次に示す。

原稿受付 2016年3月16日

*1 森ビル株式会社 設計統括部設備設計部 電気設計グループ
〒106-6155 港区六本木6-10-1

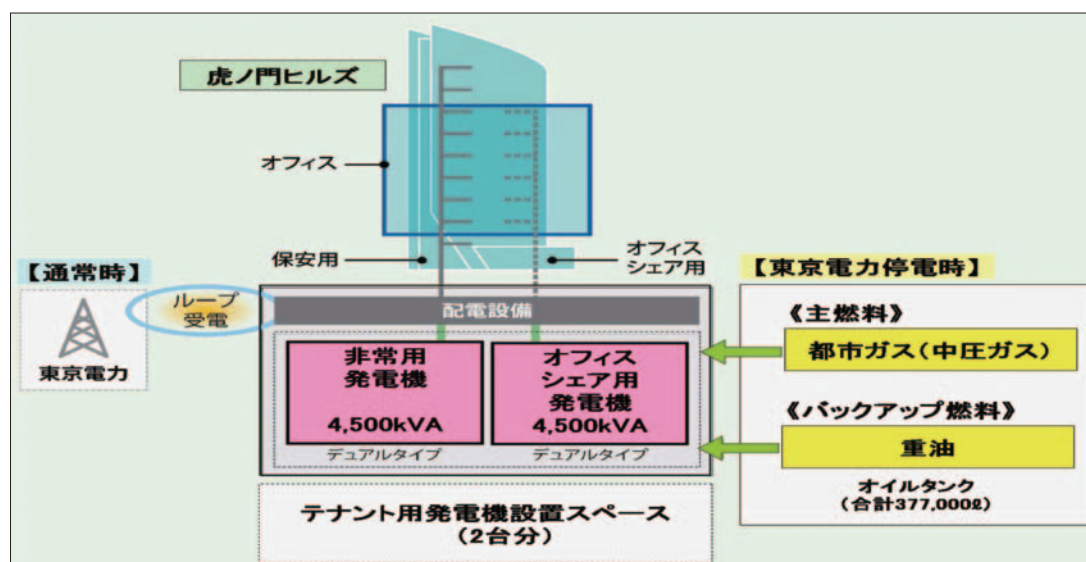


Fig. 2 Conceptual Diagram of Generation System in Emergency Case

1) ガスタービンエンジン

形 式	単純開放サイクル 1 軸式
構 造	遠心 2 段圧縮機 単筒缶形燃焼器 4 段軸流タービン 減速装置
出 力	3,898kW
燃 料	都市ガス (1,380Nm ³ /h) 特A重油 (1,500L/h)

2) 発電機

形 式	ブラシレス同期発電機
定格容量	4,500kVA
定格電圧	3φ 3W6,600V
周 波 数	50Hz

今回導入したデュアルフューエル型ガスタービン発電機は、ガス燃料（都市ガス）と液体燃料（建物内備蓄の特A重油）の2種類にて運転が可能な機種である（図3、図4）。

商用系統で停電が発生した際は、最初に液体燃料にて

発電機が始動し、40秒以内に発電機側の電圧が確立され、負荷への電力供給が開始される。その後、燃料ガス圧縮機が起動し、ガス圧力が昇圧した後に、ガス燃料への燃料切替が開始され、20秒前後でガス燃料での運転へと移行するシステムである。

ガス会社からは、阪神・淡路大震災や東日本大震災のような大きな地震にも十分耐えられる耐震性に優れた中圧ガスにて供給を受けている。



Fig. 4 Dual Fuel Gas Turbine Generator



Fig. 3 Dual Fuel Gas Turbine Generator

3.3 ガス圧縮機

ガス会社から供給される中圧ガスをガスタービン発電機の燃料として必要なガス圧まで昇圧するためにガス圧縮機を設置している（図5）。なお、ガス圧縮機は液体燃料で発電された電力の一部を所内動力として用いて起動される。

形 式	単段油冷スクリュウ圧縮機
取扱ガス	都市ガス13A
流 量	1,380Nm ³ /h
吸入温度	15℃ (5℃ ~ 25℃)
吸入圧力	0.1 ~ 0.3MPaG
吐出圧力	1.6MPaG



Fig. 5 Gas Compressor

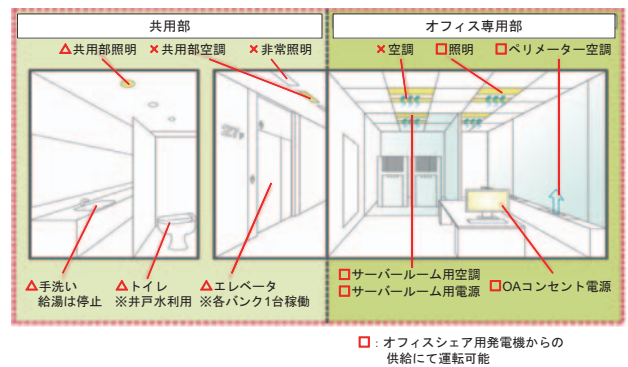


Fig. 7 Image of Business Continuity Plan

3.3 災害時の事業継続計画 (BCP)

震災等で各種インフラの供給が途絶え、復旧に長時間を要する事態が発生したことを想定した事業継続計画を策定するに当たり、電力供給は最も重要である。

今回設置したデュアルフューエル型ガスタービン発電機はガス燃料（都市ガス）の供給が途絶えない限り、約15日間の連続運転が可能であり、ガスタービンエンジンの潤滑油を補充することで、更に約15日間の連続運転が可能である。

また、建物内には液体燃料（特A重油）の備蓄が出来るオイルタンクがあり、非常用発電機用として150kL、オフィスシェア用発電機用として94kLの専用オイルタンク（図6）を有しており、ガス燃料の供給が停止した場合でも液体燃料にてそれぞれ、約100時間、約63時間の連続運転が可能である。



Fig. 6 Fuel Tank

非常用発電機からは、共用エリアの一部の照明や便所、エレベーター等に電源を供給しており、災害時の事業の継続を推進するとともに、当社が大規模物件で取り組んでいる災害時帰宅困難者の受け入れである「逃げ込める街」に対しても積極的に対応している。

また、オフィスシェア用発電機では、オフィス専用部内のサーバー等への電源供給のニーズを想定しており、2014年12月時点で発電機定格容量の20%強の容量を複数のテナントへ供給可能となっている。図7にBCP対応のイメージ図を示す。

4. 運用状況

4.1 これまでの稼働状況

竣工から現在までは商用系統の停電が発生していないことから、非常用発電機、オフィスシェア用発電機ともに稼働したことはないが、商用停電時に発電機が正常に稼働するように試運転を毎月実施している。

4.2 液体燃料の補充

上記4.1で示すとおり、発電機は試運転時のみの稼働であるため、備蓄している液体燃料の減少はほとんどない状態だが、油量計の監視により一定量以上の液体燃料が減少した場合に補充する計画としている。

4.3 騒音と排熱

発電機およびガス圧縮機は、地下5階の機械室階に設置されているため、稼働時の騒音や振動が共用エリアや店舗、オフィスに影響することはない。

発電機起動中の排気ガスは、600℃前後の高温となるため、煙突の廻りには関係者以外が容易に立ち入ることが出来ないように施錠等により徹底管理をしている。

5. まとめ

ガスタービン発電機の導入は、虎ノ門ヒルズが2例目となるが、今後は大規模物件での採用が増えてくることが予想される。事業継続計画及び当社が取り組んでいる「逃げ込める街」の観点から、長時間の連続運転が可能なデュアルフューエル型ガスタービン発電機の導入が基準となるだろう。

国や自治体では近年、エネルギーの災害対応力やエネルギー自給力の強化、エネルギー消費量の削減や二次エネルギー（再生可能エネルギー）の積極的な活用等の政策が掲げられているため、コージェネレーションシステムの導入や地域冷暖房の活用等も視野に入れた計画を推進していきたい。

特集：ガスタービンの活躍の場

調布航空宇宙センターにおける大型試験設備稼働時の ガスタービン発電設備を用いた電力ピークカット運用

田口 博晃^{*1}

TAGUCHI Hiroaki

キーワード：ガスタービン，ピークカット
Gas Turbine, Peak Cut

1. はじめに

調布航空宇宙センター（以下、「本所」という。）では、国の方針や社会ニーズに基づき、「航空環境」、「航空安全」、「新分野創造」の3つの研究開発プログラムを推進するとともに、これらを支える基礎的・基盤的な航空宇宙技術の研究を実施している。本稿では、基盤的技術を支える共通インフラのうち、安定且つ信頼性の高い電力を供給するために導入したガスタービンを用いた常用自家発電設備について紹介する。

2. ガスタービンの導入の背景・経緯

本所においては、航空機の空力特性を把握するための我が国最大の風洞設備である遷音速（マッハ数1前後）風洞、ジェットエンジンの環状燃焼器の燃焼・排気特性等を評価するための環状燃焼試験設備（アニユラ）を始めとした大型試験設備が数多く配置されている。そのため契約電力27MWに対し設備同時稼働時電力が35MW以上となる場合があり、主にピークカットを目的としてガスタービン発電設備を導入した。

なお、契約電力の設定に際しては不足する電力容量全てを発電設備にて補填する（ハード対策）ものではなく、試験設備運用者が一堂に会して、過去の試験設備毎の最大デマンドに基づき試験日程・時間帯を調整する会議（電力調整会議）を行い平準化・ピークシフトに努める運用上の対策（ソフト対策）を併せて最適化を図ることとした。現在、ハードとソフトを融合させた統合システムの構築を目指しシステム要求をまとめるとともに、調整幅を最小限とするため運用手順の確立に努めている。

3. エネルギーコントロール棟(ECB)、特高受変電設備

ECBでは当該センター（本所及び飛行場分室）のインフラを一元的に監視・制御している施設である。屋外に特高受変電設備を有しており、受電電圧66kV 1回線を受電し、4台の特高変圧器で所定の電圧に降圧し、31

箇所の二次変電所に配電している。平成26年度に維持・運用の更なる効率化・最適化のため、3km弱離れた場所に立地している飛行場分室の特高受変電設備、空調設備（一般空調のみ）を遠隔にて監視・制御するシステムを構築した。また、更なる電力安定化・信頼性向上のため2回線受電を含め特高設備全体改修計画も併せて策定しているところである。

4. 自家発電設備の概要

4.1 一般仕様

- (1)自家発電装置は、年間8,000時間以上の運転が可能な常用発電装置とした。
- (2)燃料は13A都市ガス（中圧）を使用。
- (3)発電装置は、商用電源が生きている状態で使用し、商用電源と系統連系（並列運転）を行う（商用電源停電時は運転不可）。
- (4)発電装置の構造は、屋外キュービクル式とし(社)日本内燃力発電設備協会規格 防災用自家発電装置技術基準 NEGA C 311に準拠。

4.2 原動機（ガスタービン機関）（図1）

形式：単純開放サイクル一軸式

川崎重工業(株) M1A-13D×2 (PUC30D)

出力：2,900kW（吸気温度10℃）

回転速度：22,000min⁻¹ / 1,500min⁻¹（出力軸）

使用燃料：13A都市ガス（中圧B：0.1～0.17MPaにて供給される）

燃料消費量：1,087m³（normal）/h以下（裕度+5%以内）
（燃料低位発熱量：41.60MJ/m³N）

始動方式：空気式（エアモータ）

性能：過回転耐力 105% 1分

速度変化率 3±0.5%（スピードドループ）

速度変動率 100%負荷遮断：瞬時4%以内 復帰時間 8秒以内、100%負荷投入：瞬時4%以内 復帰時間 8秒以内

シャーピン強度 発電機定格トルクの3.5倍以上

NOx（窒素酸化物）低減方法：水噴射（東京都環境確保条例 第1種地域（調布市）：NOx規制値105ppm（O₂=0%換算）

原稿受付 2016年3月24日

*1 国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構
〒182-8522 調布市深大寺東町7-44-1



Fig. 1 Gas Turbine Engine



Fig. 2 Starting Air Compressor

4.3 同期発電機

名称：横軸回転界磁形三相同期発電機

保護方式：保護形 (IP20)

励磁方式：ブラシレス励磁方式

定格出力：3,625kVA (2,900kW)

定格電圧：3,300V

定格電流：634A

周波数：50Hz 定格回転速度：1,500min⁻¹

力率：0.8 (遅れ)

性能：過回転耐力 120% 2分

過電流耐力 150% 30秒

過負荷耐力 110% 30分

総合電圧変動率 ±2.5%以内

最大電圧降下率 -30%以内

(100%インピーダンスの投入時)

2秒以内 (-3%以内に復帰する時間)

波形くさ率 10%以下

逆相電流耐量 15%

4.4 始動装置

始動用空気圧縮機 (図2)

形式：電動機駆動空冷式

電動機：3φ 415V 5.5kW

始動用空気槽

形式：鋼板製溶接式立型

容量：7m³

始動弁ユニット

形式：架台弁付ユニット式

構成：調圧弁、電磁弁、減圧弁、三方弁

4.5 補機付属装置

計装用空気圧縮機

純水装置 (図3)

純水製造装置：RO式 (原水タンク、原水ポンプ、前処理ろ過装置、軟水装置、ROポンプ、RO膜、カートリッジ純水器)

純水タンク：5m³ (フロートスイッチ付)

水噴射装置：燃料比例水噴射方式

純水加圧ポンプ：電動機駆動 3φ AC415V 5.5kW



Fig. 3 Water Demineralizer

排気消音器、吸気消音器、換気消音器

形式：屋外鋼板製 吸音式

仕様：排気、吸気、換気出口1mで75dB以下

ガス圧縮機 (図4)

形式：電動機駆動空冷式

電動機：3φ AC415V 160kW

吸込圧力：0.098MPa

吐出圧力：1.372MPa

キュービクル：騒音レベル：75dB (A) 以下

(1m離れた周囲6点の算術平均)

附属装置：ガス圧縮機換気ファン、

ガス圧縮機オイルクーラファン、ガス圧縮機油ポンプ



Fig. 4 Gas Compressor

ESVユニット

形式：ユニット式

構成：緊急遮断弁

ガス配管ユニット

形式：ユニット式

構成：緊急開放弁，安全遮断弁，ガス流量計

4.6 ガスタービンの導入時期

平成18年 非常用自家発電（500kW）設備設置

平成18年 常用自家発電（2,900kW）設備設置

4.7 ガスタービンの選定理由

本所は，周辺を閑静な住宅地（対象設備から最も近い住宅まで約100m）に囲まれており，都条例により騒音・振動及び大気汚染等に関する規制を受けるため，計画段階よりディーゼル機関は対象外とした。

また，ガスタービンはCO₂低減対策として排ガスがクリーンであること，希薄予混合燃焼により低いNO_x排出であること，ディーゼル機関と比較して低騒音，低振動となる設備構成が可能となることから選定した。なお，運用時においても測定・監視及び評価を行い，選定の妥当性の確認を実施した。

5. 運用計画と実績状況

5.1 運転概要

- (1)契約電力の超過が見込まれる試験日において，試験開始前に手動起動（図5）。
- (2)燃料は13A都市ガス（中圧）を使用し，ガス圧縮機にて高圧に圧縮しタービン機関に燃料として供給，発電装置内の2基のガスタービン機関は各主軸減速機で速度を調整し，機械的に接続された1台の同機発電機の主軸を回転させて発電。

(3)発電電力は3φ 3線3.3KV 2,900kWで同期検定器にて（52G）遮断器を自動で同期投入することにより1系ベトンパック（全天候型配電装置）の（52FD1）遮断器を経由して商用と系統連系。連系後自動的に発電電力を定格値2,900kWまで上げていき，各設備の負荷状況に応じて1系から4系までの負荷に電力供給して負荷のバックアップ運転を実施。（商用電源停電時は運転不可）

(4)運転中は，東京都へ届け出た窒素酸化物（NO_x）濃度の自主管理値（25ppm（O₂=16%換算））を満足させるために設置した純水装置の稼働を確認するとともに，排出ガスのサンプルを分析装置にて計測し，基準値以下であることを監視。

5.2 実績状況

過去3年間（平成25年度～平成27年度）の運転実績を表1に示す。

Table 1 Operation Results

	FY25	FY26	FY27
起動回数 (回)	15	11	16
稼働時間 (h)	32.42	22.27	23.04
発電電力量 (kWh)	73,600	49,000	38,500
ガス使用量 (m ³)	33,317	22,425	23,206

稼働時間としては設計仕様である8,000Hを大幅に下回っている。これは契約電力に対して実際の最大デマンドに余裕があるためピークカット運転を実施しなかったためである。風洞設備，エンジン燃焼試験設備は試験コンフィグレーションや当日の試験状況により使用する電力が大きく変動し，事前に予測することは困難である。

また，本所は東京都環境条例に伴うCO₂総量排出削減義務（15%）があることから運転時間を最小限とする運用を行っていることも影響している。

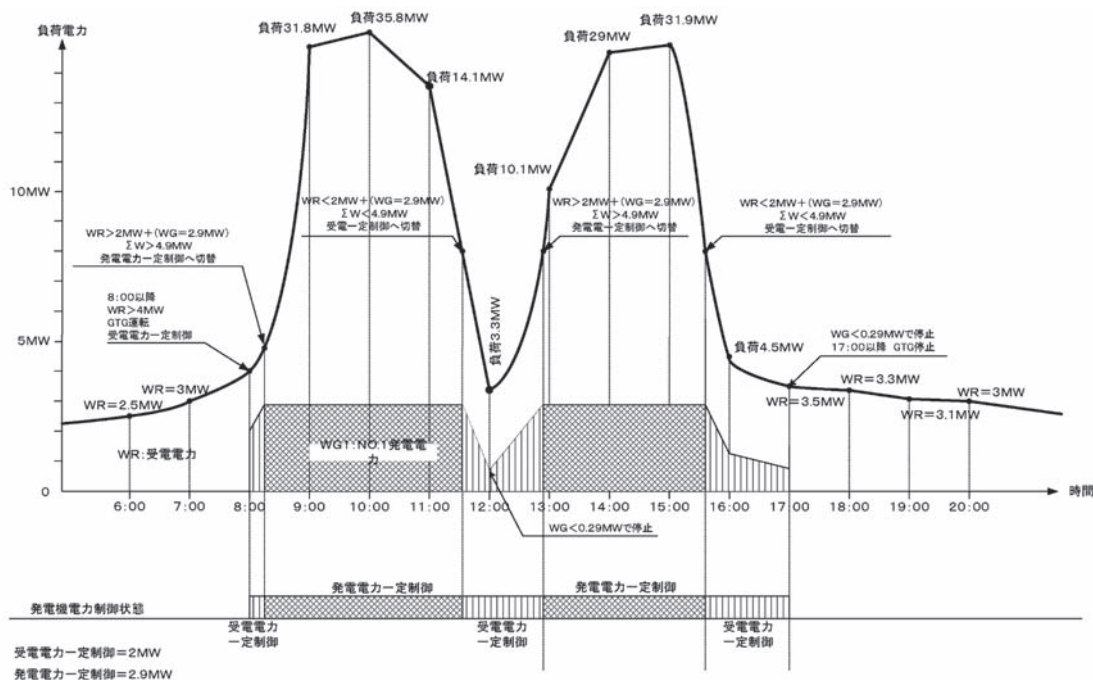


Fig. 5 Sample Image at the time of operating gas turbine generation equipment

6. 維持・運用等

6.1 維持・運用

常用発電機の運用開始して10年が経過したところ。ピークカット用としてのみの使用実態であることから運転時間は多くないが、圧縮機等のオーバーホールの時期を迎えている。

中長期的な視点に基づく点検計画表を作成し、概ね計画通り点検整備を実施している。さらなる維持コストの削減、平準化のため、毎年運用方法を見直すとともに、点検整備実績を適切に評価・検証し設備の延命に努めている。

6.2 不具合事例

軽故障が年数回程度発生するが、大きなトラブルは発生していない。点検整備に併せて予防保全の一環として消耗品を定期的に交換している。なお、現時点ではメーカーによる部品供給体制に問題がないことから、予備品の確保は行っていないが、今後は主要部品の更新計画についても立案する予定である。

7. おわりに

本所では平成27年度に次期スパコンへの換装が完了し、冷却方法が空冷から水冷に変更になったことから電力使用量が大幅に削減された（約50%）。一方、環状燃焼試験設備（アニュラ）は高度化に伴いヒータが増強され、さらに、遷音速風洞電動機更新完了に伴う試験再開が平成29年度から予定されており、今後は、契約電力の大幅切り上げ（27MW以上）が必要な状況である。

契約電力の設定に際しては、これら大型試験設備の稼働状況をリアルタイムでモニタする仕組み（図6）を構

築しており、電力調整会議での日単位での試験調整から、時間単位の調整を可能とするべく、過去の様々な試験コンフィグレーション毎の使用実態を分析しているところである。今後は、ガスタービンの稼働率を上げるためデマンドを精度良く予測し、メリットを生かした試験直前の起動による効果的なピークカット運転が可能となると考えている。

また、ガスタービンを含めたスマートグリッド化に向けた検討に着手した。具体的には、蓄電池を用いてピークカットとピークシフトを可能とするシステム構築を目指している。一方、本所は熱需要が殆ど無いことからエネルギー効率が低い。排熱を周辺地域等に供給できる仕組みについても今後検討し、BCP対策及び地域社会へ貢献できる計画実現と総合効率の最大化を図る。

航空宇宙の基盤的技術を支えるインフラとしての更なる信頼性向上はもとより、他のベンチマークとなるような高効率かつ持続性の高い次世代のエネルギー供給拠点構築を目指して行きたい。

8. 施設見学について

調布航空宇宙センターには、航空宇宙の研究活動全般をわかりやすくご紹介する展示室があります。風洞設備や実験用航空機など、航空宇宙のテクノロジーをまるごと体験できます。

見学のお問い合わせ

電話：050-3362-2600

受付時間：平日9：30～12：00、13：00～17：45

HPアドレス<http://fanfun.jaxa.jp/visit/chofu/>

開館時間：10：00～17：00（休館日：土日、祝日、年末年始）



Fig. 6 Sample photo of power visualization monitor

特集：ガスタービンの活躍の場

過酷な環境で活躍する航空機エンジン

中野 宏一^{*1}
NAKANO Koichiキーワード：火山灰，後方乱気流，インレット・ディストーション，高々度サージング，被雷
Volcanic Ash, Wake Turbulence, Inlet Distortion, High Altitude Surge, Lightning Strike

1. はじめに

近年の航空輸送事業を支える航空機エンジンの信頼性は大きく向上しており，国際長距離路線においても，双発機を投入するのが一般的となってきた。

それに伴い，航空機が遭遇する過酷な自然環境がエンジンの信頼性や性能に及ぼす影響への関心はますます高まっており，安全運航を確保する上でも重要な要素となっている。

本稿では，航空機エンジンが遭遇する過酷な自然環境と，それらがエンジンに及ぼす影響について紹介する。

2. 火山灰のエンジンに対する影響

我が国には，今年2月に爆発的な噴火を起こした桜島に代表されるような100以上もの活火山が存在しており，航空機エンジンに対する火山灰の影響について，十分な知見を持つておく必要がある。

そこで，2010年のアイスランドにおける火山噴火を受けて，世界的に改めて検証された火山灰の航空機エンジンへの影響について述べる。

2.1 火山灰の性質

火山灰には，結晶質とガラス質の2つの物質が混在している。結晶質の物質は，融解点が1,100～1,200℃であり，ガラス質の物質は融解点が600～800℃である。火山灰を構成するこれら2つの物質の相対的な割合は，噴火の程度や火山によって異なる。

また，空中に浮遊している火山灰の粒子は鋭利で硬いため，研磨性が高いという特徴も有している。

さらに，火山灰は水と混ざると泥状になり，その後，乾燥して固まる特性にも着目する必要がある。

2.2 火山灰によるエンジンの損傷

航空機が火山灰に遭遇し，その火山灰がエンジン内に侵入した場合に懸念されるエンジンの損傷には，以下が挙げられる。

2.2.1 火山灰の結晶質およびガラス質による影響 火山灰中のガラス質，また温度によっては結晶質は，エンジン内部の燃焼室内で融解し，燃焼室後方のノズル・ガイド・ベーンやタービン翼の冷却空気孔の表面温度が低いところで析出，凝固する可能性がある。図1にその例を示す。

その結果，タービン内の燃焼ガスの流路が一部閉塞され，有効流路断面積が減少したり，タービン翼から燃焼ガスの流れが剥離して，タービン効率が低下することで，同じ推力を得るのにより多くの燃料燃焼が必要となり，排気ガス温度が急上昇する恐れがある。

また，タービンへの燃焼ガスの流れが阻害されることで，燃焼室出口圧が上昇し，サージングが生じたり，さらにタービン効率の低下が著しい場合には，自力回転が保持できずにフレイム・アウトに至る可能性もある。

2.2.2 火山灰の研磨性による影響 火山灰の鋭利で硬い粒子により，圧縮機動翼およびタービン動翼に浸食損傷が発生し，翼形状が変化して圧力損失が生じてしまい，結果として燃料燃焼が増大し，排気ガス温度が急上昇する可能性がある。

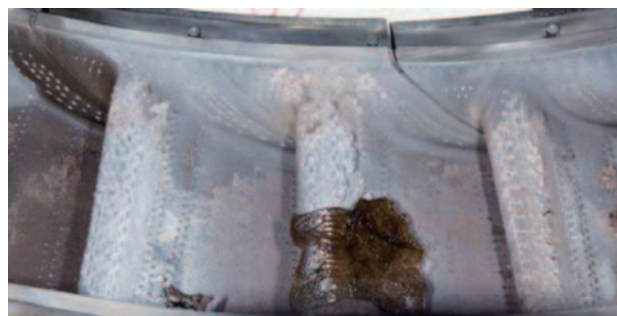


Fig. 1 Volcanic Ash Accumulated in Nozzle Guide Vane

図2に空気取入口の浸食損傷の例を示す。空気取入口の全体に火山灰が付着し，インレット・コーンが浸食損傷により白くなっている。

図3に圧縮機動翼の浸食損傷の例を示す。翼全体が薄くなり，翼前縁が刃物のように鋭くなっている。

また，図4にタービン動翼先端の浸食損傷の例を示す。

原稿受付 2016年3月11日

^{*1} JALエンジニアリング エンジン整備センター
技術開発グループ
〒282-8610 成田市成田国際空港内
JALエンジンメンテナンスセンター

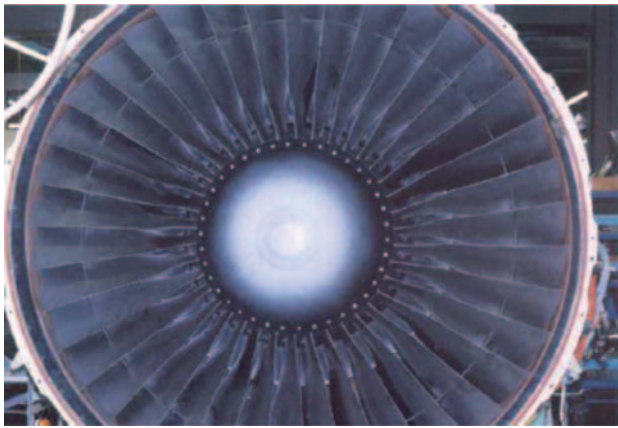


Fig. 2 Erosion on Inlet Cone

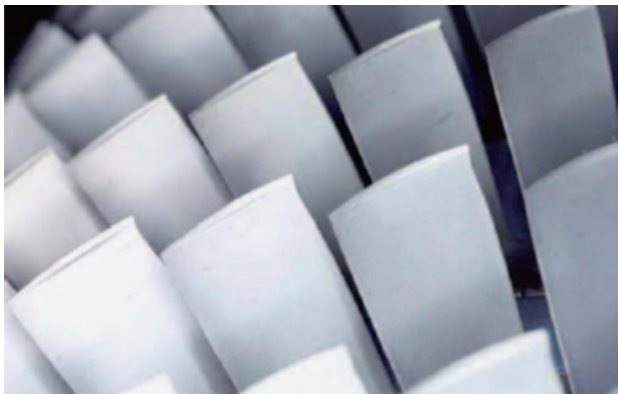


Fig. 3 Erosion on Compressor Rotor Blade

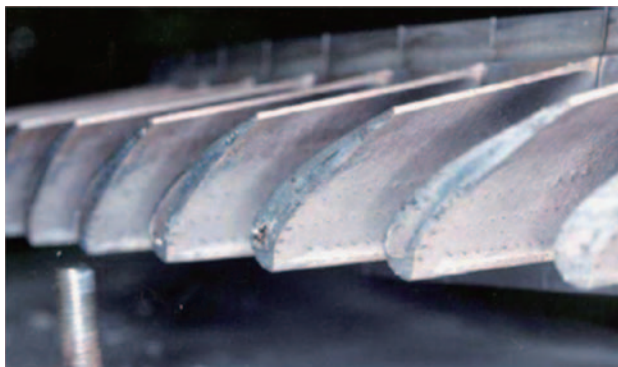


Fig. 4 Erosion on Tip of Turbine Rotor Blade

2.3 火山灰に遭遇したエンジンに対する処置

日本航空では、エンジンが火山灰に遭遇した場合、またその可能性がある場合には、以下のような対応を実施している。

2.3.1 整備処置 火山灰に遭遇したエンジンに対する整備処置は、フェーズ1、フェーズ2、およびフェーズ3から構成される。

航空機が火山灰にさらされたとの報告があった場合、あるいはその可能性が考えられる場合には、フェーズ1を実施する。

フェーズ1では、空気取入口の目視検査を実施し、火山灰の付着、もしくは火山灰による損傷がないかを確認

する。

フェーズ1で異常が発見された場合、また航空機の窓に火山灰による損傷があった場合、あるいは航空機の離着陸時や地上運転において火山灰に遭遇した場合には、フェーズ2が実施される。フェーズ2では、エンジン内部やエンジンに取付いている補機類に火山灰の付着や侵入の痕跡がないかを目視検査する。また、電子制御器の気圧信号用配管類が閉塞していないかを確認する。

フェーズ2で異常が発見された際には、フェーズ3を実施する。フェーズ3では、エンジン内視鏡検査、電子制御器の交換、滑油の検査、チップ・ディテクタや滑油フィルタなどの滑油系統の点検、燃料フィルタの点検などが実施される。

なお、エンジン内部に火山灰が付着しているのが発見された場合でも、エンジン内部の水洗（ウォーター・ウォッシュ）は禁止されている。

これは、2.1節で述べた火山灰の性質によるものであり、火山灰が水と混ざり、その後乾燥して動翼やロータに固着してしまうと、ロータ・アンバランスによりエンジン運転中の振動が高くなったり、またノズル・ガイド・ベーンなどに固着してしまうと、タービン部品に必要な冷却効果が得られない懸念があるためである。

よって、エンジン内部に火山灰が少量付着していたとしても、水洗は航空機を数回運航した後に実施するよう推奨されている。

2.3.2 排気ガス温度モニタリング 2.2節で述べたように、火山灰がエンジンに悪影響を及ぼすと、排気ガス温度の上昇が見られる。

よって、上記整備処置で異常が発見されなかった場合でも、一定の期間にわたって、きめ細かく排気ガス温度の変化をモニタリングすることも、火山灰に対する有効な対応となる。

2.4 運航における留意点

これまで述べてきたように、火山灰は、航空機およびエンジンに深刻な被害を与える可能性がある。よって、火山活動区域が既知なのであれば、飛行計画の段階から、火山活動の最新の状況を把握して、その空域を避けるのが基本的な対応となる。

しかし、飛行中は、特に夜間や気象計器による運航では、火山灰の遭遇を避けるのは極めて困難である。

従って、突然の噴火に備えて、常に火山周辺の上空の風向を理解しておき、直ちにできるだけ遠くに、しかも可能であれば風上側に、火山灰雲から離れるように運航することが求められている。

3. 後方乱気流のエンジン運転への影響

航空機エンジンにおいて、空気取入口で流入空気に乱れが生じ、流れの方向、速度、また圧力などの分布が不均一になると（インレット・ディストーション）、圧縮機ストールの原因となる。

ここでは、2011年に発生した先行機の後方乱気流に起因すると結論された低圧圧縮機ストールについて紹介する。

3.1 後方乱気流について

後方乱気流は、航空機翼上面の気圧が翼下面の気圧より低いために、翼端にて発生する渦流である。

渦流の強さは、航空機の重量、速度、および翼形や、気象状況によって異なる。

この渦流は、発生後数分間持続し、時間が経過するとともに、風に流されながらゆっくりと降下していく。

3.2 事象

離陸滑走中、操縦室内にエンジン異常に関する警告が表示されるとともに、左エンジンからストール音が確認されたため、離陸を中止した。

整備処置として、左エンジンが交換されたが、エンジンにはストールの原因となりえる不具合は確認されなかった。

3.3 航空機データの解析

事例発生時の気圧データと左右エンジンの低圧ロータ回転値データを図5に示す。

なお、図中のCAS (Calibrated Airspeed) は較正対気速度と呼ばれ、航空機のピトー管の先端にかかる動圧に、対気速度系統の誤差の補正を加えて速度に変換したものである。

図5から、全般的にCASは滑らかであり、風は穏やかであったことが分かる。しかし、機速が頂点に達する直前に、対地速度 (Ground Speed) は滑らかに増加しているにもかかわらず、CASが急激に増加、減少している。

そして、気圧データが変動してから約1秒後に、左エンジンの低圧ロータ回転値が急減しており、ストールの発生が確認される。

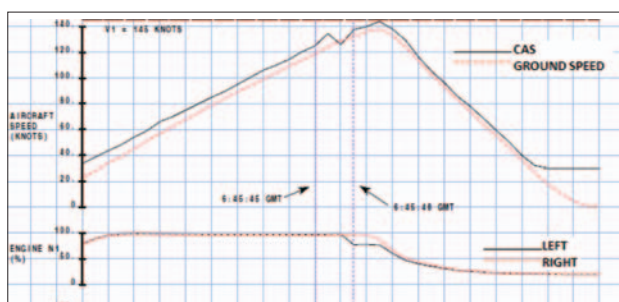


Fig. 5 Air Data Parameters and N1

3.4 事象発生時の状況

その後の調査により、当該機が離陸する直前に、別の航空機が滑走路の上空を横断する形で着陸していたことが判明した。

両航空機の飛行データを元に視覚化した両機の位置関係を図6および図7に示す。

図6および図7からは、本事象が発生する約1分前に、別の航空機が、滑走路の約300フィート (約91m) 上空を通過した様子が確認できる。なお、本事象は図中の丸印部で発生している。

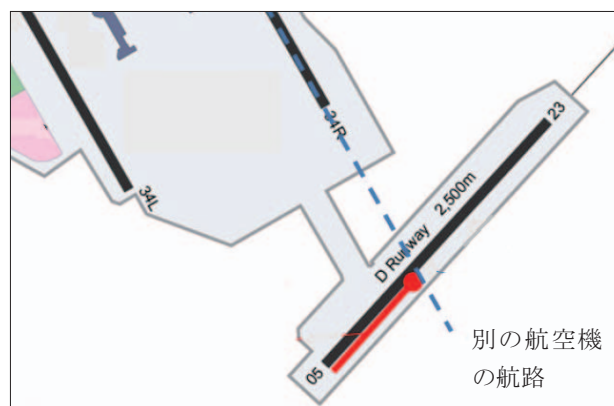


Fig. 6 Chart of Paths of the Two Aircrafts

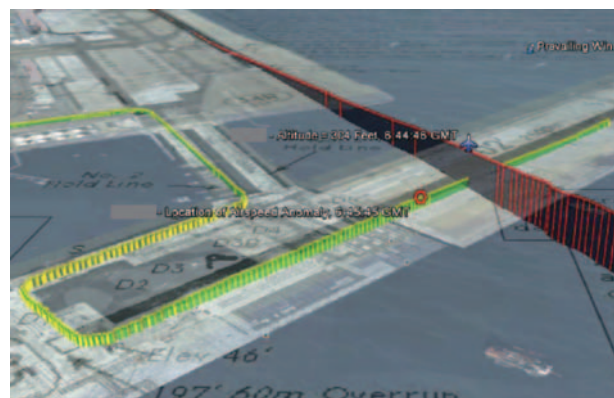


Fig. 7 Bird's Eye View of Paths of the Two Aircrafts

3.5 本事象の結論

上述のとおり、エンジンには本事象の原因となる不具合は発見されておらず、また本事象が発生したときの気象は穏やかであったことから、本事象の原因は、直前に滑走路上空を通過した別の航空機の後方乱気流によるものと結論付けられた。

航空機メーカーおよびエンジンメーカーもこの結論に同意しており、後方乱気流に遭遇した左エンジンの空気取入口にインレット・ディストーションが発生し、低圧圧縮機の作動が不安定となり、一時的なサージングが発生したとの見解を示している。

なお、サージングが左エンジンのみで発生した理由として、当時の風向が機体の左斜め前からであり、左エンジンに大きな影響を与えたためと推測されている。

4. 高々度悪天候領域運航のエンジンへの影響

過去、高々度の悪天候領域を運航中に発生したエンジン・サージングについて紹介する。

4.1 高々度悪天候領域

安定した大気状態では、中緯度地域の35,000フィート（約10,670m）を超えるような高々度での外気温は、マイナス40℃より低いのが一般的である。このような状態では、水蒸気は氷晶として存在しており、降水現象や着氷現象は発生しない。

しかし、中層付近で積乱雲が急激に発達すると、中層に存在している過冷却水滴が、積乱雲の強い上昇気流により、強制的に短時間で高々度まで達する場合がある。この際、過冷却水滴はその状態のままでしばらく高々度に留まることになる。

ここでは、このような気象状態を高々度悪天候と呼ぶ。

4.2 高々度悪天候がエンジンに及ぼす影響

高々度では、空気密度の低下により流入空気のレイノルズ数が小さくなるため、サージ・マージンが減少する。

また、水分がエンジンに流入すると、エンジン内部で水分が蒸発し、高圧圧縮機内の空気速度、圧力分布、温度分布などが不均一となり、サージ・マージンが減少する。

よって、高々度を運航中に悪天候領域に遭遇すると、サージングが発生する可能性が高まる。

4.3 高々度悪天候領域でのサージングの特徴

一般的に、サージングが発生すると、EPR（エンジン圧力比）、N1回転値、N2回転値、燃料流量が急減少し、排気ガス温度は上昇する。

しかし、ある型式のエンジンにおいては、高々度悪天候領域でサージングが発生した場合、自動復帰システム（Automatic Recovery System）の働きにより、抽気弁が開き、排気ガス温度の上昇が抑制されるとともに、圧縮機出口圧力の低下により燃料流量が減少し、排気ガス温度がすぐに減少し始めることが判明した。

このようなエンジン・パラメータの急減少は、フレイム・アウトによっても発生するが、フレイム・アウトした場合にはウィンドミル状態（止まっているエンジンが機速により自然に回転している状態）となるため、各パラメータ値がアイドル運転水準以上で継続することはない。なお、このエンジンの高々度巡航時のN1回転値は40～45%、N2回転値は65～70%である。

図8に、高々度悪天候領域でサージングが発生した時の、このエンジンの代表的なパラメータ例を示す。

4.4 高々度悪天候領域でのサージングに対する対策

高々度悪天候領域でのサージングに対しては、そのような領域を避けて運航することが対策の基本となる。

それに加えて、整備部門では、高々度悪天候領域においてもエンジンのサージ・マージンを確保するために、さまざまな取組みを実施した。

主な例として、新たな高圧圧縮機の組立て方法の導入、

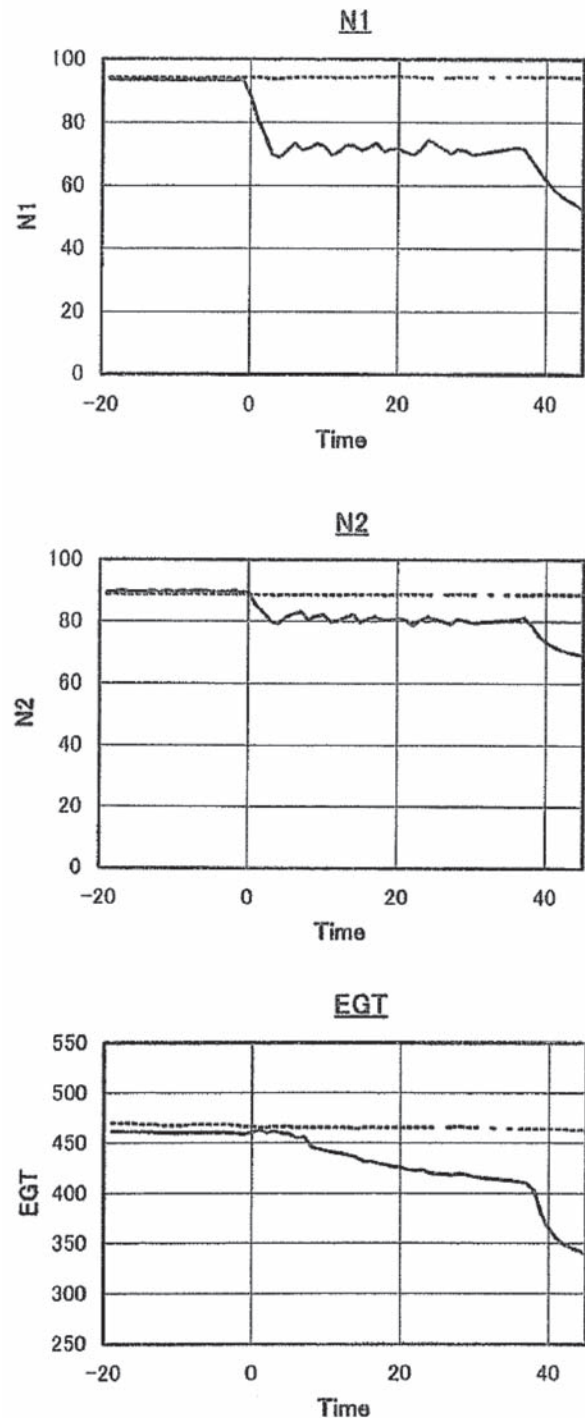


Fig. 8 Parameters of Specific Engine at High Altitude Surge

翼先端間隔の計測方法の改善、可変静翼開度の改善、圧縮機ケースの平面度および真円度の検査、動翼および静翼の積極的な交換などが挙げられる。

5. 雷のエンジン運転への影響

最後に、被雷に起因すると思われるエンジンの一時的なサージングについて紹介する。

5.1 被雷によるエンジン・サージングの特徴

被雷が原因と推測されるサージングの多くは、上昇中のエンジン高回転時に発生しており、乗員による特別な

操作を伴わず回復するような規模の小さいものがほとんどである。

整備士は、前飛行時にサージングが発生していたことを、電子制御器のストール・レポートで確認することができる。しかし乗員は、前飛行で被雷したことは認識しているものの、サージングの発生には気付いていない場合が多い。これは、被雷による大きな音により、規模の小さなサージングの音を把握するのが困難なためと推測される。

また、地上でのエンジン点検においても不具合は発見されない。

5.2 原因

図9に、エンジン被雷時の空気取入口の模式図を示す。

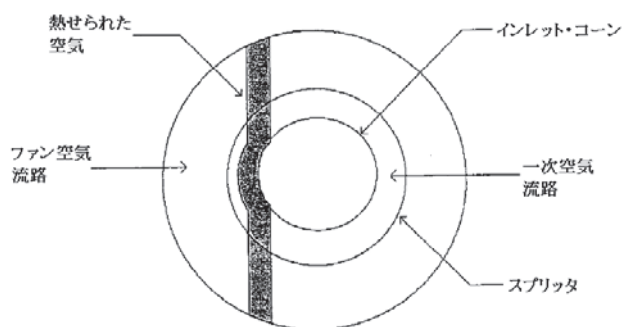


Fig. 9 Diagram of Inlet Thermal Distortion at Lightning Strike

被雷によるサージングは、被雷そのものが原因ではなく、被雷して局部的に加熱された空気がエンジンに流入し、

流入空気の温度が不均一になること（Inlet Thermal Distortion）に起因すると考えられている。

高圧圧縮機の修正ロータ回転速度は、低圧ロータ回転数、高圧ロータ回転数、および圧縮機入口温度から計算される。

よって、一時的に圧縮機入口温度が上昇すると、修正ロータ回転速度は変化するものの、可変静翼の作動がそれに即座には追従しないため、サージングに至るものと分析されている。

6. おわりに

現在主流となっている双発機の安全運航を支えるエンジンには、今後も更なる信頼性および性能の維持と向上が求められる。

航空会社は、事前に航路上の気象情報を最大限に収集して飛行計画を立てたり、機上の気象観測装置を用いて航路上の気象を精緻に把握したり、また突然の気象の変化にも対応する操作方法を設定するなどして、日々安全運航に尽力している。

しかしながら、そうした取組みにもかかわらず、やむなくエンジンに過酷な環境での運航が強えられる場合もある。

そのような場合でも、航空機の安全運航を堅持すべく、日本航空は、今後も高品質なエンジンを航空機に装備し、ハードとソフトの両面から安全運航を支え続けることで、お客さまに安心して航空機にご搭乗いただけるよう努めていきたい。

宇宙航空研究開発機構の国立研究開発法人への移行と 航空技術部門の組織改編

山本 武^{*1}
YAMAMOTO Takeshi

キーワード：JAXA, 国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構, 航空技術部門, 推進技術研究ユニット, 次世代航空イノベーションハブ, グリーンエンジン技術の研究開発
JAXA, Japan Aerospace Exploration Agency, Aeronautical Technology Directorate, Propulsion Research Unit, Next Generation Aeronautical Innovation Hub Center, Green Engine

1. 緒言

改正独法通則法が2015年4月1日に施行され、宇宙航空研究開発機構（以下、JAXA）は国立研究開発法人へと移行した。従来の独立行政法人制度では、全法人に対して制度及び運用において同じ規律が適用されていたことが、政策の実施機能が十分に発現できないことの一因であるとされた。このため独立行政法人を業務の特性等に応じて3つ、国立研究開発法人、中期目標管理法人、行政執行法人に分類することにより、政策実施機能の強化が図られた。国立研究開発法人は公益に資する研究開発を主要な業務とし、研究開発の最大限の成果を確保することを目的としている。

JAXAでは国立研究開発法人への移行と同時に、航空分野の研究開発を行う組織（主に調布航空宇宙センターに設置）も組織改編が行われ、航空技術部門となった。一年が経過した今、この組織改編を振り返り、JAXAの航空研究組織が何を目指してどのように変わったか、今後どこを目標しているかを、一研究開発員の立場から紹介する。

2. 組織改編の概要

図1に2016年4月1日現在のJAXAの組織図を示す（HQ各部を含めた組織の改編はJAXA webページ⁽¹⁾をご参照いただきたい）。主な改編のうち、航空技術部門への影響が大きいものの一つは、「研究開発部門」の強化である。JAXAはこれまでプロジェクトを中心に組織運営されてきたが、国立研究開発法人の目的である研究開発成果の最大化を睨み、新たな柱として研究開発が据えられた。航空技術部門における研究も研究開発部門が策定する研究戦略の下で一体となって推進されることとなった。

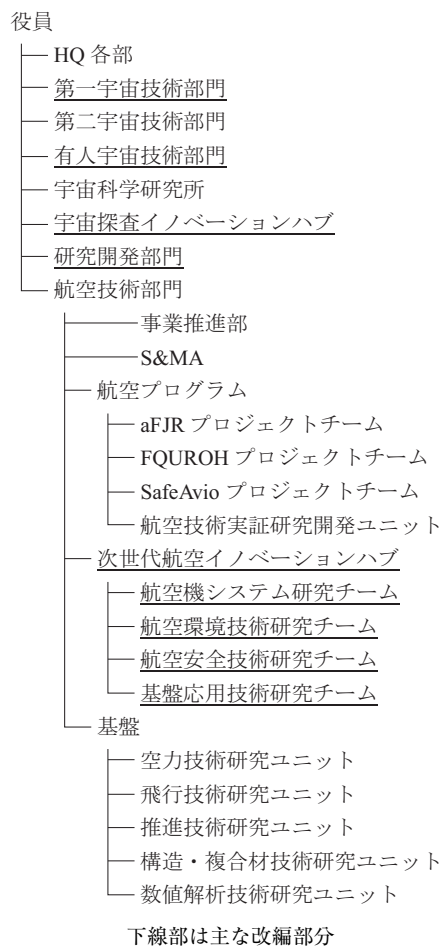


Fig. 1 Organizational Chart of JAXA
(2016.4.1)

もう一つの大きな改編は「次世代航空イノベーションハブ」の設置である。

3. 次世代航空イノベーションハブ

2014年8月、文部科学省は戦略的次世代航空機研究開発ビジョンを公表した⁽²⁾。ビジョンでは航空機産業の

原稿受付 2016年4月22日

* 1 国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構
航空技術部門 推進技術研究ユニット
〒182-8522 調布市深大寺東町7-44-1

規模を20年で10倍に成長（世界シェア20%）させるため、次の2つの研究開発プログラムと3つの横断的施策に取り組むべきとした。

＜研究開発プログラム＞

- ・民間航空機国産化研究開発プログラム（優先的に着手）
- ・超音速機研究開発プログラム

＜横断的施策＞

- ・大型試験設備の整備（優先的に着手）
- ・先端研究の推進
- ・人材育成の強化

ビジョンの目標は野心的なものであり、これを実現するためにはブレークスルーが必要である。次世代航空イノベーションハブ（以下、イノベーションハブ）が、航空会社などのユーザー、異分野・異業種も含めたサプライヤー企業、研究機関や大学から広く人材・知を糾合し、新たな航空技術の研究開発を進める場として、国立研究開発法人への移行と同時に設置された。イノベーションハブを拠点とした日本全体の研究協力を促進する仕組みを構築し、「日本の航空機産業の競争力強化」と「航空輸送の変革に資するハイインパクトな革新技术の創出」、さらに、その「社会実装」を目指している。

イノベーションハブでは航空機のシステム技術、環境技術、安全技術、基盤応用技術の研究開発に取り組むものとし、速やかな社会実装が期待されるテーマ、オープンイノベーションの仕組みが効果的なテーマなどがイノベーションハブのもとに集約された。推進システム研究グループが行っていた研究事業「グリーンエンジン技術の研究開発（以下、グリーンエンジン）」も、そのひとつである。

イノベーションハブ設置から1年間、限られた資金環境の中、外部との連携は積極的に進められている。2016年3月には、早速となるイノベーションハブの成果として、航空機を安全に飛行させることを目的とした研究開発に取り組む「気象影響防御技術（WEATHER-Eye）コンソーシアム」が設立された。国内の航空会社や航空機関連メーカー、公的研究機関、大学等18機関が参画している。

4. エンジン関連研究開発

現在、航空技術部門で実施されているエンジン関連の研究開発⁽³⁾を紹介する。

4.1 高効率軽量ファン・タービン技術実証

(aFJR: Advanced Fan Jet Research) プロジェクト

2015年1月、aFJRプロジェクトチームが発足し、国内エンジンメーカーが実績豊富なファンや低圧タービンに関する次世代技術の開発が開始された。本プロジェクトでは、ファン及び低圧タービンの要素モジュールにおいて、(a) ファン空力効率1ポイント以上の向上と、(b) ファン+低圧タービンの10%の軽量化を可能とし、耐久性や信頼性で従来と同等となる高効率軽量ファン技術と軽量低圧タービン技術を開発し、実証試験により有効性を確認する。プロジェクトは計画通り進められており、組織改編による変更はない。

4.2 基盤研究

将来の高速輸送に向けた新しい技術、ジェットエンジンの先進技術の研究開発を実施している。

- ・極超音速ターボジェットの推進性能実証
- ・極低温燃料供給系技術の研究開発
- ・高TRL燃焼安定化技術の研究開発

TRL (Technology Readiness Levels) : 技術成熟度

- ・燃料多様化による環境負荷低減に関する研究
- ・航空用実形状燃焼器の設計支援CFD技術
- ・エンジン先進耐熱材料・構造・製造法に関する研究

4.3 グリーンエンジン技術の研究開発

ジェットエンジンの更なる環境性能向上のために、日本企業の担当実績が少ないコアエンジン技術とエンジン騒音低減技術の開発・実証を目指し、下記の6つの研究を実施している。推力20,000ポンド級の小型エンジンを対象として、燃料消費-16%（内1%はaFJR）を目標としている。圧縮機では多段の軸流圧縮機に加え、最終段に斜流圧縮機を適用することで圧力比20以上、燃焼器ではクリーンエンジンで開発した予混合2段燃焼器を高温化に対応させることにより、ICAO（国際民間航空機関）のCAEP/6 NO_x基準の-75%以下を実現する。超高温タービンでは、複雑な冷却機構に代えて、シンプルな高効率冷却構造の開発により、タービン入口温度1,600℃に耐えるタービン翼を開発する。

- ・エンジンシステム設計技術の研究
- ・エンジン制御技術の研究
- ・高負荷圧縮機技術の研究
- ・超高温燃焼器技術の研究
- ・超高温タービン技術の研究
- ・エンジン騒音低減技術の研究

組織改編前後でグリーンエンジンの研究内容に大きな変化はないが、イノベーションハブでは外部連携や実用化イメージが重視され、予算の重点化が行われている。

5. まとめ

2015年4月1日、宇宙航空研究開発機構の国立研究開発法人への移行と同時に、航空技術部門には次世代航空イノベーションハブが設置された。これを拠点として、日本全体の研究協力を促進し、日本の航空機産業の競争力強化と航空輸送の変革に資する革新技术の創出と社会実装を実現すべく、活動を開始した。

6. 参考文献

- (1) JAXA webページ, 2015年4月1日, 国立研究開発法人として新たな一歩を, <http://www.jaxa.jp/topics/2015/> (参照2016-4-22)
- (2) 戦略的次世代航空機研究開発ビジョン, http://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/26/08/1351186.htm (参照2016-4-22)
- (3) JAXA webページ, aFJRプロジェクトとグリーンエンジン技術, <http://www.aero.jaxa.jp/research/ecat/> (参照2016-4-22)



学校で習わない英語 (5)

吉中 司*1
YOSHINAKA Tsukasa

一C一章 (続き)

【英語】 : you can't have your cake and eat it

【意味】 : 「両立しない」

【説明】 : 3月号に続いて、もう一つケーキを使った熟語の話です。

これは諺(参考資料4)です。先ず最初の単語のハブですが、ここでは「持つ」「所有する」ではなく「保つ」「取っておく」という意味です。となると、この文は「ケーキを取っておいて、しかも、食べなさい」と訳されます。しかし、取っておくと同時に食べることは出来ません。それこそが、この熟語の意味合いなのです。

どうした場合にこの言い回しが使われるのか、一例を挙げましょう。二人のエンジニアが話し合っているといいます。

「この部品、重過ぎる。何とかならないかなー」

「そうだな。薄くして重さを減らすと、部品が弱くなるし…」

「どうだろう、材料をAからBに変えては」

「Bか。でもコストが高くなるぞ」

それに答えて、“I understand. But, you cannot have your cake and eat it.”と言いました。つまり、「コストを低くしたまま、重量を減らすなんて、そんな上手い話なんてないぜ」と言う訳です。このエンジニアは、「少々コストが高くなっても、背に腹はかえられないじゃないか」と暗に言っているのです。

【英語】 : catch-22

【意味】 : 「勝ち目の無い立場」

【説明】 : この単語は、参考資料1や5によると、1961年に出版されたジョセフ・ヘラーによる小説のタイトルです。小説の舞台は第二次世界大戦中、イタリアの西、地中海に浮かぶピアノザ島です。

主人公のアメリカ陸軍航空部隊の爆撃機パイロットが、余りにも危険な飛行任務に耐え切れず、解任して貰おうと考えます。彼が聞いたところでは、軍則の中に、本人が正気を失った場合、つまり気が狂った場合に限って解任され得る、という記述があるらしい。しかし、この規則には追加項目があって、本人が「正気を失いましたから解任して下さい」と申し出た場合、本人が正気だからこそこうした申請が出来るものと解釈され、申請は却下されるべしとの事。

原稿受付 2016年2月12日

*1 独立コンサルタント

上の話からの引用で、どう転んでも勝ち目の無い立場に陥った事を表現するのに、この言葉は使われます。

一例として、私の知人の経験談をお話しましょう。彼が或る国へ移住者として入国した後、早速仕事を探し始めました。しかし、何処へ行っても、面接での最初の質問は、「あなたは、この国での就労経験がありますか」でした。勿論、答えは「ノー」です。「答えが「ノー」なら雇えません。」という訳で、就職し損ねました。就職出来ないという事は、この国での就労経験を積めない事ですから、その次の就職面接でもダメです。こういう状態を、英語では“I am in Catch-22.”と言えるのです。

この言葉、歴史は浅いですが、今日、通常の英語の単語として受け入れられており(例えば参考資料6)、日常会話にも使われますし、新聞記事にも見られます。

【英語】 : close but no cigar

【意味】 : 「もう一寸のところだが、大成功とは言えない」

【説明】 : タバコが健康に悪いとは知られていなかった頃、葉巻は高価なタバコ製品で、贈り物に使われたり、上司が良い仕事をした部下にほうびとして与えていた様です。この辺りから、この言い回しが出てきたのでしょう。

例えば、プロ野球で、シーズン前半はまああの成績だったチームAが後半で頑張り、連勝につぐ連勝で首位のチームBに追い迫ったとしましょう。しかし、もう一寸というところでチャンピオンになれませんでした。

この場合、新聞には「Aはよく頑張り、シーズンの最後まで食い下がったが、もう一寸のところチャンピオンになれなかった」由の記事が見られるでしょう。これを英語で、“A played extremely well to the end. They came so close to becoming the league champions. So close, but no cigar!”と書けるでしょう。

参考資料

1. QPB (Quarterly Paper Book Club) Encyclopedia of Word and Phrase Origins", by Robert Hendrickson, published by Facts On File, 2nd Edition, 2004
4. "Oxford Dictionary of English Idioms, Third Edition" Edited by John Ayto, Oxford University Press, 2009
5. "en.wikipedia.org/wiki/Catch-22"
6. "Webster's II, New College Dictionary", Houghton Mifflin Company, 1995

リング型プラズマアクチュエータを用いた 環状タービン翼列チップクリアランス流れの能動制御

松沼 孝幸*¹
MATSUMUMA Takayuki

瀬川 武彦*¹
SEGAWA Takehiko

ABSTRACT

Innovative “string-type” and “ring-type” dielectric barrier discharge (DBD) plasma actuators were used for the active control of the tip leakage flow of a turbine blade. From annular turbine rotor experiments, it was confirmed that the DBDs are generated in between the turbine rotor tip and casing wall and rotate with the motion of the turbine rotor tip. In fundamental experiments using a single airfoil with tip clearance and a flat plate with tip clearance, two-dimensional velocity distributions near the tip clearance region were measured by particle image velocimetry (PIV). Tip clearance flow was reduced with an increase in the input voltage of the plasma actuator. In the flat plate experiments, the tip clearance flow with a maximum velocity of approximately 6 m/s was successfully dissipated by means of the plasma actuator flow control at the input of peak-to-peak voltage 7.0 kV_{p-p} and frequency 8.6 kHz.

Key words : プラズマアクチュエータ, 誘電体バリア放電, 能動流体制御, 翼先端隙間, 漏れ流れ, タービン
Plasma actuator, DBD, Active flow control, Tip clearance, Tip leakage flow, Turbine

1. はじめに

近年研究が盛んになっている誘電体バリア放電 (DBD) プラズマアクチュエータは、図1のように絶縁体を挟んだ電極間に高周波の高電圧を加えることにより局所的にプラズマを発生させ、表面に沿った流れを誘起することができる。機械的な可動部を持たず、構造が簡単かつ小型軽量であるため、次世代の能動制御デバイスとして有望視されている⁽¹⁾⁻⁽⁵⁾。

一方、タービン翼列は、ガスタービンの主要な構成要素として、航空推進用ジェットエンジンや発電用ガスタービンに全世界で広範に利用されているため、わずかな性能向上でも高い省エネルギー効果が期待できる。特に、タービン翼列の翼先端から発生する漏れ流れ (チップクリアランス流れ) は、空力性能を低下させる大きな原因の1つであるため、これまでに多くの研究が行われ^{(6),(7)}、プラズマアクチュエータを用いて漏れ流れを抑える研究も行われている⁽⁸⁾。プラズマアクチュエータをターボ機械に適用する研究は、低速流れでの剥離を抑制する風洞実験がほとんどであったが^{(9),(10)}、最近では遷音速圧縮機の高速流れでの試験⁽¹¹⁾や1.75MWの商用風車でのフィールド試験⁽¹²⁾も研究されている。

本研究では、図2のような著者らにより開発された

「ひも型プラズマアクチュエータ」⁽¹³⁾の原理を応用した「リング型プラズマアクチュエータ」を用いて、チップクリアランス流れを抑制する実験を行う。

2. リング型プラズマアクチュエータ

図3と図4に、リング型プラズマアクチュエータの構造の概要図と断面図を示す。このアクチュエータは、図

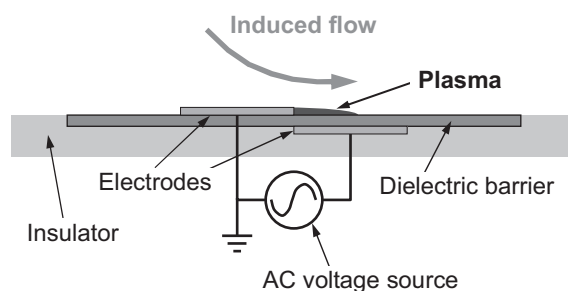


Fig. 1 Conventional “sheet-type” plasma actuator

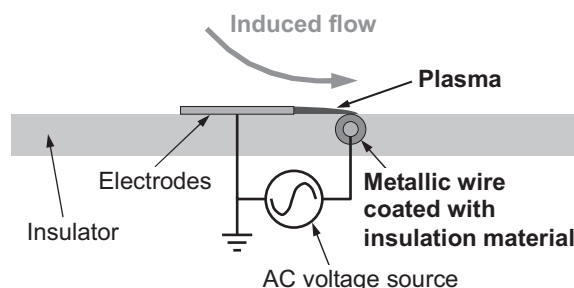


Fig. 2 Newly developed “string-type” plasma actuator

原稿受付 2015年7月16日

校閲完了 2016年4月26日

*1 国立研究開発法人 産業技術総合研究所
省エネルギー研究部門
〒305-8564 つくば市並木1-2-1

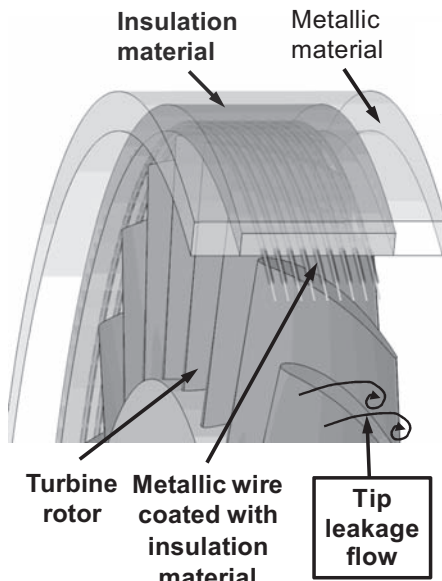


Fig. 3 Ring-type plasma actuator

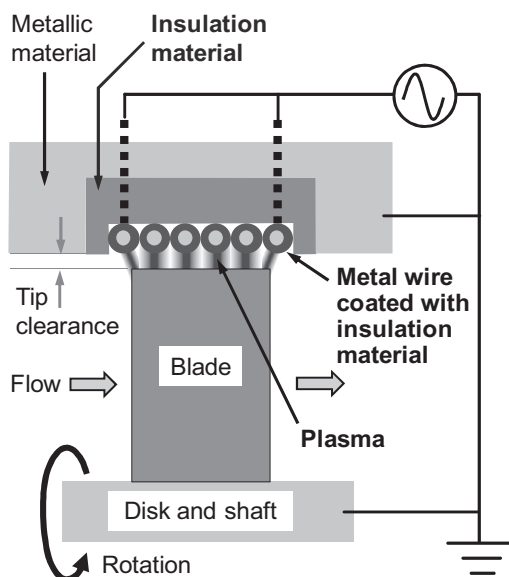


Fig. 4 Cross section of ring-type plasma actuator

3のように、タービン動翼のチップ側壁面にリング状に設置され、絶縁材料の中に絶縁被覆ワイヤを埋め込んだ内部構造になっている。図4のように、タービン動翼をはじめ、軸・ケーシングなどの風洞全体は金属製であり、全体をグランド電極として接地する。絶縁被覆ワイヤに高周波・高電圧を加えることによって、ワイヤとタービン動翼先端の間にプラズマを発生させ、チップクリアランスを通過する流れを抑制する仕組みになっている。

3. 実験の方法と結果

3.1 環状タービン翼列風洞での実験

測定部に単段タービン（1組の静翼列・動翼列）が設置されている環状タービン翼列風洞⁽⁴⁾を用いて、プラズマアクチュエータの動作を確認する⁽¹⁵⁾。タービン動翼の翼先端は、コード長58.6 mm、軸方向コード長33.1 mmで、チップクリアランスの大きさは1 mmである。図5に示すように、測定部に設置されているアクリル窓に絶縁被覆ワイヤを埋め込み、リング型プラズマアクチュエータを部分的に構築する（図5のタービン動翼部分の細い縦線、幅32 mm、長さ160 mm）。この絶縁被覆ワイヤに、高電圧高周波電源（PSI製、PG1040F）を用いて、peak-to-peak電圧12.0 kV_{p-p}、周波数8.3 kHzの疑似矩形波を印加する。タービン動翼およびケーシング全体

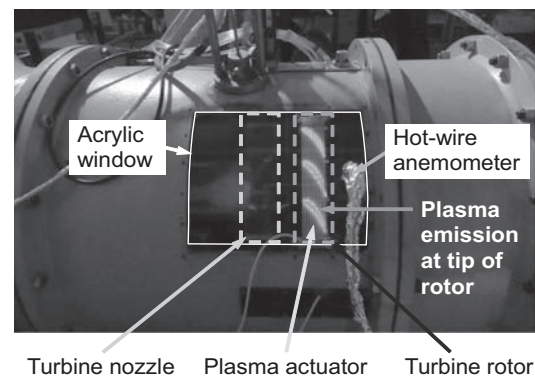


Fig. 5 Test section of annular turbine wind tunnel with ring-type plasma actuator

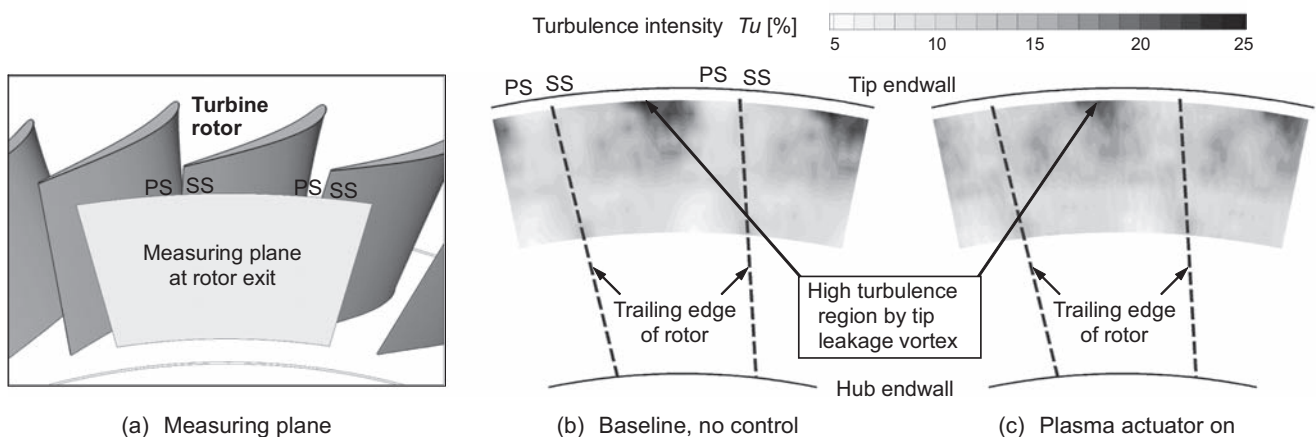


Fig. 6 Turbulence intensity distributions at rotor exit

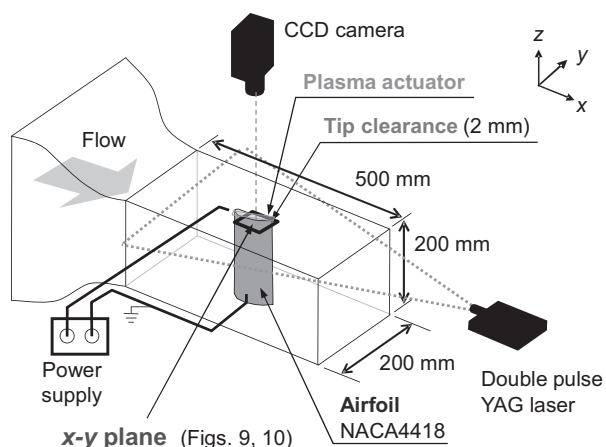


Fig. 7 Measurement system for airfoil with tip clearance (x-y plane)

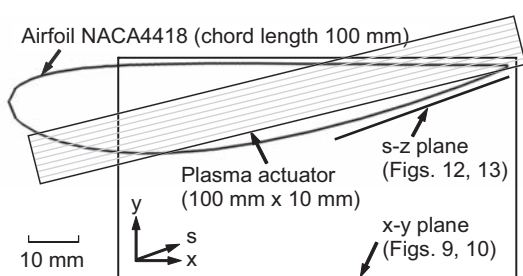
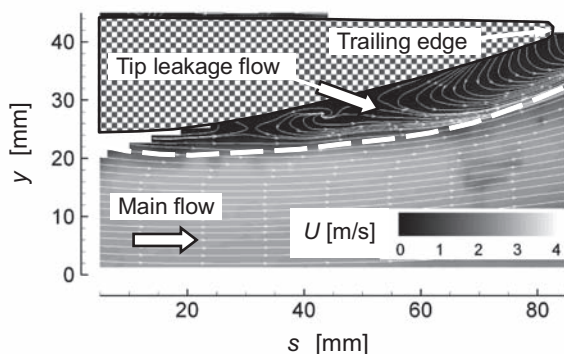


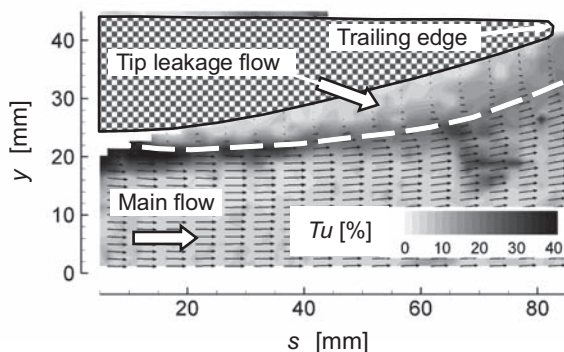
Fig. 8 Plasma actuator and measurement planes for airfoil experiment

は、電源の接地電極と接続される。プラズマアクチュエータを作動させると、図5のように、チップ側壁面に埋め込んだプラズマアクチュエータ（絶縁被覆ワイヤ、高電圧電極）とタービン動翼先端（接地電極）の間に、DBDプラズマが発生する。タービン動翼を回転させると、翼列とともにプラズマも移動することが確認できた。

さらに、タービン動翼出口の乱れ度を熱線流速計で測定した。図6(a)のように、測定面は、タービン動翼先端の後縁から15 mm下流（動翼先端の軸方向コード長33.1 mmの45%下流、 $z/C_{ax,tip} = 1.45$ ）の位置であり、測定面のチップ側半分の乱れ度を、I型熱線流速計（日本カノマックス、Model 0248R-T5）を用いて測定した。実験条件は、測定部入口の流速2.2 m/s、タービン動翼の回転数180 rpm、タービン動翼の先端形状（コード長58.6 mm）と出口速度（5.6 m/s）を基準としたレイノルズ数は 1.8×10^4 であり、ガスタービン実機よりもかなり低い流速・レイノルズ数での実験である。プラズマアクチュエータには、12.0 kVのpeak-to-peak電圧を周波数8.3 kHzで印加する。主流速度は、図6(b)と(c)に、タービン動翼出口の乱れ度分布を示す。制御なしでは、図6(b)のように、チップ側壁面の翼間中央部に乱れ度が高い領域（最大乱れ度25%）が存在する。プラズマアクチュエータによる制御を行った場合には、図6(c)のように、乱れ度の高い領域が減少する（最大乱れ度21%）。乱れ度が低くなる現象は、漏れ流れの減少を間接的に示している。

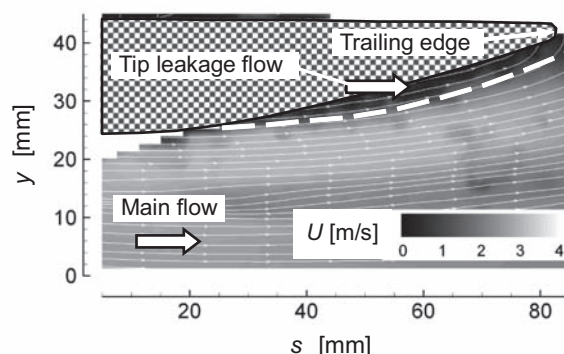


(a) Absolute velocity

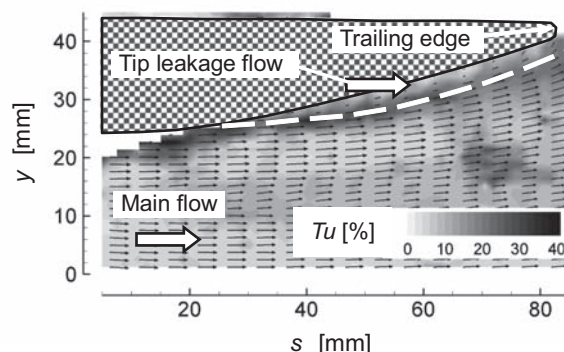


(b) Turbulence intensity

Fig. 9 Time-averaged flow near trailing edge of airfoil, x-y plane (baseline, no control)



(a) Absolute velocity



(b) Turbulence intensity

Fig. 10 Time-averaged flow near trailing edge of airfoil, x-y plane (plasma actuator on)

3.2 単独翼での実験

プラズマアクチュエータによる流れの減少をより定量的に評価するために、チップクリアランスのある単独翼を用いた実験を行う。本実験装置の模式図および測定部を上側から見た図を、図7と図8に示す。小型の吹き出し式風洞に接続されたアクリル製の測定部（流路の幅200 mm×高さ200 mm×長さ500 mm）の中央に、チップクリアランスを持つ単独翼（翼型：NACA4418、翼コード長100 mm、最大翼厚18 mm）を設置する。単独翼は、環状タービン動翼（チップクリアランス1

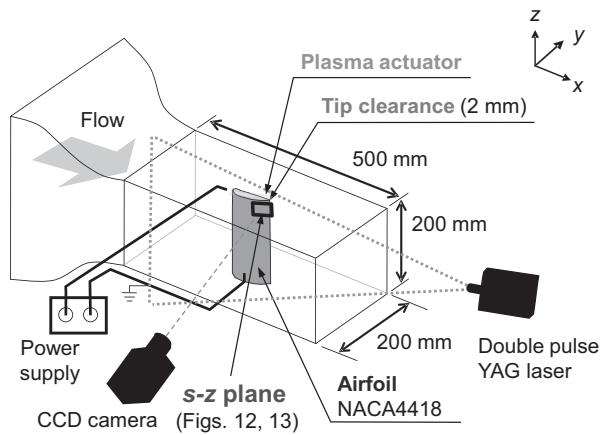
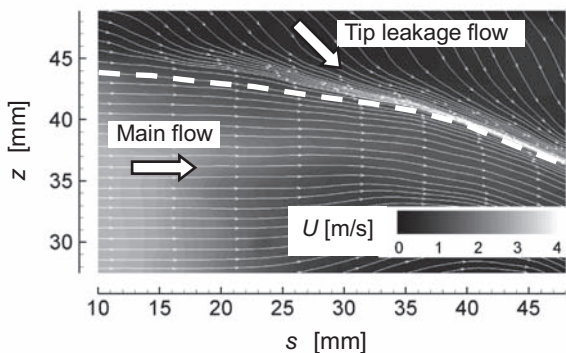


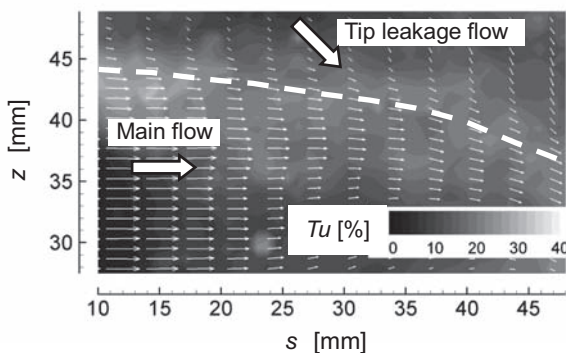
Fig. 11 Measurement system for airfoil with tip clearance (s-z plane)

mm) の約2倍のコード長であるため、チップクリアランスを2 mmにした。測定部の主流速度は4 m/s、レイノルズ数は 2.2×10^4 である。アクリル壁面には、プラズマアクチュエータを埋め込み、8.0 kVのpeak-to-peak電圧を周波数8.6 kHzで印加し、アクチュエータと翼先端の間にプラズマを生成する。本実験でのプラズマアクチュエータは、長さ100 mm、幅10 mm、深さ1.2 mmの溝に外径1.2 mmの絶縁被覆ワイヤを8本埋め込んだものであるため、図8に示すように単独翼の一部を覆う設置状況になっている。壁面から5 mmの位置のx-y平面の翼後縁付近の速度場を、粒子画像流速測定法（PIV）により計測する。PIV計測では、短時間間隔の2枚の粒子画像を取得するため、風洞上流から注入した煙を、測定部下流に設置したダブルパルスYAGレーザーにより可視化し、測定部上部に設置したクロスコリレーションカメラにより撮影する。今回の実験では、瞬時速度分布を200回測定し、その平均値を求める。

翼後縁の負圧面側の流れを図9（制御なし）と図10（制御あり）に示す。制御なしでは、図9(a)のように、翼後縁の負圧面側に、チップクリアランスを通して正圧面側から負圧面側に流れ出した絶対速度の低い領域が観察される。乱れ度は、図9(b)のように、流れと主流の境界部分で大きくなる。制御ありの場合には、図10(a)のように、流れによる低速領域が少なくなっている。さらに、図11に示すように、s-z平面でのPIV計測を実

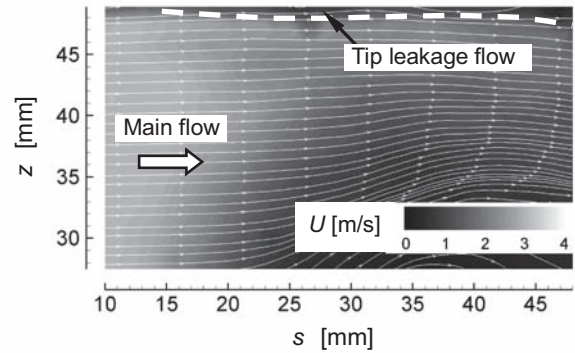


(a) Absolute velocity

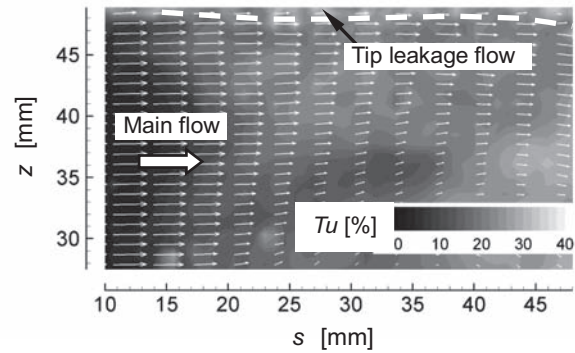


(b) Turbulence intensity

Fig. 12 Time-averaged flow near trailing edge of airfoil, s-z plane (baseline, no control)



(a) Absolute velocity



(b) Turbulence intensity

Fig. 13 Time-averaged flow near trailing edge of airfoil, s-z plane (plasma actuator on)

施する。なお、図8のように、s軸は翼負圧面側の後縁付近に沿った方向である（x軸から反時計回りに20 deg の方向）。図12と図13に、翼後縁の負圧面側の流れを示す。各図の右端が翼後縁、上端がチップクリアランスのある壁面の位置になっている。図12(a)（制御なし）では、漏れ流れによる絶対速度の低い領域が、翼後縁位置で上部壁面から13 mm離れたところまで広がっている。図13(a)（制御あり）では、漏れ流れによる低速領域が、翼後縁位置で上部壁面から2 mmほどに留まっている。

3.3 平板の漏れ流れの抑制実験

リング型プラズマアクチュエータによって漏れ流れを抑制できることを明らかにするために、平板を用いて最も基本となる実験を行う。図14に、実験の概要を示す。

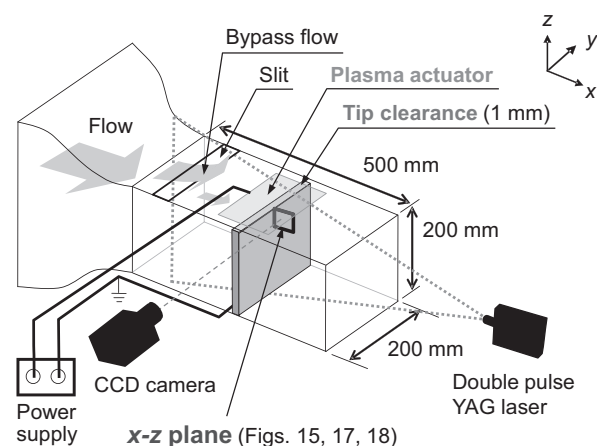
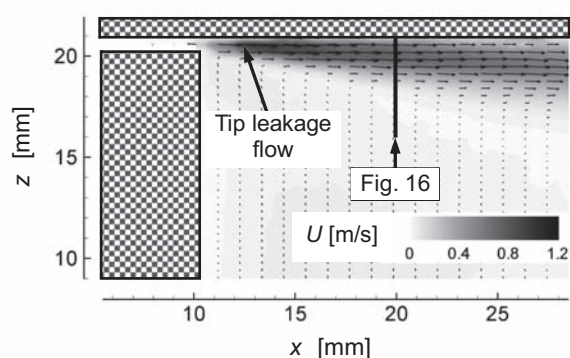
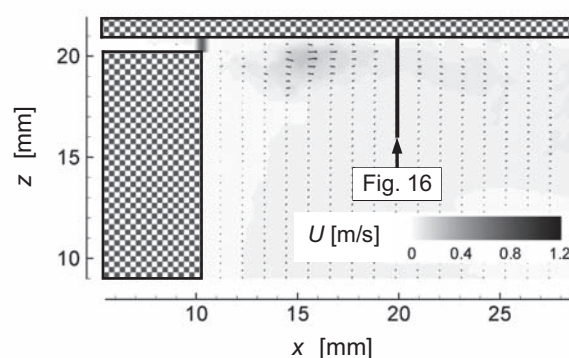


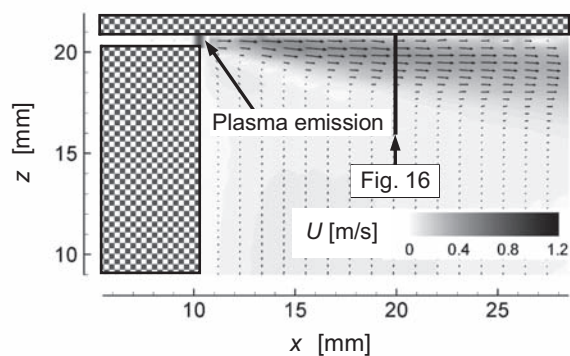
Fig. 14 Measurement system for flat plate with tip clearance



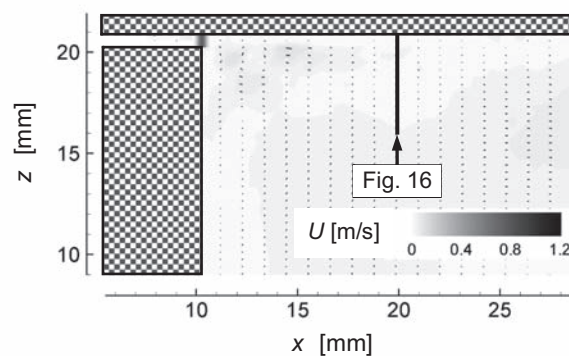
(a) Baseline



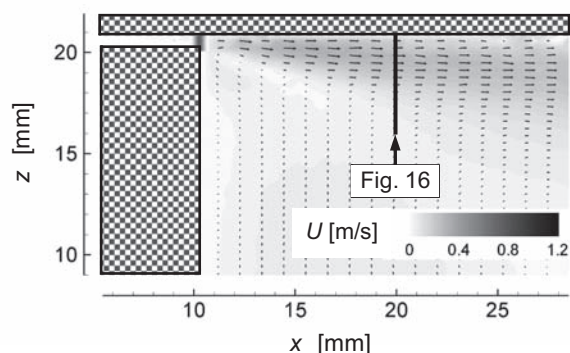
(d) Flow control ($E_{pp} = 6.0 \text{ kV}_{p-p}$)



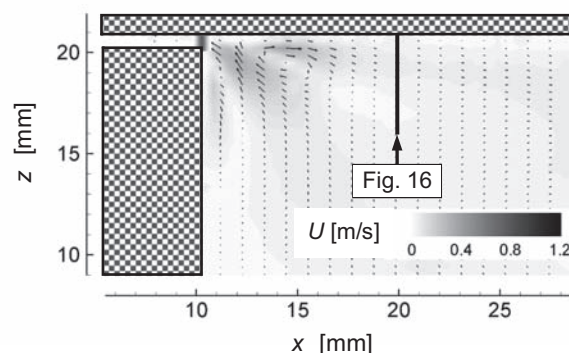
(b) Flow control ($E_{pp} = 4.5 \text{ kV}_{p-p}$)



(e) Flow control ($E_{pp} = 7.0 \text{ kV}_{p-p}$)



(c) Flow control ($E_{pp} = 5.0 \text{ kV}_{p-p}$)



(f) Flow control ($E_{pp} = 8.0 \text{ kV}_{p-p}$)

Fig. 15 Absolute velocity distributions near tip clearance exit of flat plate at various input voltages (blower 225 rpm, velocity of tip leakage flow $V_{TLF} = 1 \text{ m/s}$)

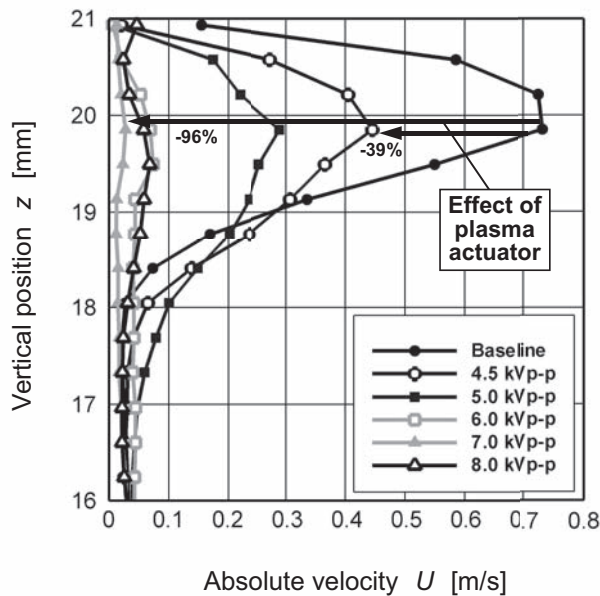
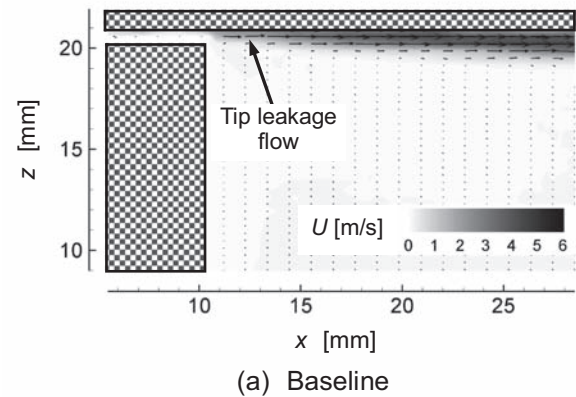


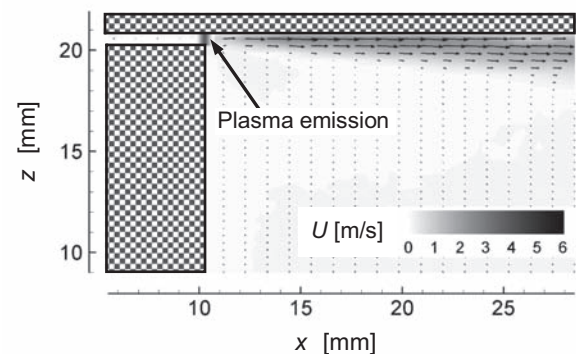
Fig. 16 Absolute velocity distributions near tip clearance exit of flat plate (blower 225 rpm, velocity of tip leakage flow $V_{TLF} = 1$ m/s)

単独翼での実験と同じ小型吹き出し風洞の測定部に、上側に1 mmのチップクリアランスを空けた平板を設置して、チップクリアランスを通る流れを再現する。送風機の回転数を225 rpmに設定し、チップクリアランスを通過する流速1 m/s程度の流れを強制的に作り出す。なお、流路面積が少なすぎて風洞の流れが不安定になることを防止するため、上流にスリットを設けて余剰な流れをバイパスさせる。上側のアクリル壁面にプラズマアクチュエータ（幅140 mm、長さ160 mm、絶縁被覆ワイヤ外径1.3 mm）を埋め込み、電圧4.5 kV_{p-p} ~ 8.0 kV_{p-p}、周波数8.6 kHzの疑似矩形波を印加した。

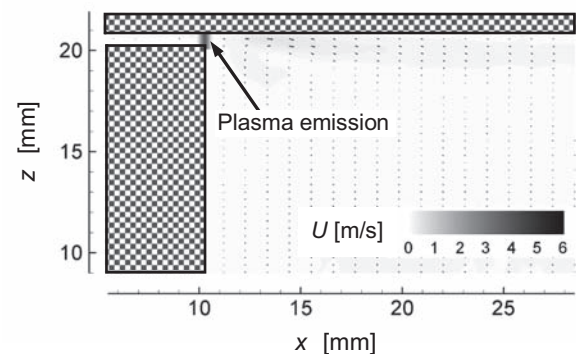
図15に、各入力電圧での絶対速度分布を示す。図15(a)は、基準（制御なし）での速度分布であり、上側壁面と平板の間のチップクリアランスを通過した流れが観察できる。図15(b)~(f)は、プラズマアクチュエータによる流れ制御を行った場合の速度分布であり、プラズマアクチュエータへの入力電圧を4.5 kV_{p-p}から8.0 kV_{p-p}まで変化した結果を示している。入力電圧4.5 kV_{p-p}の図15(b)では、制御なしの図15(a)と比べて、流れが少し減っている。入力電圧を5.0 kV_{p-p}に上げた図15(c)では、さらに流れが減る。図15(d)（入力電圧6.0 kV_{p-p}）では、流れの減少が顕著になり、図15(e)（入力電圧7.0 kV_{p-p}）では、流れがほぼ完全に消えている。流れの抑制は、プラズマアクチュエータによって平板先端から壁面（絶縁被覆ワイヤ）に向かう上向き流れの形成に起因すると考えられる^[6]。さらに電圧を上げた図15(f)（入力電圧8.0 kV_{p-p}）では、チップクリアランス出口付近に時計回りの渦が誘起されている。この原因は、印加電圧が高すぎて、平板先端から壁面（絶縁被覆ワイヤ）に向かう上向きの流れが流れよりも強くなった



(a) Baseline



(b) Flow control ($E_{pp} = 6.0$ kV_{p-p})



(c) Flow control ($E_{pp} = 7.0$ kV_{p-p})

Fig. 17 Absolute velocity distributions near tip clearance exit of flat plate at various input voltages (blower 450 rpm, velocity of tip leakage flow $V_{TLF} = 6$ m/s)

ためと考えられる。

入力電圧の違いによる変化を定量的に観察するため、図15の流れ出口から10 mm下流 ($x = 20$ mm, 図15の赤線)における絶対速度の垂直方向 (z 軸方向)分布を図16に示す。流れ制御なしの場合、最大流速は0.73 m/sであるが、入力電圧4.5 kV_{p-p}では0.45 m/sとなり、制御なしよりも39 %減少している。入力電圧7.0 kV_{p-p}では0.03 m/s (96 %の減少)となり、流れを完全に抑制することに成功している。一方、さらに高電圧の入力電圧8.0 kV_{p-p}では、図15(f)で観察された渦の生成により、0.07 m/s (91 %の減少)とやや高くなっている。

図17に、送風機の回転数を450 rpmにした時の速度分

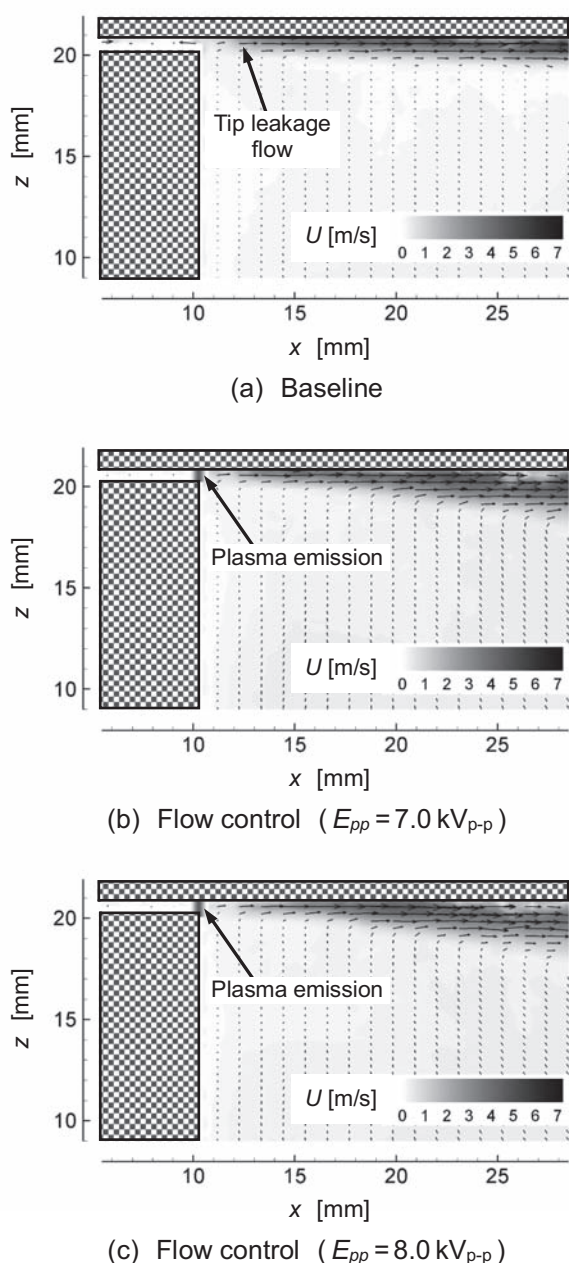


Fig. 18 Absolute velocity distributions near tip clearance exit of flat plate at various input voltages (blower 675 rpm, velocity of tip leakage flow $V_{TLF} = 7$ m/s)

布を示す。図14(a)は、基準（制御なし）での速度分布で、強制的に誘起した漏れ流れの流速が6 m/s程度に増えている。図15(a)と比べると、漏れ流れが壁面近くに沿って、狭い広がり幅で流れている。図17(b)（入力電圧6.0 kV_{p-p}）では、漏れ流れの流速が2 m/s程度に減り、図17(c)（入力電圧7.0 kV_{p-p}）では、漏れ流れが完全に抑制されている。図15と比較すると、漏れ流れが収まる入力電圧が6.0 kV_{p-p}から7.0 kV_{p-p}に増えており、流速が増えるほど必要な入力電圧が大きくなっている。

図18に、送風機の回転数を675 rpmにした時の速度分布を示す。図18(a)は、基準（制御なし）での速度分布で、強制的に誘起した漏れ流れの流速が7 m/s程度にな

る。図15(a)や図17(a)と比べると、漏れ流れがさらに壁面近くに沿った狭い流れになっている。図18(b)（入力電圧7.0 kV_{p-p}）、図18(c)（入力電圧8.0 kV_{p-p}）とプラズマアクチュエータの入力電圧を増やすと、漏れ流れが4 m/s程度にまで弱まるが、完全に抑制することはできていない。漏れ流れを抑えるためには、本実験の高圧電源を改良して、より高い入力電圧を加えることによって放電プラズマの生成・運動を増加する必要がある⁽¹⁷⁾。

4. まとめ

新開発のリング型プラズマアクチュエータの性能を把握するために、環状タービン風洞でアクチュエータと翼先端の間にプラズマが発生することを確認した後、単独翼や平板のチップクリアランス流れを抑制する基礎実験を行った。平板のチップクリアランス流れをPIVで計測することにより、本プラズマアクチュエータが、入力電圧7.0 kV_{p-p}、周波数8.6 kHzの駆動条件で、6 m/s程度の漏れ流れを完全に抑制できることを明らかにした。漏れ流れの抑制は、プラズマアクチュエータによって平板先端から壁面内の絶縁被覆ワイヤに向かう上向き流れの誘起により漏れ流れが遮断されるためと考えられる。

本研究は低速流れによる基礎試験の段階であり、実機とはチップクリアランス流れの条件が異なっている。より高速の漏れ流れを抑制するため、プラズマアクチュエータ駆動電源の改良を行うとともに、環状タービン翼列風洞の回転翼列で実証するための準備も進めている。

謝辞

「ひも型プラズマアクチュエータ」は、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）平成23年度先導的産業技術創出事業（11B04022c）で開発された。

参考文献

- (1) Corke, T. C., Enloe, C. L., Wilkinson, S. P., "Dielectric Barrier Discharge Plasma Actuators for Flow Control," Annual Review of Fluid Mechanics, Vol. 42 (2010), pp. 505-529.
- (2) Roth, J. R., Sherman, D. M., Wilkinson, S. P., "Boundary Layer Flow Control with A One Atmosphere Uniform Glow Discharge," AIAA Paper, No. 98-0328 (1998).
- (3) 藤井孝藏, 松野隆, "DBDプラズマアクチュエータ - バリア放電を利用した新しい流体制御技術", 日本機械学会流体工学部門ニューズレター流れ, Vol. 2007-12, No. 1- (2), (2007).
- (4) 深淵康二, 山田俊輔, 石川仁, "プラズマアクチュエータの基礎と研究動向", 日本流体力学会誌 ながれ, Vol. 29, No. 4, (2010), pp. 243-250.
- (5) 西田浩之, 古泉卓弥, 野々村拓, 安部隆士, "プラズマアクチュエータにおける放電プラズマ構造と誘起ジェット生成プロセスに関する数値的研究", 日本機械学会

- 2013年度年次大会 講演論文集, No. S052016, (2013).
- (6) Morphis, G., and Bindon, J. P., 1994, "The Performance of a Low Speed One and Half Stage Axial Turbine with Varying Rotor Tip Clearance and Tip Gap Geometry," ASME Paper, No. 94-GT-481.
- (7) Matsunuma, T., "Effects of Reynolds Number and Freestream Turbulence on Turbine Tip Clearance Loss," ASME Journal of Turbomachinery, Vol. 128, No. 1, (2006), pp. 166-177.
- (8) Van Ness II, D. K., Corke, T. C., Morris, S. C., "Tip Clearance Flow Visualization of a Turbine Blade Cascade with Active and Passive Flow Control," ASME Paper, No. GT2008-50703, (2008).
- (9) Huang, J., Corke, T. C., and Thomas, F. O., "Unsteady Plasma Actuators for Separation Control of Low-Pressure Turbine Blades," AIAA Journal, Vol. 44, No. 7, (2006), pp. 1477-1487.
- (10) De Giorgi, M. G., Pescini, E., Marra, F., and Ficarella, A., "Experimental and Numerical Analysis of a Micro Plasma Actuator for Active Flow Control in Turbomachinery," ASME Paper, No. GT2014-25337 (2014).
- (11) Saddoughi, S., Bennett, G., Boespflug, M., Puterbaugh, S. L., and Wadia, A. R., "Experimental Investigation of Tip Clearance Flow in a Transonic Compressor with and without Plasma Actuators," ASME Paper, No. GT2014-25294 (2014).
- (12) 松田寿, 田中元史, 大迫俊樹, 山崎顕一, 志村尚彦, 浅山雅弘, 前田太佳夫, 鎌田泰成, 尾立志弘, "プラズマ気流制御技術を用いた高性能風車の開発", 日本風力エネルギー学会論文集, Vol. 38, No. 4, (2015), pp. 85-89.
- (13) 瀬川武彦, Jukes, T., 湯木泰親, "ひも型プラズマアクチュエータ誘起噴流の流動特性", 日本流体力学会誌 ながれ, Vol. 31, No. 6, (2012), pp. 479-482.
- (14) Matsunuma, T., "Unsteady Flow Field of an Axial-Flow Turbine Rotor at a Low Reynolds Number," ASME Journal of Turbomachinery, Vol. 129, No. 2, (2007), pp. 360-371.
- (15) Matsunuma, T., and Segawa, T., "Active Control of Tip Leakage Flow for Low-Pressure Turbine by Ring-Type Plasma Actuators," AIAA Paper, No. AIAA-2013-2726 (2013).
- (16) Matsunuma, T., and Segawa, T., "Active Tip Clearance Flow Control for an Axial-flow Turbine Rotor Using Ring-type Plasma Actuators," ASME Paper, No. GT2014-26390 (2014).
- (17) 西田浩之, 清水一男, 安部隆士, 小方 聡, "DBDプラズマアクチュエータの作動原理と基本特性", プラズマ・核融合学会誌, Vol. 91, No. 10, (2015), pp. 651-656.

バイオジェット燃料を用いた小型ガスタービンのエンジン試験

Engine test of small gas turbines with aviation bio jet fuel

藤原 仁志^{*1}
FUJIWARA Hitoshi中村 将治^{*2}
NAKAMURA Masaharu冷水 陵馬^{*2}
HIYAMIZU Ryoma山田 秀志^{*1}
YAMADA Hideshi下平 一雄^{*1}
SHIMODAIRA Kazuo廣田 雅^{*2}
HIROTA Masashi岡井 敬一^{*3}
OKAI Keiichi

ABSTRACT

Engine tests of small gas turbines were performed with both of 100% HEFA (Hydro-treated Ester and Fatty Acid) bio jet fuel and JetA-1 commercial aviation fuel to investigate the effect of the fuel change on the performance of the gas turbines and the emissions. The results showed that the emission of particulate matter (PM) was greatly reduced with HEFA, while the performance of the gas turbines and other emissions were quite similar to each other. JetA-1+HEFA 50:50 blend fuel, JP4 and HDF (High Density Fuel) were also used to promote the understanding of the effect of fuels. Chemical analysis of the fuels was performed to investigate the relationship between the characteristics of the fuels and the engine performance and emissions. The lubricity of the fuels and the effect of the fuels on O-rings for fuel passages were also investigated which are essential for gas turbine long term operations.

Key words : ガスタービン, バイオジェット燃料, HEFA燃料, すず, エンジン試験

Gas Turbine, Bio Jet Fuel, Hydro-treated Ester and Fatty Acid Fuel, Particulate Matter, Engine Test

1. 緒言

航空分野における地球温暖化対策の目標や行動計画の設定は、航空輸送の性質上、国際的な合意の元で進めることが望ましく、国際民間航空機関（ICAO）を中心に行われている。航空分野から排出される温室効果ガスは、全体の2%程度と現状では大きくないが、航空輸送は年率5%程度の伸びが続くと予想されていることや、自動車分野他で進む急速な効率化、電動化も考慮すれば、今後、航空分野の温暖化への影響度が日増しに大きくなることが懸念される。ICAOでは2020年から国際航空排出CO₂量を増加させないことを目標に掲げており、この達成には、機材や運航の効率化に加えて、大幅なCO₂削減が可能な航空用バイオジェット燃料の導入が前提となっている⁽¹⁾。

その他、バイオジェット燃料には、燃料供給源の多様

化による安定供給への貢献や、これ以上燃料費を上昇させない効果などが期待されている。海外ではバイオジェット燃料が民間の定期便にも利用されているが、国内では、現在は生成も利用もされていない⁽¹⁾。国内でもバイオジェット燃料生成に向けた試みも多数みられるが⁽²⁾⁻⁽⁴⁾、一方で、バイオジェット燃料のエンジン作動状態への影響、燃料ポンプの潤滑性や燃料系統のシール性、排気ガスの変化などについて、海外での試験報告が見られるものの⁽⁵⁾、まだ完全には明らかされていない。現在、2020年東京パラリンピック・オリンピックに向けて国産バイオジェット燃料を導入する政策の議論がなされており、国内でも、産官学をあげて、バイオジェット燃料を用いたエンジンの実証試験や独自のデータ蓄積が必要になってきている。本論文では、日本初の試みである、小型ガスタービンの100%バイオジェット燃料でのエンジン試験の他、4種類の燃料でのエンジン試験を行った結果と、燃料変化の影響に関する考察について報告する。なお、ガスタービンの形状/性能の詳細は各社固有の知的財産として絶対値は開示できないものが多いが、可能な限り相対値等を利用して結果の開示に努めた。

原稿受付 2015年11月20日

校閲完了 2016年4月26日

*1 宇宙航空研究開発機構 調布航空宇宙センター
〒182-8522 調布市深大寺東町7-44-1

*2 三菱重工業 名古屋誘導推進システム製作所
〒485-0826 小牧市東田中1200

*3 東京大学 工学系研究科 航空宇宙工学専攻
〒113-8656 文京区本郷7-3-1

2. エンジン試験

2.1 試験装置

当該小型ガスタービンは、常温常圧にてテストセル内で運転された。図1に排気ガス測定の系統図を示す。排気ガスは、エンジン排気コアノズル直後に、半径方向に並んだ内径1mmのSUSパイプ3本を周方向に4ヶ所(90度ピッチ)配置し、合計12本の排気管で排気ガスを収集した。12本の排気管は、まず6本ずつ内径6mmのSUSパイプ2本に集合された後、Y字の集合管(図2参照)を介して内径6mmの1本のSUSパイプに集合された。集合部より下流は、約60℃に保たれた加熱導管約8mによってテストセル室外に導出され、図1に示す通り、各計測装置に排気ガスを供給した。

NO_x, CO, CO₂, O₂, THCのガス濃度は、排ガス測定装置MEXA-ONE(堀場製作所製)を用いて測定した。また、PMの質量密度は、マイクロストセンサ483(AVL社製)を用いて光音響法による連続計測を行い、数密度はAVL Particle Counter Advanced(D50=23nm:23nm径の微粒子を50%捕捉可能)を用いて不揮発性PM(nvPM)のみの連続計測を行った。

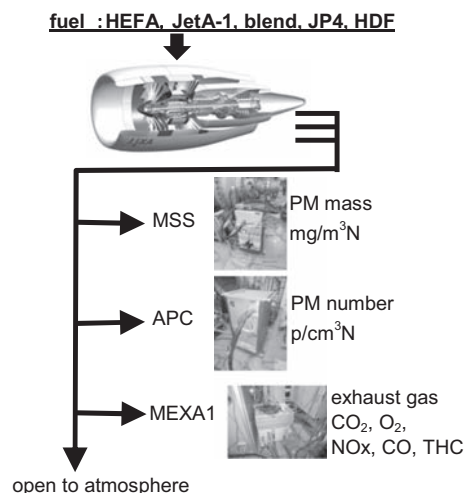


Fig.1 Exhaust gas measurement system (The engine in the figure is different from that used in this study)

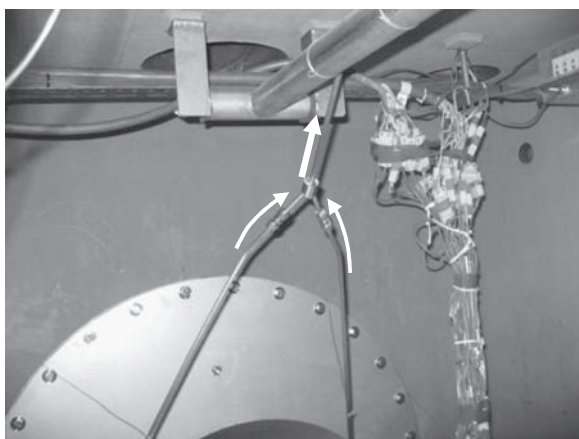


Fig.2 Exhaust gas sample line

2.2 燃料

試験では5種類の燃料を使用した。使用した航空用バイオジェット燃料(以下HEFA燃料: Hydro-treated Ester and Fatty Acid, Honeywell UOP/日揮ユニバーサル殿提供), JetA-1, HEFAとJetA-1の50:50混合燃料(体積比), JP4, 高密度燃料(以下HDF)の物理的性状および化学成分を独自に分析した結果を表1に示す。当該HEFA燃料は、原料が牛脂で、その主成分である油脂を脱炭酸して得られた軽油レンジの直鎖パラフィン(水素添加, 異性化)して得られたものである。

JetA-1とHEFA燃料を比較すると、動粘度と表面張力に大きな差は無く、噴霧粒径に差が生じにくいことが分かる。また、蒸留性状にも大きな差が無いことから、液滴の蒸発にも差が出にくいと考えられる。一方、潤滑性(BOCLE値: 小さい方が潤滑度が高い)を見ると、HEFA燃料の潤滑性がJetA-1より悪いことが分かる。これにはJetA-1は少ないながらも硫黄分が含まれるが、HEFA燃料には全く硫黄分が無いことが関係していると考えられる。最も大きな差異は芳香族成分で、JetA-1で2割程度含まれる芳香族が、HEFA燃料にはほとんど無く、不飽和分も少ない。これらよりHEFA燃料は、熱安定度が高くコーキングしにくいこと、また、HEFA燃料は、析出点が非常に低いことから、高度に異性化したパラフィンが主成分であることが分かる。また、JetA-1の芳香族は大半が1環のものであることも分かる。

現状では、民間航空機へのHEFA燃料の混合は体積比で50%までに制限されており、また、混合後の芳香族成分については、技術的な根拠については今後の課題と注記しつつも、体積比で8%以上とするよう規定されている⁽⁶⁾。その根拠の一つとして、燃料配管のOリングのシール性への影響が指摘されている⁽⁵⁾。

このため、エンジン試験に先立って、フッ素ゴムのOリング(本エンジン試験で使用)とニトリルゴムのOリングを、70時間、JetA-1およびHEFA燃料に含浸させて、性状の変化を確認した。その結果を表2に示す。表より、今回のエンジン試験で使用するフッ素ゴムのOリングに関しては燃料による変化はあまり無く、当該時間内のエンジン試験であれば、HEFA燃料でJetA-1と同様な試験をしても問題が無いことが確認できた。一方、ニトリルゴムのOリングは、燃料による強度の低下と膨張が大きく、JetA-1の方がHEFA燃料よりその傾向が大きい。ニトリルゴムでの体積の増加傾向は別の文献⁽⁵⁾等でも報告されているが、文献⁽⁵⁾では引張強さにはあまり差はないとしており、今回の結果と異なる。原因として、含浸時間や、使ったニトリルゴムの種類の違いなどが考えられるが、今後、燃料が多様化する中、使用するOリングの耐燃料性確認が一つの課題となると考えられる。

また、JP4は、ケロシンにガソリン留分を混合したもので⁽⁷⁾、表1に示す通り、初留点(沸点)が他よりも低く、炭素鎖が短く蒸発しやすい軽質の成分を一定量含むことが

Table 1 Fuel property

Measured properties	JET A-1	HEFA	JET A-1 : HEFA 50:50 blend	JP-4	HDF	Test method
Freezing point [°C]	- 48.0	- 58.5	- 51.5	- 63.0	- 61.0	JIS K 2276
Dynamic viscosity [15°C, mm ² /s]	1.655	1.963	1.786	0.9967	3.531	JIS K 2283
Surface tension [mN/m]	23.6	22.5	23.1	21.2	31.4	JIS K 2241
Density [15°C, g/cm ³]	0.7886	0.7554	0.7732	0.7573	0.9386	JIS K 2249-1
Net heat of combustion [MJ/kg]	43.380	44.140	43.730	43.610	42.120	JIS K 2279
Physical distillation						JIS K 2254
Initial boiling point [°C]	148.5	146.5	148.5	59.5	175.5	
10% recovered temp [°C]	164.5	165.0	165.0	95.5	181.5	
50% recovered temp [°C]	193.5	208.0	198.5	153.0	182.0	
90% recovered temp [°C]	237.5	253.5	247.0	219.5	182.0	
Final boiling point [°C]	259.0	269.0	262.0	250.0	194.5	
Lubricity(BOCLE) [mm]	0.83	1.04	0.87	0.58	0.84	ASTM D5001
Carbon [mass %]	86.1	84.7	85.4	85.8	88.3	JPI-5S-65
Hydrogen [mass %]	13.8	15.2	14.5	14.1	11.6	
Sulfur [mass %]	0.0006	< 0.0001	0.0003	0.0006	<0.0001	JIS K 2541-6
Composition						ASTM D1319
Paraffin [vol %]	79.1	98.4	89.1	85.9	96.9	
Olefin [vol %]	3.0	0.9	1.6	1.3	2.0	
Total aromatics [vol %]	17.9	0.7	9.3	12.8	1.1	ASTM D6379
Aromatics						
Benzenes [mass %]	21.3	< 0.1	11.6	17.0	0.2	
Naphthalenes [mass %]	0.2	< 0.1	0.1	0.1	< 0.1	
Total [mass %]	21.5	0.1	11.8	17.2	0.2	

Table 2 Impact of fuels on O-rings

		Fluoro carbon	Nitrile rubber
Specification		M83248/1	MS29513
Initial value	Hardness IRHD-M	71	62
	Tensile strength [MPa]	14.7	14.1
	Elongation	199%	329%
JetA-1 70 hours sink test	Hardness	+0%	-12%
	Tensile strength	+2%	-49%
	Elongation	+4%	-26%
	Volume expansion	+0.3%	+24.8%
HEFA 70 hours sink test	Hardness	+0%	-5%
	Tensile strength	-4%	-16%
	Elongation	-4%	-6%
	Volume expansion	+0.4%	+6.5%

分かる。また、動粘度や表面張力も小さいため、着火性が良いと考えられる。芳香族成分はJetA-1より少ない。HDFは、10%留出温度と90%留出温度に0.5℃しか差が無いことから分かる通り、ほぼ単一の種類の分子、具体的には、大半がexo-tetra-hydro-di-cyclo-pentadiene C₁₀H₁₆からなるが、分子中の炭素の結合図を図3に示す⁽⁸⁾。他の燃料と比べると、高密度で、単位体積あたりではエネルギー密度が高いことが分かる。また、動粘度や表面張力が大きく、微粒化しにくいと予想できる。芳香族は含まれていない。また、初留点が高く、炭素鎖が短く着火しやすい軽質分を含まないため、着火性は悪いと考えられる。

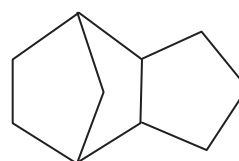


Fig. 3 Exo-tetra-hydro-di-cyclo-pentadiene

Table 3 Combustor inlet temperature, pressure and air/fuel ratio

JetA-1				HEFA			
XN [%]	$T3$ [K]	$P3$ [kPa]	AFR	XN [%]	$T3$ [K]	$P3$ [kPa]	AFR
80	100%	100%	100%	80	99%	103%	99%
85	100%	100%	100%	85	99%	101%	97%
90	100%	100%	100%	90	100%	104%	101%
95	100%	100%	100%	95	100%	100%	98%
100	100%	100%	100%	100	100%	100%	98%

JetA-1+HEFA				JP4				HDF			
XN [%]	$T3$ [K]	$P3$ [kPa]	AFR	XN [%]	$T3$ [K]	$P3$ [kPa]	AFR	XN [%]	$T3$ [K]	$P3$ [kPa]	AFR
80	99%	102%	98%	80	99%	104%	99%	80	99%	103%	97%
85	99%	101%	97%	85	100%	101%	96%	85	100%	101%	91%
90	100%	103%	101%	90	100%	102%	100%	90	100%	101%	95%
95	100%	101%	97%	95	100%	98%	97%	95	100%	98%	92%
100	100%	99%	98%	100	100%	100%	98%	100	101%	99%	91%

2.3 試験条件とエンジン運転状態

試験は、地上静止状態で、回転数80%, 85%, 90%, 95%, 100%の5つの条件で行った。燃焼器も対応する地上静止でのエンジン運転状態と同じとなるが、JetA-1燃料で運転した場合を基準として各燃料での各回転数 XN [%]における燃焼器入口温度 $T3$ [K]、燃焼器入口圧力 $P3$ [kPa]、空燃比 AFR の比率を表3に示す。表3より、多少のばらつきはあるものの、バイオジェット燃料HEFAを用いても、JetA-1とほぼ同じ運転状態が実現できていることが分かる。Blend燃料やJP4燃料でも同様であった。HDFでは、同じ回転数でも空燃比が低めになる傾向が見られた。表1に示す通りHDFは発熱量がJetA-1に比べて3%程少なく、その影響も考えられるが、それを考慮してもなお空燃比は低目になる傾向が見られた。

2.4 排気ガス分析結果

2.4.1 JetA-1, HEFA燃料およびブレンド燃料の比較

図4～6に、JetA-1, HEFA燃料、および、両者を体積比で50%ずつ混合したブレンド燃料使用時のエンジン排気ガスの、CO濃度 [ppm : wet], NOx濃度 [ppm : wet], PMの質量密度 [mg/m³N] の計測結果を示す。CO濃度とNOx濃度は、エンジンの排気ガスを100%として希釈せずに直接計測したモル分率であり、O₂濃度換算等を行っていない（以下同様）。THC (total hydrocarbon) の濃度測定も行ったが、どの場合も10ppm未満でほとんど検出されなかった。表1より燃料の発熱量の差が小さく、表3より各回転数で燃焼器の入口条件や空燃比にも大きな差が無いため、横軸は回転数 XN [%]として比較した。図4～5より、HEFA燃料を用いても、COの排出とNOxの排出にはほとんど影響が無いことが分かる。一方、図6より、排出PMの質量密度は、HEFA燃料の方が明らかに少なくなることが分かる。

排出PMの質量密度は、ICAOの指定するSmoke Number⁽⁹⁾とほぼ連動しており、民間航空エンジンの排出PMの質量密度は数mg/m³N以下に収められていることが多い。本試験で言えば80%回転数程度の場合に相

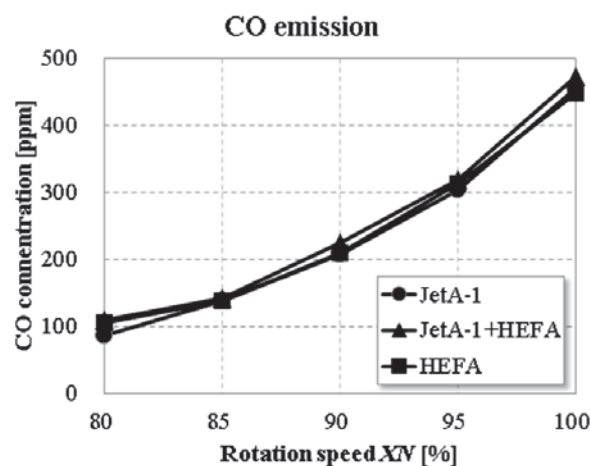


Fig. 4 CO emission (JetA-1, HEFA, Blend)

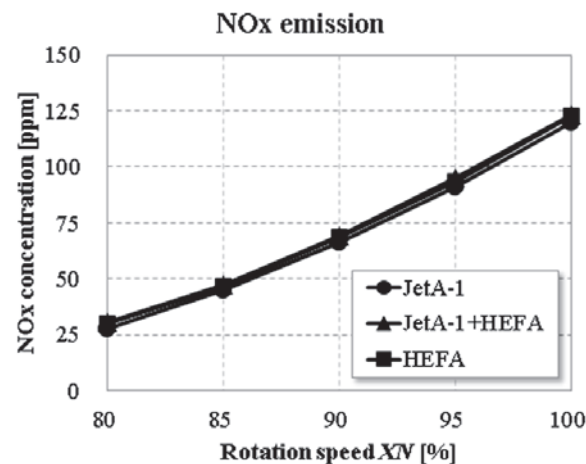


Fig. 5 NOx emission (JetA-1, HEFA, Blend)

当し、図からはHEFA燃料によるPMの減少量が分かりにくいので、具体的な質量密度の値と削減率を表4に示す。80%回転数の場合は、HEFA燃料でのPM排出はJetA-1と比べて1/5以下となっている。詳細は省略するが、別途行った燃焼器リグ試験では、ケロシン燃料で1～2 mg/m³N程度のPMを排出する場合に、HEFA燃料に置き換えるとPM排出は1/10以下となり、ほとんど

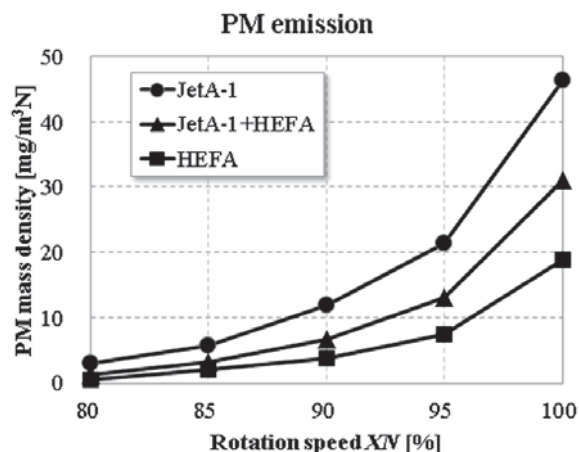


Fig. 6 PM emission (mass density)
(JetA-1, HEFA, Blend)

Table 4 PM mass density [mg/m³N] (JetA-1, HEFA, Blend)

Rotation speed XN	Jet A-1	JetA1 +HEFA	HEFA
80%	2.9 (100%)	1.4 (47%)	0.52 (18%)
85%	5.9 (100%)	3.1 (56%)	2.0 (35%)
90%	11.9 (100%)	6.7 (56%)	3.8 (32%)
95%	21.4 (100%)	13.0 (61%)	7.5 (35%)
100%	46.3 (100%)	31.1 (67%)	18.9 (41%)

PMは排出しなくなった。一方、本試験における高負荷条件のように、かなりPM排出が多い場合でもPMは6割減と、バイオ燃料によるPM削減効果は十分認められるが、その削減率は、元々 JetA-1でのPM排出量が少なめの場合の方がさらに大きくなる傾向が見られた。

PM排出がHEFA燃料で削減される原因については、オレフィン分の差異の可能性もあるが、HEFAには芳香族が入っていないことが最も大きな原因と考えられる⁽¹⁰⁾。また、ガスタービンに限らない大気圧等での一般的な火炎での芳香族を含む燃焼によるPM生成増加に関する研究も多数報告されており、燃料噴霧の粒径分布のPM生成過程への影響⁽¹¹⁾、芳香族の層流拡散火炎において発生するPM構成成分の分析⁽¹²⁾、PM発生の化学反応の分析および多環芳香族炭化水素PAHの重要性が指摘されている⁽¹³⁾。また、シクロパラフィンによるPMへの影響に関する研究⁽¹⁴⁾もあるが、本HEFA燃料の場合、シクロパラフィンの質量割合は少ないことが別の分析で分かっており、その影響は小さいと考えられる。

2.4.2 JetA-1, JP4およびHDFの比較

次に、JetA-1, JP4, HDFと燃料を変えた場合の排気ガス中のCOとNOxの変化を図7～8に示す。JetA-1とJP4にはそれほど大きな差異は見られなかったが、HDFはCOの排出が多くなった。またNOxやPMの排出量が多い。これらより、HDFの場合は、表3に示した通り、空燃比も低めで、燃焼状態が他のものと異なっていた可能性が高いと考えられる。原因としては、表1から分かる通り、動粘度や表面張力が大きく、微粒化が悪化して噴霧の粒径が大きくなったこと、炭素鎖が短い揮発性の高い分子が無く、蒸発過程が異なること、特殊な分子構造をしており、燃焼の化学反応が異なること等があげられる。PM排出(図9, 表5)に関しては、JP4は、低回転数では、JetA-1とHEFAのブレンドと似た値となっており、芳香族炭化水素の割合が低いことが関係していると考えられるが、高回転数では、JetA-1と同レベルに達している。HDFは、芳香族は含まないものの、PM排出はJetA-1の2倍近くに達している。これより、芳香族に限らず、炭素同士の結合割合が多い炭化水素はすすを生じやすいと推測される。

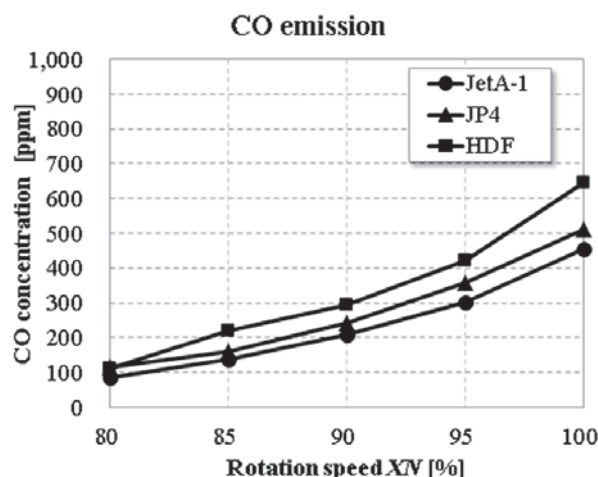


Fig. 7 CO emission (JetA-1, JP4, HDF)

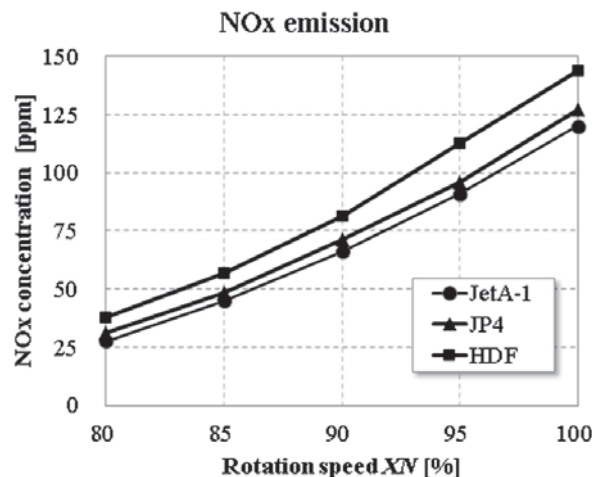


Fig. 8 NOx emission (JetA-1, JP4, HDF)

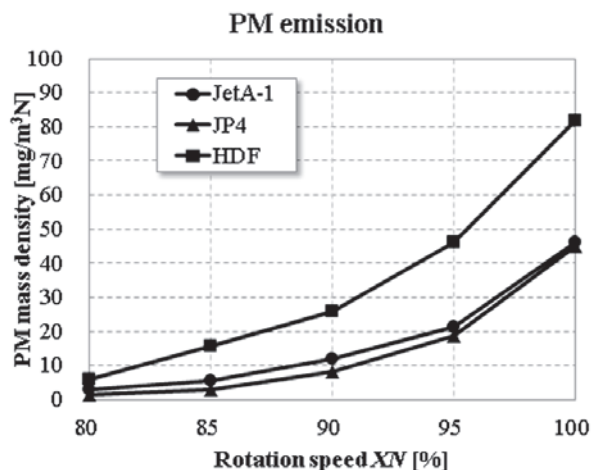


Fig. 9 PM emission (mass density)
(JetA-1, JP4, HDF)

Table 5 PM mass density [mg/m³N] (JetA-1, JP4, HDF)

Rotation speed XN	Jet A-1	JP4	HDF
80%	2.9 (100%)	1.4 (49%)	6.0 (205%)
85%	5.9 (100%)	2.9 (52%)	15.7 (280%)
90%	11.9 (100%)	8.2 (69%)	25.9 (217%)
95%	21.4 (100%)	18.6 (87%)	46.3 (216%)
100%	46.3 (100%)	45.1 (96%)	81.6 (176%)

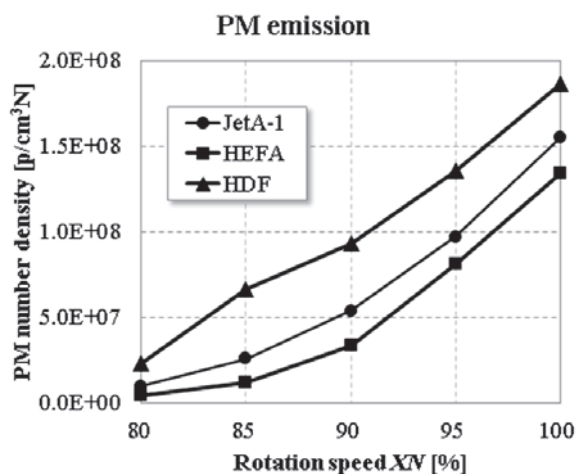


Fig. 10 PM emission (number density)
(JetA-1, JP4, HDF)

2.4.3 nvPMの排出個数

ガスタービン燃焼器の不揮発性PM(nvPM)の個数については、直径数十nmオーダーの、かなり小さな粒子が多く、配管への付着や、PMの結合等の影響が大きいとされており、エンジン出口での正確な個数を求めることについては、未だ技術が成熟していない段階と言える。本研究では、国内でガスタービンのエンジン試験での計測例の無いnvPMの個数のオーダーを知ることを主眼におき、付加的に燃料の違いによる影響を調べることとした。本試験で計測したJetA-1,HEFA,HDFの場合のnvPMの個数の測定結果を図10に示す。80%回転数の場合、JetA-1では、PMの数密度は、およそ 1.0×10^7 個/cm³Nであった。通常の民間航空エンジンのPMの個数は、この程度のオーダーと推測できる。燃料の違いによる影響については、HDFでは個数も多いことが分かる。HEFA燃料では、80%回転数で、およそ 4.0×10^6 個/cm³N (JetA-1の約4割)で、他の回転数の場合も合わせて、JetA-1からHEFA燃料に変更した場合のPM排出量は、質量に比べると個数の方が削減率が小さくなっている。このことから、HEFA燃料では相対的に大きめのPMの発生が少なくなったと考えられる。

3. 結言

本論文では、航空用バイオジェット燃料HEFA100%を含め各種燃料での小型ガスタービンのエンジン試験を行った結果について報告した。詳細な燃料分析を行った結果、HEFA燃料は、JetA-1と比べて、動粘度や表面張力、密度などの物理的な性状に大きな差は無く、噴霧の微粒化はほぼ同様であることが推測された。また、蒸留性状にも大きな差は無いことから、蒸発過程の違いも出にくいと考えられた。実際に、両方の燃料でエンジン試験を行った結果、同じ回転数では、燃焼器入口温度・圧力・空燃比に大きな差異は無く、ほぼ同じ運転状態が実現できることが分かった。排気ガスについては、NO_x, COの排出がほぼ同じであったのに対し、HEFA燃料では排出PMの質量は最大で1/5以下にまで減少することが分かった。また、その減少率は、排出PMの質量密度が小さい時ほど大きくなる傾向があった。排出PMの個数密度も計測したところ、質量密度よりHEFA燃料による減少率が小さく、HEFA燃料では比較的大きめのPM粒子が減少していると推測された。その他、燃料による影響の知見を高めるためJetA-1とHEFAの50:50ブレンド燃料、JP4, HDFでも試験を行ったところ、HDFではJetA-1よりNO_x, CO, PM共に増加した。これには、HDFが微粒化しにくいことや、炭素鎖が短い軽質成分が全く入っておらず、炭素同士の結合の多い単一の分子から構成されていることが関係していると推測された。

ガスタービンでのバイオジェット燃料利用の実用面で重要になる、燃料の潤滑性やO-ringとの相性についても調べた。HEFA燃料では、硫黄が全く入っていないこと

から、潤滑性がJetA-1より悪くなっていることが分かった。また、エンジン試験で用いたフッ素ゴムのO-ringをJetA-1とHEFA燃料に70時間含浸させて性状の変化を見た所では、あまり大きな変化は見られなかったが、ニトリルゴムでは両者とも強度の低下を伴う膨張が見られ、むしろ、JetA-1の方がHEFA燃料よりもその傾向が大きいことが分かった。燃料のシール方法は、エンジンによって多種多様であるため、今後多様化する燃料のシール性への影響について、過去の事例の検討や、より多くの種類のシール材での長時間の含浸試験、実際のエンジン試験等を行っていく必要があると考えられる。

本論文で示したような試験を積み重ね、各種エンジンでのデータや知見を蓄積することが、より環境保全効果が高く、安全で安価なガスタービン用バイオジェット燃料の開発や、その普及、および、混合率の向上につながると考えられる。

謝辞

本エンジン試験の実施においては、AVL Japan, 日揮ユニバーサル, 日本海事検定協会, およびNASA関係各位の多大なご協力を頂いたことを付記し、深く謝意を表する。

参考文献

- (1) 中島陸博, “航空用バイオジェット燃料の最新動向”, 日本エネルギー学会誌, Vol. 93 (2014), pp.52-55.
- (2) 谷春樹, 藤元薫, “高品位バイオディーゼル燃料の製造技術-HiBDプロセスとその製品”, 日本エネルギー学会誌, Vol. 93 (2014), pp. 62-68.
- (3) 隈部和弘, “Fischer-Tropsch合成を経由したバイオマスおよび石炭からの代替航空燃料の製造”, 日本エネルギー学会誌, Vol. 93 (2014), pp. 69-76.
- (4) 久保田裕詠, 大橋 洋, “藻類オイルからのジェット燃料の製造”, 日本エネルギー学会誌, Vol. 93 (2014), pp. 77-80.
- (5) “Honeywell CLEEN Program”, CLEEN Consortium Meeting, November 2012, No.21-15207.
- (6) “Standard Specification for Aviation Turbine Fuel Containing Synthesized Hydrocarbons”, D7566-12, ASTM International.
- (7) 星 文乃, 藤原 慶二, 田辺 正和, “製油所におけるジェット燃料の製造方法と品質規格”, 日本エネルギー学会誌, Vol. 93 (2014), pp. 56-61.
- (8) T.J.Bruno, M.L.Huber, A.Laesecke, E.W.Lemmon & R.A.Perkins, “Thermo-chemical and Thermo-physical Properties of JP-10”, National Institute of Standards and Technology, NISTIR6640 (2006), pp.1-67.
- (9) International standards and recommended practices, Annex 16 to the Convention of International Civil Aviation, Environmental Protection Vol.II “Aircraft Engine Emissions” (2008), ICAO.
- (10) 西田啓之, 橋本望, 小沢靖, “新種液体燃料のガスタービンへの適用性評価”, 日本ガスタービン学会誌, Vol.39, No.6 (2011), pp.394-399.
- (11) 林 潤, 赤松史光, 安鐵朱, 瀬尾健彦, 渡邊裕章, 黒瀬良一, “噴霧火炎中におけるすす生成過程に関する研究”, 日本機械学会論文集B編, 74巻, 738号 (2008), pp.429-437.
- (12) 小林佳弘, 新井雅隆, “ベンゼンの層流拡散火炎の内外におけるPM構成成分の分析”, 日本機械学会論文集 (B編), 76巻, 768号 (2010), pp.1305-1311.
- (13) 井本靖志, 他 5 名, “逆拡散火炎近傍におけるタールの分解および重合挙動の解明”, 第19回動力・エネルギー技術シンポジウム (2011), F101.
- (14) 高島芳樹, 他 5 名, “軽油性状がディーゼル排気に及ぼす影響 第3報: シクロパラフィンがベンゼンおよびすす生成に及ぼす影響”, 自動車技術会論文集, 30巻, 2号 (1999), pp.69-73.

IGTC2015 Tokyo報告

1. 全 般

渡辺 紀徳^{*1}

WATANABE Toshinori

1971年に開始されたInternational Gas Turbine Congress (IGTC) は、日本ガスタービン学会が独自に主催する国際会議として発展をつづけ、2015年に第11回を迎えた。今回のIGTC2015 Tokyoは、3年間の準備期間を経て2015年11月15日(日)から20日(金)まで、東京都港区の虎ノ門ヒルズで開催された。関係各位・各機関の多大なご尽力とご協力により、論文数や海外からの参加者がこれまでのIGTCで最多となるなど、盛会の裡に無事終了することができた。

過去10回にわたり、IGTCは日本のガスタービン技術の発展に寄与してきた。今回は2011年度に日本ガスタービン学会が公益法人化し、学会がカバーする技術分野を「ガスタービンおよびエネルギー関連技術」に広げてから、本格的に企画運営を行う最初の会議であった。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ことを主たる目的とし、昨今のエネルギー情勢やガスタービン・航空エンジンの技術状況を反映させて、最新の学術・技術情報を交換するとともに、将来の技術展望や国際協力、また人材育成などを視野に入れた有益な討議を行う国際会議として開催した。

2012年10月に立ち上げた準備委員会では、IGTC2015 Tokyoの開催趣旨と意義、および周辺状況に関する認識について議論し、以下のようにまとめた。

(1) 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

(2) 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

(3) 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。

以上の理念と基本条件を踏まえ、最新の学術・技術情報の交換促進とともに、日本の情報の積極的な発信に留意して会議を企画実施した。

次章以降で詳細に示されるように、幸い多数の論文と参加者が得られ、活発な議論と人的交流を行うことができた。ASME/IGTIをはじめ、海外の諸団体にも協賛いただき、これまでで最も多くの論文投稿と参加登録をいただいた。また、ASME/IGTIからの提案でAdditive Manufacturingに関する合同フォーラムを開催し、更に展示ブースが設けられるなど、協力関係が大いに深まった。IGTC2015 Tokyoを盛会で終了できたのは、関係各位のご努力と、助成・協賛をいただいた諸団体のご支援のおかげであり、ここに深甚なる謝意を表する次第である。実行委員会委員各位には、多忙な中、献身的なご尽力をいただいた。心よりお礼を申し上げる。また、学会事務局のみなさんや、田沼会長、久山副会長をはじめとする2015年度の学会理事各位にも大変なご協力をいただき、深く感謝申し上げたい。会議の運営を強力にサポートして下さった会議事務局のイーサイド社と、会場の虎ノ門ヒルズの関係各位にもお礼を申し上げる次第である。海外からの参加を促進して下さったInternational Advisory Committeeの委員各位にも大変お世話になった。そして最後に、会議に参加していただいた全ての方々と、査読に貢献していただいた皆さんに心より感謝申し上げます。

*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

2. 講演

論文委員会

I. 特別講演

1. Invited Lecture

航空GT, 産業GT, 空力, 材料の分野で計4件のInvited Lectureが企画された。

Invited Lecture 1: Mr. James M. Free (Director, NASA Glenn Research Center) “Propelling 21st Century Aviation to New Heights”

James M. Free氏は、1990年のNASA入所以降宇宙開発を中心に数多くのプロジェクトに携わり、2010年からのグレン研究所副所長を経て2013年からは研究所所長として同研究所の活動を指揮している。今回は航空推進を中心としてGlenn研究所の研究活動全般に関する講演を頂いた。

講演ではまず,” Research, technology, and systems to advance aviation, enable exploration of the universe, and improve life on Earth” というグレン研究所のミッションが掲げられ、続いてグレン研究所の75年に渡る歴史、保有技術、試験設備など研究所の概要が紹介された。推進系の試験設備としては、エンジン試験用の各種風洞、音響試験設備、着氷試験装置、航空試験設備、各種要素試験リグなど充実した試験設備が揃っている。これらを用いて航空関係テーマとして、安全・効率向上、商用超音速輸送機、超高効率輸送機、低炭素、リアルタイムの安全管理、自動化などが挙げられていた。さらに具体的な研究課題としては、代替燃料、騒音低減技術、着氷、小型高バイパス比エンジン技術、電動ハイブリッド推進、境界層吸い込みなどが挙げられていた。

個別の研究として、C-17実機を用いた火山灰の吸い込み試験、高空試験設備や実機による雲中飛行による実スケール着氷試験など大規模な試験が紹介され、さらに将来の電動推進に向けた今後40年にわたる技術ロードマップが示された。

(寺本 進^{*1})

Invited Lecture 2: Dr. Shailesh Patel (Vice President, Precision Castparts Corporation) “Nickel-Base Superalloys Enabling Future Generations of Power Turbines”

Invited Lecture 2は、Special Metals, Wyman Gordon, SPS tech. PCC airfoilを傘下に置く超合金の鋳鍛造品製造メーカーの副社長Shailesh Patel氏に、航空機および発電用ガスタービンに用いられている超合金とその製造

技術の開発の変遷と現状および今後の展望についての講演をお願いした。同社は、世界初の商用超合金Nimonic 80を開発して以来、鍛造合金Inconel 718、鋳造合金IN738といった、現在でも広く用いられている超合金の開発およびその製造技術に係わってきた、この分野のリーディングカンパニーである。講演では、同社の歴史を紐解く、あるいは製品カタログ、設備リストを紹介するかのようになり、この分野の材料開発および製造技術の変遷を紹介して頂いた。また、現在、取り組んでいる開発研究として、欧米および日本で開発が進められている先進超々臨界圧火力発電あるいは超臨界圧CO₂タービンシステムの開発プロジェクトの、開発材料およびその評価結果、開発材料の大型インゴット製造技術および開発で用いられている成分偏析予測技術、溶解および再溶解プロセス、あるいは、その凝固時の熱応力割れ、また、その平衡組織のシミュレーション技術、等の紹介を、米国における両プロジェクトの実証試験の計画も含め紹介して頂いた。

(吉岡 洋明^{*2})

Invited Lecture 3: Prof. Konrad Vogeler (Technical University of Dresden, Germany) “Probabilistic Analysis of Complex System Behavior in Turbomachinery Design”

Konrad Vogeler教授は、TUD (Technical University of Dresden) が保有する低速縦形試験圧縮機を用いた非定常現象の研究、特に近年では能動的なケーシングトリートメントやMailach教授と共同で実施している旋回不安定擾乱の研究で著名であるが、今回の講演ではTUDにおいて研究され、翼の設計ツールとしても用いられている確率論的解析のターボ機械設計への応用について、教育的内容も含めた講演が行われた。

講演ではまず初めに、修正Monte Carlo法を用いた確率論的解析方法の概略とその実用化パッケージ (ProSi) について解説があった。その中で、設計の際に最も重要な点となる関連因子間の相関係数の物理的な意味とそれをどのように定義したかが詳しく説明された。その後、高圧圧縮機の3, 6, 9段目動翼800枚分の詳細な計測結果に基づき、各翼形状を記述する41種類の幾何学的パラメータを導出し、それらのばらつきを確率論的にとらえて設計に応用すると共に、高周波疲労問題への実用化例を示した。最後には、提案手法の実用化例として、圧縮機システム全体を対象として、製造過程で生じる幾何学的パラメータのばらつきが、圧縮機性能や質量流量の変化に与える影響の評価方法を提案した。

* 1 東京大学大学院工学系研究科航空宇宙工学専攻

* 2 愛媛大学社会連携推進機構知的財産センター

Vogeler教授は来日後、足に怪我をされて、今回は椅子に座っての講演となった。朝一番の講演であったが、参加者も多く、会場から複数の質問もあり、活発な議論も展開された。

(太田 有*)

Invited Lecture 4 : Mr. Yoshiaki Tsukuda (Mitsubishi Heavy Industries, Ltd., Japan) “Challenge for Low BTU Blast Furnace Gas Firing GTCC in Steel Works”

講演者の佃嘉章氏は、三菱重工業株式会社に入社以降、一貫してガスタービンの開発・設計技術者として活躍され、Fシリーズの設計・開発に参画されると共に、M501Gシリーズの開発ではその指揮を執られた豊富な経験を有されている。今回の特別講演では、ガスタービン開発・設計者として苦労された製鉄所での高炉ガス焼きガスタービンの話題を提供して頂いた。

講演ではまず、極低カロリーの高炉ガス焼きガスタービンで苦労した開発・設計の取り組みについての簡単な歴史と現在の利用状況が紹介された。当時、製鋼一貫製鉄として世界をリードしていた我国の製鉄会社と共同で取り組んだ技術開発であり、製鉄所のエネルギー利用効率の改善にガスタービンが貢献している一つの事例として紹介された。特に、極低カロリーの高炉ガスを効果的に燃焼させるための技術的諸課題の解決法や技術革新について詳細に解説され、現在、各製鉄会社での発電事業の礎になっている基幹技術が開発された経緯をよく理解することができた。ガスタービンのある意味で特殊な使用例として、多くの参加者の参考になったと思われる。更に講演では、ガスタービンとしては同じ思想ともいえるIGCC（石炭ガス化複合発電）への展開についても話題に取り上げられた。

講演会最終日の朝9時からの特別講演ということで参加者の入りが心配されたが、会場はほぼ満席という盛況であった。講演者のガスタービン関連分野での豊富な経験や深い知識、また日本ガスタービン学会元会長としての知名度の高さのお蔭であり、大変ご多忙の中、特別講演をお引き受け頂いたことに改めて感謝を申し上げる。内容が豊富で予定の50分を超えてほぼ1時間の講演となったため、司会の判断でやむを得ず、質問を2件のみに限定した。

(太田 有)

2. Panel Discussion

3件のPanel Discussionが企画された。

Panel Discussion 1 : “Challenges in Propulsion Technology for Next Generation Air Transport”

* 1 IGTC2015論文委員長

早稲田大学基幹理工学部機械科学・航空学科

* 2 東京大学大学院工学系研究科航空宇宙工学専攻

前回のIGTC2011で実施した航空エンジン技術動向（中短期）の討論に引き続き、関連研究機関、メーカー、ユーザー、官庁からパネリストが登壇し、広い視野で次世代の航空エンジンに関する議論が行われた。2011年以降で大きく変化したことに、電動化への関心のシフトが挙げられるが、従来のガスタービンの更なる高度化にも高い技術要求が引き続き存在する。これらの現状を踏まえ、今後の向かうべき方向と技術課題を議論した。

まず研究機関を代表する形で2件の講演が行われた。NASA Glenn Research CenterのJames Free氏からは、NASAのシステムレベルの目標値を示した上で、代替燃料実証・騒音低減・着氷対策・電動推進等の取り組み紹介がなされた。JAXA航空技術部門の二村尚夫氏からは、現在の航空エンジン研究の背景と研究例としてaFJRをはじめとしたプロジェクト、基盤研究の紹介がなされた。

続いて、産業界を代表する形で3件の講演がなされた。Pratt and WhitneyのAlan Epstein氏からはGTF導入による技術進展が、Rolls Royce Japanの小山大祐氏からはUltraFanに向けた段階的なターボファンエンジン研究開発計画、オープンロータ、電動推進の取り組みが、JAECの平塚真二氏からはライフサイクルにわたった価値の向上の視点での期待がそれぞれ示されるなど、航空エンジン技術の現状と展望に関する話題提供がなされた。これに加えて、実際に運用するエアラインの視点が、JAL Engineeringの抜川宏樹氏より要望という形で示された。そして、日本の技術がより一層世界の航空技術に適用されることを期して、経済産業省の安良岡悟氏から話題提供がなされた。いずれも興味深く分量も多かったため、討論の時間が予定より多少少なくなったが、会場からもコメントや質問が多く出された。最後に司会から、エアラインの要望に対して研究機関・産業界はどのように答えるのかという質問がなされ、一人一人意見が示された。

(岡井 敬一*)

Panel Discussion 2 : “Current Status and Future Strategy of Electricity and Energy Supply in Asian Countries”

アジアのエネルギー戦略については、日本、中国、韓国、タイ、インドの5か国からパネリストが集い、各国でのエネルギー供給状況と今後の戦略について紹介いただいた。

日本からは、IEEJの松尾氏が、政府の2050年のCO₂削減目標（現状の80%減）に合わせたゼロエミッションに向けた施策の提案（再生エネルギー、原子力の比率の増加やCCS付きの火力発電、水素発電の活用）された。これを実現するための課題/提案として、電力価格安定化の為に原子力発電所の寿命の延伸（40→60年）、再生可能エネルギーの推進には、送電網安定化のコストが更に必要であることなどについて講演された。

中国からは、中国工程院のLin, Feng氏が、今後中国

で進めるべき点（省エネ、石炭焚き比率の低減、国内での発電比率アップ、最新技術の採用）についての導入から、ピーク運用メインとなるためGTは急速起動・フレキシブル運用対応への必要性、また大気汚染の対応で、石炭焚きについてもIGCC実証の必要性などについて講演された。

韓国からは、韓国機械研究院のJeong Lak Sohn氏が、これまで新設GTCCには最新機種を導入してきているが、今後石炭焚き比率をキープ。コストを考慮して原子力を増やす計画。増やせなければ、GTCCに置き換わる可能性があること等、韓国での電力事情を中心に講演された。インドからはIIT KharagpurのSouvik Bhattacharyya氏が、輸入に頼るガス焚きはコストが高く、石炭焚きがほとんど。今後もその傾向は変わらない。低カーボン化に対する取り組みの必要性などについて講演された。

タイのエネルギー省からはSrisuping Kornphat氏が、タイでのエネルギー事情と合わせ、再生エネルギーへの配慮、隣国との接続も考慮したグリッド整備、エネルギー効率の向上に対する今後の取り組み方針について講演された。

参加者も非常に多く、パネリスト間も含め会場とのディスカッションも闊達に行われ、非常に良いパネルディスカッションとなった。パネリストの多くから今後、ガス焚きGTの需要は少なくなるという予測であったが、IGCCや急速起動、フレキシブル運用への対応への要望が出され、今後の技術開発への方向性が示されたと考えられる。

(檜山 貴志*1)

Panel Discussion 3: “Energy Strategy: Role of Gas Turbines in the Future Energy Network”

電力自由化が先行する欧米から3名、2011年の震災以降、原子力が停止している日本から1名の合計4名のパネリストを招き、将来のエネルギー戦略およびガスタービン開発の方向性について話題提供をいただくとともに、議論した。

米国からは、EPRI (Electric Power Research Institute) のRobert Steele博士が、米国のエネルギー資源供給の構造変化、シェールガスの台頭または国内パイプラインの役割について、米国の例を中心に講演された。欧州からは、ETN (European Turbine Network) のChrister Björkqvist氏が、“Sustainability, Competitively, Security of supply”の三つを基軸に、機器ユーザーの教育の充実、標準化の推進、変化するマーケットへの適応および排出規制等について示唆に富んだ講演をされた。また、メーカーを代表して、GEジャパンと三菱重工の2社から出席戴いた。はじめにGEジャパン (GE Power & Water)

の堀江渉氏から、“Reliable, Affordable, Sustainable”の三つを要点にGEジャパンのビジネス戦略について紹介された。特に、航空用と発電用ガスタービンを主力とした技術開発とビジネスを展開しており、発電用1600℃級 H形ガスタービンの市場投入について紹介された。三菱重工の福泉靖史氏からは、『環境との共生』をテーマに、ガスタービン学会が主導する産官学連携オープンイノベーションによるガスタービン開発等について紹介された。総合討論では座長とパネラーによる討論を含め、会場との闊達な議論が交わされ、今後のエネルギー戦略の方向性を考える上で、多くの示唆に富むパネルディスカッションになったと考える。

(長谷川 武治*2)

3. Forum

IGTC2015では、full paperの提出を求めずに、最新の情報を自由に発表する場として、3件のForumが企画された。

Forum 1: “Perspective on Electric Propulsion Technologies for Aircraft Applications”

将来の航空推進システムとして近年話題となっている電動推進技術に関する最新動向を代表的なコンセプトを提示している3者から話題提供された。前日行われた航空エンジンパネルでも一部取り上げられた話題でもあり、参加者も多く、活発な質疑が行われた。

NASAのNateri Madavan氏からは、“A NASA Perspective on Electric Propulsion Technologies for Future Generations of Large Commercial Aircraft”と題してNASAの取り組み紹介がなされた。続いて、Rolls Royce Japanの小山大祐氏からは、“Planning the Journey for Hybrid-Electric – the Rolls Royce Perspective”と題して、同社が検討するE-Thrust推進系などの紹介がなされた。最後に、JAXAから田口秀之氏が、“Hydrogen and Electric Propulsion Research in JAXA”と題してJAXAで行われている水素エンジンの技術蓄積と関連して適用しうる電動推進検討ならびに取り組みに関する紹介がなされた。

講演の後、発表者が前段に立ち並び、会場からの質問に答え議論が行われた。

(岡井 敬一)

Forum 2: “CFRP in Aircraft Engine Technology”

これまで航空エンジン分野との関わりが薄かった複合材料分野の研究者が参画するフォーラムであり、最新の動向を交えた興味深い講演と質疑が行われた。登壇者は4名であり、第1にIHIの守屋勝義氏から、“Expectation of FRP Technologies for Next Generation Aircraft Engine”と題して産業界の最新動向の紹介と、将来技術として求められる事項の指摘がなされ

*1 三菱日立パワーシステムズ(株)

ガスタービン技術本部 高砂ガスタービン技術部

*2 (一財)電力中央研究所エネルギー技術研究所



図 2.1 Panel Discussion 1 パネル討論の様子

た。続いて、JAXAの竹田智氏から、“Development of Composite Fan Blade Technologies in aFJR Project”と題し講演がなされ、現在進められるaFJRプロジェクトにおける複合材技術研究の紹介がなされた。つづいて大学から2件の発表がなされた。第3の講演は、東京大学赤壁孝太郎氏から“The Effect of Fiber Waviness on the Strength of Unidirectional Thermoplastic Composites”と題してCFRP一方向材料の強度の低下に与える製造時の不整に関する最新の研究状況紹介がなされた。第4は、東京大学椎原良典氏による、“SPH-FEM Damage Analysis of CFRP Fan Blade under Bird-Strike by “K” Computer”と題した「京」スーパーコンピュータを用いた解析の取り組みに関する紹介がなされた。その後若干の残り時間で会場からの質問に答える形でディスカッションが行われた。

(青木 隆平*)

Forum 3: “GTSJ-IGTI Joint Forum on Additive Manufacturing”

ASME/IGTIの提案により、合同フォーラムを企画・開催した。IGTI理事会チェアを務めるSeung Jin Song教授とGTSJ国際委員会が相談し、テーマは昨今注目を集めるAdditive Manufacturing (AM) に決定した。IGTIからはAM機を製造するEOS社、およびAMをガスタービンに応用するGE社から講演者の提案を受け、EOS社代理店であるNTTデータエンジニアリングシステムズの前田寿彦氏と、GE Global ResearchのWei Bin氏の参加が決まった。GTSJはこの分野の国家プロジェクト実施機関であるTRAFAMを主導される、近畿大学の京極秀樹先生に講演をお願いした。京極先生から日本の金属AM技術の研究開発状況について、基礎研究からAM機の開発、応用まで広範に紹介された。Bin氏からはGE社におけるAMのガスタービンへの活用状況が紹介され、複合材ファンの前縁メタルパートや燃料ノズルへの適用例が説明された。また、前田氏からはEOS社のターボ機械に関連するAM機の販売状況、顧客各社の利用状況などが紹介された。総合討論では材料物性や製品

の信頼性と品質保証などについて多くの質疑が非常に活発に行われ、メーカー各社からの関心の高さが強く感じられた。

(渡辺 紀徳)

II. 一般講演

1. Aerodynamics and Design

Aerodynamics & Designの分野では16のセッションで54件の論文発表があり、前回大会に比べてセッション数が3件、論文数が14件増加した。セッションはオーガナイズドセッションと一般セッションの二つに大別され、それぞれのセッションで軸流圧縮機、遠心圧縮機、軸流タービン、CFDの分野の発表があった。蒸気タービン、ターボチャージャー用遠心圧縮機とラジアルタービンに関する論文は、プログラム構成の段階で蒸気タービンとターボチャージャーのオーガナイズドセッションに論文を移し、各セッションの話題を特化できるようにした。

軸流圧縮機関連ではUnsteady Flow and Stability Enhancement in Axial Compressorのオーガナイズドセッションが3件開催され、ケーシングトリートメントの効果とメカニズムの検討、静翼翼端隙間流れと作動限界への影響を含む12件が発表された。また、Application of Optimization to Axial Compressor, Aerodynamics of Axial Compressor I, II, IIIの4件の一般セッションも開催され、高揚力システムの最適化、インレットディストーションの性能への影響、感圧塗料による振動翼列翼面の圧力分布測定結果を含む14件の発表があった。遠心圧縮機関連ではUnsteady Flow and Stability Enhancement in Fans and Compressorsのオーガナイズドセッションが2件開催され、ディフューザの失速とそのメカニズム検討、および抑制法を含む6件が発表された。また、Centrifugal Compressor AerodynamicsとAerodynamics Design of Centrifugal Compressorの2件の一般セッションも開催され、羽根車先端漏れ流れと翼負荷の影響検討を含む5件が発表された。

軸流タービン関連ではUnsteady Flow and Flow Control in Turbineに関する1件のオーガナイズドセッションと、Axial Turbine AerodynamicsとAerodynamic

* 1 東京大学大学院工学系研究科航空宇宙工学専攻

Design of Axial Turbinesの一般セッション2件が開催され、タービン翼列製作誤差の性能への影響を広範囲に調べた結果、プラズマアクチュエータの適用結果を含む11件の発表があった。CFD関連ではFrontier CFD in Gas Turbineのオーガナオズドセッションが2件開催され、サンドエロージョンに関するシミュレーション結果、軸流タービン、軸流圧縮機翼列のLESによる大規模解析結果を含む6件が発表された。他のセッション内でもCFDを活用した設計、内部流動の評価に関する内容が多数発表された。

発表の国内外の比率は国内が約60%、海外が約40%であり、4日間にわたり各セッションともほぼ満席であった。ディスカッションも活発であり、クオリティの高い国際学会のセッションを開催できたと考える。

(西岡 卓宏^{*1)}

2. Combustion, Fuel and Emissions

Combustion, Fuel and Emissionsの分野ではCombustor Development I, II, Emissions, Fuels, Numerical Simulation for Combustor Design, Combustion Instability I, IIの7セッションで24件(国内15件、国外9件)の講演が行われた。燃焼シンポジウムと開催日が重なったためか、IGTC 2011(国内21件、国外7件、合計28件)と比べて国内からの発表の件数が少なかった。Combustor Development Iでは、2件のマイクロガスタービン燃焼器の研究(多孔質体を用いた灯油燃料予蒸発燃焼器の開発、デトネーション燃焼器の基礎研究)と超臨界CO₂燃焼器の開発の発表があった。Combustor Development IIは全て水素燃焼研究の発表であり、天然ガス焚き燃焼器で水素を混焼したときのNO_x圧力依存性の研究、Micromix燃焼法の研究、Micromixの産業用ガスタービン燃焼器への適用の3件であった。Emissionsでは3件、部分予混合噴霧火炎の燃焼と排出物への水素付加の影響の研究、旋回保炎非予混合火炎の煤煙濃度分布、産業用ガスタービン用水素燃焼器の開発の発表があった。Fuelsの4件は全て国外からの発表であり、IGTCにおける様々な組成の合成ガスによるSOFCの劣化の解析、木材チップガス化技術を用いたコージェネレーション・プラント、航空転用ガスタービンの燃料フレキシビリティ、ガスタービンの燃料フレキシビリティの最近の進歩についてであった。Numerical Simulation for Combustor Designでは4件、水素拡散火炎の燃焼騒音のDNS、ジェットエンジン燃焼器の大規模LES、産業用ガスタービン燃焼器の大規模LES、液膜微粒化により生じた噴霧の数値計算と実験による研究が発表された。Combustion Instability Iでは、可変スワール燃焼器内の予混合火炎についての研究、旋回予混合気のVortex

Coreへのフラッシュバックの研究、燃焼振動下の低スワール燃焼器内希薄予混合乱流火炎の不安定性の研究の3件が発表された。Combustion Instability IIの4件は、燃焼不安定の電気ヒータによる受動制御、フルスケールガスタービン燃焼器の火炎伝達関数の数値計算と実験による研究、フルスケール燃焼器リグにおける熱音響燃焼不安定の数値計算と実験による研究、燃料組成を考慮した燃焼安定限界予測の発表であった。

(山本 武^{*2)}

3. Control and Diagnostics

Control and Diagnostics 分野ではControl and Simulation, Health Monitoring and Diagnostics, Measurementの3セッションで10編の講演が行われた。Measurementにおいては4編中3編までが海外だったものの、全体では国内5編海外5編と拮抗していた。この分野に関しては、国内で開催された学会としては際立って盛況だったと言える。

(田頭 剛^{*2)}

4. Cycle Innovation, Aircraft Engines

性能分野は、航空エンジンとして2セッション、サイクルイノベーションとして3セッションを設けた。航空エンジンは、8編サイクルイノベーションは9編である。

航空エンジン (I) は全4編がシステムの視点からの騒音評価に関する発表であった。(WePM1D.1)はJAXAが導入したDGEN380ギアドターボファンエンジンを用いた騒音計測について、エンジン導入とセルにおけるベースラインノズルを用いた計測結果を示したものである。これまでのターボジェットエンジンの蓄積を元にターボファンエンジンへの適用状況が示されている。(WePM1D.2, WePM1D.3)は、Acoustic linerに関する実験的・数値的研究結果がそれぞれ示されている。(WePM1D.4)ではジェット騒音低減に向けた音響励起の実験研究結果が示されている。

航空エンジン (II) では、JAXAの予冷ターボジェットエンジンのシステム試験を通じて生じる課題解決に関する発表が2件((WePM2D.2)着霜低減、(WePM2D.3)二色法によるアフターバーナー部の温度計測)があった。また、エンジン・航空機統合化におけるサーマルマネジメントに関する概念検討が1件(WePM2D.4)発表されている。(WePM2D.1)は、背景パターンシュリーレン法に代数的画像再構成法を適用するアルゴリズムの適用例が示されている。

サイクルイノベーションは、3セッション9編の発表がなされた。(MoAMG.15)は電気自動車のRange Extender向けマイクロガスタービンの提案である。定置用ガスタービンにおいては、再生可能エネルギーとのグリッド形成等を目指して、超臨界CO₂サイクル(MoAMG.2)、集合型太陽光サイクル(MoAMG.3)、再

* 1 (株)日立製作所 インフラシステム社
技術開発本部 土浦開発センタ 流体設計開発部
* 2 宇宙航空研究開発機構航空技術部門

熱ガスタービン (WePMIG.1), 定容燃焼 (WePMIG.2), 種々のサイクル比較 (WePMIG.3) などの多彩な発表が見られた。

エンジン解析手法に関連する検討 (WeAMG.1, WeAMG.2), ターボファンエンジンの形態提案解析 (WeAMG.3) の発表もあった。

航空エンジンとサイクルイノベーションは興味の対象が似通っているにも関わらず一部同一時間開催となってしまうご迷惑をおかけした。それぞれについて闊達な質問議論がなされた。

(岡井 敬一)

5. Heat Transfer

Heat Transfer 分野では, 7 のセッションで26件の論文発表が行われた。うち海外からの発表が17件と, 海外比率が高かった今回のIGTC発表論文の中でも, 特にその傾向が顕著な分野であった。なお査読完了後の取り下げが海外から3件あった。

セッション編成に関しては, Novel Cooling TechnologiesとConjugate Heat Transfer Simulationをオーガナイズドセッションとし, それぞれ担当委員がオーガナイザーとして, 投稿された論文の中からピックアップして編成した。Novel Cooling Technologiesは7件となったため2セッションに分割し, 先進的な冷却構造や冷却設計などに関する論文が発表された。Conjugate Heat Transfer Simulationは, 流体・熱伝導連成数値解析技術を中心とする論文4件で編成し, うち1編は燃焼器に関係する論文であったが, 燃焼分野と調整のうえ, 本セッションでの発表論文に含めた。

オーガナイズドセッション以外は, タービン動翼先端部の冷却に関する3件でBlade Tip Cooling, 動静翼間隙やリムシール部分の二次空気系等に関する3件でSeals and Cavities, 伝熱計測や試験技術に関する5件でHeat Transfer Measurement, そしてフィルムなどの吹き出し流れや熱交換器の流れについてのCFDによる研究4件でHeat Transfer Evaluation by CFDの, 合計4セッションとなった。

全7セッションは, プログラム編成上もB室に固定でき, Heat Transfer 分野でパラレルセッションとならない, 適当な運営であった。部屋の大きさも参加者人数に対して概ね妥当で, 質疑応答も活発に行われたとの印象を持った。

(山根 敬^{*1})

6. Manufacturing Technologies, Materials and Coatings

材料セッションでは, 先進超超臨界圧蒸気タービンプロジェクトの材料開発・評価関連の発表は, 蒸気タービンのセッションで行うこととし, ガスタービン関連の講

演を, 従来通りガスタービン部品の「先進材料・コーティング技術」, 「機器損傷・破壊・寿命診断技術」, 「製造・補修技術」の3つの分野に大きく分類し, 募集すると共に, プログラムの編成を行った。今回行った新たな取り組みとしては, 分野毎に, 時事テーマを抽出し, しかるべき機関の方に講演をお願いすることで, ガスタービン材料に関する最新の情報を網羅したことである。この結果もあり, 全体で発表件数は28件と, 材料関係では過去最高の講演件数となった。

「先進材料・コーティング技術」では, 時事テーマとして, Ni基合金のクリープ損傷による組織崩壊過程を, Phase Field法を用い, 組織変化をシミュレーションにより現象解析する研究と, 次世代超耐熱合金として開発中のMo-Si基超合金の, 2件の講演をお願いすると共に, 一般講演としては, 経産省補助事業の中で開発された熱疲労強度に優れた新単結晶材料, 遮熱性能を向上させた低熱伝導遮熱コーティング材料の発表, あるいは, 新たなコンセプトの基に開発した鍛造Ni基超合金に関する研究成果の発表があり, これらの新技術, 新材料に関する内容について, その手法や具体的な特性に関しての積極的な討議が行われた。

「機器損傷・破壊・寿命診断技術」では, 時事テーマとして, ガスタービン動翼の寿命評価に関する講演をお願いすると共に, 一般講演としては, 熱疲労や温度勾配下でのクリープ負荷など材料に作用する温度が変動する不均一な場におけるNi基超合金の微小き裂の評価に関する研究, 一方向凝固超合金 (DS合金) において結晶方位が疲労寿命に及ぼす影響に関する研究, ショットピーニング等がNi基合金の残留応力に及ぼす効果に関する研究, 各々2件の発表をはじめとして, 実機廃却動翼を対象としたサンプリング試験と温度・応力解析の比較, Ni基単結晶超合金 (SC合金) のフレッティング疲労における結晶方位依存性の評価, 摩擦攪拌接合 (FSW) を施したTi合金の疲労き裂進展特性に関する微視組織の影響評価など, ガスタービン構造材料の損傷と寿命評価に関する最新の研究成果が発表された。この中で, Ni基超合金のき裂評価に関する発表においては, き裂の発生箇所やその形態が主たる議論の対象であった。また, DS合金, SC合金, FSWによるTi合金等の発表では, 材料の微視構造 (結晶方位や構成材料) と巨視的な材料強度の関係が議論の対象であった。特に, DS合金を対象とした結晶塑性有限要素解析は, 結晶方位や結晶粒径が巨視的な材料特性に及ぼす影響を数値解析により容易に評価できる方法として, 高い関心を集めていた。

「製造・補修技術」では, 国内のガスタービン関連の素材製造技術の現状を紹介するという視点から, 铸造メーカーと鍛造メーカーの2社に, その取り組みと課題を報告して頂いた。前者は, 铸造品における製造を意識した設計の重要性が, 後者は, 国内の航空機エンジンを対象とした鍛造プロセスの開発の経緯が, 各々の技術

*1 宇宙航空研究開発機構航空技術部門

および製造した製品と共に紹介された。一般講演としては、材料開発、Additive Manufacturing (AM)、リサイクルを含む新工法、および修理技術に関する報告が、各々2件発表された。合金開発分野では溶解・鍛造プロセスにて製造可能なNi-Co基合金の開発ならびに組成改良によるA-286の成形性改善に関わる研究発表が行われた。AMでは機械的性質や金属組織形成に及ぼす積層方法の影響が、また、実際の製品の製造に関する内容では、スワラーの造形や熱処理条件の最適化の検討に関する発表があり、これらの内容に対して活発な議論がなされた。修理技術ではNi基単結晶合金に対するレーザー肉盛補修とトランジションピースに入ったクラックのロウ付補修に関する発表が、また、新工法としては、レーザーを用いたTBCの穿孔、ブリス製造に向けたTi64とTi17のLinear Friction Welding技術が発表された。使用済み単結晶合金をリサイクルするプロセス開発に関する報告もあり、これらに対して興味深い議論がなされた。

(屋口 正次^{*1}, 高橋 聡^{*2}, 吉岡 洋明)

7. Operational Experiences, Reliability and Maintenance

Reliability and Maintenanceとしてユーザー寄り立場からの3件の講演があった。運用中に損傷したベアリングを追加加工して39日間安定運用している報告、吸気フィルタに関する報告、翼内部クラックの超音波による非破壊検査手法など、興味深い発表が行われた。他の講演室や前後の時間帯と比較して同じ又はそれ以上の聴講者がおり、この分野への関心の高さがうかがわれた。

(寺本 進)

8. Structure and Dynamics

Structure and Dynamics分野では、Fluid Structure Interaction, Bearings and Rotor Dynamics, Blade Mistuningの3セッションで10編の講演が行われた。国別でみると空力的要素もあるFluid Structure Interactionは日独2編ずつだったものの、それ以外のセッションでは国内5編海外1編であった。この分野の論文勧誘体制は、今後の課題である。

(寺本 進)

9. Industrial Gas Turbine and Power Systems

IGTセッションでは、3のセッションで10件(うち海外5件)の論文発表が行われた。IGTC'11では、Development and Operationとして3セッション計9件の論文発表があったことを考えるとほぼ同件数であった。10件のうち、OEMから9件、大学から1件であり、雨水揚水に使う非常用ポンプ駆動用のガスタービンの小型

からGTCC向けの大型まで幅広い範囲で、アップグレードを含む機種開発の状況、検証状況が主であったが、開発面では特にCMC (ceramic matrix composite) や3Dプリンターなどの革新的製造技術への取り組み状況などが示された。また、近年のフレキシビリティに対するニーズの高まりを受けて、運用性を考量し起動特性、自然エネルギー等への不安定電源への対応の為の負荷追従性、GTCCでのST追従性遅れに対するGT側の対応方法やターンダウンなどへの要望からの部分負荷性能向上等への取り組みについての発表も3件あった。

(檜山 貴志)

10. Small Gas Turbine and Turbochargers

前回のIGTC'11において、初めて過給機をテーマにしたセッションが設けられた。IGTC'11では、Turbocharger Technologyとして4コマ、計9件の講演(海外5件)があった。今回は新たに小型(マイクロ)ガスタービンもスコープとし、Small Gas Turbine and Turbochargerとしてセッションを立ち上げた。計3コマの講演が行われ、Turbochargerが昨年同様9件(海外6件)、Small Gas Turbineが3件(海外2件)、計12件(海外9件)の発表がなされた。過給機はエンジンの運転状況に応じて様々な作動点で使われる。そのため、圧縮機、タービンとも作動域および応答性を主題にした発表が多数を占めた。また、小型ガスタービンでは、3件中2件がマイクロガスタービンの開発に関わる報告であった。講演論文の概要を以下に紹介する。

過給機用圧縮機関連では、作動域・不安定現象を扱ったものが3件、応答性を扱ったものが1件あった。TuDMD.1ではVIGVによるサージ流量の低減と全体効率向上の試みが報告された。IGVをシュラウド側に固定し、軸方向に可動するハブによって予旋回をオン・オフするVIGV機構が考案され、その有効性がCFDによって検証された。TuDMD.2では、自己循環流型ケーシングトリートメントの上・下流スリットをつなぐ環状通路内のストラットの影響をPIV計測によって明らかにしている。TuDMD.3では、応答性を改善するため、進化的アルゴリズム(EA)を用い、インペラ背面形状を変えることで慣性モーメントの低減を試みている。また、TuDMD.4では、低回転数域において発生する入口逆流をPIVによって可視化している。

ラジアルタービンについては次の5件の論文発表があった。WeAMD.1では熱疲労を評価するためのインペラの温度場(温度勾配)解析と試験結果の評価が行われ、温度勾配の大きい部分の特定と、エンジンの作動状態が温度場に与える影響が示されている。WeAMD.2では、エンジンにマッチするタービンを、既存のタービンをスケールアップすることで見出す手法が示された。効率と慣性モーメントのトレードオフをしながら最適なサイズを選定する。WeAMD.3は、非対称ダブルエント

* 1 (一財)電力中央研究所

材料科学研究所構造材料領域

* 2 (株)HI 基盤技術研究所材料研究部

リースクロール（ダブルスクロール）を有するタービン特性を実験によって詳細に調べている。WeAMD4では、可変容量タービンのノズルベーンの空力設計法に関する報告がなされた。スロート部の確保が重要である。WeAMD5では、CFDによって得られた計算領域の出口－入口間のエントロピ増分とメッシュレベルのエントロピ増分の総和が一致せず、その差異がメッシュサイズと乱流モデルの影響を受けることを指摘している。

小型ガスタービンについては、TuAMD.1において100kW級マイクロガスタービンとSOFCのハイブリッドシステムの検討と試験評価を報告がなされた。TuAMD.2ではマイクロガスタービンの開発と2次空気システムの改良が報告された。TuAMD.3ではマイクロガスタービンの動解析モデルの開発と試験検証について報告がなされた。

（玉木 秀明*1）

11. Steam Turbines

蒸気タービン分野では全体で16編の投稿があり、そのうち先進超々臨界圧火力発電（A-USC）に関するものが3編（1セッション）、長翼・低圧段に関するものが6編（2セッション）、性能に関するものが7編（2セッション）であり合計5つのセッションを構成した。A-USCについては国内メーカーからの講演に限定されたが、全体として約4割が海外からの講演となった。しかしながらこれら海外からの講演はいずれも大学や研究機関からのものであり、海外メーカーからの発表が無かったことは今後課題を残した。

個別のセッションについてみると、A-USCでは蒸気タービンのロータ高温部に適用する耐熱鍛造材料の開発（MoAMC.1, MoAMC.2）、耐熱鑄造材料を使用した高温バルブの製造（MoAMC.3）に関する論文が発表され、開発の進捗が報告された。いずれについても、現在進められている国家プロジェクトにおいて実証試験を行う予定とされていた。

次に、長翼低圧段に関しては、湿り蒸気と液滴の非定常計測（MoPM1G.1）、液滴計測プローブの330MWタービンへの適用（MoPM1G.2）、低圧タービンにおける凝縮流れと湿り損失に関する研究（MoPM1G.3）、低圧多段落における湿り蒸気非定常力のCFDによる予測（MoPM2G.1）、低圧段落における粗大液滴の挙動予測（MoPM2G.2）、翼面における液膜と液滴に関する実験的研究（MoPM2G.3）、など全てが湿り蒸気に関する講演であり、現在蒸気タービンの中ではこの分野での解析・計測法の進歩が期待されていることを伺わせた。

最後に性能に関しては、本分野が蒸気タービンに関連するものということで、かなり限定されたテーマの論文が集まった結果、排気室関連のセッションと、シールを中心としたセッションとなった。前者については、蒸気タービンにおいて改善インパクトが残っている部位であり、CFD適用効果が期待できることから注目されている分野であり、最適化に関連するもの（TuAMG.1, TuAMG.2）とPIV計測を適用したもの（TuAMG.3）が発表された。後者については、遷音速タービン翼の非定常振動（TuPMG.1）、チップシールの形状と性能（TuPMG.2）、ブラシシールに関するCFD解析（TuPMG.3）、チップシールのラビリンス形状（TuPMG.4）に関する講演があり、シールが性能上の注目点であることが示された。

いずれのセッションも聴講者は概ね30名内外であり、席にはまだ余裕があったものの活発なディスカッションが行われた。

（新関 良樹*2）

12. Wind Turbine and Renewable Energy Technologies

風力タービンと再生可能エネルギーに関するセッションは、当初、別々のセッションとして講演募集が行われたが、申込件数が3件と少なかったため、「Innovation in Wind Turbine Technology」という1つのセッションにまとめられ、11月16日(月)14:50～16:05に開催された。3件の講演はすべて風力タービンの空力性能および出力に関するものであった。1件目の講演は、1.75MW級風力タービンの翼前縁付近にプラズマアクチュエータを設置した効果を実験および数値計算によって調査したものであり、プラズマアクチュエータにより平均的に4.9%の出力向上が得られたことが報告された。2件目の講演は、ウィンドファームの出力に対して森が生成する乱れがどのように影響するのかをLiDARを用いたフィールド実験により明らかにしたものであり、30%もの損失が発生することが報告された。3件目の講演は、上流側タービンの後流が下流側タービンにどのように影響するのかを数値計算により調査したものであり、上流側タービンの後流が下流側タービンの出力変動に強く影響し、両タービンの横方向距離が重要なパラメータであることが報告された。

風力タービンおよび再生可能エネルギーは、IGTCとしては、新規参入分野であり、IGTC2019においても企画に含める場合には、講演募集をより積極的かつ広範囲に行って講演数を増加させる必要があると思われる。

（山本 誠*3）

* 1 株式会社IHI技術開発本部

* 2 株式会社東芝 電力システム社 火力・水力事業部

* 3 東京理科大学工学部第一部機械工学科

3. 展 示

松田 寿^{*1}

MATSUDA Hisashi

1. はじめに

11月16日(月)から19日(木)の4日間に亘り、International Gas Turbine Congress 2015 Tokyoの展示会を虎ノ門ヒルズフォーラム（4階ホワイエ、5階メインホールならびにホワイエ）で実施した。展示会場では、国内外から38社の企業・団体が参加して企業展示を行った。また、大学から6研究室がパネル展示を実施した。今回は展示会入場者および展示会社に向けて初めてアンケートも実施し、参加者の情報ならびに今後の展示会に向けた課題を抽出した。

2. 準備経過

本展示会の実施は、富士電機、GE、IHI、JAXA、KHI、MHPS、東芝よりなる展示委員会及び出展事務局（展示支援業者）が協力し企画、運営した。

2014年7月に第1回展示委員会を開催し、展示会内容の検討を始めた。2014年11月には出展要綱を作成し各社に配布した。今回、英文版も初めて作成し関連企業に配布した。2015年1月～2月に委員から各社に対して直接フォロー連絡をとり出展募集に努めた。研究関連業者に対する大学側からのフォローもあり、2015年5月には、予定していた全ての小間（全77小間、1小間4.5m²）の申し込みを受け募集を締切った。2015年8月、会場である虎ノ門ヒルズフォーラムにて出展申込社38社に対して出展社説明会を開催した。展示委員会は2014年7月より2015年10月まで計6回の展示委員会を行い、展示会に備えた。

3. 企業出展状況

展示会にご協力いただいた企業および団体を表4.1に示す。

ガスタービン・ターボ過給機・蒸気タービン・再生可能エネルギー等の関連技術・機器、部品・部材、工作機械、計測・データ処理機器・試験器、コンピュータ・関連ソフト、出版物等、幅広い分野にまたがる企業/研究機関からの展示参加があった。今回も展示会は期間中、入場無料で開放した。製品の実物やモックアップ、ビデオ・パネル等の展示、製品やソフトを使った実演、バーチャル空間のデモなど各社とも趣向を凝らし興味深い内容であった。なお今回からASME/IGTIの展示ブース

も設け相互交流の一助とした。展示会会場の様子を図4.1、4.2に示す。

表4.1 展示会社一覧

ブースNo	企業名
1	国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構
2	株式会社大手技研
3	国立研究開発法人 産業技術総合研究所
4	スプレーイングシステムスジャパン株式会社
5	EthosEnergy / 富永物産株式会社
6	Camfil / 富永物産株式会社 大阪支店
7	GE パワー&ウォーター
8	川崎重工業株式会社
9	株式会社 本田技術研究所
10	一般財団法人日本航空機エンジン協会
11	三菱重工航空エンジン株式会社
12	三菱日立パワーシステムズ株式会社
13	ASME-IGTI
14	株式会社 放電精密加工研究所
15	株式会社 富士テクニカルリサーチ
16	ニュートンワークス株式会社
17	コンカレント日本株式会社
18	住友精密工業株式会社
19	ウエムラ技研株式会社
20	株式会社 タスコ/ ロックム TS Ltd.
21	三協インタナショナル株式会社
22	進和テック株式会社
23	株式会社第一システムエンジニアリング
24	株式会社 CD-adapco
25	NUMECA ジャパン株式会社
26	HAYNES INTERNATIONAL株式会社
27	ダンテック・ダイナミクス株式会社
28	株式会社 IHI
29	B&B - AGEMA
30	金属技研株式会社
31	マルヤマエクセル株式会社
32	丸和電機株式会社
33	株式会社 東芝
34	新東工業株式会社
35	株式会社 キグチテクニクス
36	富士テクノ工業株式会社
37	日本無機株式会社
38	アイコクアルファ株式会社

* 1 IGTC2015展示委員長
 (株)東芝 電力・社会システム技術開発センター
 回転機器開発部



図 4.1 企業展示の様子（5階メインホール）



図 4.2 企業展示の様子（4階ホワイエ）

4. 大学展示

全国6大学からの展示参加があり、各研究室の最新情報が報告された。会議中、A0ポスター用紙に足を止め熱心に眺める参加者の姿が多く見かけられた。表4.2に大学展示参加研究室一覧を示す。

表 4.2 出展大学一覧

パネル番号	出展大学研究室	
1	東京理科大学	山本研究室
2	東北大学	山本・佐野研究室
3	早稲田大学	太田研究室
4	長岡技術科学大学	岡崎研究室
5	東京大学	渡辺・姫野研究室
6	岩手大学	船崎研究室

5. 当日の運営

展示会当日毎に各展示委員から幹事を出してもらい展示の取りまとめを実施いただいた。この他、幹事会社（東芝）の担当者が4階、5階を定期的に周回し、会場内の雰囲気写真撮影するとともに、会場内に問題が発生していないか、要望事項がないかを尋ねて廻った。

設営期間を含め、展示会終了日まで学会行事としてウェルカムパーティ、講演会、パンケット等が開催されたが、今回の展示会場は一部、展示会開催前および展示会終了後も外来者が自由に行き来できる場所にも展開されていたため（5階ホワイエが施錠管理できない）、展示物をガードするために、幹事会社からガードマン役を任命し、展示会社担当者が不在の間も展示品の管理に当たった。

6. 参加者数

スペースの都合上、展示会場が4階と5階に分散されることになったため、5階メインホール入口で展示会の入場者数をカウントした。4日間で述べ1570名の来場者数を数えた。なお4階および5階それぞれの展示会場入口で新規来場者に配布したアンケート用紙は800枚であった。

7. アンケート結果

IGTC展示会の更なる改善を図るため、今回初めて展示会入場者および展示会社に対してアンケート（日本語版、英語版）を実施した。

展示会来場者800名にアンケート用紙を配布し、来場者117名および展示会社34名から回答を得た。

展示会をどのように知ったか、会場の感想、興味のある展示内容、さらには展示会への要望、参加者の所属等について無記名で尋ねた。

この結果、現状の学会からの案内（ポスター含む）方法だけでは入場者の半数近くにしか展示会情報が浸透していないことが明らかになった。展示会の盛況のためにもPR方法については更なる改良が必要であることがわかった。参加者内訳ではメーカーが半数であり、ユーザー、官公庁、商社への周知拡大が必要であることがわかった。

会場については参加者ならびに出展社ともに高評価であった。会場の虎ノ門ヒルズの地の利を生かした結果と思われる。ただし展示会場が分断されていることに対する不便ならびに一体感の欠如といったマイナス意見も出された。

展示会社の更なる充実と入場者の流動を促す飲食等の提供、広報改善によって今後のIGTC展示会の一層の飛躍が期待できることがわかった。

4. 見 学

大石 勉^{*1}
OHISHI Tsutomu

2015年11月20日(金)にOptional Facility Tourが2コースに分かれて実施された。

Tour AはJ-POWER電源開発(株)磯子火力発電所と(株)東京浜事業所タービン工場を訪問した。参加者19名(日本人7名)と行事委員2名の21名でのツアーとなった。定刻ぎりぎりに集合場所に到着する参加者が多く約15分遅れで虎ノ門ヒルズをバスで出発した。

午前中はJ-POWERの磯子火力発電所を訪問してDVD(英語版)による発電所紹介の後、英語案内班と日本語案内班の2グループに分かれて、中央制御操作室、タービン建屋、HRSG廻り、ボイラ建屋、排煙脱硝装置、排煙脱硫装置、エネルギープラザ(図5.1)を見学した。電源開発OB(毛利邦彦氏)のご厚意による興味深い英語案内に加え、見学中も自由に写真撮影が許可された予期せぬJ-POWERのご配慮に参加者は喜んでおられた。

昼食後、東芝の京浜事業所タービン工場を訪問した。初めに事業所の紹介DVDを鑑賞した後、工場内に入り蒸気タービンロータの動翼植込み工程、ロータの加工工程、ケーシングの加工工程、ノズル組立工程、ガスタービンロータ組立工程等を英語案内により全員で見学した。最後に蒸気タービンの羽根(低圧最終段翼等)が飾られている部屋を訪れることも出来、参加者の多くは羽根に興味津々の様子が印象的であった。

Tour Bは、国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構(JAXA)調布航空宇宙センターと株式会社IHI昭島エアロスペースミュージアムを訪問した。参加者29名(日本人7名)と行事委員2名の31名でのツアーとり、同じく定刻の約15分遅れで虎ノ門ヒルズを出発した。午前中はJAXA調布航空宇宙センターを訪問した。英語案内の2班と日本語案内の計3班に分かれて、センター内の各所に点在する航空エンジン試験設備(高空性能試験設備、回転要素試験設備、環状燃焼器試験設備)の見学を行った。続いて展示室を訪問し、同センターの過去と現在の研究活動をわかりやすく紹介いただけ2時間弱の滞在で充実した内容であった。

昼食後、IHI昭島エアロスペースミュージアムを訪問した。英語案内と日本語案内の2班に分かれ、IHIの航空宇宙事業の概要の紹介と航空エンジンの実物展示を見学した。ミュージアムでは時代の航空エンジンの技術的変遷を見てとることが出来、興味深く見入っておられる参加者の姿が印象的であった。

帰路、東京都内の石川酒造に立ち寄り酒蔵見学を行った。酒蔵内の英語案内や日本酒のテイスティングも出来て参加者の国籍問わず好評で、集合写真(図5.2)は酒蔵の酒林(杉玉)前で撮影した。



図5.1 Tour A集合写真：J-POWER
磯子火力発電所エネルギープラザ内



図5.2 Tour B集合写真：石川酒造の酒蔵前

*1 IGTC2015行事委員長
(株)IHI 航空宇宙事業本部技術開発センター

2015年度第2回見学会報告

細川 哲也

HOSOKAWA Tetsuya

2016年2月10日(水)、JALの整備部門を担う(株)JALエンジニアリングの成田航空機整備センター、及びエンジン整備センターにおいて、今年度第2回目の見学会が開催された(共に千葉県 成田国際空港内)。当日は28名の参加者が得られる盛況であった。参加資格を学会員に限定しなかったため、参加者の内訳は正会員:12名、非会員:15名、学生非会員:1名となり、非会員の方からの参加も多数あった。

見学会は13時に成田空港第2ターミナルビルに集合し、貸切バスで機体整備場へ移動、機体整備の様子を2グループに分かれて見学した。待ち受けていたのは格納庫で整備中の777-200型機。777-200と言えばJAL SKY NEXTで評判の国内線運航用の機体であるが、まさにSKY NEXT機材になるために座り心地のよい新しい革張りシートへの交換や機内Wi-Fiサービス用の装置を装着する整備を実施している最中の機体との事だった。1時間ほどの機体見学では、参加者全員がそのスケールの大きさと最新の技術の説明を満喫した。

次に、徒歩でエンジン整備センターへ移動、会議室にてエンジンの整備について概要説明を受けた後、2グループに分かれての工場見学となった。そこで2015年度入社の若手5人が元気よく登場し自己紹介、彼らが先頭に立ち、恐らくは何度も仲間や先輩社員と検討・練習を重ねたであろう、分かりやすい説明と案内が行われた。CF6、PW4000、GE90などのジェットエンジンの分解・検査・補修・再組立など一通りの工程の解説を聞きながら約1時間をかけて見て回ったが、若者たちの初々しくもありプロフェッショナルを感じさせる案内であった。

工場内では、大きなエンジンからファンや圧縮機、タービンといったモジュールに分割され、さらに回転動翼、静翼といった部品レベルにまで分解されて整備されてゆく状況を間近で見ることができ貴重な体験であった。特に、部品の非破壊検査場での欠陥の見え方のレクチャーやコンジット材料の教材を使用してのタッピングテスト体験、また、エンジン内部観察用の内視鏡検査機器のデモンストレーションなど普段見る事のない世界を体験することができた。更に会議室に戻ってからの質疑応答でも活発なやりとりが行われ非常に充実したものであった。質疑応答後、JALエンジニアリングの方々に見送られ、JAL整備センターを後に見学会を終了した。

最後に、本見学会の実施に多大なご協力をいただいた(株)JALエンジニアリングの関係者の皆様に心より御礼申し上げます。
(集会行事委員会委員)



機体整備場を見学中の参加者



機体前方下部へ接近



集合写真

2015年度通常総会報告

公益社団法人 日本ガスタービン学会の2015年度通常総会は、2016年4月15日(金)14時より、川崎重工東京本社2階会議室において開催された。出席者は委任状提出者、議決権行使者を含めて1178名であり、定款に定められた成立要件である総正会員数の過半数979名を満たし、総会は成立した。

報告事項

2015年度事業報告・監査結果報告
2016年度事業計画および収支予算
以上について担当理事より報告された。

決議事項

第1号議案：計算書類・財産目録の件 承認
第2号議案：理事選任の件 10名の候補者全員を承認

第3号議案：終身会員候補者の件 承認

以上の通り、いずれの議案も原案通り承認された。

総会終了後、別室にて第1回臨時理事会が開催された。出席理事の互選により久山利之君が新会長に、副会長には船崎健一君が選定され、また法人管理及び公益目的事業担当の執行理事13名が決定された。その後、総会会場にて新役員体制が久山利之新会長から報告され、新旧会長から挨拶があった。引き続き学会賞授与式が行われた。

なお、2015年度通常総会添付書類（2015年度事業報告、計算書類および財産目録、2016年度事業計画・収支予算）は、学会ホームページの会員ページに掲載されている。



2016年度役員名簿

会長	久山 利之（川崎重工）
副会長	船崎 健一（岩手大）
法人管理担当執行理事	今成 邦之（IHI）、太田 有（早大）（兼務）、木下 康裕（川崎重工）、安田 聡（MHPS）、渡辺 紀徳（東大）（兼務）
公益目的事業担当執行理事	太田 有（早大）、小森 豊明（三菱重工）、西澤 敏雄（JAXA）、野崎 理（高知工科大）、藤井 智晴（電中研）、細川 哲也（JALエンジニアリング）、山根 秀公（防衛装備庁）、吉田 英生（京大）、輪嶋 善彦（本田）、渡辺 紀徳（東大）
理事	渋川 直紀（東芝）、田尻 敬次（荏原エリオット）、松沼 孝幸（産総研）、原田 広史（物材研）、松崎 裕之（酒田共同火力）
監事	坂田 公夫（SKYエアロスペース研）、渡辺 康之（元IHI）



2015年度日本ガスタービン学会賞審査報告

2015年度学会賞審査委員会委員長 本阿弥 眞治
HONAMI Shinji

本学会では、ガスタービンおよびエネルギー関連技術に関する工学・技術の一層の発展を奨励することを目的に、優れた論文、技術ならびに若手の個人の業績に対して、2年に一度日本ガスタービン学会論文賞、技術賞、奨励賞を贈り、表彰しています。

2015年度はその表彰の年に当たり、日本ガスタービン学会誌2015年9月号の会告ならびに学会ホームページを通じて学会賞候補を募集しました。論文賞は、2011年11月から2015年10月までに日本ガスタービン学会誌および英文電子ジャーナルに公表された論文で独創性があり工学および技術に寄与したもの、技術賞は、ガスタービンおよびエネルギー関連の技術で画期的な新製品の開発、製品の品質または性能の向上、材料開発、制御技術および保守技術の向上に寄与したもの、奨励賞は上記期間に

学会誌および英文電子ジャーナルに独創的な論文を公表した若手の著者個人を対象とし、2015年10月31日を応募期限としました。その結果、自薦・他薦を含めて論文賞は16件（奨励賞対象重複5件を含む）、技術賞は応募3件が学会賞の候補となりました。

学会賞審査委員会では、論文賞・奨励賞に関しては各委員による書面評価結果に基づいた審査を行い、技術賞に関しては書類審査と代表者からのヒアリングによる審査を行いました。厳正かつ慎重な審議の結果、学会賞審査委員会として、論文賞2件、技術賞3件、奨励賞2件を推薦することとし、理事会に報告しました。

理事会において審議の結果、学会賞審査委員会からの推薦内容が承認され、次に示すとおり授賞が決定されました。

論文賞

「Free-Stream Turbulence Effects on Leading Edge Film Cooling」

(JGPP Vol. 4 No. 1 2012年2月)

岩手大学 船 崎 健 一
川 端 浩 和
(株)IHI 大 北 洋 治

ガスタービンの高出力化、高効率化を目的として、タービン入口温度は上昇傾向を辿り、それに伴いタービン翼の冷却技術はより進歩している。本研究では、タービン翼の中でも最も熱負荷の高い翼前縁でのフィルム冷却を対象としている。翼前縁でのフィルム冷却では加工の関係から通常丸孔(cylindrical hole)が用いられており、先行研究でも大半は丸孔を扱っている。本研究では出口形状が矩形状孔(diffuser hole)を取り上げ、丸孔と矩形孔を有する翼前縁モデルを紫外線硬化性樹脂によって製作し、レイノルズ数一定の条件の下、噴き出し比BR=0.5～2.0の冷却空気によるフィルム効率分布が、3種類の主流乱れTu(1%, 3.3%, 12%)に対してどのように変化するかを、実験及びCFD(RANS)により調

査している。実験では、比較的発色域の広い感温液晶を前縁モデルに塗布して、過渡応答法を用いてモデル表面でのフィルム効率を求めるとともに、櫛形温度プローブにより冷却孔から噴き出た冷却空気の空間分布を詳細に把握している。これらの実験データはCFDデータと比較している。その結果、(1)どのBRに対しても矩形状孔が翼前縁モデルにおいても丸孔よりも優れた冷却性能を有していること、(2)前縁モデル円筒面上でのフィルム効率に与えるTuの効果は顕著ではないが、前縁モデル平板面上ではTuの増加によりフィルム効率が著しく低下すること(3)CFDの予測精度はBRが高くなるほど低下することなど、を明らかにした。

論文賞

「2 段復水ラジアル蒸気タービンの開発」

(日本ガスタービン学会誌 39巻 6号 2011年11月)

(株)日立製作所 中 野 晋
 元(株)日立製作所 坪 内 邦 良
 (株)日立エンジニアリング・アンド・サービス 林 一 亮
 白 岩 弘 行
 山 田 博 行

低炭素化社会の実現に向けて、産業・民生分野におけるエネルギー消費効率改善となる未利用排熱の利用促進が求められている。著者らは、圧力 1 MPa 以下の未利用低質蒸気の有効利用として 2.4MW 級ガスエンジンの排熱蒸気から 150kW を発電する蒸気タービン発電システムの基本設計と詳細設計、プロト機の試作、及び定格負荷試験による性能確認を通して 2 段復水ラジアル蒸気タービンの設計開発手法を確立した。本蒸気タービンシステムは、電気、蒸気、循環水、及び空気系統の 4 系統から成る。永久磁石式発電機ロータの両端に高圧及び低圧段翼車を設置した一体型ロータを、水潤滑軸受で支持する構造を有する。タービン効率を高め、かつスラスト力がスラスト軸受の設計許容値の 25% (300N) 以下

になる高圧段と低圧段の圧力比として、高圧段 3.5、低圧段 4.6 を見出した。試験は、2.4MW ガスエンジンの定格運転における排熱から回収される蒸気条件である圧力 0.78MPa、流量 0.53 kg/s の飽和蒸気を供給して実施した。発電出力の計測と、高圧段、低圧段出口での湿度の計測からタービン効率を、また軸受排水温度上昇から軸受損失とスラスト力を推定した。回転数 51,000rpm の定格負荷試験において、発電機端 150kW、送電端 143kW の安定した出力とスラスト力 300N 以下を確認した。補機動力を差し引いた発電量は 135kW であり、この発電量は、2.4MW のガスエンジンの排熱蒸気を用いた場合、ガスエンジンの発電効率を 2.3% 向上させる出力であることを確認した。

技術賞

小型ビジネスジェット機用ターボファンエンジンの開発

(株)本田技術研究所 野 田 悦 生
 田 中 久 人
 梶 浦 幸 生
 佐々木 亨
 杉 谷 幸 伸

Honda は、長年の研究で培った技術により、小型・軽量・低燃費で、且つ環境性に優れた HF118 ターボファンエンジンを独自に開発した。HF118 エンジンでは、Honda で独自開発した CFD コードを活用し、空力性能に優れたブリスクファンや遠心圧縮機を開発し、また、CFRP 製のファンステータや単結晶タービンブレードなど新しい材料の適用、さらに、自動車技術を応用した軽量低コストの小型 FADEC の採用などの Honda 独自の先進技術の投入により、高性能なエンジンを実現し、2003 年には実験機の飛行を成功させた。その後、ジェネラルエレクトリック社と共同で、HF118 エンジンをさらに進化させた量産型 HF120 ターボファンエンジンの開発を進

め、多くの飛行試験・地上試験、各種のエンジン認定試験を経て、2013 年末に米国連邦航空局の型式認定を取得している。HF120 エンジンでは、HF118 エンジンの推力をさらに増強し、スーパークリティカル軸、ワイドコードスウェプトファン、CFRP 製ファンステータ、高効率遠心圧縮機、エフュージョン冷却燃焼器、エアブラスト燃料ノズル等、GE と Honda それぞれの優れた技術を量産品質に高めて投入した。HF120 エンジンは、小型ターボファンエンジンでトップクラスの推重比、低燃費、低エミッション性を達成し、その優れた品質と性能で航空機の商品性向上に大きく貢献している。

技術賞

XTS2ヘリコプター搭載用エンジンの研究

防衛装備庁 航空装備研究所
三菱重工業(株)防衛・宇宙ドメイン エンジン・機器部

防衛装備庁航空装備研究所は、陸上自衛隊が運用する国内開発のOH-1観測ヘリコプターに搭載しているTS1エンジンを基に、耐環境性に優れ、高出力化した将来ヘリコプター用ターボシャフトエンジンXTS2の研究を平成18年度から平成25年度にかけて実施した。XTS2エンジンはTS1エンジンの研究開発成果を活用し、部品共通化も図ることで、研究経費や期間、リスクを低減させている。

XTS2エンジンでは、TS1エンジンの遠心単段圧縮機に対して2段化を行い、単段あたりの空力負荷を低減することで圧縮機効率を高め、出力タービンについても圧縮機と同様に出力増大に伴う翼列1段あたりの空力負荷を低減し、出力タービン効率を高く維持するためにTS1

エンジンの軸流1段から軸流2段の形態に変更する設計とした。

平成18年度から平成23年度にかけて三菱重工業株式会社を契約相手方として2台のXTS2エンジンを試作し、航空装備研究所で平成20年度から平成25年度にかけて性能確認試験を実施した。性能確認試験では、航空機に搭載して飛行試験に供される前に、エンジンの性能や安全性、耐久性といった観点から評価する予備飛行定格試験(PFRT: Preliminary Flight Rating Test)をエンジン試験、部品試験、補機試験の3つに分類して実施した。その結果、全ての評価項目において良好な結果が得られ、XTS2エンジンを航空機に搭載して飛行試験に供し得ることを確認した。

技術賞

小型バイナリー発電装置の開発

(株)IHI 高 橋 俊 雄
脇 阪 裕 寿
町 田 晃 一

地球温暖化防止のため、CO₂排出量削減の取り組みが多く分野で行われている。しかし、利用が難しい廃熱、特に100℃未満の温水は様々な業種の工場等で発生しており、個々に分散しているため、使い道がほとんどなく、その大半が捨てられている。また、高温で噴出する温泉水も適温にするため、エネルギーを使い、冷まして利用している場合もある。このように未利用な温水を利用価値の高い電気に変換して、エネルギー回収を行う、小型バイナリー発電装置を新たに開発した。

限られた流量の温水でも発電できるように基本システムから開発を行った。更に分散して設置が行えるよう、小型・コンパクトをコンセプトに設計している。また、様々な用途に適用できるよう、発電に必要な機器類をワ

ンパッケージングに纏めた。基本システムは、オーガニックランキンサイクル方式を採用している。30℃前後の冷却水でも最大の発電(送電端: 20kW)が可能である。

今回の小型バイナリー発電装置を実現するために、心臓部となる高性能なタービン発電機もあわせて開発した。サイクルに使用される作動媒体に合わせた専用のラジアルタービンを新規設計して、損失を最小限にするため、ダイレクトドライブ方式を採用している。

現在、小型バイナリー発電装置は、温泉熱発電や焼却関係、バイオマス関係等の分野で創エネや省エネに貢献するため活用されている。今後も様々な分野への活用を目指していく。

奨励賞

レーザー誘起プラズマ分光分析 (LIPS) による高圧燃焼ガスの局所当量比計測

(日本ガスタービン学会誌 42巻 2号 2014年 3月)

早稲田大学大学院* 福 本 敦

*現在の所属は東京ガス(株)

燃焼器における燃料と空気の混合状態は、内燃機関の熱効率のみならず、窒素酸化物 (NOx) や粒子状有害物質 (PM) の生成に大きく影響する。現在、ガスタービン燃焼器内の局所当量比測定は、サンプルプローブによるガス分析が主流であるが、プローブが燃焼場に影響を及ぼす点や、時間的な変動の計測が困難な点、高圧場の局所計測に用いる際に、気密構造上、計測の自由度が制限される点などの欠点がある。これらを克服するため、高い時間・空間分解能を持つ非接触計測法として、レーザー誘起プラズマ分光分析法 (LIPS) の研究が進められている。

本研究では、高圧場においてLIPSを用いた局所当量比解析手法を構築し、容器に封入した高圧燃焼ガスの当量比測定を行った。これまで、混合比が既知の混合ガス

や当量比が既知の燃焼ガスの個別のLIPS計測は行われているが、混合ガスで得た校正データの燃焼ガスへの適用は行われていない。また従来は、スペクトル中の特定の原子に対応するピークの面積比を用いるが、その際は限られた波長域の情報のみを扱う。本研究では、新たに計測スペクトルと校正データスペクトルの測定波長域全体の相関から当量比を算出する手法を採用し、従来手法との比較を行った。その結果、相関係数法がより高精度であることが分かった。一方、正確度は、H656/N746のピーク面積比法が最もガス分析値に近い結果を示したものの、キャリブレーション結果と比較して正確度が低下した。原因はプラズマ消光にあると考えられ、その影響の補正が今後の課題である。

奨励賞

周方向単一溝型ケーシングトリートメントが遷音速圧縮機に及ぼす影響

第2報：翼端流れ場の変化と失速抑制効果のメカニズム

(日本ガスタービン学会誌 42巻 3号 2014年 5月)

東京大学大学院 佐久間 康 典

航空用ジェットエンジンに対し従来以上の性能改善が求められるなかで、圧縮機においては追加的なデバイスによる空力的な安定性の向上が期待される。従来ケーシングトリートメントには旋回失速抑制効果が認められ、様々な形状が提案されてきた。しかし失速抑制の流体力学的なメカニズムには未解明な点が多く、詳細な現象理解に立脚した設計指針の確立が望まれる。本論文では周方向溝型ケーシングトリートメントが施された遷音速圧縮機内の流れ場を数値解析によって調査した。溝が一本のみ施された単純な系に着目し、溝の設置位置と深さを対象としたパラメトリックスタディを実施することで、溝が流れ場に及ぼす影響と失速が抑制されるメカニズム

の解明を試みた。解析の結果、失速抑制効果は設置位置により大きく異なり、概して溝が深いほど失速マージンの改善が顕著であった。流路から溝内部へ流体が移動することによって翼端漏れ流れの運動量が局所的に低減することが周方向溝型ケーシングトリートメントの主要な効果であると結論付けた。この効果の大小は溝位置における翼端負荷に応じるが、それが失速の抑制に寄与するかは失速を引き起こす現象と溝位置の関係による。最も良好な効果を得た溝条件では、溝の効果によって翼端漏れ渦を構成する翼端漏れ流れの運動量が低減され、それにより翼端漏れ渦と衝撃波の干渉で生じる渦崩壊領域のブロック効果が大きく緩和されることが確認された。

2016年度特別講演会報告

佐藤 哲也
SATO Tetsuya

本特別講演会は、4月15日の2015年度通常総会の後、川崎重工業株式会社東京本社ビルにおいて79人の参加者を集めて開催されました。

本年度は、常磐共同火力株式会社勿来発電所のIGCC事業本部長である石橋喜孝氏に「勿来IGCCの運転状況と次期大型IGCCの建設計画」というタイトルで、1時間のご講演をお願いしました。勿来発電所は福島県いわき市に位置し、常磐炭の活用を目的として作られた発電所で、時代の流れとともに亜臨界発電から超臨界発電、IGCCと変遷し、石炭発電に関わる様々な技術開発が行われてきました。石橋氏は、東京電力に入社後、石炭火力発電、石炭ガス複合発電（IGCC）の技術開発に従事され、2001年に㈱クリーンコールパワー研究所に外向、本研究所の設立および技術の発展に貢献されました。私自身、IGCCについて直接話を聞くことが少なく、本講演を非常に楽しみにしておりました。

講演では、最初に、勿来発電所に現存する5基の発電設備の概要とCO₂対策のため石炭に1%弱の炭化汚泥や3%程度の木質ペレットを混入していることなどが紹介されました。常磐炭の枯渇に伴い、北海道炭、CWM（coal water mixture）等燃料が変化し、現在ではほとんどが海外炭を使用していることがわかりました。また、住宅地に近接していることより、騒音や炭塵という問題にも取り組んでいるようです。

続いて、石炭発電についての技術的解説がなされました。プラント熱効率を上げるために、従来型のUSC（超々臨界圧石炭火力発電）を踏襲したA-USC（advanced USC）、IGCC、更には燃料電池を組み合わせたIGFC等のコンバインドサイクルについて紹介されました。勿来発電所では、IGCCの中でも技術的に困難とされる空気吹きIGCCの開発に取り組み、実証、運用に成功しています。空気吹きIGCCは、世界的に主流である酸素吹きのものとは比べ、酸素を製造する動力が不要のため、送電端効率が低いのが特長です。また、従来の微粉炭火力では使いにくかった低灰融点炭を使用でき、燃料の幅が広がるというメリットもあります。ガス化炉の構造、ガス化のしくみ、給炭方式、石炭スラグの排出技術について、説明がなされました。

次に、我が国の空気吹きIGCC開発の歴史について説明があり、小型試験装置（2 ton/dayクラス）から、パ

イロットプラント（200 ton/day）、実証プラント（1700 ton/day）と一気にサイズアップしたときのご苦労がよくわかりました。実証プラントの写真を見せていただき、IGCCは、ガス化炉が必要であるため、天然ガスコンバインドと比べ約2倍の設備がいることなどがわかりました。途中、東日本大震災の影響で設備が壊れましたが、4ヶ月半で復旧し、本格的な商用運転へと進んでいます。その後、2013年6月から12月まで、ほぼ定格出力で、3917時間の連続運転を達成し、IGCCとしての世界最長記録を大きく更新しました。その間、ポンプやバルブの故障など数回のトラブルに見舞われましたが、オンラインメンテナンス技術により、プラントを停めることなく乗り切りました。

最後に、今後のIGCCの動向と次期福島復興・大型IGCCの計画についてお話がありました。欧米は、自然エネルギーやシェールガスに軸足が向きIGCCは縮小していること、新規技術の開発段階におけるコストの壁等、技術とビジネスの両立の話がなされ、自分が行っている極超音速機の開発に重ねて拝聴しておりました。

質疑応答では、多種石炭を用いた場合のスラグの付着特性など工業技術から、メンテナンス性や震災時の状況等の利用技術まで様々な質問が出され、大変有意義な講演会になったと思います。

最後になりますが、ご講演いただいた石橋氏に深く感謝の意を表します。また、特別講演会にご参加頂いた皆様、会場準備等にご協力頂きました川崎重工の皆様御礼を申し上げます。（集会行事委員会 委員長）



講師：石橋喜孝氏

第27回ガスタービン教育シンポジウム開催のお知らせ

近年、ガスタービン技術の発展にはめざましいものがあり、航空機用ジェットエンジンをはじめ大規模発電やコジェネレーション用や船舶用エンジンとして幅広く用いられています。ガスタービンは高出力・高効率であることやNOx排出を抑えることが比較的容易であることから、環境に優しい原動機として今日の人類のエネルギー問題に寄与する大変重要な役割を担っております。また、将来の地球温暖化防止に向けてガスタービンの更なる高効率化・大容量化が強く求められており、多岐にわたる研究・開発分野で若い技術者の活躍が期待されます。この様な背景から、学生及びガスタービン開発に携わる新人技術者を対象とした標記シンポジウムの開催を計画しました。会員・非会員を問わず積極的にご参加下さい。

1. 日時： 2016年7月7日(木)、7月8日(金)
2. 場所： (株)IHI 航空宇宙事業本部 瑞穂工場 (東京都西多摩郡瑞穂町殿ヶ谷229)
昭島事業所 (東京都昭島市拝島町3975-18 IHI昭島ビル)
3. プログラム：

7日(木)	8:30-	受付 (IHI昭島事業所)
	9:00-9:30	移動 IHI昭島事業所→瑞穂工場
	9:30-9:40	開会の挨拶
	9:40-11:10	「ガスタービン概論」 渡辺紀徳 (東京大学)
	11:20-12:10	「IHIにおける研究紹介(仮題)」 黒木博史 (IHI)
	12:10-13:10	昼食
	13:10-14:40	「ガスタービンと伝熱工学」 村田 章 (東京農工大)
	14:40-17:00	瑞穂工場 生産設備見学・試験設備見学 (官学参加者) IHIの航空機用ガスタービン技術の紹介・IHIそらの未来館見学 (企業参加者)
	17:00-17:30	移動 瑞穂工場→IHI昭島事業所
	18:00-19:30	懇親会
8日(金)	8:30-	受付 (IHI昭島事業所)
	9:00-9:30	移動 IHI昭島事業所→瑞穂工場
	9:30-11:00	「ガスタービンと燃焼工学」 岩井保憲 (東芝)
	11:10-12:40	「ガスタービンと流体工学」 山本 誠 (東京理科大)
	12:40-13:40	昼食
	13:40-15:10	「ガスタービンと材料工学」 屋口正次 (電中研)
	15:20-16:50	「ガスタービンと制御工学」 中村恵子 (IHI)
	16:50-17:00	アンケート記入
	17:00-17:10	閉会の挨拶
	17:10-17:40	移動 瑞穂工場→JR昭島駅(解散)

注：都合により講演順番が入れ替わる場合もございますので、最終プログラムはホームページにてご確認ください

4. 定 員： 60 名
5. 対象者：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)
6. 参加費(税込)：学生(会員：¥4,320、非会員：¥7,560)、社会人(会員：¥10,800、非会員：¥19,440)
7. 懇親会：参加費 無料
8. 受講証の発行：2日間の講義を受講された方には、「ガスタービン教育シンポジウム受講証」を発行します。
9. 申込方法：下記の申込書に必要事項を明記し、学会事務局宛に、郵便、ファクシミリ、電子メールのいずれかにより2016年6月22日(水)(必着)までに、お申し込み下さい。学会ホームページからも申込ができます。
10. 参加費の支払：当日支払いですが、事前の支払いも受け付けます。事前に支払う場合は、その旨を学会事務局にファクシミリ、電子メール、電話等でお知らせ下さい。

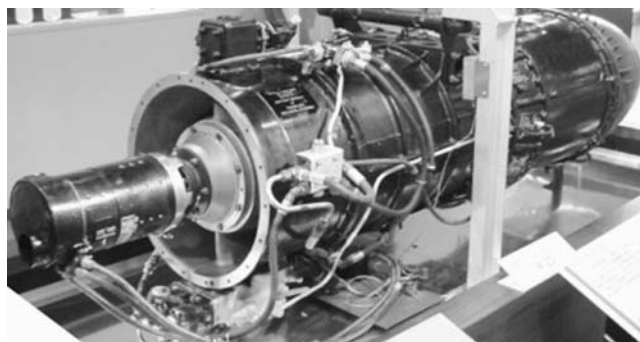
注：開催場所案内図及び詳細については当学会ホームページをご覧ください。(http://www.gtsj.org/)

- 参加費には、テキスト(ガスタービン工学)代金が含まれております。
- 交通：IHI昭島事業所はJR昭島駅北口からコンビニエンスストア横を通り徒歩で5分程度です。駐車場はございませんので電車、バスなどの公共交通機関をご利用下さい。
- 瑞穂工場行の貸切バスが9:00にIHI昭島ビルを出発いたしますので、8:50までには受付を済ませてください。(昭島—瑞穂間は距離が離れていますので、路線バス利用は不便です。乗り遅れないようにお願いします)
- 瑞穂工場見学は官学からの参加者のみとさせていただきますので予めご了承下さい。

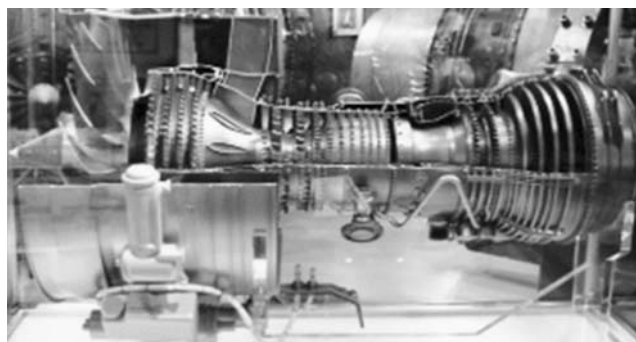
- 瑞穂工場見学にはカメラおよびカメラ付携帯電話の持込は出来ませんので予めご了承下さい。
 ○昼食：実費弁当申込を承ります（飲物付きで800円程度です）。
 ○学会事務局：（公社）日本ガスタービン学会 〒160-0023 東京都新宿区西新宿7-5-13-402
 ○振込先：銀行（みずほ銀行新宿西口支店 普通預金1812298） 郵便振替（00170-9-179578）



IHI そらの未来館の様子



日本初のジェットエンジン（ネ20）



ジェットエンジンカットモデル

★ 今年度は関西地区において、第28回ガスタービン教育シンポジウムを開催いたします。

日時： 2016年9月8日(木)、9日(金)

場所： 川崎重工業(株) 明石工場

（詳細は学会誌7月号等にて掲載いたします）

第27回ガスタービン教育シンポジウム参加申込書

（2016年7月7日、7月8日）

公益社団法人日本ガスタービン学会 行

FAX：03-3365-0387 TEL：03-3365-0095 E-mail：gtsj-office@gtsj.org

氏名			性 別	男 ・ 女
所属			学年，入社年度	
連絡先	〒			
TEL			FAX	
E-mail			GTSJ会員番号 (No.)	非会員
懇親会	出 ・ 欠		昼食申込	7 日 ・ 8 日

注）外国籍の参加者には、申込書に記載した情報の他に別途、パスポート番号などを伺う場合がございます。
 詳しくは、申込受付後にご連絡いたします。

申込締切日： 2016年6月22日(水)（必着）

2016年度 第1回見学会・技術懇談会のお知らせ

2016年度第1回見学会・技術懇談会を、国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所 海上技術安全研究所にて開催致します。概要は以下のとおりです。

1. 日 時：2016年7月21日(木) 13:30～17:00 (予定)

現地集合・解散

2. 場所および内容：

国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所 海上技術安全研究所
(〒181-0004東京都三鷹市新川6丁目38番1号)

海上・船舶関連施設の見学と技術懇談会

3. 参加要領

(1)参加資格：本会の正会員もしくは学生会員

(2)定 員：30名程度（申し込み多数の場合、お断りする可能性があります）

(3)参加費（税込）：

正会員・賛助会員	2,160円
学生会員	1,080円

4. スケジュール（詳細は調整中）

13:30～13:50	海上技術安全研究所 本館内会議室※ 集合（受付）
14:00～16:00	見学会
16:00～16:50	海上・船舶関連技術に関する技術懇談会
17:00	海上技術安全研究所 正門前 解散

※参加者には別途、集合場所・スケジュール等の詳細をお知らせする予定です。

5. 申込方法：

「2016年度 第1回見学会・技術懇談会 参加申し込み」と明記のうえ、参加者の下記の情報を、FAX、郵送またはE-Mailにて学会事務局（Fax：03-3365-0387 E-mail：gtsj-office@gtsj.org）にお送り下さい。

- (1) 氏名（ふりがな）
- (2) 性別
- (3) 会員種別
- (4) 勤務先・所属先（名称、部署、住所）
- (5) 連絡先（電話番号、FAX番号、E-Mailアドレスなど）

申込締切：2016年6月24日(金)

申込者全員に、参加可否を7月1日(金)までにお知らせいたします。
学会からの連絡がない場合にはお問い合わせください。

第44回日本ガスタービン学会定期講演会・講演募集

下記の日程で、第44回日本ガスタービン学会定期講演会を、山形県酒田市で開催いたします。講演をご希望の方は、期日までに所定の手続により講演の申込みをお願いします。

主 催 公益社団法人 日本ガスタービン学会
協 賛 協賛団体はガスタービン学会ウェブページ
 (http://www.gtsj.org/) をご覧ください。
開 催 日 2016年10月26日(木)、27日(木)
講演会場 ホテルリッチ&ガーデン酒田
 山形県酒田市若竹町1-1-1
 http://www.richgarden.co.jp/
 Tel: 0234-26-1115
見 学 会 2016年10月28日(金)

※ 会期中のご宿泊は各自で手配ください。講演会場である「ホテルリッチ&ガーデン酒田」でのご宿泊を推奨します。

講演関連日程

講演申込締切 2016年6月24日(金)
 講演採否連絡 2016年8月1日(月)
 論文原稿締切 2016年9月1日(木)

募集講演

「研究報告」及び「技術紹介」に関する講演を募集いたします。「研究報告」の対象は、ガスタービン及びターボ機械等に関する最近の研究で、未発表のものとします。一部既発表部分を含む場合には未発表部分が主体となるものに限り、既発表の研究のレビューや関連情報(例えば、試験設備、設備運転実績等)の紹介等とします。講演論文集では「研究報告」と「技術紹介」の別を明示いたします。

ガスタービン本体及びその構成要素のみならず、補機・付属品、ガスタービンを含むシステム、ユーザーの実績等に関する論文、さらに共通する理論や技術を基盤とする技術分野(ターボチャージャー、蒸気タービンなど)の講演も歓迎します。

講演時間

論文1件につき、講演15分、討論5分、合計20分です。

登壇者の資格

原則として、本会会員もしくは協賛団体会員に限り、(1人1題目の制限はありません。)

講演申込方法と採否の決定

日本ガスタービン学会ウェブページ (http://www.gtsj.org/) で講演申込みを受付けます。

FAXで申込みの場合は、申込書に必要事項を記入して、日本ガスタービン学会事務局宛にFAXしてください。申込書はガスタービン学会ウェブページからダウンロードするか、ガスタービン学会事務局にご請求ください。FAXで申込みを行った場合は、ガスタービン学会事務局に電話またはEメールにてその旨をお知らせください。

締切後の申込みは受付けません。

講演の採否は日本ガスタービン学会において決定し、8月1日(木)までにEメールにて連絡する予定です。

公益社団法人 日本ガスタービン学会事務局

電話番号: 03-3365-0095
 FAX番号: 03-3365-0387
 Eメールアドレス: gtsj-office@gtsj.org

講演論文原稿の提出

講演会に先立ち、講演論文原稿をご提出いただきます。講演論文を講演論文集原稿執筆要領(日本ガスタービン学会ウェブページに掲載)に従って、A4用紙2～6ページ(技術論文に同時投稿または30日以内に投稿予定の場合は8ページまで可)で作成し、所定の講演論文原稿表紙を付して、期限までにEメールに添付した電子データ(PDF形式)として提出してください。原稿執筆要領および原稿表紙用紙、ならびに原稿提出先は、講演採否の連絡時にお届けします。

技術論文としての学会誌への投稿

原稿執筆要領に記載の要件を満たす「研究報告」の講演原稿は、著者の希望により、講演会終了後に通常の技術論文として投稿されたものとして受理されます。技術論文としての投稿を希望される場合は、講演論文原稿提出時に原稿表紙の所定欄に希望ありと記入し、さらに技術論文原稿表紙、論文コピー2部、英文アブストラクトを添付していただきます。詳細は原稿執筆要領をご覧ください。

日本ガスタービン学会学生優秀講演賞

学生による「研究報告」の内、特に優秀な発表に対して表彰を行います。表彰された発表に対しては表彰状及び副賞が授与されます。エントリー希望者は申込時に所定の欄に○印をつけてください。

学生講演会参加旅費支援について

学生が登壇者として講演会に参加する際の旅費の一部を補助する予定です。審査方法等については学会ウェブページ等でお知らせします。

○ 本会協賛行事 ○

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	No.16-63「講習会CFDの基礎とノウハウ」	協賛	2016/6/21	東京大学生産技術研究所	日本機械学会流体工学部門 URL: http://www.jsme.or.jp/kousyu2.htm
日本航空宇宙学会・宇宙航空研究開発機構	第48回流体力学講演会／第34回航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム	協賛	2016/7/6-8	金沢歌舞伎座 (石川県金沢市)	URL: http://www.jsass.or.jp/web/index.php
日本機械学会 関西支部	第344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	2016/7/27-28	大阪科学技術センター	日本機械学会関西支部事務局 URL: http://www.kansai.jsme.or.jp/
日本マリンエンジニアリング学会	第86回(平成28年) マリンエンジニアリング学術講演会	協賛	2016/10/24-26	姫路商工会議所 (姫路市)	公益社団法人日本マリンエンジニアリング学会 URL: http://www.jime.jp
日本機械学会	No.16-30「第27回内燃機関シンポジウム」	協賛	2016/12/5-7	東京工業大学蔵前会館	日本機械学会エンジンシステム部門 http://www.jsme.or.jp/event/detail.php?id=4386



▷ 入 会 者 名 簿 ◁

〔正会員〕

藤崎 久貴(エッチ・ケー・エス)	菅原 由貴(東北電力)	山崎 裕之(東北電力)
阿部 雅宏(東北電力)	孫 準完(Hanwha Techwin, Tokyo Branch)	高橋 憲司(プラクスエア工学)
古川 雄基(防衛装備庁)	太田 敦夫(三菱日立パワーシステムズ)	

〔学生→正会員〕

堀本 康平(IHI)	米村 淳(IHI)	浜島 静香(IHI)
榊 達郎(川崎重工業)	幅 大地(東京大学大学院)	真田 浩希(トヨタ自動車)
加藤 彬(新潟原動機)	東 俊彦(三菱重工業)	清水 敦司(三菱日立パワーシステムズ)
山本 姫子(早稲田大学大学院)		

〔賛助会員〕

エバーロイ商事(株)	(株)数値フローデザイン	(株)日本エアテック
(株)フルヤ金属	マルヤマエクセル(株)	

次号予告 日本ガスタービン学会誌2016年7月号 (Vol.44 No. 4)

特集「水素エネルギー利用社会への歩み、ガスタービンと燃料電池の最新情報」

巻頭言 栗山 信宏(産業技術総合研究所)

日本における水素エネルギー関連技術の歩みと現状 笹倉 正晴, 福田 健三(エネルギー総合工学研究所)

水素サプライチェーンと水素発電 西村 元彦(川崎重工業)

水素を用いた自立型エネルギー供給システム 中島 良(東芝)

MHPSにおけるSOFC-マイクロガスタービンハイブリッドシステムの開発状況 富田 和男(三菱日立パワーシステムズ)

水素エンジン、水素関連研究 辻村 拓, 古谷 博秀(産業技術総合研究所)

航空機動力源としての燃料電池技術の研究開発状況 岡井 敬一(宇宙航空研究開発機構)

石炭ガス化燃料電池複合発電 椎屋 光昭(大崎クールジェン)

りん酸形燃料電池の適用事例 大内 崇(富士電機)

家庭用及び業務用燃料電池の最新情報 寺澤 秀彰(東京ガス)

燃料電池車MIRAI、水素社会の実現に向けて 渡部 麻美子, 小島 康一(トヨタ自動車)

※タイトル、執筆者は変更する可能性があります。

日本ガスタービン学会 賛助会員のご紹介

本コーナーでは、賛助会員各社の紹介をいたします。ガスタービン・エネルギー関連企業間の連携や情報交換を促進する場としてもご利用いただけるものと考えております。今回は 43 団体からご寄稿いただきました。御礼を申し上げます。

三菱日立パワーシステムズ

三菱日立パワーシステムズ株式会社は2014年2月1日に三菱重工業株式会社と株式会社日立製作所が両社の火力発電システム事業を統合し誕生した会社です。当社は、世界で主力となりつつあるコンバインドサイクル発電所の設計、製作から土木・建築、据付工事、試運転、アフターサービスに至るまで、すべてを自社技術で行う国内唯一のメーカーです。ガスタービン出力28～470MWの幅広いラインナップにより、電気事業用・産業用発電および天然ガス液化プラントの圧縮機駆動用まで多種多様なニーズに対応致します。



〒220-8401 横浜市西区みなとみらい3-3-1
Tel : 045-200-6100 Fax : 045-200-7989
<http://www.mhps.com>

株式会社 IHI エネルギー・プラントセクター

弊社ではお客様の多様なニーズにカスタマイズ対応して、航空転用形ガスタービンを中核とした2MW～50MWの幅広いレンジでの発電設備の設計、据付、整備に至るライフサイクルビジネスをグローバルに展開しております。

導入後のメンテナンス体制も、365日24時間お客様の発電設備の運転状況監視や故障前に異常検知する予防保全サービスも提供しております。

緊急時には豊富な経験とノウハウを持った技術者が対策を検討の上、最寄の国内外整備拠点から緊急対応する体制を整えております。

取扱い業種：ガスタービン発電設備

〒135-8710 東京都江東区豊洲三丁目1番1号 豊洲IHIビル

株式会社IHI エネルギー・プラントセクター

原動機プラント事業部 営業部

TEL : 03-6204-7723, FAX : 03-6204-8776

<http://www.ihico.jp/powersystems/>

株式会社 IHI 防衛システム事業部

弊社では、航空転用型ガスタービンを適用した艦艇の主機・発電機の開発・生産を担っています。

また、これらのガスタービンの整備や部品修理を担当し、海上自衛隊における安定した運用に貢献しています。

取扱い業種：艦艇用ガスタービン

〒135-8710 東京都江東区豊洲三丁目1番1号 豊洲IHIビル

株式会社IHI 航空宇宙事業本部

防衛システム事業部 営業部 営業グループ

TEL : 03-6204-7663, FAX : 03-6204-8797

<http://www.ihico.jp/>

Kawasaki

川崎重工業株式会社

川崎重工の航空機用エンジン事業は、1942年にジェットエンジン（ネーロ～4）の研究試作に取り組んだことが始まりです。今日では、防衛省向けのヘリコプター用エンジンを製造するとともに、大形旅客機用エンジンの国際共同開発・分担製造を行っています。また、航空機用エンジンで磨いた技術を発電機や機械の駆動源として活かそうと、1972年、自社技術で産業用ガスタービンの開発に着手し、「カワサキガスタービン」を完成しました。現在、150kW級の小形機から3万kW級の大形機までシリーズ化を図り、これを駆動源とした非常用発電設備、コージェネレーションシステムは国内外で高く評価されています。

〒105-8315 東京都港区海岸一丁目14番5号

TEL : 03-3435-2533 FAX : 03-3435-2592

MES

三井造船株式会社

三井造船では1950年からガスタービンの開発に着手し、1954年に1号機を納入。以後、お客様の様々なご要望に合わせガスタービンを提案し続けております。

SBシリーズ（自社開発ガスタービン）：1MW～24MW、リファイナリからの副生ガス等にも対応可能
MSCシリーズ（米国ソーラー社ガスタービン）：3～14MW級、シンプルコジェネ
MACSシリーズ（米国ソーラー社ガスタービン）：7～18MW級、コンバインドサイクル

〒104-8439 東京都中央区築地5丁目6番地4号
Tel: 03-3544-3951 Fax: 03-3544-3055
<http://www.mes.co.jp/>



TOSHIBA

Leading Innovation >>>

株式会社 東芝

拡大し続けるエネルギー需要にも応えたい。環境ニーズにも応えたい。東芝は確かな技術力でその両立を実現します。CO₂排出量を低減した高効率な火力や、風力・水力といった再生可能エネルギーなどの新たな発電技術を開発。

ベストミックスによる電力の安定供給に貢献します。

同時に、製造するすべての製品において環境性能 NO.1 を追求していきます。確実に成長を続けながら持続可能な社会を実現するために、東芝はエコリーディングカンパニーとして先進技術を生み出し続けます。

株式会社東芝 電力システム社

〒212-8585 神奈川県川崎市幸区堀川町 72-34

http://www3.toshiba.co.jp/power/index_j3.htm

株式会社 荏原エリオット

当社は、広く社会に貢献する荏原グループの一員として、PWC (Pratt and Whitney Canada) 社の航空転用型ガスタービン ST6 を搭載した、ガスタービンパッケージを提供しています。主力製品は、排水ポンプを駆動する出力約 220 ~ 950 kW の横型および立形ガスタービンパッケージで、集中豪雨や台風による洪水から社会や農地を守る重要な役割を果たしています。特に、立形ガスタービンは、小型軽量の航空転用型の特徴を生かして開発したパッケージで、省スペースな排水機場の建設を実現しています。



JICEF

日本内燃機関連合会

弊会は、1954年に創立以来我が国の燃焼機関工業即ち内燃機関工業の振興と技術の向上に寄与するため、次の3事業について活発な活動を続けております。即ち、CIMAC関係事業、標準化事業、及び技術普及・広報活動事業であります。CIMAC (国際燃焼機関会議) に関しましては、日本の代表機関としての諸事業を行い、また、国際標準化機構 (ISO) の事業中、内燃機関に関する専門委員会 [ISO/TC70 (往復動内燃機関) 及び ISO/TC192 (ガスタービン)] に関し、日本工業標準調査会に協力すると共に、その他内燃機関に関連し当会で行う必要ありと認められる諸事業を行い、もって我が国内燃機関工業の振興に寄与することを目的としております。

〒105-0004 東京都港区新橋1-6-6 木村ビル6階
(2016年9月に他所へ移転予定)
TEL: 03-3574-7882 FAX: 03-3574-7883
URL: <http://www.jicef.org>

IHI

株式会社IHI回転機械

弊社は、汎用コンプレッサー・船用過給機・デッキクレーン用油圧モータ・歯車装置を製造・販売し、並びに汎用機械・大型回転機械を主体としたプラントエンジニアリング及び機器・設備の設計から据付・メンテナンス (全国33事業所) までを行う、総合エンジニアリング企業です。ターボコンプレッサーは、ジェットエンジンや車両用・船用過給機などで蓄積されたIHIの回転技術の粋を結集し、1970年の発売以来、7000台以上を世に送り出し、環境に優しいオイルフリー形式としてモータ出力75kW ~ 1800kWまでの機種をラインナップし、多様なニーズにお応えしています。



ICC

株式会社IHIキャスティングス
IHI Castings Co., Ltd.

IHI GROUP
Realize your dreams

IHIグループは2013年に創業160周年を迎えました。当社は、1977年に石川島精密鑄造株式会社として設立し、航空機用ジェットエンジン、宇宙用機器、産業用ガスタービン、車両用および船舶用過給機、人工関節、一般産業用機器などに使用される耐熱合金精密鑄造素材を製造販売する会社です。また、航空機用ジェットエンジンをはじめとする各分野での需要の拡大に対応すべく、能力増強を図っております。当社はこの技術分野における日本のトップメーカーとして、IHIグループと共同で成長してまいります。

設立 : 1977年4月1日
本社 : 東京都昭島市拝島町3975-18
相馬工場 : 福島県相馬市大野台1-2-1
松本工場 : 長野県松本市石芝1-1-1
TEL・FAX : 042-500-8352・042-500-8376
<https://www.ihl.co.jp/icc/>



株式会社IHI検査計測

IICは株式会社IHIから分離独立した会社です。発電プラント、機械、インフラなどの非破壊検査・計測業務を主として実施しています。ガスタービン関連では、ひずみ・振動計測、高温ひずみゲージの溶射、材料分析・試験・評価、化学分析・排ガス分析などのサービスを行っております。

〒236-0004 神奈川県横浜市金沢区福浦2-6-17
TEL: 045-791-3518, FAX: 045-791-3542
<http://www.iic-hq.co.jp>



株式会社IHIジェットサービス (IJS)

弊社は、IHIが製造した陸船用ガスタービン装置の保守・点検・整備をはじめ、航空・宇宙関連機器の設計・製造にかかわる支援業務、工場の営繕業務等を行っている会社です。また、これらの業務を通じて培った高い技術とノウハウを活かし、移動用電源車、航空機機体洗浄装置などの製造も行っています。今後とも、「たしかな技術と心のこもったサービスで、お客さまの喜びを創造し、豊かで幸せな社会の実現」に貢献できるように努めていきます。

〒196-8686 東京都昭島市拝島町3975番地18
TEL: 042-500-8260 FAX: 042-500-8343
<http://www.ihl.co.jp/ijs>



アイコクアルファ株式会社 AP事業部

1975年に航空機機体部品加工用に同時5軸マシニングセンターを導入し、現在では115台の5軸を保有。ガスタービン・ターボ圧縮機・ターボチャージャーなどの削り出しインペラーを年間400万個と航空機5軸製品を製造しています。

<http://www.aikoku.co.jp/>



株式会社 IDAJ

〒220-8137 神奈川県横浜市西区みなとみらい2-2-1
横浜ランドマークタワー 37F
TEL: 045-683-1990 E-mail: info@idaj.co.jp
www.idaj.co.jp

弊社は熱流体解析、構造解析、最適化などを中心としたCAEソリューションを提供することによって、多くのお客様のものづくりをサポートしています。事業内容はCAEソフトウェアの販売・サポートだけでなく、解析手法の構築や精度検証などのエンジニアリング・コンサルティング、システム構築・開発の分野でお客様のCAE環境の整備、および技術構築をお手伝いして参りました。ガスタービンの分野では、熱流体解析プログラムCONVERGETMによる燃焼を含むガスタービン燃焼器の熱流れ解析技術をご提供します。CONVERGEは従来のCFDツールとは異なり、解析メッシュをソルバーが計算実行中に自動的に生成するため、解析メッシュを作成するエンジニアの工数が劇的に削減され、効率的にガスタービン内部の燃焼解析を実施することが出来ます。また、素反応まで考慮した詳細化学反応計算、LES (Large Eddy Simulation) による詳細乱流現象の計算など高度な物理モデルを採用することにより、ガスタービン燃焼器のエミッション (Nox/Soot) 予測、効率予測、着火性予測、およびLBO (Lean Blow Off) 予測などをコンピュータ・シミュレーションによっておこなうことが可能です。





国立研究開発法人

宇宙航空研究開発機構 航空技術部門



JAXA 航空技術部門では環境、安全、新分野創造の3つの研究開発プログラムを推進するとともに基礎的・基盤的技術の研究に取り組んでいます。航空エンジン技術に関しては、市場における我が国の国際競争力強化に貢献するため、国内のエンジンメーカーの実績が豊富な「ファン」および「低圧タービン」について環境適合性を向上する技術を開発・実証する「高効率軽量ファン・タービン技術実証 (aFJR: Advanced Fan Jet Research)」プロジェクトと、更なる環境性能向上のために、これまで日本の担当実績が少ないコアエンジンの高性能化、エンジン騒音低減技術の開発・実証を目指す「グリーンエンジン技術」の研究開発を実施するとともに、燃焼技術、エンジンシステム最適化、脱化石燃料、微粒子吸い込みに対する安全性評価、代替燃料技術などの先端研究にも取り組んでいます。

<http://www.aero.jaxa.jp/>



ウッドワード・ジャパン株式会社



ウッドワード・ジャパン株式会社は、大型フレームガスタービン、航空機エンジン転用型から小型非常用、マイクロガスタービンまで、制御弁、制御装置、燃焼ノズル、アクチュエータ製品などの総合製造メーカーです。ガスタービンに要求される、高い信頼性と運転継続性をサポートするため、航空機エンジン制御で培った技術と、産業用ガスタービン向けの永年の納入実績、グローバルなサービス体制の相乗効果を形にした製品をご提供してまいります。〒261-7118 千葉県千葉市美浜区中瀬2-6-1 WBGマリブウエスト19F TEL: 043-213-2609 <http://www.woodward.com/Application-IndustrialTurbine.aspx>

フレームタービン用
チョークフロー電動弁

金属熱加工技術をトータルに提案



大阪冶金興業株式会社

Osaka Yakin Kogyo Co., Ltd.

〒533-0005 大阪府東淀川区瑞光 4-4-28
TEL: 06-6328-1345 FAX: 06-6328-1380
URL: <http://www.osakayakin.co.jp/>

弊社は1941年創業の熱処理メーカーです。

75年間培ってきた技術を基に、耐熱合金の真空熱処理、真空ろう付、表面改質処理を行うとともに金属粉末射出成形法 (MIM) による複雑形状部品を製造しています。



・真空熱処理

品質が目に見えない熱処理ではメーカーの責任が重大です。合金、製品の特性を十二分に発揮させるための狭い範囲温度や冷却速度を制御・管理する技術と、設備および計測機器を自社で保守管理することにより、迅速且つ正確な対応を行っています。



・MIM (Metal Injection Molding)

大阪冶金興業のMIMの特長は、長年培ってきた真空熱処理をベースにした高い技術力です。粉末材料の開発から、複雑小物部品・難加工金属への適用、高密度な部品の提供や大型部品の製作など、独自の技術で高度なニーズに対応します。



開発建材株式会社



弊社はガスタービンコンバインドサイクルに於ける吸気フィルター用のアルミ製「ウェザールーパー」「遮音防水ルーパー」の製作を行っております。有効開口率が50%ありながら、台風時を上回る降水量と強風を用いた性能試験でも防水効率は99.9%。通気性にも優れたコストパフォーマンスの高い製品です。会社創立は1973年。自社にて製作、性能試験も実施しております。取扱業種: アルミ防水ルーパー、遮音防水ルーパーの製造、販売、施工。〒124-0006 東京都葛飾区堀切1-40-8 TEL: 03-3695-4821, FAX: 03-3693-0660 <http://www.kaiatsu-kenzai.co.jp>



金属技研株式会社



弊社では、発電分野のガスタービンに使用される部品の一部を機械加工から接合までを担当し、航空分野のガスタービンでは Pratt & Whitney 社の認定を受けて民間エンジンの補修事業も行っています。主要な要素技術として、HIP、金属積層造形、拡散接合、熱処理、溶接、ろう付を有し、プロセスを一貫して担います。品質認定は、ISO9001、JISQ9100、Nadcap を初め、FAA, EASA, JCAB からの認証も取得しており、お客様にはあらゆる分野において高品質・トップレベルの金属加工技術を提供します。

〒164-8721 東京都中野区本町 1-32-2 ハーモニータワー 27 階
TEL: 03-5356-3050, FAX: 03-5356-3055
URL: <http://www.kinzoku.co.jp/> E-mail info@kinzoku.co.jp



株式会社シーアールイー

航空機・宇宙機器 設計会社



弊社は、航空機・宇宙機器に関する設計開発に特化しており、国内の主要な航空宇宙プロジェクトのほぼ全てに関与しております。構造設計にはじまり、解析、電装設計、ソフト開発及び品質管理に至る設計開発に於ける幅広いサポートが可能です。

また、国際規格の認証を取得した組織によるバックアップ体制と共に各ユーザーに合された当社オリジナルの教育システムを有しております。〒460-0022 名古屋市中区金山 1 丁目 2-2 クマダ第 2 ビル TEL 052-323-7731 <http://www.cre-nagoya.com/>



GE Power



GEパワーは、世界中のお客様が、信頼性に優れ、利用しやすく、そして持続可能な電力を供給できるよう、多岐にわたる発電機器やサービスをご提供しています。世界最高レベルの燃焼効率を誇るHAガスタービンを含む、発電容量1,600GWというガスタービンの設置実績を有しています。また、GEパワーは発電効率を向上し、オペレーションコストを低減させ、再生可能エネルギーに対応するソフトウェアソリューションもご提供しています。

〒107-6112 東京都港区赤坂5-2-20 赤坂パークビル
TEL: 03-5544-3869 (新規案件)
03-3588-5217 (保守、改造等)
URL: <https://powergen.gepower.com/>



シーメンス株式会社



シーメンスは、4MW ~ 400MW の幅広いラインアップのガスタービンを有する欧州最大級のエンジニアリングメーカーです。

ガスタービンから、蒸気タービン、発電機、プラント制御装置、排熱回収ボイラーまで、火力発電におけるキーコンポーネントの OEM として、世界中で EPC の豊富な実績を誇っています。さらに、国内実績からの経験・知見に基づき、大型事業用火力発電プラントから分散型電源にいたるまで、お客様にベスト・ソリューションをご提案します。

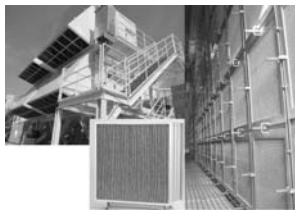
シーメンス株式会社 パワー & ガス事業本部
〒141-8641 東京都品川区大崎 1-11-1 ゲートシティ大崎ウエストタワー
Mail: fossil-power-generation.jp@siemens.com
<http://www.siemens.com/entry/jp/ja>

進和テック株式会社

当社はフィルター・関連設備（フィルターハウス・サイレンサー・ダクト等）を取り扱う技術商社です。製造部門の子会社である日本エアーフィルター株式会社と共に、GT 吸気フィルター業界の牽引役としてお客様の GT 性能改善・安定稼働をサポートしております。何かお役に立てるような事がありましたら、お気軽にお問い合わせください。

進和テック株式会社
http://www.shinwater.co.jp/

東京都中野区本町1-32-2
Tel: 03-5352-7202
FAX: 03-5352-7212
info@shinwater.co.jp



株式会社ソフィアプレジジョン

株式会社ソフィアプレジジョンでは軸出力10kWクラスのマイクロガスタービン及び静止推力85Nのターボジェットエンジンを主に教育用に開発、製造を行っております。これらは全てオイル循環式で高い信頼性を持ち多くの納入実績を有しております。また使用する燃料は専用液体燃料（JetA-1相当）以外にも13A、プロパンガス等の気体燃料にも対応しております。



本社 〒177-0051 東京都練馬区関町北3丁目3番33号
プロダクションセンター 〒321-3531 栃木県芳賀郡茂木町茂木2346-1
URL http://www.sophiajet.com



An ABB and IHI joint venture

ターボ システムズ ユナイテッド株式会社

弊社はABBとIHIの合弁会社で陸・船用過給機の販売とメンテナンスを行っています。船舶乗組員を騒音から保護するIMO新騒音規制では居住区を60 dB(A)から55 dB(A)に軽減する必要があります。低騒音化に貢献するABBノイズパッケージのエア・アウトレット・サイレンサーは市場に紹介された初めての製品です。過給機の搭載位置、エンジンの仕様、船の形状及びエンジンルームにもよりますが、エア・アウトレット・サイレンサーは約5 dB空気伝搬音を低減するように設計されています。また、メンテナンスでは「ダウンタイムゼロ」を目標とし運航スケジュールに基づいた短い期間での作業でメンテナンスを行っており、各過給機の運転時間に応じて最適なサービスを行うサービスパッケージをご提供いたしております。



〒141-6022 東京都品川区大崎2-1-1 ThinkPark Tower 22F
代表TEL: 03-4523-6900 FAX: 03-4523-6990
Homepage: http://www.turbo.co.jp/



TOKYO GAS
ENGINEERING SOLUTIONS

東京ガスエンジニアリングソリューションズ株式会社

東京ガスエンジニアリングソリューションズは、エネルギーアドバンスと東京ガス・エンジニアリングが2015年4月に統合した会社です。LNGバリューチェーンにおけるエンジニアリングと、エネルギーサービスを展開、自らもユーザーとして培ったノウハウを活かしたエンジニアリングソリューションで社会に貢献いたします。

〒105-8527 東京都港区海岸1-5-20 東京ガス浜松町本社ビル21F
Tel 03-6403-0511 / Fax 03-6403-0528
http://www.tokyogas-es.co.jp

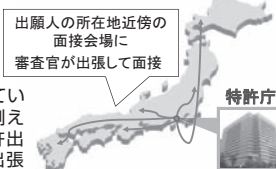
東芝プラントシステム株式会社

弊社は、1923年の創業以来、一貫して重電機・重機械設備の建設に携わり、社会基盤を支える役割を担ってまいりました。現在では「総合エンジニアリング企業」としてIPP、PPSを含む産業用発電設備の分野においては、計画から建設までを一括で行うEPC案件の受注に注力しております。数多くの実績とこれまで培ってきた技術をベースにより、エンジニアリング・調達・現地施工において、お客様から信頼される高品質なプラントづくりを実践しています。

〒230-8691 神奈川県横浜市鶴見区鶴見中央4-36-5
(鶴見東芝ビル)
TEL: 045-500-7050 FAX: 045-500-7155
http://www.toshiba-tpsc.co.jp/



特許庁
JAPAN PATENT OFFICE
法人番号 2000012090003



特許庁は、企業の事業戦略を支援していく審査サービスを提供しています。例えば、出願人が直接審査を希望する特許出願については、希望に応じ審査官の出張面接を行っています。また、事業で活用される知的財産の包括的な取得を支援するため、国内外の事業に結びつく複数の特許・意匠・商標を含む知的財産を、分野横断的に事業展開の時期に合わせて審査・権利化を行う事業戦略対応まとめ審査も行っています。



富永物産株式会社



弊社が代理店を務める
EthosEnergy社はWoodGroup社とSIEMENSによる新ベンチャーです。両社で培われた高い技術は電力、ガス、石油等各産業で世界的に高い評価を得ています。タービン部品供給、修理、他各種サービスを担い、同時に蒸気タービン、発電機のスペシャリストとしてライフサイクルの15%向上を実現します。また弊社では吸気フィルター、制御装置、スターター、燃料制御弁等タービン関連機器の実績ある製品も広く取り扱っております。

〒103-0023 東京都中央区日本橋本町 3-6-2 小津本館ビル
TEL: 03-3639-5315 FAX: 03-3639-5360
EthosEnergy http://www.ethosenergygroup.com
富永物産 http://www.tomco.co.jp

TOYOTA

トヨタ自動車株式会社

弊社のガスタービンの開発は1964年の自動車用ガスタービンに始まります。当時のガスタービンハイブリッドの考えはプリウスに伝承され、培われた技術はターボチャージャーや(株)トヨタタービンアンドシステムの製品に生かされております。現在は、将来の新しいモビリティへの応用などガスタービンの様々な可能性について研究開発を進めております。

今後もガスタービン学会・賛助会員様からのご助言を宜しくお願い申し上げます。

http://www.toyota.co.jp/

省エネ、CO₂削減、BCP対策を 強力にサポート

- ・ オールトヨタの技術力を結集したマイクロガスタービン
- ・ 高い総合効率により、施設の省エネルギー化、CO₂削減を実現
- ・ 災害時給電など、BCP対応に貢献

その他、プリウスのリユースバッテリーを活用した定置型蓄電システム、BEMS、ヒートポンプ空調機器などのエネルギーマネージメント商品の開発・普及に取り組み、皆様に喜ばれる企業を目指します。



株式会社トヨタタービンアンドシステム
TOYOTA TURBINE AND SYSTEMS INC.

本社 〒471-8573 愛知県豊田市元町1番地トヨタ自動車元町工場内
TEL (0565) 24-6161 (代表) (0565) 24-6491 (営業部)
FAX (0565) 24-6160
<http://www.toyota-turbine.co.jp>



株式会社 中北製作所

弊社は流体制御装置の総合メーカーとして、ガスタービンに使用される各種弁の製造を行っています。LNGなどの低温ラインから高温高圧ラインにいたる幅広いプロセスでご使用頂ける製品ラインナップを備えております。弁の種類として主には調節弁(空気/油圧/サーボ/電動操作式)・バタフライ弁・遮断弁・自力式調整弁・安全弁があり、弁メーカーとして高精度 Cv 実測装置をはじめ充実した検査設備を備え、各種の御要求にお応えし高品質な製品を供給しております。

取扱業種：各種弁および制御装置の製造 (CE マーキング、ASME スタン
ド V,UV 対応可)
〒574-8691 大阪府大東市深野南町1-1
TEL:072-871-1341 FAX:072-874-7501
bus@nakakita-s.co.jp
<http://www.nakakita-s.co.jp/>



新潟原動機株式会社

当社では出力200kW ~ 5,000kWクラスのガスタービン製造と、これらを利用した発電装置や駆動装置等の各種パッケージの提供を行っております。前身の新潟鐵工所が創業した1895年以来、日本初の船用ディーゼルを開発する等、日本の産業発展に寄与してきた当社は、ガスタービンの他にディーゼルエンジン、ガスエンジン、Zベラ、ディーゼルエンジン周辺機器等の製造・販売を行っており、製品は発電、船舶、鉄道等民生用に御利用戴いております。

〒101-0021東京都千代田区外神田2-14-5 (新潟原動機ビル)
TEL: 03-4366-1200, FAX: 03-4366-1300
www.niigata-power.com



ClassNK

一般財団法人 日本海事協会

日本海事協会(ClassNK)は、海上における人命と財産の安全確保及び海洋環境の汚染防止を使命に活動する船級協会です。ClassNKは115年以上に渡って培った知見より、独自に制定された技術規則や国際条約に基づき、建造中と就航後の船舶がこれらの規則等に適合していることを証明する検査を実施しています。

〒102-8567 東京都千代田区紀尾井町4番7号
Tel: 03-5226-2047, Fax: 03-5226-2192
e-mail: eod@classnk.or.jp
URL: www.classnk.or.jp



一般財団法人日本航空機エンジン協会

当協会は、民間航空機用ジェットエンジンの開発を促進し、もって航空機工業の向上発展を図り、産業経済の健全な繁栄に寄与することを目的として、経済産業省の指導の下に(株)IHI、川崎重工業(株)、三菱重工業(株)の協力を得て1981年に設立されました。現在、日本が参加する民間航空機用エンジンの開発・量産に係る国際共同事業であって、国家プロジェクトとして位置付けられる事業を推進するための日本側の事業主体で、V2500エンジンやPW1100G-JM事業などを遂行しています。



日本ドナルドソン株式会社

ドナルドソンは世界中の様々な産業分野において、環境にやさしい高品質な製品をお届けしています。ガスタービン営業部は、30年を超える長きにわたり培ったガスタービン用のフィルターシステムとサイレンサーの製品設計開発及び生産の経験をもち、世界に20以上の拠点を所有するガスタービン吸気フィルターのテクノロジーリーダーです。製品はフィルターシステムからアフターマーケットまで幅広く展開しています。

- ・ガスタービン吸気フィルターシステム
- ・ガスエンジン吸気フィルターシステム
- ・エアブロー吸気フィルターシステム
- ・軸流圧縮機吸気フィルターシステム
- ・発電機換気フィルターシステム



〒190-0022 東京都立川市錦町1-8-7
Tel: 042-540-4113 Fax: 042-540-4566
www.donaldson.co.jp



日本無機株式会社

当社は、エアフィルタ事業のリーディングカンパニーとして常に新しい価値を創造し続け、お客様の要求されるクリーン環境作りのお手伝いを続けています。ガスタービンに用いられるエアフィルタは空気圧縮機の汚れを抑制し、発電効率の低下抑制に貢献しています。エアフィルタは高効率・長寿命が要求されており、弊社は多様なラインナップと豊富な経験に基づき、ご使用環境に最適なフィルタシステムをご提案します。

事業内容：エアフィルタ、クリーン機器、
ガラス繊維応用品(耐熱繊維、断熱・吸音材等)

〒110-0045 東京都台東区東上野5-1-5 日新上野ビル
TEL:03-6860-7500, FAX:03-6860-7510
<http://www.nipponmuki.co.jp/>



B&B-AGEMA GmbH

B&B-AGEMA は、発電プラントのエンジニアリングとターボ機械の設計サービスを専門に行う会社です。

1995年の設立以来、エネルギー変換機械とプラントの設計、解析計算、専門技術に関して革新的なサービスを提供しており、ガスタービン、蒸気タービン、圧縮機、ポンプ、エキスパンダーなどについての技術サービスを行っています。特に、ガスタービン要素の先進的な設計や解析、ユーザのサポートに注力しており、世界中の顧客の皆様のご要望にお応えしています。

日本語窓口：EAO@bub-agema.de
URL <http://www.bub-agema.de/>





日立造船株式会社

弊社では、3～6MW クラスガスタービン発電設備の製造販売を行う他、100MW クラス発電所の建設保守運営事業も展開しております。茨城県では113.6MW、112.3MW ガスタービンコンバインドサイクルを自社運営し電力卸売事業を実施しております。毎日起動停止という厳しい条件にもかかわらず高い稼働率を誇っており、発電所建設から保守運営まで含めたノウハウを蓄積しております。今後発電事業をご検討されるお客様へのトータルソリューション提供を目的とし活動しております。

取扱業種：発電設備の製造販売、発電設備の保守運営事業、電力の卸売事業
〒140-0013 東京都品川区南大井6丁目26番3号

大森ベルポートD館15階

TEL:03-6404-0842、FAX:03-6404-0849

<http://www.hitachizosen.co.jp>



富士電機株式会社

富士電機の火力事業は1959年に初号機を納入して以来、蒸気タービンと発電機を核とした火力発電プラントを基本計画から設計・製作・建設・試運転・アフターサービスまで一貫して提供しています。従来型の石炭火力からコンバインドサイクル、熱供給コージェネレーションなどのあらゆる種類の火力発電所に対し、お客様のニーズに合わせた設計と高効率・高信頼性をお約束します。また富士電機は地熱発電の分野で世界をリードしており、CO₂排出量削減などにより環境分野に大きく貢献しています。

住所：〒141-0032 東京都品川区大崎一丁目11番2号
ゲートシティ大崎イーストタワー

電話：03-5435-7111

HP：<http://www.fujielectric.co.jp/>



ペンテア テクニカルソリューションズ株式会社

CapaciSenseシステムは、翼端部の間隙 (Tip Clearance) と振動 (Tip Timing) の双方を、静電容量理論に基づき1つのセンサによって非接触方式で計測するシステムです。

最高1400℃/2552°Fの高温に耐えられるセンサ (プローブ) により、運転中のタービンにおける状態監視が可能です。

従来型の機器分散型の5シリーズFMシステムと、統合型のSOLOシステムの2種類を用意しており、お客様の使用環境、方法に応じ選択できます。

また、連続面のぶれを監視するシステム (AMシステム) も用意しており、タービン軸ぶれ、シュラウド翼表面監視等を行うことができます。

弊システムは、発電、航空、宇宙業界のガスタービンにおける商用、テスト用途で広くご愛用頂いております。

〒222-0033 神奈川県横浜市港北区新横浜2-15-10 YS新横浜ビル3F

TEL. 045-471-7630 FAX. 045-471-7631

URL: <http://www.capacisense.com/>



株式会社 本田技術研究所 航空機エンジンR&Dセンター



航空機エンジンR&Dセンターでは、世界No.1の航空機用小型ガスタービンエンジンの創出を目指して技術研究や商品開発を行なっています。2004年には世界有数のジェットエンジンメーカーであるGE社との合併会社(GHAE)を設立し、ビジネスジェット機用の量産エンジン「HF120」の開発を始めました。2013年12月にFAA (米国連邦航空局) の型式認定を取得した「HF120」は、小型ジェット機「HondaJet」にも搭載され、その高性能の一端を担っています。Hondaでは、これからもより高性能で高品質な製品をお届けする為に、将来に向けた研究を続けていきます。

http://www.honda.co.jp/RandD/wako_e/

MEI 丸和電機株式会社

〒277-0814

千葉県柏市正連寺253

Maruwa Electronic Inc. TEL 04-7132-0013 FAX 04-7132-5703

E-mail sales@maruwa-denki.co.jp

<http://www.maruwa-denki.co.jp/>

【スピンドルスター】

回転体の遠心応力の強度確認をする試験装置の販売、受託試験

最高回転数:260,000rpm 最大外径:φ4,000 最大搭載重量:4,000kg

過回転試験、破壊試験、加熱試験、ひずみ計測試験、

エロージョン試験、サイクリック試験、etc...

お客様の実施したい回転試験の仕様に合わせて、

装置・試験を検討致します。



【燃焼試験】

ジェットエンジンの燃焼技術をベースとした装置設計・製作、受託試験

高温・高圧 最高温度:1,700℃ 燃料:灯油、軽油、天然ガス等の

様々な燃料に対応 流速:300m/s

自動車用ターボチャージャー、排気系部品、

船用ディーゼルエンジン用ターボチャージャーの試験

お客様の御要求に合わせたカスタムメイドが可能です。



4月14日から熊本・大分地震が起きて大変な被害を被っています。まず被災された皆様にお見舞い申し上げます。熊本には1年半前の第42回定期講演会で伺わせて頂きました。講演会前日の市民フォーラムでは熊本大学、崇城大学の先生方にお世話頂き、多くの学生さんに参加頂いています。熊本城のそばで開かれた講演会では、熊本ブランド推進課課長の成尾様、熊本大学先進マグネシウム国際センターの川村先生に特別講演を頂いています。見学会では日立造船、ジャパンマリンユナイテッド、三池炭鉱、熊本大学を訪問させて頂きました。定期講演会を特集した学会誌（2015年1月号）の表紙には「くまモン」を使わせて頂いています。様々な皆様にお世話になった熊本を懐かしく思うとともに、被害の大きさ、被災された皆様のご苦勞を伝える報道に接する度に何とかしたいとの思いにかられます。余震が長く続いておりませんが、本誌が発行されるころにはせめて余震が治まってほしいものです。そんな中、5月5日から「くまモン」が活動再開するとの明るいニュースがありました。熊本のいち早い復興を願わずにはいられません。

今回の特集記事において、防災・減災、安全性へのガスタービンの関わりが紹介されていますので、ここで触れておきます。日本ガスタービン学会ではこれまで震災の調査を2回行っています。東日本大震災の際の調査結果は、ガスタービンの高い信頼性を示しています。報告書（<http://www.gtsj.org/publication/investigation/gtsj-tyosahoukoku2012-sec.pdf>）にまとめられた提言と今回の記事を読み比べてみますと、さらに改善が進んでいることがわかります。

東日本大震災の際には、原子力発電所への非常用ガスタービンの設置例は未だありませんでしたが、本号では浜岡原子力発電所に設置されたガスタービンについて紹

介頂き、表紙の写真もご提供頂いています。万が一の場合でも確実に起動できるように、建物から工夫が行われており、この設備により、発電所の安全性が高まっています。また、虎ノ門ヒルズに設置されたデュアルフェューエル型ガスタービン発電機は、都市ガス供給があれば15日間、備蓄燃料でも100時間の連続運転が可能となっています。このような非常用のガスタービン設備が起動する機会は無いほうが望ましいのですが、万が一の際の被害を最小限にとどめる役割には、高い経済価値があることを再認識させて頂きました。その他の記事にもユーザー視点に基づく貴重な情報をご紹介します。

最後にご執筆者はじめご協力いただきました皆様に感謝申し上げます。

（壹岐典彦）

- 5月号アソシエイトエディター
壹岐 典彦（産業技術総合研究所）
- 5月号担当委員
杉本 富男（三井造船）
野原 弘康（ダイハツディーゼル）
山下 一憲（荏原製作所）

（表紙写真）

今回の表紙については、【論説・解説】の著者より流用およ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。

・「浜岡原子力発電所におけるガスタービン発電機の導入」
.....（P.84～86）

だより ♣事務局 ☒ ♣

2015年度通常総会が4月15日に開催されましたが、その前日夜と翌日未明に阪神大震災並みの大地震が熊本県・大分県で発生し、前例のない形で余震が続いています。熊本には2年前の定期講演会で訪れ、しかも講演会が熊本城の傍で開催されたこともあり、お城の痛ましい姿には胸が痛みます。被災された皆様には衷心よりお見舞い申し上げます。

さて、私事になりますが4月末日をもって事務局長を退任し、中村事務局次長にバトンタッチしました。思い返しますと学会が公益社団法人に移行した2011年3月1日から事務局に入り、3月11日に東日本大震災を4階の事務室で体験しました。始めと終わりが地震がらみというのも何かの縁でしょうか。これらは事務局での充実した時間とともに記憶に残るのでしょう。

事務局スタッフは、年度末の2月、3月はほぼ3人という状態で、引き継ぐべき人も引き継ぐ時間も無いとい

う状態でしたが、現在は4人となり、引き継ぐべく、作業を進めています。しかし、さっさと済まないのが世の常で、もう少し事務局に出ることになりました。よろしく願いいたします。

引き継ぐにあたり、この5年間ずっと気掛かりなことがありました。それはスタッフ4人に対して机が3脚しかないことです。それで今年1月から机1脚分のスペースを作るべく、思い切って古い雑誌や書類を処分してまいりましたが、まだ半分も仕上がっていません。この間、10円、30円、40円といった古い未使用はがきが何枚も出てきて数千円分の切手を得たり、どこか見慣れた手の事務局長あての手紙が出てきて、若かりし頃ガスタービン学会費徴収を担当していたことを思い出したり、いろいろと道草を楽しんできましたが、ほちほち「速やかに片づけろ！」と天の声が聞こえてきそうです。

（平岡克英）

学会誌編集および発行要領（抜粋）

2015年4月23日改定

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	技術論文投稿要領による
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、技術論文投稿要領に従う。
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) 企画制作部
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

技術論文投稿要領（抜粋）

2015年3月10日制定

1. 本学会誌に技術論文として投稿する原稿は次の条件を満たすものであること。
 - 1) 主たる著者は本学会会員であること。
 - 2) ガスタービン及びエネルギー関連技術に関連するものであること。
 - 3) 原稿執筆要領に従って執筆された、モノクロの日本語原稿であること。
 - 4) 一般に公表されている刊行物に未投稿であること。ただし、以下に掲載されたものは未投稿と認め技術論文に投稿することができる。
 - ・本学会主催の学術講演会・国際会議のプロシーディングス
 - ・特許および実用新案の公報、科学研究費補助金等にかかわる成果報告書
 - ・他学協会の講演要旨前刷、社内報・技報、官公庁の紀要等の要旨または抄録
2. 原則として刷り上がり8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。
3. 著者がカラー1ページあたり50,000円を負担する場合には、カラー印刷とすることができる。
4. 投稿者は、原稿執筆要領に従って作成された印刷原稿または原稿電子データを、所定の論文表紙および英文アブストラクトとともに学会誌編集事務局に提出する。
5. 投稿された論文は、論文査読に関する内規に従って査読を行い、論文委員会が掲載可否を決定する。
6. 論文内容についての責任は、すべて著者が負う。
7. 本技術論文の著作権に関しては、学会誌編集および発行要領（抜粋）9.および10.を適用する。

日本ガスタービン学会誌

Vol.44 No.3 2016.5

発行日 2016年5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 吉田 英生

発行者 久山 利之

〒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

©2016, 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おりません。直接、本学会へお問い合わせください。