

特集：環境保護のためのガスタービン利用技術

1700℃級ガスタービン燃焼器の開発

谷村 聡*¹
TANIMURA Satoshi伊藤 栄作*²
ITO EisakuKey Words : Gas turbine, Combustor, EGR, Low NO_x, LES, GTCC, 予混合, CFD

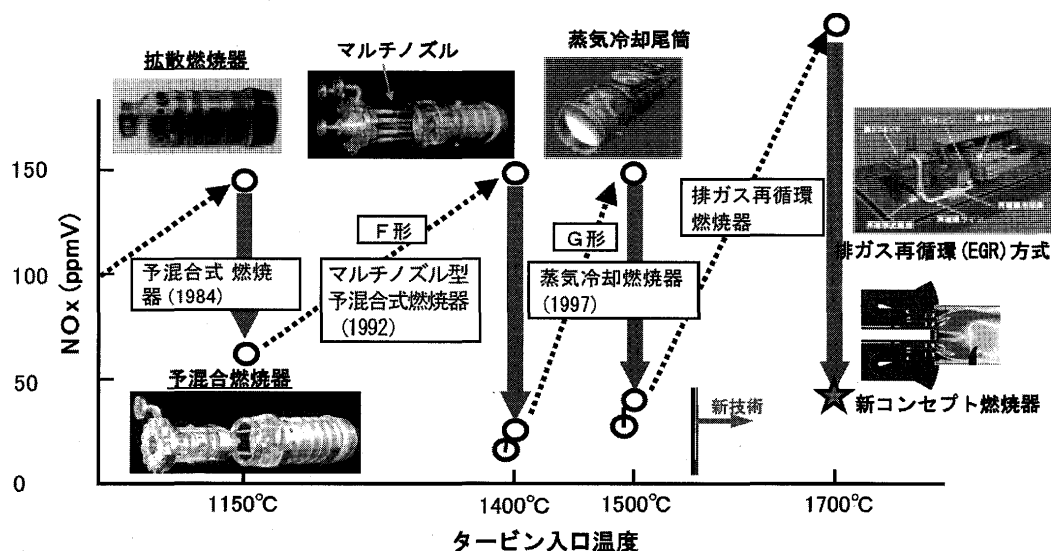
1. 緒言

地球温暖化問題に対応するため、温室効果ガスを削減する必要がある。温室効果ガスの中でも炭酸ガス削減が重要で、そのCO₂削減対策として、大容量発電設備の高効率化が有効であり、高効率ガスタービンを主機としたコンバインドプラントにより、従来火力に比べ約30%の効率向上が達成されている。

コンバインドプラント効率は、ガスタービンエンジンの特性として、タービン入口温度の上昇と共に向上するため、タービン入口温度は年々上昇し、現在1500℃級M501G/M701Gガスタービンのコンバインドプラントが実用化されている。2004年より開始した国家プロジェクト「1700℃級ガスタービンの要素開発研究^{(1), (2), (3)}」では、コンバインドプラントの目標効率が62% (LHV基準) 以上であり、更なるCO₂削減が期待されている。

本プロジェクトでは、燃焼器の要素開発に加え、圧縮機、タービン、タービン冷却、遮熱コーティングの各要素に対し、技術開発を実施している。

よく知られているように、燃焼生成物である窒素酸化物 (NO_x) は、燃焼ガス温度の上昇に伴い指数関数的に上昇するため、ガスタービンで排出されるNO_xが環境規制値を満足するためには何らかの対処が必要である。そのため、予混合型低NO_x燃焼器を採用するとともに、ガスタービン下流に脱硝装置を設けて対処している。三菱重工では、図1に示すように低NO_x燃焼器の開発を行ってきた^{(4), (5), (6)}が、予混合希薄燃焼方式においても、1700℃級燃焼器となるとサーマルNO_x (主にZeldovich NO_x) は1500℃級燃焼器に比べ1桁以上の増加となり⁽⁷⁾、量産G形ガスタービンの現状NO_xが25ppmであることから1700℃燃焼器のNO_xを換算すると250ppm以上の非常

図1 低NO_x燃焼器開発の変遷

原稿受付 2007年11月21日

*1 三菱重工業㈱ 高砂製作所 ガスタービン技術部
〒676-8686 兵庫県高砂市荒井町新浜 2-1-1*2 三菱重工業㈱ 高砂製作所 ターボ機械研究室
〒676-8686 兵庫県高砂市荒井町新浜 2-1-1

に高濃度のNO_xが発生するものと予測される。この濃度を脱硝装置のみで除去しようとする、非常に高い脱硝効率が必要になることから装置が大掛かりになる。そこで、ガスタービンとしては初めてとなる、排ガス再循環（EGR）を用いた低NO_x燃焼法を開発する。本解説では、排ガス再循環方式の検討とそれによるNO_x低減効果の予測、排ガス再循環用燃焼器の大気圧燃焼試験結果について紹介する。

2. 仕様・目標

1700℃級ガスタービン燃焼器の開発に当たって、以下の仕様および目標値を設定する。

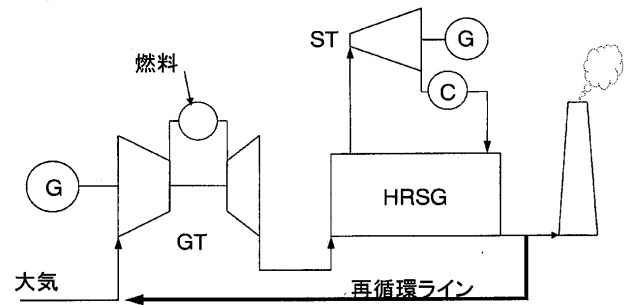
- 1) 燃焼器出口ガス温度 : 1700℃
- 2) 燃焼器圧力 : 3,336kPa
- 3) 燃焼空気温度 : 618℃
- 4) 燃焼方式 : 予混合燃焼方式
- 5) 排ガス目標 : ガスタービン出口において
NO_x 50ppm (O₂=15%換算) 以下
CO 10ppm (O₂=15%換算) 以下
- 6) 燃焼器冷却 : 蒸気冷却方式
- 7) GTCC効率 : 排ガス再循環を適用し、
62% (LHV) 以上

燃焼方式には、低NO_x燃焼で実績のある予混合燃焼方式を採用する。燃焼器冷却には、①従来形空冷式（壁面冷却空気を壁面から内部に流出させる）、②回収空冷式（燃焼壁外面を対流冷却やインピンジ冷却を行い、冷却後の空気を回収して燃焼用空気を利用する）、③蒸気冷却式（廃熱回収ボイラで発生する蒸気を冷却に利用する）、の三つが存在するが、より希薄な燃焼と、耐熱信頼性向上、従来燃焼器での実績、を考慮し、蒸気冷却方式を採用する。

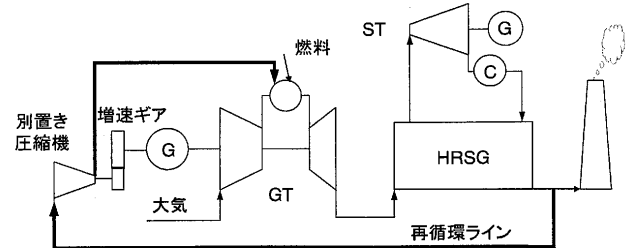
3. 排ガス再循環システム

3.1 システム基本構造の検討

排ガスを再循環させて低NO_x化を図る方法として、図2に示す（a）圧縮機入口に排ガスを再循環させ、低酸素状態において燃焼させる方法と、（b）別置き圧縮機により排ガスを加圧し、燃料と混合させて低カロリー燃料として燃焼させる方法の2方式を検討した。表1にその比較を記す。また、再循環ガス量比25%にて計算したコンバインドサイクル（C/C）効率（一次検討値）の相対値も合わせて記載する。結果として、（b）方式は、低NO_x効果が大きいことや運転のし易さのメリットはあるものの、効率やコスト面を優先して（a）方式を採用することとした。C/C効率値としては目標の62%（LHV）を上回る見通しである。（a）方式のプラントイメージを図3に示す。廃熱回収ボイラ（HRSG）下流で分岐された排ガスが、送風機を通過後、吸入空気と混合されてガスタービンの圧縮機へ導入される構成となっている。



(a) 圧縮機入口再循環サイクル



(b) 別置き圧縮機再循環サイクル

図2 排ガス再循環システム系統図

表1 排ガス再循環方式の比較

	特 徴	C/C 効率比※
(a) 圧縮機入口再循環タイプ	○：圧縮機が一つである。 ○：要素効率は(b)の場合より高い。 ○：ギヤが必要ない。 △：圧縮機入口温度が循環流量により変化する。 △：燃焼に寄与しない空気にも排ガスを混合させるため、低NO _x 効果は(b)より劣る。	1.00
(b) 別置き圧縮機再循環タイプ	△：圧縮機が二つになる。 △：二つの圧縮機は要素効率が悪い。 △：ギヤが必要となる。 ○：圧縮機入口温度が循環流量により変化しない。 ○：再循環排ガスが全量火災面を通過するため、低NO _x 効果が高い。	0.99

※：排ガス再循環無しのC/C効率を基準とする再循環量比25%での予測相対値

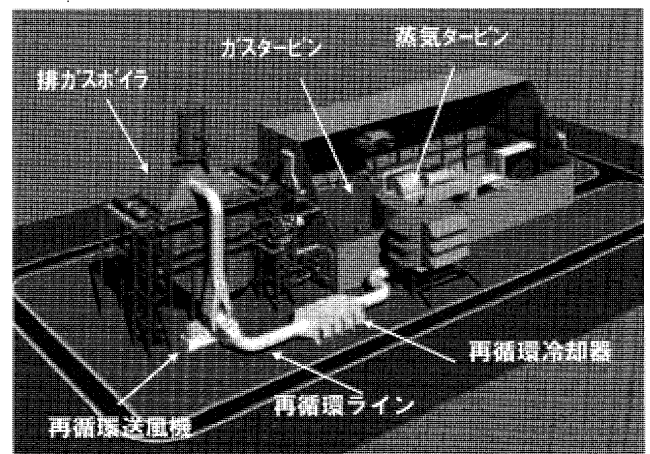


図3 排ガス再循環プラントイメージ

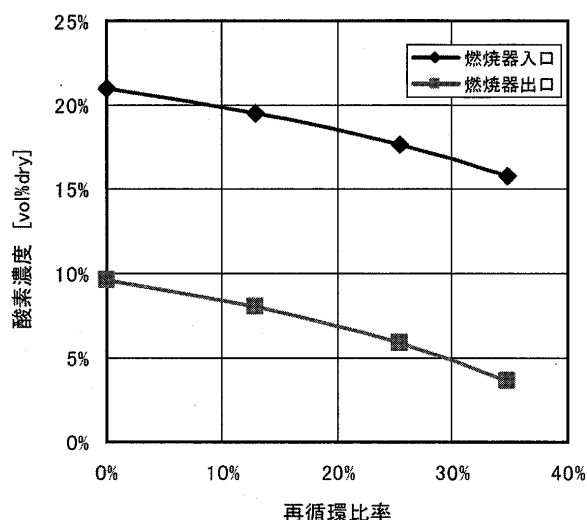


図4 排ガス再循環比率と酸素濃度 (1700℃燃焼条件)

3.2 排ガス再循環時の燃焼特性

(1) 酸素濃度

図4は、定格1700℃条件にて排ガス再循環比率を変化させた場合の燃焼器出入口での酸素濃度を計算したものである。再循環比率の定義は、ガスタービン出口の排ガス量に対する、再循環させる排ガス流量の比である。排ガス再循環のない通常ガスタービン(図4の再循環比率0%)での燃焼器前後の酸素濃度変化は21vol%→9vol%であり、大気中酸素を約12ポイント使用している。再循環比率を増加させると燃焼器出入口の酸素濃度はほぼ同じ差を保って低下する。低NO_x化のためには酸素濃度が低いほど好ましいが、燃焼効率の点で出口酸素濃度は0vol%以上必要なことは当然であるが、燃焼器での燃料・空気の不均一混合を考慮すると出口酸素濃度に若干の余裕は必要である。

(2) 燃焼速度

酸素濃度の低下による層流燃焼速度への影響を、GRI Mechanism Ver.3.0 (53化学種, 325素反応式) による層流燃焼速度計算プログラム (CHEMKIN[®] premix) により評価した。燃焼反応系はC₃H₈までの反応を考慮した詳細素反応系である。以下の排ガス再循環比率・圧力・当量比条件にて解析した。

- ・排ガス再循環比率: 0% (EGR無し), 35%
(燃焼器入口O₂=15.8vol%dryとなる排ガス混合条件を、排ガス再循環比率35%条件と呼ぶ)
- ・圧力: 103 kPa (大気圧), 3,336 kPa (実機条件)
- ・当量比: 0.4~1.5 [-] (空気温度618℃)

その結果を図5に示す。また、火炎温度を図6に示す。圧力影響に関しては、高圧になると燃焼速度が低下し、同当量比では大気圧条件に比べ3分の1の燃焼速度となっている。排ガス再循環の有無に関しては、同じ当量比で比較すると、再循環する場合は無しの時に比べ50~

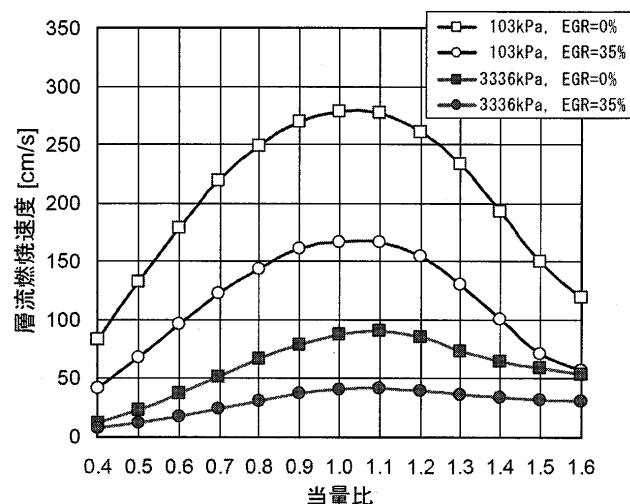


図5 層流燃焼速度 (排ガス再循環有無と圧力の影響)

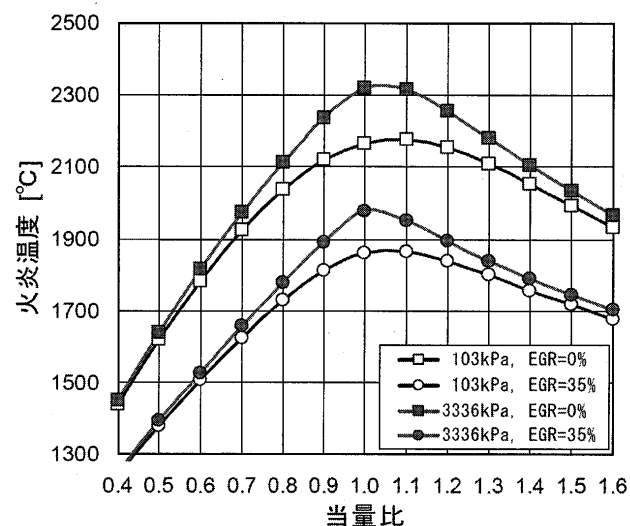


図6 火炎温度 (排ガス再循環有無と圧力の影響)

60%の速度まで低下しており、排ガス再循環を適用するためには保炎性の強化が必要であると言える。

(3) NO_x特性

1700℃条件でのNO_xを予測するため、上記CHEMKIN premix計算で同時に計算されるNO_x値を評価した。図7にNO_xの大気圧における排ガス再循環の影響を示す。なお、CHEMKINの解析結果では、NO_x成分の内、NOが支配的なため、グラフにはNOのみをプロットしている。また、この図のNO値はO₂=15vol%換算を行っている。

図7には燃焼ガス温度が1700℃となる当量比を(A)で示している。実際の予混合燃焼器では、燃焼器へ導入される空気の一部は冷却フィルム空気などに利用されるため、空気全量を予混合気として利用することが出来ない。そのため、火炎の温度は1700℃より高い温度となり、予混合空気比率を78%とすると、当量比は1/0.78倍となる。その当量比を図7の(B)に示す。実際の燃焼器

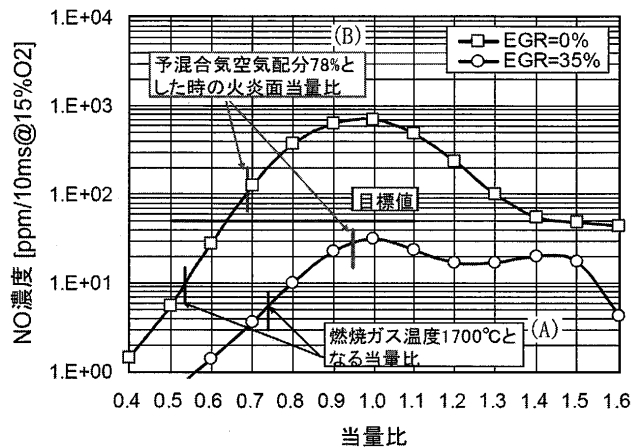


図7 CHEMKINによるNO予測

で計測されるNO_xは、この温度で評価されるNO_xに近く、NO_x予測としてはこの当量比にて評価する。

図7より、再循環なし (EGR=0%) でのNO_xは120ppm@15%O₂程度であるのに対し、再循環あり (EGR=35%) では28ppm程度であり、4分の1のNO_x低減効果が予測される。前述したように図7のグラフは大気圧条件での予測であり、実機圧力でのNO_x値は図7の値より大きくなることに注意されたい。

4. 排ガス再循環用燃焼器

4.1 燃焼器形状

燃焼器の形状に関して説明する。図5に示したように、酸素濃度の低下は層流燃焼速度の低下をもたらし、保炎性悪化の一因となる。今回、排ガス再循環用燃焼器を開発するにあたり、大きな低流速域の形成による保炎強化を図っており、さらにリーン燃焼方式やリッチバーン・クイックエンチ燃焼方式など、各種燃焼形態が評価できる形状を設計し、実スケールの供試体にて大気圧燃焼試験を実施した。その概略形状を図8に示す。また写真1に予混合スワラを下流からみた外観を示す。図8中にあるスクープは、リーン燃焼のときに燃料を供給して予混合気とし、リッチバーン・クイックエンチ燃焼時は、空気のみを供給する方式となっている。保炎性向

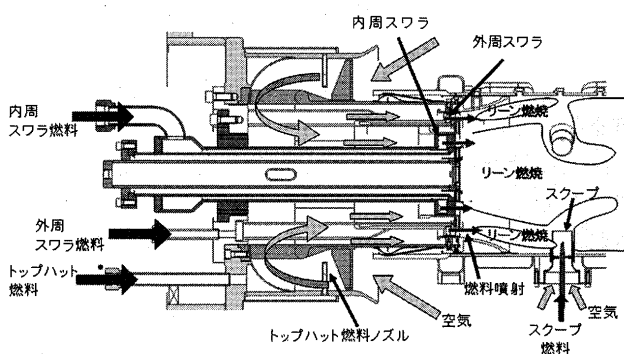


図8 排ガス再循環用燃焼器概略図

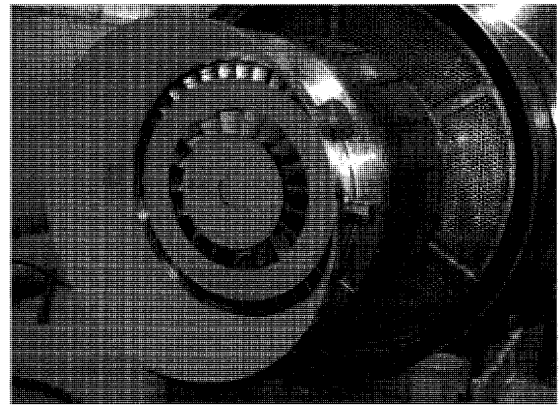


写真1 燃焼器供試体

上のため、写真1に示すスワラ中心とスワラ間にある二つの保炎器により低流速域を形成している。

4.2 CFDによる予測

図9に、1700℃条件での排ガス再循環の有無による火炎温度、NO濃度を定常CFD (RANS, k-ε) により予測した結果を示す。本解析ケースは希薄予混合燃焼であり、排ガス再循環の有無により火炎温度の変化は少ないが、排ガス再循環をすることにより酸素濃度が低下し、Zeldovich機構によるNO生成が減少することが予測される。

図10は燃焼器のガス温度分布をLESにより解析した結果 (瞬時分布) を示す⁹⁾。LES解析では渦の非定常運動

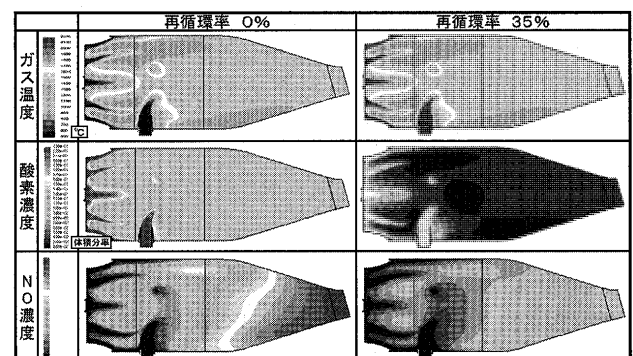


図9 排ガス再循環によるNO濃度変化

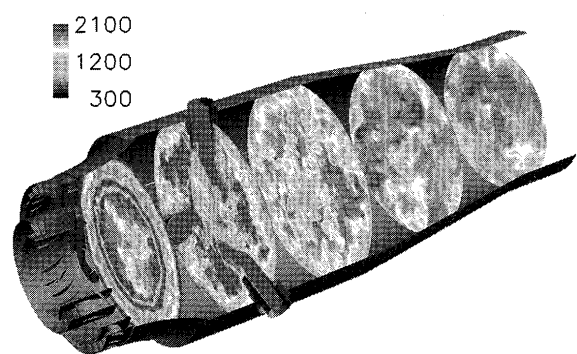


図10 燃焼器内部の瞬時温度分布のLES解析結果

を細かく評価できるため、保炎器での保炎性評価や、局所高温域の発生・消滅などの非常に細かい情報を入手することができる。この解析結果では、スcoopからの流入空気が燃焼器中心軸上の高温域と混合しているが、燃焼器下流断面において非定常的に完全な均一混合とはいえ、未燃分とNO_xの低減の為に、まだ改良の余地があると言える。

4.3 気流試験

表2に、上記燃焼器の混合性能を確認するための、燃料濃度分布計測結果を示す。計測では、非燃焼のアセトンPLIF法を用いた。コンターは時間平均濃度分布である。

燃焼器出口において、パターンファクターは約0.1であり、目標のパターンファクター0.25を下回ることが出来た。これにより、未燃分の発生に対して裕度を確保することが出来る。

表2 燃焼器内部の燃料濃度分布

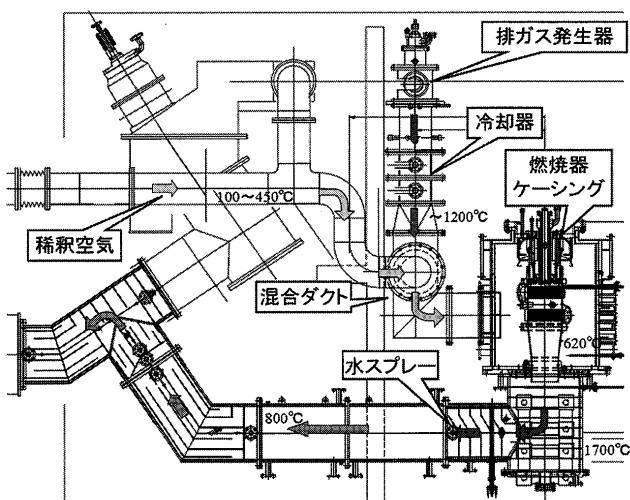
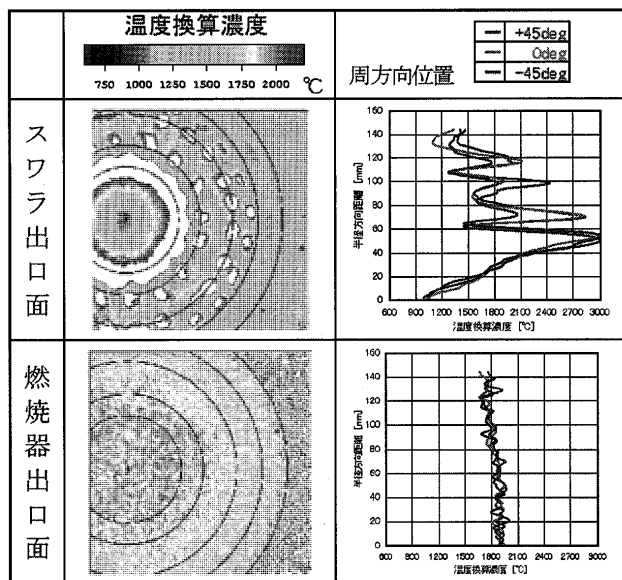


図11 排ガス再循環用燃焼器概略図

4.4 大気圧燃焼試験

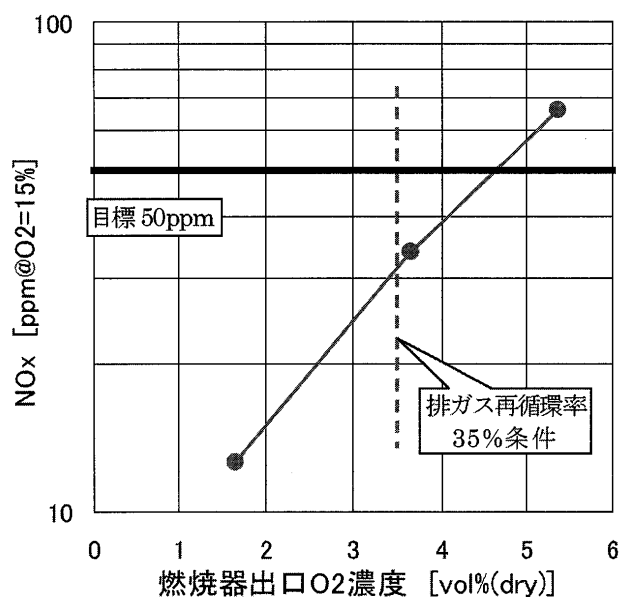
写真1に示した燃焼器にて、低酸素条件での大気圧燃焼試験を実施した。低酸素条件を模擬するため、供試体燃焼器の上流に別置き燃焼器を設置し、排ガス発生用燃焼器として使用した。さらに空気温度と酸素濃度を自由に設定できるよう、排ガス発生器からの排ガス温度を水冷管冷却器にて調整し、さらに熱交換器で過熱された通常空気と混合することにより、酸素濃度も調整できる構造としている。装置概略を図11に示す。

燃料には天然ガスを使用し、燃料加熱を行っている。排ガス計測は燃焼器の出口だけでなく、燃焼器上流ケーシングの排ガス混合空気計測も行っている。これは、供試体燃焼器で発生するNO_x量を、(下流NO_x) - (上流NO_x)の引き算による方法で求めるためである。NO_xの足し合わせが成立することは、CHEMKINを用いた解析により、その妥当性を確認している(入口NO_x濃度に上限はある)。燃焼器供試体は実スケールで製作しており、試験条件は次の通りである。

- ・圧力 大気圧
- ・排ガス混合空気温度 618℃
- ・空気流量 0.9kg/s
- ・燃空比 3.33%kg/kg
- ・燃料温度 200℃

図12(a)にリーン燃焼時の計測結果から実機条件換算したNO_x値を示す。酸素濃度の低下によりNO_xが大きく低減していることが確認でき、目標値50ppm@15%O₂を下回れる見通しを得た。

今後、燃焼器の改良とともに、より高压での燃焼試験を実施し、実機燃焼条件でのNO_xやCOを高い精度で予測していく予定である。



(a) NO_x計測結果

図12 大気圧燃焼試験結果 (1700℃条件)

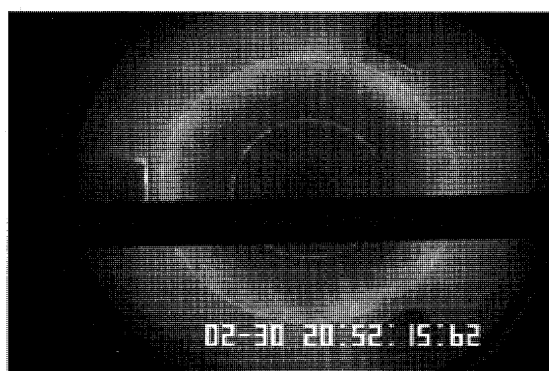


写真2 大気圧燃焼試験火炎可視化状況

5. 結 論

本研究では、1700℃級の排ガス再循環方式ガスタービンコンバインドサイクルの検討と燃焼器の開発を行い、以下の結果を得た。

- 1) 廃熱回収ボイラ出口の排ガスを一部取り出し、ガスタービン吸気と混合させるセミクローズド排ガス再循環方式を採用する。
- 2) 排ガスを約35%再循環させ、ガスタービン燃焼器の出口酸素濃度を通常の9%から3.6%dryに下げた条件を排ガス再循環の基本条件とする。
- 3) CHEMKINによるNO_x予測では、予混合への空気利用率を8割と仮定した簡易計算を行うと、NO_xは3分の1程度に低減できる結果を得た。
- 4) 1700℃排ガス再循環用燃焼器を設計し、大気圧燃焼試験を実施した。NO_xは目標50ppmを下回れる可能性を示した。今後、より高圧の燃焼試験を実施し、より精度の高い実機NO_x値を予測していく計画である。

謝 辞

本研究は、経済産業省による「エネルギー使用合理化技術開発費補助金（高効率ガスタービン実用化要素技術開発）」により行われたものである。また、LESによる燃焼解析は北海道大学大島研究室に実施していただいたものであり、ここに記して謝意を表する。

なお、排ガス再循環方式低NO_x手法は、福江一郎、萬代重実両氏の発案になるものである。

引 用 文 献

- (1) 塚越ほか：大型発電用ガスタービンの最新技術動向，三菱重工技報，Vol.42，No.3（2005-10），p98-103
- (2) 塚越，川田：次世代高温・高効率ガスタービンの技術動向，配管技術，6（2006），p15-21
- (3) 塚越ほか：1700℃級ガスタービンの要素技術の開発，三菱重工技報，VOL.44，NO.1（2007），p2-5
- (4) K. Aoyama, S. Mandai, Development of a Dry Low NO_x Combustors for 120MW Gas Turbine, ASME paper 84-GT-44, (1984)
- (5) 梅村ほか：最新鋭1500℃級のガスタービンの開発・運転状況，三菱重工技報，Vol.35，No.1（1998-1），p2-5
- (6) Tanimura, Akamatsu, etc. : New Dry Low NO_x Combustor for Mitsubishi M501/701G, Proceedings of ASME Power 2007
- (7) 技術資料「燃焼に伴う環境汚染物質の生成機構と抑制法」初版，日本機械学会，P51
- (8) R.J.Kee, F.M.Rupley and J.A.Miller, Chemkin-II : A Fortran Chemical Kinetics Package for the Analysis of Gas Phase Chemical Kinetics, Sandia National Laboratories Report, SAND89-8009, 1989.
- (9) 大島ら：ガスタービン用燃焼器のLES，日本機械学会2007年度年次大会 講演論文集（掲載予定）

特集：環境保護のためのガスタービン利用技術

スーパーマリンガスタービンの開発成果

杉本 隆雄*¹
SUGIMOTO Takao宮地 宏*¹
MIYAJI Hiroshi中山 智*¹
NAKAYAMA Satoshi

キーワード：船用ガスタービン，二軸再生サイクル，圧縮機，タービン，燃焼器，再生器，Marine Gas Turbine，Two Spool re-Generative Cycle，Compressor，Turbine，Combustor，Recuperator

1. はじめに

地球規模の環境問題への関心が年々大きくなっているなか，既に陸上においては大気汚染物質について厳しい規制が課せられている。海上における大気汚染防止に関しても世界的に強い関心が寄せられており，国際海事機関（IMO）は大気汚染防止に関するMARPOL条約の新付属書を採択し，船舶からのNO_x排出に対する規制がなされるようになった。

ガスタービンはその燃焼形態からNO_x排出量をディーゼルエンジンに比べて格段に低くできるため，船用機関としてガスタービンが広く普及すれば船舶排気ガスにおけるNO_x排出量の大幅な削減が期待できる。

また，従来のトラック中心の陸上輸送から海上輸送へのモダルシフトにより，大気汚染物質の全体排出量削減が期待できるが，これを推進するためには船舶の高度化，船内労働環境の改善，経済性向上等による海上輸送システムの発展が必要である。この課題に対して，ガスタービンの軽量・小型，低振動・低騒音，メンテナンスの容易さといった特長は一つの回答になり得る。

しかしながら，主に経済的な理由から船用機関はディーゼルエンジンが主流を占め，ガスタービンの採用は艦艇や客船など一部の用途に限定されているのが実情である。

スーパーマリンガスタービン（以下SMGT）は，このような現状を打破するべく，従来のガスタービンよりもさらなる低NO_x化を図り，燃費を大幅に改善した低環境負荷かつ高効率な次世代型船用ガスタービンとして，国内のガスタービンメーカー5社の協力により開発された。

2. 研究開発概要

SMGTの研究開発スケジュールを図1に示す。研究開発は以下の2つのフェーズにより実施した。

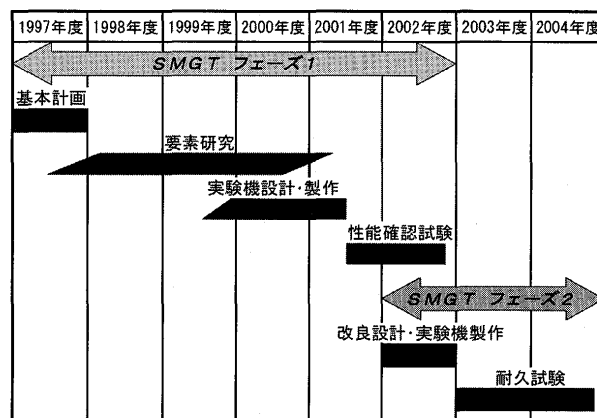


図1 SMGT研究開発スケジュール

2.1 フェーズ1

1997年度から2002年度までの6年間，次の3点を主な開発目標として基本計画，各要素技術の研究及びそれらの成果を反映した2,500kW級ガスタービンの実験機を開発し，陸上試験装置において性能確認試験を実施した。

- 1) NO_x排出量 1 g/kWh以下
- 2) 熱効率38～40%
- 3) 燃料にA重油が使用可能

目標のNO_x値は高速ディーゼルの約1/10，熱効率は高速ディーゼルにほぼ匹敵する。また，同出力クラスの産業用ガスタービンと比較しても，NO_x排出量で現状値（液体燃料焚）の1/3，熱効率で10ポイントの向上を狙った意欲的なものである。燃料は船用としての入手性を考慮してA重油を使用可能とした。

2.2 フェーズ2

2002年度から2004年度までの3年間，フェーズ1で得られた成果を活用し，以下の2点を主な開発目標とした実船搭載型SMGTの開発を実施した。

- 1) 実船搭載に必要な信頼性の確保
- 2) 総合エネルギー効率50%以上

信頼性確保のための改良を実施し，陸上試験装置において連続運転試験及び繰返し負荷投入試験により耐久性を確認した。総合エネルギー効率に関しては，排熱回収・利用システムの研究を中心に実施した。

原稿受付 2007年11月14日

*1 川崎重工業株式会社 ガスタービン・機械カンパニー
〒673-8666 兵庫県明石市川崎町1番1号

3. SMGTの特徴

SMGTの構成を図2に、主要目を表1に示す。SMGTの特徴としては以下が挙げられる。

3.1 高効率

熱効率の飛躍的な改善を図るため、再生器によって排気ガスの熱エネルギーを回収する再生サイクルを採用するとともに、圧縮機、タービン等各要素の効率向上を追求した。

3.2 低環境負荷

NO_x排出量の大幅な低減を実現するため、予蒸発・予混合希薄燃焼方式による低NO_x燃焼器を開発した。

3.3 多様な用途

船舶における多様な推進方式（プロペラ機械駆動、ウォータージェット、電気推進等）に対応するため、ガスジェネレータとパワータービンの2軸構成とした。

3.4 良好な保守点検性

ガスジェネレータ、パワータービン、燃焼器等のモジュール分割・組立構造にすることにより、せまい船内への設置及び保守点検を容易にした。

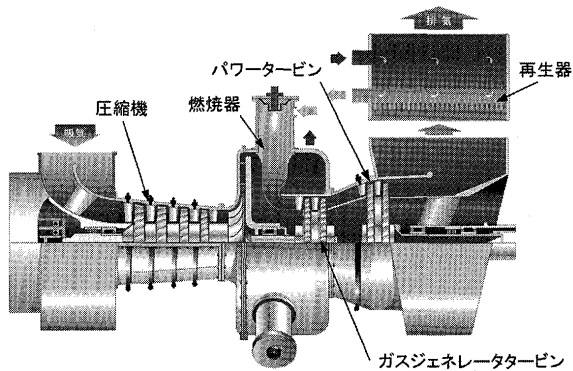


図2 SMGT構成

表1 SMGT主要目（フェーズ2）

形式	再生開放2軸式
出力	2,400kW
熱効率	36%
圧縮機	軸流式4段+遠心式1段
燃焼器	4缶型
ガスジェネレータタービン	軸流2段
パワータービン	軸流2段
再生器	プレートフィン型
ガスジェネレータ回転数	21,000 rpm
パワータービン回転数	12,500 rpm
空気流量	9.5kg/s
圧力比	8

※ISO条件

3.5 低コスト

船用として現在主に使用されている航空転用型ガスタービンは、高い信頼性・稼働率を持っている反面、高コストなものとなっている。一方、産業用ガスタービンの稼働台数は年々増加し、その信頼性は各所で実証されコストも低下している。低コスト化を追求するため、SMGTは産業用ガスタービンの設計・製造技術をベースに開発された。

4. SMGTの要素技術

4.1 圧縮機

この出力クラスのカスタービンでは単段または2段遠心圧縮機を採用する例が多いが、SMGTでは高効率化を達成するために軸流式4段と遠心式1段を組み合わせた型式を採用した。軸流圧縮機を図3に、遠心圧縮機インペラを図4に示す。軸流圧縮機には起動時のサージマージンの確保、部分負荷運転時の効率向上を目的として可変静翼を採用している。開発にあたっては、最新のCFD技術による翼列流れ解析や入口ケーシング形状の最適化を行なうとともに、圧縮機単体及び組合せ試験機を製作して空力、翼振動等の性能評価・改良を実施し、目標を満足することを確認した。

4.2 燃焼器

NO_x排出量の低減を実現するため、従来の拡散燃焼方式に替えて予蒸発・予混合希薄燃焼方式による液体燃料（A重油）焚き低NO_x燃焼器を開発した。低NO_x燃焼

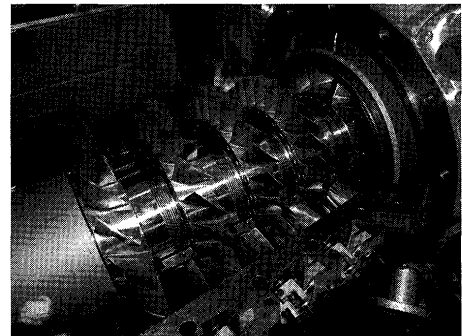


図3 軸流圧縮機

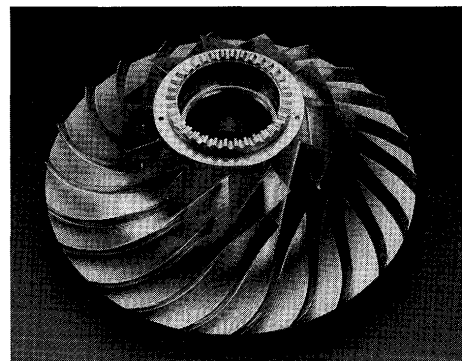


図4 遠心圧縮機インペラ

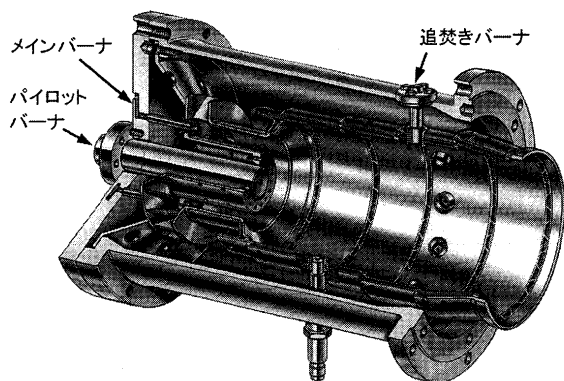
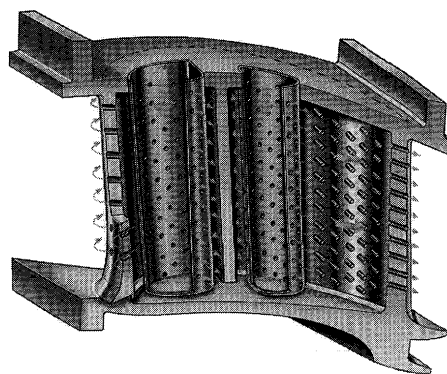
図5 低NO_x燃焼器

図7 ガスジェネレータタービン1段静翼冷却構造



図6 燃焼器ライナ

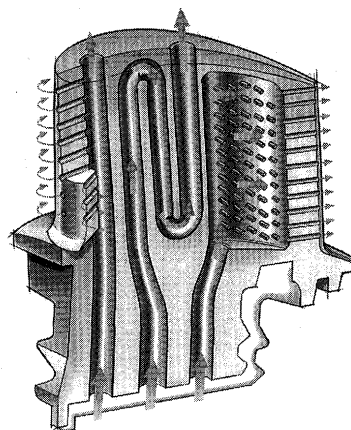


図8 ガスジェネレータタービン1段動翼冷却構造

器の構造を図5に、燃焼器ライナを図6に示す。この燃焼器は火種としてのパイロットバーナ、燃料と空気を混合させて希薄混合気を作り燃焼させるメインバーナ、高負荷域でメイン燃焼域の下流側に燃料を噴霧して燃焼させる追焚きバーナの3種類のバーナを持つ型式となっている。着火から全負荷まで燃料流量増加とともに各バーナに供給する燃料を制御することにより、広範囲での低NO_x運転を実現している。燃焼器形式は整備性及び再生器との配管アレンジ等を考慮して4缶型とした。

4.3 ガスジェネレータタービン

ガスジェネレータタービンは軸流式2段構成で、動翼、静翼ともに冷却翼を採用している。1段静翼及び動翼の冷却構造を図7、図8に、圧縮機とタービンを組み合わせたガスジェネレータロータを図9に示す。SMGTでは高効率化のため、タービン入口温度を同出力クラスの従来ガスタービンの水準よりも50~100℃程度高く設定したことから、高い冷却性能を持った冷却翼の開発が必要となった。そこで熱流体解析及び要素試験を実施し、翼前縁部シャワーヘッドフィルム冷却孔やV型スタッガードリップ付冷却通路等、最新の冷却技術を適用した。また、1段静翼外表面にはセラミック系熱遮蔽コーティング(TBC)を施工して冷却効果を高めている。

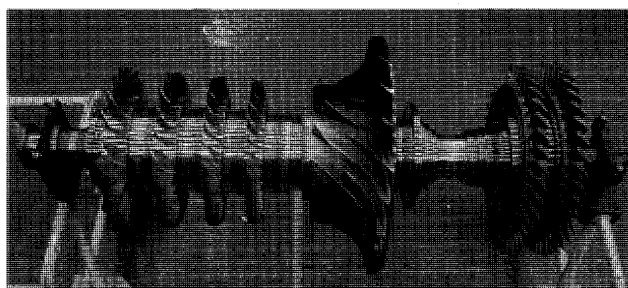


図9 ガスジェネレータロータ

4.4 パワータービン

パワータービンは軸流式2段構成で、動翼、静翼ともに無冷却翼である。動翼を図10に、組み立てたパワータービンロータを図11に示す。静翼は部品点数を減らすためリング一体構造とした。高い要求効率の達成と広い回転数範囲における振動問題対策のため、動翼にチップシュラウドを採用した。

4.5 再生器

再生器(熱交換器)には高い温度効率と耐久性に加えて船舶搭載用として軽量・小型であることが要求される。これらの要件を考慮してプレートフィン型を採用した。また、燃料にA重油を使用するため、伝熱面に煤が堆積

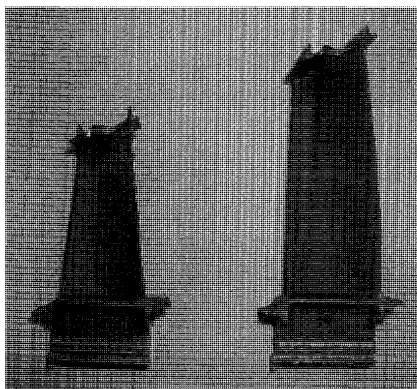


図10 パワータービン動翼（1段，2段）

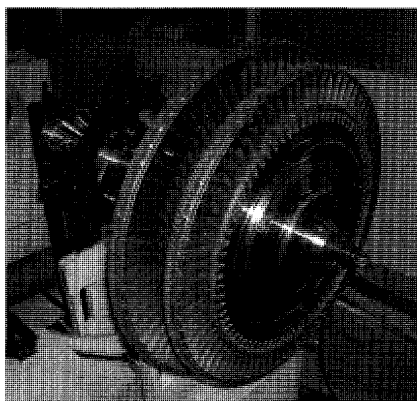


図11 パワータービンロータ

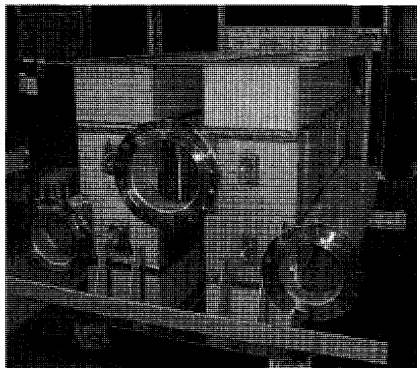


図12 プレートフィン型再生器

しにくく、洗浄性を考慮したフィン形状とした。再生器の外観を図12に示す。

5. 船舶対応技術

SMGTの開発においては、船舶に搭載された際の固有の課題について以下の検討を実施し、設計に反映した。

5.1 防食対応

海水塩分による腐食や、燃料中に含まれる硫黄分等の腐食成分による耐食性を確認するため、塩水噴霧試験及び高温腐食試験を実施し、各部材の候補材及びコーティングの耐食性を評価し、その結果に基づき各部材料を選定した。

5.2 傾斜・動揺対応

船用機関は船内でのレイアウトを考慮して傾斜した状態で据え付けた場合や、航行中の船体の動揺下においても運転に支障のないことが要求される。このため応力・変形解析を実施し、各部が傾斜及び動揺に対して十分な強度を有していることを確認した。傾斜・動揺解析の様子を図13に示す。また、傾斜時の排油機能を保つため、軸受室形状や配管の勾配を配慮した。

5.3 負荷変動対応

船用機関では運転中に想定される様々な負荷変動に対する高い応答性が要求される。このため、SMGTと推進系を含めたシミュレーションモデルによる過渡応答特性の検討及び陸上試験による検証により、急激な負荷変動に対する高い応答性を得るための制御ソフトウェア及びハードウェアを開発した。

6. 排熱回収・利用システム

SMGTを船舶へ搭載した際、その排熱を有効利用して高い総合エネルギー効率を得るため、排熱回収・利用システムの研究を実施した。考案したシステムを図14に示す。エコマイザによりSMGTの排気ガスから回収した熱エネルギーは熱媒油を介して船内サービス熱源として供給されるとともに、吸気冷却システムの熱源として供給される。吸気冷却システムは吸収式冷凍機及び吸気冷却器によって構成される。吸収式冷凍機で冷水を製造し、その冷水を使用して吸気冷却器によりSMGTの吸気を冷却する。これにより、大気温度が高い場合にも出力の低下を抑えることが可能となる。本システムの性能線図を

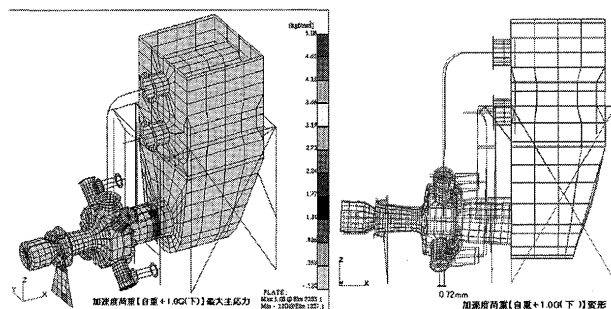


図13 傾斜・動揺解析

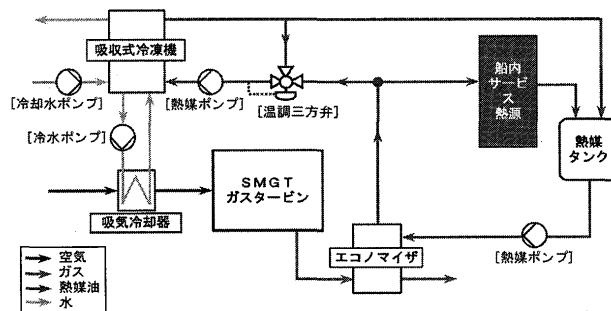


図14 排熱回収・利用システム

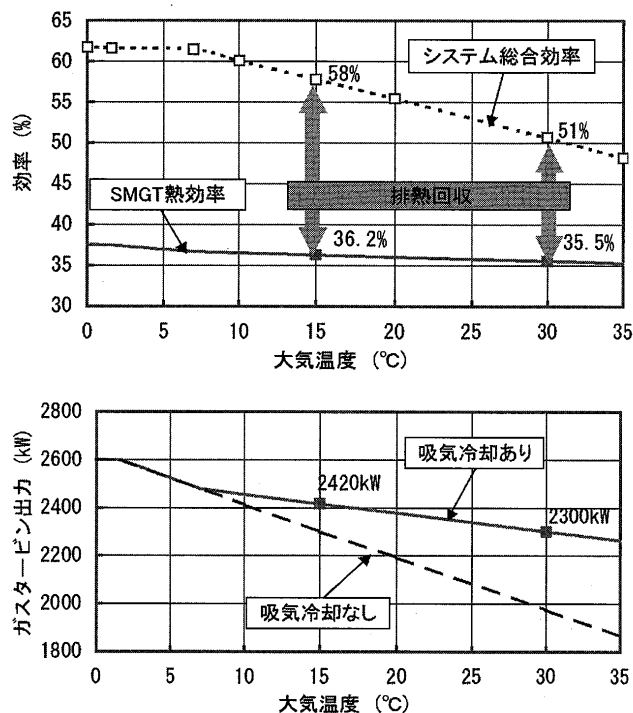


図15 排熱回収・利用システム性能線図

図15に示す。本研究においては、陸上試験装置に排熱回収用エコノマイザの代わりに燃料焚きボイラを利用した吸気冷却システムを追加して性能試験を実施し、実際のシステムにおいて総合エネルギー効率50%以上を達成できることを検証した。

7. 陸上運転試験

フェーズ1の性能確認試験及びフェーズ2の連続運転試験等は川崎重工業明石工場内に建設した陸上試験装置を使用して実施した。試験装置の外観を図16に、試験装置に設置したSMGTを図17に示す。試験装置は屋外パッケージ型となっており、別棟の計測室で運転制御及び運転状態の監視・計測ができるようになっている。

それぞれのフェーズにおける運転試験の概要と結果について以下に述べる。

7.1 性能確認試験（フェーズ1）

性能確認試験は2001年度から2002年度にかけて実施した。改良を加えつつ断続的に試験を実施し、運転時間は合計約140時間、始動回数は約150回であった。

熱効率の計測結果を図18に、NO_x排出量の計測結果を図19に示す。いずれも目標値を満足しており、フェーズ1を成功裏に完了することができた。

7.2 連続運転試験（フェーズ2）

信頼性を確認するための連続運転試験は2003年度から2005年度にかけて実施した。試験は1,000時間の定格負荷運転と1,000回の繰り返し負荷投入（始動－停止及びアイドル－定格負荷）を組み合わせたスケジュールで実

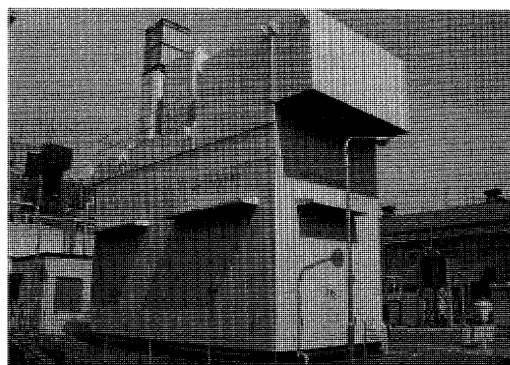


図16 陸上試験装置

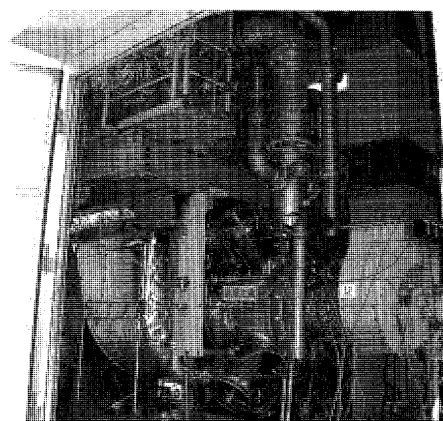


図17 試験装置に設置したSMGT

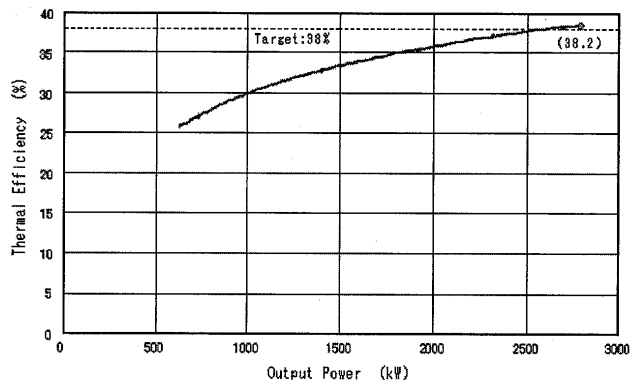
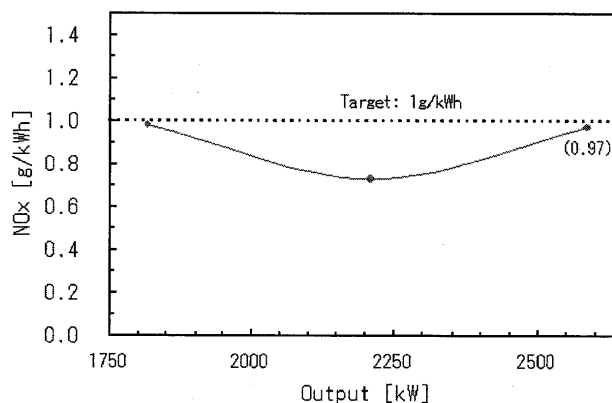


図18 熱効率計測結果

図19 NO_x排出量計測結果

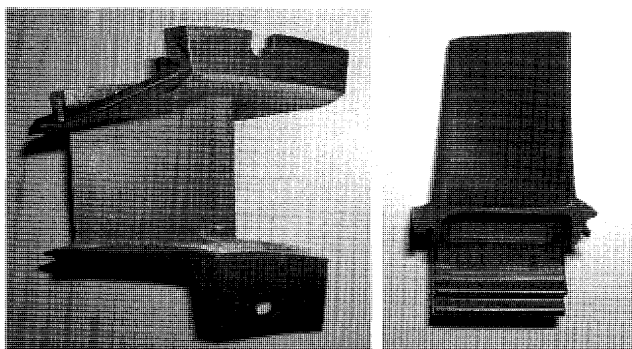


図20 ガスジェネレータータービン1段動翼及び静翼



図22 SMGT発電装置 (パッケージ)

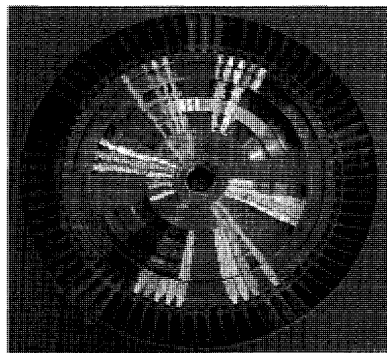


図21 パワータービン1段ロータ

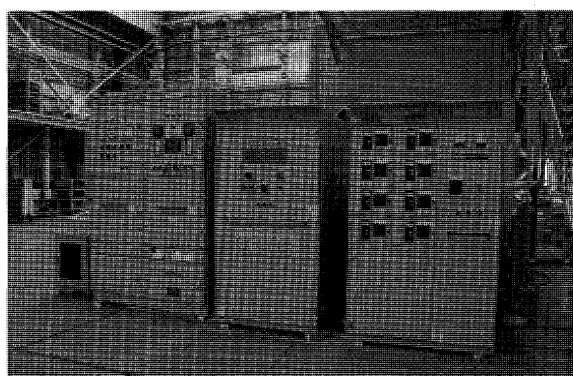


図23 SMGT発電装置 (制御盤類)

施した。試験中はガスタービン内部の温度・圧力を計測し、各部の状態に異常が発生しないことを確認するとともに、試験後に分解点検を実施し、各部品に不具合が発生していないことを確認した。図20に連続運転試験後のガスジェネレータータービン1段動翼及び静翼を、図21にパワータービン1段ロータを示す。試験結果は良好であり、フェーズ2を完了することができた。

8. 実用化への取り組み

SMGTの実用化に向けた取り組みの一つとして、国土交通省が推進している次世代内航船スーパーエコシッププロジェクト（以下SES）の実証実験船への適用が行われた。

SES実証実験船は発電装置、電動モータ及び2重反転式ポッドプロペラ等で構成される推進システムを搭載した電気推進船であり、SMGTは推進システム用ガスタービン発電装置として使用された。SMGT発電装置は2005年度末に完成し、2006年度にSES実証実験船に搭載、2007年度に海上運転試験が実施された。完成したSMGT発電装置を図22及び図23に示す。この発電装置は船舶甲板に設置されるためパッケージ型となっており、洋上での使用を考慮した設計となっている。本プロジェクトの結果については別の機会に紹介したい。

9. おわりに

SMGTの研究開発は成功裏に完了し、スーパーエコシッププロジェクトへの参画など実用化へ向けた取り組みが始まっている。SMGTが実用化され、広く普及することで、海上における環境保護が促進されるとともに、今後発展が期待される海上輸送システムにおけるガスタービンの適用に繋がるものと確信する。

SMGTの研究開発は、国土交通省殿、鉄道建設・運輸施設整備支援機構殿、日本財団殿の御指導・御支援のもとにスーパーマリンガスタービン技術研究組合によって実施しました。ここに記して謝意を表します。また、関係各位の多大なご支援に感謝致します。

参考文献

- (1) T.Sugimoto, H.Miyaji, H.Sano, Development of Japanese Super Marine Gas Turbine, ASME Turbo Expo 2005 GT2005-68447
- (2) 佐野光 他, スーパーマリンガスタービンの開発, 川崎重工技報 第161号 (2006.1)
- (3) 杉本隆雄 他, 日本ガスタービン学会誌 Vol.29 No.2 (2001.3), p.76-81
- (4) 足利貢, 日本ガスタービン学会誌 Vol.32 No.2 (2004.3), p.71-76
- (5) 室田光春 他, 日本ガスタービン学会誌 Vol.32 No.6 (2004.11), p.479-483

特集：環境保護のためのガスタービン利用技術

排熱発電装置の開発

井上 修行^{*1}
INOUE Naoyuki入江 毅一^{*2}
IRIE Kiichi内村 知行^{*2}
UCHIMURA Tomoyuki

キーワード：排熱，発電，ランキンサイクル，タービン，作動媒体

1. はじめに

地球温暖化やオゾンホールが発生など環境問題が注目され、2005年2月の京都議定書の発効もあり、環境負荷低減は世界的に大きな課題となっている。一方、原油や天然ガスなどエネルギー価格の急激な高騰によって、省エネルギー要求が一段と強まっている。このような背景のなかで、排熱をさらに有効に利用して省エネルギーを図る気運も高まっている。

本稿では、排熱利用技術の一環として、80～90℃程度の温水排熱を熱源にした発電装置の開発について紹介する。本発電装置は、工場からの排熱、ディーゼルエンジンのジャケット温水、あるいは温水取出型マイクロガスタービンの給湯不要時の温水利用などをターゲットにしたものである。エンジン発電装置は市場でのストック台数が多く、さらにラジエータ温水を冷却装置すなわち電気を使ってまで放熱していることも、温水排熱駆動の発電装置開発の理由である。

これまでに、排熱を利用する発電装置は各種開発されてきたが、装置コストが高いため経済的に成立せず、コスト低減が大きな課題となっていた。しかし、約10年前から世界的に行われているマイクロガスタービンの開発により、高速回転装置や発電装置に関する各種新規技術が蓄積され、これらの技術を取り込むことで、温水排熱発電装置のコンパクト化、低コスト化を図ることができ、さらにエネルギー高騰もあって、次第に採算ベースに乗ってくると考えている。

2. 開発のコンセプトおよび試験機概要

今回の開発では、装置の低コスト化のため、機械装置の簡易化、コンパクト化を重視するとともに、装置据付工事費の低減を考慮し、据付の容易性も重視した。これらを実現するため、下記のような基本方針のもと開発を進めた。

原稿受付 2007年11月21日

*1 (株)荏原製作所 風水力機械カンパニー 開発統括部

〒251-8502 藤沢市藤沢4-2-1

*2 (株)荏原製作所 開発統括部 熱流体システムグループ

〒251-8502 藤沢市藤沢4-2-1

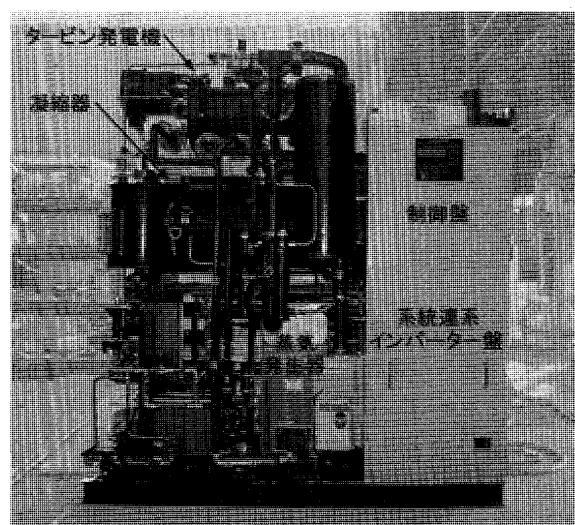


図1 マイクロ排熱発電装置

表1 開発仕様

発電機定格出力	20 kW
出力電圧	200 V
外形寸法	1780L × 880w × 2000h
設計温水温度	83 → 78 ℃
定格入熱量	240 kW
作動媒体	HFC245fa
設計冷却水入口温度範囲	10℃～32℃
サイクル	ランキンサイクル
タービン形式	単段遠心タービン
タービン回転速度	28,000 rpm
発電機形式	S P M型同期発電機
系統連携	系統連携インバータ搭載

装置の簡易化に関しては、

- (1) 構成機器数の少ないランキンサイクルを基本サイクルとする。
- (2) 膨張タービンと発電機は直結とし、機械的な速度変換機をなくす。
- (3) 発電機は作動媒体の雰囲気中に設けて作動させる密閉型とし、外部との軸シールを不要とする。

(4) 特別な速度制御機器は採用せず、発電機の特性と系統連系インバータを利用した制御とする。

装置のコンパクト化に関しては、

- (1) 膨張タービンは高速回転としてコンパクト化を図り、また高効率も確保する。
- (2) 発電機は高速回転として必要トルクを低くし、永久磁石型同期発電機を採用する。

装置据付の容易性に関しては、

- (1) 構成機器を同一架台上に設け、一体のまま、運搬、搬入、据付を可能にする。
- (2) 発電した電気は周波数、電圧を調整して、系統に連系し、一般電源として利用可能とする。

以上の基本指針の基に開発した実証試験機の外観写真を図1に、開発仕様を表1に示す。前述のように、機械装置の簡易化、コンパクト化を重視して開発した結果、設置面積タタミ1畳程度の架台上に、熱交換器、タービン発電機、制御盤、補機類、系統連系インバータ盤などを設置することができた。この装置へ、電源の接続と温水・冷却水を供給するだけで運転が可能である。

3. 発電装置の構成および要素技術

3.1 発電サイクルと作動媒体

発電サイクルは、図2の $P-h$ 線図、図3のフローシートに示すような基本的なランキンサイクルを採用した。凝縮器から液体の作動媒体を循環ポンプで蒸気発生器に圧送し、温水排熱で加熱・気化させて高圧の蒸気とし、この高圧蒸気でタービンを駆動させ、排出された低圧の作動媒体蒸気を凝縮器で冷却・凝縮し液体に戻して一巡するサイクルである。

適切な作動媒体を選択するため、各種媒体によるサイクル評価をシミュレーションにより行なった。その結果を表2に示す。サイクル効率の面からは、水、TFE、R123、アンモニア、R245faなどが媒体候補となるが、この中で、水とアンモニアは、発電機の密閉化が困難な

ことから除外した。開発当初の一次試作機（プロト機）ではTFEを採用し、実運転試験⁽¹⁾を行ってきた。しかし、平行して実施してきた密閉発電機の耐久性試験で、耐久性のある適当な絶縁皮膜材料が見つからなかった。そのため二次試作機となる実証試験機では、絶縁被膜材料の問題がなく、オゾン層の破壊もないHFC冷媒に変更し、HFC245faを採用した。

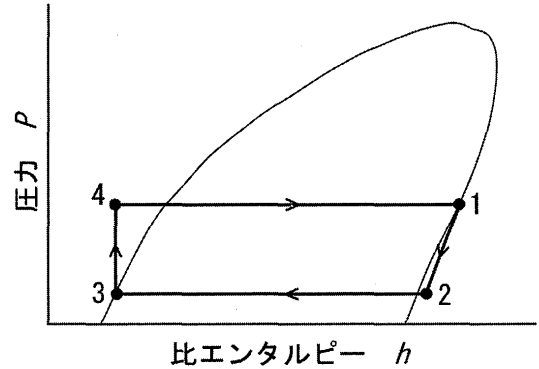


図2 ランキンサイクル $P-h$ 線図

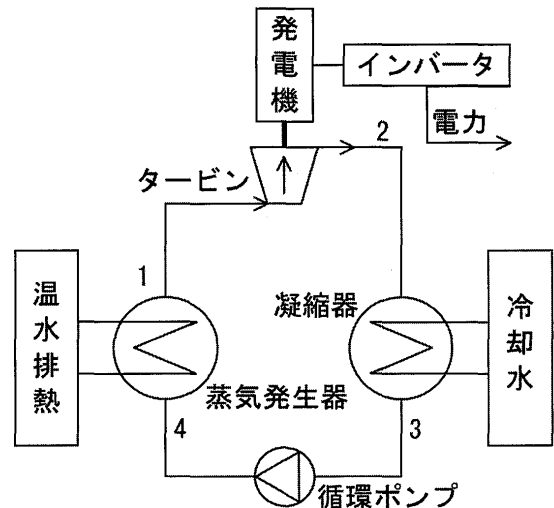


図3 サイクルフローシート

表2 各種作動媒体によるサイクルシミュレーション（有効発電量 10kW）

条件：蒸発温度 77℃ 凝縮温度 42℃ 膨張タービン効率 0.80 循環ポンプ効率 0.60 発電機効率 0.95

作動媒体		NH ₃	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	H ₂ O	R123	R134a	R245fa	TFE
蒸発器圧力	kPa	3879	2959	948	41.9	453	2469	732	115
凝縮器圧力	kPa	1644	1434	401	8.2	165	1072	269	24
圧力比	—	2.4	2.1	2.4	5.1	2.7	2.3	2.7	4.8
タービン出口温度	℃	42.0	42.0	52.1	42.0	51.6	42.0	52.9	42.0
タービン出口湿度	—	0.087	0.030	—	0.054	—	0.023	—	0.012
媒体ポンプ動力	kW	0.90	3.19	0.65	0.00	0.27	2.09	0.44	0.04
発電機電気出力	kW	10.90	13.19	10.65	10.00	10.27	12.09	10.44	10.04
タービン仕事	kW	11.47	13.88	11.21	10.53	10.81	12.73	10.99	10.56
媒体循環量	kg/s	0.1394	0.5820	0.3950	0.0551	0.8032	1.0235	0.7444	0.3212
蒸発器入熱量	kW	149.2	181.4	153.7	135.5	147.9	171.5	152.7	140.9
サイクル効率	—	0.0670	0.0551	0.0651	0.0738	0.0676	0.0583	0.0655	0.0710

3.2 タービン発電機

図4に試作したタービン発電機の構造を示す。タービンの定格回転速度を高速とし、さらに発電機と直結することでコンパクト化を図っている。タービン室と発電機室とはラビリンスシールで分離している。

タービンは一段のラジアルタービンとした。タービン回転角速度 ω [rad/s], 出口体積流量 Q_2 [m³/s], タービン断熱熱落差 dh_0 [J/kg]とし、比速度 N_s を

$$N_s = \omega Q_2^{0.5} / dh_0^{0.75}$$

で定義するとき、高効率化のために、通常 $N_s=0.4\sim0.75$ の範囲で設計している。またローターの周速 U と熱落差による速度 $C_0 = (dh_0)^{0.5}$ との比は、 $U/C_0=0.7$ 付近に最適値がある。二次試作機では $N_s \approx 0.55$, $U/C_0 \approx 0.7$ にて概略設計をした。

タービンの動翼およびノズルは、3次元逆解法で詳細設計をして形状を決め、ナビアストークスコードを用いて流れ解析を行った。製作したタービン動翼を図5に示す。直径は約95mmである。

本装置の発電機は表面磁石 (SPM) 型同期発電機とし、高速回転時の遠心力に耐えられるよう炭素繊維強化プラスチック (CFRP) で回転子表面の磁石を保持する構造としている。製作した発電機の回転子を図6に示す。

軸受は転がり軸受とし、作動媒体と相溶性のある潤滑油を採用した。

3.3 系統連系インバータ

高速発電機で発電した高周波電力を商用電力系統に供給するため系統連系インバータを設けている。図7に系統連系インバータのブロック図を示す。高速発電機で発電した900Hzを超える高周波電力を、高速整流器で直流に変換し、系統連系インバータ内で商用電力と同じ電圧・周波数の交流に変換している。このとき、交流出力の電圧を系統よりもやや高く、位相の進んだものとする。と電力が系統に送電され、この電圧差及び位相差を操作

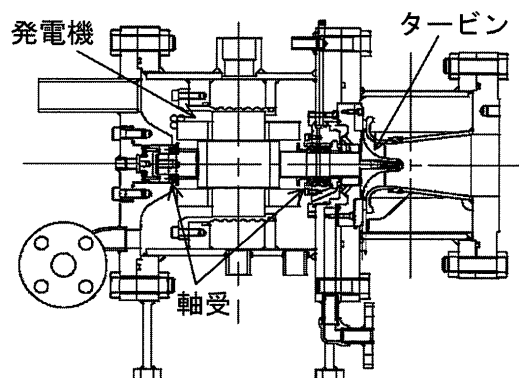


図4 タービン発電機の構造

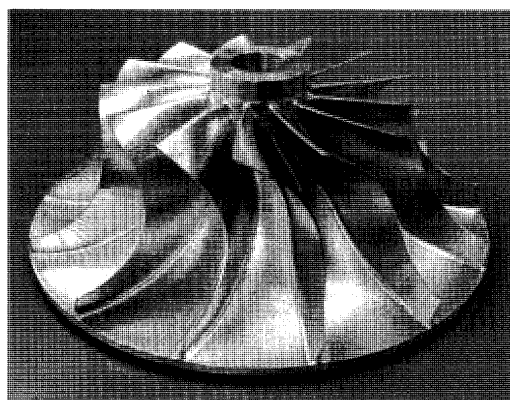


図5 タービン動翼

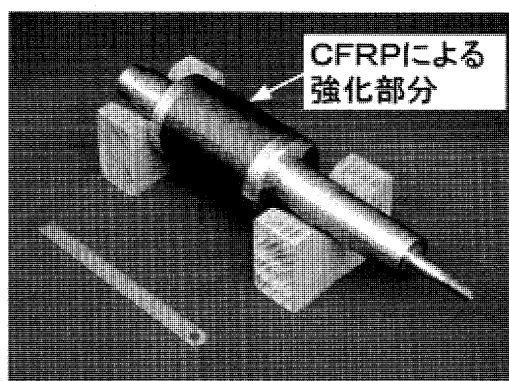


図6 発電機の回転子

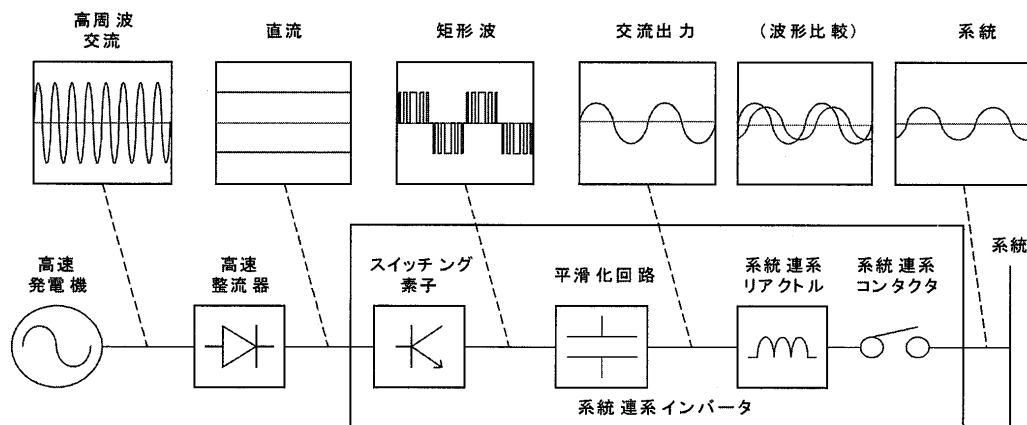


図7 系統連系インバータのブロック図

することで送電電力を制御することができる。今回の排熱発電装置では、排熱である入熱量を制限せずに電気に変換された電力を、全て系統に連系するとともに、次節で述べるようなタービンの調速機能も持たせている。

3.4 調速制御

一般的な蒸気サイクルによる発電装置では、タービンへの蒸気流量を調節して、発電機の世界速度制御を行っている。発電周波数を合わせるための厳密な制御、および負荷急減時のタービンの過回転防止など、応答性が非常に重要であり、コスト上問題になる点である。

今回の開発では、特別な速度制御機器は採用せずに、発電機の誘起電圧が発電機ロータの回転速度に比例した電圧になるという発電機特性を利用し、系統連系のためのインバータにて速度制御をしている。図8に概要を示す。タービン発電機で発電した交流電力は、前節で述べたように一度直流に変換し、この直流電圧が目標電圧（系統連系に必要な電圧以上に設定）になるように、インバータで連系先への出力電流を調節する。発電量を超過して電流を取り出せば電圧が低下し、少なれば電圧が上昇するので、このインバータによる電圧制御でタービンの回転速度制御ができることになる。簡単にこの関係を説明すると、発電機出力端では、発電機コイルのリアクタンスおよび抵抗によって誘起電圧よりも低下、この電力を整流平滑化し、前述のインバータへの直流電源入力とする。発電機出力をパラメータに、回転速度と直流電源電圧の関係をシミュレーション計算で求め、図9に示す。直流電圧と電気出力を与えると回転速度が決まることになる。系統連系先の交流電圧を $200\text{V} \pm 10\%$ とすると、必要な最小直流電圧は、交流の正負両側の波高生成と三相の位相差を考慮し、 $2 \times \sqrt{2} / \sqrt{3} \times 220 = 359\text{V}$ となる。実機運転ではインバータ素子抵抗やケーブル損失などの電圧降下を考慮して、目標直流電圧を 370V 程度にしている。

以上のように、排熱を熱源とする本装置は、小容量であることから電力のベース負荷として運用することとし、排熱を最大限利用、タービンに供給する蒸気量を制限せずに発電して系統連系するとともに、タービン発電機の回転速度を定格値以下に調速する機能もインバータに持たせることができた。ただし、タービン発電機出力が、系統連系インバータの定格出力以上になる場合に、蒸気弁を絞って蒸気量を制限してタービン発電機出力を低下させる機能、および停電発生時など系統との連系が遮断して負荷がなくなる場合に、電圧が上昇することを捉えてタービン動力をヒータに消費させて制動をかける過回転抑止機能なども付加している。

4. 実証試験

前章に記載のサイクルや作動媒体、タービン発電機、系統連系インバータならびに制御方式などを採用して、

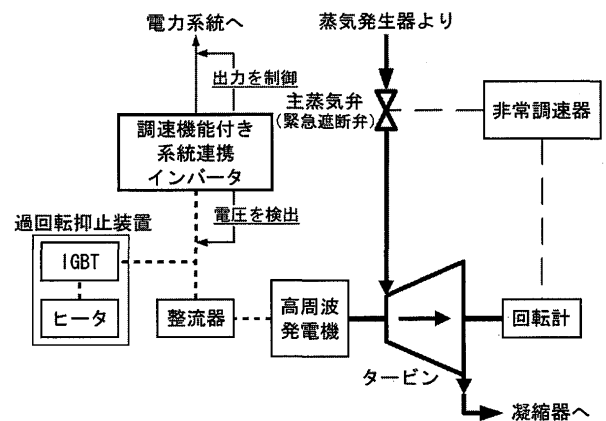


図8 発電装置の調速系統

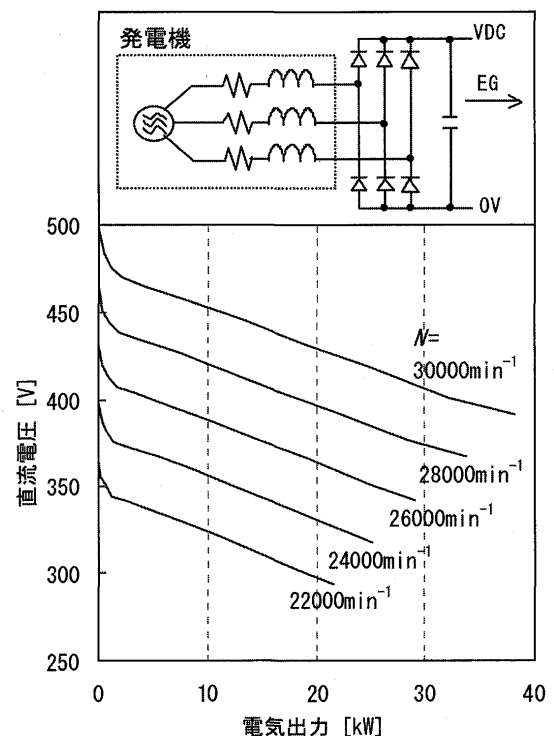


図9 発電機シミュレーション

排熱発電装置を試作（図1）し、実証試験⁽²⁾を行った。実証試験は新日本石油(株)殿と共同で、新日本石油精製(株)・横浜製油所構内で実施した。この実証試験では、製油所内のプロセス蒸気から温水を製造して、排熱発電装置に熱源として供給し、温水温度の影響、冷却水温度の影響など各種条件を設定して発電特性を得た。

4.1 発電特性

排熱発電装置の発電特性を把握するため、温水温度と冷却水温度を変化させて実証試験を行なった。取得した発電特性を図10（熱量および温水流量一定条件）、図11（温水入口温度および流量一定条件）に示す。

エンジンのジャケット温水のように、排熱量がほぼ一定で温水を循環利用する場合には、排熱発電装置の冷却水温度が低下すると、発電量は増加するとともに、温水

温度が低下する。一方、冷却水温度が上昇すると、発電量は減少するとともに、温水温度が上昇する（図10）。本試作機の定格熱量である240kWを例にすると、冷却水12.5℃では、温水温度が76℃まで低下し、発電量は約20kWとなり、冷却水温度が30℃まで上昇すると、温水温度は80.5℃程度でバランスし、発電量は約14kWとなる。

排熱発電装置に対し一過性となる排温水の場合には、排熱発電装置の冷却水温度が低下すると、発電装置の熱回収量が増加し、温水出口温度が低下するとともに、発電量が増加する。一方、冷却水温度が上昇すると、熱回収量が減少して温水出口温度は上昇し、発電量が減少する（図11）。温水入口温度80℃、流量0.7m³/minを例にすると、冷却水18℃では、回収熱量が255kWとなり、発電量は約20kWとなる。冷却水温度が30℃まで上昇すると、回収熱量は234kWとなり、発電量は約13.8kWとなる。

4.2 年間発電量の推定

実証試験結果から年間の発電量を推定したものを図12

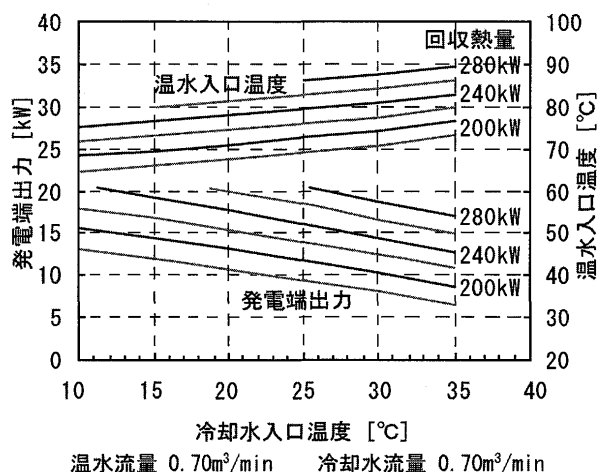


図10 発電特性（熱量一定）

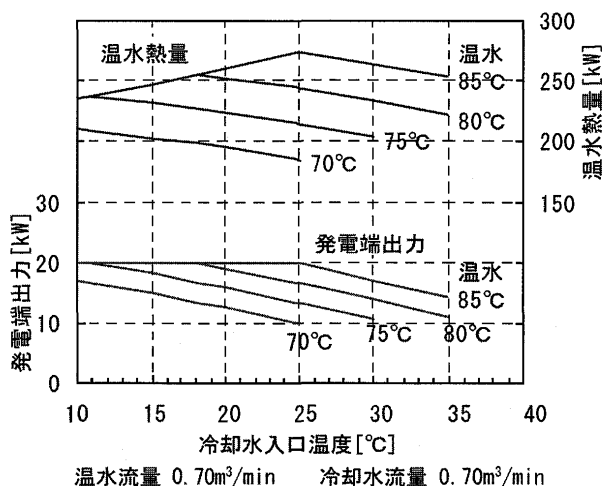


図11 発電特性（温水温度一定）

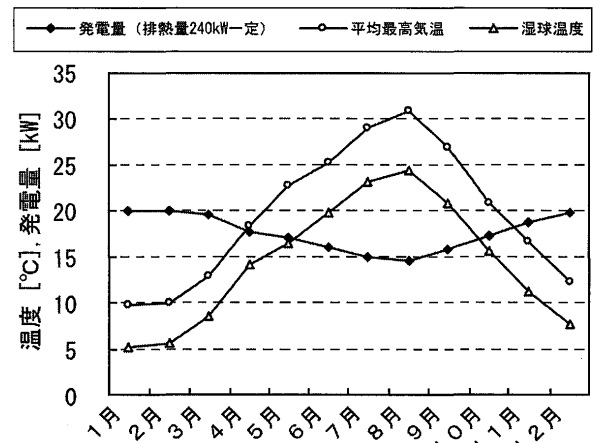


図12 年間推定発電量

に示す。推定にあたって外気条件は東京気象台発表の平年値を使用し、冷却水アプローチ温度（湿球温度と冷却水温度との差）を5℃とした。排熱による加熱量が240kW一定の場合は年間平均で17.7kW、温水供給温度が83℃一定の場合は年間平均で19.1kWの発電が可能である。

4.3 実証試験の結果

実証試験により、排熱発電装置が実用的な排熱回収能力と発電能力を有していること、さらに調速機能をはじめ各機器の所定の性能および機能などを確認した。実証試験をほぼ1年にわたって実施した後、排熱発電装置を分解調査し、発電機構成材料の適合性、ベアリング類の健全性などの確認ができた。

5. フィールド試験

実証試験機に引き続き、実証試験機とほぼ同様のフィールド試験機を製作（ただし屋外カバー付：図13）し、新潟県内の操業中の工場に、2006年12月に据付、既存ディーゼル・エンジン・コージェネレーションからの排温水を熱源にした実負荷試験を新日本石油㈱殿と共同で行なっている。

本設置工場では、排温水を冬期の暖房に利用している

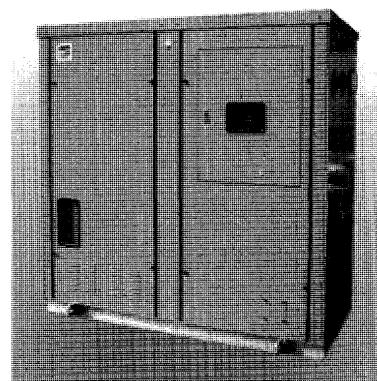


図13 装置外観

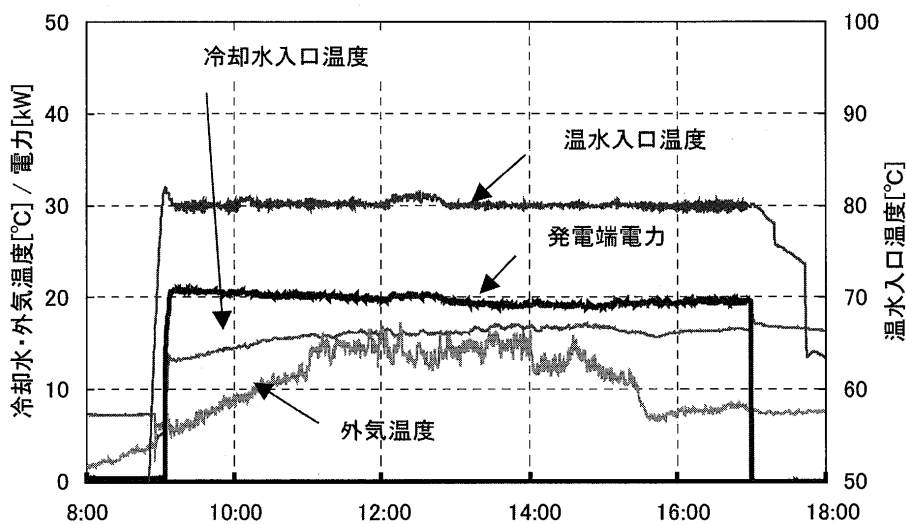


図14 フィールド試験データ（全負荷一日）

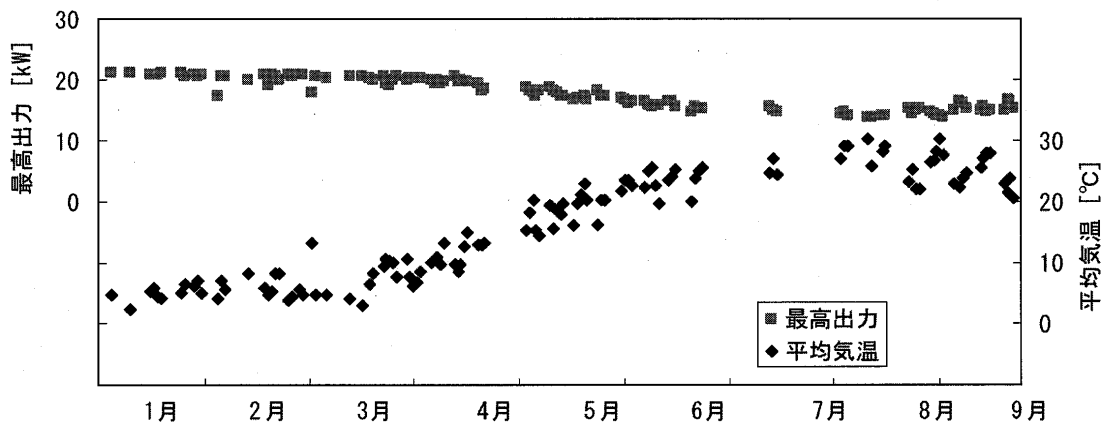


図15 フィールド試験データ（長期試験）

が、夏期は温水を利用しておらず、冬期も時間帯や気象条件によっては排熱が余剰となる。この余剰の排熱を回収し、排熱発電装置のフィールド試験としている。

図14に、起動から停止までの一日の運転例を示す。この例では、冷却水温度が低く、運転中、ほぼ100%の発電量となっている。

図15に、排熱量など運転条件は一定していないが、2007年1月から9月末までの試験データを示す。発電した電力は、発電装置内の補機（媒体循環ポンプ、潤滑油ポンプ、制御盤）に約2kWを使用し、残りを系統に連系している。本フィールド試験機はさらに試験を継続し、耐久性の検証をしていく予定である。

6. まとめ

80℃程度の排温水を熱源として発電を行なう蒸気タービン式の発電装置を開発した。マイクロガスタービンのコンパクト化技術、系統連系技術などを応用し、系統連系可能な小型高速のタービン発電機とすることができた。実証試験機、フィールド試験機にて、本開発機が開発目標の排熱回収能力と発電能力を有していること、また、

種々の試験を通して、機能的にもほぼ実用レベルに達していることを確認した。

温水排熱発電装置に関する要素技術はほぼ確立でき、事業化に向けてはコストダウンが大きな課題となる。今後、イニシャルコストならびにランニングコストの低減を図り、経済性の向上を目指していく予定である。

謝 辞

排熱発電装置の開発は、文部科学省の「平成15,16年度独創的革新技術開発研究」に採択され補助事業として開始しました。

また、本開発にあたっては、大阪市立大学・野邑奉弘教授、早稲田大学・河合素直教授ならびに齋藤潔助教授、新日本石油㈱・開発部を始め、たくさんの方々のご助力をいただきました。ここに記して感謝致します。

参考文献

- (1) 井上修行・他4名、日本冷凍空調学会論文集、22-3（2005-9）、p.165
- (2) 入江毅一、火力原子力発電技術協会、58-607（2007-4）、p.46

特集：環境保護のためのガスタービン利用技術

排熱利用吸収冷凍機の最近の進展

岡 雅博*¹
OKA Masahiro

キーワード：コージェネレーション、排熱利用、冷凍機、冷温水機、ガスタービン、ガスエンジン

1. はじめに

需要家のオンサイトで発電するコージェネレーションシステム（以下CGSと呼ぶ）は、省エネルギーや地球環境保全に貢献し、最近ではエネルギー市場の規制緩和や技術の進展などを背景に、開発・実用化、導入・普及促進が積極的に進められている。

CGSの総合効率を向上させるためにはガスエンジン・ガスタービン等原動機の発電効率の向上を図るだけではなく、同時に発生する原動機からの排熱をいかに有効利用するかが重要となってくる。

温熱需要の豊富な建物において、CGSからの排熱は排熱ボイラ、熱交換器等を介して温水・蒸気として回収され、給湯・暖房・製造プロセス用途等に利用されている。一方、冷熱を多く必要とする建物においては、CGSからの排熱を温水・蒸気・排ガス等の温熱として回収した後、排熱利用冷凍機・冷温水機（以下総称して排熱利用冷凍機と呼ぶ）を介して冷水を製造し、供給している。ここで、冷凍機と冷温水機の違いは、冷凍機が冷水のみを供

給するシステム（冷房専用機）であるのに対して、冷温水機は冷暖の切り替えにより、1台で温水も供給可能なシステムとなっている点である。

近年、冷熱需要が増加しており、排熱利用冷凍機への省エネ性・経済性の向上に対する要望がますます高まってきている。このような状況の下、これまでさまざまな排熱利用冷凍機の開発が進められてきた。

本稿では、排熱利用冷凍機に関して、その原理・特徴と最近の技術開発動向について紹介する。

2. CGSからの排熱及び排熱利用冷凍機の種類

CGSで回収される排熱の温度レベルや形態は、原動機の種類や回収方式によって異なる。この温度レベル・形態に対応して図1に示すような種類の排熱利用冷凍機が利用される⁽¹⁾。

排熱の温度レベルが低い温水の場合は、単効用サイクル（温水吸収冷凍機、排熱投入型吸収冷温水機等）で利用し、温度レベルの高い蒸気や排ガスの場合には、効率が

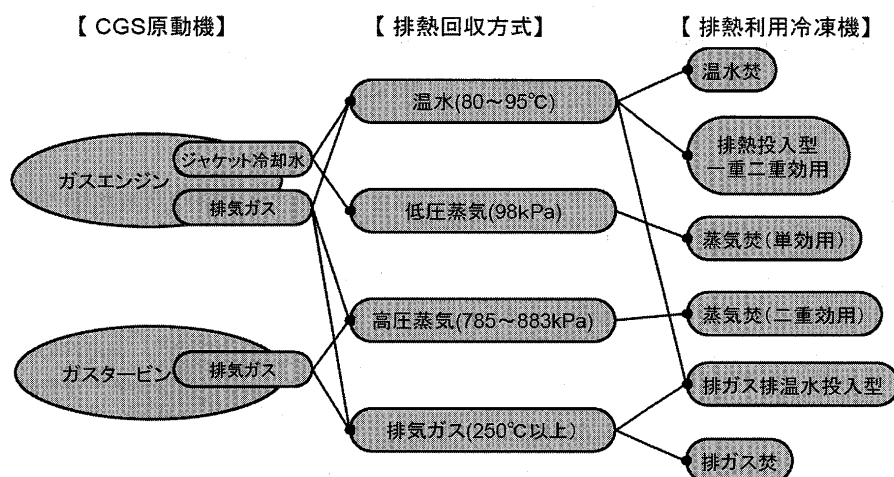


図1 原動機に対応した排熱利用冷凍機の種類

原稿受付 2007年11月13日

*1 東京ガス株式会社 ソリューション事業部
〒163-1027 新宿区西新宿3-7-1
新宿パークタワーC棟27階

高い二重効用サイクル（蒸気焚吸収冷凍機、排ガス焚吸収冷温水機等）が利用される。また、ガスエンジンのように2種類の温度レベルの排熱が得られるシステムにおいては、単効用、二重効用を組合せたサイクル（排ガス排温水投入型吸収冷温水機）が利用される。

3. 排熱利用冷凍機の開発動向

排熱利用冷凍機は、CGS及び太陽熱等から得られた温熱を冷房用の駆動熱源として利用するために古くから採用されてきた。また、CGSの普及拡大とともに多様な排熱熱源に対応するため、さまざまな種類の排熱利用冷凍機の技術開発が行われてきた。加えて、ベースとなる冷凍機の効率向上とともに排熱利用冷凍機の効率向上も図られている。主な排熱利用冷凍機のベースとなる機器の冷房COP（成績係数）の変遷と排熱利用冷凍機との関係を図2に示す⁽¹⁾。ここで冷房COPとは、冷凍機が製造した冷熱量を冷凍機へ入力された温熱量で除した値を示している。

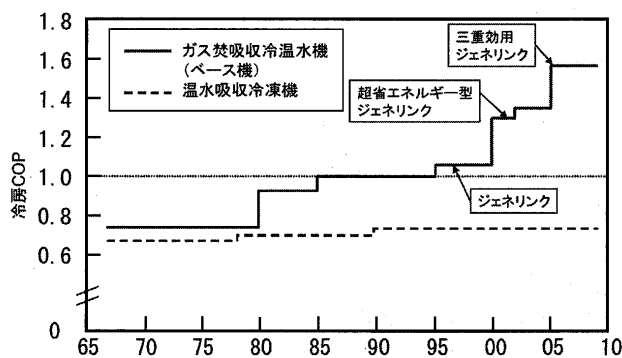


図2 各種吸収冷凍機の冷房COPの変遷と排熱利用冷凍機の関係

4. 各種排熱利用冷凍機の原理と特徴

以下に主な排熱利用冷凍機の原理と特徴について説明する^{(1), (2), (3)}。

4.1 温水吸収冷凍機

CGS排熱だけでなく太陽熱等から得られる80～90℃の温水を駆動熱源として利用する冷凍機として古くから利用されている。吸収式の冷凍サイクルとしては最もシンプルな単効用サイクルを利用している。以下にその原理を示す。

吸収冷凍機は、蒸発器内の圧力が真空に近いので、冷媒（水）は、低温で蒸発する。このとき、蒸発器に導入されている冷水管表面から気化熱を奪い、冷水管内を流れる水を冷却する。蒸発器で蒸発した冷媒蒸気（水蒸気）は、吸収器で吸収溶液（臭化リチウム水溶液）に吸収される。冷媒蒸気を吸収して薄くなった吸収溶液は、溶液ポンプにより再生器へ送られる。再生器では、CGS等からの温水を熱源として吸収溶液を加熱することにより、

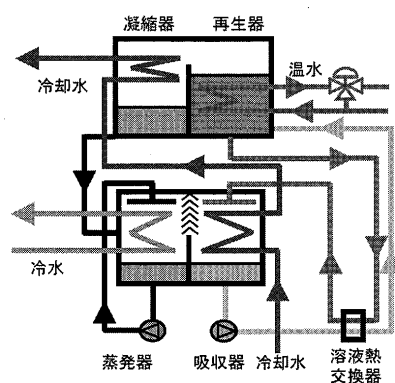


図3 温水吸収冷凍機フロー図

冷媒を蒸発させ、吸収溶液を濃縮する。再生器で濃縮された吸収溶液は、再び吸収器へ戻される。また、再生器で発生した冷媒蒸気は、凝縮器で冷却水により冷やされて凝縮し、再び蒸発器へ戻される（図3参照）。

温水吸収冷凍機における排熱の冷熱への変換効率（以下排熱変換効率と呼ぶ）は0.7～0.8となる。ここで排熱変換効率は、冷凍機が製造した冷熱量を冷凍機への排熱の入熱量で除した値と定義する。従って、排熱変換効率は、通常の冷凍機の冷房COPに相当するものであり、排熱変換効率が高いほど高効率な冷凍機であるといえる。

4.2 蒸気焚（二重効用）吸収冷凍機

蒸気ボイラやガスタービンの排熱ボイラ等から供給される高圧蒸気（0.8MPa程度）を熱源とする吸収冷凍機で、蒸気を多く必要とする建物（工場、地域冷暖房等）に古くから用いられている。

高圧蒸気を駆動熱源とした蒸気焚吸収冷凍機は、二重効用サイクルを利用している。二重効用サイクルの場合、高温再生器で発生する冷媒蒸気の温度が高いため、その凝縮熱を利用して低温再生器で吸収溶液を再度加熱することにより、低温再生器中の吸収溶液から冷媒を蒸発させる（図4参照）。蒸気焚吸収冷凍機の排熱変換効率は、1.0～1.35となる。

4.3 排熱投入型吸収冷温水機（ジェネリンク）

二重効用のガス吸収冷温水機の低温熱交換器と高温熱交換器の間の稀溶液ラインに排熱回収熱交換器を付加し、

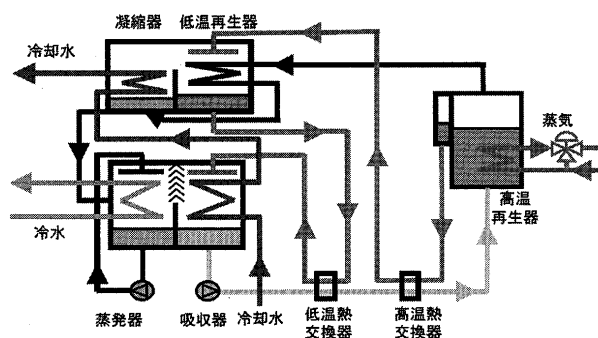


図4 蒸気焚吸収冷凍機フロー図

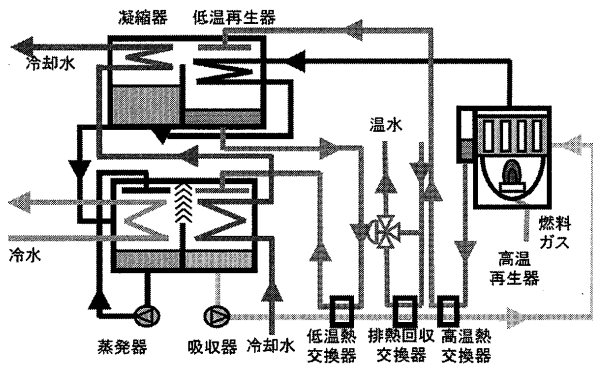


図5 ジェネリンクフロー図

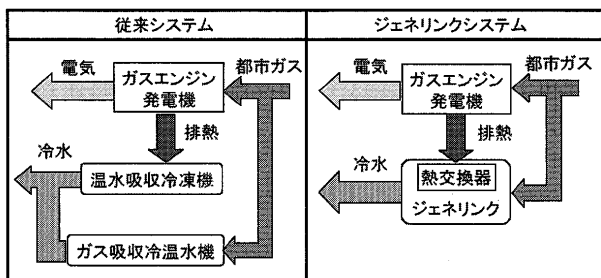


図6 従来システムとジェネリンクシステムとの比較

CGSからの温水排熱を回収する構造を持っている。この排熱回収熱交換器で吸収溶液を予熱し、高温再生器において吸収溶液から冷媒を発生させるために必要な燃料の消費量を減らすことが可能となる（図5参照）。排熱投入型吸収冷温水機における排熱変換効率 η は、 $0.7 \sim 0.85$ となる。

また、従来の温水吸収冷凍機を用いた排熱利用システムと比較すると省スペース化が図れるとともに配管工事や制御が簡素化できるといった特徴がある（図6参照）。

更なる省エネルギー性の向上を目指して、CGSからの温水排熱を吸収溶液の予熱に加えて、吸収溶液の濃縮・再生にも利用する高効率排熱投入型吸収冷温水機（超省エネルギー型ジェネリンク）も開発され、導入が進んでいる⁽⁴⁾（図7参照）。また、ベースとなる吸収冷温水機の効率を更に向上させた三重効用排熱投入型吸収冷温水機も2005年に商品化されている⁽⁵⁾。

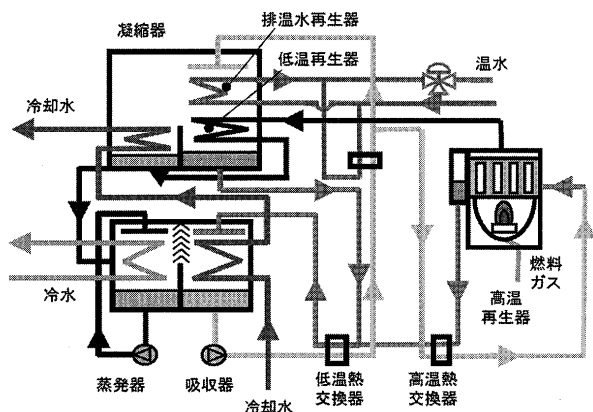


図7 超高効率型ジェネリンクフロー図

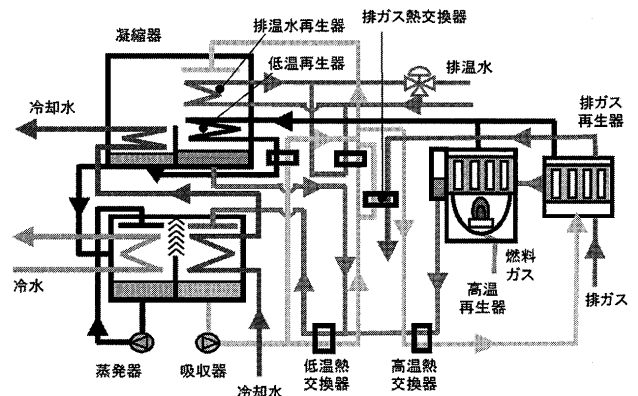


図8 排ガス排温水投入型吸収冷温水機フロー図

4.4 排ガス排温水投入型吸収冷温水機

ガスエンジンCGSからは、エンジンジャケット冷却水（ $80 \sim 90^\circ\text{C}$ の温水）及び排ガス（ 400°C 程度）といった2種類の温度レベルの排熱が得られる。ここで高温の排ガスは、排ガス再生器、排ガス熱交換器を介して二重効用サイクルで利用し、排温水については、排熱投入型吸収冷温水機と同様に単効用サイクルで利用することにより、排熱変換効率 η （ $0.9 \sim 1.2$ ）を高めることが可能となる^{(6), (7), (8)}。

排ガス排温水投入型ガス吸収冷温水機の構造を図8に示す。排ガス排温水投入型ガス吸収冷温水機は、高効率排熱投入型吸収冷温水機に、排ガス再生器と排ガス熱交換器を付加した構造となっている。

4.5 排ガス焚吸収冷温水機

排ガス焚吸収冷温水機は、ガスタービンやガスエンジンからの排気ガス（ $250 \sim 550^\circ\text{C}$ ）を直接吸収冷温水機の駆動熱源として利用する。図4に示す蒸気焚吸収冷凍機の高温再生器に蒸気ではなく直接排ガスを導入するタイプと図9に示すような排ガスに加えて都市ガス等の燃料で追い焚するタイプの冷凍機がある。排ガス焚吸収冷温水機の排熱変換効率 η は、 $1.0 \sim 1.2$ となる。

4.6 その他の排熱利用冷凍機

これまで紹介してきた排熱利用冷凍機は、冷媒に水、吸収剤に臭化リチウム水溶液を用いており、得られる冷

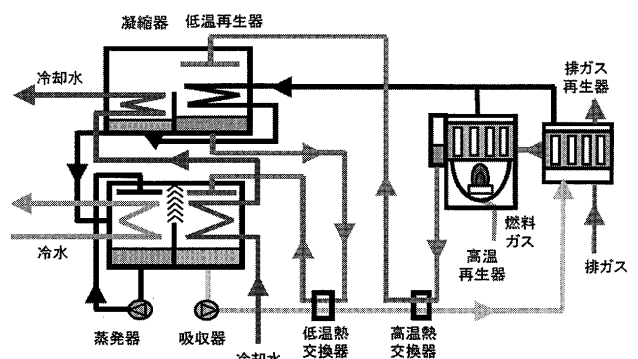


図9 排ガス焚吸収冷温水機フロー図

熱は7℃程度のため、主に空調用として利用されている。工業用プロセス、冷凍用途にはアンモニア吸収冷凍機が利用されている。この冷凍機は、冷媒にアンモニア、吸収剤に水を用いているため、水/臭化リチウム系吸収冷凍機では不可能なマイナス温度域の冷熱を得ることが可能となる。アンモニア吸収冷凍機は、ガスタービンの排熱ボイラや蒸気ボイラから得られる高圧蒸気(0.8MPa程度)を駆動熱源として0～-60℃の冷熱を製造できる。また、その時の排熱変換効率は、0.3～0.7となる。

5. おわりに

省エネルギーへの関心が高まる中、排熱源の種類や形態に合わせてさまざまな排熱利用冷凍機が開発されてきた。今後もより高効率で使い勝手の良い排熱利用冷凍機が開発され、更なる省エネルギーに貢献することに期待する。

引用文献

- (1) 日本エネルギー学会編, 天然ガスコージェネレーション計画・設計マニュアル2005, p.41, 日本工業出版
- (2) 日本冷凍空調学会編, 炎で冷やした半世紀, p.126, 日本冷凍空調学会
- (3) 高田秋一, 吸収冷凍機とヒートポンプ, p.291, 日本冷凍空調学会
- (4) 刑部, ほか3名, 高効率排熱投入型吸収冷温水機の開発, 日本機械学会第9回動力・エネルギー技術シンポジウム講演論文集, p.417
- (5) 川重冷熱工業, 省エネルギー, Vol.59No.3 (2007), p.62
- (6) 刑部, ほか3名, 高効率排ガス投入型ガス吸収冷温水機コージェネレーションパッケージの開発, 平成17年度空気調和・衛生工学会大会, p.2013
- (7) 刑部, ほか3名, 高効率排ガス排温水投入型ガス吸収冷温水機コージェネレーションパッケージの開発, 日本機械学会2006年度年次大会講演論文集Vol.3, p.135
- (8) 本間, ほか2名, コージェネレーション, Vol.22No.1 (2007), p.100

特集：環境保護のためのガスタービン利用技術

蓄熱利用ガスタービンコジェネレーションシステムの実証研究

長谷川 裕夫*¹
HASEGAWA Yasuo

キーワード：マイクロガスタービン，コジェネレーション，蓄熱システム，実証研究

1. はじめに

産業技術総合研究所（産総研）エネルギー技術研究部門では，2004年12月に札幌市とエネルギーの有効利用を目的とした基本協定を締結し，その活動の一環として，小型で比較的効率がよくメンテナンス性に優れたマイクロガスタービン（MGT）を分散型電源とする，熱需要の多い北海道地域でメリットのある考えられるコジェネレーションシステムを札幌市立大学に設置し，分散型エネルギーシステムの実証研究を実施している。

実証研究の目的は，以下の通りである。

- 1) 産総研で研究開発を行ってきた，エネルギーマネジメント，エネルギー貯蔵等の要素技術を集積し，実証試験を通して，今後の技術開発課題を抽出する。
- 2) 運転データ，エネルギーマネジメントデータを蓄積，解析し，エネルギー需要に合わせた最適運用方法，今後のシステム改良等を提示する。

2006年9月よりMGTコジェネレーションシステムの運転を開始し，大学の既存のエネルギーシステムとの調整を図りながら，運転パターンを設定し，1年間の実証試験を継続してきた。本報告では，実証研究の概要，現在までの進捗状況，今後の展開等について紹介する。

2. 実証研究施設の概要

2.1 札幌市立大学キャンパス

MGTコジェネレーションシステムは，2006年4月に札幌市立大学の芸術の森キャンパスに新築された専門教育C棟（地下1階，地上3階，以下C棟）地下の電気室に設置され，C棟内に電力と熱を供給する。札幌市大キャンパスは総床面積20,647m²であり，C棟はそのなかで総床面積4,157m²，約20%を占めている。キャンパスの各建物には，給湯と暖房用施設として，都市ガスを燃料とする真空式温水器が設置されており，MGTコジェ

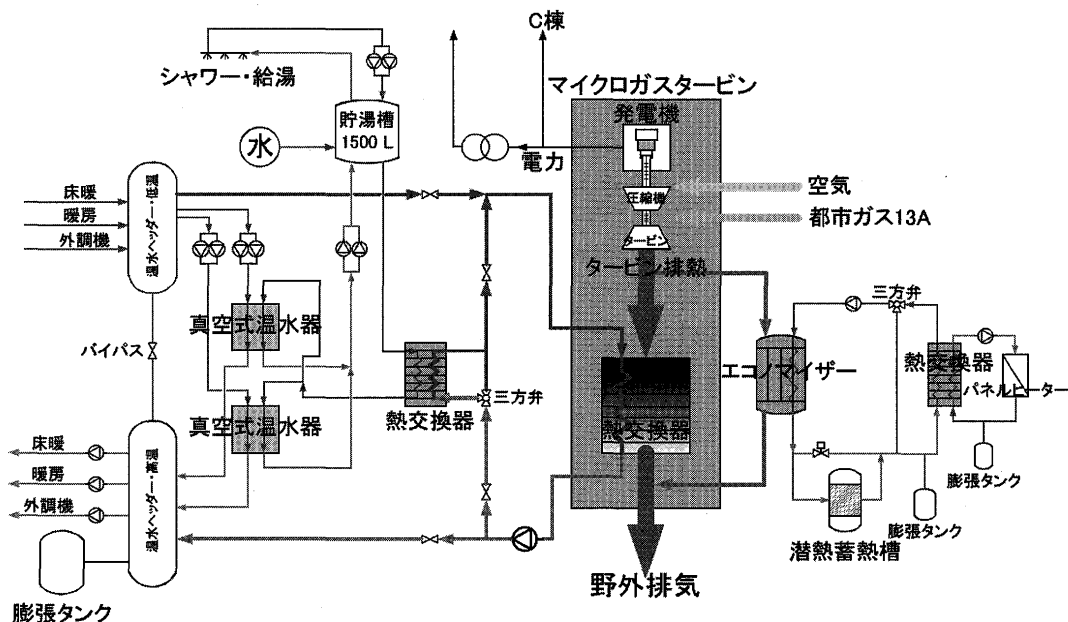


図1 MGTコジェネレーション実証システムの概要

原稿受付 2007年12月5日

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

ネレーションシステムはC棟に設置された2台の真空式温水器（出力349kW、1台はバックアップ用で毎日に切り替えて交互に使用）に組み合わせる形で導入した。

2.2 MGTコジェネレーション実証システム

2.2.1 システムの概要

システムの概要を図1に示す。MGTコジェネレーションパッケージは、タクマ社TCP30LH（キャプストン製のMGTに真空式温水器を組み合わせたシステム、）であり、本実証研究では、この既存パッケージに蓄熱システムを追加し、MGT排ガスの一部をエコノマイザーによって回収し、熱を貯蔵して翌朝の暖房に利用するシステムとした。表1に納入前の性能試験結果を示す。発電出力：26.2kW、発電効率：21.9%、温水出力（温水入口温度：10.0℃、温水出口温度：55.6℃の条件）、総合効率：69.8%である。MGTの発電出力がキャンパス内から逆潮流を起こさないように、電力使用量をモニターし、MGTの運転を制限している。実際には、キャンパス内の電力需要はMGTの発電出力を常に上回り、MGTが停止する状態は起こっていない。

MGTの排ガスからの熱回収は、1）MGTパッケージ内の真空式温水器、2）蓄熱装置を加熱するエコノマイザーにより行われる。MGTパッケージ内の真空式温水

器から供給される温水は、冬季は暖房、中間期は暖房＋給湯、夏季は給湯としてC棟内部で利用される。真空式温水器の給湯出口温度の上限値は90℃に設定されており、熱需要が十分でない場合には、給湯出口温度が上昇して排ガスダンパーが開放され、排ガスは直接排気される。

MGTパッケージ内の真空式温水器からの温水は、給湯の場合は貯湯槽（1500L）へ、暖房の場合は、既存施設である都市ガスを燃料とする真空式温水器に導かれ追加加熱されて建物内に供給される。

2.2.2 蓄熱システム

蓄熱システムの概要を図2に示す。蓄熱槽は、高さ1.75m、内径348mmであり、内部には長さ1.6mの蓄熱カプセルが96本充填してある。蓄熱量は設定温度範囲で顕熱分と潜熱分を合わせて約55MJである。エコノマイザーを介してMGT排ガスから回収された熱は、蓄熱システムに一旦貯蔵され、翌朝、熱交換器を介して熱供給系へ放熱され、床面積26m²のロッカースペースに設置したパネルヒーターにより暖房用の熱が供される。パネルヒーターの容量は2kWと小さいが、動作特性を明らかにする目的であり、容量の変更はシミュレーションで対応する。

2.2.3 計測

MGTコジェネレーションシステムと蓄熱システムの運転特性の把握、電力と熱の需給実績に基づくエネルギーマネジメント手法の構築を研究目的として、MGTと蓄熱システムの運転データ、キャンパス内とC棟内のエネルギー消費データ（電力、都市ガス）を計測した。熱、ガス流量計測に関しては5分間隔で、電気計測に関しては10秒間隔でデータを蓄積した。また、再生

表1 MGTの事前性能試験結果

発電出力	26.2kW	タービン回転数	96258rpm
温水出力	57.3kW	温水入口温度	10.0℃
		温水出口温度	55.6℃
入力	119.5kW	総合効率	69.8%
発電効率	21.9%	温水効率	47.9%

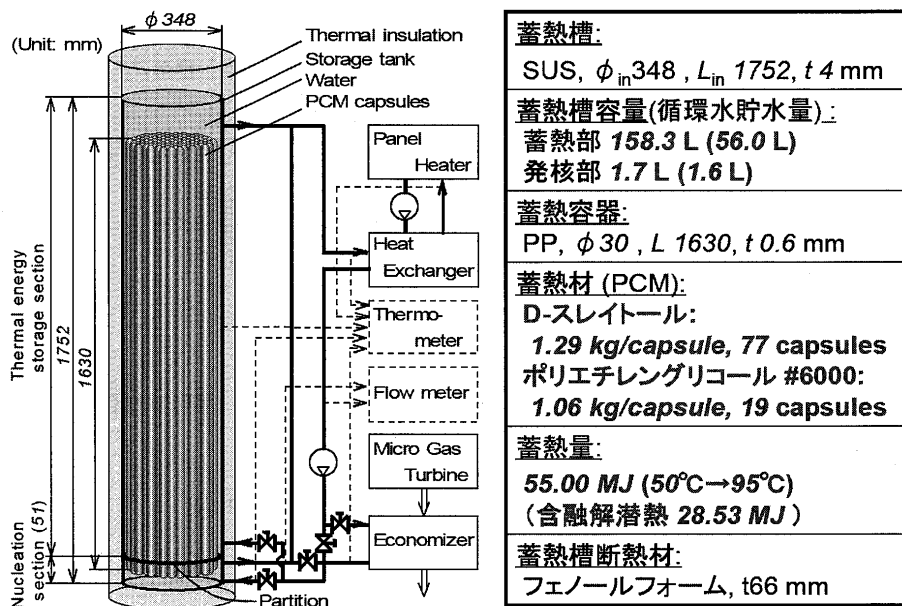


図2 蓄熱システムの概要

可能エネルギー導入検討のための基礎データを把握するためにキャンパスの日射量，風向風速，温湿度等を10秒間隔で連続計測した。5分間隔の計測データは，PHSデータ通信によりつくばセンターに転送し，10秒間隔の計測データは，定期的にUSBメモリに回収した。

別途，メンテナンス契約により，MGTシステムの運転状況は，タクマ本社より常時モニターされており，異常があった場合の対応，自動停止時の再起動等の対処がされる。

2.3 運転パターンの設定

本実証研究を開始するにあたって，2005年度より札幌市立大学の前身である札幌高専の既存棟における電力，暖房・給湯用ガス等の需要データを計測し，それに基づいて，MGTコジェネレーションシステムの運転パターンを決定した⁽¹⁾。既存棟における単位床面積当たりの暖房用ガス消費量は，最低気温が5℃以下となる11月～4月において気温低下と共に緩やかに増加し，最低気温が5℃を超える5月，10月には急激に低下する。また，6月～9月では，ほとんど暖房需要はない。これに対応して，MGTの運転モードとして11月～4月の冬期，6月～9月の夏期，5月と10月の中間期の三種類を設定した。また，一般的にコジェネレーションシステムでは，熱出力を超過する事なく需要に対応させることにより総合効率が高められるが，ここでは，北海道ガスが定めるコジェネレーションシステムA契約⁽²⁾の締結によるコストメリットも考慮しつつ，各時期における一日の運転時間について検討した。

札幌市大キャンパスでは，土日（特に需要のない限り），祝日，夏期，冬期休暇期間，夜間は，暖房，給湯システムは休止される設定となっていること，月・金の昼間の時間帯では，中間期，冬期においてはC棟内で十分な熱需要が見込めること，年間でコジェネA契約の要件を満たすことから，すべての時期においてMGT出力定格でのDSS（Daily Start and Stop）運転を行う事とし，表2の通り，冬期，中間期，夏期の運転パターンを設定した。

表2 運転パターンの設定

	期間	MGT 運転時間	MGT 排熱利用
夏期	6月～9月	9:00～17:00	給湯
中間期	5月、10月	8:00～19:00	暖房+給湯
冬期	11月～4月	8:00～20:00	暖房

3. 測定結果

3.1 MGTパッケージの運転状況とエネルギー需要

2006年10月よりタイマー設定によるMGTパッケージの自動DSS運転を継続している。この間，2007年4月に

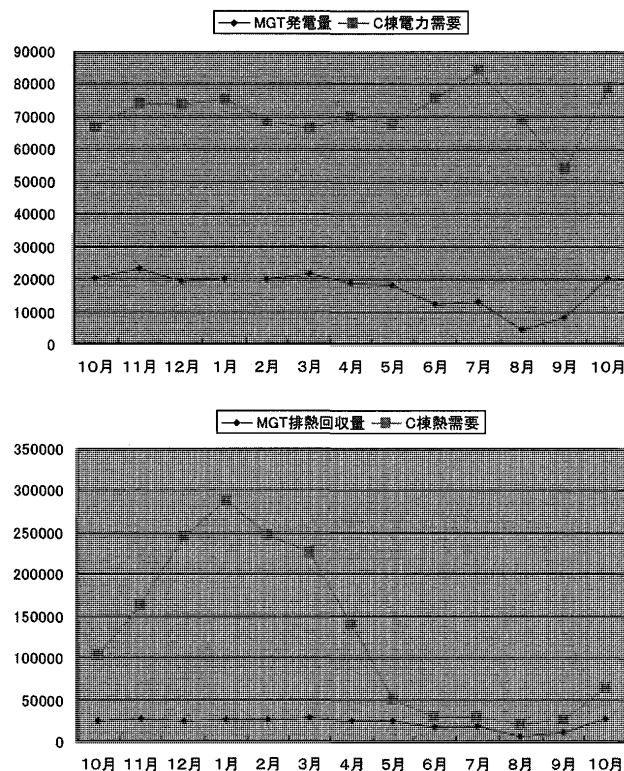


図3 C棟の電力・熱需要とMGT出力（MJ）
2006年10月～2007年10月

1週間程度，MGTパッケージのコントロール基盤の故障による停止，定期点検による停止があったが，ガスタービン本体のトラブルはなかった。図3に，C棟内の月毎の電力，ガス消費量，MGT出力等を示す。MGTコジェネレーションシステムにより，年間でC棟電力需要の約23%，熱需要の約17%を供給している。MGT排ガスの熱利用率は，熱入力に対して冬期において25%程度であった。これは，表1の事前試験結果と比較してかなり低い値であるが，これはMGT内の真空温水器への給水温度が事前試験では10℃であったのに対して，実証試験では約60-65℃と高かったためである。各部屋の暖房能力が不足する恐れがあるため，給水温度入口，出口温度をより低く設定することはできなかった。

図4に，C棟を除く建物群とC棟におけるエネルギー需要の熱電比を示す。冬期には4-5，夏期には0.2-0.3程度と，季節によって大きく変化している。札幌における家庭内のエネルギー消費⁽³⁾と比較すると，家庭内の熱需要で大きな割合を占める風呂への給湯がないため，熱電比が小さく，特に夏期においては家庭における熱電比の1/10程度となっている。

電力需要とMGT出力の実測結果の一例を図5に示す。スケジューラの設定通りMGTは月・金に自動的に起動・停止を繰り返し一定出力で運転していることがわかる。MGT運転時には，MGT出力がC棟内の需要を上回る場合もあるが，本部棟も含めた電力需要は，75kW程度以上あり，キャンパス内で使用されている。また，夜間や

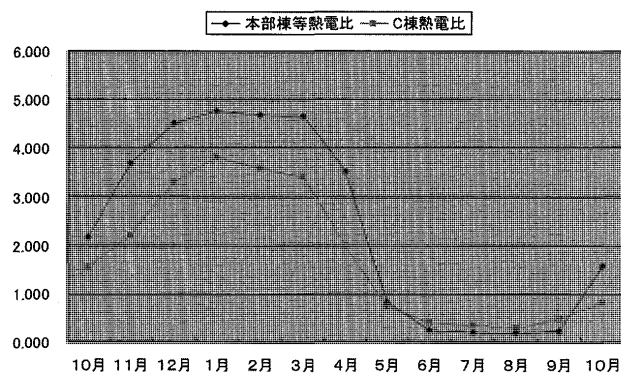


図4 本部棟等, C棟の熱電比

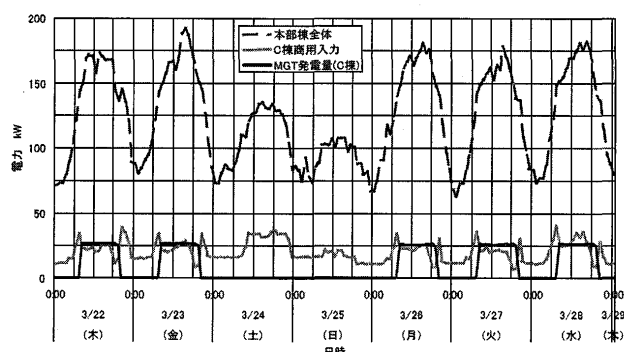


図5 電力需要とMGT出力の実測結果

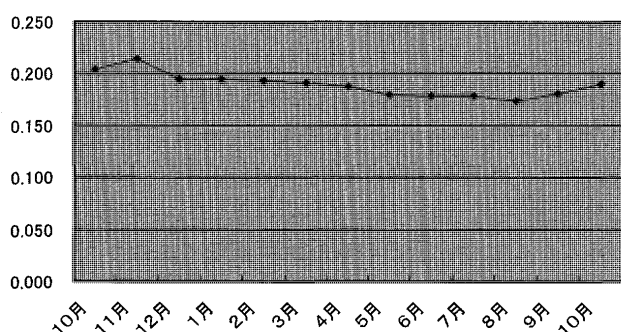
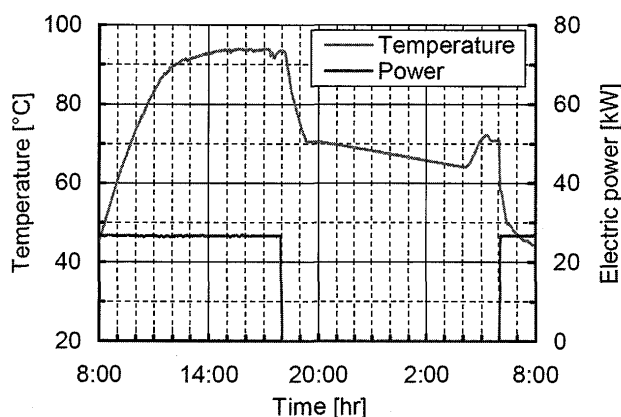


図6 発電効率

図7 蓄熱槽温度, MGT発電出力の変化
(2006.11.16~11.17)

土日の定常的な電力消費の占める割合が大きいことが分かる。

図6に, 月毎のMGT発電効率 (HHV基準) を示す。発電効率は吸気温度に対応して変化し, 2月で最も高く21.4%, 8月は最も低く17.4%であった。

3.2 蓄熱システム

蓄熱システムの運転結果の一例を図7, 図8に示す。図7は蓄熱槽の温度変化を示し, 8:00のMGT運転とともに蓄熱が開始され徐々に蓄熱槽の温度が上昇している。18:00にMGT運転停止後は, 18:00-20:00までの間と, 翌朝6:00-8:00の二度にわたりパネルヒーターに放熱を行っている。夜間, 20:00-6:00の間は, 機械室への放熱により徐々に蓄熱槽の温度が下降している。

図8は熱出力の変化を示す。熱出力が負の部分, 蓄熱槽への熱入力が行われていることを示し, MGT排熱の内2~3kWが蓄熱槽に流入していることが分かる。MGT停止後, 蓄熱槽からパネルヒーターへ3~6kWの熱供給が行われ, 翌朝は蓄熱槽下部より低温の水を供給することにより, 過冷却状態が解除され, 1~5kWの熱供給が行われている。朝は配管が冷えているために暖房開始時の熱供給は16kWに達しており, 潜熱蓄熱エネルギーが一挙に解放されていることが分かる。

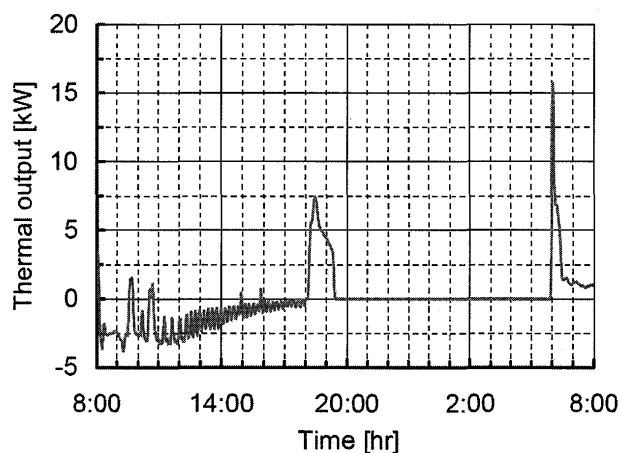


図8 蓄熱槽の熱出力変化

3.3 MGTの排ガス特性

図9にMGTの排ガス分析結果を示す。起動時にNO 55ppm, NO₂ 27ppm程度の排出があり, NO_x排出レベルとしては60ppm未満である。また, 起動後4分程度でNO_xの排出レベルは2ppm未満へと急激に下がり, 排ガス特性は良好であった。

4. 考察

4.1 分散型エネルギーシステムの導入に向けて

分散型コジェネレーションシステムの効率向上には, 排熱回収を徹底して熱エネルギーを利用しつくすシステ

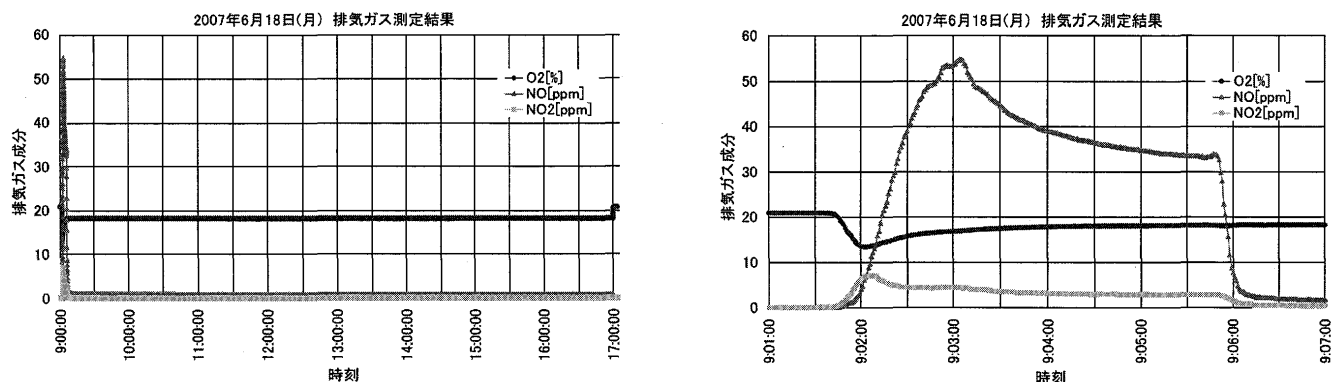


図9 定常運転時の排ガス分析結果

ムとしていく必要がある。現状のシステムの問題点、理想的なシステムとしていくための課題は以下の通りである。

- (1) 既存施設との統合を図ったために、現状では排熱回収効率が低い。コジェネレーション導入を前提としてシステムを設計し、温水温度レベルを下げれば、排熱回収効率を現状の2倍程度まで高める、総合エネルギー利用効率70%以上とすることが可能である。
- (2) エネルギー需要の熱電比が夏期と冬期で0.3-4程度と大きく変化し、夏期の熱需要が少ないために、現状のMGTパッケージシステムでは、夏期は停止した方がより高いエネルギー効率で運転することができる。コジェネA契約を考慮したコストミナムの運転設定とエネルギー利用効率について、これまでの運転実績をベースに燃料費の価格変動も考慮して検討していく必要がある。
- (3) 現状の蓄熱システムは熱出力5kW程度の小規模なものであるが、蓄熱体の体積を増すことにより大型化は比較的容易である。朝の立ち上げ時におけるピーク的な熱需要に対応するためにはC棟全体で600MJ程度必要であるが、これには現状の蓄熱槽の内径を4倍程度拡張することにより対応することができる。

4.2 ロードヒーティングの可能性

札幌市大キャンパスでは、本部棟の玄関口300m²程度の区域のみロードヒーティングが整備されている。11月-4月のエネルギー消費は240GJ程度である。MGT

パッケージの排ガス温度は、熱回収を行った後でも100℃以上あり、ロードヒーティングには十分な温度レベルである。現状のMGTパッケージの排ガスをロードヒーティングに活用した場合、現在手作業で行っているC棟の玄関周り100m²程度の除雪は可能であり、年間のエネルギー利用効率10%程度の向上に寄与する可能性がある。

5. 今後の展開

今後も、MGTコジェネレーション・蓄熱実証試験を継続しつつシステムの最適運用法について検討し、できる限り自律的に運転可能なシステムとして大学に提案していく。また、2006年度までに計測した日射量データ等をもとに、寒冷地向け太陽光発電パネルを設置し、MGTコジェネレーション、蓄熱・蓄電等のエネルギー平準化システムと統合した分散型エネルギーシステムについて、エネルギーコスト、効率、二酸化炭素排出の面から最適なエネルギー需給マネジメント手法を構築していく予定である。

6. 文献

- (1) 角口, 「大学における蓄熱利用マイクロガスタービンCGS実証研究」, 第3回分散型エネルギーシンポジウム (主催: 産総研), 2006.12.8
- (2) 「コジェネレーションシステムA契約 (一般ガス選択約款)」, 北海道ガス
- (3) 前田, 他, 「住宅におけるエネルギー需要の計測と解析」, 第19回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集, エネルギー資源学会, 2003.1.30

複合高性能フィルタの開発と コンバインドサイクルプラントにおける適用効果

Development of Dual Media (Medium and High Efficiency) Air Filter and Evaluation of Its Effectiveness when Applied to Combined Cycle Power Plants

新沼 仁*
NIINUMA Hitoshi

小原 貴宏*
OHARA Takahiro

中島 文男*
NAKAJIMA Fumio

山崎 尚之**
YAMAZAKI Naoyuki

内藤 文男**
NAITO Fumio

大谷 吉生***
OTANI Yoshio

鈴木 昇†
SUZUKI Noboru

ABSTRACT

We developed a hybrid-type air filter which combined medium performance and high efficiency air filters. The filter was applied to a combined cycle power plant (in East Japan Railway Company) and the improvement of power output was evaluated from the combined cycle plant. Through the present research, it was found that the power output increased by about 2.5%, compared with the case of medium efficiency air filter, even when cleaning process for a compressor was omitted. We confirmed that the newly-developed dual media air filter is effective to improve the performance of intake filters with low cost.

キーワード：エアフィルタ，HEPAフィルタ，吸気フィルタ，大気塵，発電出力，通過塵埃量，コージェネレーション，コンバインドサイクル

Air filter, HEPA filter, Intake air filter, Airborne particle, Power output, Quantity of penetrated dust, Cogeneration, Combined cycle

1. まえがき

ガスタービンを用いた発電システムは，燃焼空気として多量の大气を用いるが，大气の温度，塵埃濃度などの影響を受けやすく，特に大气中の塵埃は，運転時間の経過とともに空気圧縮機翼に付着・堆積していくことにより，発電出力の低下を招く。このため，運転中や定検時に翼の洗浄を行う必要があり，この保守点検・維持に多大な時間とコストがかかるという問題があった。

これらの問題を解決する手段として，十数年前から，従来の粗塵，中（中高）性能フィルタ（以下，中性能フィルタ）に加えて，HEPA（High Efficiency Particulate Air）フィルタ（以下，高性能フィルタ）を最終段に配置した吸気フィルタが試験的に用いられるよ

うになった。当初は，高性能フィルタを用いると，吸気フィルタ全体の圧力損失が高くなることによる発電出力の低下，フィルタのコストアップによるメリット不足などが懸念されていた。しかし，幾つかのユーザでの実機試験⁽¹⁾⁻⁽⁴⁾によって，前述のマイナス要因があるにせよ，発電出力の低下，運転中や定検時に行う洗浄の手間を大きく省くことができ，結果として大きなコストメリットが得られることが判明した。そして，今では，高性能フィルタを最終段に配置した吸気フィルタがコージェネレーションプラントでは一般的な構成となっている。しかし，依然として，高性能フィルタを採用すると吸気フィルタの体格が大きくなることや，それに伴うコストが大きくなるなどの問題は，残されたままになっている。

そこで，筆者らは，吸気フィルタの体格を増加させない手段として，高性能フィルタとその前段で使用される中性能フィルタの2台のフィルタを1台に複合化した複合高性能フィルタを開発した。現在，開発したフィルタは，日本国内の25MW以下のコージェネレーションプラントで数十の採用実績があり，数多くの成果をあげてい

原稿受付 2007年6月25日

校閲完了 2007年11月27日

* 日本無機株式会社
〒307-0046 茨城県結城市作の谷415

** 東日本旅客鉄道株式会社

*** 金沢大学大学院自然科学研究科

† 宇都宮大学大学院工学研究科

る。

筆者らは、これらの実績をもとに、2000年から、東日本旅客鉄道株式会社川崎発電所が所有するガスタービンに開発した複合高性能フィルタを設置し、コンバインドサイクルプラントにおけるその効果を検証してきた。今回、その結果がまとまったので、以下にその成果を報告する。

2. 塵埃の付着挙動について

大気中に浮遊する塵埃は、砂塵のような粗大粒子から、ディーゼル排ガス中のカーボン粒子のような微小粒子まで、その大きさはナノメートルから数10 μm まで実に5桁のオーダーに渡る。これらの塵埃粒子は、一般にガラス繊維や有機繊維からなるエアフィルタで除去されるが、フィルタによる粒子捕集は篩のような原理で行われると考えている人がいる。しかし、これは大きな誤解で、その証拠に高性能フィルタでは、約0.15 μm 付近に最も捕集されにくい粒子径（最大透過粒子径）が存在し⁽⁵⁾、最大透過粒子径より小さい粒子はむしろ捕集されやすいのがフィルタの不思議さでもある。筆者らの最近の研究^{(6),(7)}では、ガス分子と粒子の境界に近い1～2nm付近の粒子になると繊維表面での跳ね返りが生じ、捕集され難くなる現象が見られるものの、それまでは、粒径が小さくなるほどフィルタの捕集効率は高くなることがわかっている。このことは、粒径が小さくなるほど、他のものに付着しやすいことを意味している。フィルタでの微小粒子の捕集原理を圧縮機翼への塵埃付着へ拡大することは、現時点では困難であるが、同じような挙動を示す可能性がある。今後の研究課題としたい。

3. 複合高性能フィルタの開発

3.1 高性能フィルタ採用の問題点

図1に示すように、吸気フィルタは、上流から、粗塵フィルタ、中性能フィルタ、高性能フィルタの順で設置され、高性能フィルタに対しては中性能フィルタが、中性能フィルタに対しては粗塵フィルタが、そのプレフィルタとなるように配置される。その理由は、除去性能の異なる3種類のフィルタを直列に配置することで、粒径

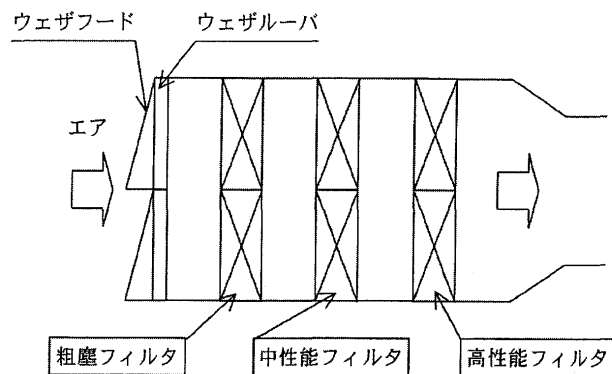


図1 3段式吸気フィルタの構成例

表1 高性能フィルタ採用のメリットとデメリット

メリット	デメリット
(1) 運転時間の経過に伴う発電出力の低下がほとんどない	(1) 吸気フィルタの体格が大きくなる
(2) 空気圧縮機の洗浄が不要	(2) 圧力損失が高くなる（初期発電出力が低下する）
	(3) 廃棄するフィルタの量が増える
	(4) 高性能フィルタが採用されていない場合はチャンバの改造が必要となる
	(5) フィルタの交換費用が増える

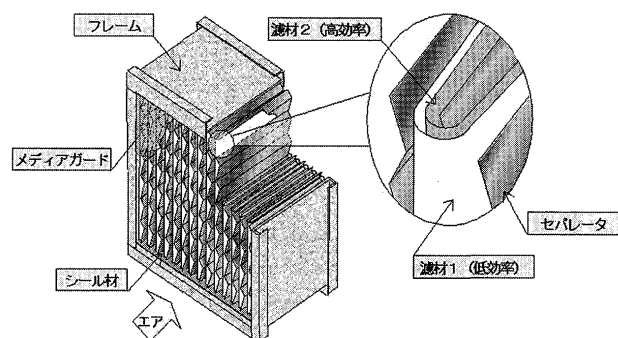


図2 中・高複合高性能フィルタの構造

の異なる粒子の捕集を各フィルタに分担させ、堆積粉塵による圧力損失の増加をできるだけ低く抑えるということにある。表1には、最近、コージェネレーションシステムに採用されるようになった高性能フィルタのメリットとデメリットをまとめたが、解決すべき課題が多い。

3.2 中・高複合高性能フィルタの開発

上記問題を解決するために開発した複合高性能フィルタの構造概略図を図2に示す。開発したフィルタは、低捕集効率ろ材と高捕集効率ろ材を重ねて1台のフィルタに折り込んだ構造をしており、中性能フィルタと高性能フィルタの2台分の機能を1台のフィルタに持たせたものである。このため、従来高性能フィルタを採用する場合には3種類のフィルタが必要であったのが、粗塵フィルタと複合高性能フィルタの2種類で済み、吸気フィルタの体格が小さく済むほか、圧力損失が比較的低く抑えられること、フィルタの交換費用や廃棄量が削減できるなど、表1に示す問題を概ね解決できるものとなっている。

4. 実機への適用

4.1 ガスタービンの仕様と運転状況

東日本旅客鉄道株式会社川崎発電所で所有しているガスタービンのうち、複合高性能フィルタを適用することになった2号機の概要、運転管理の状況を表2に示す。

表2 東日本旅客鉄道株式会社川崎発電所
ガスタービン概要と運転管理状況

項 目		内 容 (2号 GT)	
発電方式		複合サイクル	
定格出力(MW)		187.4 (4℃)	
ガスタービン(MW)		126.7	
蒸気タービン(MW)		60.7	
運転開始		'93.6	
G T	メーカー	A 社	
	種類	開放サイクル一軸型	
	出力(MW)	126.7	
	吸気風量 (kg/h)	1,521,870 (1,033 kg/cm ² , 4℃)	
運 転 管 理 状 況	運用方式		DSS*
	年間運転時間 (h/年)		5,500・6,000
	フ ィ ル タ	1 段 フィルタ	慣性式セパレータ
		2 段 フィルタ	中性能フィルタ :比色法 60% :594×594×292 mm
	1年後の 出力低下(MW)		5.5
	圧縮機洗浄		ライスインジェクション (1~2 ヶ月に 1 回)

※DSS : **D**aily **S**tart and **S**top

表2に示すように、以前は、捕集効率がさほど良くない中性能フィルタが最終段に用いられており、そのために年間で概ね5.5MW（定格出力に対して約2.9%）の発電出力の低下が見られる状況にあった。

4.2 大気環境調査

最終段のフィルタは、ガスタービンの運転中に交換した場合には予期せぬ飛散物が空気圧縮機に吸い込まれて事故を発生させる恐れがあるため、定期点検時などのまとまった運転停止時に交換することが一般的である。当該設備においては、年1回の定期点検時以外にはまとまった運転停止時間が取れないことから、開発した複合高性能フィルタを最終段に採用するには、フィルタは1年以上の寿命を有する必要がある。フィルタの寿命は、処理風量、フィルタの組合せなどの他に、大気中の塵埃濃度に大きく依存するので、フィルタを設置した発電所周辺の大気環境を把握しておく必要がある。

表3は、2000年10月から1年間、2ヶ月に1度、質量濃度、粒径別個数濃度、塵埃成分を測定した結果をまとめたものである。

(独)国立環境研究所の環境数値データベース⁽⁸⁾による

表3 大気環境調査結果 ('00/10~'01/10) ※1

項 目		結 果	測定方法
質量濃度 (mg/m ³)		0.158	ハイボリュームエアサンプラ(柴田科学製 HVC-500 型)による。塵埃捕集用のろ紙を 20℃50%RH で 24 時間保管してから秤量して、吸引空気量 0.5m ³ /min にて 24 時間吸引後、再度 20℃50%RH で 24 時間保管してから秤量した。前後の秤量値の差(mg)を総吸引空気量(m ³)で除することにより、質量濃度を求めた。
粒径別個数濃度 (粒径分布) (個/283mL)	0.3~0.5 μm	72,904	光散乱式微粒子計数機(パーティクルカウンタ:リオン製 KC-01D)による。 吸引空気量 0.5L/min にて 283mL×10 回吸引する操作を 2 回/日実施し、各回の計数値を平均することにより求めた。
	0.5~1.0 μm	10,266	
	1.0~2.0 μm	1,017	
	2.0~5.0 μm	251	
	5.0~ μm	10	
成分分析※2 (wt%)	熱灼減量	48.1	600℃1h 強熱後の重量減を測定する。 JIS K 0067 に準ずる。
	C	14.4	有機微量元素分析計による。 JIS R 2011 全炭素定量 熱伝導度法に準ずる。
	油分	2.51	n-ヘキサン抽出-赤外吸収法による。 JIS K 0117 赤外分光分析方法通則に準ずる
	S i	5.18	強熱後、ふっ化水素酸で処理し、処理前後の重量減による。JIS R 3105 に準ずる。
	N a	7.26	強熱後、塩酸にて加熱溶解。
	K	0.34	JIS K 0101 フレーム原子吸光法に準ずる。
	C a	0.32	強熱後、塩酸にて加熱溶解。
	M g	0.58	JIS K 0101 ICP 発光分光分析法に準ずる。
	F e	3.92	
	Z n	0.08	
	A l	1.18	
	C l ⁻	3.76	純水超音波抽出-イオンクロマト法による。
	N O ₃ ⁻	7.47	JIS K 0101 イオンクロマトグラフ法に準ずる。
	S O ₄ ²⁻	11.6	

※1) 全6回('00/10, 12, '01/2, 4, 7, 10)の測定値の平均値

※2) 質量濃度測定用のろ紙に捕集した塵埃について分析した

表4 各サイトにおける大気環境測定例

測定地点	東日本旅客鉄道 川崎発電所	兵庫県某所	千葉県某所	三重県某所	茨城県某所	岐阜県某所
測定期間	'00~'01	'07	'05~'06	'04~'05	'98~'99	'96
質量濃度 (mg/m ³)	0.158	0.121	0.085	0.045	0.089	0.090
個数濃度 (個/283mL)						
0.3~0.5 μm	72,904	28,741	41,487	45,761	42,827	46,913
0.5~1.0	10,266	2,425	4,820	3,353	7,224	6,484
1.0~2.0	1,017	697	609	291	698	455
2.0~5.0	251	367	191	100	90	72
5.0~	10	16	4	2	6	9
成分 (mg/m ³)						
熱勾減量	0.0760	0.0628	0.0439	0.0129	0.0596	0.0353
C	0.0228	0.0068	0.0138	0.0074	0.0167	0.0167
油分	0.0040	<0.0012	0.0003	0.0011	0.0013	0.0026
Si	0.0082	0.0033	0.0028	0.0046	0.0041	0.0049
Na	0.0115	0.0016	0.0083	0.0044	0.0052	0.0056
K	0.0005	0.0003	0.0003	0.0001	0.0002	0.0010
Ca	0.0005	0.0024	0.0012	0.0000	0.0000	0.0030
Mg	0.0009	0.0042	0.0004	0.0001	0.0001	0.0012
Fe	0.0062	0.0022	0.0031	0.0008	0.0008	0.0029
Zn	0.0001	<0.0001	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000
Al	0.0019	0.0009	0.0009	0.0003	0.0007	0.0009
Cl ⁻	0.0059	0.0160	0.0053	0.0009	0.0078	0.0031
NO ₃ ⁻	0.0118	0.0028	0.0049	0.0042	0.0064	0.0093
SO ₄ ²⁻	0.0183	0.0097	0.0149	0.0066	0.0084	0.0131

と、β線吸収法により測定した国設川崎測定局における質量濃度は、2000年、2001年には概ね0.040mg/m³であり、国内の他の測定局より高いレベルにある。測定原理の違いにより、β線吸収法による測定値とハイボリュームエアサンプラによる測定値をそのまま比較することはできないが、過去の調査例⁹⁾を適用してハイボリュームエアサンプラによる測定値に換算すると概ね0.07~0.08 mg/m³となる。一方、本発電所におけるハイボリュームエアサンプラによる質量濃度の調査結果は0.158mg/m³であることから、本発電所周辺の質量濃度は、川崎地区内においても高いレベルにあることがわかる。

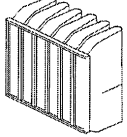
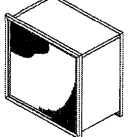
粒径別個数濃度については、表4に本発電所および他サイトにおいて筆者らが測定した例を示すが、本発電所においては粒子径の小さな粒子の割合が比較的多い傾向にある。

また、塵埃成分については、表4に本発電所および他サイトにおける各成分の空気1 m³中の含有量に換算した値を示した。換算は、質量濃度 (mg/m³) に各成分の分析値 (wt%) を乗ずることにより行った。本発電所は、京浜工業地帯に位置していることから、他のサイトと比較して硝酸イオンや硫酸イオンが多い傾向にあった。

4.3 吸気フィルタの仕様と吸気チャンバ改造

表5に改善した吸気フィルタの仕様をまとめた。表3に示したように東日本旅客鉄道株式会社川崎発電所周辺の大気は、小さな粒子が多く、質量濃度も高いレベルにある。このことから、従来の慣性式セパレータを撤去して、捕集効率が高く、寿命の長い吹流し型の粗塵フィルタを取り付けるフレームを設けた。一方、複合高性能フィルタは、従来の取り付けフレームを改造することな

表5 改善した吸気フィルタの仕様

項 目	2号機フィルタ構成	
	粗塵フィルタ	複合高性能フィルタ
外 観		
設置台数 (台)	300	340
形 式	DS-L-56-98GZ	ADV-45-KLZ-ETG
寸 法 (mm)	592×592×305	594×594×292
処理風量 (m ³ /min)	64	56
圧力損失 (Pa)	初期	313
	最終	686
捕集効率 (%)	98 [質量法]	97 [計数法]*
質量 (kg/台)	約 4	約 15
ろ材	有機繊維不織布	ガラス繊維 (2層)
フレーム	亜鉛メッキ鋼板	亜鉛メッキ鋼板
メディアガード	—	亜鉛メッキ鉄線
セパレータ	—	防食加工アルミニウム
シール材	—	ウレタン樹脂
ガスケット	クロロブレン	EPDM
備 考	取付フレーム改造	従来フレーム使用 (改造なし)

*準HEPAタイプ

しにそのまま設置した。なお、複合高性能フィルタとしては、HEPAタイプと準HEPAタイプの2つを選択できるようになっているが、塵埃濃度が高くてフィルタの寿命が短くなることが懸念されること、さらにコージェネレーションプラントではHEPAタイプと同等の改善効果が得られていることから、準HEPAタイプのフィルタを用いた。

4.4 実機適用方法と結果

2003年5月から、従来と同様の条件で、複合高性能フィルタを用いたプラントの運転を開始した。当然のこ

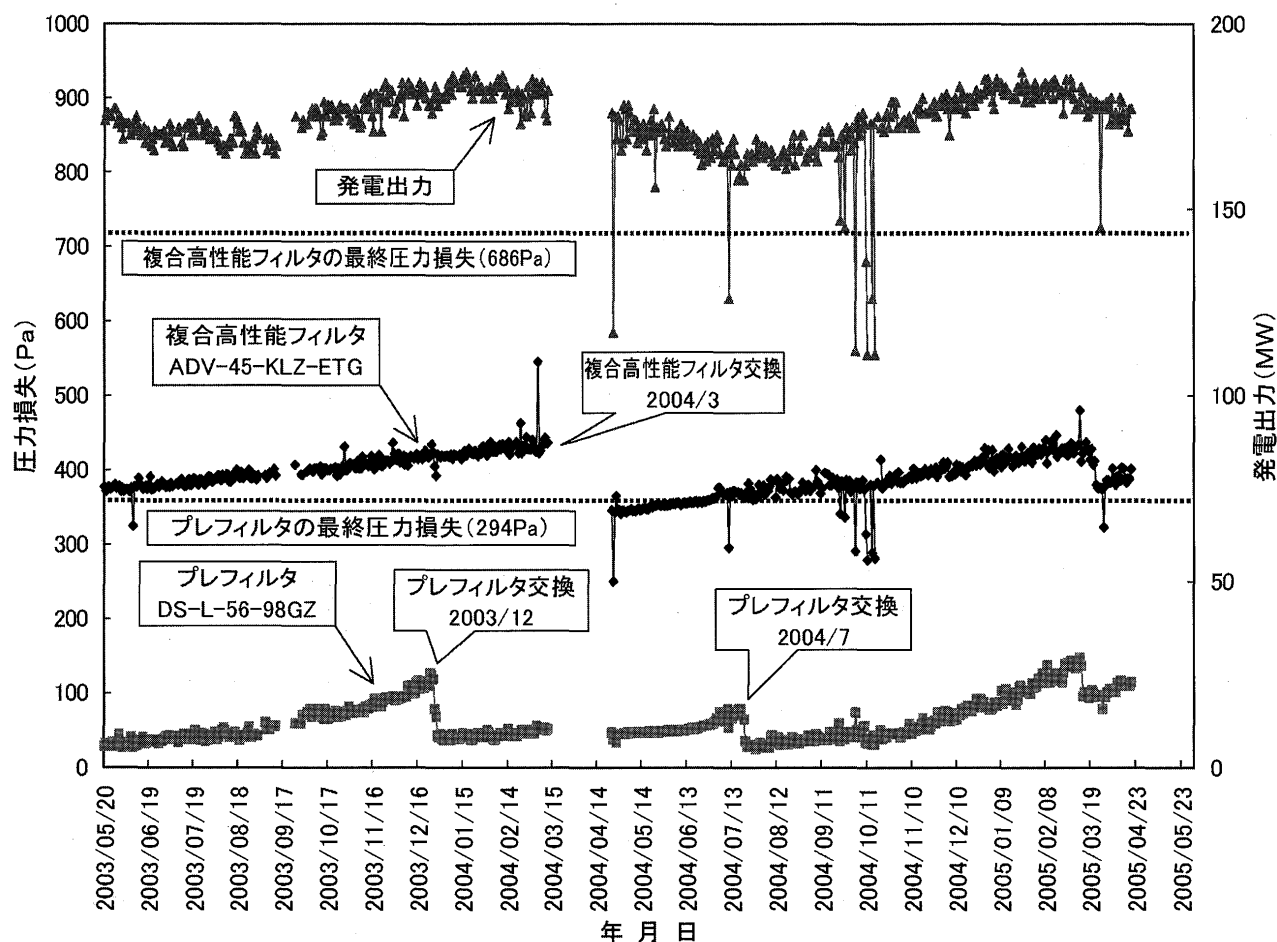


図3 2号機の発電出力および吸気フィルタ圧力損失の推移 (2004年3月13日～4月23日は運転していない)

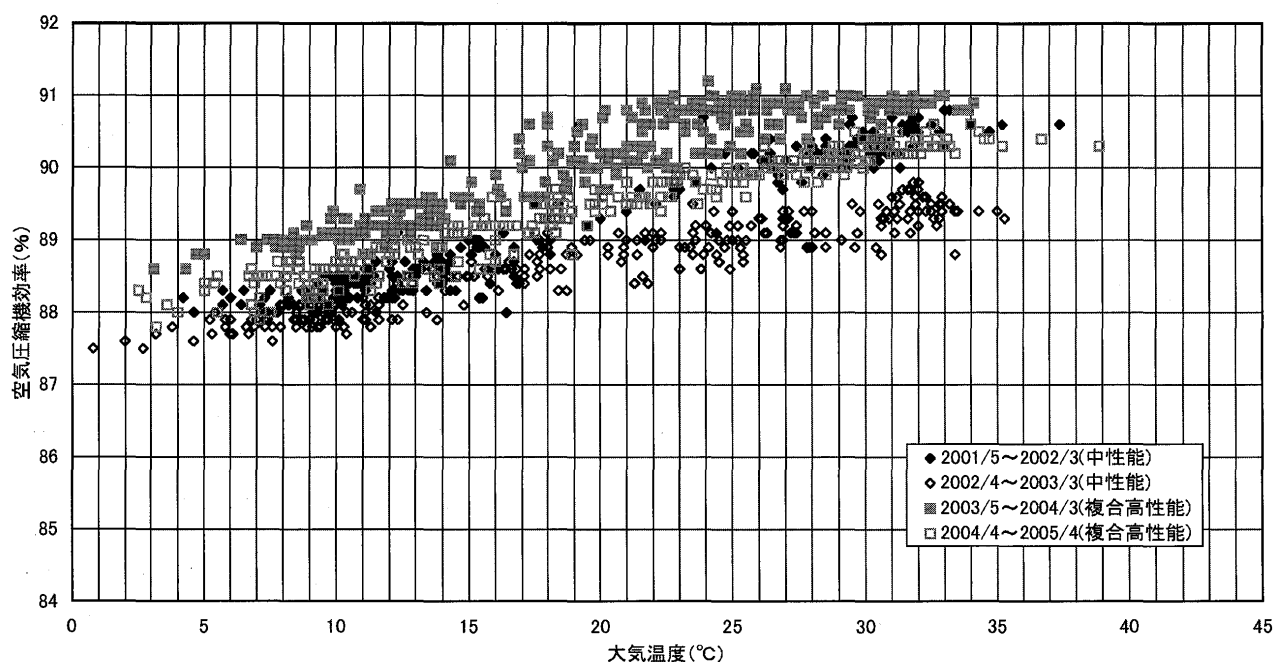


図4 外気温度に対する空気圧縮機効率の推移

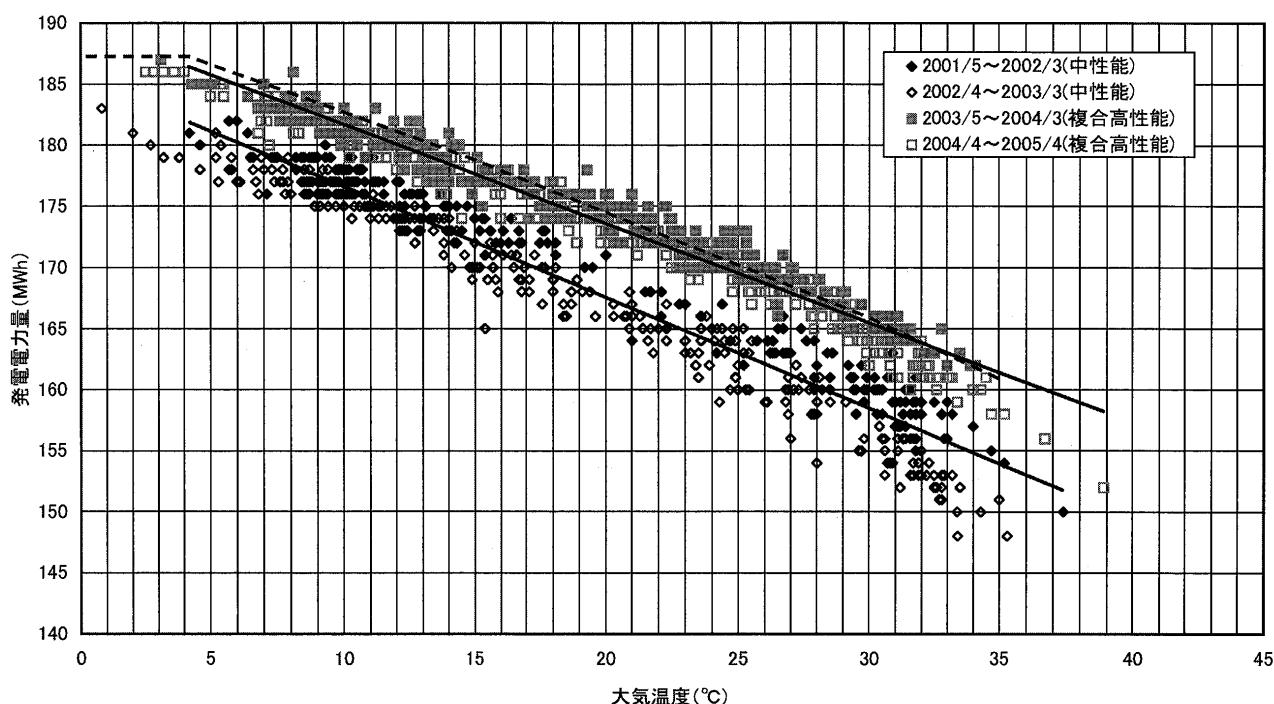


図5 外気温度に対する発電出力の推移

とながら、空気圧縮機の洗浄は一切行わなかった。

図3は、2003年5月から約2年間について、発電出力および各フィルタの圧力損失の推移を示している。図4は、複合高性能フィルタを用いていた2年間と、それ以前の中性能フィルタを用いていた2年間における空気圧縮機効率を、外気温度別に対してプロットしたものである（この図では、13時台のデータのうち、フルロード運転時のものを採用した）。また、図5は、発電出力の推移を、図4と同様に外気温度別に対してプロットしたものである。同図において、破線は計画値を示し、2本の実線はそれぞれの2年間のデータの回帰直線である。

図3に示すように、途中でプレフィルタの交換を1度行ったが、複合高性能フィルタは、非常に大気環境が悪い状況であっても、1年間の連続使用に耐えられることがわかった。また、図4に示すように空気圧縮機の効率低下は少なく、図5に示すように、複合高性能フィルタを採用することによって、改善前の発電出力に比較して大幅な発電出力の改善を図ることができた。なお、改善することができたのは、4℃において4.6MWであった。これは、定格発電出力に対して、2.5%に相当する。燃料消費率についても、表6に示すように1.5m³/MWh改善することができた。

5. 結果の検討

現在のところ、ガスタービンの燃焼空気中の塵埃濃度をどのレベルに制御すればよいのか、すなわち、HEPAレベルのフィルタが必要か、それとも準HEPAレベルのフィルタで良いかについては明確な答えは得られていな

表6 改善前と改善後の燃料消費率*

		年間発電電力量 (×10 ³ MWh)	年間燃料ガス使用量 (×10 ⁶ m ³)	燃料消費率 (m ³ /MWh)
改善前	'01.4~'02/3	826.8	154.3	186.6
	'02.4~'03/3	970.5	181.1	186.6
改善後	'03.4~'04/3	944.9	174.9	185.1
	'04/4~'05/3	1095.0	202.7	185.1

※ (燃料消費率) = (年間燃料ガス使用量) ÷ (年間発電電力量)

い。

そこで、中性能フィルタ (0.3μmの粒子を40~60%捕集)、準HEPAフィルタレベルの複合高性能フィルタ (0.3μmの粒子を97%捕集)、およびHEPAレベルの複合高性能フィルタ (0.3μmの粒子を99.97%捕集) を最終段のフィルタとして使用した場合について、各フィルタ1台あたりの通過塵埃量を計算し、これに対して1年後の発電出力低下率との関係を示したのが図6である。同図に示すように、中性能フィルタから準HEPAレベルの複合高性能フィルタに変更することにより、発電効率の低下は3%が0.5%に抑えられている。準HEPAレベルの複合高性能フィルタをHEPAレベルにすることにより、発電出力の低下はさらに抑制できると考えられるが、透過塵埃以外に起因する経時的な効率低下を考慮すると、その効果は概ね0.2~0.3%程度と思われる。一方、HEPAフィルタは準HEPAフィルタに比べて捕集効率が高いがゆえに目詰まりも早く、交換周期が短くなる。したがって、吸気フィルタの効率の選定については、大気中の塵埃濃度やフィルタの交換周期なども考慮する必要がある。

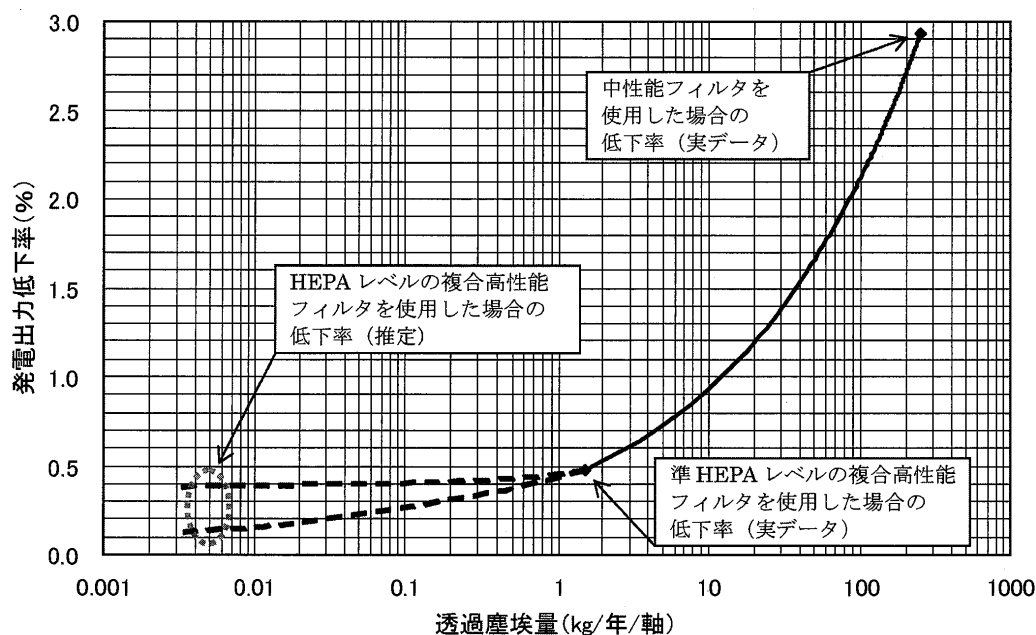


図6 透過塵埃量と発電出力低下の関係

6. おわりに

開発した準HEPAタイプの複合高性能フィルタをコンバインドサイクルに適用した結果、中性能フィルタの場合と比較して、空気圧縮機の洗浄を省略しても、約2.5%の発電出力の改善をすることが出来た。また、開発した複合高性能フィルタは、かなり汚れた環境においても1年間の寿命を有しており、吸気チャンバの大掛かりな改造を必要としないため、吸気フィルタを改善する手段として有効であることが確認できた。

参考文献

- (1) 田村和則, 紙パ技協誌, Vol.52, No.11 (1998), pp.57-64
- (2) 藤原親秀, 藤田純一, 日本ガスタービン学会誌, Vol.25, No.99 (1997), pp.37-40
- (3) 新宮令也, 吉田治彦, 吉竹茂, 上田和夫, 金尾晃, 新沼仁, 火力原子力発電, Vol.54, No.557 (2003), pp.42-48
- (4) Donle, D.W., Kiefer, R.C., Wright, T.C., ASME Paper, 93-GT-24 (1993)
- (5) 新沼仁, 北川章二, 山崎真幸, 日本ガスタービン学会誌, Vol.25, No.99 (1997), pp.16-18
- (6) Kim, C.S., Bao, L., Okuyama, K., Shimada, M., Niinuma, H., Journal of Nanoparticle Research, 8 (2006), pp.215-221
- (7) 新沼仁, 包理, 島田学, 奥山喜久夫, 大谷吉生, 空気清浄, Vol.43, No.6 (2006), pp.43-51
- (8) 大気環境年間値データファイル (環境数値データベース), 独立行政法人国立環境研究所
<http://www.nies.go.jp/igreen/index.html>
- (9) 渡辺征夫, 遠藤治, 後藤純雄, 田辺潔, 溝口次夫, 松下秀鶴, 環境化学, Vol.10, No.3 (2000), pp.557-572

冷却翼開発における熱流体連成シミュレーションの適用と パイロメータによる実機での温度計測

Application of Conjugate Analysis and Pyrometry Measurement System to the Cooled Blade Development

杉本 隆雄*¹
SUGIMOTO Takao

田中 良造*¹
TANAKA Ryoza

仮屋 大祐*²
KARIYA Daisuke

Dieter Bohn*³

Karsten Kusterer*⁴

ABSTRACT

In the development process of cooled turbine blade, precise prediction of blade temperature at the design stage and precise temperature measurement in the prototype engine test are both very important for reduction of design turn around time. In this paper, CHTflow (Conjugate Heat Transfer and Flow) analysis is applied to modification of cooling hole arrangement, and is shown to be a powerful tool. Effect of modification can soon be checked with Pyrometry temperature measurement system, which also makes cooling design and/or modification more effective. New cooling technology DJFC (Double Jet Film Cooling), developed by the authors, are under research for cooled blade application with CHTflow analysis and Pyrometry measurement.

Key words : Film-Cooled Blade, Design, CHTflow Analysis, Pyrometry System, Double Jet Film Cooling (DJFC)

1. はじめに

ガスタービンエンジンの冷却翼の設計・改良において、そのターンアラウンドを短縮すると共に高い信頼性・高温耐久性を持たせるためには、設計段階でのブレード温度の精度の良い予測、及びエンジン試作段階での精度の良い温度計測の両者が必要となる。

周知のように、冷却翼のメタル表面および内部の温度は、局所的な熱伝達、翼外部の高温流とフィルム冷却流の干渉などに大きく影響される。設計段階においては局所的な熱伝達率の分布は不明であることが多いので、翼外部の流れ、フィルム流およびメタル温度を連成して解析するCHTflow解析技術 (Conjugate Heat Transfer and flow) は非常に強力なツールとなりうる。

筆者らは、約10年前よりCHTflow解析技術の冷却翼設計への適用研究を進めてきた^{(1), (2), (3), (4)}。これにより、

冷却孔配置の最適化や、後述のDJFC (Double Jet Film Cooling技術・特許出願中⁽⁵⁾) 冷却といった新冷却方式の検討が可能になり、冷却改善検討の高度化に効果をあげている。

一方、計測に関してはパイロメータの導入により、動翼表面の温度分布を段の全翼について測定することが可能になっており、冷却改善の確認や、CHTflow解析の検証データ取得などに役立っている。

本報では、これらの新しい解析および計測技術による翼の冷却改善検討を実施した結果について述べると共に、筆者らが開発中のDJFC冷却と、その実翼への適用結果についても合わせて示す。

2. CHTflow解析の冷却翼への適用

2.1 CHTflow解析の概要

図1にCHTflow解析の概念図を示す。図に示すとおりCHTflow解析とは、

- ・翼外部流れの解析
- ・翼内部流れの解析
- ・流体・メタル境界及びメタル部分での流体・メタル間の熱移動及びメタル内の熱伝導解析

のように、従来分割して行っていた3種類の解析を連成

原稿受付 2007年7月10日

校閲完了 2007年12月17日

*1 川崎重工工業(株) ガスタービン・機械カンパニー

*2 川崎重工工業(株) 技術研究所

〒673-8666 兵庫県明石市川崎町1番1号

*3 Institute of Steam and Gasturbine, Aachen University

*4 B&B-AGEMA GmbH

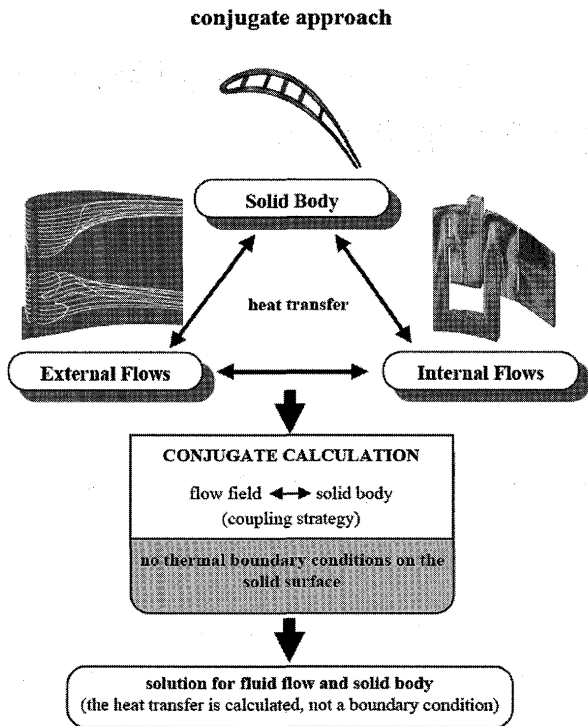


図1 CHTflow解析概念図

させて解析する手法である。

従来はそれぞれの解析の間で煩雑な境界条件の受け渡し、及び解が収斂するまでその作業を繰り返す必要があったため非常に手間がかかり、そのことが解析精度上、或いは限られた開発期間で最適な設計を行う上で障害となっていた。

本手法を導入することにより短時間で精度の高い結果が得られるようになった。また、CHTflow解析では内部冷却通路から二次流れの影響が大きい翼外表面近傍に吹き出すフィルム冷却の高精度な解析が可能である。

2.2 CHTflow解析の数学モデル

CHTflow解析にはこれまでにいくつかの手法が報告されているが、ここではBohnらによって開発された homogeneous conjugate calculation technique⁽⁶⁾を用いている。以下、本手法の概要を述べる。

本手法では圧縮性3次元NS方程式を有限体積法で解く。解析領域は流体部、固体部別々にブロック分けを行う。解析格子は形状適合座標系を採用し、マルチブロック式の格子生成を行っている。流体ブロックではNS方程式が、固体ブロックでは熱伝導方程式が解かれ、両者は、境界面における局所熱流束が等しいという条件で接続される。これにより界面の温度（表面壁温）が定められる。

基礎式は、形状適合座標系 ξ , η , ζ を用いて

$$U_t + E_\xi + F_\eta + G_\zeta = 0$$

ここで、

$$E = J \cdot (\tilde{E} \cdot \xi_x + \tilde{F} \cdot \xi_y + \tilde{G} \cdot \xi_z)$$

$$U = J \cdot (\rho, \rho u, \rho v, \rho w, \rho e_t)^T$$

$$\tilde{E} = \begin{pmatrix} \rho u \\ \rho u^2 - \tau_{xx} \\ \rho uv - \tau_{xy} \\ \rho uw - \tau_{xz} \\ (\rho e_t - \tau_{xx})u - \tau_{xy}v - \tau_{xz}w + q_x \end{pmatrix}$$

F , G も同様に導かれる。 τ は応力テンソル、 q は熱流束ベクトル、 J はセル体積、 ξ_x , ξ_y , $\xi_z \dots$ は座標変換におけるメトリックである。

基礎式を差分化し、陰解法の形で表示すると、

$$\frac{\Delta U}{\Delta t} + (A^n \Delta U)_\xi + (B^n \Delta U)_\eta + (C^n \Delta U)_\zeta = (E_\xi^n + F_\eta^n + G_\zeta^n)$$

ここで、 $A \sim C$ はそれぞれフラックス $E \sim G$ のヤコビアンである。新しい時刻 $n+1$ における解ベクトル U^{n+1} は、 U^n に ΔU を加えることで得られる。

非粘性項はGodunov型の風上差分とし、MUSCLにより高次精度化している。流れの複雑なところにおける安定性を増すために、修正したSteger-Warmingの流束ベクトル分離法を採用している。粘性項は中心差分で近似する。

乱流モデルには、Baldwin-Lomaxモデルや $k-\varepsilon$ 2 方程式モデルが使用できる。実翼の複雑な流れに対しては、安定性や計算時間の制約から前者を用いることが多い。

なお、CHTflow解析の計算時間であるが、断熱流体解析と比べると、固体部分の格子数が増えるだけ計算時間は増加する。ただし、固体部の熱伝導計算は流体計算に比べ数倍高速なので、計算時間は格子数に比例するわけではない。しかし連成計算の場合、収束性が低下することがあり、正確な比較はしていないが、断熱流体解析に比べて1.5～2倍程度の時間がかかると推測している。

2.3 CHTflow解析によるフィルム冷却の改善検討

タービン動翼の冷却性能改善のため、CHTflow解析により冷却孔配置を検討した。図2に対象とした1段動翼の外観図を示す。熱負荷の高い前縁部、TIP部、後縁腹側にフィルム冷却孔を配置している。

解析では、翼外部の流路、翼のメタル部分、内部冷却流路をモデル化する。これにはチップ形状やクリアランス、フィレットなども含まれる。図3に動翼内部の冷却流路を示す。内部流路については、これら全てをモデル化することも可能であるが、解析時間と精度とのかねあいから、注目したい現象・場所を特定した上で、例えば前縁部付近のみ、あるいは翼中央・後縁部付近の流路（および周囲のメタル部）のみモデル化することもある。

解析格子は流体部、固体部とも六面体格子である。格子数は、後述のプロトタイプ翼で約310万点、改良翼で約420万点である。前者は前縁付近（フィルム孔42個）のみのモデル化であるが、後者では翼中央の内部流路（チップ付近のフィルム孔含む）もモデル化している。

境界条件は、入口は全圧、全温、流れ角度、出口は静圧で、いずれも実測に基づく値を与えている。金属の

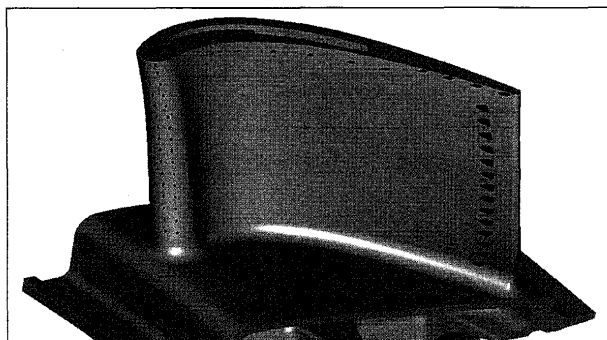


図2 1段階動翼外観

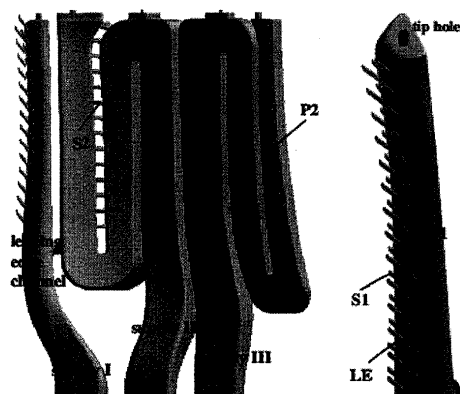


図3 翼内部冷却流路（前縁部拡大）

	プロトタイプ	改良翼
CHTflow 解析結果 (前縁付近 の拡大)		
温度計測 結果 ● …H ○ …M ○ …L		

図4 CHTflow解析結果と温度計測結果

温度境界条件については、実測に基づく推定値、あるいは評価に影響しないところでは断熱条件を与えている。

解析結果及び示温塗料を用いた実機での計測結果を図4に示す。プロトタイプでは前縁部の正圧面側のフィルム冷却孔から吹き出した冷却空気が正圧面に沿って流れず負圧面に付着してしまい、前縁部腹側が高温ガスにさらされホットスポットになっていることが判った。温度計測も同様の現象を示唆する結果となっている。これは入口の圧力・温度分布が当初想定とやや異なり、迎え角が大きくなる方向にずれたためである。そこで、改良翼ではプロトタイプの解析結果を反映しフィルム冷却孔の再配置を実施した。解析結果では前縁部正圧面側のフィルム冷却孔から吹き出した冷却空気は正圧面に付着しているのが確認できる。また、同じくホットスポットとなっていたTIP領域にもフィルム冷却孔を追加している。温度計測結果もこれらホットスポットの消滅が確認され、CHTflow解析の設計への適用の有効性が示された。

3. パイロメータによる実翼の計測と冷却改善検討

3.1 パイロメータシステムの概要

使用しているパイロメータシステムは、ROTADATA社のRotamap IIである。本装置により今までのサーモペイント・熱電対では計測し得なかった詳細な温度分布の計測が可能となった。また、回転している動翼列の全ての翼について計測可能であることも大きなメリットである。

表1に導入したパイロメータの主要諸元を、図5に装置の外観を記す。

システムからの出力は、①キーフェーザ信号からのタイミング、②ミラー角度、③放射強度の3つであり、ま

表1 パイロメータシステムの基本諸元
(メーカーカタログより)

計測温度範囲	700℃～1150℃
分解能	±1℃
温度計測精度	±3℃
サンプリング数	1,000,000点/秒
ミラースキャン範囲	50°

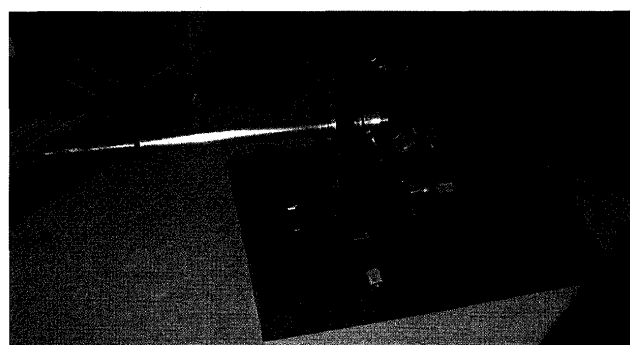


図5 パイロメータ装置（ヘッド部）外観

ず①②のデータが“どの翼”の“どの位置”であるかを特定する必要がある。そのために筆者らは、キーフェーザ信号からロータ位相を割り出すための治具や、計測データを効率よく翼面にマッピングするためのソフトウェアを開発した。また、放射強度と実際の翼面温度との相関をとるための較正も実施した。

3.2 パイロメータによる計測（改良前後の比較）

パイロメータ計測を前述の1段動翼のメタル温度計測に適用した。図6にプローブ設置図を示す。プローブを付け替えることにより3方向（前側2方向，後側1方向）からの計測が可能である。まず，改良前の翼に対する計測結果を図7に示す。図中Pos.#1～Pos.#3はプローブの撮影方向である。正圧面においてPos.#1とPos.#2からの計測は別々に実施されたにもかかわらず結果の温度コンターは完全に連続している。本計測時，TC（熱電対）及び示温塗料による計測も同時に行ったが，これら

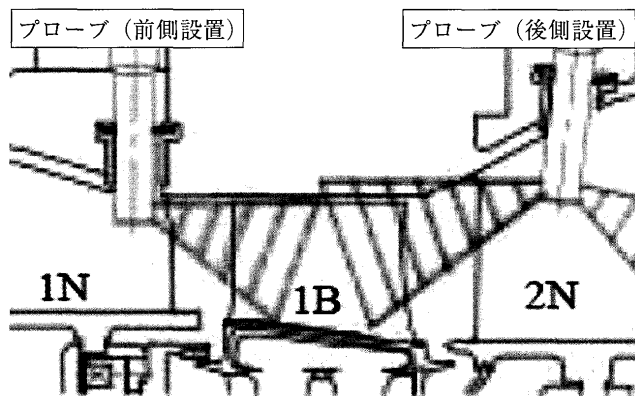


図6 パイロメータ設計図

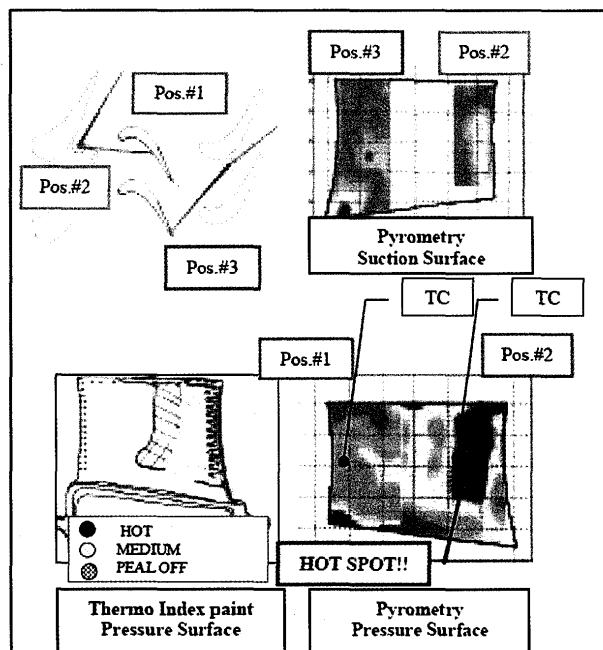


図7 パイロメータ計測結果（改良前翼）

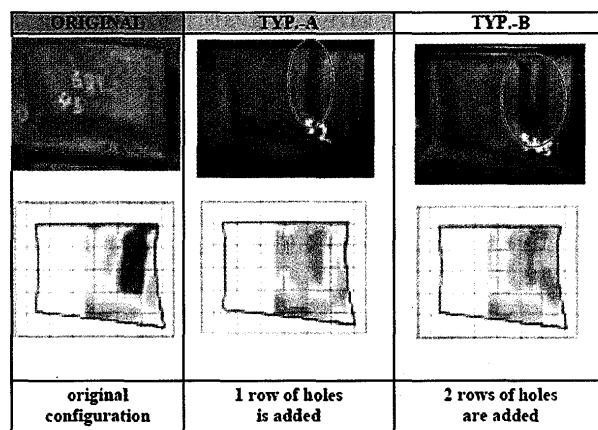


図8 冷却強化試験結果

の結果は良く一致した。正圧面の後縁寄りに若干温度の高い領域が認められた。

次に，若干温度の高かった領域に対し冷却強化を目的とした改良ブレードを数種類製作し，パイロメータを用いて同時に計測した。図8に改良前，および2種類の改良翼タイプA，タイプBのフィルム冷却孔の配置と温度計測結果を示す。タイプA，Bはそれぞれ1列，2列のフィルム孔列を高温領域付近に追加したものである。これらの改良翼では，共に後縁寄りの高温領域が消滅し，適切な冷却となっていることが確認できた。フィルム孔の上流側は熱伝導により，また下流側はフィルムにカバーされることにより冷却されたものと見られ，追加したフィルム孔列が期待通りの効果を示した。冷却空気量はタイプBの方がタイプAより多いため，今回の結果よりタイプAを改良案として選択した。

4. 新フィルム冷却方式DJFCの開発

4.1 DJFCの基本概念

主流中に単孔から噴出したフィルム冷却空気の下流には，よく知られた1対の渦（Kidney vortex pair）が生成される。この渦対は高温の主流を噴流の下に巻き込むとともに，低温の冷却噴流を表面からlift-offさせる方向に働くことから，冷却効率の低下を招く原因となっている。噴流が主流方向に対しやや角度を持つときは，非対称のKidney vortex pairができるとともに，反対方向の回転を持つanti-kidney vortexが生じ，これが前記のマイナス影響を軽減する方向に作用する。

そこで，2本の噴流をうまく干渉させれば，対称のanti-kidney vortex pairを生成でき，噴流のlift-offを抑えると共に冷却流を翼表面に押さえ込む効果が期待できる。これがDJFC（Double Jet Film Cooling）の基本原理である。

4.2 CHTflow解析によるDJFCの孔配置検討

DJFCの可能性を探るため，まず平板モデル+CHTflow解析による孔配置の検討を実施した⁽⁴⁾。図9，

10に解析モデルを示す。図9の孔配置 (config 2c) は効果のあった一例である。表2に主流および冷却流条件を示す。Blowing Ratioは、孔#1が1.61, 孔#2が1.77である。

この孔配置におけるCFD解析結果を図11に示す。ねじれの位置関係にある2つの冷却孔から噴出した冷却空気の渦が相互に干渉し、壁面に押し付けられ、広い領域がフィルム空気で覆われていることが確認できる。

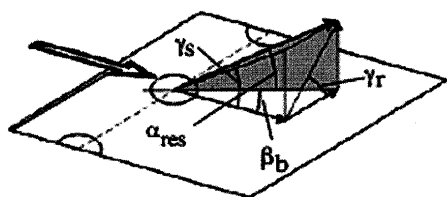
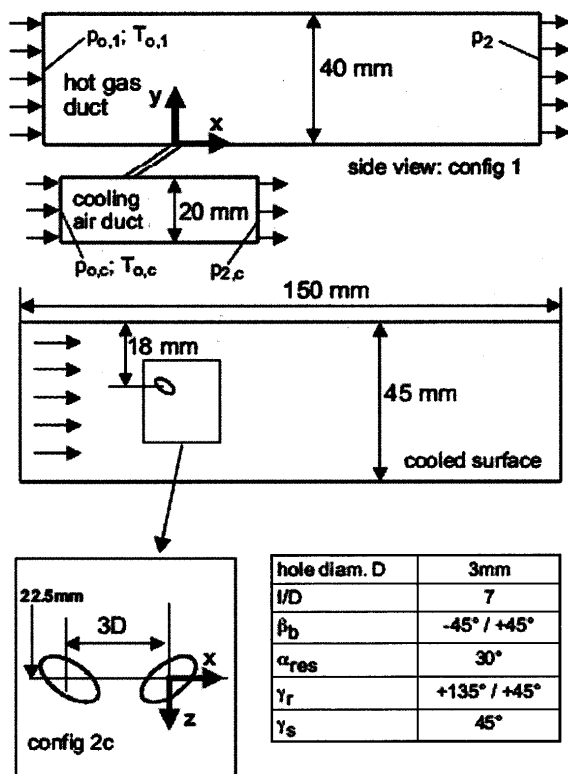


図9 DJFC平板モデルのフィルム孔配置

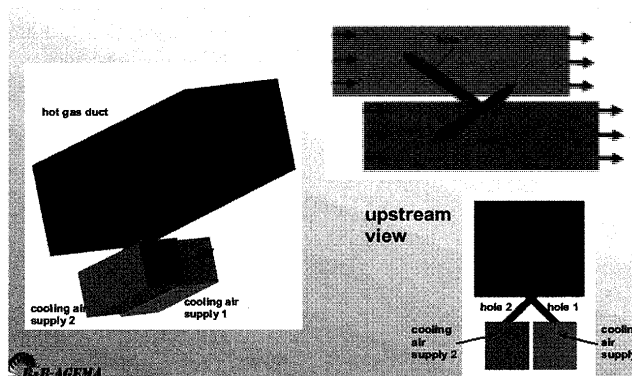


図10 DJFCのCHTflow解析モデル

表2 主流・冷却流条件

主流	入口全温	1600 K
	入口全圧	1,312.8 kPa
	入口マッハ数	0.33
	出口静圧	1,210 kPa
冷却流	入口全温	700 K
	入口全圧	1,500 kPa
	入口マッハ数	0.1
	出口静圧	1,490 kPa

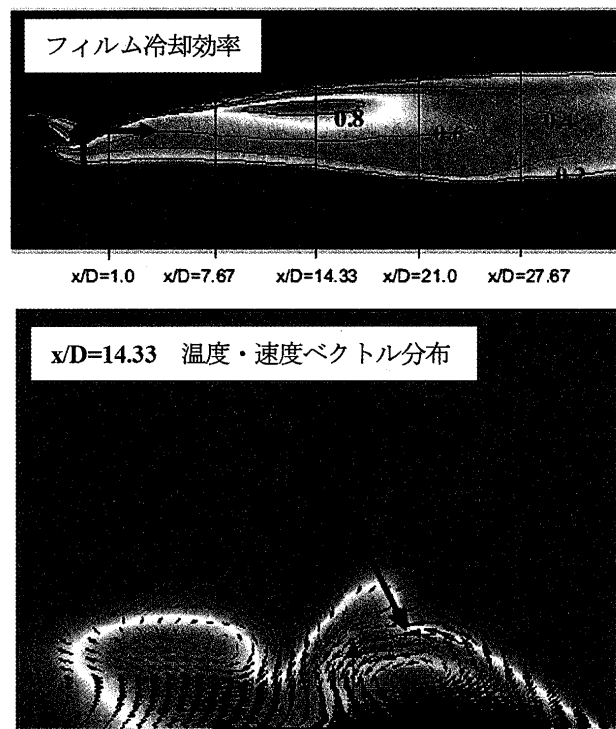


図11 DJFCのCHTflow解析結果

4.3 DJFCの実翼への適用

平板モデルでDJFCの可能性が示されたので、次にこれを実翼に適用してその効果を検証した。ここでは、負圧面にshaped holeをもつ翼に対し、そのフィルム孔列をDJFC孔列で置換した翼を製作した。

まず、CHTflow解析 (ただし、ここではメタル内熱伝導は解かず、壁面断熱条件とする) にてDJFC孔列からの流れを確認した。結果 (断熱表面温度) を図12に示す。孔の下流では断熱温度が低く (フィルム効率が高く) フィルム流れが翼表面にとどまっていることがわかるが、翼高方向の広がりには限定的で、フィルム間に高温域があることも見て取れる。このような解析を元に、より効果的なanti-kidney vortexが生成するようフィルム孔位置を修正した。

shaped holeを持つオリジナル翼とDJFC適用翼を実機に組み込み、パイロメータにて計測した結果を図13に示

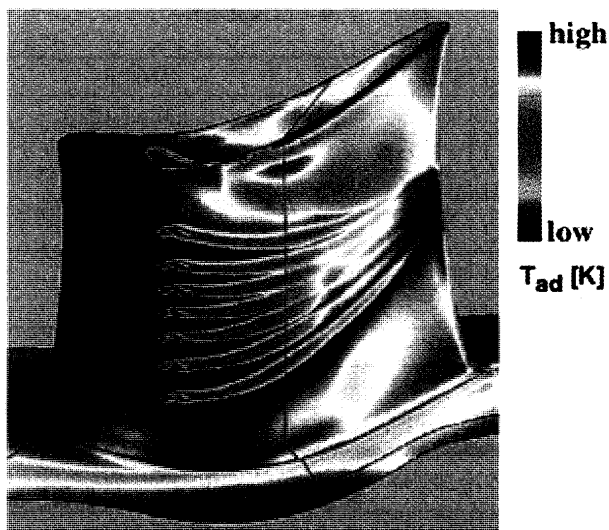


図12 実翼にDJFCを適用した場合のCHTflow解析結果
(ここでは翼面を断熱している)

す。両者の差は大きくはないが、DJFC適用翼の方がわずかに温度の低い領域が拡大している。ただし、今回はオリジナル翼を転用した関係で孔加工上の制約があり、まったく同じ条件で比較できたわけではない。よって、今回の結果からDJFCが明らかに優位であると示されたわけではない。しかし、DJFCはコスト（孔加工時間）のかかるディフュージョンホール等に比べストレート孔の組み合わせで実現可能であり、この面でのメリットは大きいといえる。

以上より、DJFCが有望な冷却法であることは確認できたので、今後さらに研究を進めていくことにしている。

5. まとめ

冷却翼の設計・開発を効率化するため、翼内外の流れとメタルの熱伝導を連成して解くCHTflow解析技術を実機設計に適用し、フィルム孔配置の最適化などに適用できることを確認した。また、パイロメータを用いた実機計測と組み合わせ、冷却翼開発が迅速にかつ高精度に行えることを実証できた。

新しいフィルム冷却法であるDJFC（Double Jet Film Cooling）についても、これら解析および計測技術の適用により効率よく評価ができるようになり、実機適用までの期間の飛躍的な短縮が期待できる。

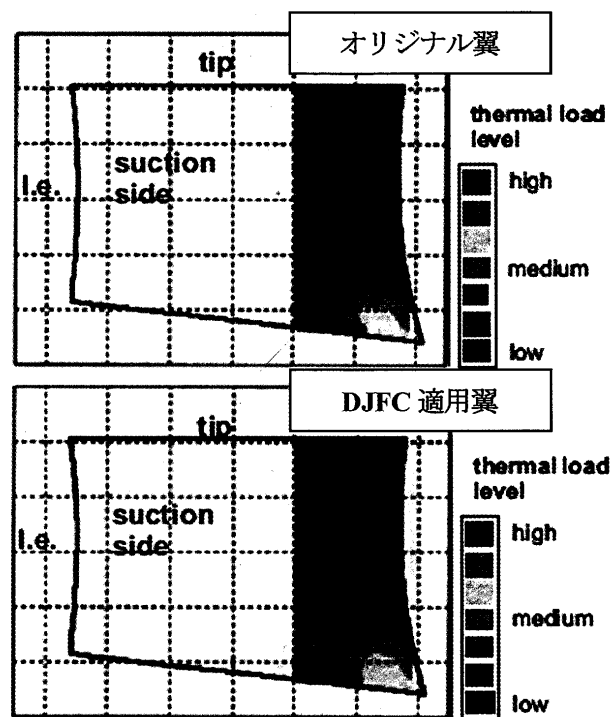
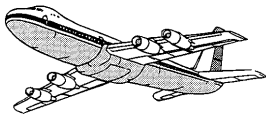


図13 オリジナル翼とDJFC適用翼の温度実測結果

参考文献

- (1) D. Bohn, V. Becker, J. Gier, K. Kusterer and Y. Otsuki, T. Sugimoto, R. Tanaka : The Influence of Rotation on the Internal Flow of a Cooled Turbine Blade with Serpentine-shaped Cooling Channels, ASME-ASIA 1997, 97-AA-115, pp. 1 - 6, ASME-ASIA 1997, Singapore, October 1997
- (2) K. Kusterer, D. Bohn, T. Sugimoto, R. Tanaka : Conjugate Heat Transfer Analysis of a Test Configuration for a Film-cooled Blade, International Gas Turbine Congress (IGTC) 2003 Tokyo, Japan, 2-7 November 2003.
- (3) K. Kusterer, D. Bohn, T. Sugimoto, T. Tanaka : Conjugate Calculations for a Film-cooled Blade Under Different Operating Conditions, ASME Turbo Expo 2004, Vienna, Austria, June 14 - 17, 2004, Paper No. GT-2004-53719.
- (4) K. Kusterer, D. Bohn, T. Sugimoto, R. Tanaka : Double-Jet Injection of Cooling Air for Improved Film-Cooling, ASME Turbo Expo 2006, Barcelona, Spain, May 08-11, 2006, Paper No. GT2006-90854.
- (5) 特願2005-332530 “ダブルジェット式フィルム冷却構造”
- (6) Bohn, D., Bonhoff, B., Schonenborn, H., and Wilhelmi, H. : Validation of a Numerical Model for the Coupled Simulation of Fluid Flow and Adiabatic Walls With Application to Film-Cooled Turbine Blades, VDI-Bericht, Germany 1186, 1995



ガスタービンに思う

今井 兼一郎^{*1}

IMAI Kaneichiro

1941年3月に航空発動機的设计に憧れて当時の中島発動機にいらしてもらい、同年9月から43年9月まで海軍短期技術士官を志願しレシプロエンジン一筋であった。全く偶然に『飛燕』のごとく轟音を遺して飛び去ったと言うドイツ空軍視察の話を知った時の興奮は今に新しい。

1945年戦後『ガスタービンの運転安定』について大学院でカリフォルニア大学パークレイ校に行かれた高橋安人教授の御指導を受けた。1947年4月石川島造船所にいらしてもらった。さらに縁あってガスタービン、ジェットエンジンと進み生涯の大部分を過ごした。航空原動機はレシプロからターボに変わっている。

ここで石川島でも船用機関関係の蒸気タービンがDiesel Engineとなりturbine関係の技術者がガスタービン・ジェットエンジンに移って来た。このことは、主にレシプロの経験者だけでturboのプロジェクを進めようとした集団が苦衷を経験している例から見ると考えさせられるものを含んでいる様に思う。

数多くあった英・米・欧ガスタービンメーカーも今は減り、米国では2社、欧州でも極めて少なく成っている。21世紀に米国の2社、欧州その他の国を見渡しても、厳しい今後のglobal化の時代に、安全・経済・環境等の厳しい要求のなかでサービスのsustainable developmentの時代にhardのサプライヤーとして生き残るのは国のbackupを考えても容易ではなからう。

日本のガスタービンは国の強力な育成もあり、かなり急激にのび軸流圧縮機等では世界をリードしているとも言いが、総合的には今は、先頭集団に居るがリーダーではないと言う評価の⁽¹⁾例外ではなからうかと思う。喫茶室には興ざめであろうが、偽らざる気持である。

しかし考えてみれば、この日本のガスタービン学会はその会員の献身的貢献の御陰で、殆ど無に近い状態から今日の世界の先頭集団の一員たりうる所まで成長し超音速機用原動機等では多くの可能性と貢献をなしつつあるという。その意味ではその創立の目的を達成出来たと筆者は感謝しているし、多くの会員もそれを認めているであろう。

今や新たにglobalな状態を見渡し将来を予測して21世紀での学会のあり方を考え、実行に移すときであろう。

それをはっきりと会員に示すこと、それが多くの会員が受け入れるものでなければならぬ。

全く筆者の考えであるが、今後、多くのinnovativeな研究・技術の開発を期待されるガスタービンに関連する学会として、会員のために存在しうることの可否であろう。欧米は国によりかなり密接に連携しているようである。米国では国としては先端的な研究・開発を行いながらも、Gas Turbine InstituteとしてInternational Journalを出し、国際会議展覧会を開催等大きな活躍・貢献をしているが独立した学界ではなく、ASMEの一部部門であるようである。

もし日本ガスタービン学会の会員のかなりの方が多分資格的には問題ないのであろうから、日本機械学会のしかるべき部門に移られてそれぞれの目的あるいは共通の目的のために活躍されたら、有意義であらうかとも考える。

一方、航空宇宙学会の推進機構部会を盛立てるに力を尽くされる会員もその貢献育成が大きな未来を予想されるし、アジアの多くの人口を活かすことにならう。

あるいはハッキリした目的を持つ会員の組織として、professionalなresearchers・engineersの自由度の多い独立組織として、産官学の共通目標のためにglobalにもdiversifyした貢献・活躍出来る学界として存在を共感出来るものとなるのが出来ればとも考える。この際service scienceを基調とするcustomer orientedの市場の要請に十分に答えることが肝要であろう。

その際gas turbineが、21世紀に化学・生物学等多くの学問の研究・技術の成果を取入れたグローバルにも通用していけるだけの雅量が要るのであろう。

事務局、資産のあり方等もあろうが21世紀での存続は上記の何れも実現可能であろう。

喫茶室にはドギツイかと思うが足下の明るいうちに、今こそ学会の21世紀の存在を考えてはと思ひ。御寛容を。

(1) RAND TR211-MRI Year 2004
Science and Technological Research and Development
Capacity in Japan Anny Wong et al.

原稿受付 2007年11月1日

*1 元(株)IHI (社)日本ガスタービン学会名誉会員
〒107-0062 東京都港区南青山1-26-6

トロンハイム滞在記

壹岐 典彦^{*1}

IKI Norihiko

1. 初めに

御産業技術総合研究所のエネルギー技術研究部門はノルウェーのSINTEF Energy Researchと共同研究契約を結び、エネルギー技術分野で交流を進めております。その一環として2007年9月1日(出)から1月半ほどノルウェーのトロンハイム (Trondheim) にいて共同研究を行って参りました (図1)。

SINTEFグループはスカンジナビア最大の研究機関で、"The Foundation for Scientific and Industrial Research" at the Norwegian Institute of Technology (NTH) を意味しているとのことですが、NTHは1996年に他の大学と統合されて現在はノルウェー科学技術大学NTNUとなっています (図2)。SINTEFはトロンハイムに約1900人、オスロに約350人の職員を抱えています。SINTEF Energy Researchのオフィスと研究室・実験室はNTNUのキャンパス内にあります。SINTEF Energy Researchはその中のエネルギー分野を担当しており、発電、動力変換、配電、陸上・洋上／海中でのエネルギー利用に焦点を当てています。室内環境とビルのエネルギー利用からガス技術、燃焼、バイオエネルギー、食品産業のための冷凍工学・技術までカバーしています。

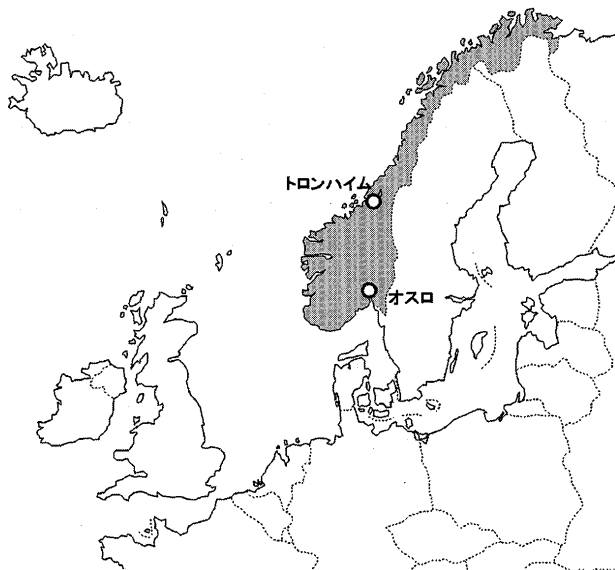


図1 ノルウェー王国

原稿受付 2007年12月25日

*1 御産業技術総合研究所 エネルギー技術研究部門
〒305-8564 茨城県つくば市並木1-2

今回の共同研究はガスタービンにおける改質燃料の燃焼の数値シミュレーションに関連して、基礎となる実験データを取得することでした。その背景にはノルウェーでCO₂回収・貯留に関する研究・開発が盛んであることがあげられます。

2. ノルウェー王国

ノルウェーはスカンジナビア半島の西側の国であり、フィヨルドの国です。面積は38.6万km²で日本とほぼ同じですが、人口は約464万人 (2006年1月現在) で、首都オスロでも人口は約52万人です。ノルウェー政府の統計では2006年の総貿易額は輸出が121,416百万ドル、輸入が64,073百万ドルと、かなりの黒字です。主な輸出品目としては、水産物もありますが、ノルウェーはエネルギー資源が豊富で、原油や天然ガスを輸出しています。国内の電力は水力発電で賄っているそうです。国民一人あたりのGDPを調べたところ、ノルウェーは約6.2万ドルで先進国の中2位で、日本の1.6倍もありました。ノルウェーがCO₂回収・貯留について熱心なものはこの油田やガス田にCO₂を注入できることが一因でしょう。

3. トロンハイム

トロンハイムといってもピンと来られる方はまず少ないのでは無いでしょうか。トロンハイムは日本の旅行ガイドブックでは1日で観光できる程度の紹介しかされていません。しかし、トロンハイムは歴史的に見ても重要な都市であり、997年ヴァイキングの王であったオーラヴ1世が河口地帯に築いた首都で、ニーダロスという名



図2 丘の上にあるNTNU

前であったそうです。トロンハイムには戴冠式を行うニードロス大聖堂(図3)があり、すぐ近くの博物館では王冠を見ることができました。フィヨルドの町であり、中心部から少し歩けばすぐ坂になります。山というにはすぐに上れるので、丘といった感じですが、旧市街を取り囲む山の上には昔の要塞、城跡、テレビ塔があります(図4)。屋外民族博物館が城跡のところにあり、3階建てや4階建ての大きな古い木造の建物をたくさん見ることができます。夏の観光シーズンは8月末から9月末にかけて終了するので、9月には利用できない施設や船便が増えていき、10月には公開されないものや利用時間が短くなるものが多くなります。

トロンハイムにも国際空港はありますが、日本からノルウェーへの直行便はなく、今回はコペンハーゲン経由でした。出入国のチェックはコペンハーゲン(デンマーク)でのみ行われました。私の宿泊先は、家具付きで短期滞在用のアパートでした。昨年度、産総研で共同研究を行ったDr. Gruberが手配しており、SINTEFまで徒歩10分ほどの便利なおところにありました。明るい板張りの床で土足禁止です。週3回の掃除サービスがあり、洗剤やコーヒーを補充してくれます。町なかで普通に買い物をすると、食品などは日本の物価に比べて倍の価格といった感覚ですが、工業製品などはそれほど高価ではありません。ノルウェーの特産の食材としては鮭や鱈、エビ、fisk kakeなどの水産物をスーパーではよく見かけました。fisk kake(英語直訳でfish cake、魚のケーキ

の意)は練り製品で食感はんぺんとかまぼこの間といった感じです。また日曜日はほとんどの店が休みとなるので、町が閑散としています。

私が訪れた9月、10月は日本でいえば晩秋、初冬といった感じでした。数時間単位で天気が変わり、滞在中では一日中晴れていた日は数日でした。しかし、逆に雨もすぐ上がるためか、防水性のジャケットを着ている人が多く、雨が降っても傘を差す人はあまりいません。ニード川のまわりは公園のように整備されていて、夕方はジョギングやスティックを持ってスキーの距離競技の練習をしている人を見かけました。自転車も多く、ある坂には自転車用リフトが設置されていました。料金を支払うとペダルのような板が出てきてそれが坂の上までレールの溝に沿ってゆっくりと上っていく仕組みで、使い方にもコツがあるようです(図5)。

4. TCCS4

トロンハイム滞在中にCO₂回収・輸送・貯留の国際会議The 4th Trondheim Conference on CO₂ Capture, Transport and Storage (TSSC4, 10月16日~17日)をNTNUとSINTEFが運営しましたので、参加させていただきました。様々な関連技術の講演以外にも、ノルウェーの環境大臣やNGOからもキーノートがあり、キーノート7件、講演46件、ポスター20件があり、盛会でした。今回は2009年6月に開催されるということです。

5. 最後に

SINTEF Energy Researchとの交流は今後も進めていく予定です。SINTEFでは多くの外国人が働いており、Dr. Gruberはイタリア人です。研究資金もノルウェー政府だけでなく、国外の企業から多く得ています。ノルウェーはEUには参加していませんが、EU政府から資金を得ているということです。ヨーロッパの交流の深さを感じるとともに、日本の研究機関も参考にすべき点が多いと感じました。この渡航にご協力いただきました皆様に感謝申し上げます。

(産総研)

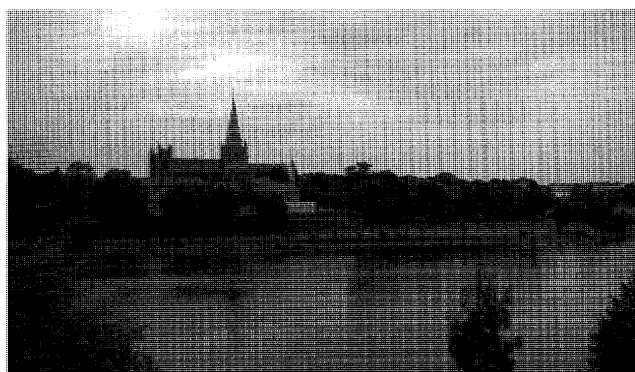


図3 ニードロス大聖堂



図4 町を見下ろす要塞からホストのDr.Gruberと記念写真

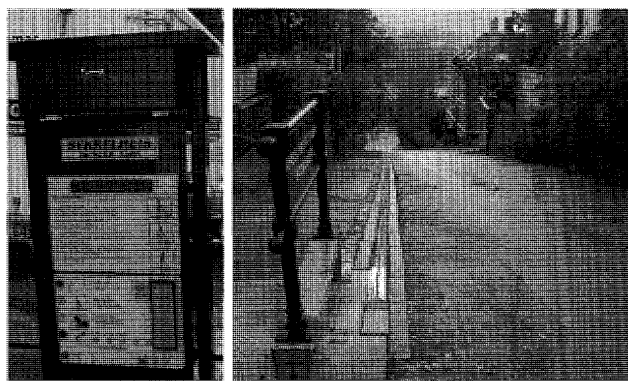


図5 自転車用リフト(左:坂の下にある使い方の説明、右:坂の上のリフト終点と道路脇のリフトのレール)

第18回エアブリージングエンジン国際シンポジウム (ISABE2007) に出席して

大庭 芳則^{*1}
OBA Yoshinori

キーワード：航空推進機関，エアブリージングエンジン，国際シンポジウム，見聞記

1. 第18回ISABE会議全般

2007年9月3日～7日の6日間，中国・北京で第18回エアブリージングエンジン国際シンポジウムが開催された。本シンポジウムは，世界有数の研究機関や民間企業が航空機エンジンに関する分野の研究成果を発表する国際シンポジウムであり，今回の会場は北京市中心部から若干離れた北京友誼賓館（Beijing Friendship Hotel）の講演大ホール（Lecture Hall）および7つの会議室で招待講演や一般講演が行われた。北京は来年2008年の北京オリンピック開催予定地であり，様々な施設やインフ



図1 ISABE2007会場（Beijing Friendship Hotel）



図2 オープニングセレモニー風景

ラが急ピッチで建設されていた。空港から会場までの移動中の車窓から，立ち並ぶ建築中ビル群と整備されつつある幅広い道路を見ることができ，中国の経済発展の勢いを感じることができた。ISABE会議でも中国の経済発展とともに航空機用ガスタービン分野での研究・技術の目覚ましい発展をうかがい知ることのできる特別なシンポジウムであったと言える。

2. 招待講演

今回の招待講演では米国からの参加は比較的少なかったが，ロールスロイス社やMTU社やSNECMA社など欧州からの発表が多くあり，特に次世代航空機用ガスタービンエンジンのアーキテクチャについての発表が多くなされた。アーキテクチャの方向性としては，地球温暖化防止など航空機ガスタービンエンジンの環境負荷を下げべく欧州研究機関（Advisory Council for Aeronautics Research in Europe：ACARE）による環境調査結果をもとにして設定したCO₂やNO_x削減およびエンジン騒音低減の非常に高い目標（ACARE Vision 2020）を視野にいたれた技術開発についてであった。

まずは，MTU社のJ.M.Henne氏から欧州の航空機エンジン開発プログラムVITALの紹介とその中で実施されている技術研究が紹介された。VITALプロジェクトでは，騒音低減6 dBとCO₂低減7%の環境適合を可能とする将来航空機エンジンの低圧系（ファン，低圧タービンなど）に必要な技術開発を対象としており，以下のような概要になっているとのこと。プロジェクトはSP1～SP7のサブプロジェクトで構成されており【SP1：エンジンアーキテクチャ，SP2：ファン要素技術，SP3：ブースト段要素技術，SP4：エンジン構造技術，SP5：低圧シャフト技術，SP6：低圧タービン要素技術，SP7：VHBR（Very High Bypass Ratio）エンジンインテグレーション技術】，TiAl，SuperAlloy，TiMMCなどの材料技術によるエンジン構造の軽量化を導入してエンジン重量低減を積極的に目指すとのこと。空力技術では，低圧タービンにUltra High Lift設計とUltra High Stage Loading設計を組み合わせで段数と翼枚数を大幅に削減し，反転式ターボファン（CRTF）に軽量化ファン技術を導入してエンジン性能向上を図る技術発表であった。また，軽量化された要素部品に必要な

原稿受付 2007年12月11日

*1 (株) I H I

〒190-1297 東京都西多摩郡瑞穂町殿ヶ谷229

製造方法と修理技術に関する紹介では、ブリスクリング翼修理に適用可能な摩擦溶接技術がすでに実用化レベルに到達しており、次世代航空機エンジン開発に必要な様々な高い技術力をアピールしていた。

また、SNECMA社のJ. Renvier氏からは、高バイパス比エンジンに適切なエンジン形態を調査した結果が示された。低騒音化のためにファン径を大きくして、FANチップ周速と圧力比を上げるとファン重量が重くなりメンテナンスコスト増やFuel Burn増のデメリットが発生するので、Fuel Burnとバイパス比の間には最適値が存在することが説明された。効果的にバイパス比を増加させるにはファン軽量化技術や抵抗低減技術や、更には革新的な技術導入が必要であると示された。SNECMA社が実施した3エンジン形態(バランス型RCOCエンジン形態、低燃費エンジン形態、低騒音エンジン形態)の試行では、1段HPTのバランス型EROOCエンジン形態が現在のところ望ましいとの説明であった。

ロールスロイス社のP.D.Price氏からは、中国を中心として航空機数や旅客数が大幅に拡大するとされる将来の市場予測に合わせて、将来航空機エンジンの環境負荷低減のための革新的技術の開発・設計に関するロールスロイス社ポリシーについて説明があった。ロールスロイス社では現在から近未来で求められる技術をVISION 5 (Trent900, Trent1000の技術レベル)、VISION10、VISION20の3つにカテゴリー分けしており、VISION10では欧州プログラムに従って10年後の実現を目指しており、Power Optimized Aircraft (POA) プログラムやAffordable Near Term Low Emissions (ANTLE) エンジン、SILENCE (R) とQuiet Technology Demonstrator (QTD) や、Environmentally Friendly Engine (EFE) など数多くの技術研究やデモンストレーションエンジン試験を計画または既に実施しているとのことであった。更に20年後の将来を想定したVISION20では、Fuel burnの大幅な改善を可能とする技術としてシュラウドファンやオープンロータなど、異なるコンセプトのターボファンエンジンを視野に入れており、エンジン全体の最適化設計への挑戦をおこなっているとの説明であった。

一方、Pratt & Whitney Canada社のH. Moustapha氏の講演では、地球環境保全を視野にいれて今後求められる航空機エンジン技術や、世界的な技術者人口分布の変化から航空エンジン業界に求められる変革についての将来的な展望が発表された。氏によると、現在、世界中に分散しているモジュールセンターをITやCADにより連携して、先進的な解析ツール(シミュレーション技術)を活用した統合設計を導入することにより、航空機運用コストを削減できるような推進システムのコンセプトや製造方法を実施する必要があると説明された。この背景として、2008年～2016年の間に現在の30%～70%のカナダ技術者が退職することから、欧米西洋諸国からアジア、ロシアなど東洋地域への技術伝承や技術発展が課題と

なっており、世界的な企業—大学間のパートナーシップを強める大きなグローバル化の必要性が示された。

3. 一般講演

23タイトルのセッション(セッション数44)が企画されて、様々な分野の約240の技術講演が発表された。中国研究機関からの発表は亜音速エンジン要素からラムジェットやスクラムジェット関連技術まで多岐に渡っている一方、欧米からの発表は地球環境への負荷低減を目的としたエンジン要素の効率改善や新コンセプトのエンジンサイクル研究発表が多く見受けられ、国柄や政策による傾向の違いを感じることができた。新しいエンジンコンセプトでは、MTU社、ロールスロイス社、SNECMA社、AVIO社の連名での技術発表が目をついたので紹介する。発表は欧州のNEWAC(New Aero Engine Core Concepts)プロジェクトで実施された成果であり、エンジン内に熱交換器を装備することで圧縮機の流入空気温度をコントロールしてサイクル熱効率を向上させるActive CoreやIntercooled Recuperated Coreやエンジン重量軽減を考慮したIntercooled Coreが紹介された。これらのエンジンコンセプト実現のためには、熱交換器や配管による重量増と圧力損失の低減が技術課題であるが、サイクル試算上では6%のCO₂削減、16%以上のNO_xの削減効果が期待できるとのことであった。他の研究では、飛行機雲に起因した地球温暖化現象について述べたものがあつたので紹介する。飛行機雲が上空で広がることで、地球から宇宙への太陽熱の放射が阻害されることから(未解明な部分は多いが)地球温暖化に寄与すると考えられており、飛行機雲の原因となる水分をエンジン排気から回収するアイデアをCranfield大学のF.G.Noppel氏が発表した。このアイデアには熱交換器の重量増に加えて、回収した水分重量も航空機エンジンにはデメリットであるが、筆者には様々な観点から環境負荷低減が検討されていることを知る良い機会であった。

日本からは小型エコエンジンプロジェクトの第2期で実施された要素技術研究の成果(先進ファン空力技術、先進圧縮機空力技術、先進タービン空力技術、先進タービン伝熱技術、先進CFD解析技術、先進ジェット騒音低減技術など)が発表された。各発表では活発な討議が行われ、日本のエンジン開発プロジェクトに対する海外研究者の関心は非常に高かった。

4. テクニカルツアー

本シンポジウムで催されたテクニカルツアーは、北京航空航天大学(Beihang University)と中国科学院の機械研究所・熱物理工学研究所(Chinese Academy of Sciences)の2ヶ所の内1つを選択することになっていた。筆者が参加した北京航空航天大学について紹介する。大学は北京市内中心の故宮から西北方向の約10kmの海淀区に位置しており、広い敷地に近代様式の

建築施設が数多く並んでいた。紹介されたCFD技術向上は目覚ましく、高圧タービンのホットストリーク現象の非定常多段翼列解析やファンチップクリアランス流れの非定常現象解析や、更にはファン騒音伝播現象の3次元解析結果などの紹介が行われた。一方、試験設備では、低速回転圧縮機試験、反転式タービン空力試験、タービン伝熱試験、燃焼器試験、アフターバーナ付き排気ノズル試験などの各種試験設備を有しており、試験供試体規模は比較的小さいものの、詳細な試験データを取得できる技術・体制が整えられていた。また、大学の構内には付属小学校があり、ガスタービン工学や航空工学に関する人材教育システムが整えられており、中国における本工学分野への関心の高さが伺えた。

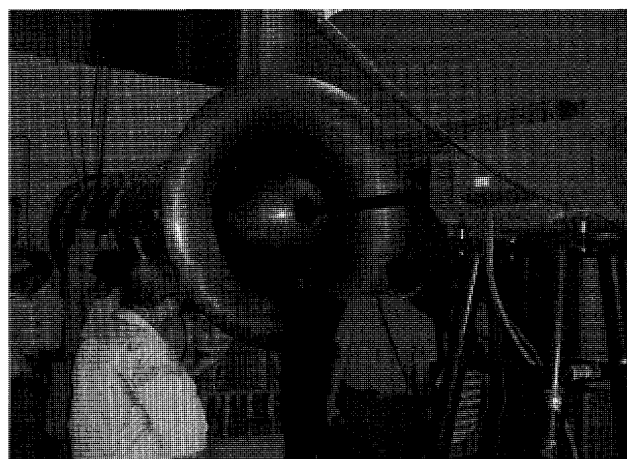


図3 北京航空航天大学見学(低速回転圧縮機リグ試験設備)

○本会共催・協賛・行事○

主催学協会	会合名	開催日・会場		詳細問合せ先
日本非破壊検査協会	第15回超音波による非破壊評価シンポジウム	H20/01/23-24 きゅりあん	協賛	日本非破壊検査協会 学術課 TEL: 03-5821-5105 FAX: 03-3863-6524
日本マリンエンジニアリング学会	2007年度「先進コース」 《材料》講習会	H20/01/24-25 東京桜田ビル3階 海上技術安全研究所	協賛	日本マリンエンジニアリング学会 http://www.jime.jp
日本機械学会	基礎教育講習会 - エンジン における実験・計測の基礎 と応用 (その17)	H20/01/30 大阪科学技術センター	協賛	日本機械学会 URL: http://www.jsme.or.jp/kousyu2.htm
日本非破壊検査協会	第6回放射線による非破壊評価シンポジウム	H20/01/31-02/01 機械振興会館	協賛	日本非破壊検査協会 学術課 TEL: 03-5821-5105 FAX: 03-3863-6524
日本マリンエンジニアリング学会	2007年度「先進コース」 《燃料・潤滑》講習会	H20/02/15-16 東京国際フォーラム	協賛	日本マリンエンジニアリング学会 http://www.jime.jp
日本マリンエンジニアリング学会	第51回特別基金講演会「船舶 からの排ガス規制の強化に向 けた動きとその対応方策」	H20/02/21 主婦会館	協賛	日本マリンエンジニアリング学会 http://www.jime.jp
日本計算工学会	第13回日本計算工学会講演会	H20/05/19-21 仙台市民会館	協賛	日本計算工学会講演会事務局 TEL: 03-3219-3541 FAX: 03-3292-1811 E-MAIL: jscs@ics-inc.co.jp

第9回 国際ガスタービン会議報告

大田 英輔*¹
OUTA Eisuk

2007年12月2日(日)から7日(金)の6日間、東京新宿の京王プラザホテルにおいて第9回国際ガスタービン会議および展示が開催された。この国際会議は産業用および航空用のガスタービン、ターボチャージャ、それらのシステムや関連する技術についての総合的な国際会議で、わが国では唯一、世界でもASME-IGTIが主催する国際会議に継いで位置づけられるアジア地区での中心的会議である。1971年に日本機械学会、米国機械学会ガスタービン部門との共催による第1回会議から、4年ないしは6年おきに開催されてきた。2005年10月のガスタービン学会理事会にて、川口修会長よりの諮問に対して国際委員会(渡辺紀徳委員長)より、2007年11月後半から12月初旬での第9回国際会議(IGTC'07)を開催することが答申された。これを受けて、2005年11月と12月にIGTC'07準備委員会を開催して実行委員会構成、開催会場と時期を検討し、12月理事会にて承認を得て、IGTC'07実行委員会が発足した。

準備委員会では、国際会議会場の選定が収支予測との兼ね合いで決断のつきにくい状況にあった。候補としてつくば市の「つくば国際会議場」と東京新宿の「京王プラザホテル」が挙げられていたが、前者は会場費が後者の60%程度で済み、つくば高速鉄道の利用によりアクセスにも大きな支障がない。これに対し後者は会期中毎日の利便性に全く問題は生じずホテル側の支援体制やアメニティも最適であるものの、諸経費の予測がつきにくく、賛助会員へ大きな負担をかけることが予想される。学会理事会でも意見が等分に分かれ、結局、前回2003年の国際会議IGTC'03での参加会費、助成金と特別賛助会費、展示出展料の収入実績、諸経費支出実績に準拠した場合、収支に大きな問題は生じないものと判断し、後者を選定して理事会承認を得るに至った。展示について、室内高さ、床加重、搬入口などの制約が懸念されたが、展示委員会の努力と展示担当業者の経験により、後述のように出展者、入場者から好評を博す展示会となった。

この国際会議はガスタービン学会の主催する会議となってから2回目の会議であり、学会理事会と緊密な連絡をとって実行への準備を進めた。その支援組織である「2007年国際ガスタービン会議東京大会組織委員会」の発足に際し、組織委員会規約を策定し、委員長に第29期学会会長の住川雅晴氏、副委員長に第30期会長川口修氏、第31期会長吉野隆氏、元評議員福江一郎氏の3名、前々回および前回組織委員長の有賀一郎氏および伊藤源嗣氏を顧問として、63名の組織委員に国際会議実行に際して

の事業計画と収支予算、事業報告と収支決算を主とする審議をお願いした。2006年7月に第1回を開催してこの組織委員会役員が選任され、総務、論文、行事、展示および財務の計68名の実行委員会委員の紹介を経て、事業計画、収支予算案が承認された。国際会議直前2007年11月の第2回組織委員会では、準備状況、参加登録状況、プログラムと運営、論文講演会、展示関係、行事関係、財務関係、International Advisory Committee (IAC)開催などについて報告し、審議を得た。特に、参加勧誘につき格別の協力依頼を行った。

開催直前2007年11月の第15回実行委員会に至る間、Announcementを2005年2月に発行し、First CircularをASME-IGTIバルセロナ会議にあわせて2006年5月に発行、海外からの論文投稿と参加を促した。国際会議ホームページを開設し、インターネットによる会議情報の発信と論文投稿の諸手続きを行った。国際委員会のもとで前回に引き続きASME-IGTIとの協力が得られ、日本機械学会、日本航空宇宙学会、英国、ドイツ、フランス、イタリア、中国、韓国の関連学会が協力学会として参加することとなった。また、EU圏に設立されたETN(The European Turbine Network)からの協力が新しく始まった。

5件のKeynote Speechによるドイツ、米国とわが国における最新技術の将来展望、1件のInvite Lectureによる新しい教育方法への提言、アジア圏における電力事情とエネルギー事情に関するインド、中国、韓国、タイおよび日本から発信するForum、ETNとわが国の官産および米国DOEによる地球環境へのGTの貢献を目指すPanel Discussion、これらの全体会議により、この国際会議の性格がつけられた。一般講演では、空力や燃焼、材料ほかの48セッションで、海外53編、国内102編の論文投稿があったが、海外6編、国内2編のキャンセルがあり、147編の論文講演がなされた。延べ1300名を超える出席者のもとに、各セッションとも盛況に終わった。

もう一つの柱である無料のGT展示会には、前回より多少広い会場に39の企業、団体が出展し、7社によるビデオ放映のイベントが行われた。GTシステムや航空機エコエンジンのモックアップ、補機、計測機器、ソフトウェアなどの展示と共に、航空機エンジンCF34の実機が初めて陳列されたことにも担当団体の熱意が伺える。前回に引き続き、大学12研究室より研究ポスターがホワイエに張り出され、産学協同と先進研究の実情が紹介された。最終日正午までに延べ3,915名の入場者が記

録され、熱心な質問と説明の場が各所に見られた。落ち着いた高質の展示として好評を得た。

12月2日(日)のWelcome Receptionは吉識学会会長の挨拶により開会され、アトホームの雰囲気の中で再会の会話が随所にはずみ、国際会議の雰囲気が盛り上がった。12月5日(木)夜のBanquetは150名の出席を予定して、ホテル5階コンコードボールルームで開かれた。住川組織委員長と吉識学会会長の挨拶に始まり、IAC委員としてAachen工科大学Dieter Bohn 教授、VKIのVan den Braembussche教授からのグリーティングがあり、着席buffet形式で賑やかな会話と食事が進められた。実行委員長による実行委員会メンバーの紹介に引き続き、吉野学会前会長の挨拶により閉会された。

講演会最終日12月6日(木)、Panel Discussionに続いて、実行委員長より、会議の要約と参加者の協力に謝辞が述べられ、次回2011年に開催が予定される関西地区の雰囲気を紹介され、翌日7日(金)の見学会を残して、会議の閉会となった。

見学会には庄和排水場と物質・材料研究機構コースと東京電力富津および川崎発電所コースが準備され、それぞれ9名と43名の参加で実施された。質問も活発で参加者から好評を得たことが報告されている。

なお、各行事は水木新平行事委員長のもとで企画されてきたが、実施を見ずに急逝されたことを記しておく。

会期中、12月5日(木)に昼食を兼ねて、IAC委員会が開催され、学会会長、組織委員会役員、実行委員会メンバーが列席して、10名のIAC出席者からこの会議に関する意見を伺った。反省すべき課題も多く述べられたが、それらは国際委員会のもとでまとめられ、次回国際会議への参考に供されることとなる。

以上、80名の外国からの参加者を含め、498名の参加による第9回国際ガスタービン会議を好評裡に終えることができた。電気事業連合会、日本ガス協会、岩谷財団、スズキ財団、御器谷財団、東電記念科学技術研究所および中部電力基礎技術研究所よりの助成金、そして学会賛助会員59社からの特別賛助会費による支援に基づいて実施されたもので、関係各位に心より御礼申し上げます。さらに、組織委員、学会理事の皆様のご理解とご援助、長期にわたる実行委員諸氏のご努力に深く感謝する次第である。なお、極めて円滑な会場設営と諸行事運営には京王プラザホテル各位の豊富なノウハウと暖かいホスピタリティに負うものであることを記しておく。

(2007年国際ガスタービン会議東京大会実行委員長)



第33期（平成20年度）評議員選挙結果

評議員（勤務先五十音順）

番号	氏 名	勤 務 先
1	船崎 健一	岩手大学
2	鈴木 和雄	宇宙航空研究開発機構
3	野崎 理	宇宙航空研究開発機構
4	林 茂	宇宙航空研究開発機構
5	柳 良二	宇宙航空研究開発機構
6	武石 賢一郎	大阪大学
7	辻本 良信	大阪大学
8	辻川 吉春	大阪府立大学
9	井亀 優	海上技術安全研究所
10	佐々木 正史	北見工業大学
11	速水 洋	九州大学
12	古川 雅人	九州大学
13	岩井 裕	京都大学
14	小尾 晋之介	慶應義塾大学
15	松尾 亜紀子	慶應義塾大学
16	壹岐 典彦	産業技術総合研究所
17	太田 正廣	首都大学東京
18	白鳥 敏正	首都大学東京
19	藤岡 義行	超音速輸送機用推進システム技術研究組合
20	幸田 栄一	(財)電力中央研究所
21	藤岡 照高	(財)電力中央研究所
22	宇多村 元昭	東京工業大学
23	荒川 忠一	東京大学
24	金子 成彦	東京大学
25	長島 利夫	東京大学
26	渡辺 紀徳	東京大学
27	望月 貞成	東京農工大学
28	吉田 豊明	東京農工大学
29	本阿弥 眞治	東京理科大学
30	山本 誠	東京理科大学
31	中田 俊彦	東北大学

番号	氏 名	勤 務 先
32	山本 悟	東北大学
33	黒河 邦彦	(財)日本航空機エンジン協会
34	岡村 隆成	八戸工業大学
35	原田 広史	物質・材料研究機構
36	藤岡 順三	物質・材料研究機構
37	辻田 星歩	法政大学
38	工藤 一彦	北海道大学
39	杉山 弘	室蘭工業大学
40	太田 有	早稲田大学
41	山本 勝弘	早稲田大学
42	小林 健児	(株)I H I
43	小林 文博	(株)I H I
44	鈴木 健	(株)I H I
45	米澤 克夫	(株)I H I
46	佐々木 直人	(株)アイ・エフ・アイ・エアスペース
47	坂本 光男	大阪ガス(株)
48	鈴木 日出夫	(株)神戸製鋼所
49	衣斐 正宏	川崎重工(株)
50	木下 康裕	川崎重工(株)
51	森脇 健	川崎重工(株)
52	笠 正憲	川崎重工(株)
53	山下 直之	関西電力(株)
54	中西 章夫	九州電力(株)
55	吉岡 俊彦	(株)J A L エンジンテクノロジー
56	川池 和彦	大同メタル工業(株)
57	清水 希茂	中国電力(株)
58	坂野 貴洋	中部電力(株)
59	水本 明彦	電源開発(株)
60	中村 誠	東京ガス(株)
61	相沢 善吾	東京電力(株)
62	油谷 好浩	(株)東芝
63	石井 潤治	(株)東芝

番号	氏 名	勤 務 先
64	佐々木 隆	(株)東芝
65	市川 薫	東邦ガス(株)
66	遠藤 幸雄	東北電力(株)
67	秋田 浩市	トヨタ自動車(株)
68	樋口 新一郎	(株)トヨタ・ヒートポンプシステム
69	内田 博	(株)豊田中央研究所
70	川上 雅由	新潟原動機(株)
71	大田原 康彦	(株)日立製作所
72	武田 淳一郎	富士電機システム(株)
73	有馬 敏幸	(株)本田技術研究所
74	濱地 康之	ヤンマー(株)
75	西原 昭義	ヤンマーテクノニカルサービス(株)
76	有田 耕二郎	三井造船(株)
77	荻田 浩司	三菱自動車工業(株)
78	前川 篤	三菱重工業(株)
79	伊藤 栄作	三菱重工業(株)
80	福泉 靖史	三菱重工業(株)

得票総数	802票
有効票	791
無効票	10
白 票	1

先般第33期評議員の選挙を行いました。開票の結果をご報告いたします。

選挙管理委員長 波江 貞弘

2007年度 第3回見学会のお知らせ

2007年度第3回見学会を下記の要領で開催いたしますので、参加ご希望の方は、下記申込書にご記入の上、事務局宛お送り下さい。

★ 記 ★

1. 日時：2008年2月15日(金) 13:00～16:00
2. 場所：君津共同火力株式会社
千葉県君津市君津1
*コークス炉ガス、高炉ガスと言った副生ガスを燃料に利用した2種類の発電設備があります。
○ガスタービンコンバインドサイクル発電設備
○ボイラ／蒸気タービン発電設備
3. スケジュール：
(当日諸事情により変更の可能性がありますので予めご了承願います)
12:50 集合
13:00 挨拶・スケジュール説明
13:10～15:40 説明および現場視察
15:40～16:00 質疑応答
16:00 解散
4. 参加要領：(1)日本ガスタービン学会会員に限る。
なお、同業者の場合、お断りすることがございますので、事前に学会事務局にお問合せください。
(2)定員：50名（申込み多数の場合は抽選、結果は全員にご連絡します）
(3)参加費：¥5,000
(4)集合場所・時刻（バスで送迎します）：申込書の集合場所を○で囲む。
12:00 木更津駅東口（高速バス停辺り）
12:00 君津駅北口
12:00 君津製鐵所（高速バス停辺り）
注記；羽田発高速バスの君津バスターミナルは君津駅から離れています。君津製鐵所までお乗り下さい。
(5)申込み方法：下記申込用紙にご記入の上、2月7日(木)までに
FAX、郵送、またはE-mailにて学会事務局にお送り下さい。
(E-mailにてご連絡いたしますので必ずご記入下さい)

見学会参加申込書

申込締切日（2008年2月7日）

開催日（2008年2月15日）

(社)日本ガスタービン学会 行

FAX：03-3365-0387

TEL：03-3365-0095

E-mail：gtsj@pluto.dti.ne.jp

氏 名			
勤務先			
勤務先 住 所	〒		
TEL		FAX	
連絡先	〒		
集合場所 選択	(いずれかを○で囲む) 木更津駅東口 君津駅北口 君津製鐵所		
E-mail			

日本ガスタービン学会英文電子ジャーナル International Journal of Gas Turbine, Propulsion and Power Systems 創刊のお知らせ

英文論文集編集委員会

本会の英文電子ジャーナルInternational Journal of Gas Turbine, Propulsion and Power Systems (略称JGPP) は、昨年度論文募集を開始し、発刊に向けて準備を進めて参りましたが、このたび10月に第1号を発行することができました。創刊号の内容は以下の通りです。学会ホームページ上に掲載されておりますので、是非ご覧下さい。

International Journal of Gas Turbine, Propulsion and Power Systems (JGPP) ISSN 1882 - 5079

October 2007, Volume 1, Number 1

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

Contents :

Preface

Technical Papers

1. "Energy Situation and Related Technology Development in Japan", Kiichiro Ogawa
2. "Development of Gas Turbine Combustor for Each Gasified Fuel and Prospect of High-efficiency Generation of Various Resources", Takeharu Hasegawa
3. "Numerical Study on Flow Induced Vibration of LOX Post in Liquid Rocket Engine Preburner", Chihiro Inoue, Toshinori Watanabe, Takehiro Himeno
4. "Development of Prediction Method of Boundary Layer Bypass Transition using Intermittency Transport Equation", Most. Nasrin Akhter, Ken-ichi Funazaki

学会誌2006年11月号 (Vol.34, No.6, pp.473-474) でご案内致しましたが、このジャーナルの概要と特徴は以下の通りです。

- ・季刊の英文電子ジャーナルで、日本ガスタービン学会ホームページに掲載します。アクセスは自由です。
- ・電子版ではありますが、巻・号・ページ数をつけ、ISSNを設定して、引用に支障がないように発行します。
- ・投稿料は無料です。
- ・著者には印刷した別刷りを有料頒布します。
- ・各号のCD-ROM版を作成し、販売します。
- ・原稿の著作権は日本ガスタービン学会に帰属します。
- ・ジャーナル名からもわかるように、広範な技術分野を対象とします。ガスタービン、航空宇宙推進、ターボチャージャー、蒸気タービン、発電システム、保守管理、運用、風力発電、燃料電池、材料等、およびこれらに関連する分野の論文を掲載します。
- ・原著論文だけでなく、研究展望、製品情報、市場動向、新技術などの解説も掲載し、読者に有用な情報を提供します。
- ・日本およびアジアの情報を発信、あるいは交換するプラットフォームを提供します。
- ・日本ガスタービン学会が主催するInternational Gas Turbine Congressや、共催するAsian Congress on Gas Turbinesで発表された論文を投稿することができます。
- ・日本ガスタービン学会誌に掲載された和文論文を英文化して再録することが可能です。
- ・電子版のため、カラーの図を用いることができます。

以上のような刊行方針で、継続的に発刊して行く予定です。皆様の活発な投稿を宜しくお願い致します。原稿はPDFファイルの形で電子メールにより投稿していただきます。投稿方法の詳細につきましては、学会ホームページの英文案内<http://wwwsoc.nii.ac.jp/jgpp/>をご参照下さい。

また上述の通り、IGTCで発表された論文の投稿を歓迎致します。12月に開催されたIGTC 2007 Tokyoで発表された著者の皆様には、講演論文をJGPPに積極的に投稿して頂くよう、宜しくお願い致します。

今後ともJGPPを国際誌として広く展開して行くため、会員各位のご支援・ご協力を頂きますよう、何卒宜しくお願い申し上げます。

Editor-in-Chief 川口修 (慶應大学)

Editorial Advisory Board

青木素直 (三菱重工), 井上雅弘 (佐世保高専), 大田英輔 (早稲田大学), 佐藤幹夫 (電力中央研究所), 田中良平 (超高温材料研究所), 藤網義行 (超音速輸送機用推進システム技術研究組合), 吉識晴夫 (帝京平成大学), D. R. Ballal (Dayton University, USA), D. E. Bohn (RWTH Aachen, Germany), F. A. E. Breugelmans (Von Karman Institute, Belgium), J. Chen (Chinese Academy of Science, China), J. D. Denton (Cambridge University, UK), A. P. Dowling (Cambridge University, UK), E. M. Greitzer (Massachusetts Institute of Technology, USA), S.-H. Kang (Seoul National University, Korea), D. C. Wisler (General Electric, USA)

Editorial Committee

有村久登 (三菱重工), 石川克彦 (川崎重工), 大北洋治 (石川島播磨重工), 太田有 (早稲田大学), 加藤大 (石川島播磨重工), 柴田貴範 (日立製作所), 田頭剛 (JAXA), 武石賢一郎 (大阪大学), 土屋利明 (東京電力), 船崎健一 (岩手大学), 山根敬 (JAXA, 幹事), 山本武 (JAXA), 山本誠 (東京理科大学), 吉岡洋明 (東芝), 渡辺紀徳 (東京大学, 委員長)

◇2008年度会費納入のお願い◇

2008年度会費をお納めいただく時期となりました。下記金額を所定の口座または事務局宛お送りください。

尚, 既に銀行引き落としの手続きをされている方は, 2008年3月24日貴口座より引き落としさせていただく予定であります。ここにあらためてご連絡させていただきますので, ご了承ください。

賛助会員	1口	70,000円
正会員		5,000円
学生会員		2,500円

郵便為替 00170-9-179578
 銀行 みずほ銀行 新宿西口支店
 普通預金口座 1703707
 いずれも口座名は(株)日本ガスタービン学会です

※会費自動振替につきましては, かねてよりご協力をお願い致しておりますが, 未だ手続きをなさっておられない方は, 巻末の振替依頼書にご記入の上, 事務局迄お送り下さい。自動振替をご利用されますと、振り込み手数料は学会負担となります。

事務手続き合理化のため, 皆様のご協力お願いいたします。

訃 報

終身会員 豊倉 富太郎 君 80才

2007年10月3日 逝去されました

ここに謹んで哀悼の意を表します

新年おめでとうございます。本年はいよいよ京都議定書の第一約束期間開始となりますことから今1月号では「環境保護のためのガスタービン利用技術」と題して特集を組ませていただきました。ガスタービンが航空分野はもとより発電分野、産業分野等において重要な役割を果たしていることは言うまでもなく、天然ガス・石炭火力発電の効率向上、コジェネレーションの高度化、バイオマス・未利用エネルギーの利用、環境汚染物質処理への活用、将来的には高温燃料電池との複合化、種々のCO₂回収型発電など、地球環境保護対策において果たすべき役割も大きいと考えられます。ガスタービンの代表的な利用分野における環境対応について本学会誌の昨年3月号の特集「ガスタービンの将来展望」でもかなり触れられておりますことから、本号では最近の学会誌であまり取り上げられていない項目を選びました。まず火力発電の効率向上によるCO₂排出低減に関連し、今後のガスタービン高温化に対応する低NO_x燃焼技術の研究開発状況について御紹介いただきました。またガスタービン利用による船舶の環境負荷低減としてスーパーマリンガスタービン(SMGT)の最終成果について御執筆いただきました。さらに分散電源におけるガスタービンの排熱利用の観点から、熱需要と電力需要の時間的ギャップを緩和するための蓄熱システムと組み合わせたコジェネレーション、排熱利用冷房に関連する吸収式冷凍機の最近の進展、80～90℃の温水排熱を熱源とする発電装置について解説していただきました。温水排熱発電については冷媒を用いたランキンサイクルの膨張機にマイクロガスタービン技術が応用されているのが興味深く感じた次第です。かつてのオイルショックの時とは異なり、省エネルギー・新エネルギー技術の経済性評価にCO₂排出削減効果も関与してくることから、ライフサイクル的に効果のある技術であれば

今後続く温暖化防止推進の中で取組んでいく意義があると思います。

最後になりましたが、ご多忙の中、本号に御執筆いただきました著者の方々に心より御礼申し上げます。なお本号の企画編集は名本委員(ダイハツディーゼル)、刑部委員(東京海洋大)、服部委員(三井造船)と長崎(東工大)が担当いたしました。(文責:長崎)

(表紙写真)

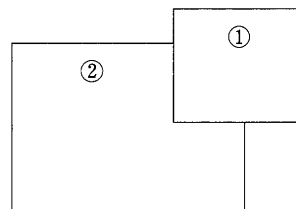
表紙図表構成

①論説・解説 本文13頁 図1

この写真は、排温水を熱源とするランキンサイクル発電の実証試験機外観である。MGTのコンパクト化技術(タービン、発電機)、系統連系技術などを応用し、系統連系可能な小型高速の蒸気タービン発電機としている。

②論説・解説 本文4頁 写真1

この写真は、国家プロジェクト“1700℃級ガスタービンの要素開発研究”で開発中の燃焼器である。排ガス再循環(EGR)方式を用いて1700℃のガス温度においてもNO_x50ppmの低エミッションを目指す。



だより

♣事務局 ☒ ♣

皆さま、新年おめでとうございます。

今年は平成20年。節目の年を迎え、新しい時代の訪れに、期待に胸が高鳴ります。皆さまにとりまして実り多き一年でありますようお祈り申し上げます。

去る12月、国際ガスタービン会議IGTC2007が、京王プラザホテルにて開催されました。500名近くの会議参加者で盛会となり、成功裏に終えることができました。会場に足をお運びいただいた皆さま、どうもありがとうございました。また、長い間にわたりご支援・ご協力をいただいた関係各位の皆さまに、深く感謝申し上げます。

さて、来たる1月24日・25日に、第36回ガスタービンセミナーが、東京ガス(株)本社にて開催されます。多くの皆さまのご参加をお待ちしておりますので、どうぞ奮ってご参加ください。

また、2月15日には、第3回見学会が開催されます。見学先は、君津共同火力(株)(千葉県君津市)で、コークス炉ガス、高炉ガスの副生ガスを燃料に利用した2種類の発電設備を見学する予定です。こちらでも現在参加受付中ですので、皆さまのご参加をお待ちしております。

この事務局便りは、昨年より、伊藤事務局長・中村さん・高田の3名の持ち回りで進めることとなりました。今月号は高田が初めての担当をさせていただきました。私は、昨年までは皆さまにお目にかかる機会が少なかったのですが、今年はセミナーや教育シンポジウムなどでお会いする機会もあり、楽しみにしております。今後も会員の皆さまのサポートならびにサービス向上に努めて参りますので、どうぞよろしくお願いいたします。

[高田]

新年おめでとうございます。本年はいよいよ京都議定書の第一約束期間開始となりますことから今1月号では「環境保護のためのガスタービン利用技術」と題して特集を組ませていただきました。ガスタービンが航空分野はもとより発電分野、産業分野等において重要な役割を果たしていることは言うまでもなく、天然ガス・石炭火力発電の効率向上、コージェネレーションの高度化、バイオマス・未利用エネルギーの利用、環境汚染物質処理への活用、将来的には高温燃料電池との複合化、種々のCO₂回収型発電など、地球環境保護対策において果たすべき役割も大きいと考えられます。ガスタービンの代表的な利用分野における環境対応について本学会誌の昨年3月号の特集「ガスタービンの将来展望」でもかなり触れられておりますことから、本号では最近の学会誌であまり取り上げられていない項目を選びました。まず火力発電の効率向上によるCO₂排出低減に関連し、今後のガスタービン高温化に対応する低NO_x燃焼技術の研究開発状況について御紹介いただきました。またガスタービン利用による船舶の環境負荷低減としてスーパーマリンガスタービン(SMGT)の最終成果について御執筆いただきました。さらに分散電源におけるガスタービンの排熱利用の観点から、熱需要と電力需要の時間的ギャップを緩和するための蓄熱システムと組み合わせたコージェネレーション、排熱利用冷房に関連する吸収式冷凍機の最近の進展、80～90℃の温水排熱を熱源とする発電装置について解説していただきました。温水排熱発電については冷媒を用いたランキンサイクルの膨張機にマイクロガスタービン技術が応用されているのが興味深く感じた次第です。かつてのオイルショックの時とは異なり、省エネルギー・新エネルギー技術の経済性評価にCO₂排出削減効果も関与してくることから、ライフサイクル的に効果のある技術であれば

今後続く温暖化防止推進の中で取組んでいく意義があると思います。

最後になりましたが、ご多忙の中、本号に御執筆いただきました著者の方々に心より御礼申し上げます。なお本号の企画編集は名本委員(ダイハツディーゼル)、刑部委員(東京海洋大)、服部委員(三井造船)と長崎(東工大)が担当いたしました。(文責:長崎)

(表紙写真)

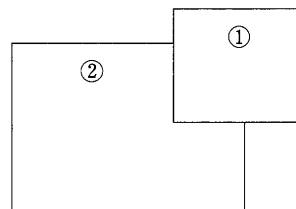
表紙図表構成

①論説・解説 本文13頁 図1

この写真は、排温水を熱源とするランキンサイクル発電の実証試験機外観である。MGTのコンパクト化技術(タービン、発電機)、系統連系技術などを応用し、系統連系可能な小型高速の蒸気タービン発電機としている。

②論説・解説 本文4頁 写真1

この写真は、国家プロジェクト“1700℃級ガスタービンの要素開発研究”で開発中の燃焼器である。排ガス再循環(EGR)方式を用いて1700℃のガス温度においてもNO_x50ppmの低エミッションを目指す。



だより

♣事務局 ☒ ♣

皆さま、新年おめでとうございます。

今年は平成20年。節目の年を迎え、新しい時代の訪れに、期待に胸が高鳴ります。皆さまにとりまして実り多き一年でありますようお祈り申し上げます。

去る12月、国際ガスタービン会議IGTC2007が、京王プラザホテルにて開催されました。500名近くの会議参加者で盛会となり、成功裏に終えることができました。会場に足をお運びいただいた皆さま、どうもありがとうございました。また、長い間にわたりご支援・ご協力をいただいた関係各位の皆さまに、深く感謝申し上げます。

さて、来たる1月24日・25日に、第36回ガスタービンセミナーが、東京ガス(株)本社にて開催されます。多くの皆さまのご参加をお待ちしておりますので、どうぞ奮ってご参加ください。

また、2月15日には、第3回見学会が開催されます。見学先は、君津共同火力(株)(千葉県君津市)で、コークス炉ガス、高炉ガスの副生ガスを燃料に利用した2種類の発電設備を見学する予定です。こちらでも現在参加受付中ですので、皆さまのご参加をお待ちしております。

この事務局便りは、昨年より、伊藤事務局長・中村さん・高田の3名の持ち回りで進めることとなりました。今月号は高田が初めての担当をさせていただきました。私は、昨年までは皆さまにお目にかかる機会が少なかったのですが、今年はセミナーや教育シンポジウムなどでお会いする機会もあり、楽しみにしております。今後も会員の皆さまのサポートならびにサービス向上に努めて参りますので、どうぞよろしくお願いいたします。

[高田]

新年おめでとうございます。本年はいよいよ京都議定書の第一約束期間開始となりますことから今1月号では「環境保護のためのガスタービン利用技術」と題して特集を組ませていただきました。ガスタービンが航空分野はもとより発電分野、産業分野等において重要な役割を果たしていることは言うまでもなく、天然ガス・石炭火力発電の効率向上、コージェネレーションの高度化、バイオマス・未利用エネルギーの利用、環境汚染物質処理への活用、将来的には高温燃料電池との複合化、種々のCO₂回収型発電など、地球環境保護対策において果たすべき役割も大きいと考えられます。ガスタービンの代表的な利用分野における環境対応について本学会誌の昨年3月号の特集「ガスタービンの将来展望」でもかなり触れられておりますことから、本号では最近の学会誌であまり取り上げられていない項目を選びました。まず火力発電の効率向上によるCO₂排出低減に関連し、今後のガスタービン高温化に対応する低NO_x燃焼技術の研究開発状況について御紹介いただきました。またガスタービン利用による船舶の環境負荷低減としてスーパーマリンガスタービン(SMGT)の最終成果について御執筆いただきました。さらに分散電源におけるガスタービンの排熱利用の観点から、熱需要と電力需要の時間的ギャップを緩和するための蓄熱システムと組み合わせたコージェネレーション、排熱利用冷房に関連する吸収式冷凍機の最近の進展、80～90℃の温水排熱を熱源とする発電装置について解説していただきました。温水排熱発電については冷媒を用いたランキンサイクルの膨張機にマイクロガスタービン技術が応用されているのが興味深く感じた次第です。かつてのオイルショックの時とは異なり、省エネルギー・新エネルギー技術の経済性評価にCO₂排出削減効果も関与してくることから、ライフサイクル的に効果のある技術であれば

今後続く温暖化防止推進の中で取組んでいく意義があると思います。

最後になりましたが、ご多忙の中、本号に御執筆いただきました著者の方々に心より御礼申し上げます。なお本号の企画編集は名本委員(ダイハツディーゼル)、刑部委員(東京海洋大)、服部委員(三井造船)と長崎(東工大)が担当いたしました。(文責:長崎)

(表紙写真)

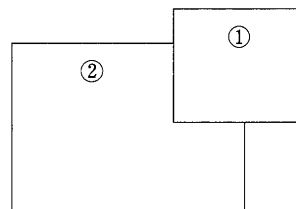
表紙図表構成

①論説・解説 本文13頁 図1

この写真は、排温水を熱源とするランキンサイクル発電の実証試験機外観である。MGTのコンパクト化技術(タービン、発電機)、系統連系技術などを応用し、系統連系可能な小型高速の蒸気タービン発電機としている。

②論説・解説 本文4頁 写真1

この写真は、国家プロジェクト“1700℃級ガスタービンの要素開発研究”で開発中の燃焼器である。排ガス再循環(EGR)方式を用いて1700℃のガス温度においてもNO_x50ppmの低エミッションを目指す。



だより

♣事務局 ☒ ♣

皆さま、新年おめでとうございます。

今年は平成20年。節目の年を迎え、新しい時代の訪れに、期待に胸が高鳴ります。皆さまにとりまして実り多き一年でありますようお祈り申し上げます。

去る12月、国際ガスタービン会議IGTC2007が、京王プラザホテルにて開催されました。500名近くの会議参加者で盛会となり、成功裏に終えることができました。会場に足をお運びいただいた皆さま、どうもありがとうございました。また、長い間にわたりご支援・ご協力をいただいた関係各位の皆さまに、深く感謝申し上げます。

さて、来たる1月24日・25日に、第36回ガスタービンセミナーが、東京ガス(株)本社にて開催されます。多くの皆さまのご参加をお待ちしておりますので、どうぞ奮ってご参加ください。

また、2月15日には、第3回見学会が開催されます。見学先は、君津共同火力(株)(千葉県君津市)で、コークス炉ガス、高炉ガスの副生ガスを燃料に利用した2種類の発電設備を見学する予定です。こちらも現在参加受付中ですので、皆さまのご参加をお待ちしております。

この事務局便りは、昨年より、伊藤事務局長・中村さん・高田の3名の持ち回りで進めることとなりました。今月号は高田が初めての担当をさせていただきました。私は、昨年までは皆さまにお目にかかる機会が少なかったのですが、今年はセミナーや教育シンポジウムなどでお会いする機会もあり、楽しみにしております。今後も会員の皆さまのサポートならびにサービス向上に努めて参りますので、どうぞよろしくお願いいたします。

[高田]

学会誌編集規定

2003.8.29改訂

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

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

3. 執筆者は編集委員会が定める原稿執筆要領に従って原稿を執筆し、編集委員会事務局まで原稿を送付する。事務局の所在は付記1に示す。
4. 会員は本学会誌に投稿することができる。投稿された原稿は、編集委員会が定める方法により審査され、編集委員会の承認を得て、学会誌に掲載される。技術論文の投稿に関しては、別に技術論文投稿規定を定める。
5. 依頼原稿および学会原稿についても、編集委員会は委員会の定める方法により原稿の査読を行う。編集委員会は、査読の結果に基づいて執筆者に原稿の修正を依頼する場合がある。
6. 依頼原稿には定められた原稿料を支払う。投稿原稿および学会原稿には原則として原稿料は支払わないものとする。原稿料の単価は理事会の承認を受けて定める。
7. 学会誌に掲載された著作物の著作権は原則として学会に帰属する。

但し、著作者自身または著作者が帰属する法人等が、自ら書いた記事・論文等の全文または一部を転載、翻訳・翻案などの形で利用する場合、本会では原則としてこれを妨げない。ただし、著作者本人であっても学会誌を複製の形で全文を他の著作物に利用する場合は、文書で本会に許諾を求めなければならない。

8. 著作者は、学会または学会からの使用許諾を受けた者に対し著作者人格権を行使しない。
9. 本会発行の著作物に掲載された記事、論文などの著作物について、著作権侵害者、名誉毀損、またはその他の紛争が生じた場合、当該著作者の著作者自身又は著作者の帰属する法人等を当事者とする。

付記1. 原稿送付先および原稿執筆要領請求先
〒105-0004 東京都港区新橋5-20-4
Tel. 03-5733-5157 Fax. 03-5733-5167
ニッセイエブロ(株) 制作部 編集制作課
E-mail: eblo_h3@eblo.co.jp
学会誌担当 佐藤孝憲

技術論文投稿規定

2005.12.8改訂

1. 本学会誌に技術論文として投稿する原稿は次の条件を満たすものであること。
 - 1) 主たる著者は本学会会員であること。
 - 2) 投稿原稿は著者の原著で、ガスタービンおよび過給機の技術に関連するものであること。
 - 3) 投稿原稿は、一般に公表されている刊行物に未投稿のものであること。ただし、要旨または抄録として発表されたものは差し支えない。
2. 使用言語は原則として日本語とする。ただし、第一著者が日本語による論文執筆が困難な場合、および本学会主催の国際会議で発表した論文は英語による投稿を認める。なお、原稿執筆は日本語の場合に準拠するものとする。
3. 投稿原稿の規定ページ数は原則として図表を含めてA4版刷り上がり6ページ以内とする。ただし、1ページにつき16,000円の著者負担で4ページ以内の増ページをすることができる。
4. 図・写真等について、著者が実費差額を負担する場合にはカラー印刷とすることができる。
5. 投稿者は原稿執筆要領に従い執筆し、正原稿1部副原稿(コピー)2部を学会編集委員会に提出する。原稿には英文アブストラクトおよび所定の論文表紙を添付する。
6. 原稿受付日は原稿が事務局で受理された日とする。
7. 投稿原稿は技術論文校閲基準に基づいて校閲し、編集委員会で採否を決定する。
8. 論文内容についての責任は、すべて著者が負う。
9. 本学会誌に掲載される技術論文の著作権に関しては、学会誌編集規定7.および8.を適用する。

日本ガスタービン学会誌 Vol.36 No.1 2008.1

発行日 2008年1月20日
発行所 社団法人日本ガスタービン学会
編集者 山本 誠
発行者 吉識晴夫
〒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 ニッセイエブロ(株)
〒105-0004 東京都港区新橋5-20-4
Tel. 03-5733-5157 Fax. 03-5733-5167

お詫び: 前号(Vol.35 No.6)におきまして発行日に誤りがありました。
(誤) 2007年9月20日 (正) 2007年11月20日
関係各位にお詫び申し上げますとともに訂正させていただきます。

©2008, (株)日本ガスタービン学会

複写される方へ

本会では下記協会に複写に関する権利委託をしていますので、本誌に掲載された著作物を複写したい方は、同協会より許諾を受けて複写して下さい。但し(株)日本複写権センター(同協会より権利を再委託)と包括複写許諾契約を締結している企業の社員による社内利用目的の複写はその必要はありません。(社外頒布用の複写は許諾が必要です)

権利委託先: (中法) 学術著作権協会
〒107-0052 東京都港区赤坂9-6-41 乃木坂ビル
電話(03)3475-5618 FAX(03)3475-5619
E-mail: info@jaacc.jp

なお、著作物の転載・翻訳のような、複写以外の許諾は、学術著作権協会では扱っていませんので、直接日本ガスタービン学会へご連絡下さい。また、アメリカ合衆国において本書を複写したい場合は、次の団体に連絡して下さい。

Copyright Clearance Center, Inc.
222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923 USA
Phone 1-978-750-8400 FAX 1-978-646-8600

学会誌編集規定

2003.8.29改訂

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

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

3. 執筆者は編集委員会が定める原稿執筆要領に従って原稿を執筆し、編集委員会事務局まで原稿を送付する。事務局の所在は付記1に示す。
4. 会員は本学会誌に投稿することができる。投稿された原稿は、編集委員会が定める方法により審査され、編集委員会の承認を得て、学会誌に掲載される。技術論文の投稿に関しては、別に技術論文投稿規定を定める。
5. 依頼原稿および学会原稿についても、編集委員会は委員会の定める方法により原稿の査読を行う。編集委員会は、査読の結果に基づいて執筆者に原稿の修正を依頼する場合がある。
6. 依頼原稿には定められた原稿料を支払う。投稿原稿および学会原稿には原則として原稿料は支払わないものとする。原稿料の単価は理事会の承認を受けて定める。
7. 学会誌に掲載された著作物の著作権は原則として学会に帰属する。

但し、著作者自身または著作者が帰属する法人等が、自ら書いた記事・論文等の全文または一部を転載、翻訳・翻案などの形で利用する場合、本会では原則としてこれを妨げない。ただし、著作者本人であっても学会誌を複製の形で全文を他の著作物に利用する場合は、文書で本会に許諾を求めなければならない。

8. 著作者は、学会または学会からの使用許諾を受けた者に対し著作者人格権を行使しない。
9. 本会発行の著作物に掲載された記事、論文などの著作物について、著作権侵害者、名誉毀損、またはその他の紛争が生じた場合、当該著作者の著作者自身又は著作者の帰属する法人等を当事者とする。

付記1. 原稿送付先および原稿執筆要領請求先
〒105-0004 東京都港区新橋5-20-4
Tel. 03-5733-5157 Fax. 03-5733-5167
ニッセイエブロ(株) 制作部 編集制作課
E-mail: eblo_h3@eblo.co.jp
学会誌担当 佐藤孝憲

技術論文投稿規定

2005.12.8改訂

1. 本学会誌に技術論文として投稿する原稿は次の条件を満たすものであること。
 - 1) 主たる著者は本学会会員であること。
 - 2) 投稿原稿は著者の原著で、ガスタービンおよび過給機の技術に関連するものであること。
 - 3) 投稿原稿は、一般に公表されている刊行物に未投稿のものであること。ただし、要旨または抄録として発表されたものは差し支えない。
2. 使用言語は原則として日本語とする。ただし、第一著者が日本語による論文執筆が困難な場合、および本学会主催の国際会議で発表した論文は英語による投稿を認める。なお、原稿執筆は日本語の場合に準拠するものとする。
3. 投稿原稿の規定ページ数は原則として図表を含めてA4版刷り上がり6ページ以内とする。ただし、1ページにつき16,000円の著者負担で4ページ以内の増ページをすることができる。
4. 図・写真等について、著者が実費差額を負担する場合にはカラー印刷とすることができる。
5. 投稿者は原稿執筆要領に従い執筆し、正原稿1部副原稿(コピー)2部を学会編集委員会に提出する。原稿には英文アブストラクトおよび所定の論文表紙を添付する。
6. 原稿受付日は原稿が事務局で受理された日とする。
7. 投稿原稿は技術論文校閲基準に基づいて校閲し、編集委員会で採否を決定する。
8. 論文内容についての責任は、すべて著者が負う。
9. 本学会誌に掲載される技術論文の著作権に関しては、学会誌編集規定7.および8.を適用する。

日本ガスタービン学会誌 Vol.36 No.1 2008.1

発行日 2008年1月20日
発行所 社団法人日本ガスタービン学会
編集者 山本 誠
発行者 吉識晴夫
〒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 ニッセイエブロ(株)
〒105-0004 東京都港区新橋5-20-4
Tel. 03-5733-5157 Fax. 03-5733-5167

お詫び: 前号(Vol.35 No.6)におきまして発行日に誤りがありました。
(誤) 2007年9月20日 (正) 2007年11月20日
関係各位にお詫び申し上げますとともに訂正させていただきます。

©2008, (株)日本ガスタービン学会

複写される方へ

本会では下記協会に複写に関する権利委託をしていますので、本誌に掲載された著作物を複写したい方は、同協会より許諾を受けて複写して下さい。但し(株)日本複写権センター(同協会より権利を再委託)と包括複写許諾契約を締結している企業の社員による社内利用目的の複写はその必要はありません。(社外頒布用の複写は許諾が必要です)

権利委託先: (中法) 学術著作権協会
〒107-0052 東京都港区赤坂9-6-41 乃木坂ビル
電話(03)3475-5618 FAX(03)3475-5619
E-mail: info@jaacc.jp

なお、著作物の転載・翻訳のような、複写以外の許諾は、学術著作権協会では扱っていませんので、直接日本ガスタービン学会へご連絡下さい。また、アメリカ合衆国において本書を複写したい場合は、次の団体に連絡して下さい。

Copyright Clearance Center, Inc.
222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923 USA
Phone 1-978-750-8400 FAX 1-978-646-8600

学会誌編集規定

2003.8.29改訂

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

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

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

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

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

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

7. 学会誌に掲載された著作物の著作権は原則として学会に帰属する。

但し、著作者自身または著作者が帰属する法人等が、自ら書いた記事・論文等の全文または一部を転載、翻訳・翻案などの形で利用する場合、本会では原則としてこれを妨げない。ただし、著作者本人であっても学会誌を複製の形で全文を他の著作物に利用する場合は、文書で本会に許諾を求めなければならない。

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

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

付記1. 原稿送付先および原稿執筆要領請求先
〒105-0004 東京都港区新橋5-20-4
Tel. 03-5733-5157 Fax. 03-5733-5167
ニッセイエブロ(株) 制作部 編集制作課
E-mail: eblo_h3@eblo.co.jp
学会誌担当 佐藤孝憲

技術論文投稿規定

2005.12.8改訂

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

- 1) 主たる著者は本学会会員であること。
- 2) 投稿原稿は著者の原著で、ガスタービンおよび過給機の技術に関連するものであること。
- 3) 投稿原稿は、一般に公表されている刊行物に未投稿のものであること。ただし、要旨または抄録として発表されたものは差し支えない。
2. 使用言語は原則として日本語とする。ただし、第一著者が日本語による論文執筆が困難な場合、および本学会主催の国際会議で発表した論文は英語による投稿を認める。なお、原稿執筆は日本語の場合に準拠するものとする。
3. 投稿原稿の規定ページ数は原則として図表を含めてA4版刷り上がり6ページ以内とする。ただし、1ページにつき16,000円の著者負担で4ページ以内の増ページをすることができる。
4. 図・写真等について、著者が実費差額を負担する場合にはカラー印刷とすることができる。
5. 投稿者は原稿執筆要領に従い執筆し、正原稿1部副原稿(コピー)2部を学会編集委員会に提出する。原稿には英文アブストラクトおよび所定の論文表紙を添付する。
6. 原稿受付日は原稿が事務局で受理された日とする。
7. 投稿原稿は技術論文校閲基準に基づいて校閲し、編集委員会で採否を決定する。
8. 論文内容についての責任は、すべて著者が負う。
9. 本学会誌に掲載される技術論文の著作権に関しては、学会誌編集規定7.および8.を適用する。

日本ガスタービン学会誌 Vol.36 No.1 2008.1

発行日 2008年1月20日
発行所 社団法人日本ガスタービン学会
編集者 山本 誠
発行者 吉識晴夫
〒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 ニッセイエブロ(株)
〒105-0004 東京都港区新橋5-20-4
Tel. 03-5733-5157 Fax. 03-5733-5167

お詫び: 前号(Vol.35 No.6)におきまして発行日に誤りがありました。
(誤) 2007年9月20日 (正) 2007年11月20日
関係各位にお詫び申し上げますとともに訂正させていただきます。

©2008, (株)日本ガスタービン学会

複写される方へ

本会では下記協会に複写に関する権利委託をしていますので、本誌に掲載された著作物を複写したい方は、同協会より許諾を受けて複写して下さい。但し(株)日本複写権センター(同協会より権利を再委託)と包括複写許諾契約を締結している企業の社員による社内利用目的の複写はその必要はありません。(社外頒布用の複写は許諾が必要です)

権利委託先: (中法) 学術著作権協会
〒107-0052 東京都港区赤坂9-6-41 乃木坂ビル
電話(03)3475-5618 FAX(03)3475-5619
E-mail: info@jaacc.jp

なお、著作物の転載・翻訳のような、複写以外の許諾は、学術著作権協会では扱っていませんので、直接日本ガスタービン学会へご連絡下さい。また、アメリカ合衆国において本書を複写したい場合は、次の団体に連絡して下さい。

Copyright Clearance Center, Inc.
222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923 USA
Phone 1-978-750-8400 FAX 1-978-646-8600

学会誌編集規定

2003.8.29改訂

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

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

3. 執筆者は編集委員会が定める原稿執筆要領に従って原稿を執筆し、編集委員会事務局まで原稿を送付する。事務局の所在は付記1に示す。
4. 会員は本学会誌に投稿することができる。投稿された原稿は、編集委員会が定める方法により審査され、編集委員会の承認を得て、学会誌に掲載される。技術論文の投稿に関しては、別に技術論文投稿規定を定める。
5. 依頼原稿および学会原稿についても、編集委員会は委員会の定める方法により原稿の査読を行う。編集委員会は、査読の結果に基づいて執筆者に原稿の修正を依頼する場合がある。
6. 依頼原稿には定められた原稿料を支払う。投稿原稿および学会原稿には原則として原稿料は支払わないものとする。原稿料の単価は理事会の承認を受けて定める。
7. 学会誌に掲載された著作物の著作権は原則として学会に帰属する。

但し、著作者自身または著作者が帰属する法人等が、自ら書いた記事・論文等の全文または一部を転載、翻訳・翻案などの形で利用する場合、本会では原則としてこれを妨げない。ただし、著作者本人であっても学会誌を複製の形で全文を他の著作物に利用する場合は、文書で本会に許諾を求めなければならない。

8. 著作者は、学会または学会からの使用許諾を受けた者に対し著作者人格権を行使しない。
9. 本会発行の著作物に掲載された記事、論文などの著作物について、著作権侵害者、名誉毀損、またはその他の紛争が生じた場合、当該著作者の著作者自身又は著作者の帰属する法人等を当事者とする。

付記1. 原稿送付先および原稿執筆要領請求先
〒105-0004 東京都港区新橋5-20-4
Tel. 03-5733-5157 Fax. 03-5733-5167
ニッセイエブロ(株) 制作部 編集制作課
E-mail: eblo_h3@eblo.co.jp
学会誌担当 佐藤孝憲

技術論文投稿規定

2005.12.8改訂

1. 本学会誌に技術論文として投稿する原稿は次の条件を満たすものであること。
 - 1) 主たる著者は本学会会員であること。
 - 2) 投稿原稿は著者の原著で、ガスタービンおよび過給機の技術に関連するものであること。
 - 3) 投稿原稿は、一般に公表されている刊行物に未投稿のものであること。ただし、要旨または抄録として発表されたものは差し支えない。
2. 使用言語は原則として日本語とする。ただし、第一著者が日本語による論文執筆が困難な場合、および本学会主催の国際会議で発表した論文は英語による投稿を認める。なお、原稿執筆は日本語の場合に準拠するものとする。
3. 投稿原稿の規定ページ数は原則として図表を含めてA4版刷り上がり6ページ以内とする。ただし、1ページにつき16,000円の著者負担で4ページ以内の増ページをすることができる。
4. 図・写真等について、著者が実費差額を負担する場合にはカラー印刷とすることができる。
5. 投稿者は原稿執筆要領に従い執筆し、正原稿1部副原稿(コピー)2部を学会編集委員会に提出する。原稿には英文アブストラクトおよび所定の論文表紙を添付する。
6. 原稿受付日は原稿が事務局で受理された日とする。
7. 投稿原稿は技術論文校閲基準に基づいて校閲し、編集委員会で採否を決定する。
8. 論文内容についての責任は、すべて著者が負う。
9. 本学会誌に掲載される技術論文の著作権に関しては、学会誌編集規定7.および8.を適用する。

日本ガスタービン学会誌 Vol.36 No.1 2008.1

発行日 2008年1月20日
発行所 社団法人日本ガスタービン学会
編集者 山本 誠
発行者 吉識晴夫
〒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 ニッセイエブロ(株)
〒105-0004 東京都港区新橋5-20-4
Tel. 03-5733-5157 Fax. 03-5733-5167

お詫び: 前号(Vol.35 No.6)におきまして発行日に誤りがありました。
(誤) 2007年9月20日 (正) 2007年11月20日
関係各位にお詫び申し上げますとともに訂正させていただきます。

©2008, (株)日本ガスタービン学会

複写される方へ

本会では下記協会に複写に関する権利委託をしていますので、本誌に掲載された著作物を複写したい方は、同協会より許諾を受けて複写して下さい。但し(株)日本複写権センター(同協会より権利を再委託)と包括複写許諾契約を締結している企業の社員による社内利用目的の複写はその必要はありません。(社外頒布用の複写は許諾が必要です)

権利委託先: (中法) 学術著作権協会
〒107-0052 東京都港区赤坂9-6-41 乃木坂ビル
電話(03)3475-5618 FAX(03)3475-5619
E-mail: info@jaacc.jp

なお、著作物の転載・翻訳のような、複写以外の許諾は、学術著作権協会では扱っていませんので、直接日本ガスタービン学会へご連絡下さい。また、アメリカ合衆国において本書を複写したい場合は、次の団体に連絡して下さい。

Copyright Clearance Center, Inc.
222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923 USA
Phone 1-978-750-8400 FAX 1-978-646-8600