



## 2011年度会長就任挨拶

筒井 康賢\*1  
TSUTSUI Yasukata

3月11日、東北地方太平洋沖地震の発生により、未曾有の大惨事となりました。多くの方々が犠牲になられ、また大きな被害にあわれました。このご挨拶の原稿を書いています時点で1ヶ月半あまりたっておりますが、未だに行方不明者も多く、被災地の復興の目途もたっておりません。さらに、福島第1原子力発電所の事故の発生も重なり、予断を許さぬ状況が続いております。亡くなられた方々のご冥福をお祈りし、また被災された方々にはお見舞い申し上げますとともに、一日も早い復興を願っております。

2011年度第1回臨時総会で理事に選任され、直後に開催された第1回臨時理事会で会長に選任されました。前身の日本ガスタービン会議が1972年に設立されて以来、39年の歴史をもちます当学会の会長に選任されたことはまことに光栄ではありますが、責任の重大さを感じ身の引き締まる思いであります。

当学会と私の関わりは、日本ガスタービン会議設立のきっかけになりました1971年に科学技術館で開催された日本機械学会とアメリカ機械学会が共催した国際ガスタービン会議で、水町長生先生と吉識晴夫先生の研究室の大学院修士課程の学生としてスライド係などのアルバイトを勤めさせていただいたことにさかのぼり、翌年の日本ガスタービン会議の設立の直後に会員に加えていただき今までいたっています。

当学会は、2010年10月15日に公益社団法人への移行を電子申請し、2011年2月23日に認定書が交付され、2011年3月1日に公益社団法人日本ガスタービン学会の登記を致しました。移行に伴い新たに定めた定款では学会の目的をガスタービンに限定せず、エネルギー関連技術分野に拡大し、「ガスタービン及びエネルギー関連技術に関する研究発表・調査・知識の交換並びに関連学協会との連絡・提携を図り、もって学術・技術の進展及び社会の発展に寄与することを目的とする」としています。

原稿受付 2011年4月28日

\*1 高知工科大学

約100年の歴史を持つガスタービンは、蒸気タービンとの複合発電では、実用の発電装置としてははずば抜けて高い約60%の熱効率を持ち、さらなる高効率化を目指してタービン入り口温度の向上に向けた開発が進んでいます。1939年にフォン・オハイン、1941年にフランク・ホイットルがそれぞれ独立に開発し飛行させたジェットエンジンは、現代では長距離の移動には欠かせないものになり、熱効率向上を目指して高温化する一方、推進効率の向上のためにバイパス比を向上させるためにギアドファンやアンダクトドファンの研究開発が進んでいます。また、今般の東日本大震災では著しい電力供給不足になり建設期間が短いガスタービン発電所の建設が求められ、大地震発生時などの非常時に立ち上がりの確率が極めて高い非常用発電装置の動力源としてガスタービンが注目されていますように、ますますガスタービンへの期待は大きくなっています。公益社団法人としての当学会が公益目的事業を「ガスタービン及びエネルギー関連技術の発展とその普及・振興を目的とする事業」と掲げましたが、それに向けて邁進することが社会からの期待に応えることになります。

本年11月13日から18日にかけて2011年国際ガスタービン会議大阪大会IGTC'11 Osakaを開催します。多数の皆様のご参加をお待ちしています。他学会などが日本で開催を予定していた国際会議などの開催を原子力発電所の事故の影響で取りやめたということがニュースで見られますが、海外のお知り合いの方には、機会あるごとに事故の影響はないとお伝えいただいて海外の多くの方に参加を進めていただくようお願い致します。

終わりになりますが、第35期の渡辺康之会長、各理事、各委員、事務局の皆様のご尽力に感謝申し上げますとともに、会員各位のますますのご健勝とご発展を祈念致しまして、会長就任の挨拶といたします。

特集：ガスタービンを用いたコージェネレーションシステムと関連機器

## ガスタービンコージェネレーションシステムの現状

荒木 和路\*<sup>1</sup>  
ARAKI Kazumichi

キーワード：ガスタービンコージェネレーションシステム，排熱利用，再生可能エネルギー，排熱ボイラ，  
吸収冷凍機，バイナリータービン

### 1. はじめに

地球温暖化対策が急務である昨今，コージェネレーションが果たすべき役割はますます大きくなっている。発電時には二酸化炭素を排出しない原子力発電の位置づけは今後の議論に委ねるとして，依然として世界の一次エネルギー使用量の8割強を占めている化石燃料の高度利用のためにコージェネレーションの活用を更に推進すべきである。また，太陽光発電，太陽熱，風力発電などの再生可能エネルギーの不安定さを補うために，コージェネレーションと組み合わせることも有効である。本稿ではコージェネレーションのなかからガスタービンに着目してその概要を解説する。ガスタービンは他の内燃機関にくらべて小型で大出力が得られる，排熱温度が高く，排熱量が多い，負荷変動に対する応答が速いなどの特徴を有しており，これらを反映した導入実績，現状技術，今後活用が期待される技術について以下に紹介する。

### 2. ガスタービンコージェネレーションシステムの特徴

#### 2.1 コージェネレーションシステムについて

コージェネレーションシステムとは，一種類の一次エネルギー（燃料）から電力と熱（蒸気や冷温水）などの複数のエネルギーを生産し供給するシステムの総称であり，国内では「コージェネレーション」あるいは「熱電併給」，海外では“Combined Heat & Power (CHP)”あるいは“Cogeneration”等と呼ばれる。

コージェネレーションは，国内では主にガスタービン，ガスエンジン，ディーゼルエンジン等の内燃機関による方法が用いられており，産業用等の熱を多量に消費する場合にはガスタービンを，電力需要が高い場合はガスエンジンやディーゼルエンジンを用いる。

またコージェネレーションは，需要地で電気と熱エネルギーを生産し，排熱を有効活用することにより，高い総合効率が実現でき，省エネルギーやCO<sub>2</sub>削減に大きく貢献できるシステムである。

エネルギー基本計画（\*1）<sup>(1)</sup>では，「熱需要に対する

エネルギー供給の効率化を図るため，高効率コージェネレーションの導入促進を図る。特に，年間を通じて高負荷運転ができ効率の高い産業用大規模コージェネレーションや，高い省エネ効果が期待される面的な熱の有効利用に資するコージェネレーションの導入を促進する。」とされている。

（\*1. エネルギー政策基本法に基づいて，エネルギー政策の基本的な方向性を示すもので，少なくとも3年毎に見直しを実施。）

#### 2.2 ガスタービンコージェネレーションシステムの特徴

図1は原動機としてガスタービンを用いたコージェネレーションの基本フローである。ガスタービンの発電電力は商用系統と連系し供給される。排熱はガスタービン後流に設置された排熱ボイラで蒸気として回収される。ガスタービンは，振動が小さく軽量であり，排ガスから高温の蒸気を回収できる利点があり，総合効率も70～85%と高い。

ガスタービンコージェネレーションシステムの特徴は，次の通りである。

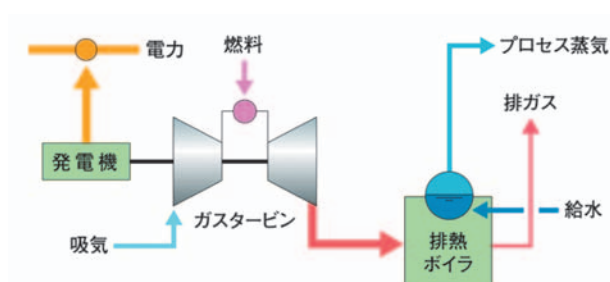


図1 ガスタービンコージェネレーションの基本フロー

- ①電気出力に対し熱出力の割合が高いため，大量の熱需要（主に蒸気）を必要とする設備に適している。
- ②地域冷暖房や産業用など，1 MW以上の大規模な設備に多く導入されている。
- ③ガスタービンは出力あたりの重量・容積が小さいため，発電規模に比べ設備の設置面積が少なく済む。
- ④排熱回収は主に蒸気であり，排熱の利用価値が高く，

原稿受付 2011年4月7日

\*1 東京工業大学ソリューション研究機構  
〒152-8550 目黒区大岡山2-12-1

各種プロセス用途の蒸気として利用できる。

- ⑤液体燃料やガス燃料など、多様な燃料に対応できる。
- ⑥蒸気タービンに比べ短時間で起動・停止が可能である。  
小型ガスタービンでは40秒以内で給電可能であり、常用防災兼用機として、災害時や停電時など緊急時における非常用電源として使用が可能である。

今後、再生可能エネルギーが増加した場合、その出力変動が問題となるが、この対策としてコージェネレーションシステムにて出力変動吸収を行うことが期待されている(図2)。これにより、さらに再生可能エネルギーの大量導入を進めることができる。

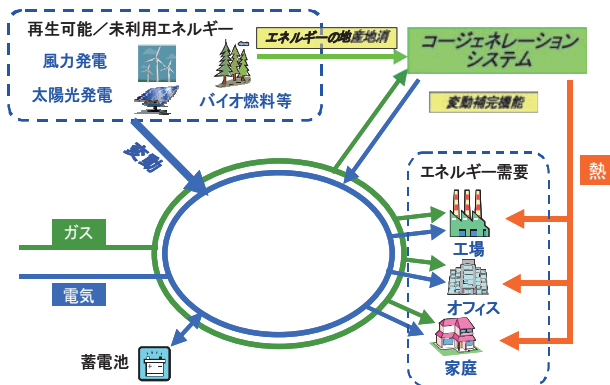


図2 再生可能エネルギーとコージェネレーションシステムの補完

### 3. ガスタービンコージェネレーションシステムの普及状況

#### 3.1 国内のコージェネレーションシステムの導入実績

図3にガスタービン、ガスエンジン、ディーゼルエンジン、そして蒸気タービンの一部を加えたコージェネレーションシステムの年度別導入実績(累積発電容量)を示す。政策支援などによりこれまでに9,440MWのコージェネレーションシステムが導入されている。

コージェネレーションシステムは1980年頃から採用が始まり、1986年頃にはその採用数が増加していった。

1980年代後半からはコージェネレーションに係わる様々な電気事業法の規制緩和が開始され、技術開発とも相まって、順調に採用数は増加していった。

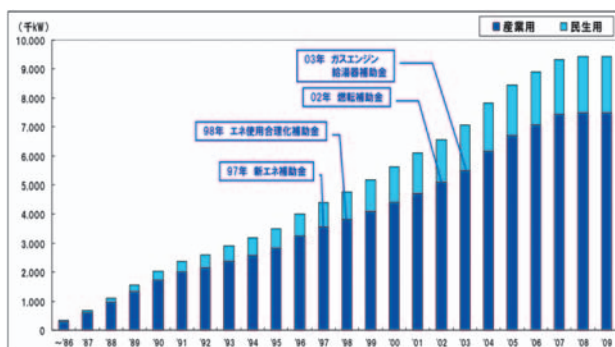


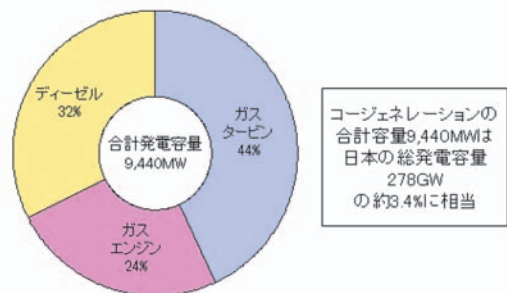
図3 コージェネレーションの年度別導入実績(累積値)<sup>(2)</sup>

1990年代後半からは、国際的な地球温暖化問題への関心が高まり、新エネルギーの活用や省エネルギーの推進が強化されていく。これらの規制緩和やコージェネレーション推進施策の効果と、コージェネレーションの優れた省エネルギー性や環境安全性が認められたことにより、1995年から2000年中頃にかけてコージェネレーション設備の導入が加速的に進んだ。

ところが原油価格高騰やLNG輸入価格の上昇による燃料価格の変動や、リーマンショックを契機とした景気後退による設備投資意欲減衰により、2009年度のコージェネレーションシステムの導入(発電容量ベース)は横ばい傾向にある。

#### 3.2 コージェネレーションの原動機別導入実績

図4に2010年3月末現在のコージェネレーションの原動機別導入実績(発電容量及び設置台数)を示す。原動機別の発電容量は、ガスタービン、ディーゼルエンジン、ガスエンジンの順となっている。また2010年度末に稼働中のコージェネレーションシステムの発電容量合計は9,440MWに達し、国内総発電設備容量の約3.4%に相当する。



原動機種別	発電容量	容量割合	設置台数	一台当たりの容量
	MW			
ガスタービン	4,050	44%	1,305	3.10
ガスエンジン	2,297	24%	7,500	0.31
ディーゼル	3,054	32%	4,260	0.72
蒸気タービン	39	0%	10	3.88
原動機全体	9,440	100%	13,075	0.72

図4 コージェネレーションの原動機別導入実績<sup>(2)</sup>(2010年3月末現在)

使用される原動機ごとの特徴を示すと、

- ①ガスタービン 一台当たりの発電容量が最も大きく、産業用での採用が多い。
- ②ガスエンジン 2001年度頃から30kW未満の小型機種が家庭用や業務用として多数導入された。そのため設置台数が最も多く、一台当たりの容量は最も小さくなっている。
- ③ディーゼルエンジン 2004年度まで堅調に導入されてきたが、燃料単価高騰の影響などで、2006年度以降、新規導入はほとんど見受けられない。

### 3.3 欧米諸国のコージェネレーションの導入比率

図5に欧米諸国の発電電力量及びコージェネレーション(CHP)の比率を示す。

前項のとおり省エネ対策や環境保全性などの観点からコージェネレーションは着実に設置容量が増加してきているが、欧米諸国と比較した場合、国内のその比率はまだ低い状態にある。

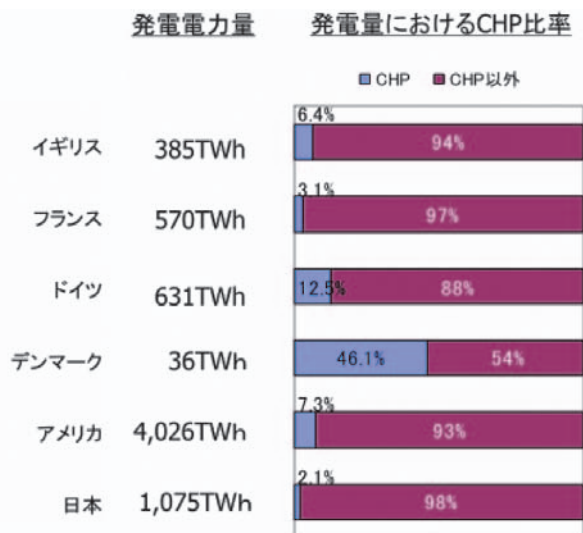


図5 欧米諸国の発電電力量におけるコージェネレーション(CHP)比率<sup>③</sup>  
注) 欧州は2008年, 米国は2006年, 日本は2001年かつ産業用のみ

## 4. 排熱利用法とシステム構成例

### 4.1 排熱利用法

限りあるエネルギー資源を有効に利用するためには、利用されずに捨てられている熱エネルギーを活用する、より効率的なエネルギーの供給・利用システムの構築が必要である。一度発生させた高温の熱は、より低い温度でも利用できる用途に段階的に利用することにより、同じ一次エネルギーの投入量で、効率的な利用が可能になる。これは、水が階段状の滝(カスケード)を流れ落ち

る様子にたとえて、熱のカスケード利用(多段階利用)と呼ばれている。

ガスタービンコージェネレーションシステムでは、1,000℃以上の高温エネルギーを、まず発電機の動力として使い、その排熱を蒸気や温水として利用することで、熱の高効率なカスケード利用を実現している。また、熱のカスケード利用により高い総合効率が得られる。

図6にガスタービンコージェネレーションシステムにおける排熱のカスケード利用を示す。

ガスタービンの高温の排ガス(約500℃)は、まず排熱ボイラに導入され、高温の蒸気として回収される。蒸気はプロセス加熱用や吸収冷凍機の熱源として使用される。蒸気需要によっては、蒸気タービンの熱源として電気を取り出すこともできる。排熱ボイラ出口の排ガス(約150℃)は、熱交換器により温水として回収され、給湯や暖房に使用される。温水需要が無い場合は、バイナリータービンの熱源とすることで、電気として取り出すこともできる。

コージェネレーションシステムでは、上記の排熱利用機器と共に、熱負荷の不足分を賄うために補助熱源機器が設置される場合もある。排熱利用設計においては、以下の配慮が必要である。

- ①排熱量に応じた適正な排熱利用機器容量の選定
- ②排熱利用機器を優先運転するための補助熱源機とのシステム運用の検討

### 4.2 排熱の面的利用

従来、1社1工場での自家消費が一般的であるのに対し、工業団地を構成する複数工場やビル間に熱導管をネットワーク化し熱を面的に利用することで、コージェネレーションシステムの排熱を最大限に利用することができる。排熱の面的利用により、大規模コージェネレーションシステムの導入と高効率運用が可能となり、高い省エネ効果とCO<sub>2</sub>削減効果が期待される。

また、災害時にもコージェネレーションシステムから

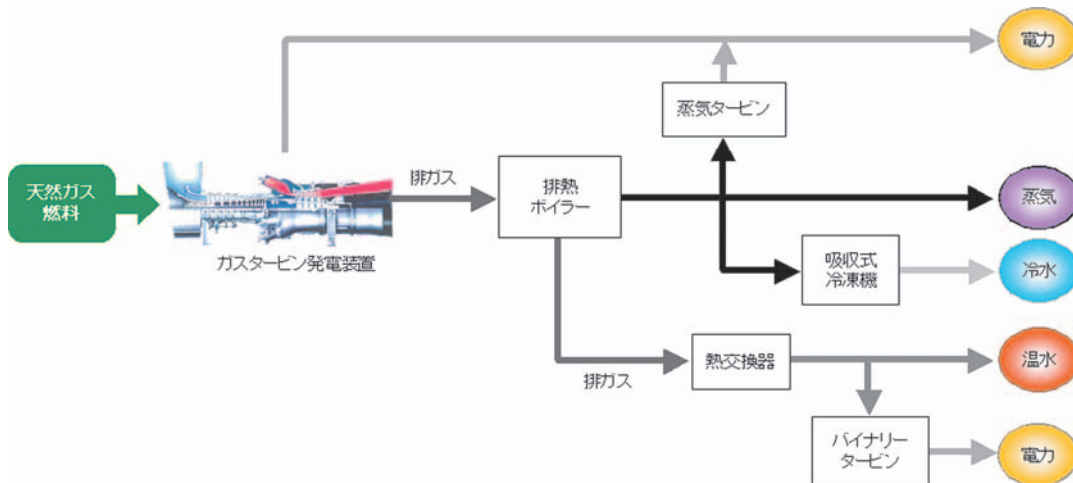


図6 ガスタービンコージェネレーションにおける排熱のカスケード利用



図7 コージェネレーション排熱の面的利用

各工場やビルに電力と熱を供給することで、エネルギーセキュリティも確保できる。

### 4.3 排熱利用システム構成例

ガスタービンコージェネレーションの排熱利用システムの構成例を以下に述べる。

#### 4.3.1 排熱をガスタービン発電出力増加に利用するシステム

季節や時間帯による蒸気需要の変動にあわせて熱負荷の低い時期には、排熱ボイラで回収された蒸気の余剰分をガスタービンに噴射し、発電出力を増加させることができる。蒸気負荷変動の多いユーザに適したシステムである。

ガスタービン本体に出力増加蒸気噴射ポートを追加し、噴射蒸気量に対応して、圧縮機の可変静翼を絞り吸入空気量を制御することでタービンを通る燃焼ガス量をほぼ一定に調整する。これにより、蒸気噴射の有りに拘わらず常にガスタービンを高効率の状態で作動すると共に、圧縮機のサージマージンも充分余裕を持たせている。

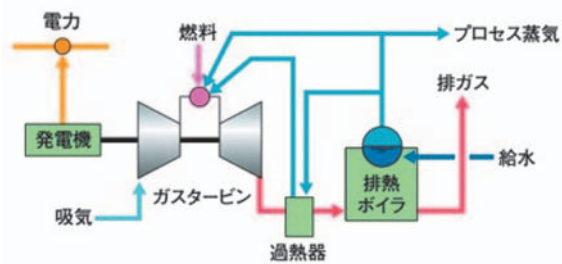


図8 排熱をガスタービン発電出力増加に利用するシステム

#### 4.3.2 排熱を製品乾燥に利用するシステム

製紙工場の紙乾燥工程に用いるヤンキードライヤの熱源として排熱ボイラ出口の低温排熱を有効利用する。

排熱ボイラ出口の排ガス（約150℃）をヤンキードライヤに接続し、紙表面に直接吹き付けて乾燥させることで、従来乾燥用熱源として必要であった蒸気が不要となり、蒸気製造用の燃料を削減することができる。

#### 4.3.3 排熱を工業炉に利用するシステム

車体塗装、石膏乾燥などに用いる工業炉の熱源として

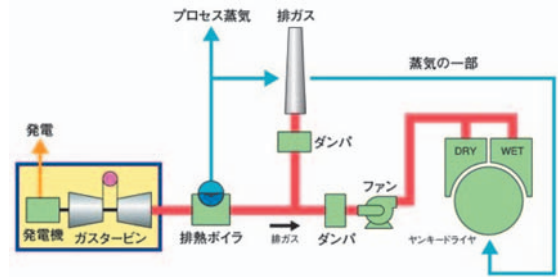


図9 排熱を製品乾燥に利用するシステム

排熱ボイラ出口の低温排熱を有効利用する。

これにより、従来熱源として必要であった熱風発生用のバーナの燃料費を削減することができる。

ガスタービンは排ガス量が多く残存酸素濃度も16%と高いことから、バーナでの追焚きが可能であり、工業炉の熱源としての利用に適している。

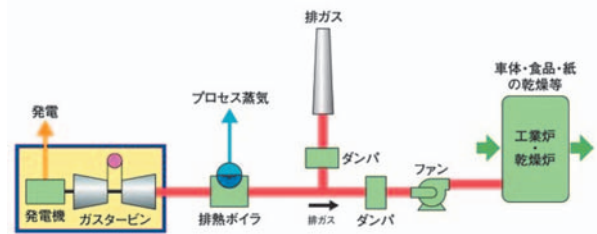


図10 排熱を工業炉に利用するシステム

#### 4.3.4 排熱を温水吸収冷凍機に利用するシステム

温水吸収冷凍機の熱源として、排熱ボイラ出口の低温排熱から温水を回収し利用する。これにより従来必要であった冷凍機用の温水が不要となる。

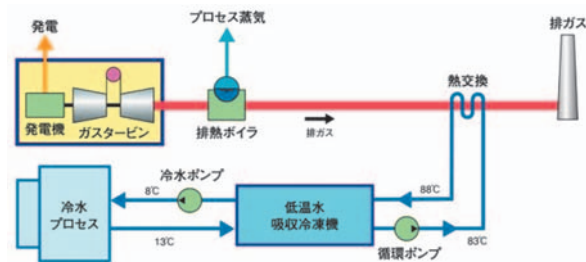


図11 排熱を温水吸収冷凍機に利用するシステム

## 5. 排熱利用機器の役割

ガスタービンコージェネレーションシステムの排熱利用機器の役割を以下に述べる。

### 5.1 排熱ボイラ

ガスタービンからの排熱は、高温の排ガスであり、排熱ボイラ及びエコマイザーを排ガス経路に設置して、排ガスの熱エネルギーを蒸気として回収する。

排熱ボイラは自然循環式水管型で、排ガスの保有熱を水と熱交換して蒸気を発生する。蒸気発生量に見合う水を供給する給水装置、ボイラ水の濃縮を防ぐための連続

ブロー装置、薬注装置などの補機・付属設備類を備えている。

エコマイザーは排熱ボイラの排気下流側に取り付けられ、排ガスの熱エネルギーをさらに回収して、ボイラ給水温度を上昇させる。

ガスタービンの排ガス中には、酸素が多量に残っているため、ダクトバーナを排熱ボイラの上流側に置き、残存酸素で燃料を燃焼させ、蒸気発生量を増加させている事例もある。

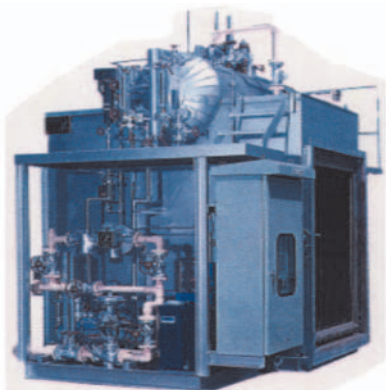


図12 排熱ボイラ外観図

## 5.2 吸収冷凍機

ガスタービンからの排熱を蒸気や温水で回収し、吸収冷凍機の熱源として供給し、冷水を発生させ冷房に利用することができる。

排熱の温度レベルが高い蒸気の場合は、効率の高い蒸気二重効用吸収式が採用され、排熱の温度レベルの低い温水の場合は温水単効用吸収式が採用される。最近では、さらに効率の高い蒸気三重効用吸収式が採用される事例もある。

吸収冷凍機からの冷水は、一般空調用で使用されるほか、夏場のガスタービン発電出力を増加させるため、ガスタービン吸気冷却用としても使用される。この吸気冷却システムは、熱交換器と冷水ポンプの簡単なシステム



図13 吸収冷凍機外観図

により構成され、夏場の出力増加により、契約電力を下げるができるため、大変有効なシステムである。

## 5.3 低温排熱利用バイナリータービン

バイナリータービンは、沸点の低い媒体を利用し、低温熱源からエネルギーを取り出し、タービン発電機を稼働させ、電力を生み出す省エネシステムである。未利用の低温温水（80～120℃）を有効利用し電力を得ることができ、CO<sub>2</sub>削減にもつながる。

ガスタービンとバイナリータービンの組合せフローを図14に示す。18MW級ガスタービンの排熱ボイラ出口に温水熱交換器を設置し、排ガスとの熱交換により98℃の温水を発生させた場合、バイナリータービンの発電端出力は250kWになる。

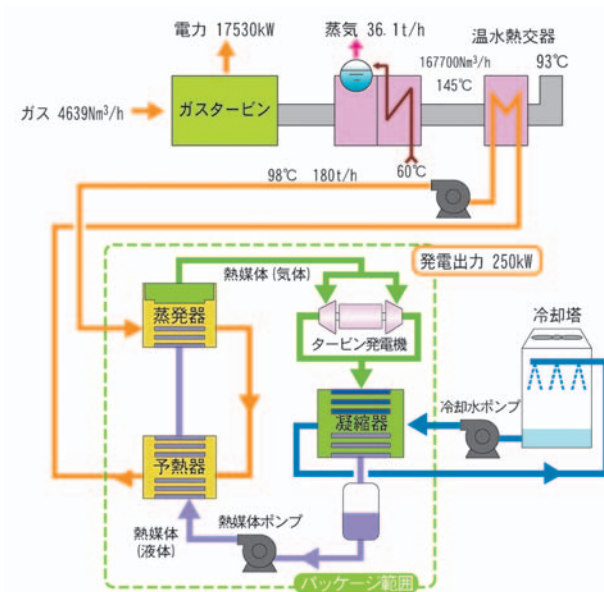


図14 バイナリータービンとの組み合わせ

## 6. ガスタービンコージェネレーション普及の施策と期待

エネルギー基本計画では、「低炭素型成長を可能とするエネルギー需要構造の実現」を目標として掲げ、目標実現のために「天然ガス利用の促進」、さらに目指す姿として「天然ガスコージェネレーション導入促進（国内コージェネ導入量を2020年に800万kW、2030年に1,100万kWを目指す）」が示されている。

この目標実現に向けて、熱需要に対するエネルギー供給効率化を図るため、高効率コージェネレーションの導入促進、特に、年間を通じて高負荷運転ができて効率の高い産業用大規模コージェネレーションや、スマート・エネルギーネットワークのような高い省エネ効果が期待される面的な熱の有効利用に資するコージェネレーションの導入促進が基本戦略とされている。

また、導入促進の動機づけとして、コージェネレーションの省エネ効果及びコスト低減効果に加えて、現在、

省エネ法による取り組みや、コージェネレーション導入促進に必要な支援施策の充実を図る、次のような制度環境の整備が検討されている。

- ①コージェネレーション導入のためのインセンティブ  
(導入補助, リース制度の活用, ランニング支援に関する支援, 現行の補助金体制の継続と補助金枠の拡大)
- ②CO<sub>2</sub>削減のための評価基準の適正化  
コージェネレーション導入時のCO<sub>2</sub>削減効果についての定量的評価基準の確立
- ③高度利用に関するインセンティブの確立  
新規性が高く, 導入効果が優れているコージェネレーションシステム開発・導入に対しての支援
- ④インフラ整備の促進  
コージェネレーションの普及促進のための燃料供給関連インフラの拡大

さらには, 東日本大震災からの復興に向けて, 分散型熱電併給設備としてのガスタービンコージェネレーションには大きな期待が寄せられている。

また, コージェネレーション普及のためには高効率コージェネレーションシステム関連の技術開発推進は不可欠である。ガスタービンエンジン及び付帯機器の更なる高効率化・信頼性向上が, コージェネレーション導入促進の原動力となり, 優れたエネルギー・環境社会の創造に貢献することが期待されている。

## 7. おわりに

本稿執筆中に東日本大震災が発生し, 福島原子力発電所で深刻なトラブルが発生した。原子力発電のあり方の議論は別に委ねるとしても, 当面の電力不足を補うためにガスタービンを使った天然ガスコンバインド発電所を設置することが急務である。また, 安定的な電力が必要な産業では自家発電を積極的に採用されることと思う。ガスタービン発電は設置に要する期間が比較的短いのも特徴のひとつだが, それでも自家発電を急いで設置する場合には工事期間と設備費用の関係から排熱を利用しないシステムとなることも予想される。これらの緊急に設置する自家発電設備にも本稿で紹介したような排熱活用技術を適用することが望ましいが, 間に合わない場合には後から改造できる余地を残しておいて欲しい。今後の復興に向けて, ガスタービン技術が貢献できることを望んで止まない。

## 参考文献

- (1) エネルギー基本計画 2010年6月 閣議決定
- (2) 助天然ガス導入促進センター HP
- (3) 天然ガスの高度利用・燃料転換に関するワーキンググループ

特集：ガスタービンを用いたコージェネレーションシステムと関連機器

## スマートエネルギーネットワークとは

菱沼 祐一\*<sup>1</sup>  
HISHINUMA Masakazu

岡本 和久\*<sup>1</sup>  
OKAMOTO Kazuhisa

キーワード：スマートエネルギーネットワーク、プロシューマ、コージェネレーション、CHP、ICT、廃熱、太陽光、太陽熱、バイオガス

### 1. はじめに

最近スマートフォン、スマートカー、スマートハウスといった具合に身の回りにスマートと頭に付く製品が続々と登場し始めた。スマートがついたこれ等の製品の共通点は、いずれもInformation Communication Technology (ICT技術) を利用し、従来の製品を超える利便性、快適性、安全性、あるいは省エネ、低炭素といった付加価値を提供していることである。

一方、エネルギーや社会インフラにおけるスマート化は、スマートグリッド、スマートエネルギーネットワーク、スマートコミュニティ、スマートシティー等、言葉がやや先行し実体はまだよく見えていないものの、関連する業界では巨大成長市場として大きな期待が寄せられている。これらのスマートインフラに関する明確な定義はいまだに無いが、筆者らはスマートグリッドとは電力供給・消費システムのスマート化を図るもので、スマートエネルギーネットワークとはこれにガス体エネルギーや熱のネットワークと供給・消費システムを加えて全体最適を図るものと区別し、スマートコミュニティやシティーとは、さらに水、交通システムや公共サービスを含めたスマート化の取り組みと整理している。また、これらのエネルギー・社会システムにおけるスマート化とは、ICT技術活用とネットワークの高度利用により、システムのエネルギー効率、投資効率を高めるとともに、セキュリティの向上を図ることと解釈している。

### 2. スマートなエネルギー利用

前述のスマートグリッドとは、米国オバマ大統領の掲げたグリーンニューディール政策をきっかけとして大きく注目された構想である。これは、老朽化が進む発電所および送配電施設から需要家までの一連の電力の供給・消費設備を、ICT技術を活用して最適管理し効率的で安定的な系統運用を実現するものである。また併せて自然条件により出力が不安定になる風力発電や太陽光発電などの再生可能エネルギーを大規模導入する際に問題とな

る需給のミスマッチをも解決しようとする、「スマートな電気利用」に特化したシステムである。

しかし、エネルギー需要の過半を占めているのは「熱」であることから<sup>(1)</sup>、太陽熱、清掃工場廃熱、工場廃熱等の再生可能エネルギーや未利用エネルギーならびに天然ガスコージェネレーション廃熱等を熱導管、高効率廃熱利用技術、およびICT技術を用いて面的・ネットワーク的に融通し最適利用すること、すなわち「スマートな熱利用」も電気と併せて取り組むべき課題である。

また、熱と電気のエネルギー源として欠かせない化石エネルギーの中でも最も低炭素な「天然ガス」は、その利用を推進するとともに、オンサイトにおける熱と電気の地産地消を進める上でガス導管の充実と安定供給が重要となる。このガス導管を活用して、需要家において天然ガスを高効率利用するとともに、将来は再生可能エネルギー起源のメタン系ガスやカーボンフリーな水素を供給して低炭素化を進めることが、「スマートなガス利用」と考える。

### 3. スマートエネルギーネットワークのコンセプト

図1は、スマートエネルギーネットワークの構成要素を示したものである。需要家サイドでネットワーク接続可能なエネルギーシステムには、再生可能エネルギー、天然ガス、電気の3種のシステムがあり、これまでは各々独自に、時として競合しながら高効率化やスマート化が進められてきた。しかしながら「スマートエネルギー」とは、環境性、経済性とエネルギーセキュリティの観点からの「賢くエネルギーを作り使うこと」である。したがって、スマートエネルギーの基本は、エネルギーのベストミックスであり、大規模集中型と分散型の協調である。環境あるいはコストに偏重しバランスに欠くと、エネルギーセキュリティ上重大な問題を引き起こすことになる。

またスマートエネルギーは、お互いのシステムを組み合わせ、融合させることによりいっそうの低炭素化とエネルギーセキュリティの向上が図られることもある。いわゆるハイブリッドシステムと呼ばれるもので、例えばガス給湯器と太陽熱温水器の組み合わせシステムは、

原稿受付 2011年4月5日

\*1 東京ガス(株) ソリューション技術部  
〒105-8527 港区海岸1-5-20



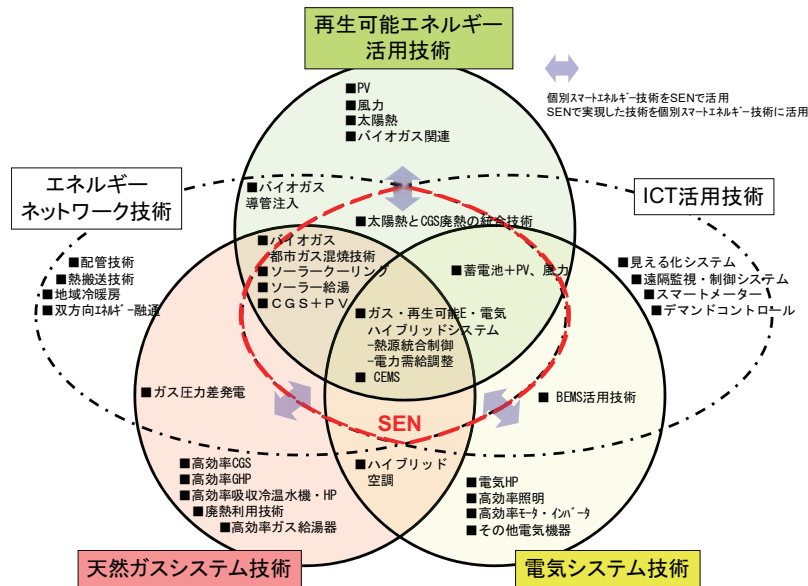


図1 スマートエネルギーネットワークの構成要素

省エネ、低炭素、利便性、エネルギー源の二重化によりセキュリティ面で向上が図られたハイブリッド化の好例である。

スマートエネルギーの高度利用を可能とするのが熱・電気・ガスといったエネルギーを運ぶエネルギーネットワークとデジタル情報を運ぶICTネットワークである。スマートエネルギーにネットワークが加わることで「スマートエネルギーネットワーク」が構築される。なお、ここで言うスマートエネルギーの高度利用とは、ICTネットワークを活用しエネルギーネットワークの自由度を高めた運用を行うことにより、個別のシステムにおいて起こりうる需要と供給のミスマッチ、スケールメリットの欠如といった問題点を補うことで、エネルギー効率、経済性、エネルギーセキュリティの向上を図ることである。

従来のエネルギーネットワークは、上位にある原子力発電所、火力発電所、LNG基地といったメガインフラから需要家へ一方向に送り込むものが主であった。しかしながら低炭素化とエネルギーセキュリティの向上を図るためには、例えば小規模で点在する再生可能エネルギー等をネットワークにて集めて需要家に供給すること等が求められる。そのためには大小、多種多様なエネルギーをネットワークにて双方向に流すといったネットワークの自由度を高めた運用が不可欠である。自由度を高めたネットワーク活用の好例が太陽光発電の逆潮流と電力の買い上げである。このケースにおいては、ネットワーク末端にあるグリーンな小規模電力を逆潮流すなわち逆流させ、電力料金も買電から売電に逆転し、グリーン電力と通常電力を区別し計量、清算することで、需要家がグリーン電源を自ら所有し、省エネ行動を喚起するインセンティブを与えている。この時も逆潮流が出来なければ、余剰分の貴重なグリーンな電力を捨てるか、

蓄電池を用いてためることになる。捨てることは言語道断として、ためるにしても充放電ロスがある上にコストがかかる等無駄が多く、これに較べてネットワークへの逆潮流は最も合理的な手段であることは明らかである。

一方、無秩序な太陽光発電の大量導入が電気ネットワークの電圧上昇や周波数変動等の問題を生じることが指摘されているように、常時ネットワークを流れるエネルギーの量、種類、方向を監視し需給制御することがエネルギーネットワークの高度利用には必要で、この役割を果たすのがICTネットワークである。最新のICT技術を活用すれば、多数の分散型電源の発電量と顧客の需要データをリアルタイムに把握し、需要と供給を最適制御することが可能となり、自由度の高いスマートなネットワーク運用が実現する。

以上繰々述べてきたが、環境性、経済性およびエネルギーセキュリティの観点からエネルギーを賢く使う「スマートエネルギー」の取り組みは、単独のガスエネルギーシステムを出発点とすれば、図2に示す二軸の

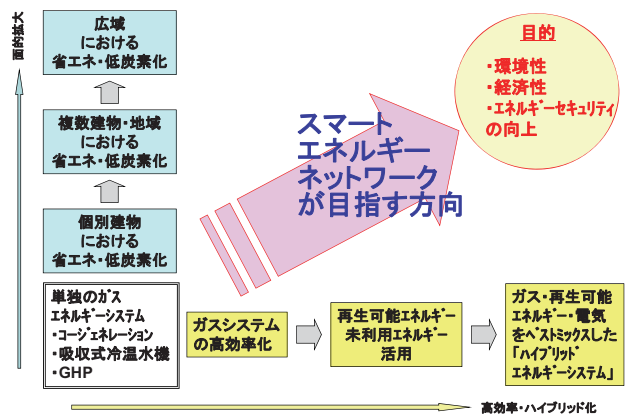


図2 スマートエネルギーネットワーク構築に向けた取り組み

取り組みで表現できる。水平軸は、システム単独の高効率化に始まり、再生可能エネルギーとの融合、そして電気システムとのベストミックスへと低炭素化と高度化を進める。垂直軸では、単独から複数建物間のネットワーク化、そしてICTを活用した広域における面的なエネルギー融通と需給制御へと拡大・高度化し、個別最適から全体最適へと進化させる。これらの二次元の取り組みによって、再生可能エネルギーの大量導入およびエネルギーの供給・消費におけるエネルギー効率向上による低炭素化を図るとともに、投資効率とエネルギーセキュリティの向上を図るのが、「スマートエネルギーネットワーク」のコンセプトであり目指す世界である。

#### 4. スマートエネルギーネットワークの導入イメージ

図3はスマートエネルギーネットワークの将来イメージ図である。A図に示すように、商業地区単位におけるスマートエネルギーネットワークの基本は地域冷暖房である。すなわち電気、ガス、冷温水のネットワークにエネルギーセンターと近隣建物と太陽光発電、太陽熱等が接続される。エネルギーセンターは、電気・ガスのハイブリッドシステム、すなわちガスエンジン、ガスタービン、燃料電池等の高効率コージェネレーションと廃熱を冷熱に変換する吸収式冷温水機、そして高効率電気ヒートポンプを基本として構成される。ちなみに地域冷暖房システムにおけるハイブリッドシステムは、(株)エネルギーアドバンスの幕張地域冷暖房ですでに採用されており、非ハイブリッドに比べて年間総合COP (Coefficient of Performance: 成績係数) を71%向上させる効果が得られている<sup>(2)</sup>。また、河川水、海水や湧水等の未利用熱が利用可能なサイトにおいては、吸収式あるいは電気ヒートポンプで冷水や温水を高効率に製造し近隣に供給する。ネットワークに接続した建物には、このよう

に低炭素なエネルギーが供給可能であるとともに、エネルギー源の多様化によりBCP (Business Continuity Plan: 事業継続計画) 機能、エネルギーセキュリティの向上が図られる。

図3(B)は工業地区のイメージ図である。工業地区においては、電気とガスと蒸気のネットワークにエネルギープラントと近隣工場が接続される。エネルギープラントには、ガスタービンあるいはガスエンジンと蒸気ボイラが設置され、エネルギープラントから蒸気と電気が供給される。電気の供給は、サミット美浜パワーのように電力会社のシステムを用いて特定規模電気事業として供給する方法と、鹿島動力のように鹿島経済特区の特定供給許可条件緩和の下に自営線で供給する方法がある。工場毎に熱製造を行うのに比べると、需要をまとめて熱と電気をネットワーク供給することでスケールメリットを活かし、エネルギー効率、経済性、エネルギーセキュリティの向上が図られる。

図3(C)は、地区のスマートエネルギーネットワークが連結され広域ネットワークとなる究極の姿をイメージしたものである。ガスのネットワークには、例えばバイオガスプラントが接続され従来の需要端からガスが逆注入される。熱のネットワークは地域間で接続されスケールメリットを高めるとともに、清掃工場廃熱や工場廃熱、あるいは大規模太陽熱プラントが接続され、商業地区で利用される。ICTネットワークは送電系統運用者の給電指令センターに接続され、スマートエネルギーネットワークが電力の需給調整に活用される。スマートエネルギーネットワークは、コージェネレーションにより電気供給量を制御でき、しかも電気ヒートポンプと吸収式冷温水機の負荷分担により電気消費量も制御可能なシステムである。生産者 (Producer) と消費者 (Consumer) の両面の顔を持つものをプロシューマ (Prosumer) と

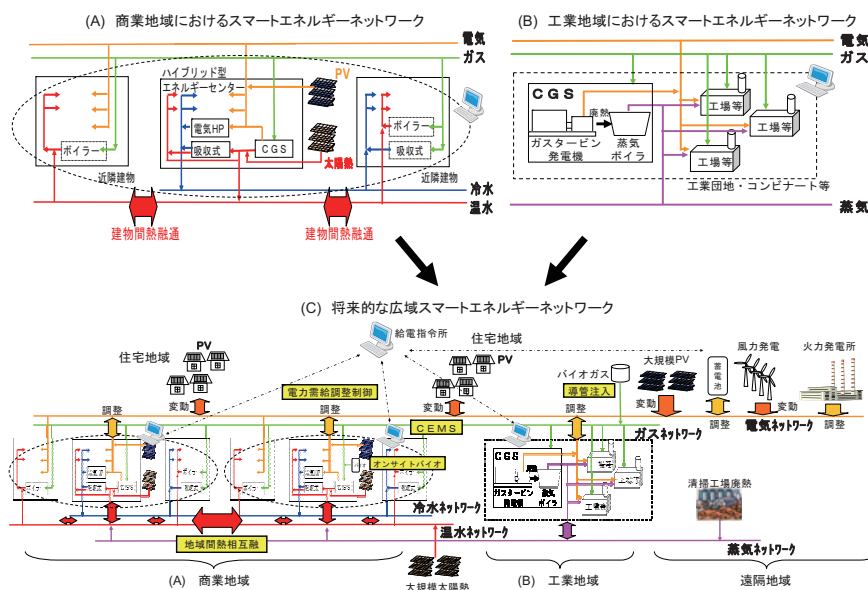


図3 スマートエネルギーネットワークの全体像

呼ぶことがあるが、スマートエネルギーネットワークは電力のプロシューマと呼ぶことが出来る。

図4は、コージェネレーション、電気ヒートポンプ、そして吸収式冷温水機を有するスマートエネルギーネットワークが、太陽光発電などの再生可能エネルギーが大量導入された時にどのようにして電力の需給調整にプロシューマとして貢献するかを模式的に示したものである。

2010年6月に閣議決定されたエネルギー基本計画では、「2030年の日本のゼロエミッション電源比率を現状の34%から約70%に引き上げる」と計画されている<sup>(3)</sup>。ゼロエミッション電源の内訳は、太陽光発電や風力発電のような天候により出力が大きく変動する不安定電源と、原子力発電のような一定出力でしか運用できない電源である。これらの比率が高まった場合、余剰電力の発生、周波数調整力の不足、配電系における電圧上昇等の問題が生じ、蓄電池の設置や出力調整機能の増強等の対策の必要性が指摘されている。もし太陽電池の出力抑制を行わなかった場合、2020年までに16兆円規模の蓄電池の設置が必要との試算もある<sup>(4)</sup>。しかしながら、蓄電池や揚水発電にはエネルギーロスがあること、蓄電池の寿命は短く永続的なコスト負担が必要な点に留意する必要がある。今後、低炭素化のためにゼロエミッション電源導入を進める上で周波数調整用電源を一定割合確保することは必須であり、この部分は安定供給が可能で負荷応答性の高い化石系の発電設備に将来も頼らざるを得ない。このような必要不可欠な化石燃料使用の場においては化石燃料を無駄なく使うという、「ミニマムカーボン」という考え方が重要であるが、現在この役割を担う火力発電所の平均発電効率はLHV（Lower Heating Value：低位発熱量）基準で四十数パーセントに過ぎず、残りの廃熱は殆ど利用されず海に捨てられている。

これに対してスマートエネルギーネットワークのコージェネレーションは、例えば高効率のガスエンジンなら発電効率が45%を越えるものがあるので、これを台数制

御すれば先に述べた火力発電所並の発電効率で運用することが可能である。また、熱のネットワークによる廃熱利用が可能なコージェネレーションは総合効率が高く、火力発電所より省エネルギーでミニマムカーボンな周波数調整電源として活用することが出来る。これに加えて、スマートエネルギーネットワークには、電気で冷熱や温熱を製造する電気ヒートポンプとコージェネ廃熱で駆動する吸収式冷温水機があるので、例えば太陽光による余剰電力が発生した時にはコージェネと吸収式冷温水機の稼働を落とし、電気ヒートポンプの稼働を上げて熱のネットワークに蓄熱することで電気を呑み込む。逆に電力が不足した時には、電気ヒートポンプの稼働を落としコージェネの稼働を最大限上げて電気を逆潮流し送り出すという、プロシューマ的な運用が可能である。

このようにプロシューマの役割をも果たすスマートエネルギーネットワークは、必要に応じて大型の蓄電池的な運用も可能である。蓄電池は決して省エネ手段ではないので必要な時に必要な所で最少量使えば良いと思われるが、スマートエネルギーネットワークは、今からすぐに省エネルギー手段として活用することが可能であり、しかも将来日本で再生可能エネルギーの大量導入が実現した時にもその運用方式を省エネ優先からプロシューマに換えることで、十分活用可能な長期にわたって活躍する投資効果の高いエネルギーインフラであると考えられる。

ここで示したスマートエネルギーネットワークの将来イメージは、夢物語ではなく海外では、その要素が一つずつ検証され、実証試験と導入が進みつつあることを次節で紹介する。

### 5. 海外での取り組み

#### 5.1 欧州委員会のエネルギー政策動向

EUのエネルギー政策の基本は2009年12月に発効したリスボン条約にあり、環境保全を目的として以下の4つの政策目標が掲げられている<sup>(5)</sup>。

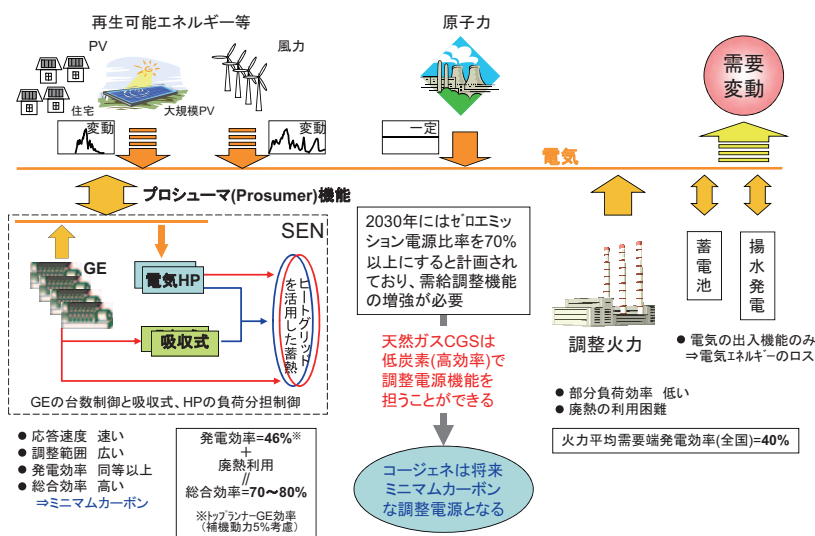


図4 プロシューマによる電力需給調整

- ① エネルギー市場を十分に機能させる
- ② エネルギーセキュリティーを確保する
- ③ 省エネを進め、再生可能エネルギーを導入する
- ④ エネルギーネットワークの相互連結を進める

これを受けて、欧州委員会は、「エネルギーセキュリティー」、「競争力」、および「持続可能性」に重点をおいた今後10年のエネルギー戦略「Energy 2020」を2010年10月に採択した<sup>6)</sup>。本戦略の中では5つの優先課題が抽出されており、一番の課題は省エネで、次は全ヨーロッパを網羅するエネルギー市場の統合である。省エネのための取り組みの中ではエネルギー供給の効率化の必要性が謳われ、電源認可においては発電と送電効率を重視し、「コージェネレーションと地域冷暖房を普及拡大する取り組みが必要」と明記されている。また、エネルギー市場統合のための取り組みの中では、2020年から2030年を見据えたエネルギーインフラの構築計画を策定する必要性が指摘され、近日中に欧州委員会が改造計画の概要を報告するものとした。さらに、本戦略の中には技術開発が含まれ、欧州委員会は2011年度中に開始する「Smart Cities' Innovative Partnership」を含む新規の大規模実証プロジェクトを計画している。本プロジェクトでは、再生可能エネルギー、省エネ技術、スマートグリッド、エレクトロモビリティ、そしてスマート地域冷暖房にICT技術が組み合わされた「スマートシティー」が実証される。

インフラ構築計画についてはすでに、「Energy Infrastructure Priorities for 2020 and Beyond」という報告書でその骨子が明らかにされている<sup>7)</sup>。EUは、十分な容量を持ち、統合した信頼性の高いエネルギーインフラを構築することが、EUのエネルギー政策目標のみならず、経済戦略を実行する上での重要な前提条件になると認識するとともに、今後10年で構築するエネルギーインフラは2050年の低炭素社会においても利用可能なものにすべきと考え、直ちに改造に取り組むべきエネルギーインフラとして以下の5つを挙げている。

- ① スマートグリッドと蓄電
- ② 天然ガスネットワークと貯蔵
- ③ 地域冷暖房ネットワーク
- ④ CCSとCO<sub>2</sub>パイプライン
- ⑤ 石油のサプライチェーン

天然ガスに関してEUは、供給安定性が確保できれば今後数十年はEUのエネルギーミックスにおいて重要な役割を果たし、変動する電源のバックアップ燃料としての重要度は今後さらに増すと考えている。また長期的には非在来型天然ガスやバイオガスが天然ガスの輸入依存率低減に貢献するだろうが、中期的には枯渇しつつあるEU内のガス生産を考慮すれば多様な形で輸入量を増やす必要があると認識し、双方向に流れるパイプラインネットワーク形成、貯蔵、CNGやLNGを含む供給の多様化、を図る計画を練っている。

熱のネットワークに関しては、「火力発電は多くの場合変換ロスがあるにもかかわらず、時を同じくして暖房や冷房のためにその近隣で天然資源が消費されているのは、非効率的でお金の無駄である。」「コスト削減が可能なのに、海水や地下水などの自然エネルギー源が殆ど使われていない。」と指弾し、地域冷暖房の普及と近代化が優先課題と指摘している。

以上のようにEUにおいては、「エネルギーセキュリティー向上」、「経済の競争力強化」、「持続可能な社会構築」のために、電気、ガス、熱のエネルギーネットワークの整備とICT技術等を活用した高度利用を今後10年間の優先課題として取り上げ、今後の投資を2050年に至る低炭素社会の構築に活用しようとしている。この姿は、まさに前節で解説したスマートエネルギーネットワークの将来イメージに極めて近いものである。

## 5.2 EUにおける熱導管への再生可能エネルギー接続

デンマークの地域暖房の普及率は60%と高く、その熱の77.2%はコージェネレーションの熱で賄っている。また、すでに熱源の32%が清掃工場廃熱、太陽熱や木質ボイラ等の再生可能エネルギーとなっている。最近では、図5に示す2050年までの地域暖房の熱源転換計画を記した「Heat Plan Denmark 2010」というプロポーザルが2010年9月にデンマーク議会に提出されている。本プランは、2030年までに地域暖房をカーボンニュートラルにしようとするもので、化石燃料からバイオマス燃料へ転換する事、地域暖房に接続する太陽熱パネルを現在の10

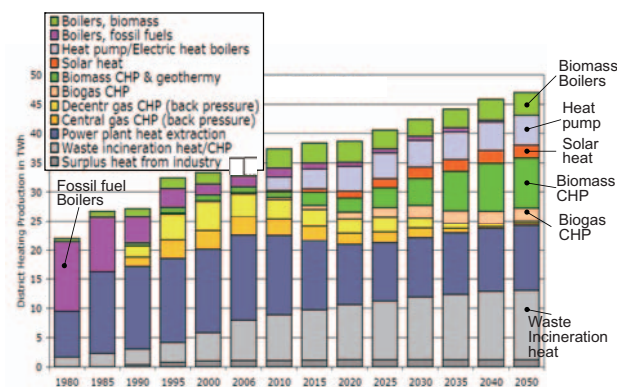


図5 デンマークの地域暖房における熱源転換計画

<http://dbdh.dk/images/uploads/pdf-diverse/Heat%20Plan%20Denmark%20Paper.pdf>

万m<sup>2</sup>から400万m<sup>2</sup>に増やす事、電気ヒートポンプを導入し風力発電の余剰電力を吸収する事、等を提案している<sup>8)</sup>。

図6はコペンハーゲン市の熱ネットワークとエネルギープラントの配置図である。図中■がCHP (Combined Heat and Power, EUではコージェネレーションを指す)、▲が清掃工場である。2009年には臨海部のAmagerværket (AMV) にバイオマス燃料CHPが導入されるとともに、この熱を市中心部の蒸気ネットワーク

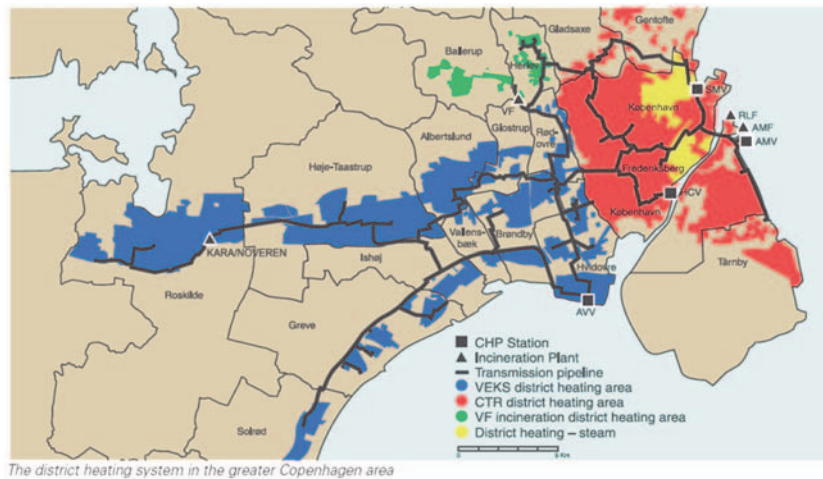


図6 コペンハーゲン市の熱ネットワークマップ

[http://www.nyc.gov/html/unccp/gprb/downloads/pdf/Copenhagen\\_districtheating.pdf](http://www.nyc.gov/html/unccp/gprb/downloads/pdf/Copenhagen_districtheating.pdf)

に接続するために、直径4m、全長4kmの溝を横断するトンネルが建設された。本プランが実行に移されるかは現時点では定かではないが、コペンハーゲン市の最近の取り組みを含み、デンマークでは1990年代から熱ネットワークに、清掃工場廃熱やバイオマス燃料を導入しており、その取り組みは加速している。

熱導管への清掃工場廃熱の接続は、ゴミの埋め立て処理が禁止されたスウェーデンでも活発化している。また、熱導管の活用はヨーロッパのような寒冷地以外でも現在検討されており、例えばシドニー市の”Decentralized Energy Master Plan”では、電源の100%を天然ガスあるいはバイオ燃料のCHPで賄い、廃熱から得られる冷温水を熱導管で供給する事等により、2030年のCO<sub>2</sub>排出量を2006年度比で70%削減することが計画されている<sup>(9)</sup>。

### 5.3 EUにおけるガス導管へのバイオガス注入

2009年におけるEUのガス導管は総延長203万kmにおよび、年間18,912PJのガスを販売している。供給する天然ガスの僅か36%がEU加盟国原産であり、23%をロシアからのパイプラインで輸入し、19%を中東からLNGで輸入している<sup>(10)</sup>。今後の低炭素化やエネルギーセキュリティ向上のためには、バイオガスや非在来型天然ガスの利用が考えられている。バイオガスのリソースとしては、ランドフィルガス、下水汚泥消化ガス、畜産・農作物系メタン発酵ガスが代表的であり、2009年には石油換算で8,346kTOE（約349PJ）のバイオガスが製造されている。このバイオガスのほとんどがオンサイトCHPの燃料として使われるが、2009年の発電量は25.2TWhでこれはEU全消費電力の1%にも満たない量である。

EUのバイオガスの約半量を製造するドイツでは、

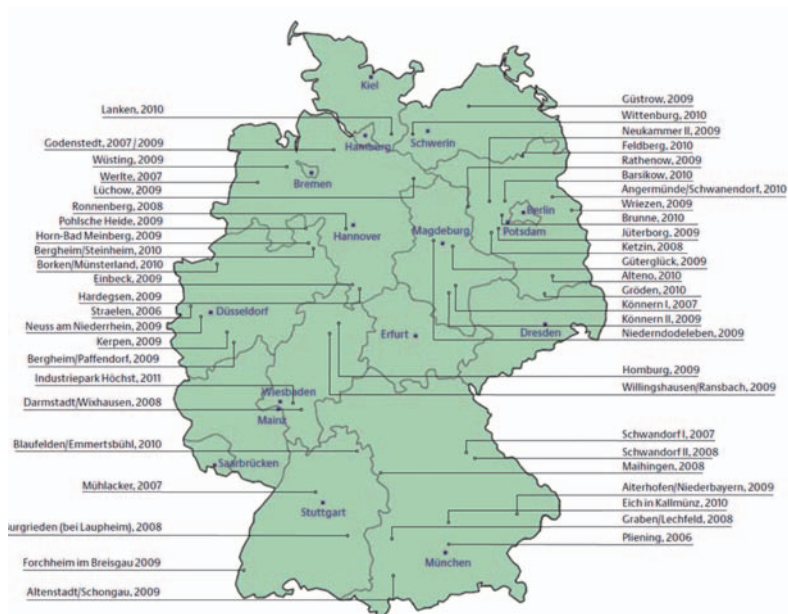


図7 ドイツにおけるバイオガス注入計画

[http://www.dena.de/fileadmin/user\\_upload/Download/Dokumente/Publikationen/erneuerbare\\_energien/Biogaspartner/biogaspartner\\_-\\_a\\_joint\\_initiative.pdf](http://www.dena.de/fileadmin/user_upload/Download/Dokumente/Publikationen/erneuerbare_energien/Biogaspartner/biogaspartner_-_a_joint_initiative.pdf)

図7に示すとおりバイオガスをガス導管に注入する試みが活発化している。2009年度末には、35か所で1.9TWh (6.8PJ) のバイオガス注入が開始された。ドイツ政府は、地球温暖化対策とエネルギー自給率向上、地方経済活性化等を目的として今後バイオガス注入を推進し、2020年までに60TWh、2030年には100TWh相当を注入し、ドイツ国内の天然ガス需要の1割を賄うことを目標にしている<sup>[11]</sup>。また、バイオガスのガス導管への注入は、スウェーデン、オランダ、スイス、フランス等で実施しており、なかでもスウェーデンのGothenburg Energy社による、木質ガスからメタネーション反応により合成メタンガスを製造するプラント (80MW) 建設計画<sup>[12]</sup>は、資源量が限られる発酵系メタンガス以外のリソース開発という点で注目される。

5.4 EUにおける風力発電とCHPの補完関係

EU加盟国の中でもデンマークは、風力発電の導入を積極的に進めている国の一つであり、すでに全発電電力の20%に達しており、2025年には50%まで比率を上げる計画がある。一方、風況により発電量が変動する風力発電を大量に導入した時に周波数変動等の問題が生じることとその対策については10年以上前から議論され続けている。例えば、2005-2007年に行われた "Dissemination Strategy of Electricity Balancing for Large Scale Integration of Renewable Energy" (DESIRE) プログラムにおいては、この対策にCHPを活用することが検討された<sup>[13]</sup>。本プログラムでは、短期的にはCHPと蓄熱槽を組み合わせたシステムを構築し、従来のベースロードや熱主電従運転からタイムシフト運転に変更することで、不安定な風力発電の変動を補完させることは可能であり、かつCHP自体の経済性を向上させることが出来ると結論付けた。また、長期的には電気ヒートポンプを使いこれを変動補完に用いることや、風力発電と多数の小型CHPを統合制御する「Virtual Big Power Plant」を編成することを提案した。

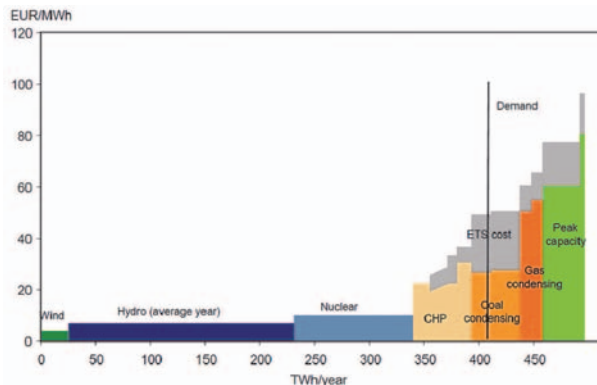


図8 NordPoolスポット市場における各種電源のマーギナルコスト <http://www.energyplanning.aau.dk/Publications/DanishWindPower.pdf>

図8は、北欧の電力市場NordPoolのスポット市場（前日に1時間毎に入札）における各種電源のマーギナルコスト（単位発電量増加に伴うコスト増）を示したものである。風力、水力は燃料が不要なためマーギナルコストが安い。スポット市場では、これらの安い電力から利用される。一方、汽力やガスタービン発電は割高なため電力需要の多い時にのみ利用されるピーク電源となる。このように発電と送電が分離された自由化スポット市場においては、風力、水力、原子力、そしてCHPの順に電気が安く、CHPの電力は化石燃料を用いる電源の中では競争力の高い電気と見なされている。

図9は、2010年12月6日(月)から11日(土)にかけての、NordPoolデンマーク西エリア内の電力需給バランスと取引価格を示したものである。なお、取引価格は前日に1時間単位の需給で価格を決めるスポット価格 (Spot Price) と、当日の風況や需要変動により生じるインバランスを解消するべく系統運用者からの給電指令に基づき15分以内に出力調整する調整電力価格 (Regulating Power Price) の二つが示されている。スポット価格は、電力需要と風力発電の前日予想により変動し、発電量が需要に対して少ないか風力発電予測が少ないと価格は上昇する。また調整電力価格は、当日の風力が予想に対し

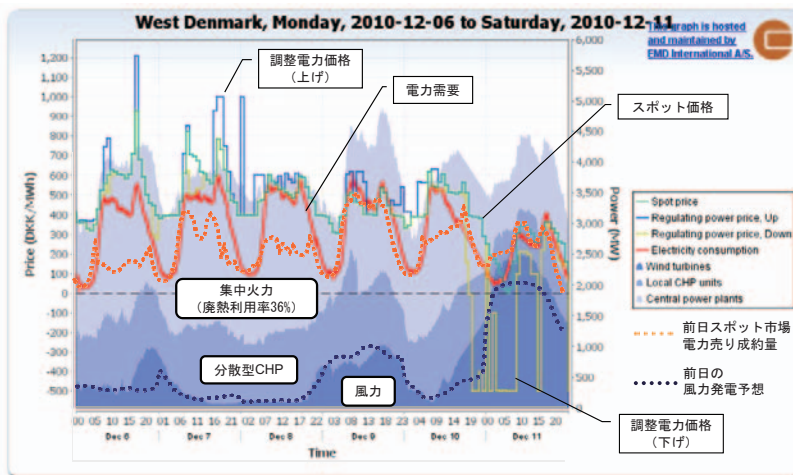


図9 西デンマークの電力需給と電力取引価格例 <http://www.emd.dk/el/>

て少ないと上昇する。発電と送電が分離されたデンマークにおいては、分散型CHPをスポット価格に応じて発電量を調整するという経済性に基じた運用が、結果的には風力発電の変動を調整するメカニズムにうまく繋がっている。

5.5 電力のプロシューマ (Prosumer) の登場

先に述べた” DESIRE” プログラムにおいては、地域暖房のCHPをスポット市場価格に合わせて運用するとともに、価格インセンティブのより大きな調整電力として運用することが検討された。ただし、現在のデンマークの電力市場では10MW以上でない調整電力として参入できないために、本プログラムではスポット市場での運用のみが実際に行われ、調整電力としての運用はシミュレーションによる検証に留まった。これらの検討により、CHPのスポットおよび調整電力市場での運用は、風力発電の変動補完として有効であり、また現在調整電力市場で運用されている汽力・ガスタービン発電に比べ

ても価格競争力があると結論づけられている。

図10は、本プログラムでスポット市場での実運用が行われたデンマークのHivide Sande地域暖房の2011年1月16日と17日の運転実績である。このプラントでは、3.77MWのガスエンジン2台と4 MW、10MWのガス焚きボイラに加えて今年から6 MWの電気ヒータボイラの運用が始まった。CHPはスポット価格の高い（需要が多く風力発電が少ない）夕方を中心に運転し、逆にスポット価格が低い深夜は電気ヒータボイラが運転されている。本プラント運用の基本は、電力が不足し価格が高くなると発電を行ない売電し、風力発電が余剰で価格の安い時は電気を買電することである。本地域暖房は、電力のProducerでありConsumerでもあるプロシューマとして運用されており、前述したスマートエネルギーネットワークの将来イメージに極めて近い。

発電と消費の両面を持つプロシューマは大小様々考えられるが、中でも1件当たりの電力量は小さいが大量導入が期待できるのは家庭用CHPである。オランダで

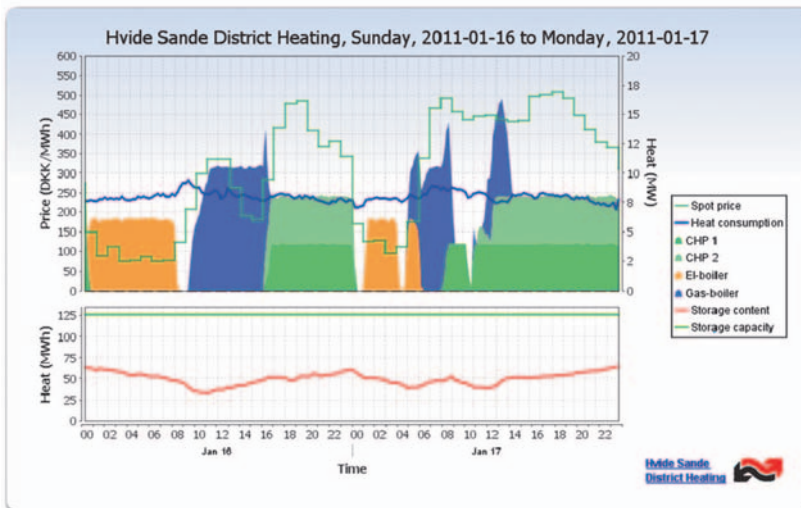


図10 Hivide Sande地域暖房の設備稼働例 <http://www.emd.dk/desire/hvidesande>

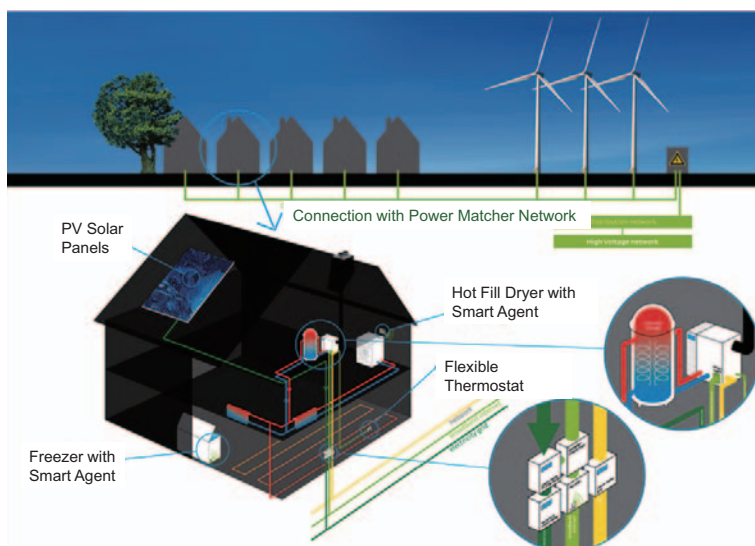


図11 PowerMatching Cityのコンセプト <http://www.powermatchingcity.nl/UserPortal/Concepten/IndexAction>

は図11に示す”PowerMatching City”という実証試験を2010年に開始した。25件の住宅に太陽電池、家庭用CHP、ヒートポンプ給湯機、スマート家電、電気自動車とスマートメータが取り付けられ、さらにコミュニティーには風力発電、小型ガスタービンが設置されている。太陽電池、CHPといった分散電源を持ち、家屋内の電化が進んだ住宅とICT技術を用いれば、電力システムの需給制御は従来の大規模集中電源の制御に頼るトップダウン方式から、分散した個々の需要端における電気潮流の双方向制御へと転換することも可能になる。具体的には、風力や太陽光の余剰電力が発生した時には、CHPを止めヒートポンプで蓄熱し電気自動車を充電する。逆に電力不足が発生した時にはCHPで発電し、スマート家電はタイムシフトすることで需給調整を行う。ICTはネットワーク全体の需給データを収集し、需要端のプロシューマにリアルタイムで需給調整を指令する。

プロシューマは、大量の再生可能エネルギー導入時の発電量の変動抑制の対策費用を抑えるとともに、安心・安全・快適を損なうことなく需要家のエネルギーコストを下げることを究極の目的としている。EUではこの他に、オランダのハーグで300件、ドイツのエネルギー供給会社のLichtblickはフォルクスワーゲン社と協力して10万件規模で<sup>14)</sup>、それぞれ家庭用CHPを活用したプロシューマの実証を計画している。

## 6. 東京ガスでの取り組み

東京ガスにおいても、スマートエネルギーネットワーク実現のための実証試験や新たな地域冷暖房の開発等に取り組んでいる。

荒川区にある東京ガス千住テクノステーションにおいては、天然ガスコージェネレーションを核として、太陽光発電や太陽熱収集装置などの再生可能エネルギー回収装置や廃熱・太陽熱利用の高効率吸収式冷温水機と電気ヒートポンプのハイブリッド型熱源システム等を導入した。これにより、再生可能エネルギーの優先利用のための最適制御、発生する熱を複数建物間で相互融通する効果、コージェネレーションと電気ヒートポンプを活用したプロシューマ機能の検証等、省エネ・省CO<sub>2</sub>を達成するスマートエネルギーネットワークの実証試験を開始した<sup>15)</sup>。さらに、田町、豊洲、新宿等の商業地区においては、地域冷暖房を核としたスマートエネルギーネットワークを実現すべく検討を進めている。

## 7. 最後に

スマートエネルギーネットワークは将来の再生可能エネルギー大量導入時代には、プロシューマとして不安定な再生可能エネルギーの変動を吸収することで、低炭素社会において一定の役割を果たすエネルギーシステムである。またエネルギーセキュリティの観点からも、大規模集中電力だけでなくコージェネレーションのような

分散型電源を地域に速やかに普及拡大させることの必要性を再認識させたことは、今回の東日本大震災の教訓の一つではないだろうか。震災後の電力不足に鑑み、スマートエネルギーネットワークを、需要化サイドの省エネルギーと電源セキュリティを向上する手段として捉え速やかに普及推進し、これを将来の低炭素社会においても活用することが、地道で賢明な選択と考える。

## 参考文献

- (1) EDMC日本エネルギー・経済統計要覧
- (2) 荘司豊, (株)エネルギーアドバンス幕張地域冷暖房センターの最新・高効率な設備改造, クリーンエネルギー, vol.18, No.9 (2006), pp.24-27
- (3) 経済産業省, 新たなエネルギー基本計画の策定について, 平成22年6月, (<http://www.meti.go.jp/committee/summary/0004657/energy.html>)
- (4) 経済産業省, 次世代送配電ネットワーク研究会最終報告, 平成22年4月 (<http://www.meti.go.jp/report/data/g100426aj.html>)
- (5) Article 194 of Consolidated Version of the Treaty on the Functioning of the European Union, Official Journal of the European Union C115/47 (2008)
- (6) Energy 2020, A Strategy for Competitive, Sustainable and Secure Energy, Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions (2010)
- (7) Energy Infrastructure Priorities for 2020 and Beyond, Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions (2010)
- (8) Anders Drelund, Henrik Lund, Heat Plan Denmark, (<http://dbdh.dk/images/uploads/pdf-diverse/Heat%20Plan%20Denmark%20Paper.pdf>)
- (9) “City of Sydney Decentralized Energy Master Plan” (<http://www.cityofsydney.nsw.gov.au/council/onexhibition/documents/CityofSydney-DEMPTrigeneration-Report20101129-LowRes.pdf>)
- (10) Eurogas Statistical Report 2010 ([http://www.eurogas.org/uploaded/Eurogas%20Statistical%20Report%202010\\_Final%20291110.pdf](http://www.eurogas.org/uploaded/Eurogas%20Statistical%20Report%202010_Final%20291110.pdf))
- (11) Biogaspartner, “Biogas Grid Injection in Germany and Europe Market, Technology and Players”
- (12) Gothenburg Biomass Gasification Project ([http://www.goteborgenergi.se/English/Projects/GoBiGas\\_Gothenburg\\_Biomass\\_Gasification\\_Project](http://www.goteborgenergi.se/English/Projects/GoBiGas_Gothenburg_Biomass_Gasification_Project))
- (13) “Dissemination Strategy of Electricity Balancing for Large Scale Integration of Renewable Energy” (<http://www.project-desire.org/>)
- (14) SchwarmStrom-die Energie der Zukunft ([http://www.lichtblick.de/pdf/zhkw/info/zhkw\\_schwarmstrom.pdf](http://www.lichtblick.de/pdf/zhkw/info/zhkw_schwarmstrom.pdf))
- (15) 「スマートエネルギーネットワーク」実現に向けての取り組み, 都市環境エネルギー 97 2010秋号



特集：ガスタービンを用いたコージェネレーションシステムと関連機器

燃料多様化に向けた低NO<sub>x</sub>燃焼技術の開発

笹尾 俊文\*<sup>1</sup>  
SASAO Toshifumi

林 明典\*<sup>1</sup>  
HAYASHI Akinori

吉田 正平\*<sup>2</sup>  
YOSHIDA Shohei

キーワード：燃料多様化，低NO<sub>x</sub>燃焼，クラスタバーナ

## 1. はじめに

近年，資源有効利用及び発電コスト低減の観点より発電用ガスタービンにおいても低価格未利用燃料を代替燃料として用いることに対する要望が高い。また，地球環境保全性の観点から，排ガスに関する規制が厳しくなっており，高効率に加え低エミッション燃焼技術が強く望まれている。

代替燃料を代表するものとして，ガス燃料としては製鉄所にて発生する製鉄過程で生成する副生ガスである高炉ガス（BFG）とコークス炉ガス（COG），石油精製所での石油精製過程にて発生する副生ガス及び埋蔵量の多い石炭エネルギーの有効利用を目的とした石炭ガス化燃料等の水素含有燃料や天然ガス，石炭，バイオマス等から得られるジメチルエーテル（DME）等の適用についても多く検討がなされている。

しかしながらこれらの燃料については，その燃料性状の観点から予混合器により燃料と空気を混合させる乾式での低エミッション燃焼技術の適用は大変に難しい。

ガスタービンにおいては，このような燃料を適用した場合においても，信頼性を損なわないと同時に，環境保全の観点より排気ガスの低エミッションをも満足することに関して今後要求が高まってくると考えられる。

環境保全性を満足しつつ上記のような特殊な燃料を適

用する場合には，良質なLNGと比較し課題が多く，特別な考慮が必要となる。本報では，弊社で検討している燃料多様化での環境保全に対応する低NO<sub>x</sub>燃焼技術の開発動向について報告する。

## 2. 日立H-25ガスタービン納入実績

日立H-25ガスタービンは軸流17段圧縮機，軸流3段タービン，10缶の逆流缶型燃焼器より構成されている。H-25ガスタービンは製品化の後も要素技術の研究をもとに改良を重ね，現在（2011/3月）では累計納入台数140台を数え国内外で順調に稼働中である。用途別では産業用熱電併給設備向けがほぼ半数であり，ついで20%程度が発電用コンバインドサイクル向けとなっている。図1にH-25ガスタービン概略構造を表1にその性能諸元を示す。図2に同型縮小モデル（H-15）も含めたH-25シリーズガスタービンの納入場所と台数を示す（建設途上のプラントも含む）。

表1 H-25ガスタービン性能諸元

	天然ガス	A重油
出力 (MW)	31.0	30.0
効率 (%) LHV	34.8	33.6
圧縮機入口空気流量 (kg/s)	92.4	92.4
排気温度 (°C)	564	564

大気温度：15°C / 相対湿度：60%RH

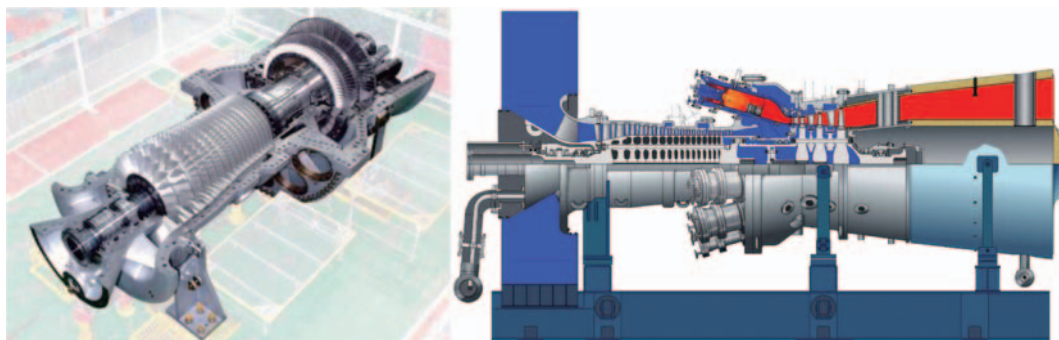


図1 H-25ガスタービン構造

原稿受付 2011年4月25日

\*1 (株)日立製作所 電力システム社 日立事業所  
〒317-8511 日立市幸町3-1-1

\*2 (株)日立製作所 日立研究所  
〒312-0034 ひたちなか市堀口832-2

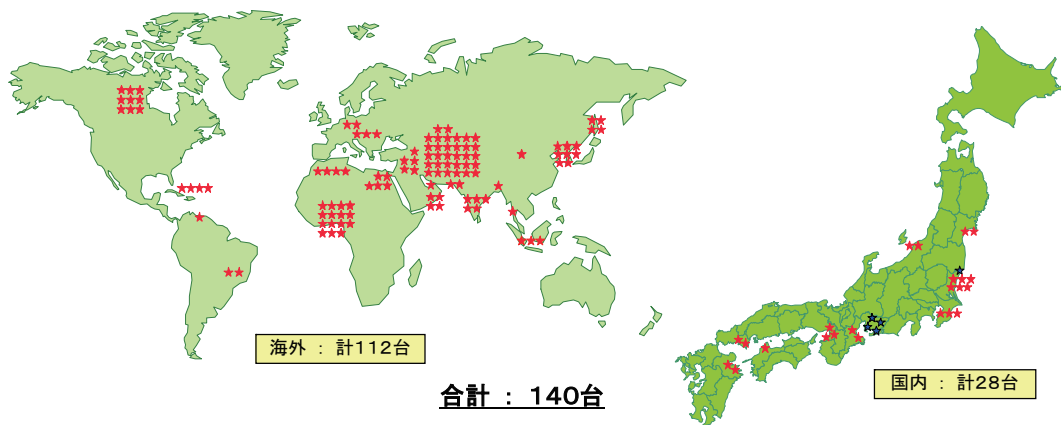


図2 H-25ガスタービン納入実績（建設途上含む）

3. 燃料多様化に向けた乾式低NOx燃焼技術開発

3.1 天然ガス焼き乾式低NOx燃焼器

これまで多数の納入実績のあるH-25ガスタービン用乾式低NOx燃焼器<sup>1)</sup>を図3に示す。本燃焼器は中央に拡散燃焼方式のパイロットバーナを有し、その周囲に予混合バーナを配置したものである。この予混合バーナは予混合器内部で燃料と空気をあらかじめ混合させ、予混合器出口に設けたリング状（ブラフボディ）保炎器により火炎を保持する。

本構造の予混合器では燃料と空気を混合するために空間距離が必要となることから、火炎の逆流（逆火）や自発火の問題より、適用可能な燃料は天然ガスに限られ、水素濃度が高い燃料やDMEに対しては適用されていない。

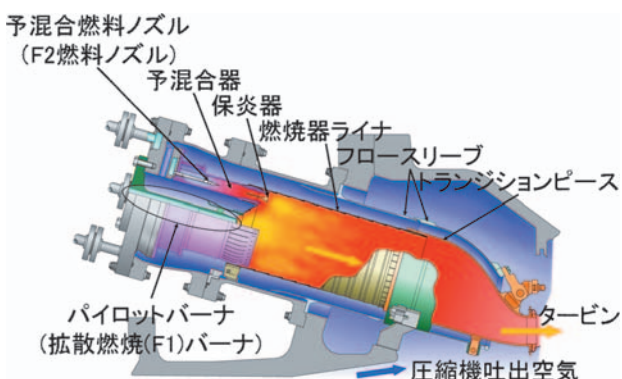


図3 天然ガス焼きH-25ガスタービン乾式低NOx燃焼器

3.2 燃料多様化対応低NOx燃焼技術の開発

従来の低NOx燃焼器では適用が困難とされてきた燃料に対して乾式により低NOx燃焼を可能とするために、弊社では従来の空間的な燃料と空気混合方式と異なる新たな急速混合技術を採用した予混合技術を提案し開発を推進している<sup>2)</sup>。クラスタバーナと称しているこのバーナを概念を図4に示す。本バーナでは従来の予混合器のような空間的な混合ではなく、空気孔上流部に燃料ノズ

ルを設けて燃料と空気の二流体が空気孔を通過する際の縮流と通過後の拡大部における乱れの増大により急速に混合するものである。この予混合機構では、混合距離が極めて短いこと、また主混合部が空気孔出口から火炎までの空間にあることから逆火や予混合器内部での自発火を回避でき、適正な予混合燃焼を可能としている。図5に数値流体解析（CFD）により検討したクラスタバーナの燃料と空気の混合進行状況の例を示す。図5に示すように空気孔入口近傍で発生した乱れが、空気孔出口の急拡大により急速に成長し混合が促進する。クラスタバーナでは混合部で燃料と空気が共存する領域が狭く、主たる混合は空気孔出口から火炎に至るまでの燃焼室内で進行することから、混合部での自発火や逆火などによ

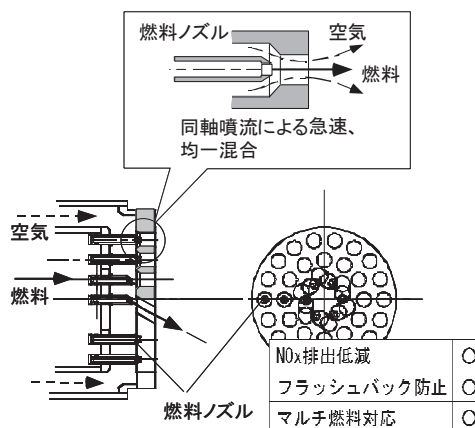


図4 クラスタバーナ構造概念

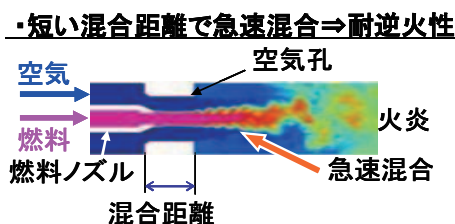


図5 クラスタバーナ混合状況（CFD結果）

る燃焼器損傷のリスクが回避できる。このためクラスタバーナは高温化・高圧力比化に伴い増大する自着火および逆火のリスクを回避し、信頼性を保ちながら低NO<sub>x</sub>燃焼が可能となる。

図6に水流モデルを用いたレーザーシート法による空気孔内部の混合状況可視化例<sup>3)</sup>を示す。レーザー計測やCFDを用い、大気圧および高圧下での要素バーナ燃焼試験<sup>4)</sup>により燃料ノズル形状や空気孔仕様の改良を重ね<sup>4)</sup>、燃焼器全体に希薄燃焼火炎を形成することが可能となった。図7に実機圧力下での要素クラスタバーナの燃焼状態を示す<sup>4)</sup>。

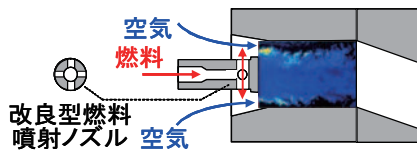


図6 クラスタバーナ混合可視化例

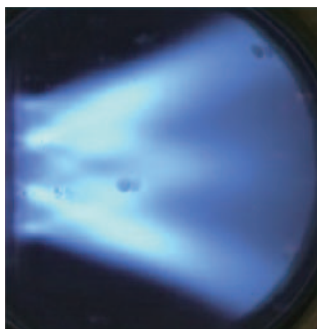


図7 クラスタバーナ燃焼状態

略構造と空気孔プレート正面写真を示す。図9にDME(純度100%)および天然ガス焚きでの実負荷単台試験におけるガスタービン負荷に対するNO<sub>x</sub>排出特性を示す。DME運転、天然ガス運転ともにNO<sub>x</sub>排出量25ppm以下となる結果となった。

表2 DME燃料性状

項目	単位	DME	メタン	プロパン
低位発熱量	MJ/kg	28.9	50.2	46.5
沸点	°C	-25	-162	-42
可燃範囲	vol %	3.4 - 17	5.0-15	2.1-9.5
燃焼速度	cm/s	50	37	43
自発火温度	°C	350	632	504

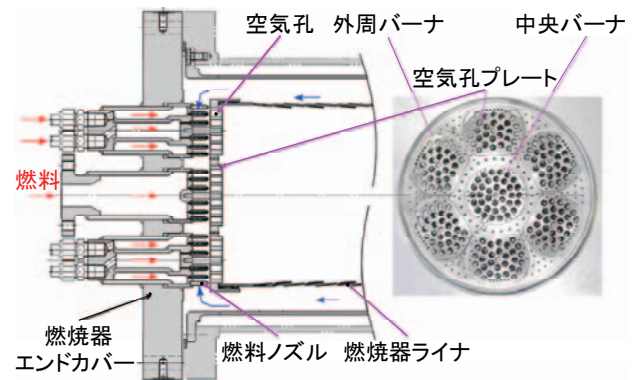


図8 DME/天然ガス焚きマルチクラスタ乾式低NO<sub>x</sub>燃焼器

#### 4. 燃料多様化対応乾式低NO<sub>x</sub>燃焼技術

前述したクラスタバーナの耐逆火性を活かして、弊社では燃料多様化に対応する乾式低NO<sub>x</sub>燃焼技術を構築している。以下に、その内容を紹介する。

##### 4.1 DME焚き乾式低NO<sub>x</sub>燃焼器

DMEは多様な炭化水素原料から合成が可能であり、次世代の代替燃料として期待を集めている。しかしながらDMEは表2に示すように自発火温度が350°Cであり、高効率(高圧力比)ガスタービンの圧縮機吐出空気温度より低く、従来の予混合器では自発火の問題があり、適用が難しい。このため、クラスタバーナの耐逆火・自発火性能を活かして、石油天然ガス・金属鉱物資源機構(JOGMEC) 殿から委託を受け、DME・天然ガス焚き乾式低NO<sub>x</sub>燃焼器の開発に取り組んだ。開発着手から単一クラスタバーナの要素試験より知見を蓄積し<sup>5)</sup>、中央に1個、その周囲に6個クラスタバーナを配置したマルチクラスタ形式の乾式低NO<sub>x</sub>燃焼器を試作した<sup>6)</sup>。図8に試作したDME・天然ガス焚き乾式低NO<sub>x</sub>燃焼器の概

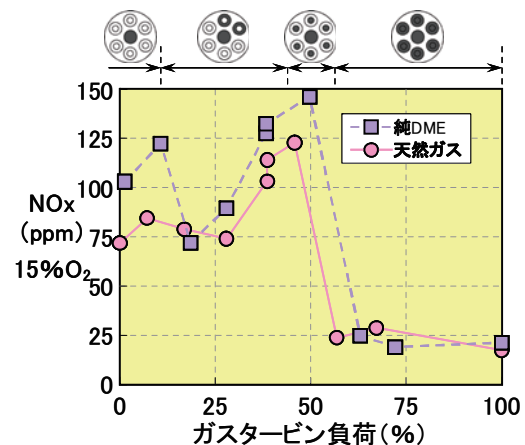


図9 DME/天然ガス焚きNO<sub>x</sub>特性

##### 4.2 水素含有燃料に対する乾式低NO<sub>x</sub>燃焼技術

弊社は2008年からの新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO) 殿によるプロジェクト「革新的ゼロエミッション石炭ガス化発電プロジェクト」に参画し、クラスタバーナの耐逆火性能を活かして幅広い水素濃度範囲の燃料に対応する乾式低NO<sub>x</sub>燃焼器の開発をテーマ

として開発に注力している。本節では水素含有燃料への対応例として二酸化炭素回収・貯留付石炭ガス化複合発電プラント (CCS-IGCC) 用燃焼器の開発状況を紹介する。

CCS-IGCCでは、二酸化炭素回収率により水素濃度が回収率0% (CCS 0%) での27vol.%からCCS 90%の84vol.%まで幅広く変化する。水素含有燃料は特に燃焼速度が速いため、火炎をバーナ構造物から離れた位置に安定して浮上させ、希薄燃焼させるための混合距離と構造物の信頼性を確保した。

図10に開発中の水素含有燃料用乾式低NO<sub>x</sub>燃焼器のバーナ部構造を示す。試作した燃焼器は、中央にパイロットバーナを配置し、その周囲に大気圧要素試験<sup>(7)</sup>により検討したクラスタバーナを6本配置したマルチクラスタ形式の燃焼器である<sup>(8)</sup>。図11に単岳中圧燃焼試験における定格負荷相当条件でのNO<sub>x</sub>排出特性を示す<sup>(8)</sup>。CCS 0%, CCS 30%, CCS 50%のいずれの燃料に対しても15%O<sub>2</sub>換算で10ppm以下であり、水素含有燃料での乾式低NO<sub>x</sub>燃焼を確認した。今後は起動・運用を含めより一層の安定範囲の拡大と低NO<sub>x</sub>燃焼性能を図り実用化を目指している。

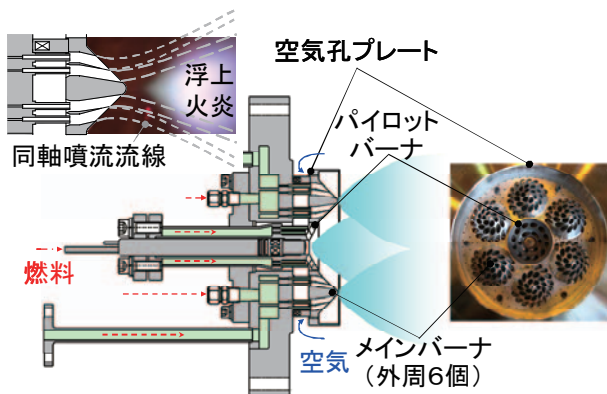


図10 水素含有燃料用乾式低NO<sub>x</sub>燃焼器

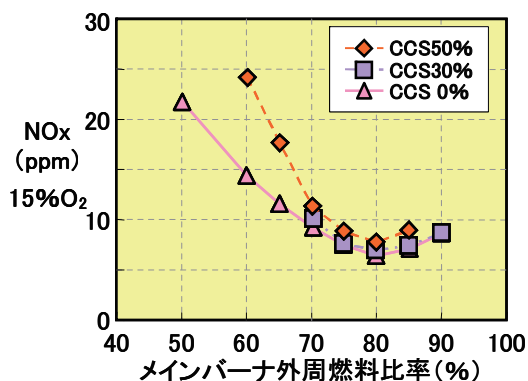


図11 水素含有燃料用燃焼器NO<sub>x</sub>特性

## 5. おわりに

以上、弊社の天然ガス焼きH-25ガスタービンに適用した乾式低NO<sub>x</sub>燃焼技術とともに、近年取り組みつつある燃料多様化に対応した環境保全型燃焼技術の開発動向について紹介した。今後ともガスタービンは高温化・高圧力比化を通して一層の高効率を目指すとともに高い環境保全性が求められるものと考えられる。また、エネルギー安全保障の観点のみならず、地球温暖化防止の観点からもガスタービン燃料多様化への要望はますます高まるものと考えられる。

このような情勢に応えるべく、今後とも各機関において一層のガスタービン燃焼技術の革新が図られるものと期待される。弊社もその一端を担うべく、より一層の技術開発に努めていく所存である。

## 参考文献

- (1) 笹尾俊文, 他3名, “低NO<sub>x</sub>燃焼器を採用したH-25ガスタービンの運転実績”, 日立評論 Vol.85, No.2 (2003), pp.19-22
- (2) 井上洋ほか3名, 日本燃焼学会誌, 45-131, (2003-11), 11-16
- (3) 三浦圭祐, 他3名, “流れの可視化による燃料/空気同軸ノズルの混合性能改善” 第34回ガスタービン定期講演会論文集, (2006), pp.239-244
- (4) 三浦圭祐, 他3名, “LNG焼きガスタービン燃焼器の要素技術開発” 第37回ガスタービン定期講演会論文集, (2009), pp.103-108
- (5) 小泉 浩美, 他3名, “DME用ガスタービン燃焼器の開発” 第30回ガスタービン定期講演会講演論文集, (2002), pp.91-96
- (6) Takeo Saiou, et al, “PERFORMANCE DEMONSTRATION OF THE FULL SIZE MULTI CLUSTER COMBUSTOR FOR DME UNDER REAL ENGINE CONDITIONS” ASME Turbo Expo 2005, GT2005-68647
- (7) 浅井智広, 他5名, “水素含有燃料焼き多孔同軸噴流バーナの大気圧燃焼特性 (第2報)”, 第38回ガスタービン定期講演会講演論文集, (2010), pp.171-176
- (8) 百々聡, 他5名, “水素含有燃料焼きガスタービン用ドライ低NO<sub>x</sub>燃焼器の燃焼特性”, 第38回ガスタービン定期講演会講演論文集, (2010), pp.177-182

特集：ガスタービンを用いたコージェネレーションシステムと関連機器

## 排熱ボイラーの概要とその技術動向

桑原 幹男\*1  
KUWAHARA Mikio

キーワード：HRSG, 排熱回収, ボイラー, コージェネレーション, 概要

### 1. はじめに

ガスタービン排ガスの熱エネルギーを回収して、蒸気を発生させるコージェネレーション用排熱ボイラーに関し、その種類、計画概要、技術動向等について解説する。

### 2. 排熱ボイラーの種類

コージェネレーション用においては、様々な蒸気用途があり、その蒸気条件（圧力、温度）もプラント毎に異なる。ただし、大容量のコンバインドサイクル発電用とは異なり、再熱器を有するといった複雑なシステム構成が求められることは少なく、単純なシステム構成となることが通例である。

代表的な分類を以下に示す。

#### 2.1 自然循環／強制循環式

蒸発器の水循環方式の違いによる分類である。コージェネレーション用の場合、簡素で所内動力が小さくなる自然循環式を採用するボイラメーカーが多い。

分類の意味合いが異なるが、こうした循環タイプ以外に、貫流式が採用されることもある。厚肉のドラムが不要となり、起動時の昇圧・昇温レートの制限が緩和される等、起動時間短縮に繋がるとされている。

#### 2.2 横／縦型

ガスタービン排ガスの流れ方向による分類である。ガス流れが水平となる横型の方が、自然循環式との適合性がよく、コージェネレーション用では横型が多い。ただし、縦型を得意としているボイラメーカーもあり、設置スペースの制約が厳しい場合や、強制循環式などで縦型が採用されている。

上述の分類以外にも、伝熱管パネルの支持構造（ボトムサポート／トップサポート構造）、蒸発器の構造（単胴／二胴式）、追焚装置の有無、ヒートバランスの違い（単圧／複圧、過熱器・節炭器の有無）、屋外／屋内式などでボイラー形式が定められる。

これら排熱ボイラーの外形図を図1、2に例示する。数千kW程度以下のガスタービンの場合、単胴／二胴蒸発器といったように簡素な伝熱面構成となることが通例で、一方、数万kWクラスになると、複数の伝熱面単位（ハープなどと称する）から構成され、横型においてはその排ガス容量に応じて高さが10m以上となるものもある。

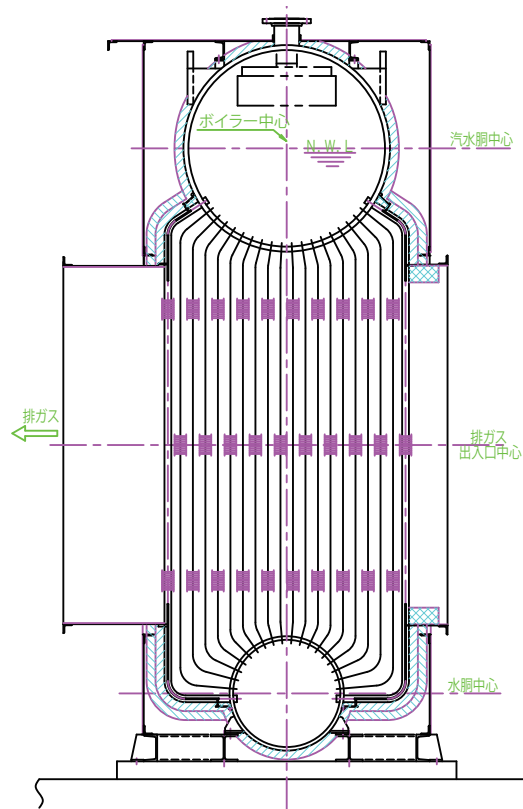


図1 排熱ボイラー外形図（二胴形自然循環式、蒸発量11t/h）

### 3. 排熱ボイラーの計画

排熱ボイラー計画に際しての考慮点を以下に述べる。

#### 3.1 温度プロフィール

ガスタービン排ガス温度はせいぜい600℃程度以下であり、熱回収効率を高める観点からもガス温度と水・蒸気温度との差は、一般のボイラーに比べて小さい。この

原稿受付 2011年3月15日

\*1 (株)IHI 原動機セクター 原動機プラント事業部  
〒135-8710 江東区豊洲3-1-1

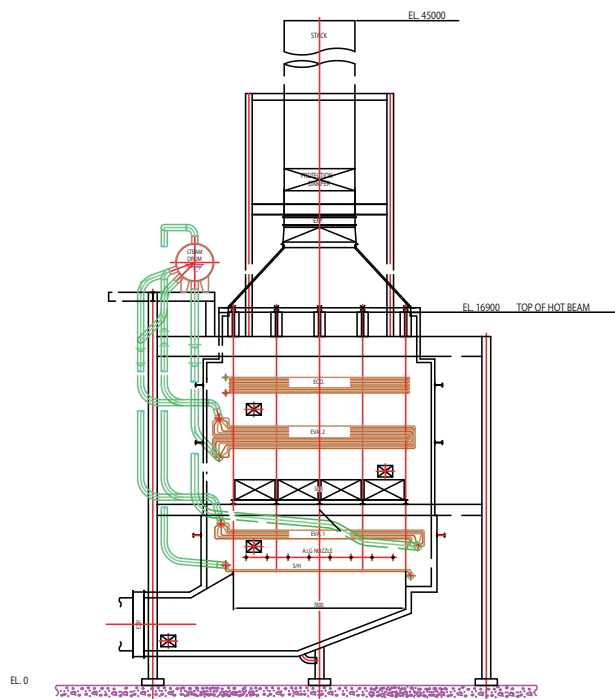


図2 排熱ボイラー外形図（堅型自然循環式、蒸発量58t/h）

ことが排熱ボイラーの特徴として挙げられるが、ガスと水・蒸気の温度差が最も小さくなる温度差をピンチポイント温度差と呼び、一般には蒸発器のガス出口部となる。このピンチポイント温度差が小さくなるように計画することで回収できる熱量が増え、蒸発量の増加となるが、一方で必要伝熱面積が増えるので、経済的なピンチポイント温度差は10℃程度以上とされている。また、ドラム内圧力の飽和温度と節炭器出口給水温度との温度差をアプローチポイント温度差と称するが、回収熱効率と必要伝熱面積の関係は、ピンチポイント温度差と同じことがいえる。さらにアプローチポイント温度差の場合には、あまり小さく選定すると、節炭器でのスチーミングリスクが高まることになるので、こうした対策も考慮の上、適正な値とする必要がある。

このように、排熱ボイラーでの最大蒸発量は、ピンチポイント、アプローチポイント温度差で律せられる。こうした特性は、図3に示されるような温度プロフィールを作成すると分かり易い。図3の例図に示されるように、低圧ほどその飽和温度が下がり、回収できる熱量が増えて蒸発量が増えることが分かる。

また、過熱器を有する場合には、その出口蒸気温度はガスタービン出口ガス温度で律せられ、その温度差として30℃程度以上を確保するのが通例である。

### 3.2 低温部の計画

コンバインドサイクルにおける復水と異なり、コージェネレーションでの給水は、純水（イオン交換水）または軟化水のメックアップとなることが多い。この場合、給水中には最大で数ppmオーダーの溶存酸素が含まれることになり、管内面の腐食に注意を要する。この節炭器の内面腐食を抑制するために、その上流に脱気器を設ける、節炭器（給水加熱器）を設けず脱気蒸発器ドラムへ給水する、ステンレス製節炭器とする、などといった対応を検討することになる。ステンレス製節炭器の場合には、応力腐食割れへの配慮から、給水中の塩素濃度の管理も重要となる。

また、給水温度がガスタービン排ガスの（水）露点より低い場合、伝熱面表面に露がつき、外面腐食（錆または炭酸腐食）が問題となる。こうした場合には、前述のステンレス製節炭器や脱気蒸発器の採用、さらには節炭器出口給水をその入口に戻して露点以上に節炭器入口給水温度を高める、いわゆる再循環方式の採用、などの対応が採られる。なお、ガスタービン燃料中に硫黄分が含まれる場合には、酸露点以下で硫酸腐食が問題になるので、低温部の設計条件が大きく変わることになり、これら計画条件を明確にしておくことが肝要である。

### 3.3 許容排ガス圧力損失

排熱ボイラーのガス流路断面積を小さくして、ガス流

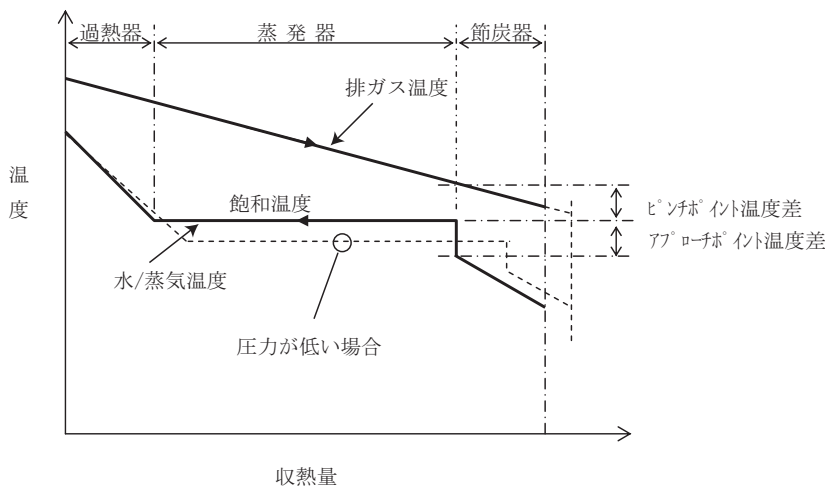


図3 温度プロフィール

速が速くなるように計画した方が、管外面の熱伝達係数が向上し、伝熱面積を小さくすることができる。反面、排熱ボイラーでの排ガス圧力損失が大きくなりガスタービン性能へ影響を及ぼすことになるので、経済性を考慮して適正な排ガス圧力損失が選定される。

### 3.4 伝熱管の計画

排熱ボイラーでの排ガスは一般にクリーンであり、さらに収熱率が相対的に低いため、伝熱管としてフィン付き管を採用して、伝熱効率を高めることが通例である。ただし、追焚直後の伝熱管など、そのフィン先端メタル温度が高くなる場合は、裸管採用となることもある。フィン付き管の種類としては、そのフィン形状の違いで、ソリッドフィンとセレーテッドフィンがある。セレーテッドフィンは、フィンに切込みが入っており、ソリッドフィンより伝熱性能が優れる。(図4)

伝熱管は、千鳥または碁盤目状に配置される。千鳥配列の方が伝熱性能に優れるが、製造面では碁盤目配列の方が容易であり、こうした伝熱面計画の方針は、ボイラメーカーの思想に委ねられている。

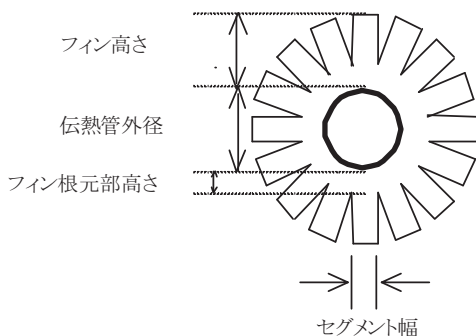


図4 セレーテッドフィン

### 3.5 流れ加速腐食 (Flow Accelerated Corrosion)

排熱ボイラーの場合、一般のボイラーに比べて熱負荷が小さく、腐食の程度も軽微であると以前に考えられることもあったが、低温部の乱れ箇所を中心に流れ加速腐食の事例が紹介されている<sup>(1)</sup>。この流れ加速腐食は、100～150℃程度の温度域で顕著になるとされており、該当する低圧蒸発器や低圧節炭器には、その伝熱管材質として耐食性に優れる合金鋼を採用するなどの対応が考慮される。

### 3.6 脱硝装置

国内では脱硝装置が設置される場合も多く、一般的には選択接触還元法が用いられている。脱硝触媒には、性能面から適正なガス温度範囲が存在し、その仕様に応じた適正なガス温度域となるように排熱ボイラー内における脱硝触媒の配置位置が決定される。各ガス温度域に対応した種類の触媒が存在するが、300～350℃程度で計画されることが多い。

## 4. 求められる特性と技術動向

排熱ボイラーに求められる特性としては様々なガスタービンの運転状態に追従可能で、できるだけ熱回収効率を高めることである。ただし、コージェネレーション用排熱ボイラーで高度な技術が求められることはなく、技術開発要素も少ない。従って、技術動向として特筆すべきことは少なく、排熱ボイラーに求められる特性を中心に、技術動向も多少交え以下に記述する。

### 4.1 負荷追従性

ガスタービンの特長として、急速起動が挙げられる。こうしたガスタービンの特長の制約とならないように、ガスタービン排ガス条件の変化に耐え得る構造が求められる。

ボイラー本体の保温方式としては、内面保温と外面保温の両方式があるが、内面保温方式の方がガス温度変化によるケーシング温度の変化量が抑制され、ガスタービンの負荷変化に対する信頼性は高いと考えられる。

ドラムボイラ（自然循環式）の場合、起動時のドラム水比容積変化に伴う膨出に注意を要し、起動時水位を下げるなどの対策が採られるが、然るべき容量のドラムサイズとすることも肝要である。

過熱式の場合には、その蒸気温度を一定に保つために、減温装置が設けられることも多い。

### 4.2 水処理と蒸気性状

排熱ボイラーで生成される蒸気は、その工場での製品となり、蒸気性状への特別な要求を出されることがある。こうした要求性状を考慮して、使用する薬品の種類など、水処理方式へ反映することが求められる。

### 4.3 高温追焚

蒸気量の需要増に対応するための解決策のひとつとして追焚があり、その高温化の動きがある。追焚後の高温燃焼ガス温度部への対応がポイントであり、高温酸化特性に優れるプレート材の適用などで高温化に対応することが行なわれている<sup>(2)</sup>。

## 5. おわりに

二酸化炭素削減への対策面からも、排熱ボイラー採用の需要はこれからも高いと思われる。ここで、最も求められることは、その信頼性向上であり、関係者の地道な努力が続けられている。本稿がこうした活動への多少の手助けになれば幸甚である。

## 参考文献

- (1) 火力原子力発電, Vol.61 No.8 (2010年8月), p69
- (2) 藤井篤之, 他, IHI技報, 第49巻 第2号 (2009年6月), p103

特集：ガスタービンを用いたコージェネレーションシステムと関連機器

## 吸収冷凍機の高効率化技術とその技術動向

入江 智芳\*<sup>1</sup>  
IRIE Tomoyoshi

キーワード：吸収、冷凍機、ヒートポンプサイクル、エゼクタ、Absorption, Refrigerator, Heat pump, Cycle, Ejector

### 1. はじめに

本報では、ガスタービンコージェネレーションから生成される蒸気を駆動源とする機器として、蒸気式吸収冷凍機を主に説明する。まず、吸収冷凍機の高効率化技術を解説する。次に、吸収冷凍機の冷却水を暖房用温水等に利用できる、冷温水同時供給の吸収冷凍機を説明する。更に、吸収冷凍機の原理を応用した、第二種吸収ヒートポンプのガスタービンコージェネレーションへの適用を説明する。

### 2. 吸収冷凍機の高効率化技術

#### 2.1 二重効用吸収冷凍機の効率

蒸気式吸収冷凍機の効率は、一般的に蒸気消費率で表記されている。蒸気消費率は冷凍能力1USRTを得るために必要な蒸気流量 $\text{kg}/(\text{h}\cdot\text{USRT})$ で定義される(1USRTは3.5kW)。現在の蒸気式二重効用吸収冷凍機の最高効率は、蒸気消費率 $3.5\text{kg}/(\text{h}\cdot\text{USRT})$ となっている。

この最高効率機の一例として、荏原冷熱システム(株)の蒸気式二重効用吸収冷凍機RFW型<sup>1)</sup>にて高効率化技術を説明する。

#### 2.2 RFW型製品仕様

図1にRFW型の外形図を、表1にRFW型の代表仕様を示す。図1に示すとおり、RFW型は、蒸発器/吸収器缶胴、低温再生器/凝縮器缶胴と高温再生器の合計3つの缶胴から構成されている。製品を搬入する際には、蒸発器/吸収器缶胴と低温再生器/凝縮器/高温再生器缶胴とを分割し搬入することが可能である。

表1に示すとおり、RFW型は、冷凍機1台で構成するシングルタイプとして1864～5274 kW {530～1500 USRT} の12機種、シングルタイプの冷凍機2台を背面設置して構成するツインタイプとして3727～10549 kW {1060～3000 USRT} の12機種、計24機種のシリーズとなっている。

吸収冷凍機を駆動する熱源の蒸気圧は、0.78 MPa (Gauge)、冷水の出入口温度は14→6℃、冷却水の出入口温度は32→40℃となっている。

#### 2.3 サイクルフロー

図2にRFW型のサイクルフローシートを示す。このフローシートに沿って、吸収冷凍機の動作原理を説明してゆく。

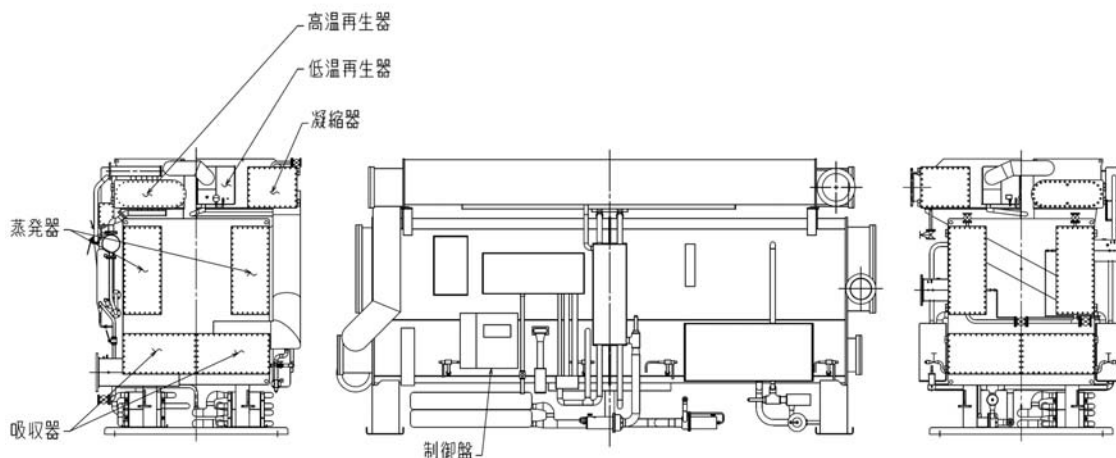


図1 RFW型外形図<sup>1)</sup>

原稿受付 2011年3月22日

\*1 荏原冷熱システム(株) 吸収冷凍機開発グループ  
〒251-8502 藤沢市本藤沢4-2-1



表1 RFW型 標準仕様表<sup>(1)</sup>

型式	RFW	053N8E	064L8E	080K8E	068N10E	080L10E	100K10E	083N12E	100L12E	125K12E	100N15E	120L15E	150K15E	
冷凍能力	kW	1 864	2 250	2 813	2 321	2 813	3 516	2 919	3 516	4 395	3 516	4 220	5 274	
	[USRT]	{ 530 }	{ 640 }	{ 800 }	{ 680 }	{ 800 }	{ 1 000 }	{ 830 }	{ 1 000 }	{ 1 250 }	{ 1 000 }	{ 1 200 }	{ 1 500 }	
冷水実	冷水出入口温度	℃ 14→6												
	流量	m <sup>3</sup> /h	200	242	302	250	302	378	314	378	473	378	454	567
	配管口径	A	250						300					
冷水実	冷却水出入口温度	℃ 32→40												
	流量	m <sup>3</sup> /h	339	410	512	422	512	640	531	640	800	640	768	960
	配管口径	A	300						350					
吸収機	入口圧力	MPa 0.78												
	消費量	kg/h	1 855	2 240	2 800	2 310	2 800	3 500	2 905	3 500	4 375	3 500	4 200	5 250
	蒸気入口配管口径	A	100						125					
	ドレン出口配管口径	A	50											
電気仕様	電源	V×Hz	三相 200×50/60, 220×60, 400×50/60, 440×60 (標準)											
	冷媒ポンプ	kW	0.4	0.4	0.75	0.4	0.4	0.75	0.4	0.4	0.75	0.4	0.4	0.75
	溶液ポンプ	kW	3.2+1.5	3.7+1.5	3.7+1.5	3.7+1.5	3.7+1.5	5.5+1.5	3.7+1.5	5.5+1.5	5.5+1.5	5.5+1.5	5.5+1.5	5.5+1.5
	溶液スプレーポンプ	kW	2.2+0.75	2.2+0.75	3.2+0.75	3.2+0.75	3.2+0.75	3.2+1.5	3.2+0.75	3.2+1.5	3.2+1.5	3.2+1.5	3.2+1.5	5.5+1.5

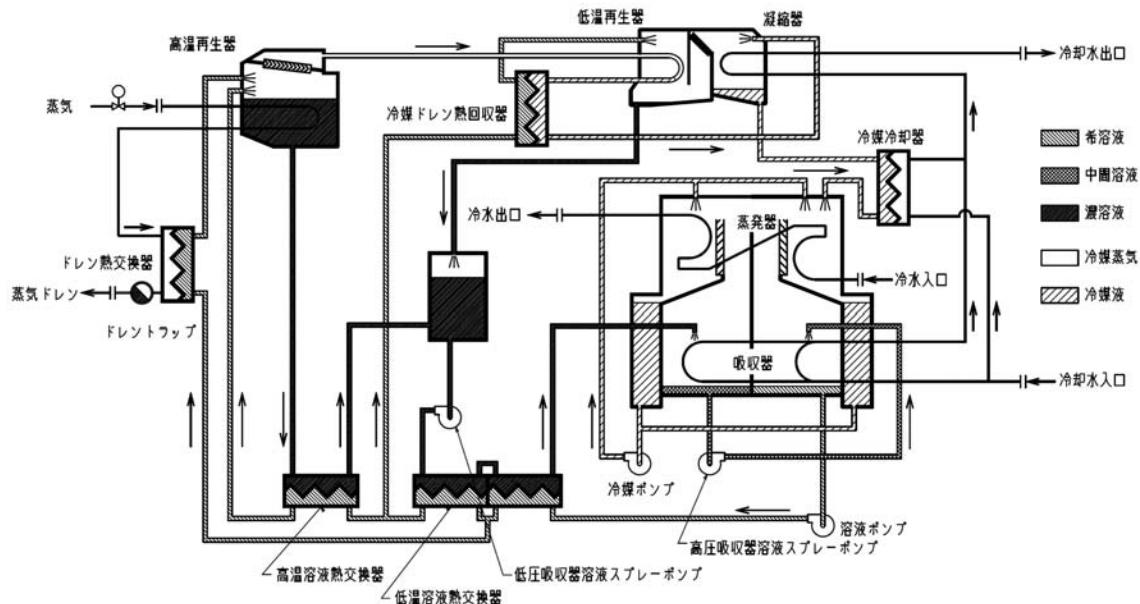


図2 二重効用吸収冷凍機RFW型サイクルフローシート<sup>(1)</sup>

まず、蒸発器伝熱管外で冷媒（水）が蒸発することで、伝熱管内を流れる冷水を冷却する。蒸発した冷媒蒸気は、吸収器伝熱管外を流下する吸収溶液（臭化リチウム溶液）に吸収される。冷媒蒸気を吸収して薄くなった溶液（希溶液）は、溶液熱交換器を経て高温再生器と低温再生器に送られる。

高温再生器では、供給される熱源蒸気により希溶液が加熱濃縮され濃溶液となり、低温再生器では、高温再生器で発生した冷媒蒸気により希溶液が加熱濃縮され濃溶液となる。

高温再生器で加熱濃縮された濃溶液は高温溶液熱交換器で希溶液と熱交換した後、低温再生器で加熱濃縮された濃溶液と混合され、低温溶液熱交換器で更に希溶液と熱交換を行い、吸収器へ戻る。また、高温再生器及び低

温再生器で発生した冷媒蒸気は、凝縮器で冷却液化され、冷媒冷却器で冷却水により冷却された後、蒸発器へ戻る。なお、高温再生器の溶液を濃縮するために用いた熱源蒸気は、低温溶液熱交換器から分岐された希溶液を加熱することで更に熱回収された後にドレンとして戻される。

本サイクルは、吸収器からの希溶液を分岐して、高温再生器と低温再生器に供給するため、分岐フローと呼ばれる。以下に、本サイクルフローでの高効率化技術を説明する。

## 2.4 高効率化技術

### 2.4.1 ドレン熱交換器

従来直列に接続していた高温溶液熱交換器とドレン熱交換器を並列に配置することで、蒸気ドレンからの熱回

収量を大幅に増やした。従来は、高温溶液熱交換器で昇温された希溶液をドレン熱交換器で熱回収したため、蒸気ドレンと溶液の温度差をとることができなかった。これを並列に配置し、低い温度の希溶液と蒸気ドレンを熱交換させて温度差を大きくとることで熱回収量を増加させている。

#### 2.4.2 内部熱回収の向上

従来機種ではシェルアンドチューブ型の熱交換器を採用していた溶液熱交換器、ドレン熱交換器にプレート型熱交換器を採用することで熱交換器の温度効率を改善し、サイクル内部の熱回収量を増加させた。

溶液熱交換器、ドレン熱交換器の効率向上により、再生器に供給される希溶液の温度が昇温されることで、再生器に投入する蒸気消費量を大幅に削減することが可能となった。

#### 2.4.3 二段吸収蒸発

従来一組だった吸収器・蒸発器を二組に分け、それぞれ異なった圧力下で作動する二段吸収蒸発にすることにより、濃溶液と希溶液の濃度差を従来機種の約2倍とした。それにより、溶液循環量を従来機種に比べ半減することが可能となり、熱交換器の高効率化、小型化につながっている。

### 2.5 部分負荷効率の改善

吸収冷凍機は、定格点以外の部分負荷で運転されることが多く、部分負荷効率の改善も大きな課題となっている。

図3に、冷却水入口温度をJIS条件とした場合の、従来型(RAW型)とRFW型の部分負荷特性例を示す。RFW型では、溶液ポンプ、溶液スプレーポンプのインバータによる溶液循環量制御、及び前述した手法により、冷凍負荷全域で従来シリーズに比べ蒸気消費率が低減し、大幅な高効率化が図られている。

従来機種では、冷凍負荷60%付近までは、蒸気消費率が低下するものの、それ以下の領域では、蒸気消費率が

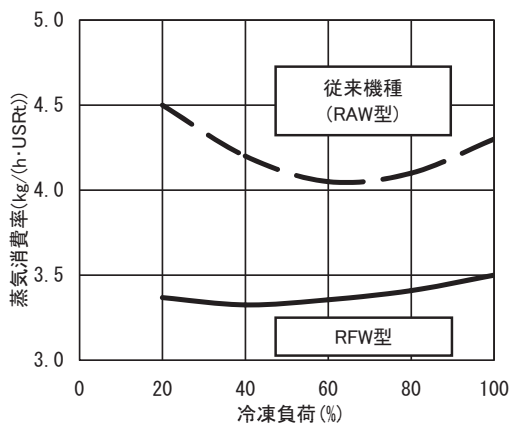


図3 部分負荷特性図<sup>(1)</sup>

上昇傾向にある。一方、RFW型では、冷凍負荷40%まで蒸気消費率が減少している。さらに冷凍負荷を20%まで下げた場合には、若干の蒸気消費率の上昇がみられるが、RAW型の上昇幅と比較すればその程度は小さい。

### 3. 三重効用吸収冷凍機による高効率化

前述した蒸気消費率 $3.5\text{kg}/(\text{h}\cdot\text{USRT})$ を越すさらなる高効率化を行うためには、二重効用吸収冷凍機では効率向上の限界に近づいているために、三重効用吸収冷凍機の実用化が進められている。

三重効用サイクルは、二重効用サイクルに再生器を一つ追加した機器構成となる。二重効用サイクルでは、高温再生器で発生した冷媒蒸気は、低温再生器の溶液のみの加熱となる。三重効用サイクルでは、高温再生器で発生した冷媒蒸気で順次、中温再生器、低温再生器の溶液加熱が行われ冷凍機内部での熱回収量が増加する。これにより冷凍効率のさらなる改善が可能となる。

しかしながら、三重効用サイクルは、二重効用サイクルに比べて、高温再生器の溶液温度および冷媒蒸気圧力が高くなる。二重効用吸収冷凍機の高温再生器は軟鋼製であり、内部溶液温度は $165^\circ\text{C}$ 程度を限界として、 $160^\circ\text{C}$ 前後で運転するのが一般的である。通常の三重効用サイクルでは、高温再生器の出口溶液温度が $190\sim 210^\circ\text{C}$ にもなり、腐食対策が大きな課題で、耐食材料の選択、腐食抑制剤の改良・選択などが必要になっている<sup>(2)</sup>。

三重効用サイクルでは、上述の通り3つの再生器(高温再生器、中温再生器、低温再生器)で構成されるため、各再生器への溶液供給パターンが数多くあり、その数は、60種類にも及ぶ。その中で、腐食環境が厳しい高温再生器の溶液温度を低下させるサイクル、高温再生器の内部圧力を低減させるサイクルなどが検討されている<sup>(2)</sup>。

三重効用サイクルの一例を図4に示す。図4のフローは、吸収器からの溶液を、高温再生器、中温再生器、低温再生器に並列に供給するサイクルであり、分岐フローサイクルと呼ばれている。このサイクルは、図2に示した二重効用分岐フローサイクルを三重効用に拡張したサイクルとなっている。

三重効用サイクルの実用化については、加熱源を燃焼ガスとした三重効用吸収冷凍機が(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構の共同研究事業により、2001年度から2004年度までの4年間の開発を経て2005年に商品化された<sup>(3)</sup>。その製品の冷凍能力は、 $185\text{USRT}$ と $340\text{USRT}$ の2機種であり、燃料の削減率は、定格点で二重効用サイクル機の最高効率機に対して、約15%削減されている。課題となる高温再生器の腐食抑制技術に関しては、要素試験、実機での耐久試験を実施し、解体調査することで確認が行なわれた。耐久試験の概要は表2の通り実施され、運転期間中に腐食抑制剤(インヒビター)の濃度を適切に保つ管理が行なわれた。耐久試験後の解体調査の結果、実用上において十分な耐久性を有

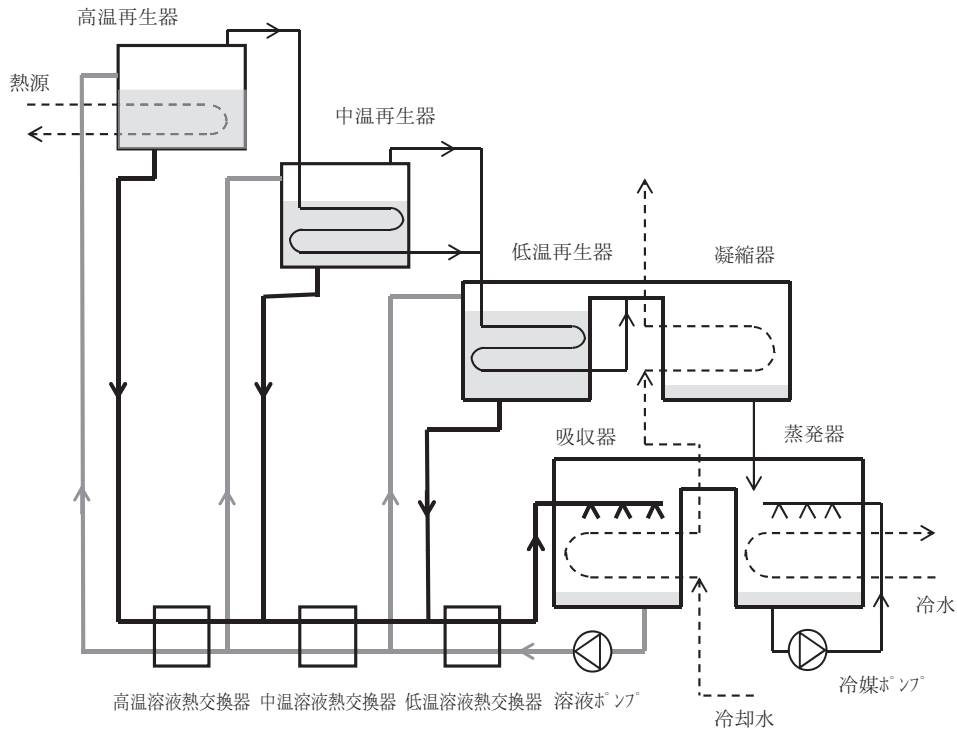


図4 三重効用サイクルの一例

表2 耐久試験の概要<sup>(3)</sup>

試験機概要	冷房能力: 1055kW (300USRT)
	型式名: 300Rt 2次試作機
試験運転負荷	冷房100%負荷
試験運転時間	2100時間(燃焼時間)
運転パターン	10時間燃焼, 2時間停止の繰り返し

していることを確認している<sup>(3)</sup>。

加熱源を蒸気とする蒸気式三重効用吸収冷凍機においても、実用化がなされている<sup>(4)</sup>。表3に蒸気二重効用と三重効用の仕様比較を示す。表に示す通り、蒸気消費率は約17%改善される。蒸気式三重効用吸収冷凍機に関して、今後のガスエンジンコージェネレーションへの適用が期待される。

表3 蒸気三重効用と二重効用仕様比較<sup>(4)</sup>

		二重効用機	三重効用機
温度	冷水	15/7°C	15/7°C
	冷却水	32/37°C	32/37°C
蒸気	圧力	0.8MPa(Gauge)	1.7MPa(Gauge)
	消費率	3.5 kg/h/USRT	2.9 kg/h/USRT
適用規格		第二種压力容器	第一種压力容器

#### 4. 冷温水同時供給の吸収冷凍機<sup>(5)</sup>

従来の蒸気式吸収冷凍機は、7°C程度の冷水を取り出すために、32°C程度の冷却水を38°C程度まで昇温し冷却塔にて放熱している。

冷温水同時供給の吸収冷凍機では、冷却水の温度を暖房用途に使用できるように上昇させ、40°C程度の冷却水

を45°C程度まで昇温している。すなわち、冷却塔で放熱されていた熱量を暖房用途に使用することで省エネルギーを計る技術である。

従来技術にて冷温水同時供給の吸収冷凍機を設計する場合は、冷却水温度を上昇させることから、吸収サイクルの溶液濃度の上昇が生じ、溶液の結晶化を防ぐ対応が必要になる。さらに、高温再生器の溶液温度の上昇、高温再生器内部の圧力の上昇を解決する必要がある。

最新の二重効用吸収冷凍機の技術と冷温水同時供給運転時における新たな制御ロジックを採用することで、これら二つの課題を解決した効率の高い冷温水同時供給運転が実現した。

表4に冷房運転時、冷温水同時供給時の冷水、冷却水温度条件と、冷水、冷却水(温水)と加熱蒸気の熱量(冷房運転時の冷凍能力を100%とした場合の熱量)を示す。表4に示すとおり、冷温水同時供給時の冷凍能力は、冷房運転時の冷凍能力に対して38.5%となる。また、冷房と暖房の容量比は、38:72であり暖房容量が高めに設定されている。表4から冷房運転時の成績係数COPを冷凍能力÷蒸気入熱量、にて定義すると、COPの値は、1.40となっている。また、冷温水同時供給時の成績係数COPを(冷凍能力+暖房能力)÷蒸気入熱量、にて定義するとCOPの値は、3.30となっている。

表4の冷水、冷却水(温水)、加熱蒸気の熱量から、冷房運転時は、冷凍能力100を得るために、冷凍能力100と蒸気加熱量71.4をあわせて171.4の熱量を冷却塔にて捨てることになる。一方、冷温水同時供給運転時は、冷凍能力38.5を得つつ、冷凍能力38.5と蒸気加熱量33.5をあ

わせた72の熱量を暖房用途に利用できる。

このように、冷却水の熱を有効利用することで、吸収冷凍機の入熱量に対して、利用できる熱量が増加し、冷凍機トータルとしての運転効率を改善することができる。

表4 冷房運転時と冷温水同時供給時の各条件

	冷房運転		冷温水同時供給	
	温度	熱量(%)	温度	熱量(%)
冷水	12→7°C	100	12→7°C	38.5
冷却水	32→37°C	171.4	40→45°C	72
加熱蒸気	-	71.4	-	33.5

\*熱量は冷房運転の冷凍能力を100%として表記。

5. 第二種吸収ヒートポンプ<sup>(6)</sup>

5.1 第二種吸収ヒートポンプ概要

前述までの吸収冷凍サイクルを応用した機器として、第二種吸収ヒートポンプが存在する。第二種吸収ヒートポンプは加熱源よりも高い温度の温水、もしくは蒸気を取り出すことが可能な機器である。

5.2 サイクルフロー

図5に第二種吸収ヒートポンプのフローシートを示す。吸収ヒートポンプの主な構成機器は、蒸発器、吸収器、凝縮器、再生器、溶液熱交換器、溶液ポンプ、冷媒ポンプであり、一般的な吸収冷凍機と同じである。

第二種吸収ヒートポンプサイクルでは、再生器で濃縮された濃溶液が、溶液熱交換器の被加熱側を經由して吸収器に入る。吸収器で伝熱管上に散布された溶液は、蒸発器から流入する冷媒蒸気を吸収して吸収熱を発生し、その熱で伝熱管内の給水を加熱・蒸発させる。冷媒を吸収して濃度が薄くなった溶液は、溶液熱交換器の加熱側を經由して再生器に戻る。再生器で伝熱管上に散布された溶液は、廃温水によって加熱され、冷媒蒸気を発生して濃縮されて濃溶液となり、溶液サイクルを一巡する。再生器で発生した冷媒蒸気は凝縮器に流入し、冷却水によって冷却されて凝縮し冷媒液となる。冷媒液は冷媒ポンプによって蒸発器に散布され、廃温水によって加熱されて蒸発し、吸収器に流入する。

このように、廃温水を再生器と蒸発器に供給し、凝縮器には冷却塔からの冷却水を供給することによって、吸収器にて給水が昇温されて蒸気を発生することができる。吸収ヒートポンプは、廃温水そのものを駆動源として高温を発生できることが大きな特徴であり、理論成績係数(吸収器発生熱量÷廃温水からの入熱量)は、0.5である。

5.3 代表仕様

表5に第二種吸収ヒートポンプの代表仕様を記す。90°Cの温水と28.5°Cの冷却水から0.2MPa (Gauge) の蒸気を取出すことが可能である。

廃温水の熱源として、ガスタービンコージェネレーションで使用される、廃ガスボイラの還水や他プロセスから熱回収される温水を利用することが考えられる。

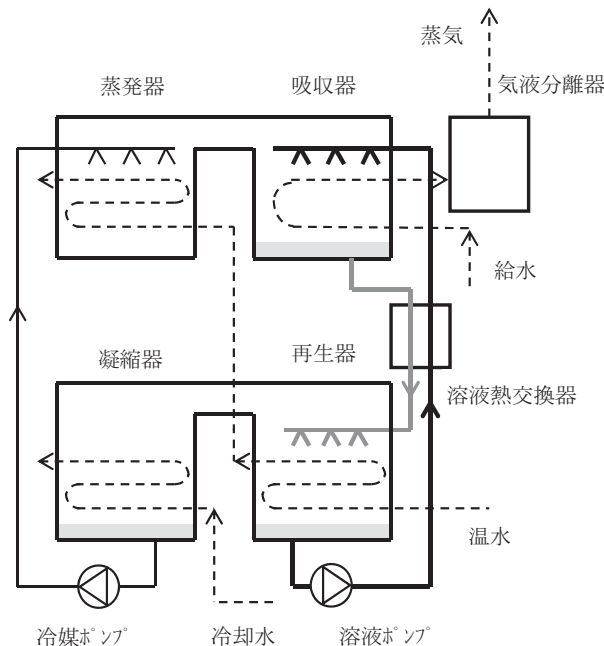


図5 第二種吸収ヒートポンプフローシート

表5 第二種吸収ヒートポンプ代表仕様

温水	入口温度	90 °C
	出口温度	84 °C
	流量	880 L/min
冷却水	入口温度	28.5 °C
	出口温度	32.1 °C
	流量	760 L/min
給水	給水温度	80 °C
蒸気	温度	133 °C
	圧力	0.2 MPa(Gauge)
	発生量	265 kg/h

6. 「スチームリンク」<sup>(6)</sup>

6.1 「スチームリンク」概要

上述の通り、第二種吸収ヒートポンプで生成できる蒸気の圧力は、0.2MPa (Gauge) と低い。このため、多くのプロセスに適用するためには、より高圧の蒸気が要求されることが考えられる。

そこで、吸収ヒートポンプにより廃温水から0.1～0.2MPa (Gauge) の低圧蒸気を発生させ、エゼクタによって0.3～0.6MPa (Gauge) まで昇圧し、一般的な工場プロセス等で需要の多い圧力の蒸気を製造する「スチームリンク」が開発された。なお、本システムは、東京ガス(株)、三浦工業(株)、荏原冷熱システム(株)の3社共同開発によるものである。

6.2 エゼクタ

「スチームリンク」で蒸気の昇圧に用いられるエゼクタについて説明する。蒸気エゼクタは高圧蒸気を駆動源

とし、低圧蒸気を昇圧することができる。高圧蒸気はノズルから低圧超音速で噴射され、低圧蒸気を吸い込み、双方の蒸気はディフューザで混合され、ディフューザの面積が広がるに従い減速し、徐々に圧力が上昇する。その結果、ディフューザ出口では低圧蒸気よりも高い圧力の蒸気が吐出される。蒸気エゼクタは構造がシンプルで可動部を持たないため、高い耐久性・信頼性を備えている。

6.3 「スチームリンク」代表仕様

図6に「スチームリンク」のシステムフローを示す。本システムは、廃温水から低圧蒸気を発生する吸収ヒートポンプと、低圧蒸気を昇圧するエゼクタと、これらの制御装置から構成されている。5.2にて説明した吸収ヒートポンプから発生した0.1～0.2MPa (Gauge) の低圧蒸気が、駆動源の高圧蒸気とエゼクタを用いることで、0.5MPa (Gauge) まで昇圧される。

表6に「スチームリンク」の代表仕様を示す。90℃の廃温水を利用し、駆動源の高圧蒸気量790kg/hに対して、出力は1055kg/hと約30%の蒸気が増加されている。すなわち、廃熱を利用することで、約30%の省エネルギーが図られている。なお、吸収ヒートポンプの性能は、冷却水温度が低いほど高くなる。よって、冷却水温度が高い夏季は、吸収ヒートポンプから得られる蒸気量は少なく、冷却水温度が低い冬季は得られる蒸気量が多くなる。

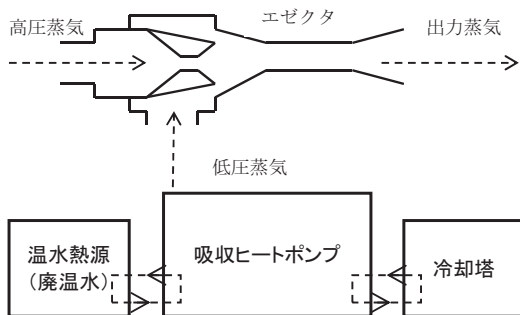


図6 「スチームリンク」フロー図

表6 「スチームリンク」代表仕様

温水	入口温度	90℃
	出口温度	84℃
	流量	880 L/min
冷却水	入口温度	28.5℃
	出口温度	32.1℃
	流量	760 L/min
給水	給水温度	80℃
高圧蒸気	温度	204℃
	圧力	1.6 MPa(Gauge)
	発生量	790 kg/h
蒸気	温度	159℃
	圧力	0.5 MPa(Gauge)
	発生量	1055 kg/h

6.4 ガスタービンコージェネレーションへの適用

次に「スチームリンク」をガスタービンコージェネ

レーションに適用するケースを検討する。

図7にシステムフロー例を示す。「スチームリンク」に供給する高圧蒸気は、ガスエンジンコージェネレーションの廃ガスボイラにて発生する。「スチームリンク」に供給する廃温水は、廃ガスボイラや燃料焼きボイラの還水、他プロセスから熱回収される温水を利用するケースが考えられる。

「スチームリンク」をガスタービンコージェネレーションに組み込むことにより、コージェネレーション全体の効率を向上させる効果が期待される。

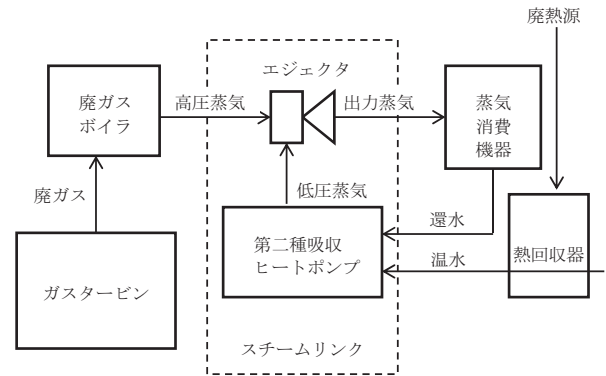


図7 システムフロー例

7. おわりに

本報では、ガスタービンコージェネレーションから生成される蒸気を駆動源とする機器としての蒸気式吸収冷凍機、さらに吸収冷凍機の高効率化技術を説明した。また、吸収冷凍機の冷却水を暖房用温水等に利用できる、冷温水同時供給の吸収冷凍機を、さらに廃温水の熱を利用し蒸気を生成する、第二種吸収ヒートポンプのガスタービンコージェネレーションへの適用に関しての説明を行なった。

本報により、ガスタービンコージェネレーションの省エネルギー化について参考になれば幸いである。

参考文献

- (1) 青山淳, エバラ時報, No.208 (2005-7), P17
- (2) 井上, 入江, 齋藤, 河合, 日本冷凍空調学会論文集, Vol.20 No.4 (2003), P461
- (3) 五嶋洋介, 冷凍, Vol.83 No.967 (2008-5), P329
- (4) 日立アプライアンス, 三重効用蒸気吸収式冷温水機リーフレット, (2008-12)
- (5) 西山, 横山, 内田, 坂野, 2010年度日本冷凍空調学会年次大会講演論講集, A323
- (6) 福住, 梶山, 藤村, 2010年度日本冷凍空調学会年次大会講演論講集, A321

\*本報中「RFW型」「RAW型」の表示は、荏原冷熱システム(株)の機種記号です。

\*本報中「スチームリンク」は東京ガス(株)の登録商標です。

特集：ガスタービンを用いたコージェネレーションシステムと関連機器

## 低温排熱利用バイナリータービンの概要 “グリーンバイナリータービン”

溝口 和彦\*<sup>1</sup>  
MIZOGUCHI Kazuhiko

キーワード：バイナリータービン，低温排熱利用，高速タービン発電機，環境適合媒体

### 1. はじめに

当社では，地球環境の未来に貢献する温暖化防止技術の一つとして，従来未利用となっている分散して存在する排熱（80℃～120℃）の回収を目的として，低沸点である代替フロンを作動媒体に用いた単純ランキンサイクルの250kW級小型バイナリー発電設備（商品名：「グリーンバイナリータービン」）を開発した。

本稿で紹介する小型バイナリー発電設備は，当社が1980年代初頭に開発製作したフロン（CFC-11：現在は規制により製造されていない）を作動媒体とする2～4MW級バイナリー発電設備の知見に基づいたものである。タービン発電機は最新のパワエレ技術によりタービンと発電機を一体化し，かつ，高速回転させることでコンパクト化を図っている。さらに発電機ロータとステータの間に薄肉円筒状のキャンを挿入することで，作動媒体を完全に密封し，系外への媒体の漏洩が無いという特長を有するものである。

初号機をデモ機（図1：発電設備外観，図2：タービン発電機）として当社神戸工場内に新たに開設された自家用発電所である「神戸パワーセンター」に設置し，

2010年5月に試運転を開始し，所期の性能が満足したことを確認して，現在に至っている。

神戸パワーセンターにはガスエンジンが主発電設備として設置されており，グリーンバイナリータービン初号機はその排熱を回収して発電を行っている。ガスエンジンは「川崎重工製V12気筒60Hz KG-12-V型5,000kWグリーンガスエンジン」で，単機で世界最高効率の49%を達成した発電設備であり，「グリーンバイナリータービン」を組合せることで発電所総合効率50%超と小規模発電所としては類を見ない効率を有している。



図2 タービン発電機外観

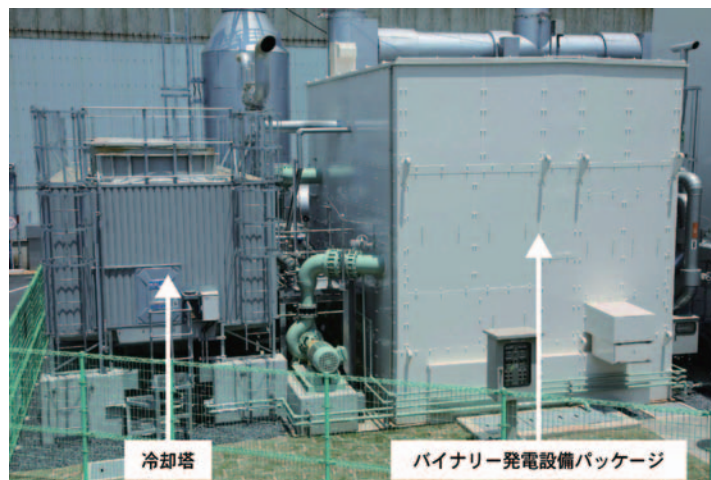


図1 タービン発電機外観

原稿受付 2011年3月23日

\*1 川崎重工工業(株) タービン部 陸用タービン課  
〒650-8670 神戸市中央区東川崎町3-1-1

## 2. グリーンバイナリータービンの主要目

表1にデモ設備の主要目を示す。

表1 設備主要目

要目	仕様
サイクル	ランキンサイクル
作動媒体	代替フロン
発電機端出力	250kW
タービン型式	横型単段ダブルインペラ式
発電機型式	永久磁石3相交流高周波同期発電機
発電機容量	250kVA (力率1.0)
回転数	約9,000rpm (可変速式)
蒸発器	流下液膜式シェル&フィンチューブ式
(熱源) 循環温水	1台
入口温度/流量	98℃ / 180t/h (定格条件*1)
凝縮器型式	シェル&フィンチューブ式
(冷却源) 循環冷却水 温度/流量	20℃ / 480t/h (定格条件*1)
備考*1) 250kWの発電に必要な温水・冷却水条件	

## 3. システムフロー

図3に基本的な熱媒体サイクルのシステムフローを示す。

パッケージ範囲を基本構成とし、タービン発電機と媒体システム機器等が含まれ、温水系統、冷却水系統はパッケージ範囲外としている。熱源には様々な形態があり、パッケージ範囲外については都度設計の対応を想定しているためである。

作動媒体は、液体の状態です予熱器を通り加温された後、蒸発器において飽和蒸気となる。飽和蒸気はタービン発電機で250kWの動力を発生させた後、凝縮器で凝縮され液体となる。タービン発電機をはじめとして、構成機器からの媒体の漏洩は無く、完全に密閉なサイクルを実現している。

凝縮器には水冷式を採用することにより、主媒体蒸気とタービン排気の有効熱落差を空冷式凝縮器を採用した場合と比較して大きく取れるために、サイクル効率が大きく出来ている。

排熱を有効利用して発電することで、250kWの発電機出力が得られ、パッケージ内補機動力を差し引いた発電量\*2)で見れば約550t-CO<sub>2</sub>/年の削減が可能となる。

備考\*2) 温水・冷却水設備は既設を流用し、それらの補機動力を差し引かず、発電出力からパッケージ内補機の動力だけを差し引いた場合の発電量

## 4. グリーンバイナリータービンの特長

### 4.1 タービン発電機の特長

図4にタービン発電機の断面図を示す。前述したように、タービン発電機が一体構造であること、さらにキャンを採用し媒体の漏洩が無いことが特長である。

発電機ロータの両端にインペラを装着するダブルフロー構造とすることで、シングルフローと比較すれば小径インペラが採用できるため高速回転化が可能となり、発電機のコンパクト化が図られている。タービンと発電機を軸直結していることから、この出力範囲でこれまで一般的に採用される減速装置が不要となっている。

キャンは作動媒体との適合性試験、および圧力・熱サイクル試験を実施し、問題が無いことを確認した上で採用している。

発電機ロータ部の冷却は媒体蒸気でやっている。通常であれば、軸にファンを設け、ロータとステータを共に空冷しているが、ロータ部はキャン内部構造となるため、空冷式ファン冷却ができない。よって、発電機ステータ部のみを外部に送風ファンを設けた空冷式としている。

インペラの形状および発電機の冷却流路形状は、採用されている媒体の特性に合沿ったCFD解析により最適化を図っている。

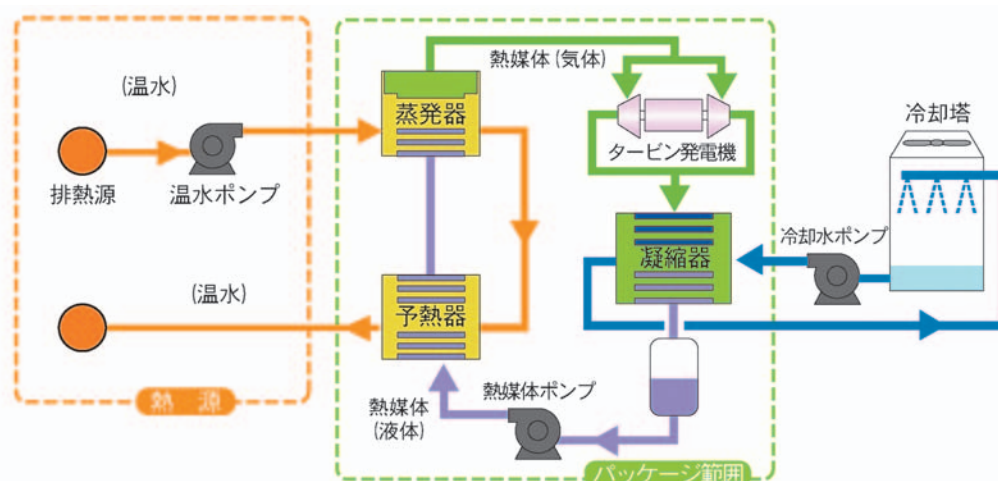


図3 サイクルシステムフロー

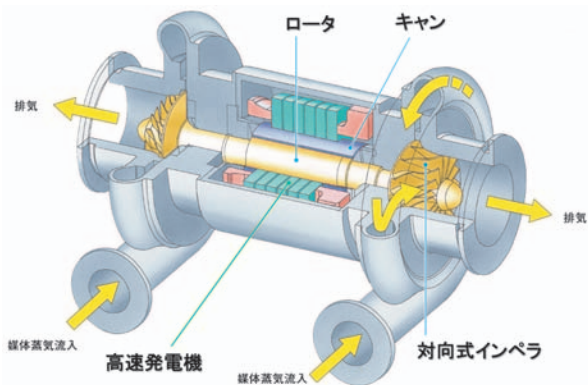


図4 タービン発電機断面

4.2 熱交換器の特長

蒸発器は流下液膜式とすることで、熱交換器の胴側に管群全体を漬すまで媒体を満たす必要がなく、比較的高価な媒体の保有量を最少化している。なお、流下液膜式熱交換器は当社グループ企業の製品である吸収式冷凍機の技術を適用するとともに、蒸発における熱伝達は伝熱特性試験により特性を十分に把握したことで、コンパクトな熱交換器とすることができた。

凝縮器は過去の2～4 MW級バイナリー発電設備で実績のある冷却管の配列や構造を踏襲している。

4.3 選定媒体の特長

媒体は、環境性、安全性、熱物性、取扱易さ、入手性、規制等から総合的に評価し、環境特性に優れ（ODPが0、GWPは比較的低い）、毒性・腐食性が無く、不燃性で、潜熱/顕熱比が小さく、大気圧力下の常温付近で液体である媒体を選定した。

4.4 電気・制御系統の特長

発電機の周波数約450Hzを直流電流化し、かつ発電機回転数を制御する発電機用コンバータ、直流電流を系統周波数に一致した交流電流とする系統連係用インバータ、および設備全体の監視・制御・保護機能を有し、自動起

動/停止シーケンスを内蔵した制御装置、さらに運転操作端を一体構造とした盤としている。図5、図6に系統の構成と盤外観を示す。

また、遠方監視装置、上位計算機との入出力にも対応可能としている。補機系統が準備できていれば容易に起動停止操作を行うことができる。



図6 制御盤

4.5 起動特性/部分負荷特性

冷却水系統が運転確立していれば、温水を通水し媒体圧力を上昇させた（タービンバイパス運転）後、タービン発電機の起動・併入を行う。自動で昇速、負荷増加を行い、約20分で最大負荷に到達する。本起動曲線を図7に示す。

4.6 部分負荷特性

前述したようにバイナリー発電設備においては、熱源の温度が低く、また、冷却は大気温度程度であることから有効利用出来る温度差が小さい。夏季のような大気温度が高い場合においては、温度差が小さく、タービン排

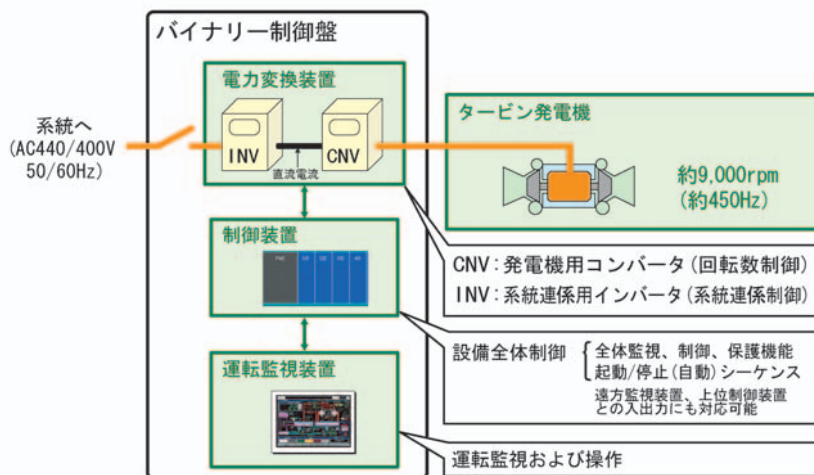


図5 電気・制御系統図



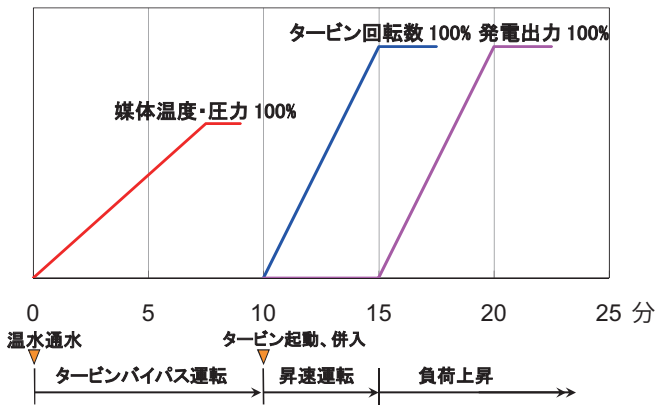


図7 起動曲線

気圧力が上昇するため、大きく設計点からずれることになる。このような場合、定格回転数（約9,000rpm）での運転ではタービン効率はかなり低下することになるが、電力変換装置を装備していることからタービン発電機回

転数は系統周波数と独立した制御が出来るので、運転回転数を約7,000rpmまで低下させることで部分負荷効率を高く維持しながら運転することが可能である。

4.7 コンパクトパッケージ化

タービン発電機、熱交換器を小型化することで比較的コンパクトなパッケージとすることができた。輸送、据付工事におけるコストを最小化することに貢献している。パッケージ外観と配置構成例を図8に示す。

5. 適用例

5.1 ガスエンジンとの組合せ

弊社神戸パワーセンターでの弊社製グリーンガスエンジン「KG-12-V 5000kW」と組合せた実施例のシステムフローを図9に示す。

ガスエンジンのジャケット冷却熱と排ガス熱を用い、98℃ /180t/hの温水を得て、250kWの発電を行っている。

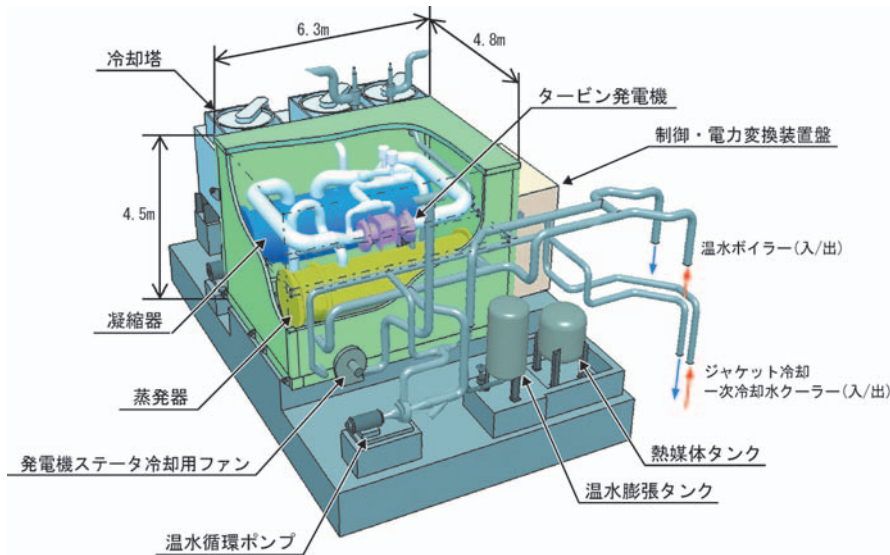


図8 配置構成例

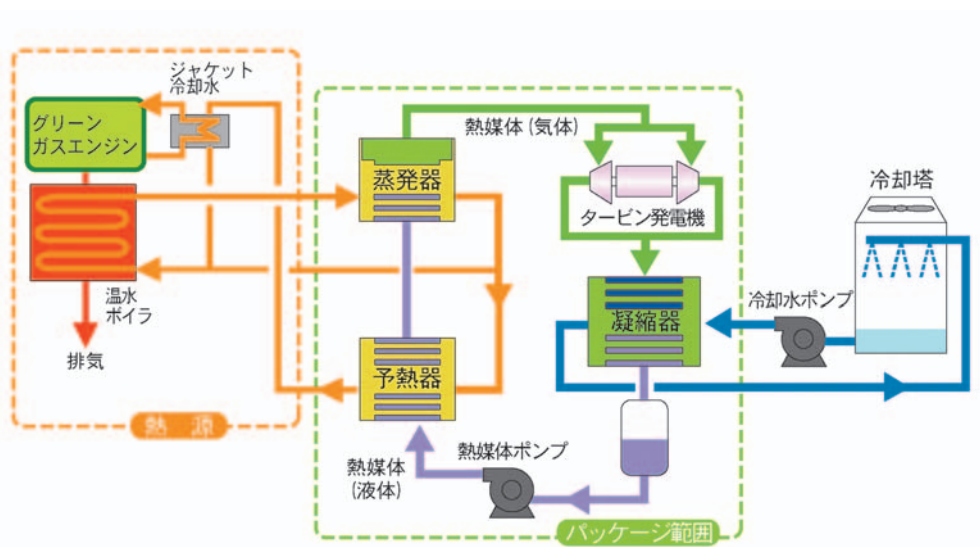


図9 適用例-1 (ガスエンジンとの組合せ)

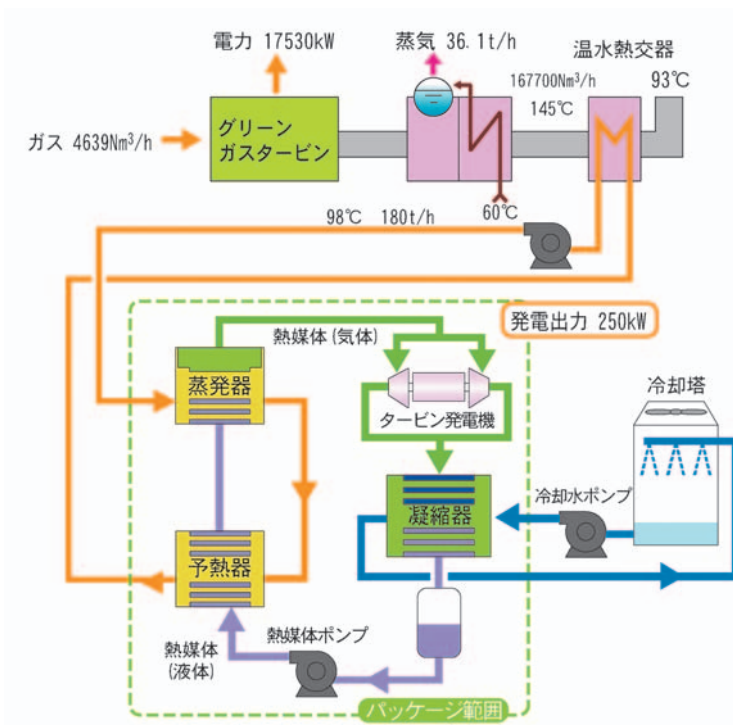


図10 適用例-2 (ガスタービンとの組合せ)

蒸発器、予熱器で熱を利用した後の温水出口温度は、ガスエンジンのジャケット冷却水供給温度に合わせた温度としている。

5.2 ガスタービンコージェネレーションとの組合せ

当社製のガスタービン発電設備「グリーンガスタービン PUC180D」に排熱利用蒸気発生器を適用したコージェネレーション設備への適用も可能である。図10にその適用例を示す。本例は、工場など蒸気消費先の蒸気デマンドが低く、蒸気発生器後流での排ガス温度が依然として高い場合に、温水熱交換器でバイナリー発電を行う事例である。

5.3 他の低温排熱利用設備との併用

上述は、グリーンバイナリータービンにて、低温排熱エネルギーの全てを電気として回収する例であるが、電気の需要よりも空調利用の方が好ましい場合には、低温排熱温水を利用した吸収式や吸着式の冷凍機が採用される。低温排熱エネルギーが多く、電気と空調の両方の需要が見込まれる場合には、グリーンバイナリータービンと冷凍機の併用が考えられる。

5.3.1 冷凍機との並列設置

図11に概略システムを示す。

本システムは、電気の需要量と空調の需要量が、時期により変動がある場合でも、各機器への温水供給量の比率を調整することで、需要の高いどちらか（電気か空調か）への供給が可能な設備構成とする事が可能で、柔軟な運用を行うことができる。ただし、熱電調整可能範囲

を大きく、設備に余裕を持たせ過ぎると、運用率の低下を招くこととなるので、変動需要を事前に正確に把握しておく必要がある。

5.3.2 冷凍機との直列設置

図12に概略システムを示す。

排熱温水温度が比較的高い場合、グリーンバイナリータービンで電気として回収した後に、冷凍機を直列に設置することも可能と考えられる。熱電需要の比率から、

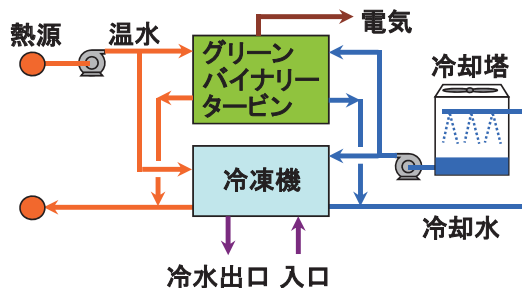


図11 冷凍機との並列設置のシステムフロー

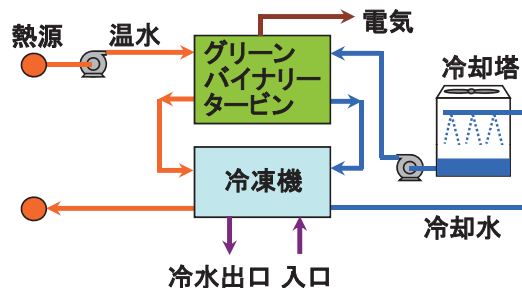


図12 冷凍機との直列設置のシステムフロー

選定されるグリーンバイナリータービン出口の温水温度に応じて、吸収式冷凍機か吸着式冷凍機のいずれかを選定することが必要となる。

並列式と同様に、電気と空調の需要を正確に把握し、設備が過大なものにならないように注意することが必要である。

## 6. おわりに

本製品は、排ガス、排蒸気や排温水あるいは地熱温水など、分散して存在する未利用の低温熱源から電力回収する製品として、開発を行ったものである。初号機を設置した弊社「神戸パワーセンター」には、多数のお客様のご見学をいただき、「グリーンバイナリータービン」が省エネ機器として期待されていることを改めて実感している。しかし、従来の発電設備や他の省エネ機器と比較すると低温排熱利用であるが故にコストの壁は依然として高い。その反面、CO<sub>2</sub>削減の必要性や省エネの推進の観点から、投資回収期間のある程度の長期化は受容す

るとの意見も聞こえるようになってきている。お客様に満足いただける価格へのコストダウンは大いに必要であり、標準化による量産化設計を取り入れる努力を継続している。しかし、メーカー単独のコストダウンだけでは、自ずと限界がある。本製品がより多くのお客様に採用戴くためには、一般工場等の低温排熱回収発電の場合にも、他の再生可能エネルギー発電と同等の電力買取制度の導入等を、関係方面の方々に是非ともご検討いただきたいと考える。

今後、本製品の適用範囲を広げるためにも、種々の分散低温排熱源に対して検討を進め、幅広いお客様のニーズに合った製品に育成していく所存である。

## 参考文献

- (1) 溝口和彦, 低温廃熱利用小型バイナリー発電設備「グリーンバイナリータービン」, クリーンエネルギー, P24-28, 20-1 (2011-1)

# 高負荷タービン翼列における内部流動および二次流れ損失低減手法に関する研究

## Research on internal flow and secondary flow loss reduction for high loaded turbine cascade

川田 裕\*<sup>1</sup>  
KAWATA Yutaka

玉川 徹\*<sup>2</sup>  
TAMAGAWA Toru

藤井 賢志\*<sup>3</sup>  
FUJII Kenji

### ABSTRACT

The high temperature gas turbine for high efficiency gas turbine combined cycle is one promising countermeasure against the global warming effect by the carbon dioxide. Concerning this high loaded turbine cascade of high temperature gas turbine, the large part of loss is generated by the secondary flow loss caused by the horseshoe vortices. In this research internal flow measurement and flow visualization are carried out to investigate the growth of secondary flow loss. The result shows that the rapid increase of the secondary flow loss is possibly due to the vortex breakdown of the interaction of two legs of horseshoe vortex. The tests of countermeasure to reduce this interaction are conducted and the 3D fence proved to reduce the secondary flow loss.

**Key words :** Horseshoe vortex, High loaded cascade, Secondary flow loss, 3D fence

### 1. 緒 言

近年、CO<sub>2</sub>による地球温暖化の現実的な対策としてガスタービンコンバインドサイクルの高効率化が重要視されている。高効率化を実現するためにタービン入口温度の高温化が進められており、それに伴い従来のタービン翼と比較して空力負荷の高い高負荷タービン翼が必要となる<sup>(1)</sup>。しかし、タービン翼の高負荷化に伴い、翼前縁で発生する馬蹄渦<sup>(2),(3)</sup>の影響が大きくなり、二次流れ損失が増大し、空力性能の更なる低下を引き起こす。その低減手法としては、これまでに境界層フェンス<sup>(4)</sup>、3次元エンドウォールコンタリング<sup>(5)</sup>、渦発生器<sup>(6)</sup>、などの研究が進められてきた。

本研究では、高負荷タービン翼の内部流動計測とそれに基づく損失低減手法の検討を行った。可視化、翼間内部流動計測により翼列内部での流動現象を把握すると共に、翼列風洞試験により全圧損失分布を計測した。実験結果を基に高負荷翼列に適した損失低減手法を案出し、その効果を可視化試験、CFD、および翼列風洞試験により確認した。

### 2. 実験装置

本研究では、前報<sup>(7)</sup>と同じ翼列風洞試験装置、煙可視化試験装置を用いて実験を行った。図1に翼列風洞試験装置の外観を示す。翼列出口の全圧損失の計測には、5孔ピトー管および高精度多点圧力計(DSA)を用いた。入口全圧はピトー管を翼列の上流に設置して計測した。

図2に翼列内部流動計測装置と供試5孔ピトー管を示す。翼列内部流動計測装置は翼列内の任意の位置と角度

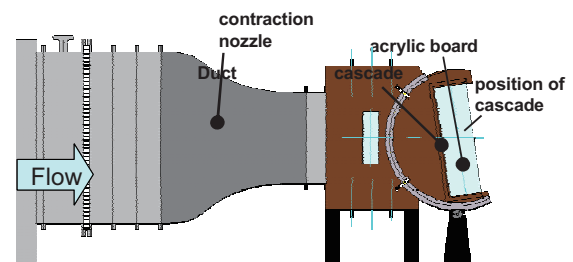


図1 翼列風洞試験装置

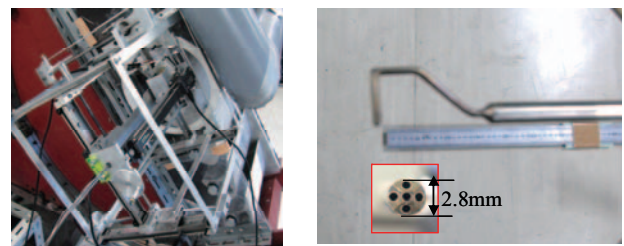


図2 内部流動計測装置と5孔ピトー管

原稿受付 2010年12月3日

校閲完了 2011年4月25日

\* 1 大阪工業大学  
〒535-8585 大阪市旭区大宮5-16-1

\* 2 大阪工業大学(院)

\* 3 三菱重工業株

に5孔ピトー管を設定できる設計で、翼列風洞試験装置に取り付けて計測を行った。翼列の内部流動計測では5孔ピトー管の流れに垂直に設定した断面内をトラバースし、翼列内部断面の全圧損失分布を求めた。

図3に可視化翼列試験装置を示す。前報で述べたように本装置では翼列風洞と同じ寸法の翼列を使用し、可視化のために入口流速は翼列風洞の約1/10の1.0m/sとした。前報<sup>(7)</sup>で両装置の境界層厚さを比較したが両者とも約10mmと同じであった。レイノルズ数が10倍異なるため本装置は主に二次流れの定性的挙動を把握するために使用した。本研究で用いた高負荷翼の仕様を表1に示す。

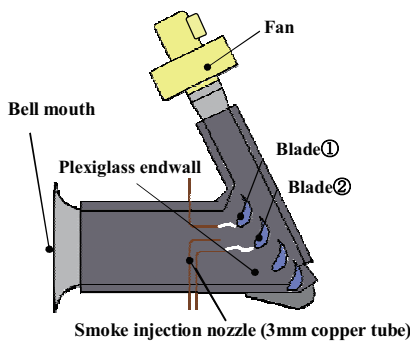


図3 可視化翼列試験装置

表1 高負荷翼の仕様

Turning angle (deg.)	118.0
Incidence angle (deg.)	0
Span length (mm)	270

### 3. 翼間内部流動の計測

#### 3.1 翼列内部の全圧分布計測

前報<sup>(7)</sup>で実施した可視化試験で、図4に示すように前縁で生じる2本の正圧面、負圧面馬蹄渦が翼中央近くの負圧面ハブ側で合流し、捻れて旋回しながら下流に流下することが明らかになった。また渦が下流へ流れるにつれて、捻れた2本の渦の振幅が拡大した後、急に不安定になり拡散することが確認できた。さらにこれらの渦の干渉を負圧面に取り付けたフィンにより弱めることで損失を低減できることを示した。

本研究では、まずこの現象を定量的に明らかにするために、翼負圧面エンドウォール付近の全圧損失分布を

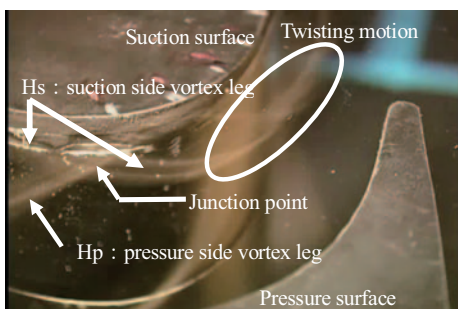


図4 馬蹄渦の合流と干渉の可視化結果

計測した。計測断面の位置を図5に示すが、2本の渦が合流する位置Jのやや下流の断面No.1から後縁の断面No.12までとし、その間を5mm間隔で計測した。

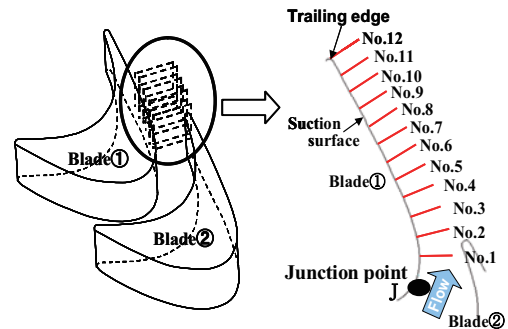


図5 内部流動計測断面

流速については後述の全圧損失分布計測と同一とし、翼列入口流速は10m/s（翼列出口流速は約40m/s）に設定した。翼列内部流動計測結果を図6に示す。今回用いたピトー管の直径の影響で壁面ごく近傍の計測は制限され、壁面から約1.5mm離れた点からの計測が可能と考えた。計測した全圧分布は入口全圧からの低下量を全圧損失係数として以下の式を用いて%表示して示した。

$$\xi = \frac{P_{in} - P_{tm}}{P_{in}} \times 100$$

ここにξ：全圧損失係数、P<sub>tin</sub>：入口全圧、P<sub>tm</sub>：計測全圧、 $\bar{\xi}$ ：領域におけるξの平均値、とする。

図6の結果から、渦の合流後の計測断面No.1では全圧損失のピークは見られないが、下流へ移動するにつれて、全圧損失のピークが徐々に見え始める。断面No.2では壁のごく近傍に低エネルギー流体が集積し始めている。渦がスロート部を通過すると、それ以降で損失ピークの増大と損失発生領域の拡大が生じているが、これは流れが加速度領域から等速度領域に移ったことが関係していると考えられる。またこれに伴って渦が端壁面から翼負圧面に沿って登っていくのが判る。

図7に図6の計測断面の損失分布を積分して得られた値を流れ方向にプロットし、損失増加の傾向を示した。図で判るようにスロート以降ではほぼ単調に損失は増大していることが判る。

#### 3.2 翼列内部の可視化実験

可視化風洞試験装置を用いて2本の渦が合流後にどのような挙動をするのかについて検討した。実験ではノズルを用いて馬蹄渦の渦芯に注入した煙の挙動を、レーザーライトシートとPIV解析を用いて評価した。可視化用の煙はエチレングリコール溶液を用いて煙発生装置で生成した。PIV解析では、図5に示す計測断面をレーザーライトシートで照射し、断面内の煙の挙動を高速度カメラで1秒間に1000コマの速度で撮影しその画像を処理した。

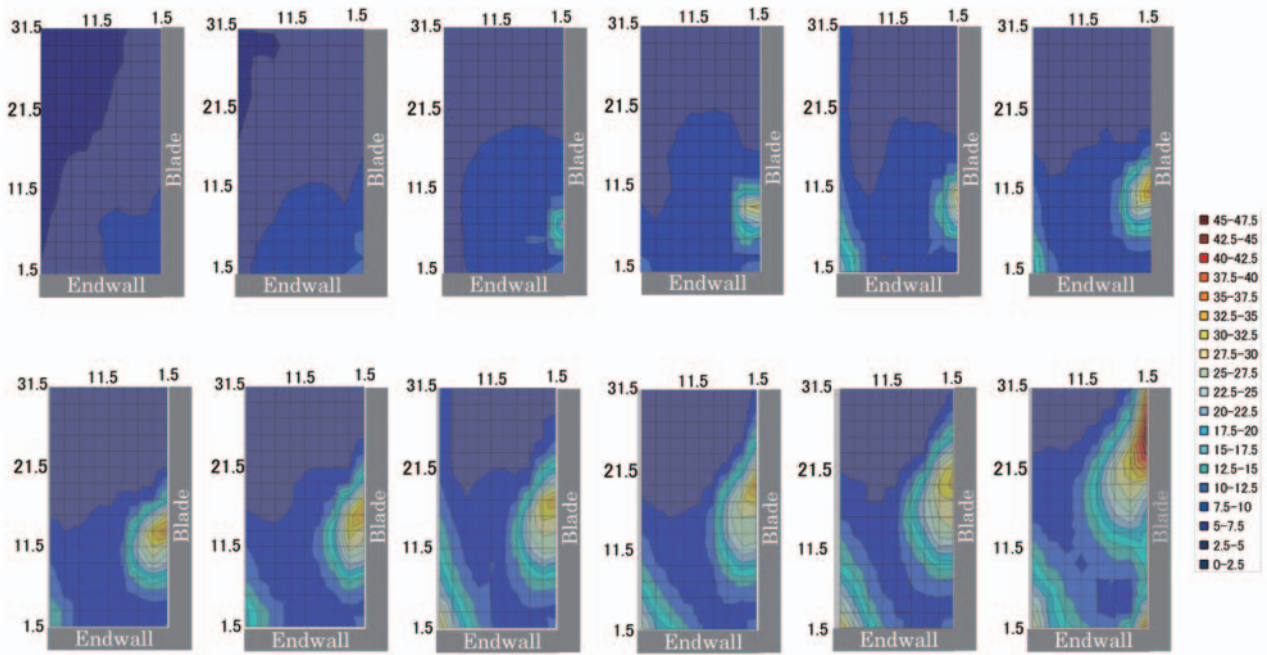


図6 馬蹄渦合流後の各断面全圧分布計測結果

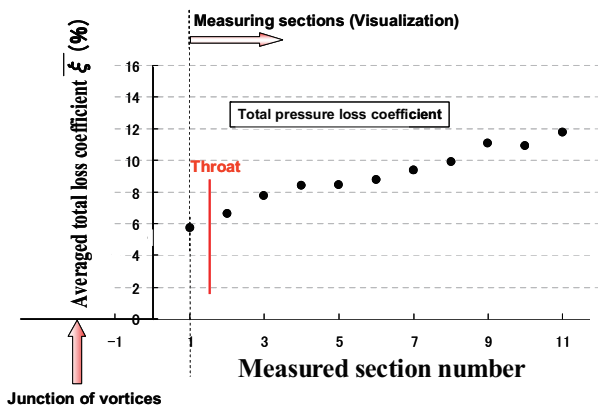


図7 二次流れ損失の流れ方向への変化

渦芯に注入した煙は正圧面、負圧面の馬蹄渦の合流点まではほとんど拡散しないが、スロート以降で渦同士が捻れるとともに活発に一定の領域を動き回ることが明らかになった。図8には計測で得られた瞬時の断面内二次流れベクトルを1000枚重ねて表示するとともに渦が非定

常に動き回る範囲を点線で示す。ピトー管の寸法による図6の計測限界に相当する境界を図8中に縦の点線で示す。図に示すように渦が動き回る領域の形状は図6の全圧損失係数の大きい部分とほぼ一致することが判る。また図4や後出の図20に示すように断面No.1付近から2本の渦が捻れる動きを始めており、壁近傍を捻れながら非定常に移動する二本の渦が損失の発生要因になると考えられる。以上の試験結果から現象的に以下のことが明らかになった。

- (1) 二本の馬蹄渦が合流し捻れ初めてから損失は増加
- (2) 二本の渦の非定常な挙動と損失発生域に相関があり、渦の移動範囲と損失発生域はほぼ一致する
- (3) 捻れ合う二本の渦はスロートの下流側で動きが活発になり移動範囲は拡大する

このような性質を示す現象にボルテックスブレイクダウン現象がある。得られた知見から損失増大の要因となっているのは、二本の渦糸が関与した一種のボルテックスブレイクダウン現象と考えられる。

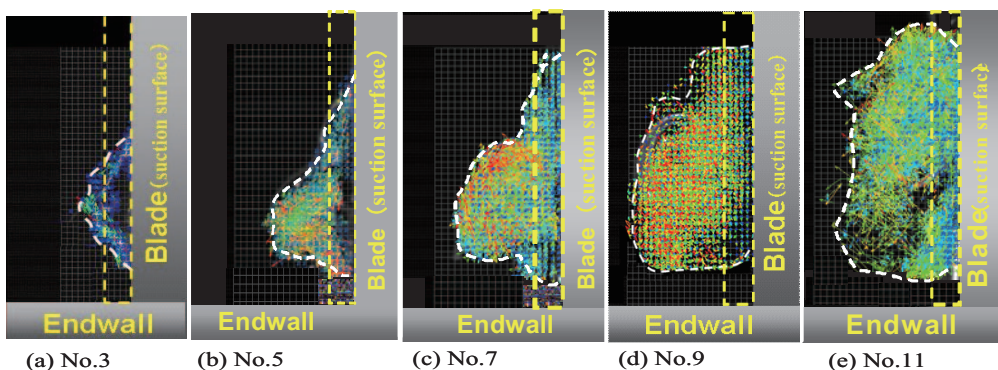


図8 合流後の馬蹄渦の各断面内移動範囲

4. 二次流れ損失の定量化

4.1 全圧損失の計測

前報<sup>(7),(8)</sup>と同様に、5孔ピトー管を翼列後縁下流側50mmの位置でトラバースして全圧損失分布を評価した。

トラバース計測位置を図9に示す。翼列出口下流側断面の計測領域はピッチ方向に120mm、スパン方向に95mmとし、5mm間隔でトラバースを行い、各ケース約500点の計測を行った。得られた全圧分布から全圧損失係数などを算出し、高負荷翼列における損失および損失低減手法の効果を評価した。実験により得られた全圧損失係数分布を図10に示す。図よりプロファイル損失、二次流れ損失、境界層損失の分布状況が明らかになる。

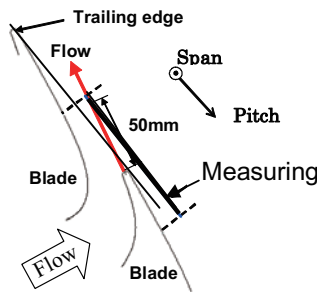


図9 翼列下流の全圧計測断面

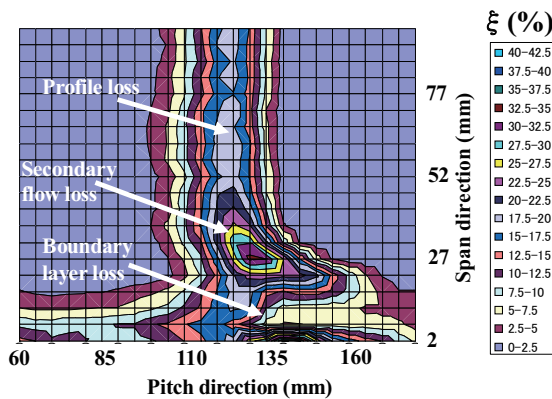


図10 オリジナルの損失分布実験結果

4.2 CFD解析

高負荷翼列の馬蹄渦合流後の二次流れ挙動を検討するため、汎用ソフトFluent 6.3.26を用いて翼列風洞試験と同一条件で定常CFD解析を行った。図11に解析対象領域を、表2に解析条件を示す。

図12に解析結果を示すが、負圧面エンドウォール付近で正圧面側および負圧面側の馬蹄渦が合流し、その後正圧面側の渦は負圧面側の渦と捻れながら移動範囲を拡大する様子が再現された。この挙動は図4、図6に示したものと同様に、正圧面側の渦がエンドウォール部に沿って負圧面に到達し、負圧面側の渦の内側に回り込み、その後捻れて流下するという共通した傾向を示している。

図13にCFDで得られた全圧損失分布を示す。この図から図10の実験結果と同様に、翼列出口における二次流

れ損失、境界層損失、プロファイル損失がCFD解析により再現できることが判った。エンドウォール壁面から約25mm離れた位置に二次流れ損失のピークが認められるが、これは図10とほぼ一致する。

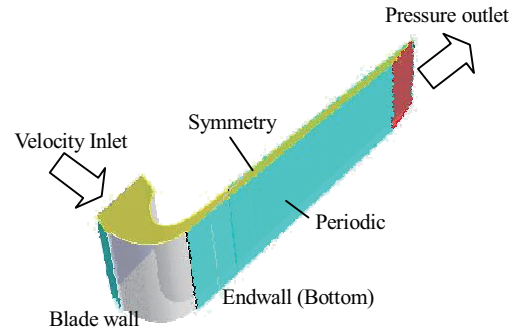


図11 CFD解析領域と境界の設定

表2 CFD解析条件

Turbulence model	RNG k-ε
Total mesh	480,000
Inlet condition	Turbulent velocity distribution
Outlet condition	Pressure outlet

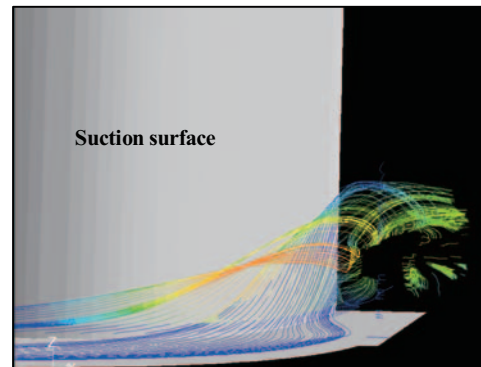


図12 CFDによるオリジナルケースの流跡線

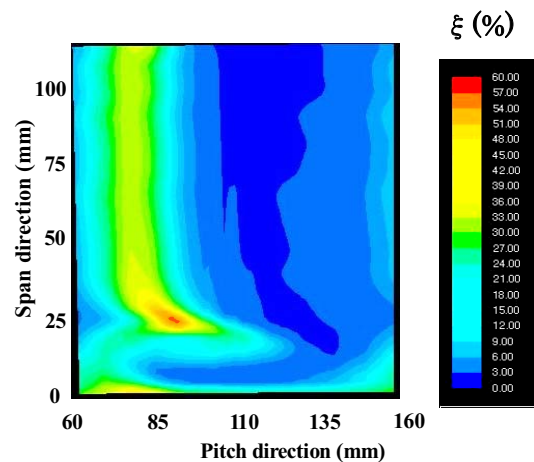


図13 CFDによるオリジナルケースの全圧係数分布

## 5. 損失低減手法の検討

高負荷翼列の内部流動計測および可視化の結果を基に、損失低減手法についての有効性を検討した。検討対象は改良型負圧面フィンと3次元フェンスとした。

### 5.1 負圧面フィン

まず前報<sup>(7)</sup>で検討した負圧面フィンを改良して二次流れ損失低減効果の向上を試みた。本コンセプトは、翼面付近を流れる負圧面側の馬蹄渦を、フィンにより翼面に沿ってエンドウォール側に流れ込むようにするものである。これにより、正圧面側からの馬蹄渦が負圧面側に到達して翼面を上昇するのを妨げ、2本の渦の干渉を弱めることを狙った。そのため、翼負圧面側の二つの渦が合流する位置に、フィンをエンドウォール側に傾けて取り付けた。入口境界層の厚みは約10mmである<sup>(7)</sup>ことを考慮して検討を行った結果、取り付け角度7度、取り付け位置はエンドウォールから約10mm、フィン枚数3枚が良い結果を与えることが判った。図14に負圧面フィンの取り付け条件および負圧面フィンの形状を示す。

計測結果を図15に示す。図10の対策前の分布と比較すると、負圧面フィンを取り付けたことにより、損失のピークが2つに分断されていることが分かる。これは負圧面側の馬蹄渦が翼負圧面側からエンドウォール側に流

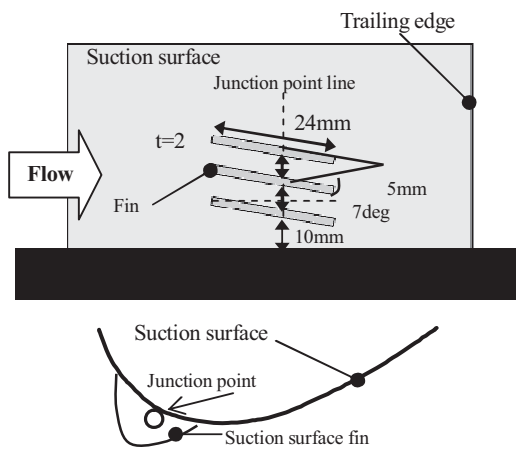


図14 フィン取り付け位置

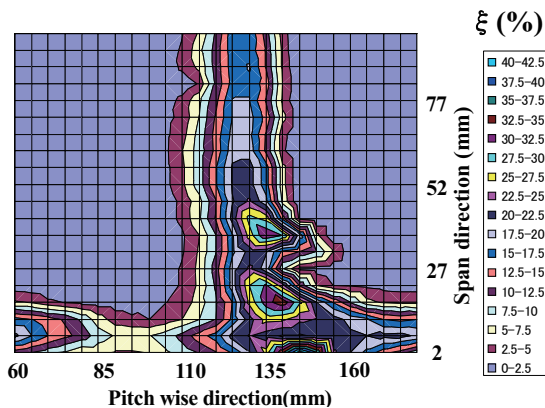


図15 フィン取り付け時の全圧損失分布

れ込んだことにより、正圧面から来た馬蹄渦との合流および干渉が妨げられたためであると考えられる。

### 5.2 3次元フェンス

従来、正圧面、負圧面からの渦の合流を妨げる目的で、境界層フェンスとして流線に沿って遮蔽用の板を配置する方法が研究されてきた<sup>(4)</sup>が、実際的高温使用条件下では冷却が困難な板の設置は実現性に乏しいと判断される。この欠点を改良するために、油膜法による可視化結果を基に、翼の負圧面付近のエンドウォール上に、境界層の流線に沿って3次元の突起（以降では3Dフェンスと称する）を設置した。これにより正圧面側の馬蹄渦の負圧面側への接近を妨げることを狙った。

まずCFD解析により3Dフェンスの有効性を検討し、図16に示す形状および取り付け位置を採用した。形状としては、断面はほぼ三角形で、先端から徐々に高くなり、途中から後端に向かって低くなる形状とした。3DフェンスはABS樹脂製とし、Dimension 3Dプロッターで製作した。

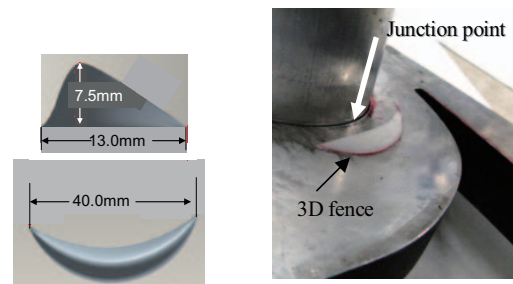


図16 供試3Dフェンス形状

CFDで得られた3Dフェンス適用時の負圧面側エンドウォール付近の流跡線を図17に示す。図から3Dフェンスの設置により、図12に比べて合流後の渦の巻き上げ高さや渦の幅が減少していることが判る。

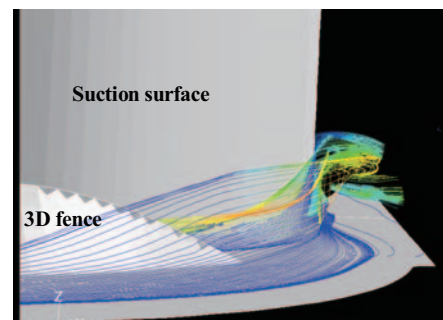


図17 CFDによる3Dフェンスの流跡線

図18に全圧損失分布の解析結果を示す。図13の対策前の分布と比較すると、3Dフェンスを取り付けた場合には、損失ピークがエンドウォール面に近づいていることおよび損失ピークが低下し、損失の発生領域が縮小して



いることが判る。以上のCFD解析から、3Dフェンスの適用により表3に示すように、二次流れ損失ピークが約7%、平均全圧損失係数は約20%低減できると予想された。

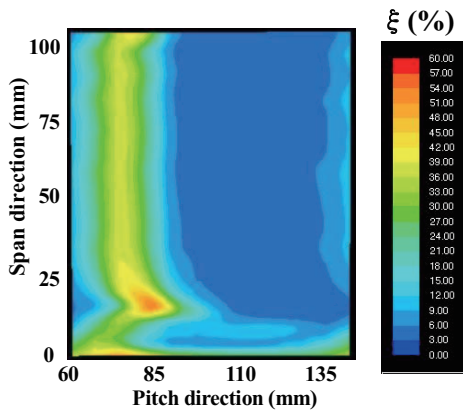


図18 CFDによる3Dフェンスの全圧損失分布

表3 CFDによるオリジナルと3Dフェンスの損失の比較

Test case	Peak value	Average value
Original	100	100
3Dfence	93.2	80

図19に可視化試験で得られた3Dフェンス取り付け時の馬蹄渦の挙動を示す。圧力面側からの渦Hpはエンドウォール上を負圧面側へと向かうが、その途中で3Dフェンスに当たり、それに沿って下流側に移動する。さらに後縁の下流側で再び負圧面側に進み負圧面からの渦Hsと合流することがわかる。すなわち3Dフェンスは2本の渦が合流するのを遅らせる効果があると考えられる。

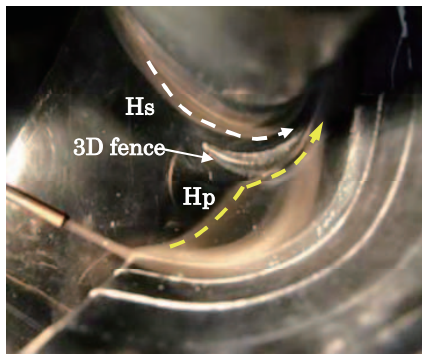
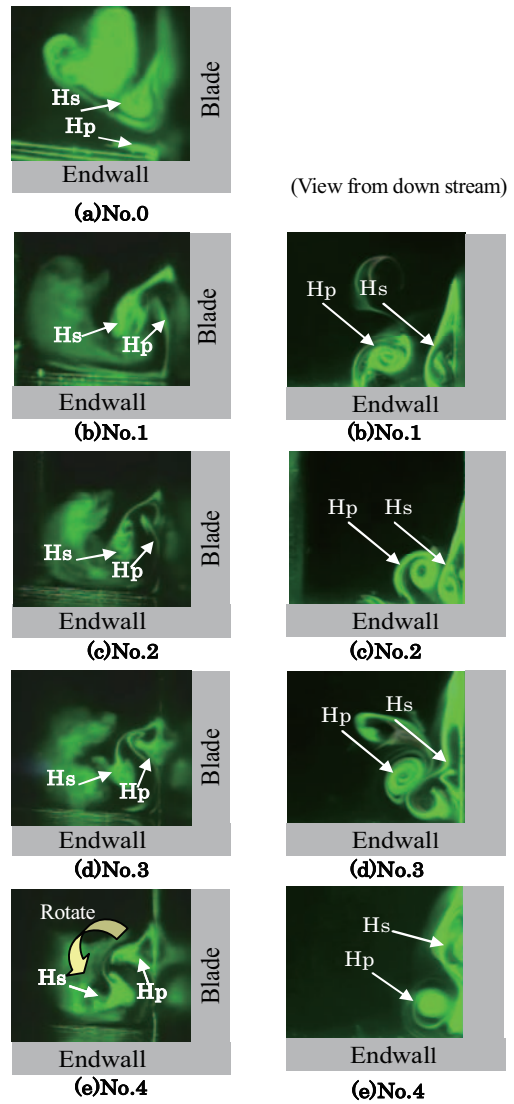


図19 3Dフェンスにおける馬蹄渦の可視化結果

さらに詳細に調べるために、負圧面エンドウォール付近の渦挙動を、図5に示した流れ方向の各断面で可視化して観察した。可視化には煙を渦芯に注入し上流側からレーザーライトシートを移動させて2本の渦を追跡し、当該断面での渦を同定した。図20に3Dフェンス有無の場合について渦の挙動を比較して示す。3Dフェンスなしの場合には、エンドウォールに沿って流路を横断して移動してきた圧力面側の馬蹄渦Hpが、負圧面に到達した

後に上方に進むことにより、負圧面の渦Hsよりも翼面側に入り込み、両者が干渉して反時計方向に回転する様子が判る。一方3Dフェンスを適用すると回転する傾向は減少しHp、Hsは平行な関係を保って下流に流れる。ただしNo.4断面以降で若干回転する傾向を示すのが観察される。



(1) Without 3D fence (2) With 3D fence

図20 3Dフェンス有無による馬蹄渦挙動の相違

図21に翼列風洞を用いて計測した全圧損失分布を示す。図より3Dフェンス設置時には、対策前に見られたエンドウォールから25mm付近の二次流れ損失ピークが減少するとともに壁面側に接近していることが判る。またスパン方向15mmから40mmにかけて損失の発生領域が大幅に縮小していることが判る。前述のように二本の馬蹄渦の合流を遅らせた結果、CFDで予測されたように二次流れ損失領域の減少とピーク値の低下が得られたものと考えられる。

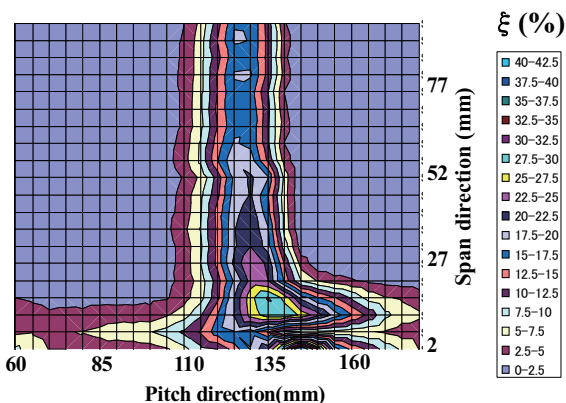


図21 3Dフェンスの全圧損失分布計測結果

5.3 二次流れ損失低減手法の比較

各スパン位置においてスパン方向に質量流量平均した全圧損失係数の分布を図22に示す。図22より負圧面フィンでは壁面に近い損失ピークがオリジナルよりも大きくなっているが、オリジナルの2次流れ損失ピークがある25mm付近では損失が減少している。また、2つに分かれたピークのもう一方がある38mm付近で損失の小さなピークが観察される。3Dフェンスでは、15mm付近で原型よりも損失が大きくなるものの、20mmから50mmの間で損失が原型よりも減少していることが確認できる。

以上の実験から得られた、オリジナル形状、負圧面フィン、3Dフェンスの二次流れ損失ピーク値、平均全圧損失係数を比較して図23に示す。結果はオリジナル形

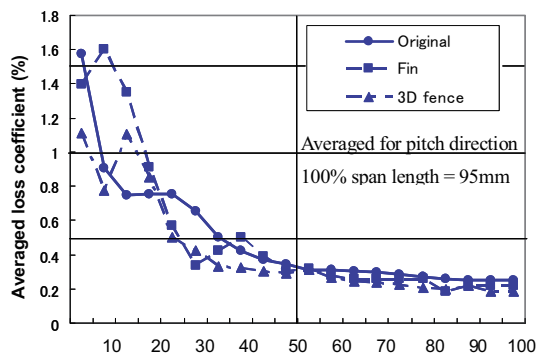


図22 スパン方向の平均全圧損失分布

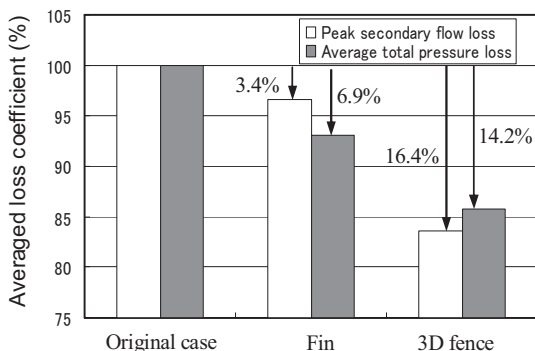


図23 オリジナル、フィン、3Dフェンスの全圧損失の比較

状の二次流れ損失ピーク値、平均全圧損失係数をそれぞれ100%として比の形で示す。図より、負圧面フィンでは、二次流れ損失ピーク値が3.4%、全圧損失係数平均値が6.9%減少、3Dフェンスでは、二次流れ損失ピーク値が16.4%、全圧損失係数平均値が14.2%減少する結果となった。CFDはほぼ損失低減の傾向を正しく予測していたことが明らかになった。以上より3Dフェンスは、渦の合流を遅らせて合流後に生じる損失増加を抑制するため、損失低減手法として有効であることが判明した。

6. 結 言

本研究では、高負荷タービン翼列を用いた可視化試験、翼間内部流動計測試験により翼列内での馬蹄渦の挙動を明らかにした。実験結果から、正圧面、負圧面からの二本の馬蹄渦が合流した後にスロート部を通過すると、捻れた渦が断面内の一部領域をふらつくようになり、損失が増加することが判った。この現象は一種のボルテックスブレイクダウン現象であると考えられる。

損失低減手法を検討した結果、特に3Dフェンスを用いることで、二本の馬蹄渦の合流を遅らせることができ、効果的に損失を低減できることが確認できた。

参考文献

- 塚越敬三, 川田裕, 次世代高温・高効率ガスタービンの技術動向, 配管技術, 640, Vol.48, No.7, (2006), p15-21
- 園田豊隆, タービン翼列内の2次流れ, ターボ機械, Vol.14, No.6 (1986), pp.356-361
- 山本孝正, タービン翼列の2次流れ損失と発生メカニズム, ターボ機械, Vol.14, No.4 (1986), pp.234-241
- 河合達雄, 篠木秀次, 安達勤, 側壁境界層フェンスによるタービン翼列二次流れの最適抑制, 日本機械学会論文集 (B編), Vol.54, No.508, (1988), pp.3432-3438
- Sakamoto, Y., Ito, E., et al., Development of high loaded and high efficiency turbine for the next generation gas turbine, IGTC2007 Tokyo TS-060, (2007)
- 遠藤慎也, 本阿弥真治, 他2名, 可動渦発生器下流に生じる縦渦の周期的挙動 (回転X形熱線流速計を用いたレイノルズせん断応力の挙動), 日本機械学会論文集 (B編), Vol.72, No.714 (2006), pp.238-2450
- 寺尾敏浩, 藤井賢志, 川田裕 “翼面フィンによる高負荷翼列2次流れ損失の低減に関する研究”, 日本ガスタービン学会誌, Vol.37, No.6, (2009), pp.386-391
- Kenji Fujii, Toshihiro Terao, Kunihiko Higashiura, Yutaka Kawata “Research on secondary flow loss of high loaded cascade for gas turbine”, ICOPE-09, Vol.2, pp.67-72



## 技術伝承について

秋葉 雅史\*1  
AKIBA Masashi

最近、我が国で技術伝承が円滑に行われていないのではないかと話題になっている。重厚長大で成熟機器である、ガスタービンの耐用年数（製品寿命）は30年位である。一般に技術者の技術寿命は定年などを考慮すると30～35年であろう。従って伝承が我々にとって重要な課題であることは間違いない。

科学（Science）は原理、原則を探求する故に、ひらめきや、直感の能力が有効である。物理学、数学や医学という形態で学問として成立するが、その境界は流動的である。業績によって博士という学位が与えられ、社会的にも評価される。

技術（Engineering）は科学を応用して人間の機能拡大を目指す行為である。従事する人にはまず正常な倫理観が求められ、公表し難い智識即ちKnow-howの蓄積を必要とする特徴がある。職種経験も求められる認定制度として技術士制度があるが現在社会的認知度はそれ程高くない。

技能（Skill）は行動や結果が定量化し易く、訓練で熟度は上昇する。技能五輪の如く世界全体でレベルを競い合うことが出来る。その他、家業として継承され、評判という形で腕前が評価される。

以上、勝手に定義してみたが、ここで社会構造の変化と技術伝承はどうであったか考えてみる。

狩猟、農耕社会では捕獲技術や栽培技術は自然が教えてくれる。修得には時間がかかり、個人差が生まれる。

工業化社会では組織として教えてくれる。Know-howや資料も含め仕事を通じてOJT（On the Job Training）という形式で受動的に、かつ自動的に身につけてくる。師匠や先輩の意識や態度も仕事を見て覚え、盗めである。

現代の情報化社会では、多量の情報が整備され簡単に入手できる。技術を修得する意識を個人が持つ必要がある。

ドイツやフランスでは9年制の義務教育が終わるとAbiturやBaccalaureatにより個人の適正や能力が明確になってくる。それが大学入試や各種国家試験に継がれているし、技能については有名なMeister制度がある。日本ではかつて徴兵検査があったが、これは識字能力と身体状況の検査という意味しかなかった。現在、センター試験がある程度の役割をもっているが、基本的には個々の大学の選抜というのが実情である。それでは大学で技術を教えられるかという研究と教育という二面性を要求されている故に無理ではある。特に技術を必要とする医学分野では国家試験の上にインターン制度が確立されている。

次に技術伝承が我が国で特に円滑に進行しなかったかを企業の対応を含めて考えてみたい。

まず第一に国としての発展のためには超と云えば半導体という具合に超微細技術に目を向けすぎ、伝承を必要とする重厚長大製品などへの関心が薄れたことにある。

原稿受付 2011年3月22日

\*1 公益社団法人 日本ガスタービン学会 名誉会員

極端に言えば科学と技術を混同していた節がある。

次に多くの企業は能率向上と時代に対応という名目のもとに、組織変更を大規模にそして多頻度に行ったことが挙げられる。それに伴って人的繋がりが薄れ、過去の経過などを記した文章類が退蔵された気配がある。

第3に考えられることは人員構成の急激な変化がある。リストラと待遇問題から多くのベテランが退職したり、少子化対策としての外国人の採用等々多岐に亘っている。その補完として研修施設の拡充や各種メディアの配布により充分と考えてしまう風潮が見受けられる。

これらの広範囲な問題を克服して解決するには現代人気質に適合した取組みが必要である。情報化社会で個人に求められる能力は「読み取る力」即ち多くの情報から有用なものを取捨選択する力、「考える力」即ち情報を活用し、自分の考えを生み出す力、「伝える力」即ち情報を発信し、評価を受ける勇気と力、が必須である。個人個人の技術者が自分の将来像を確認し、「自己実現」という目的意識を持ち、その目標達成のため仕事を通じて自ら能力の伸長を図らなければならない。指導者、概ね上長はマニュアルやトラブル事例を整備充実を計ること、同レベル技術者との Case Study, Group Discussion の機会を設定したり、後輩に教えさせてみるなど目標達成のための暖かい配慮が望まれる。そして「見ている」、「盗め」という意識から「話し合う」、「体験させる」、「調べさせる」方向へ変革が重要である。

学協会は公平、正確な情報を発信し、評価する場として機能して「伝える力」の養成に大きく寄与している。但し、情報化の時代であるが故に迅速性をもっと重視すべきである。

以上、技術伝承を効果的に行う方策についても述べたが、「自立的OJT<sup>[1]</sup>」と呼んで実践している企業や団体もある。顧みて、狭い分野であるが、原動機の開発、設計技術者、教育者、研究者として過ごした筆者が果たして、技術伝承に真剣に取り組んだか甚だ疑問がある。ガスタービン学会誌へのこの原稿を書くに当り、調べてみたら1993年に「随筆<sup>[2]</sup>」だけであったのを知り、正に内心忸怩たる思いである。

結びに Isac Newton が1676年2月5日に Robert Hooke に送った手紙の中の技術伝承に関する有名な一節を記します。

If I have seen further (than you and Descartes), it is standing upon the shoulders of Giants.

### 引用文献

- (1) 火力発電設備における人材育成と技術伝承（自立型OJTのすすめ）（平-20-3）火力原子力発電技術協会
- (2) 秋葉雅史、「随筆」日本ガスタービン学会誌 Vol. 27, No.2 1993-3

## 産業技術総合研究所エネルギー技術研究部門 ターボマシングループの紹介

松沼 孝幸\*<sup>1</sup>  
MATSUMUMA Takayuki

キーワード：ガスタービン，風力発電，デバイス・制御技術，材料・プロセス技術

### 1. はじめに

2001年に旧通商産業省工業技術院の15研究機関が統合して発足した産業技術総合研究所（産総研）は、環境・エネルギー、ライフサイエンス、情報通信・エレクトロニクス、ナノテクノロジー・材料・製造、標準・計測、地質という多様な6分野の研究を行う国内最大級の公的研究機関である。総職員数は約3,000名（研究者は約2,300名）で、本部を東京とつくばに置き、研究拠点はつくばセンターと全国8箇所の地方センターで構成されている。

エネルギー技術研究部門は、産総研内のエネルギー技術研究の中心的組織であり、(1)分散型エネルギーネットワーク技術、(2)エネルギー材料・デバイス技術、(3)クリーンエネルギー技術に関する研究を、20の研究グループで横断的に実施している。この中のターボマシングループでは、ガスタービン、風力発電、デバイス・制御技術、材料・プロセス技術の研究を行っている。

### 2. ターボマシングループの研究紹介

以下に、ターボマシングループで実施している研究内容を説明する。なお、筆者が取り組んでいるタービン翼列の空力特性に関する風洞実験は、以前に解説<sup>(1)</sup>を執筆したので本稿では省略する。

#### 2.1 小型ガスタービンシステム技術

産総研で開発した蓄熱装置を併設したマイクロガスタービン・コジェネレーションシステム（タクマ製TCP30LH）を札幌市立大学に設置し、運転状況の様々なデータを取得し、PCL制御による省エネルギー・経済性に優れた制御手法を開発している<sup>(2)</sup>。また、模型飛行機用のジェットエンジン（ソフィアプレジジョン製J-850）を改造して金属・セラミックのハイブリッド構造のマイクロガスタービンを試作し、タービン入口温度1100度での高温無冷却での運転試験を実施した<sup>(3)</sup>。また、セク

ター燃焼器試験、燃料噴射弁開発、遮熱コーティングやセラミック複合材の研究開発なども行った（図1）。

#### 2.2 次世代高効率石炭ガス化技術のシステム検討

本研究は、NEDO「次世代高効率石炭ガス化技術」プロジェクトの一環として、(株)IHI、東京大学、九州大



図1 小型ガスタービン関連の研究

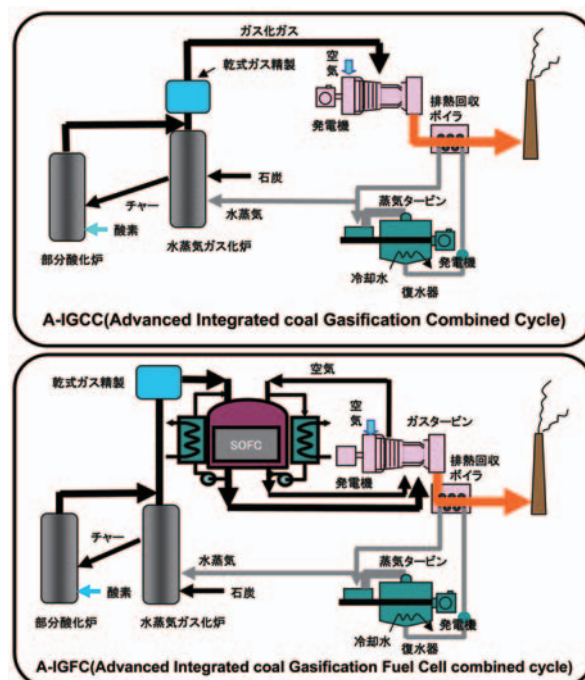


図2 A-IGCCとA-IGFCのシステム構成

原稿受付 2011年4月8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

学、財団法人石炭エネルギーセンターなどの共同で開始された。目標は、(1) ガス化装置と燃料電池／ガスタービン、蒸気タービンおよびガス精製を組み合わせた全体システムのプロセス解析を実施し、最適な操作条件を抽出すること、(2) プロセスの効率を定量的に計算し、効率に及ぼす各構成要素の条件を定量的に調べ、次世代高効率石炭ガス化技術の設計指針を明らかにすることである。

当グループでは、エクセルギー再生の概念を用いた次世代石炭ガス化複合発電（A-IGCC）や次世代石炭ガス化燃料電池複合発電（A-IGFC）のシステム検討を行っている（図2）。A-IGCCについては、空力性能を向上させてピンチポイント温度差（熱交換器内での高温媒体と低温媒体の最小温度差）を15℃にすると、1700℃級では59%を超える効率が可能となることを示した<sup>(4)</sup>。さらに、同じガス供給温度においては、IGCCの噴流床ガス化のシステムよりもA-IGCCの方が高効率であることを示した。また、A-IGFCについては、燃料電池、燃料電池ガスタービンハイブリッドシステムの開発動向を調査して、固体酸化物形燃料電池（SOFC）の解析部分の改良を進めている。

### 2.3 水素火炎への圧力波の影響に関する研究

CO<sub>2</sub>回収貯留システム（CCS）に対応させるために燃料改質を組み込んだガスタービン発電システムのプロジェクトが商業ベースで進んでいるが、燃料改質により得られた水素リッチ燃料の燃焼技術については、天然ガス燃焼に比べて課題が多く、燃焼器設計への数値シミュレーション導入が求められているが、数値計算用水素燃焼モデルは確立されていない。これは、水素が他の燃料ガスに比べて独自の物性値を持つことに由来しており、様々な水素燃焼の実験が必要となっている。そこで、産総研では、水素の音速が著しく速い（空気の4倍、メタンの3倍）ことに着目して、圧力波が水素リッチ燃料の火炎へ与える影響を実験的に調べており<sup>(5)</sup>（図3）、ノルウェーの研究機関SINTEFなどとの共同研究の推進を図り、水素燃焼モデルの確立を目指している。

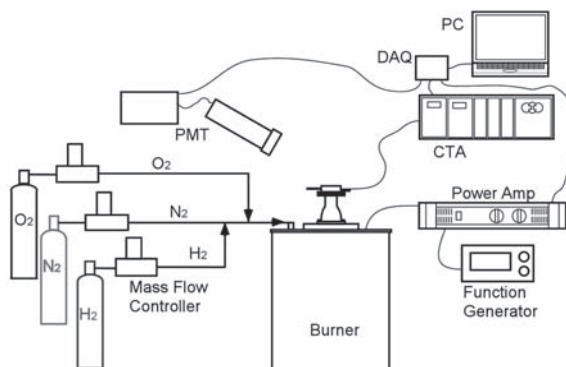


図3 水素燃焼の実験装置

### 2.4 次世代風力発電

風力発電システムの安全性・信頼性を向上させるためには、現状のIEC国際標準では十分に反映されていない日本の厳しい風特性・気象条件を評価し、その特性を反映した新たな複雑地形風特性モデルを開発することが必要である。そこで、これまでの日本型風力発電ガイドライン策定事業や風力発電フィールドテスト事業等で取得された風データ及び知見を最大限有効活用するとともに、IEC国際標準として認定されるための説得性を確保するために、新たに高精度・高信頼性を確保した計測、CFD解析、風洞実験を実施している<sup>(6)</sup>（図4）。

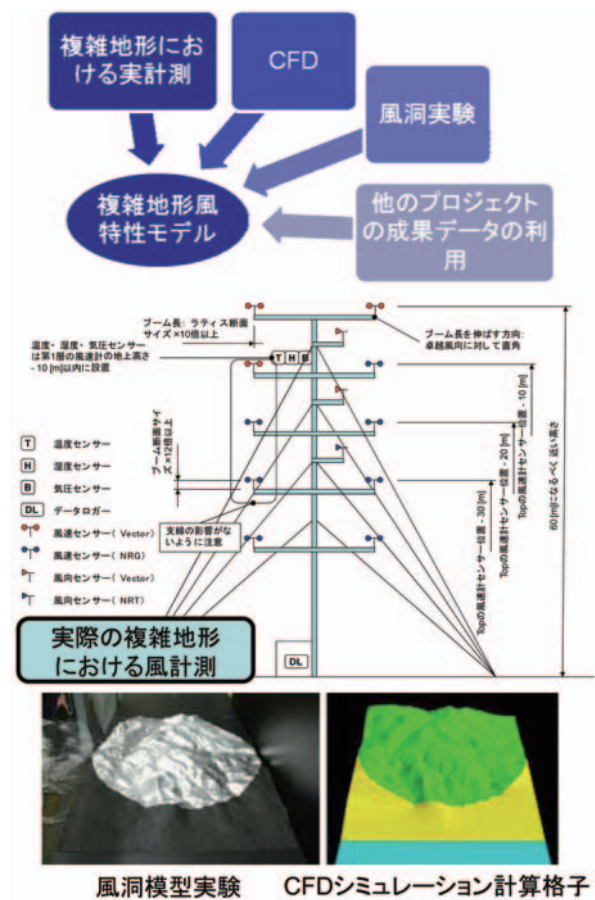


図4 次世代風力発電の基礎・応用技術研究開発

### 2.5 プラズマアクチュエータによる翼の能動剥離抑制

誘電体バリア放電プラズマアクチュエータ（以下DBD-PA）は、図5に示すように、絶縁体を挟んだ電極間に高電圧を加えることにより局所的にプラズマを発生させて、翼表面に沿った流れを誘起することができる。小型軽量なため、流れの能動制御に有用なデバイスとして注目されており<sup>(7)</sup>、産総研でもDBD-PAの研究開発を進め、ガスタービンや風車など実機への搭載を目指している。図6に、風車の翼型MEL001にDBD-PAを設置し、翼負圧面側の剥離・逆流領域を抑制した実験結果を示す。また、企業との共同研究で開発したDBD-PA駆動用電源が販売され、導入実績で国内DBD-PA研究でのシェ

ア50%以上となっている。

### 2.6 サスペンションプラズマ溶射皮膜の高度構造制御技術

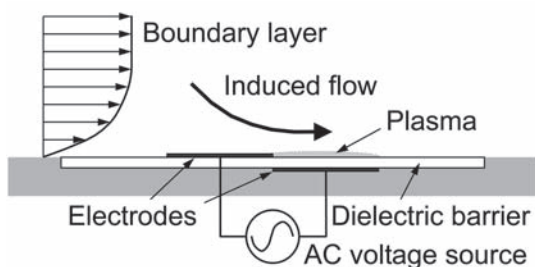


図5 DBD プラズマアクチュエータ

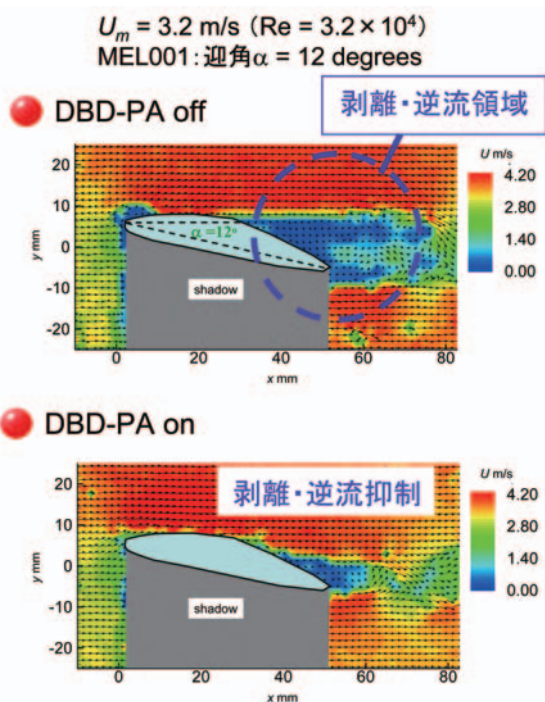


図6 DBD プラズマアクチュエータによる風車翼型の能動剥離制御  
 サスペンション（セラミック微粉末とエタノールを混合した懸濁液）をプラズマに供給して製膜するサスペンションプラズマ溶射法（以下SPS法）による皮膜構造精密制御技術に関する研究を行っている<sup>(8)</sup>。これまでの成果から、サスペンションの供給状態がコーティングの微細組織に大きく影響を及ぼすことが明らかになった。そこで現在、サスペンションの供給状態の最適化・微細化制御技術の確立を目的として、(1) サスペンション供給部先端における液相の微細化状態の観察、(2) サスペンションの性状・溶射パラメータ・粒径分布の相関の解明、に取り組み、SPS法において皮膜構造精密制御を可能とするための(3) 材料供給部の形状最適化を目指している（図7）。

### 3. まとめ

産業技術総合研究所エネルギー技術研究部門ターボマシングループで実施している研究の概要を説明した。詳

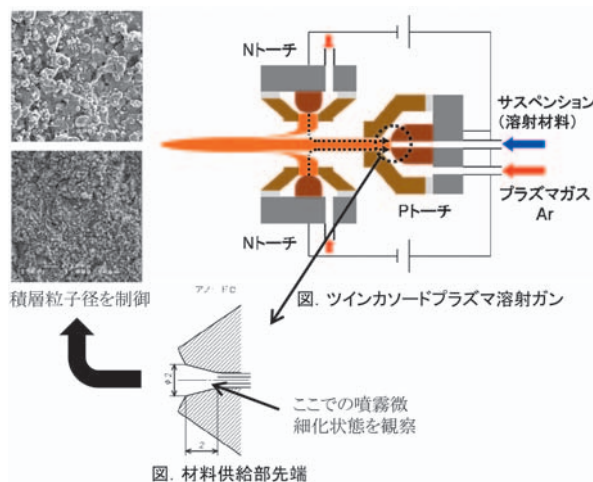


図7 サスペンションプラズマ溶射法の皮膜構造精密制御技術

細は、下記の文献を参照していただきたい。

### 参考文献

- (1) 松沼孝幸, “低レイノルズ数域におけるタービン翼列特性の風洞実験”, 日本ガスタービン学会誌, Vol. 36, No. 5, (2008-9), p.385-390.
- (2) 倉田修, 壹岐典彦, 松沼孝幸, 前田哲彦, 平野 聡, 角口 勝彦, 武内 洋, 吉田博夫, “札幌市におけるマイクロガスタービンコージェネレーションシステムの実証研究 第四報 4年間の運用実績とシステム特性の展望”, 第38回日本ガスタービン学会定期講演会（徳島）講演論文集 (2010-10), p.299-304.
- (3) 壹岐典彦, 松沼孝幸, 吉田博夫, 袖岡賢, 井上貴博, 鈴木雅人, “セラミック部材を組み込んだ小型ガスタービンの試験と今後の課題”, 日本ガスタービン学会誌, Vol. 38, No. 4, (2010-7), p.259-264.
- (4) Norihiko Iki, Atsushi Tsutsumi, Yoshiaki Matsuzawa, Hirohide Furutani, “Potential Ability of IGCC with Exergy Recuperation in Gasification Process”, Proceedings of the International Conference on Power Engineering-09 (ICOPE-09), A201, (2009), p.1-5.
- (5) 壹岐典彦, HAINES, Mathew, 倉田 修, DITARANTO, Mario, GRUBER, Andrea, “周期的変動が水素火炎に及ぼす影響に関する研究”, 第48回燃焼シンポジウム講演論文集, P107, (2010), p.154-155.
- (6) 小垣哲也, “日本の風土に対応した次世代風力発電技術”, OHM, Vol. 97, No. 5, (2010-5), p.26-29.
- (7) 日本流体力学会誌「ながれ」, プラズマアクチュエータ特集, Vol. 29, No. 4, (2010-8), p.241-276.
- (8) 鈴木雅人, “サスペンションプラズマ溶射技術”, 微粒化, Vol.19, No.67, (2010), p.91-95.

# 高効率・低エミッション1.7MW級ガスタービン M1A-17

合田 真琴\*<sup>1</sup>  
GOUDA Makoto

山崎 義弘\*<sup>1</sup>  
YAMASAKI Yoshihiro

細川 恭史\*<sup>1</sup>  
HOSOKAWA Yasufumi

キーワード：産業型ガスタービン，コージェネレーション，高効率，低エミッション

## 1. はじめに

当社は、1984年に自社開発のガスタービンを用いたコージェネレーションの納入を開始し、これまでに0.6MW級から18MW級までのラインナップを揃え、様々な電熱需要にお応えしてきた。

近年は市場動向を鑑み、ガスタービンの高効率化と低エミッション化に注力している。この一連の流れの中で、主力機種のひとつである1.5MW級ガスタービンM1A-13をベースに、性能、エミッションを大幅に改善したM1A-17を開発し、市場に投入した。今回は、ガスタービンの特長やコージェネレーション性能などについて紹介する。

## 2. M1A-17の特長

M1A-13は1988年の市場投入以来、国内外累計約400台の納入実績を誇っている。M1A-17の開発においては、従来機のシンプルで堅牢な構造を踏襲するとともに、近年の高効率化技術を投入して、高い目標性能を達成した。M1A-17の鳥瞰図を図1に、主要性能諸元を表1に示す。

### 2.1 高効率

M1A-17は、各要素効率の改善により、同クラスで世界トップレベルの軸端効率28.3%を達成した。また、排ガス温度を従来機と同程度に設定して、コージェネレーションに適した仕様とし、84%という高い総合効率を可能とした。

### 2.2 低エミッション

M1A-17は、拡散燃焼器（水噴射，蒸気噴射）及びDLE燃焼器がそれぞれ搭載可能である。DLE燃焼器は当社にて実績のあるM7Aガスタービンで用いているシステムを採用し、高い信頼性を継承している。また、DLE燃焼器としては世界トップレベルであるNO<sub>x</sub>値10ppm以下（O<sub>2</sub>=15%換算）を実現した。

### 2.3 高信頼性

M1A-17は、高い信頼性を誇る従来機とロータやケー

シングの基本構造を同じとし、機械的な信頼性を継承しており、回転数，軸受も同じである。また、周辺機器も実績のあるものを採用しており、システム全体として信頼性を継承している。

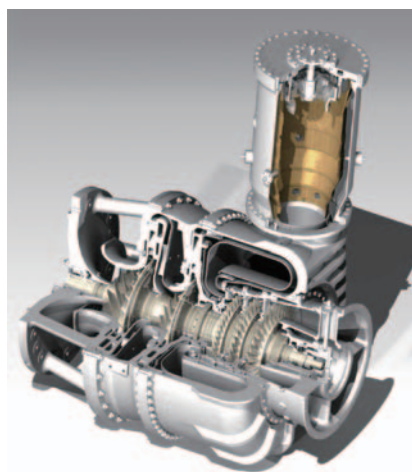


図1 M1A-17鳥瞰図

表1 主要性能諸元

機種		M1A-13D	M1A-17D
型式		開放単純サイクル1軸式	
圧縮機		2段遠心式	
タービン		3段軸流式	
燃焼器		単筒缶式 (DLE)	
寸法 (L*W*H)	(m)	1.2*1.16	1.2*1.17
重量	(ton)	1.3	1.5
減速機端出力	(kW)	1,580	1,800
減速機端効率	(%)	25.8	28.3
回転数	(min <sup>-1</sup> )	22,000	
空気流量	(kg/s)	8.06	8.04
排ガス温度	(°C)	520	521
圧力比	(-)	9.4	10.5
エミッション (O <sub>2</sub> =15%換算)	(ppm)	NO <sub>x</sub> <21	NO <sub>x</sub> <10

ISO条件，吸排気圧損無し，都市ガス13A

## 3. 各要素の改良設計

### 3.1 圧縮機

圧縮機は2段遠心式を採用している。インペラは1，2段共にスプリッタ型を採用し，入口相対マッハ数の低

原稿受付 2011年3月22日

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

減を図った。また、従来インペラ設計に適用していたCFD解析を静止側部品にも適用し、かつ回転体・静止体の一体解析を実施して、ベーン形状や流路形状の改善を図った。

3.2 タービン

タービンは3段軸流式で、1段目に冷却翼を採用している。最新の翼型設計技術によりプロファイル損失の低減を図り、またタービン全段一体でCFD解析を実施して、流路形状、段仕事配分の改善を図っている。

一方構造面でも、タービンケーシングに低膨張材を採用して、過渡期の最小隙間を確保しつつ、定常運転時の翼先端隙間の縮小を可能とした。また、1段静翼冷却空気の腹側吹き出しや1段動翼のチップシンク、シールフィン機構などを採用して、損失の低減やシール空気の低減を図り、高効率化につなげた。

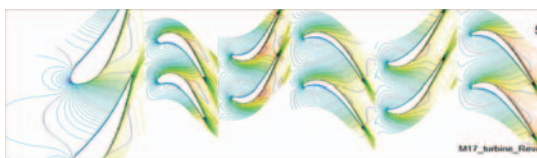


図2 タービン全段CFD解析例

3.3 DLE燃焼器

DLE燃焼器は、希薄予混合燃焼及び追い焚き燃焼方式を採用している。エミッション低減のためには、燃焼領域の燃料濃度分布の均一化が有効である。このため、効果的に空気と燃料の混合が促進されるように、CFD解析を適用してバーナや流路形状の改善を図った。図3に実機のNOx排出特性を示す。

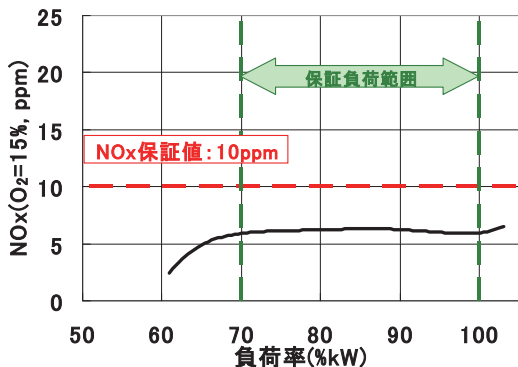


図3 NOx排出特性

4. フィールド試験

M1A-17の信頼性確認のため、2010年4月より当社明石工場内発電所にてフィールド試験を実施している。DLE燃焼器にて運用を行っており、現在、等価運転時間3,500時間を超え、順調に稼働中である。

5. コージェネレーション性能

DLE燃焼器を採用したコージェネレーションシステムPUC17Dの性能表を表2に示す。比較のため、従来機の性能も合わせて示すが、発電端効率について約10%の改善、NOx値について約50%の低減を実現し、環境に優しい製品となっている。今回、廃熱ボイラも合わせて高効率化を図り、84%の高い総合効率を可能とした。また、機器の標準配置図を図4に示すが、設置面積は従来機と同等である。

表2 コージェネレーション性能表

機種		PUC15D (M1A-13D)	PUC17D (M1A-17D)
発電端出力	(kW)	1,455	1,660
燃料消費量	(m <sup>3</sup> N/h)	541	556
送気蒸気量	(kg/h)	4,950	5,150
発電端効率	(%)	23.8	26.5
熱回収効率	(%)	56.8	57.5
総合効率	(%)	80.7	84
NOx値 O <sub>2</sub> =15%換算 (運転領域)	(ppm)	<21 (75 ~ 100%)	<10 (70 ~ 100%)

吸気温度：15℃、大気圧力：101.3kPa（高度0m）  
 吸気圧損：0.98kPa 排気圧損：2.45kPa  
 燃料：都市ガス13A  
 NOx対策：希薄予混合燃焼  
 排熱ボイラ：蒸気圧力=0.83MPaG、給水温度60℃

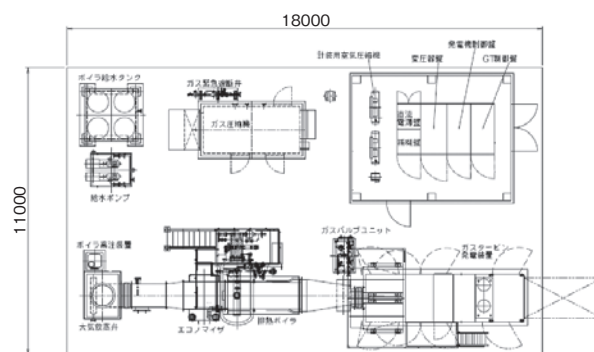


図4 PUC17D標準配置図  
(11,000mm×18,000mm)

6. おわりに

M1A-17は従来機の信頼性を継承しつつ、最新の高効率化技術を導入し、世界トップレベルの効率と低エミッションを実現した。今後、フィールド試験において信頼性を実証すると共に、製品の改良を継続し、エネルギーの有効利用と環境負荷の低減に貢献したいと考えている。

参考文献

- (1) 松本匡史, 青木茂樹, 堂浦康司, 小田剛生, 緒方正裕, 木下康裕: M7A-03ガスタービンDLE燃焼器の開発, 第37回ガスタービン定期講演会
- (2) 細川恭史, 合田真琴, 山崎義弘, 則本篤史: 1.7MW級高効率ガスタービンM1A-17の開発, 第38回ガスタービン定期講演会



# NIIGATA CNT-3000EA/6000EN非常用ガスタービン発電装置

樽井 真一\*1  
TARUI Shinichi

キーワード：非常用，発電装置

## 1. はじめに

近年，日本の大都市圏におけるインテリジェントビル，データセンタ，上水道施設及び排水施設は大規模化の傾向にあり，施設電力の大容量化が進んでいる。これらの施設は社会的に非常に重要な役割を果たすため，停電時には，瞬時に大容量電力を安定的に供給する非常用発電装置が必要とされる。

このような背景から，新潟原動機株式会社（以下当社という）は，単機出力2600kWの新機種NGT3B型ガスタービンを駆動源とする単機3000kVA，ツイン機で6000kVAの発電容量をもつ非常用発電装置CNT-3000EA，CNT-6000ENを開発した。

当社では，従来より250kVAから5000kVAまでの非常用ガスタービン発電装置をラインナップしていたが，この開発により，非常用出力で国内最大級となる6000kVAまでラインナップを拡充した。

発電装置の主要目を表1に，またNGT3B型ガスタービンの外観を図1，2に示す。

表1 CNT-3000EA/6000EN 発電装置主要目

発電装置	型式	CNT-3000EA	CNT-6000EN
	発電容量	3,000kVA	6,000kVA
	発電出力	2,400kW	4,800kW
	周波数	50 / 60 Hz	
	始動時間	40秒以内	
	再始動時間	40秒以内	
	燃料	A重油，軽油，灯油	
ガスタービン	型式	NGT3B-S	NGT3B-T
	定格出力	2,648kW	5,296kW
	回転速度	17,600 min <sup>-1</sup>	
	圧縮機	遠心2段	
	燃焼器	単筒缶型	
	タービン	軸流3段	

周囲条件：40℃，高度150m

原稿受付 2011年3月24日

\*1 新潟原動機株式会社 技術センター

〒957-0101 新潟県北蒲原郡聖籠町東港5-2756-3



図1 NGT3B-S型ガスタービン外観

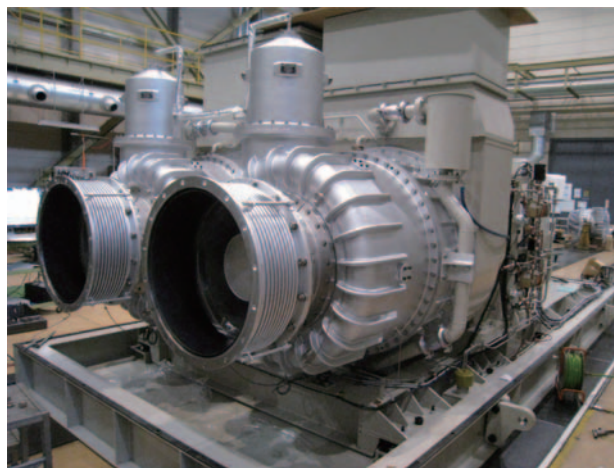


図2 NGT3B-T型ガスタービン外観

## 2. 概要及び特長

CNT-3000EA/6000EN非常用発電装置は以下の特長を有する。

### 1) 高出力・高性能

ガスタービン単機定格出力2,648kW，熱効率24.7%と，非常用ガスタービンとして国内最大級の出力と高効率を実現

### 2) 迅速・確実な始動/再始動

通常始動40秒以内，停止動作中の再停電時も40秒以内で再始動可能

### 3) ターニング不要

停止後の冷却のためのターニングが不要、このため運用が容易

### 4) 高性能制御装置

発電装置内に収納したフルデジタルコントローラによるフレキシブルな燃料制御を実現

### 5) リモートI/O方式の採用

外部ケーブルの省配線化を実現

### 6) 遠隔監視装置

遠隔監視システムによる細やかなアフターサービスを顧客に提供

### 7) その他

設置環境に柔軟に対応可能なパッケージの軽量化、新潤滑油供給システムの採用など

## 3. ガスタービン主要構造

NGT3B型ガスタービンは、当社非常用ガスタービンシリーズを継承した、シンプルで信頼性の高い構造をもつ。以下に概要を述べる。

### 3.1 圧縮機

2段遠心式圧縮機を採用し、インペラは17-4PH鍛造材の5軸マシニングセンタ削り出しで製作。

### 3.2 タービン

タービンは軸流3段タービンを採用し、第1段には空冷翼を採用している。

### 3.3 燃焼器

燃焼器は単筒缶型で、ライナ内壁面には遮熱コーティングを施工し耐久性を高めている。

### 3.4 ロータ

圧縮機ロータの両端に配置した2つの軸受でロータ全体を支持する構造で、軸受間距離が短く、機関停止後の熱による軸のたわみが少ないため、アフタークーリング不要であり、ユーザーの管理運用が容易である。

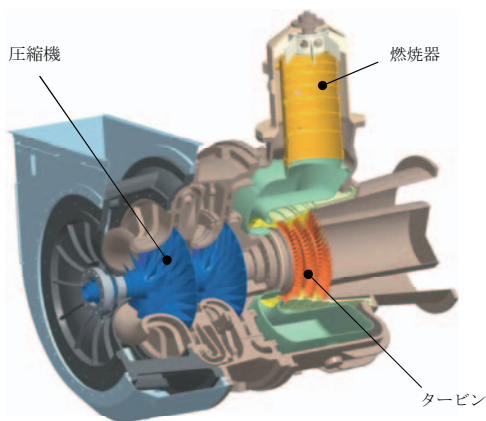


図3 NGT3B型ガスタービン機関断面図

## 4. 発電装置

### 4.1 エンクロージャ及び台床

非常用発電装置の設置場所は、地上、地下以外にビルの屋上に設置されるケースも多く、発電装置全体は軽量、コンパクトであることが要求される。そこでエンクロージャの吸気ダクト及び吸気消音器は、従来シリーズから構造を見直し、騒音仕様（85dB）を維持しながら軽量化を図った。

また、機関台床の構造も見直し、形状簡素化により軽量化した。

上記のように軽量化を図ったCNT-3000EA非常用発電装置の断面を図4に示す。従来のNGT2A-T型ガスタービンを適用した3000kVA発電装置に対し、10%の質量低減を図っている。

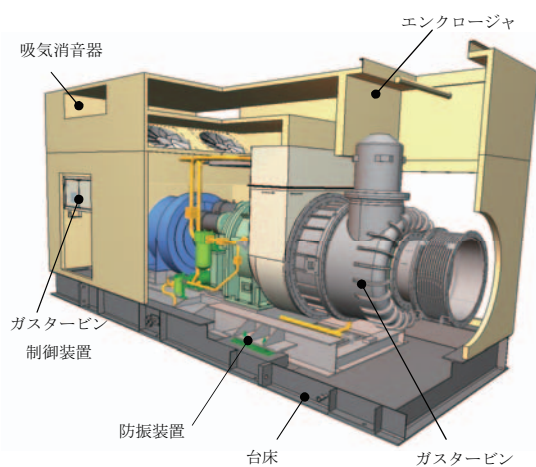


図4 CNT-3000EA 発電装置断面図

### 4.2 ガスタービン制御装置

ガスタービン制御装置は、高性能PLCを採用し、フルデジタルコントロールによりフレキシブルな燃料制御が可能となり、良好な始動性能、負荷変動時の敏速な応答性能を可能としている。

また、制御装置をパッケージに搭載することで、速度ピックアップ、排気熱電対等のセンサケーブル類の外部配線を不要とし、ノイズに対する信頼性を高めている。

その他、リモートI/Oの採用により発電機盤・直流電源盤との信号の受け渡しを通信用ケーブルとすることで外部配線の省配線化を図り、設置工事の簡素化を実現している。

### 4.3 始動性能

CNT-3000EA/CNT-6000EN非常用発電装置は、日本の消防法規定に適合する、停電から40秒以内での始動が可能である。図5に冷態始動のトレンドを示す。

また、機関停止後のホットな状態においても、前述のロータシャフト構造の特徴からアフタークーリングのためのターニングを行うことなく、40秒以内でのホットスタートが可能である。

さらに、図6に示すように機関停止中に、再度始動指令が入った場合でも、40秒以内で再始動できることを実証している。この再始動技術は当社がパイオニアであり、1999年に開発・実用化して以来、大小の機種で多くの納入実績がある。

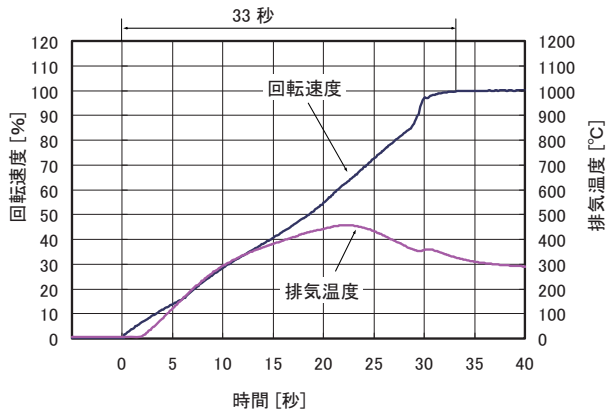


図5 冷態始動トレンド例

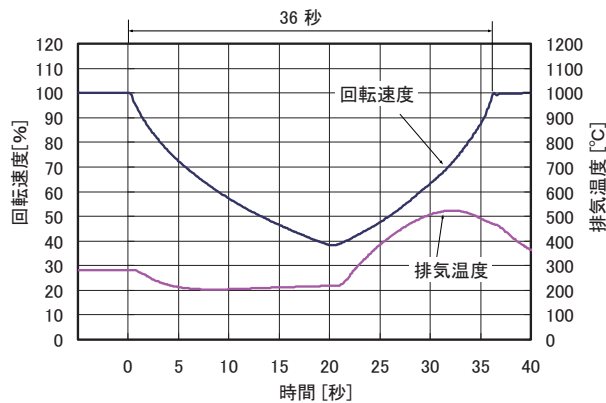


図6 再始動トレンド例

以上のような特徴を有するCNT-3000EA/6000EN型非常用ガスタービン発電装置は、2009年4月にリリースし、2010年より納入を開始している。図7に、CNT-6000EN発電装置の外観を示す。



図7 CNT-6000EN 発電装置 (2台並列)

## 5. まとめ

CNT-3000EA/6000EN型非常用ガスタービン発電装置は、大容量化を続ける大都市需要施設の非常用電源に適した大型ガスタービン発電装置である。

1988年から製造・販売を開始した自社開発ガスタービンによる非常用発電装置は、数多くの納入実績と信頼性の面で高く評価いただいております。この新型ガスタービンを適用した大型非常用ガスタービン発電装置が、さらに多くのユーザーにご利用いただけるものと期待しています。

## 参考文献

- (1) 樽井真一, 小島秀樹, 第37回ガスタービン学会定期講演会, No.B-25 (2009).
- (2) Kojima, H., et al., CIMAC Congress 2010 Bergen, No.79 (2010).

評議員会・総会報告

本学会の評議員会と総会が、2011年4月12日に東京都江東区豊洲3丁目の株式会社IHI本社ビル低層棟3階研修室002号で開催された。開会に先立ち、2011年3月1日より公益社団法人へ移行しているため、新しい定款に基づけば評議員会は存在しないことになるが、社団法人としての第35期の締めくくりとして、従来の形の第2回評議員会を開催するとともに、総会も前年35期の業務に対する通常総会の形式で、後半を公益社団法人の臨時総会という形で開催することが伊藤高根事務局長より説明がなされた。

第35期第2回評議員会は、藤井智晴君の司会により10時35分から開かれた。評議員の互選の結果、福山佳孝君が議長に選出されて議事が進められた。まず委任状を含め評議員59名の出席が確認され、評議員会の成立が宣言された。次に会員の異動について審議され、原案どおり総会に諮る事が満場一致で承認可決された。次に第35期事業報告(案)、決算報告(案)が審議された。決算報告については、第35期の吉野隆、田丸卓両監事の、適正であるとの監査結果が吉野隆監事から報告された。審議の結果、これらの報告(案)を原案通り総会に諮ることが、満場一致で承認可決された。続いて渡辺康之第35期会長から、山崎慎一氏、本間友博氏、田丸卓氏、川口修氏及びDavid C. Wisler氏を名誉会員に推薦することの提案があり、原案通り総会に諮ることが満場一致で承認可決された。次に移行認定審査に係る経過について報告された。次に2011年度事業計画(案)について審議し、原案通り総会に諮ることが満場一致で承認可決された。これを持って議事は終了し、議長は議事録署名者に幸田栄一君と二村尚夫君を指名して閉会した。

第35期(2010年度)通常総会は、評議員会と同会場が13時00分から酒井義明君の司会により開催された。渡辺康之第35期会長の開会挨拶に続いて、定款に基づき同会長が議長に就き、議事が進められた。委任状を含めた正会員1053名の出席により、正会員の過半数に達したため、定款第31条に基づき開会が宣言された。野崎理第35期総務担当理事から会員の異動について報告があり満場一致で承認された。引き続き野崎理総務担当理事から第35期事業報告がなされ、満場一致で承認された。島内克幸第35期財務担当理事から第35期決算報告がなされ、吉野隆監事より監査の結果、法令及び定款に照らし適正である旨の報告を受け、満場一致で承認された。渡辺康之より、山崎慎一氏、本間友博氏、田丸卓氏、川口修氏及びDavid C. Wisler氏を名誉会員に推薦することが諮られ、満場一致で承認可決された。次に野崎理総務担当理事及び渡辺紀徳第35期新公益社団法人移行推進委員会幹事から、移行認定審査に係る経過が報告された。続いて野崎理総務担当理事から2011年度事業計画が説明され、異議なく承認された。また、島内克幸財務担当理事より2011年度予算について説明され、異議なく承認された。

引き続き2011年度第1回臨時総会が酒井義明君の司会により開催された。渡辺康之第35期(2010年度)会長の開会挨拶がなされた。議長は新しい定款に基づき本総会が終了するまで現会長がその任に当たる事になっているため、同会長が議長に就き、議事が進められた。委任状を含めた正会員1035名の出席により、正会員の過半数に達したため、新しい定款第19条に基づき開会が宣言された。議事に入る前に、第35期(2010年度)事業報告、決算報告および新公益社団法人としての2011年度事業計画、予算についてはすでに2010年度通常総会にて承認されているので、本臨時総会の議案としての設定はせず、報告も省略することが諮られ、満場一致で承認された。渡辺康之会長から、新定款により理事の選任は総会の決議により、会長(代表理事)、副会長及び執行理事は、理事会の決議によって選定する旨の説明がなされ、2011年度理事の選任について出席者から候補者についての意見がなかったため、野崎理総務担当理事から第35期理事会の審議結果として、2010年度から継続の理事10名および新任理事候補10名が提案され、まず、筒井康賢、鈴木健、杉本隆雄、荒川忠一、高橋雅士、山本誠、堂岐典彦、佐藤哲也、辻田星歩、坂野貴洋の重任理事10名は、満場一致で異議なく了承され、引き続き新任理事10名については、加藤泰弘、幸田栄一、加藤幸、永井勝史、二村尚夫、船橋健一、宮原忠人、六山亮昌、山根秀吉、渡辺紀徳の10名が個別に諮られ、いずれも満場一致で異議なく承認された。引き続き、渡辺康之会長から2011年度監事選任についても新定款により総会の決議により選定する旨の説明がなされ、出席者から候補者についての意見がなかったため野崎理総務担当理事から本阿彌眞治、吉田豊明の2名が提案され、個別に審議され、いずれも満場一致で承認された。これを持って議事は終了し、議長は議事録確認者に西出重人君と小森豊君を指名して閉会した。

なお、名誉会員推薦状授与式の前に、別室にて第1回臨時理事会が開催され、出席理事の互選により筒井康賢君が新会長に、副会長には加藤幸君が選定されたほか、法人管理及び公益事業担当の執行理事13名が決定したことが筒井康賢新会長より紹介された。

社団法人 日本ガスタービン学会

第35期事業報告書

I. 事業の概要

定款に定める諸事業を下記のように実施した。

(1) 研究発表会及び学術講演会等の開催(集事業・定款第5条1号)

時期	場所	名称	内容	参加者数	演題数
2010/4/2	東京理科大学	第1回特別講演会	「わが国の航空用ガスタービン発展の経緯と展望-デンジョン・ポイントを中心に-」	60名	1
2010/5/28	JFEスチール(株)	第1回見学会	設備見学	27名	—
2010/7/8-9	(株)東芝 京浜事業所	第18回ガスタービン教育シンポジウム	若手技術者および学生の教育(講義および施設見学)	71名	7
2010/7/16	関西電力(株) 京都支店	第1回技術フォーラム	技術懇談会	34名	4
2010/9/9-10	三菱重工業(株) 高砂製作所	第19回ガスタービン教育シンポジウム	若手技術者および学生の教育(講義および施設見学)	88名	7
2010/10/19	徳島大学	ガスタービン市民フォーラム	「明日を拓くガスタービン」	235名	2
2010/10/20-22	アスティとくしま	第38回日本ガスタービン学会定期講演会、見学会	会員の研究・開発成果の発表、定期講演会講演論文集発行(150部)	149名	67
2010/12/16	東京大学	2010年度シンポジウム	「低炭素化社会を目指す再生可能エネルギーの最前線」	37名	3

開催日時	主催	名称	参加者数	演題数
2011/1/20-21	(株)IHI 横浜事業所	第39回ガスタービンセミナー	124名	12
2011/2/24	関西電力(株) 大阪原子力発電所関連施設	第2回見学会	8名	—

(2) 学会誌及び学術書の刊行(出版事業・定款第5条2号)

図書名	発行年月日	発行部数
日本ガスタービン学会誌	2010/3/20, 5/20, 7/20, 9/20, 11/20, 2011/1/20	2,300
International Journal of Gas Turbine, Propulsion and Power Systems	掲載中	Web掲載
ガスタービン教育シンポジウム教材「ガスタービン」	2010/6	350

(3) 内外関連学協会との連携並びに協力(国際交流事業・定款第5条3号)

2010年度に継続して共催・協賛した行事は42件であり、新規のものは下記の6件である。

種類	開催時期	名称	場所	関連団体名
共催	2010/6/25	機械系学協会合同シンポジウム「科学・技術駆動型イノベーションに向けて-機械工学コミュニティからの発信」	日本学術会議講堂	日本学術会議
協賛	2010/11/2-5	第21回 International Symposium on Transport Phenomena (ISTP-21)	台湾 高雄市	Pacific Center of Thermal Fluids Engineering (PCTFE)
協賛	2010/11/6	動力エネルギー部門設立20周年記念国際シンポジウム	関西大学 東京センター	日本機械学会
協賛	2010/11/15-18	International Symposium on Low Carbon & Renewable Energy Technology (ISLCT2010)	大韓民国 済州島 ロッテホテル	Korean Society for New and Renewable Energy (KSNRE)
協賛	2011/1/11	講習会「ものづくりシミュレーションの品質向上を目指して」	慶徳義塾大学 矢上キャンパス	日本計算工学会
協賛	2011/2/18	HEAT専門委員会第8回オープンシンポジウム「航空用ジェットエンジンの開発・生産と将来展望」	関西大学 東京センター	砥粒加工学会

(4) ガスタービンに関する研究、調査(調査研究事業・定款第5条4号)

名称	実施期間	調査内容
「2009年ガスタービン及び過給機生産統計」の資料収集	毎年度継続して実施中	我が国におけるガスタービン及び過給機の生産に関する資料を収集し、纏めると共に、結果を学会誌に掲載した。
ガスタービンを考える会	毎年度継続して実施中	産業用および航空用ガスタービン技術の方向性や戦略について調査検討し、学会版技術ロードマップを策定すると共に、定期講演会やホームページで情報を公開した。
産官学連携懇談会	2009年度より継続して実施中	ガスタービンの研究・開発を実施する際、産官学連携の現状や課題を調査し、産官学の有機的連携実現の方策を検討した。

(5) 研究の奨励及び研究業績の表彰(表彰事業・定款第5条5号)

ガスタービンに関連した研究及び技術開発を奨励するため2年に一度、優れた研究、技術に対して、ガスタービン学会賞(論文賞、技術賞、奨励賞)を授与している。2010年通常総会において、学会賞の授与を行った。また、若手人材育成のため、第38回日本ガスタービン学会定期講演会において優れた研究発表を行った学生会員を表彰するとともに(日本ガスタービン学会学生優秀講演賞)、参加学生会員への交通費補填を実施した。

II. 処務の概要

1. 役員等に関する事項

1.1 役員(理事、監事)

理事・会長 渡辺康之  
 副会長 筒井康賢  
 総務理事 野崎 理、島内克幸、岡村隆成、杉本隆雄、鈴木 健  
 企画理事 藤岡順三、荒川忠一、高橋雅士、瀧花清作、山本 悟、山本 誠  
 編集理事 村田 章、堂岐典彦、衣斐正宏、刑部弘弘、佐藤正弘、辻田星歩、坂野貴洋  
 監事 田丸 卓、吉野 隆

1.2 評議員

35期評議員は、定款第15条、第16条、第17条、細則第21条から第27条により以下のように選出された。ただし、前記の理事は、定款第17条及び細則第21条により評議員から除かれた。

船橋健一、西澤敏雄、福山佳孝、二村尚夫、柳 良二、川田 裕、武石賢一郎、辻本良信、辻川吉春、井亀 優、佐々木正史、古川雅人、山崎伸彦、岩井 裕、吉田英生、小尾晋之介、松尾亜紀子、橋本正孝、堂岐典彦、古谷博秀、太田正廣、白鳥敏正、藤岡義行、幸田栄一、藤岡照高、渡辺和徳、宇多村元昭、荒川忠一、加藤千幸、金子成彦、渡辺紀徳、山本 誠、中田俊彦、岡崎正和、原田広史、赤城正弘、太田 有、佐藤哲也、今村満男、小林文博、鈴木 健、米澤克夫、佐々木直人、狭間隆弘、久貝博康、坂本光男、木下康裕、永井勝史、永田康史、森脇 健、増田裕司、山下直之、高瀬正博、中村 直、溝渕俊寛、吉岡俊彦、川池和彦、清水希茂、坂野貴洋、水本明彦、宮原忠人、森 雅晶、相澤善吾、石井潤治、佐々木隆、佐藤若太郎、高橋雅士、市川 薫、佐久間直勝、秋田浩市、川上雅由、加藤泰弘、武田淳一郎、園田豊隆、有村久登、伊藤藤作、貴志公博、前川 篤

2. 職員に関する事項

2010年度末現在

職務	氏名	就任年月日	担当事務	備考
事務局員	伊藤 高根	2007年5月11日(嘱託)	事務局の総括	事務局長
事務局員	中村 優美	2002年4月25日(嘱託) 2007年7月2日(常勤)	事務局事務一般	
事務局員	高田 優子	2007年9月20日(嘱託)	事務局事務一般	

3. 役員等に関する事項

3.1 理事会

開催月日	議事事項	会議の結果
2010/ 3/18	1. 前回議事録確認の件 2. 会員入退会 3. 財務報告 4. 他学協会からの共催・協賛依頼 5. 第34期事業報告書(案), 決算書(案) 6. 第35期事業計画書(案), 予算(案)修正 7. 第34期理事会引継ぎ書 8. 定款変更の案一部修正(第4次案-総会提案) 9. 常勤職員の勤務時間変更に伴う給与支給額修正 10. 第35期総務委員会委員名簿(案) 11. 総会配布資料一覧 12. 評議委員会・総会次第 13. 編集委員会報告 14. 新公益社団法人移行申請準備状況報告 15. 企画委員会報告	承認 承認 承認 承認 承認 承認 承認 承認 承認 承認 承認 承認 承認 承認 承認 承認
2010/4/21	1. 前回議事録確認 2. 会員入退会 3. 財務報告 4. 第35期常置・臨時委員会委員長(候補案) 5. 第35期各委員会構成案 6. 事務局員の雇用契約更新 7. 第35期各委員会の主管理事 8. 新公益社団法人移行申請に係る今後の予定 9. ASME Turbo Expo 2010におけるミーティング 10. International Journal of Rotating Machineryへの協賛解消 11. 定期講演会 講演募集要項の変更 12. IGTC' 11 First Circular(案) 13. 編集委員会報告 14. 編集委員会報告 15. 企画委員会報告 16. 第34期将来ビジョン検討委員会委員会報告 17. 広報委員会報告	承認 承認 承認 承認 承認 承認 承認 承認 承認 承認 承認 承認 承認 承認 承認 承認
2010/ 6/11	1. 前回議事録確認 2. 会員入退会 3. 財務報告 4. 他学協会からの共催・協賛依頼行事 5. 第36期評議員等選挙及び選挙管理委員会委員長候補案 6. 第35期各委員会構成案 7. 事務局職員の6月度賞与支給額 8. ニッセイエプロとの契約更新並びに大澤氏との契約解除 9. 学会創立40周年記念行事開催検討 10. 新公益社団法人移行申請書作成に関わる検討方針 11. 将来ビジョン検討委員会提言への具体的対応案 12. 会員入会促進 13. 編集委員会報告 14. 企画委員会報告 15. IGTC' 11 実行委員会報告 16. 移行推進委員会報告 17. 組織検討委員会報告	承認 承認 承認 承認 承認 承認 承認 承認 承認 承認 承認 承認 承認 承認 承認 承認
2010/ 8/ 6	1. 前回議事録確認 2. 会員入退会 3. 財務報告 4. 他学協会からの共催・協賛依頼行事 5. 第36期評議員等選挙及び選挙管理委員会委員長候補案 6. 第35期各委員会構成案 7. 事務局職員の6月度賞与支給額 8. ニッセイエプロとの契約更新並びに大澤氏との契約解除 9. 学会創立40周年記念行事開催検討 10. 新公益社団法人移行申請書作成に関わる検討方針 11. 将来ビジョン検討委員会提言への具体的対応案 12. 会員入会促進 13. 編集委員会報告 14. 企画委員会報告 15. IGTC' 11 実行委員会報告 16. 移行推進委員会報告 17. 組織検討委員会報告	承認 承認 承認 承認 承認 承認 承認 承認 承認 承認 承認 承認 承認 承認 承認 承認
2010/10/ 5	1. 前回議事録確認 2. 会員入退会 3. 財務報告 4. 第35期委員会委員構成の件 5. 事務局嘱託職員契約更新の件 6. 第36期評議員・監事候補者名簿の件 7. 公益社団法人への移行申請の件 8. IGTC' 11の業務委託業者選定並びに委託契約締結の件 9. 電力研究国際協働機構との相互協力に関する覚書締結の件 10. 他学協会からの共催・協賛依頼行事 11. 名誉会員, 終身会員に関する推薦内規 12. 学会創立40周年記念行事準備委員会 13. 総会開催日 14. 会員入会促進 15. 編集委員会報告 16. 企画委員会報告 17. 国際委員会報告 18. IGTC' 11 実行委員会報告 19. 移行推進委員会報告 20. 組織検討委員会報告	承認 承認 承認 承認 承認 承認 承認 承認 承認 承認 承認 承認 承認 承認 承認 承認 承認 承認 承認
2010/12/15	1. 前回議事録確認 2. 会員入退会 3. 財務報告 4. 他学協会からの共催・協賛依頼行事の件 5. 第36期監事・評議員選挙結果の件 6. 第36期事業計画・予算書の件 7. 終身会員選考内規(案)及び候補者推薦の件 8. 事務局職員12月度賞与支給額の件 9. 次期事務局員候補者選考結果の件 10. 移行認定申請に係る基本財産の取扱いに関する件	承認 承認 承認 承認 承認 承認 承認 承認 承認 承認 承認 承認

	11. 公益社団法人化に向けた諸規程承認依頼の件 12. 産官学連携委員会発足に関する件 13. 中国 CSET からの IAC メンバー追加等に関する件 14. IGTC' 11 に係る業務委託契約の件 15. 次期役員候補者選考の件 16. 事務局整備積立金の取崩しの件 17. 総務関係 18. 編集関係, 学術講演会委員会関係 19. 企画関係 20. 国際委員会関係, IGTC' 11 実行委員会, 組織委員会関係 21. その他(事務局ほか)	承認 承認 承認 承認 承認 承認 承認 承認 承認 承認 承認
2011/ 2/ 9	1. 前回議事録確認 2. 会員入退会 3. 財務報告 4. 他学協会からの共催・協賛依頼行事 5. 移行認定申請に伴う検討事項 6. 名誉会員候補者推薦の件 7. 事務局嘱託職員雇用契約締結の件 8. 事務局常勤職員2011年度給与支給額の件 9. 2011年度事業計画, 予算計画 10. 4月開催の総会等の進め方について 11. 次期役員候補者選考の件 12. 2011年度運営組織図 13. 学会誌 PDF ファイルのカラー化 14. 総務関係 15. 編集関係 16. 企画関係 17. 学術講演会関係 18. 国際関係 19. 組織検討委員会, 移行推進委員会関係 20. ガスタービンを考える会 21. その他(事務局より)	承認 承認 承認 承認 承認 承認 承認 承認 承認 承認 承認 承認 承認 承認 承認 承認 承認

3.2 評議員会

開催月日	議事事項	会議の結果
2010/ 4/ 2 (第34期 第2回)	1号議案: 第34期事業報告(案)の件 2号議案: 第34期決算報告(案)の件 3号議案: 名誉会員推薦の件 4号議案: 第35期事業計画(案)の件 5号議案: 第35期予算(案)の件 6号議案: 公益法人制度改革三法の施行に伴う公益社団法人への移行認定申請の件 7号議案: 移行認定申請に係る定款変更の案の件	承認 承認 承認 承認 承認 承認 承認
2010/ 4/ 2 (第35期 第1回)	1号議案: 第35期役員選出の件 2号議案: 新公益社団法人登記後の就任予定役員の件 3号議案: 第36期事業計画及び予算案の文部科学省提出に係る審議手続きの件	承認 承認 承認

3.3 総会

開催月日	議事事項	会議の結果
2010/ 4/ 2	1号議案: 第34期事業報告(案)の件 2号議案: 第34期決算報告(案)の件 3号議案: 名誉会員推薦の件 4号議案: 第35期事業計画(案)の件 5号議案: 第35期予算(案)の件 6号議案: 公益法人制度改革三法の施行に伴う公益社団法人への移行認定申請の件 7号議案: 第35期役員選出の件 8号議案: 移行認定申請に係る定款変更の案の件 9号議案: 新公益社団法人登記後の就任予定役員の件 10号議案: 第36期事業計画及び予算案の文部科学省提出に係る審議手続きの件	承認 承認 承認 承認 承認 承認 承認 承認 承認 承認

4. 許可, 認可, 承認, 証明等に関する事項

申請月日	申請事項	許可等月日	備考
2010/10/15	公益社団法人への移行認定申請	2011/2/23	2011/3/1 移行登記申請の予定 認定書受領

5. 契約に関する事項

契約年月日	相手方	契約の概要
2009/12/21	メディアプレス(株)	ホームページ改訂業務委託契約 (2009/12/21-2015/3/15)
2010/ 4/ 1	学術著作権協会	複写に係る総合的権利委託契約 (2010/4/1-2015/3/31)自動継続
2010/ 4/ 1	国立情報学研究所	国立情報学研究所電子図書館サーバーメンテナンス作成提供 (2010/4/1-2011/3/31)自動継続
2010/ 6/ 1	中島ビジネスソリューション(株)	経理・財務等経営全般の相談 (2010/6/1-2011/5/31)自動継続
2010/ 7/ 1	ニッセイエプロ(株)	学会誌編集事務業務委託契約 (2010/7/1-2011/6/30)自動継続
2010/10/ 1	International Electric Research Exchange (IERE)	協力協定
2010/12/28	(株)イーサイド	'2011年国際ガスタービン会議大阪大会開催に伴う業務委託

6. 寄付金に関する事項

寄付の目的	寄付者	申込金額	領収金額	備考
なし				

7. 主務官庁指示に関する事項

7. 1 履行状況の概要

Table with 3 columns: 指示年月日, 指示事項, 履行状況. Lists various administrative tasks and their completion status from 2010/3/19 to 2011/1/12.

7. 2 改善が完了していない事項に係る改善の検討状況・進捗状況

平成20年5月23日の文部科学省による実地検査に基づいてなされた内部留保率及び公益事業比率改善についての指示事項については、平成21年3月に提出した改善計画にて報告してあるように平成22年度末では完全に目標を達成する予定で諸事業を実施してきている。公益事業比率は平成21年度に52%と目標を達成し、内部留保率も平成22年度末には計画通り26%程度まで改善され、目標の30%以下となる見込みであった。しかしながら、平成22年度後半に公益社団法人への移行申請を行ったため、公益認定された新たな3条件（収支償還、公益目的事業費率、遊休財産額保有制限）を満足するように、また、新しい特定資産の考えに基づき、従来の特定資産の一部を残し積立資産を廃止し、特定費用準備資金及び特定資産取得資金として新たな額の積み直しを行ったため、積立資産額が大幅に減少する結果となった。最終的な決算においては、移行認定が許可されたため、申請書類に沿った決算処理を行った結果、当初の計画とは異なる結果となった。

8. 各委員会の活動

8. 1 総務委員会

委員長 野崎 理 他 9名 開催7回
庶務、会計、渉外、その他学会運営に関する事項を担当した。

8. 2 企画委員会

委員長 藤岡 順三 他 18名 開催6回
教育シンポジウム、見学会、シンポジウム、セミナー等の企画・実施を担当した。

8. 3 編集委員会

委員長 村田 章 他 21名 開催6回
学会誌の編集に関する事項を担当した。

8. 4 ガスタービン統計作成委員会

委員長 小森 豊明 他 8名 E-mail 会議
2009年の国産ガスタービン及び過給機生産に関する統計資料をまとめ、学会誌Vol.38 No.5に掲載した。

8. 5 学術講演会委員会

委員長 船崎 健一 他 10名 開催4回
第38回定期講演会（徳島）の実施、および第39回定期講演会（松本）の企画を行った。また、市民フォーラムを企画・実施した。

8. 6 広報委員会

委員長 筒井 康賢 他 6名 E-mail 会議
当学会ホームページを管理し、掲載内容の追加修正を行った。また、総会での事前電子投票のシステムについて検討した。

8. 7 国際委員会

委員長 渡辺 紀徳 他 13名 開催5回 E-mail 会議 3回
グラスゴー（英国）にて ASME Turbo Expo2010 会期中に、IAC 会議および AGT 関係者会議を開催した。海外関連機関との間で協賛協定や協力協定の締結等の国際交流活動を実施した。また、IGTC2011 実行委員会に対し、IAC メンバーへの協力依頼などの支援活動を行った。

8. 8 地方委員会

委員長 吉田 英生 他 19名 E-mail 会議
フォーラムおよび見学会を実施した。

8. 9 英文論文編集委員会

委員長 渡辺 紀徳 他 15名 開催1回 E-mail 会議 1回
電子版英文論文集 International Journal of Gas Turbine, Propulsion and Power Systems (略称 JGPP) の論文募集、校閲、編集を行い、第4号の発行を準備した。

8. 10 組織検討委員会

委員長 吉識 晴夫 他 11名 開催7回
公益法人制度改革への対応として、新公益法人に移行するため、新たな学会組織形態と運営方法、および事業内容を検討し、答申した。また、新公益法人として必要な各種規定の整備を行った。

8. 11 表彰委員会

委員長 筒井 康賢 他 6名 E-mail 会議
今回は、学術講演会委員会と協力して、定期講演会への学生会員の交通費補填を実施し、さらに同委員会と協力の下、最優秀学生講演賞の選定と表彰を行った。

8. 12 倫理規定検討委員会

委員長 筒井 康賢 他 4名 E-mail 会議
今回は、定期講演会の会場で倫理規定のパネルを掲示して、会員への倫理規定のさらなる徹底を図った。また E-mail 会議で議論を行い、新たな改訂は行わないこととした。

8. 13 選挙管理委員会

委員長 中澤 剛雄 他 6名 開催1回
第3期評議員・監事選挙開票作業を実施した。

8. 14 ガスタービン技術継続教育教材作成委員会

委員長 福山 佳孝 他 17名 開催0回 企画WG 1回
本年度は昨年度に検討した教材内容改訂を反映した教育シンポジウム用教材(2010~2011年度に使用予定)を発行した。また、教科書化に向けて、委員会の下に教科書企画WGを構築し、8名(委員長含)の委員による第1回のWG会合を実施し、教科書化の方向性等を議論した。

8. 15 新公益社団法人移行推進委員会

委員長 本阿弥 眞治 他 8名 開催5回
新公益社団法人への移行認定を申請するため、昨年度設置したWGと連携しつつ、定款の改定、財務計画の策定、申請書類の準備、規定類の整備等を行った。それらをもとに、2010年10月に移行申請を実施し、また、申請後の公益認定等委員会からの指示に対応した。WGは次のとおりである。定款改定検討WG、申請書類作成検討WG、経理関連書類作成検討WG、理事・監事の職務分掌・規程類作成WG、事業活動の業務プロセス整理・規定集作成WG、法人管理の業務プロセスの整理と規定集の作成検討WG。

8. 16 国際会議組織委員会

委員長 吉識 晴夫 他 67名 開催1回
次期国際会議(2011年国際ガスタービン会議大阪大会)開催のため、その企画、準備、運営について実行委員会を支援することを目的として発足した。2010年9月17日に第1回委員会を開催し、事業計画案および予算案の報告を受けるとともに、開催経費補助のため助成金依頼等について支援を行った。

8. 17 国際会議実行委員会

委員長 武石 賢一郎 他 66名 開催5回
次期国際会議(2011年国際ガスタービン会議大阪大会)開催へ向け、総務、論文、展示、行事、財務の各担当委員会のもと、事業計画案、予算案および FirstCircular を作成、発行するとともに、国際会議組織委員会(委員長 吉識晴夫君)において報告し、支援を要請した。現在までに、国内外学協会への協力協賛依頼、会場の手配、論文の募集、展示会の出展募集等を行うとともに、論文申し込み状況を勘案してプログラム編成作業中である。また、開催経費補助のために財団等に助成金を申請した。

9. 会員の異動状況

会員の異動状況書

Table showing membership changes: 会員種別, 本年度末 2011年2月28日現在, 昨年度末 2010年2月28日現在, 増減数. Includes categories like 正会員, 学生会員, 個人会員, 賛助会員.

\*増減数には、定款第11条第3項及び細則第6条による「資格喪失者」11名減を含む。

III. 決算の概要

1. 貸借対照表

貸借対照表
2011年2月28日現在

Balance Sheet table for 社団法人日本ガスタービン学会. Columns: 科目, 当年度, 前年度, 増減. Rows include assets (流動資産, 固定資産) and liabilities (流動負債, 固定負債).

2. 正味財産増減計算書

2. 1 正味財産増減計算書

正味財産増減計算書

2010年3月1日から2011年2月28日まで

Statement of Changes in Net Assets table for 社団法人日本ガスタービン学会. Columns: 科目, 当年度, 前年度, 増減. Rows include 経常収益, 経常増減, 特別増減, 正味財産増減.

事業収入	11,585,900	12,575,325	889,425
雑収入	2,152,000	1,734,000	418,000
受取利息	140,000	156,000	16,000
受取配当金	79,000	136,500	59,500
受取補助金	2,972,000	2,863,025	108,975
受取寄付金	1,580,700	749,000	831,700
受取手数料	87,000	66,000	21,000
受取雑収入	3,864,700	4,157,300	292,600
経常収益計	70,500	6,500	64,000
経常費用	(10,000)	(10,000)	0
経常増減額	60,500	5,500	55,000
経常外収益	0	0	0
経常外費用	0	0	0
経常外増減額	0	0	0
当期末正味財産増減額	60,500	5,500	55,000
当期末正味財産	75,903,562	79,009,075	3,105,513

2.2 正味財産増減計算書内訳表

正味財産増減計算書内訳表	前期	当期末	増減
正味財産	75,903,562	79,009,075	3,105,513
当期末正味財産	75,903,562	79,009,075	3,105,513

正味財産増減計算書	前期	当期末	増減
正味財産	75,903,562	79,009,075	3,105,513
当期末正味財産	75,903,562	79,009,075	3,105,513

3. 財務諸表に対する注記

財務諸表に対する注記

- 3.1 重要な会計方針
  - (1) 引当金の計上基準  
退職給付引当金については、今期末で自己都合により退職した場合の支給額に相当する額を計上している
  - (2) 消費税等の会計処理  
消費税等の会計処理は税込処理を行っている

3.2 基本財産及び特定資産の増減額及びその残高

基本財産及び特定資産の増減額及びその残高は、次のとおりである。

科目	前期末残高	当期増加額	当期減少額	当期末残高
基本財産				
土地	0	0	0	0
建物	0	0	0	0
定期預金	20,000,000	0	20,000,000	0
投資有価証券	0	0	0	0
減価償却引当資産	0	0	0	0
小計	20,000,000	0	20,000,000	0
特定資産				
退職給付引当資産	1,600,000	100,000	0	1,700,000
減価償却引当資産	0	0	0	0
積立資産	43,750,000	53,500,000	43,750,000	53,500,000
記念事業積立金	7,500,000	0	7,500,000	0
助成事業積立金	500,000	0	500,000	0
表彰事業積立金	8,000,000	0	8,000,000	0
国際交流積立金	22,750,000	0	22,750,000	0
事務局整備積立金	5,000,000	0	5,000,000	0
電子情報システム充実化資金	0	5,000,000	0	5,000,000
記念事業関係債資金	0	5,000,000	0	5,000,000
国際会議関係債資金	0	20,000,000	0	20,000,000
事務局整備関係債資金	0	3,500,000	0	3,500,000
公益目的事業基金	0	14,800,000	0	14,800,000
事務局活動基金	0	5,200,000	0	5,200,000
小計	45,350,000	53,600,000	43,750,000	55,200,000
合計	65,350,000	53,600,000	63,750,000	55,200,000

3.3 基本財産及び特定資産の財源等の内訳

基本財産及び特定資産の財源等の内訳は、次のとおりである。

科目	当期末残高	うち指定正味財産からの充当額	うち一般正味財産からの充当額	うち負債に充当する額
基本財産				
土地	0	0	0	0
建物	0	0	0	0
定期預金	0	0	0	0
投資有価証券	0	0	0	0
減価償却引当資産	0	0	0	0
小計	0	0	0	0





## (2) 定期講演会

開催予定日 : 2011年7月6日(木)、7月7日(木)

開催予定場所: 松本市(長野県松本文化会館)

なお、定期講演会終了後、翌日に関連施設の見学会の実施を予定している。  
あわせて講演論文集を発行する。

## (3) 見学会・技術懇話会

## 第1回

開催予定日 : 2011年5月28日(土)

開催予定場所: JAL 成田

## 第2回

開催予定日 : 2011年 秋

開催予定場所: 未定

## (4) 教育シンポジウム

2011年度は関東地区で1回の開催を予定する。

開催予定日 : 2011年6月30日(木)、7月1日(金)

開催予定場所: JAXA 航空宇宙技術研究センター(調布)

なお、本シンポジウムにおいて使用するテキストは、別途「ガスタービン技術普及委員会」の作成した冊子「ガスタービン」を必要に応じて改訂して使用する。

## (5) ガスタービンセミナー

開催予定日 : 2012年1月19日(木)、20日(金)

開催予定場所: IHI 横浜事業所

あわせてガスタービンセミナー資料集を発行する。

## (6) シンポジウム

開催予定日 : 2011年 秋

開催予定場所: 未定

## (7) 市民フォーラム

定期講演会にあわせて毎年度実施しているが、2011年度は会場等の事情により開催を見合わせる。なお、今後広く一般に向けた普及啓発活動として、拡充して行く方向で検討を行う。

## 3. 学会誌及び学術図書の刊行(定款第4条(2))

## (1) 日本ガスタービン学会誌

従来同様、年6回、毎奇数月に2,300部の発行を予定する。

和文の技術論文は引き続き本学会誌上に掲載する。また、将来に向けて学会誌の電子出版化についても引き続き検討を進める。

## (2) 英文論文集

電子ジャーナルとして年4回程度の刊行を目指す。

## (3) 教科書

ガスタービン関連技術の教育に役立つ幾つかの教科書の刊行を目指した検討を開始する。

## 4. 内外関連学協会との連携並びに協力(定款第4条(3))

引き続き米国機械学会(ASME/IGTT)をはじめとする海外関連学協会との情報交換を密にするとともに、お互いに共催、協賛などの必要な協力を行なう。特に今年度は第10回国際ガスタービン会議大阪大会(IGTC11)の実施年度に当たることから、国内外の協賛諸団体とも連携しながら準備を進め、実効ある国際会議実施を目指す。なお、会期中にはIAC(International Advisory Committee)委員会を開催し、国際交流、国際会議実施等に関する忌憚のない意見・情報交換を行ない、次回以降の国際会議実施に生かす予定である。また、アジア諸国と連携してきたアジアガスタービン会議(ACGT)の今後の運営方針、次年度実施計画等について主として韓国、中国の関連団体と協力し検討を進めるとともに、情報交換をより緊密に行い将来の「アジアガスタービン協会(仮称)」のような組織の立ち上げ等も検討する。

国内については昨年度と同様に、関連学協会(約25団体)との協賛により定期講演会、セミナー等の諸行事を計画、実施するとともに、必要に応じて関連学協会の行事を協賛する予定である。

また、引き続き社団法人日本工学会の構成団体として学協会共通の諸課題について意見交換を行ないながら公益事業の健全な発展、推進に努力する予定である。

## 5. ガスタービン及びエネルギー関連技術に関する研究・調査(定款第4条(4))

引き続き2010年のわが国におけるガスタービン及び過給機の生産実績を調査、収集してまとめ、その結果をガスタービン生産統計資料として学会誌に掲載するほか、5年ごとに刊行している「ガスタービン・過給機資料集(2014年版)」用のデータ取りまとめを継続する。

昨年度までの「産官学連携懇話会」を発展的に解消し、今年度から新たに「産官学連携委員会」としてスタートするのを機に、新たな産業構造の到来に備え、ガスタービンをはじめとして将来のエネルギー関連技術の推進に必要な産官学の連携システムの構築を目指し、関連技術、開発プロジェクト実施上の課題の検討、開発プロジェクトの立ち上げに着手する。研究開発に関する具体的な内容は、「ガスタービンを考える会」で引き続き検討する。

なお、新たに調査・研究すべきと判断される課題が生じた場合には、随時理事会の下に該当する「調査研究委員会」を発足させ、これらの研究・調査を通じて得られた重要な判断事項については、適当な場を通じて適宜外部に発信してゆく予定である。

## 6. 研究の奨励及び研究業績の表彰(定款第4条(5))

ガスタービンに関連する研究及び技術開発を奨励するために、優れた研究と技術に対して隔年でガスタービン学会賞を授与しているが、2011年度はその募集の年に当たるため、学会誌や学会ホームページ等を通じて応募者の公募を行い、学会賞審査委員会を設置して受賞者の選考を行なう。受賞者は2012年4月開催予定の通常総会で表彰する予定である。また、定期講演会で優秀な発表をした学生を表彰するとともに、学生や若手研究者を中心に学術講演会や国際会議等への発表、参加の機会の増大や研究意欲向上を目的に応募者を募り一部補助も行う予定である。

## 7. その他本学会の目的を達するために必要な事業(定款第4条(7))

公益事業を推進し、それを実効あるものとする上で重要なことは、事業の目的やその活動の結果等を不特定多数の人々にもできる限り公開することである。そのためにはホームページ機能の活用、充実化はきわめて効果的であり、引き続きハード面、ソフト面での充実化を図る予定である。具体的には海外への情報発信も考慮した英文ホームページの作成・充実化、電磁的な議決権行使が可能な認証システムの導入、技術情報コンテンツの充実などを検討し必要のものから実施する。

また、2012年は学会創立40周年に当たるため、今年度は創立40周年記念事業準備委員会を発作させ、具体的な実施計画を立案する。

## 8. 委員会の設置及び会議開催

以上の諸活動を実施するため、下記の常置及び臨時委員会を設置して、それぞれの担当執行理事の統括のもと関連委員会を適宜開催し活動を円滑に進める。なお、各委員会においては、新しく発足した公益社団法人としての目的、定款に照らし、改めてそれぞれの運営規程等の見直しを適宜行ない、より合理的な運営を心がける。

## (1) 常置委員会

- ・倫理規定委員会(旧倫理規定検討委員会の機能を引き継ぐ)
- ・自己点検委員会
- ・企画委員会(旧組織検討委員会の機能を包含する)
- ・国際委員会
- ・運営委員会(旧総務委員会の機能を引き継ぐ)
- ・学術講演会委員会(旧学術講演会委員会の機能を引き継ぐ)
- ・集会行事委員会(旧企画委員会の機能を引き継ぐ)
- ・ガスタービン技術普及委員会(旧ガスタービン技術継続教育教材作成委員会の機能を包含する)
- ・学会誌編集委員会(旧編集委員会の機能を引き継ぐ)
- ・英文論文集編集委員会(旧英文論文集編集委員会の機能を引き継ぐ)
- ・ガスタービン統計作成委員会(旧ガスタービン統計作成委員会の機能を引き継ぐ)
- ・広報委員会(旧広報委員会の機能を引き継ぐ)
- ・表彰委員会(旧表彰委員会の機能を引き継ぐ)

## (2) 臨時委員会

- ・2011年国際ガスタービン会議大阪大会組織委員会(略称IGTC11組織委員会)  
(旧2011年国際ガスタービン会議大阪大会組織委員会を引き継ぐ)
- ・2011年国際ガスタービン会議大阪大会実行委員会(略称IGTC11実行委員会)  
(旧2011年国際ガスタービン会議大阪大会実行委員会を引き継ぐ)
- ・産官学連携委員会
- ・学会賞審査委員会
- ・創立40周年記念事業準備委員会

また、理事会は、原則として2ヶ月に1度開催するが、理事会の運営をより効率的に進めるため、あらかじめ(概ね理事会開催日の1週間前を原則とする)運営委員会を開催し、議案等の整理、調整を行う予定である。

2011年度収支予算書

2011年3月1日から2012年2月29日まで

Table with columns: 科目, 予算額, 前年度予算額, 増減. Includes sections for 一般正味財産増減の部, 経常増減の部, 経常費用, and 指定正味財産増減の部.

収支予算書内訳表

2011年3月1日から2012年2月29日まで

Table with columns: 科目, 公益目的事業会計, 法人会計, 合計. Includes sections for 一般正味財産増減の部, 経常増減の部, 経常費用, and 指定正味財産増減の部.

## 2011年度特別講演会報告

二村 尚夫  
FUTAMURA Hisao

この特別講演会は、4月12日(火)の2010年度通常総会、2011年度第1回臨時総会に引き続き、15時45分から約1時間にわたって江東区豊洲のIHI本社ビル低層棟3階002研修室にて50人を超える参加者を集めて開催されました。

講演者には、当初、(株)日立製作所 電力システム社事業主管の笹田哲男氏を予定しておりましたが、当日はご体調がすぐれず、ご用意された「中容量ガスタービンの開発とグローバル展開」につきましては、同社 電力システム社技師長兼CTOの池口隆氏よりご講演いただきました。

以下に要旨を記しておきます。

東日本大震災の被災地域に本拠を持つ(株)日立製作所では、対策に努め、すでにガスタービンを製作する日立事業所を再開している。同社の主力となっている中容量ガスタービンH-25は1985年から自主開発を進め、1988年に初号機を納入して以来、現在までに世界中で130台以上の納入実績を有している。その構成は軸流17段の圧縮機に3段のタービンを配した1軸形式となっており、70%スケールで小型のH-15、大型で2軸のH-80とシリーズ化されている。燃料対応は天然ガス、A重油、軽油の他、バイオ燃料、石炭ガスと幅広い。

同ガスタービンの海外展開の発端は国内のコンバインドサイクル市場の飽和にあり、2000年から中南米、カナダ、ロシア、中東、北アフリカと営業努力が続いた。

同社では技術開発のためにガスタービン研究開発センターを設立し、圧縮機、燃焼器、タービン等の要素実験研究を実施しており、CFD解析などと組み合わせて開発の効率を高めている。現在、同センターでは高湿分空気がスタービン(AHAT)の研究が進められている。と今後の展望を述べられ、製品開発から海外ビジネスまでの豊富な経験が現地の写真を交えて語られ、苦勞がひしひしと伝わってきました。開発に当たっては、333%の努力、理論と実験、バックアップ手段を速やかに取ることを説かれ、リーダーシップとチームワークで世界を目指す意気込みが感じられました。

末尾であります。東日本大震災の被災直後にも拘らず発表準備を頂きました笹田哲男氏、そして当日にご発表頂きました池口隆氏に厚く御礼を申し上げます。

最後に、開催が危ぶまれました特別講演会にご参加頂いた皆様、会場準備等にご協力頂きました(株)IHIの皆様に御礼を申し上げます。

## 第20回ガスタービン教育シンポジウム開催のお知らせ

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

1. 日 時： 2011年6月30日(木)、7月1日(金)
2. 場 所： 宇宙航空研究開発機構 (JAXA) 調布航空宇宙センター  
(東京都調布市深大寺東町7-44-1)
3. プログラム：30日(木)
 

9:30-	受付 (JAXA調布航空宇宙センター)
10:10-10:20	開会の挨拶
10:20-11:50	「ガスタービン概論」 渡辺紀徳 (東京大学)
11:50-13:00	昼食
13:00-14:30	「ガスタービンと流体工学」 濱崎浩志 (IHI)
14:40-15:30	「JAXAにおける航空エンジン研究紹介」 西澤敏雄 (JAXA)
15:30-17:45	見学会 JAXA 調布航空宇宙センター (ガスタービン関連研究施設等)
18:00-19:30	懇親会

1日(金) 9:20-10:50	「ガスタービンと伝熱工学」 船崎健一 (岩手大学)
11:00-12:30	「ガスタービンと燃焼工学」 岩井保憲 (東芝)
12:30-13:30	昼食
13:30-15:00	「ガスタービンと材料工学」 玉置英樹 (日立)
15:10-16:40	「ガスタービンと制御工学」 新村栄一 (富士電機システムズ)
16:40-16:50	アンケート記入
16:50-	閉会の挨拶
4. 定 員：60名
5. 対象者：大学、大学院、高等専門学校在籍者、ならびに技術者 (ガスタービン初心者)
6. 参加費：学生 (会員：¥2,500, 非会員：¥5,500), 社会人 (会員：¥10,000, 非会員：¥15,500)  
(注：当日入会可, 入会金¥500, 年会費：学生会員 ¥2,500, 正会員 ¥5,000)
7. 懇親会：参加費 無料
8. 受講証の発行：2日間の講義を受講された方は、「ガスタービン教育シンポジウム受講証」を発行します。
9. 申込方法：下記の申込書に1) 所属 学校名 (専攻, 学年), 社名 (部課名, 入社年度), GTSJ会員は会員番号, 2) 氏名, 3) 連絡先住所, TEL, FAX, E-mail, 4) 懇親会参加の有無を明記し, 学会事務局宛に, 郵便, ファクシミリ, 電子メールのいずれかにより2011年6月9日(木) (必着) までに, お申し込み下さい。  
学会ホームページからも申込ができます。
10. 参加費の支払：当日支払いですが, 事前の支払いも受け付けます。事前に支払う場合は下記の所に振り込みを行って下さい。またその旨を学会事務局にファクシミリ, 電子メール等でお知らせ下さい。

○昼食：JAXA調布航空宇宙センター内に食堂があり利用できます。

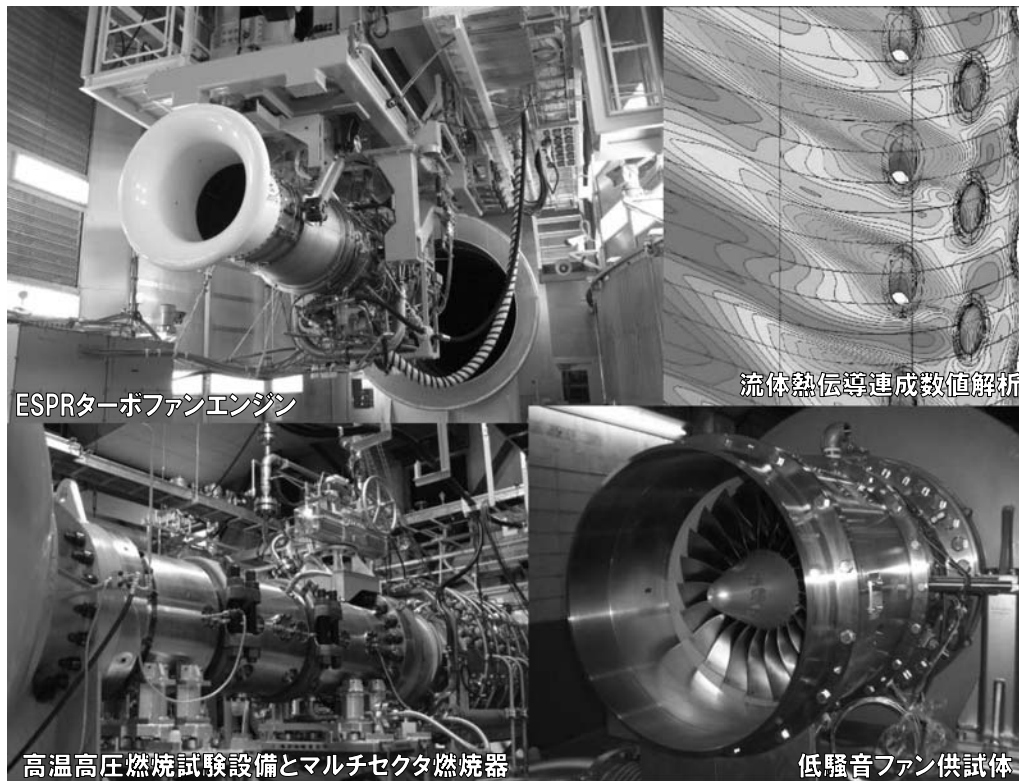
○学会事務局：日本ガスタービン学会 〒160-0023 東京都新宿区西新宿7-5-13第3工新ビル402

○振込先：銀行（みずほ銀行新宿西口支店 普通預金1812298）郵便振替（00170-9-179578）

注1：開催場所案内図及び詳細については当学会ホームページをご覧ください。（<http://www.gtsj.org/>）

注2：この期間、電力需要が供給能力を大幅に上回ることが予想される夏季にあたることから、空調の運転を停止させていただくことがあります。講義室の気温が高くなることが予想されますので、参加者各位におかれましては、できるだけ軽装でご出席いただき、水分の補給等の熱中症対策をご準備ください。

★今年度は関西地区における教育シンポジウムは開催しません。



## 第20回ガスタービン教育シンポジウム参加申込書

(2011年6月30日, 7月1日)

日本ガスタービン学会 行

FAX : 03-3365-0387 TEL : 03-3365-0095 E-mail : [gtsj-office@gtsj.org](mailto:gtsj-office@gtsj.org)

氏名			国籍	
所属			学年, 入社年度	
連絡先	〒			
TEL			FAX	
E-mail				
懇親会	出・欠			

注) 外国籍の参加者には、申込書に記載した情報の他にパスポート番号などの情報をお知らせしていただけます。また、履歴書等を提出していただく場合がありますのでご了承ください。詳しくは、申込書受け付け後にご連絡いたします。

申込締切日： 2011年6月9日(木) (必着)

## 第39回日本ガスタービン学会定期講演会（松本）・見学会のお知らせ

第39回日本ガスタービン学会定期講演会および見学会を以下のように開催します。  
多数のご参加を待ちしております。

**主催**：公益社団法人 日本ガスタービン学会  
**協賛**：協賛団体はガスタービン学会ホームページ (<http://www.gtsj.org/>) をご覧ください。  
**開催日**：講演会 2011年7月6日(水)、7日(木)、見学会 2011年7月8日(金)

### 講演会：

- ・会場：長野県松本文化会館  
開館：9時、住所：長野県松本市水汲69-2、TEL：0263-34-7100  
<http://www.valley.ne.jp/~matsubun/index.html>
- ・一般講演：空力、燃焼、伝熱、材料、システム、サイクルなど
- ・先端技術フォーラム：
  - その1「低炭素社会に向けたエネルギーシステムのデザイン」
  - その2「ガスタービン燃焼関連分野における最近の研究～不安定な燃焼を安定させるには？」
- ・特別講演
  - その1「我が国ジェットエンジンの将来への一考察」 柳良二氏 (JAXA)
  - その2「松本城の歴史と建築（仮）」 青木教司氏 (松本城管理事務所 研究専門員)

### 参加登録費：

- ・会員・登壇者：13,000円（ただし、学生は論文集有りで4,000円、論文集無しで1,000円）
- ・協賛会員：15,000円（ただし、学生は論文集有りで4,000円、論文集無しで1,000円）
- ・会員外：18,000円（ただし、学生は論文集有りで7,000円、論文集無しで4,000円）

### 懇親会：

- ・日時：7月6日(水) 19：00 開会（予定）
- ・会場：松本東急イン TEL：0263-36-0109、<http://www.matsumoto-i.tokyuhotels.co.jp/ja/index.html>
- ・会費：3,000円
- ・移動：講演会場から懇親会場への移動のためのバスを用意する予定です。

### 見学会：

- ・日時：7月8日(金)（8時30分 松本東急イン前集合、17時頃 松本駅解散の予定）
- ・見学先：IHIエアロマニュファクチャリング、松本クリーンセンター等
- ・定員：40名程度（講演会の参加登録者に限ります。先着順で受付け、定員になり次第締切ります。）
- ・参加費：6,000円
- ・申込期限：6月23日(木)
- ・ご不明な点は学会事務局にお問い合わせ下さい。

### 参加申込方法：

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

### 弁当について：

7月6日、7日の昼食用として弁当のご予約をお受けします。ご希望の方は参加申込み時にご予約ください。飲物付で一食700円です。

### 市民フォーラム：

- ・日時：7月5日(火) 13：30 開場、14：00 開演（予定）
- ・場所：長野県立松本県（あがた）ヶ丘高等学校
- ・講師：渡辺紀徳氏（東京大学航空宇宙工学専攻）
- ・題目：「ガスタービン：高速輸送から次世代発電システムまで（仮）」
- ・登録不要、無料です。詳細につきましては学会ホームページに随時掲載します。

### 宿泊について：

- 懇親会会場の「松本東急イン」では定期講演会参加者のみの特別料金が設定されています。
- ・特別優待料金：5,980円（シングル朝食なし、税込み）、6,980円（シングル朝食付き、税込み）
- ・予約方法：電話にてご予約ください。  
予約時に「ガスタービン学会定期講演会参加者」である旨を伝えてください。  
上記料金は、電話予約限定です。インターネットでの予約には適用されません。  
観光シーズンとなりますので、お早目の予約をお勧めします。
- ・電話番号：0263-36-0109（松本東急イン）

## 第39回日本ガスタービン学会定期講演会・見学会 (2011年7月6～8日)

## 参加申込書

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

参加者の連絡先 (複数人申し込まれる場合は、代表者の方の連絡先)

会社/大学等名称	
所在地	〒
TEL/FAX	
E-MAIL	

## 参加者名

フリガナ 氏名*1	所 属	TEL/FAX E-MAIL	所属学会 (GTSJ会員番号)	会員 資格 (正/学)	昼食予約*2		懇親会 (6日) (3千円)	見学会 (8日) (6千円)
					6日	7日		
					する しない	する しない	出席 欠席	参加 不参加
					する しない	する しない	出席 欠席	参加 不参加
					する しない	する しない	出席 欠席	参加 不参加
					する しない	する しない	出席 欠席	参加 不参加

\*1 登壇者の方は氏名の後に○を記入してください。

\*2 昼食予約の方には、当日、会場受付にて昼食(お弁当)の予約券をお渡します。

代金(飲物付700円)は、お弁当と引き換えに業者にお支払いください。

論文集無し(学生のみ)の場合は、下記の参加登録費の金額に反映してください。

## 【事務局への連絡事項】

払込方法 (○印をつけてください) 参加登録料・参加費入金予定日 月 日(7月5日までにお払込みください)

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

送金金額 円(内訳: 参加登録費 円 懇親会参加費 円 見学会参加費 円)

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

\* 請求書の発行について

- 要 宛名 ( )
- 不要

\* 領収書の発行について

- 要 宛名 ( )
- 不要

第39回日本ガスタービン学会定期講演会(松本)プログラム(仮) 第1日 -

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

10:00	時間	11:40	時間
A-1	<<一般講演>> 噴霧・燃焼器開発 液膜微粒化の噴霧特性計測と界面追跡ハイブリッド数値解析 *井上智博, 渡辺紀徳, 姫野武洋, 鶴沢聖治(東大), 宮下陽輔(東大院)	B-1	<<一般講演>> 空力 圧縮機翼先端流れに関する研究(ハイブリッド)の効果 *熊谷雅史(岩手大院), 船崎健一, 谷口英夫, 加藤大雅(岩手大), 松田一生(岩手大院), 加藤大, ハロキヨーム(HI)
A-2	希薄スレージング低NOx燃料噴射舟の着火特性の向上 *小林正佳, 松山竜佐, 小田剛生, 緒方秀樹, 堀川敦史(川崎重工), 藤原仁志(JAXA)	B-2	周方向薄型ケーシングトリートメントが超音速圧縮流れに及ぼす影響 *佐久間康典(東大院), 渡辺紀徳, 姫野武洋(東大), 加藤大, 今枝元広(HI)
A-3	LOC(Light Cycle Oil)の基礎燃焼特性 *西田啓之, 橋本望, 小沢靖(電中研)	B-3	航空エンジン用高負荷低圧タービン翼まわりの流れに関する研究(wake通過及び主流乱れの効果) 船崎健一(岩手大), *岡村和希, 佐藤安國(岩手大院), 浜辺正昭(HI)
A-4	7MW級ガスタービン M7AデュアルDLE型およびリキッドスタンプ型燃焼器の紹介 *豊田聡司, 青木茂樹, 小田剛生, 緒方正裕(川崎重工)	B-4	航空エンジン用低圧タービン翼における境界層バイパス遷移に関する研究 *斎藤拓(岩手大院), 船崎健一, 谷口英夫(岩手大), 酒井宏(GNF-J)
A-5	1700°C級ガスタービン排ガス再循環システムの燃焼器開発 *瀧口智志, 斉藤圭司郎, 伊藤栄作, 西田幸一, 田中克則, 塚越敬三(三菱重工)	B-5	トランスピレション冷却を有する直線タービン動翼列内の流れの数値解析 *高梨智也(法政大院), 菅野哲也, 辻田星歩(法政大)

12:40	<<一般講演>> 空力・プラズマアクチュエータ 高温度環境下におけるプラズマアクチュエータの特性に関する研究 *内田竜朗, 野口太郎, 松田寿, 田中元史(東芝)	C-6	<<一般講演>> 伝熱 Lattice (Matrix) 冷却ダクトの流れの数値解析 *石田 克彦(川崎重工)
A-6	プラズマアクチュエータ及びファイバレーザーテイングセンサを用いた剥離流れの能動制御 *瀧川武彦, Timothy Jukes, 古谷博秀(産総研), 前田茂, 武川信也(PSI)	B-6	異なる酸素濃度場における旋回流希薄予混合火炎のレーザ画像計測 *藤田洋平(阪大院), 小宮山正治, 武石賢一郎, 中山清伸(阪大)
A-7	プラズマアクチュエータによるタービン翼列負担面側の剥離制御のための基礎実験 *松沼幸幸, 瀧川武彦(産総研)	B-7	プロパノ燃料超小型ガスタービン用燃焼器の振動燃焼に関わる諸特性 *安部裕志(首都大院), 湯浅三郎, 桜井毅司(首都大)
A-8	空力・騒音低減 マイクログジェットが超音速ジェット騒音及び流れ場に及ぼす影響 *岡田隆一(東大院), 渡辺紀徳, 鶴沢聖治, 姫野武洋(東大), 大石勉(HI)	B-8	低NOx燃焼器の研究 *相原宏行(川崎重工)
A-9	動翼噴出しを用いたファン静翼面圧力変動の抑制に関する研究 *高田知明(東大院), 渡辺紀徳, 姫野武洋, 鶴沢聖治, 井上智博(東大)	C-7	CMC材を用いた冷却タービン翼モデルの冷却性能に関する研究 *船崎健一(岩手大), 國井陽輔(アイシン精機), 渡辺泰文(ムネタカ), 大北洋治(HI)
A-10	先端技術フォーラム>> 低炭素社会に向けたエネルギーシステムのデザイン 座長: 中田俊彦(東北大) 講演1 エネルギーモデルに基づく将来需要展望 講演2 低炭素社会における天然ガスの役割と水素への期待 講演3 石炭火力のCCSU デーとCCS技術開発 総合討論	C-8	Experimental and Numerical Studies on the Flowfield of Multiple Film Cooling Holes * Kamil Abdullah, Ken-ichi Funazaki, Youhei Kikkawa (Iwate Univ.), Takeomi Ideta (HI)
13:50	14:50	C-9	<<一般講演>> システム開発 超臨界CO2タービンシステム開発 座長: 武田淳一郎(富士電機) 生熱交換器の開発 *宇多村元昭(東工大), 梶田梨奈, 山本敬(熱技術開発), 蓮池宏(エネ総研)
15:00	17:10	C-10	ガスタービン吸気冷却用噴霧ノズルの開発 *福武英紀, 伊東正雄(東芝)
17:20	18:10	C-11	高速回転体における光信号伝達システムの検討 *野村武弘, 篠原健一(HI)

司会: 武田淳一郎(富士電機)



— 第2日 —

時間	A室(中ホール)	B室(第1会議室)	C室(第2会議室)
9:20 (A室) 〈〈特別講演〉〉	我が国ジェットエンジンの将来への一考察 柳良二, 石澤和彦(JAXA), 坂田公夫(元 JAXA)		
9:50			司会: 壹岐典彦(産総研)
10:00		<p>〈〈一般講演〉〉 空力・CFD 座長: 姫野武洋(東大)</p> <p>B-12 地上ジェットエンジンテストセルのCFDモデルの検討 * 浅海典男, 松野伸介, 伊沢将人, 田口真之, 三浦聡 (IH)</p> <p>B-13 動静翼干渉場における着氷現象の数値シミュレーション 川上敬, 鈴木正也, * 山本誠(東理大), 穴戸進一郎, 室岡武, 宮川浩 (IH)</p> <p>B-14 部分流入段の三次元非定常流動解析に基づく性能予測 * 笹尾泰洋(東北大), 高田真司(東北大院), 田沼唯士(帝京大), 山本悟(東北大)</p> <p>B-15 コールドスプレードロセスのマルチフィジックスCFDシミュレーション 泉洋平, * 酒巻亮平, 鈴木正也, 山本誠(東理大), 大北洋治(IHI)</p>	<p>〈〈一般講演〉〉 水素含有燃料・燃焼 座長: 斉藤圭司(三菱重工)</p> <p>C-12 水素リッチ燃料吹き多孔同軸噴流バーナーの火炎構造の検討 * 浅井智広, 百々聡, 小泉浩美, 吉田正平, 井上洋(日立)</p> <p>C-13 水素含有燃料吹きガスタービン用ドライ低NOx燃焼器の燃焼特性(第2報) * 百々聡, 浅井智広, 小泉浩美, 吉田正平, 井上洋(日立)</p> <p>C-14 水素含有燃料の燃焼特性に及ぼす一酸化炭素の影響の実験的圧力の影響 * 百々聡, 浅井智広, 小泉浩美, 吉田正平, 井上洋(日立)</p> <p>C-15 UMGT用水素燃焼超小型燃焼器の着火と火炎安定性に及ぼす圧力の影響 * 桜井毅司, 笛田剛志, 湯浅三郎(首都大)</p>
11:20		<p>〈〈一般講演〉〉 空力 座長: 東部泰昌(川崎重工)</p> <p>B-16 遷音速遠心圧縮機の翼端漏れ渦崩壊がインペラ失速に及ぼす影響 * 山田和豊(九大), 上野貴大(九大院), 福島久剛(九大院), 古川雅人(九大), 茨木誠一(三菱重工), 富田勲(三菱重工)</p> <p>B-17 循環流型ケーシングトリートメントが高圧力比遠心圧縮機の性能に及ぼす影響 * 玉木秀明 (IH)</p>	<p>〈〈一般講演〉〉 材料 座長: 吉野展永(IHI)</p> <p>C-16 ガスタービン翼を対象としたTBC遮熱性能非破壊評価法の開発(第2報) * 藤井智晴, 酒井英司, 岡田満利(電中研)</p> <p>C-17 高効率ガスタービン向け超耐熱合金の開発 岡田和生, 下島幸郎, * 種池正樹, 小畑英隆(三菱重工), 原田広史, 横川忠晴, 鉄井利光(物質・材料研究機構)</p>
11:30		<p>B-18 ジャイロミル型風車の非定常空力特性に関する実験的研究 * Khairil Akmal bin Nan(拓殖大院), 平野孝典, 藤本一郎(拓殖大), 平本政明(元 東大), Reinhard Niehuis(Univ. Bundeswehr Muenchen)</p>	<p>C-18 Ni基超合金Inconel Alloy 706のクリープおよびクリープ疲労特性に及ぼす環境の影響 * 吉岡洋明, 齊藤大蔵, 角谷理恵, 石橋和利, 伊藤勝康(東芝), 小林大輔, 伊藤明洋, 宮部正道, 鎌谷幸生(中部電力)</p>
12:30		<p>屋休み(12:30~13:20)</p>	
13:20	<p>(A室) 〈〈先端技術フォーラム〉〉 ガスタービン燃焼関連分野における最近の研究 ~ 不安定な燃焼を安定させるには? 第1部 座長: 古谷博秀(産総研) 講演1 回転流中における火炎の挙動と安定化 講演2 燃焼の不安定性の鍵を握る乱流燃焼を知る(仮) 講演3 希薄予混合ガスタービン燃焼の圧力変動、燃焼不安定性について(仮)</p> <p>第2部 パネル討論 座長: 石塚悟(広島大) パネリスト: 井上洋(日立), 木下康裕(川崎重工), 斉藤圭司(川崎重工), 藤森俊郎(IHI), 古谷博秀(産総研), 店橋護(東工大), 立花繁(JAXA)</p>		
16:00			

## IGTC'11大学研究展示スペースのご案内

IGTC'11実行委員会

2011年国際ガスタービン会議大阪大会（IGTC'11, 11/14-17, 大阪国際会議場）では、前回IGTC'07東京大会に引き続き、大学・高専研究室の研究活動を紹介するスペースを用意しております。いわゆるポスターセッションの場ではありませんが、展示内容には制限はありませんので、

- ・ 研究室としてまとまって行っている取り組みのアピール
- ・ 学生と会議参加者とのディスカッションの場の提供
- ・ 本論文申し込みには間に合わなかったものの、まとまった結果の出た研究の発表

など、ご自由にお使いいただけます。

今回は、企業展示スペースの入り口に大学展示スペースを設けましたので、多くの人の目に触れることが期待できます。また、ご出展いただくと、会議に無料で参加できる学生バッジを2名分ご提供いたします。学生の方に国際会議の雰囲気味わっていただき、自分の研究を外国人研究者や企業人と議論できる良い機会になると思われま。下記要領にて展示の募集をいたしますので、ガスタービン学会員に限らず、是非とも大学研究展示スペースへのご出展をご検討いただきますよう、お願い申し上げます。

なお、IGTC'11の詳細につきましては、<http://www.gtsj.org/english/igtc/IGTC11/index.html>をご覧ください幸いです。

### 記

1. 展示場所：大阪国際会議場10階ホワイトエ1（企業展示スペース入口）
2. 募集数：15ブース程度（展示場所は先着順に希望を優先させていただきます）
3. 展示スペース：W1800×D600×H700テーブル および H2500×W990バックパネル
4. 出展料：本会会員20,000円、非会員30,000円
5. 出展特典：学生バッジ2名分を提供
6. 申込先：以下の項目をigtc11-univ-panel@aero.kyushu-u.ac.jpまでご連絡ください
  - ・ 大学名
  - ・ 研究室名
  - ・ 研究室責任者連絡先
7. 申込締切：2011年8月1日(月)

以上

## 2011年度役員名簿

会長	筒井 康賢 (高知工科大)
副会長	佃 嘉章 (三菱重工)
法人管理担当執行理事	加藤 泰弘 (日立製作所), 幸田 栄一 (電中研), 鈴木 健 (IHI), 六山 亮昌 (三菱重工), 渡辺 紀徳 (東大)
公益目的事業担当執行理事	壹岐 典彦 (産総研), 佐藤 哲也 (早大), 杉本 隆雄 (兵庫県立大), 辻田 星歩 (法政大), 二村 尚夫 (JAXA), 船崎 健一 (岩手大), 山根 秀公 (防衛省), 山本 誠 (東京理科大)
理事	荒川 忠一 (東大), 高橋 雅士 (東芝), 永井 勝史 (川崎重工), 坂野 貴洋 (中部電力), 宮原 忠人 (東京ガス)
監事	本阿弥真治 (東京理科大), 吉田 豊明 (JAXA)

## 2011年度委員名簿

○は委員長

## 運営委員会

○渡辺 紀徳 (東大)	伊藤 高根	川上 龍太 (東京電力)	幸田 栄一 (電中研)
小森 豊明 (三菱重工)	酒井 義明 (東芝)	佐藤 哲也 (早大)	杉本 隆雄 (兵庫県立大)
鈴木 健 (IHI)	二村 尚夫 (JAXA)		

## 学術講演会委員会

○壹岐 典彦 (産総研)	内田 竜朗 (東芝)	齊藤圭司郎 (三菱重工)	高橋 康雄 (日立製作所)
武田淳一郎 (富士電機)	東部 泰昌 (川崎重工)	長谷川武治 (電中研)	姫野 武洋 (東大)
平野 孝典 (拓殖大)	山本 武 (JAXA)	吉野 展永 (IHI)	

## 国際委員会

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

## ▷ 入 会 者 名 簿 ◁

## 〔正会員〕

岡 尚志(I H I) 山崎 博樹(I H I) 志村 暢彦(I H I) 蔵本 毅(I H I)  
 村上 立人(I H I) 大谷 岳典(I H I) 中島 審也(I H I) 中野 善夫(I H I)  
 比企野 広一(I H I) 柳谷 信孝(I H I) 田中 憲隆(青山特殊鋼) 時田 洋一(出光興産)  
 高梨 清三(海上自衛隊) 森井 佳伸(海上自衛隊) 熊木 健太(川崎重工業) 南 吉隆(川崎重工業)  
 豊田 聡司(川崎重工業) 東 洋文(ダイキン工業) 稲垣 浩伸(中部電力) 結城 健一(中部電力)  
 小長谷 仁(中部電力) 柚原 達也(中部電力) 中谷 明義(ナブテスコ) 金子 雅直(法政大学)  
 種池 正樹(三菱重工業) 真鍋 壮(三菱重工業) 佐藤 栄作(川重明石エンジニアリング)  
 尾関 高行(財電力中央研究所) 鳴川 典男(富士インダストリーズ) ト部 健人(I H I・東芝パワーシステム)

## 〔学生→正会員〕

倉田 知明(I H I) 中山 清伸(関西電力) 藤村 慶太(東 芝) 福島 久剛(日立製作所)  
 寺山 秀星(本田技研) 竹田 敏広(三菱重工業) 佐久間 康典(東京大学大学院博士後期課程)

## 〔学生会員〕

高橋 大地(岩手大学) 川端 浩和(岩手大学) 高梨 智也(岩手大学)

## 〔賛助会員〕

GEインターナショナル・インク



## ○ 本 会 共 催 ・ 協 賛 ・ 行 事 ○

主催学協会	会合名	共催/協賛	開催日	会場	詳細問合せ先
日本機械学会 関西支部	第314回講習会「事例に学ぶ 流体関連振動（トラブル事 例相談会付き）」	協賛	2011/7/4-5	大阪科学技術センター 8階中ホール	日本機械学会関西支部 TEL:06-6443-2073,FAX:06-6443-6049 E-MAIL:jsme@soleil.ocn.ne.jp
日本マリンエ ンジニアリン グ学会	海事三学会合同 第2回 「超省エネ船シンポジウム」	協賛	2011/7/13	コクヨホール (東京 品川)	日本マリンエンジニアリング学会 URL:http://www.jime.jp
可視化情報学 会	第39回可視化情報シンポジ ウム	協賛	2011/7/18-19	工学院大学 新宿校舎	可視化情報学会事務局 TEL:03-5993-5020,FAX:03-5993-5026 URL:http://www.visualization.jp/ event/detail/symp2011.html
日本実験力学 会	日本実験力学会2011年度年 次講演会	協賛	2011/8/30-9/1	奈良県文化会館	岡山理科大学工学部 機械システム工学科 林直美 TEL/FAX:086-256-9615 E-mail: office-jsem@mech.ous.ac.jp URL:http://jsem.jp/

## 訃 報

終身会員 三輪 國男 君 86才

2011年1月6日 逝去されました

ここに謹んで哀悼の意を表します

## 日本ガスタービン学会入会のご案内

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

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

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

### 学会の概要（平成22年12月現在）

会員数：2,035名（正会員 1,959名，学生会員 76名） 賛助会員：108社  
会員の出身母体数：企業・研究機関・官公庁等 約300，学校 約100

### 会員のメリット

個人会員（正・学生会員）：

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

賛助会員：

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

### 入会金と会費

正会員：入会金 500円，年会費 5,000円  
学生会員：入会金 500円，年会費 2,500円  
賛助会員：入会金 1,000円，年会費 一口 70,000円とし、一口以上

### 入会方法

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

学会事務局にお電話いただいても結構です。申込書を送付致します。



公益社団法人 **日本ガスタービン学会**  
Gas Turbine Society of Japan

〒160-0023 東京都新宿区西新宿7-5-13 第3工新ビル402

電話番号：03-3365-0095

E-mail: [gtsj-office@gtsj.org](mailto:gtsj-office@gtsj.org)

## 編集 後記

東日本大震災でお亡くなりになられた方々に深く哀悼の意を表すと共に、被災された方々や企業に心からお見舞いを申し上げます。

本5月号の編集作業中に地震は発生しました。日本の産業復興・発展のために電力の安定供給は必須ですが、原発による供給増は当然望める状況にはなく、比較的短期間での設置が可能なガスタービンによる電力供給増にも電力会社は取組んでいます。また工場等では、供給電力不足に対して自家発電設備の導入で備えようとの動きが広がっています。

電力会社が取組む発電所レベルでは大型のガスタービンが適していますが、工場レベルでは、今回の特集で取上げた地域分散型としての中小型ガスタービンを用いたコージェネレーションが適しています。

日本では分散型電源での電力供給比率が欧米に比べて小さく、大規模発電所に被害が出た時の影響が大きくなる状況にあり、災害への耐力を高めるためにも大規模発電所と分散型電源のバランスを見直す必要があると考えます。

今までのコージェネレーション導入は経済的メリットが主な動機で、その導入は燃料価格の変動に大きく左右されてきました。しかし、今後はエネルギーセキュリティの観点からの必要性も重視されることになります。

コージェネレーションによる分散型電源の普及が、災害に強い国作りには必要です。ガスタービンやエネルギー関連機器に関係している我々は、その供給責任を果たして行かなければならず、日本の復興に貢献して行こうとの強い思いを共有しているものと感じています。

今回の執筆をお願いしていた方々にも、当然この震災の影響はあり、しばらくは事務所等に立ち入れなかった方もいらしたと聞いております。そのような状況下でも原稿を完成さ

せて下さいました。

本号に執筆いただきました著者の方々に、あらためて御礼を申し上げたいと思います。

なお、本号の企画編集は、寺本委員（東京大学）、名本委員（ダイハツディーゼル）、服部委員（三井造船）および衣斐（川崎重工）が担当いたしました。

（衣斐正宏）

（表紙写真）

### サミット美浜パワー（株） 千葉みなと発電所

本発電設備は、18MW級L20A ガスタービン（川崎重工業製）をコアとしたコージェネレーションシステムで、関東地区のコンビナートで実施するオンサイト熱電併給事業向けに設置されている。国内の熱電併給は、従来、一工場での自家消費が一般的であったが、本発電設備は電力会社を経由せずにコンビナート内の複数の工場に電気を供給すると共に蒸気を供給している。さらに、電力会社のネットワークを経由して発電電力の一部を特定規模電気事業者へ売電している。単独工場による導入では分散型発電のメリットが十分生かしきれなくても、複数工場へのエネルギー供給により発電設備の能力を最大限に発揮できる。本発電設備は、ガスタービン2台と蒸気タービン1台を組み合わせた50MWのコンバインドサイクル発電設備（CCPP）で、各発電機を最適運用することで、コンビナート内の複数工場と、電力小売事業者の電力需要の変動に柔軟に対応できる。

（提供：サミット美浜パワー株式会社）

だより

## ♣事務局

今年度がいよいよ始まったと思っていた矢先、あの3・11の未曾有の大惨事が発生しました。被災された方々には心よりお悔やみ申し上げます。幸い当学会会員の皆様で直接被害に会われたという方はおられなかったようであります（実は学会事務局では当日ちょっとしたハプニングがありました）。あれからそろそろ2ヶ月が立とうとしておりますが、未だに先行きが見えておりません。特に、福島第一原子力発電所の状況は連日テレビ、新聞で報道されておりますが予断を許さず、初期動作で制御棒がきちんと作動したとしても冷却系をやられると原発はこんなにも脆くて、厄介なものかということに改めて実感させられました。「想定外」という言葉が飛び交っておりますが、そんなことでは片付けられない根本的なことが問われているように思います。

さて、私事で恐縮ですが、2007年5月より事務局長を拝命

しておりましたが、規定により5月10日をもって定年退職をさせていただくことになりました。初めは一年間のみのピンチヒッターのつもりでございましたが、翌年あたりから公益法人化の動きが持ち上がり、区切りをつけるまではやめるにやめられず、とうとう4年間になってしまったというわけです。幸い、公益社団法人への移行もうまく行き、4月12日には総会も無事終了、私なりに一区切りをつけることができ、ほっとしております。この4年間を事務局職員として充実して過ごすことが出来たのも会員の皆様方、事務局職員の皆様方の暖かいご支援の賜物であり、この場をお借りして感謝申し上げますとともに、後任の平岡克英新事務局長を今まで同様ご支援いただきたく、あらためて会員の皆様へお願い申し上げます。

（伊藤）

## 学会誌編集規定

2003.8.29改訂

1. 本学会誌の原稿はつぎの3区分とする。
  - A. 投稿原稿：会員から自由に随時投稿される原稿。執筆者は会員に限る。
  - B. 依頼原稿：本学会編集委員会がテーマを定めて特定の人に執筆を依頼する原稿。執筆者は会員外でもよい。
  - C. 学会原稿：学会の運営・活動に関する記事（報告、会告等）および学会による調査・研究活動の成果等の報告。

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

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

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

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

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

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

7. 学会誌に掲載された著作物の著作権は原則として学会に帰属する。

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

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

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

付記1. 原稿送付先および原稿執筆要領請求先  
〒105-0004 東京都港区新橋5-20-4  
Tel. 03-5733-5156 Fax. 03-5733-5164  
ニッセイエブプロ(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

2010.8.27改訂

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

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

### 日本ガスタービン学会誌 Vol.39 No.3 2011.5

発行日 2011年5月20日  
発行所 公益社団法人日本ガスタービン学会  
編集者 船崎 健一  
発行者 筒井 康賢  
〒160-0023 東京都新宿区西新宿7-5-13  
第3工新ビル402  
Tel. 03-3365-0095 Fax. 03-3365-0387  
郵便振替 00170-9-179578  
銀行振込 みずほ銀行 新宿西口支店  
(普) 1703707  
印刷所 ニッセイエブプロ(株)  
〒105-0004 東京都港区新橋5-20-4  
Tel. 03-5733-5156 Fax. 03-5733-5164

©2011, 公益社団法人日本ガスタービン学会

#### 複写をご希望の方へ

本学会は、本誌掲載著作物の複写に関する権利を一般社団法人学術著作権協会に委託しております。

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

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

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