

特集：再生可能な自然エネルギー利用の現状

## 特集号「再生可能な自然エネルギー利用の現状」によせて

刑部 真弘\*<sup>1</sup>

OSAKABE Masahiro

エネルギー関係の講演会を行うと、再生可能な自然エネルギーの導入をもっと真剣にやって欲しいと、一般の方々から要請される。晴耕雨読という言葉があるが、晴れたらエネルギーをいっぱい使って仕事をし、雨なら本でも読もうという生活には憧れる。しかし、我々の生活は、すでに風任せ、おてんとうさま任せではなくなっている。自然エネルギーの導入に賛成する人は多いが、この不安定な出力をどうするか、導入に当たって考えなければならぬ。

一般的に自然エネルギーと呼ばれている風力や太陽エネルギーの起源は、太陽からの光エネルギーである。なお、バイオマス燃料も、太陽光を受けた植物等が光合成した結果であるので、これも結局、太陽光エネルギー起源である。

まず風力の利用を考えてみる。直径 $D$ mのプロペラ型風力発電機に速度 $u$ m/sの風が流入しているとき、その発電出力 $P_w$ は、風量とプロペラが受ける風のエネルギーに比例し、以下で表される。

$$P_w = C_p \rho \frac{\pi D^2}{4} \frac{u^3}{2} \quad (1)$$

ここで、 $C_p$ は出力係数で、風の強さと翼の回転速度の比等によって決まる係数、 $\rho$ は空気密度である。すなわち、出力係数が最も高い条件で用いたとしても、風力発電の出力は風速の約3乗に比例する。すなわち、風速が半分になると、理論的には出力は1/8になるのである。また、出力はプロペラ直径 $D$ の2乗に比例するので、直径が2倍になれば出力は4倍になる。

不安定な出力にも関わらず、2020年までに、EUは総電力の13%を風力でまかなう計画がある。特に、2005年時点では風力全体に占める洋上の比率は3%弱に過ぎなかったが、2020年には27%まで上昇すると予測している。アメリカや中国も急速に風力発電を推進し、特に中国は、2010年時点で、発電容量（最大出力）比で日本の75倍もの風力発電所を建設している。日本でも東日本大震災後に行われた環境省による試算によると、国内で自然エネルギーを導入した場合には、風力発電を普及できる余地が最も大きく、低い稼働率を考慮しても、最大で大型原発40基分の発電量が見込めるとのことである。風の強い東北地方では、原発3～11基分が風力でまかなえる計算になっている。この試算では、理論上可能な最大導入量から、土地利用や技術上の制約を差し引き、さらに

事業として採算性を確保できることを条件に加えている。ただし、これらの発電出力は、前述したように変動していることを忘れてはならない。

次に、太陽光エネルギーによる発電について考えてみる。例えば、洋上に効率20%の太陽光発電パネルを設置するとすれば、合計で5km<sup>2</sup>の面積があれば最大出力は大型原発1基分となる。この電力を海底ケーブルで陸上に送ってもよいし、水を電気分解し水素を作ってもよいし、高性能電池を搭載した船に蓄電して輸送してもよい。沿岸域には魚等の水産生物が豊富に存在するが、外洋はときどきクジラが回遊するだけで生物のほとんどいない海の砂漠地帯であり、そのような場所に太陽光発電所を設置するのも一方法であると考えられる<sup>(1)</sup>。2005年8月5日に記録した日本全体の最大電力需要は、1.8×10<sup>8</sup>kW（大型原発180基）であったので、180基の太陽光発電所（5km<sup>2</sup>面積）があれば、降り注ぐ光エネルギーで賄える可能性がある。ただし、曇ったら発電出力は急速に減少するし、1日の内で朝や夕方には大きな出力は期待できない。

実際には、2010年時点の日本の太陽光発電は、住宅用のみで75万件ほどが設置済みと考えられている。1軒当たりの平均設置発電容量は4kW程度とすると、最大出力ではおよそ300万kW（大型原発3基）となる。前述した最大電力需要の約1.7%の電力となるが、あくまでも最大出力である。

この変動する自然エネルギーを使っていくための解決策の一つが、エネルギーと情報通信技術（ICT）を融合させたスマートグリッド<sup>(1)</sup>である。ただし、これらに関する制度提案や技術開発を行う際に、再生可能エネルギーに関する根本原理を理解することが必須である。電力系統に不安定な発電出力が入ってくることによって、今まで高効率で発電していたガスタービン発電所の効率が低下する可能性すらある。

本特集では、再生可能な自然エネルギーの開発及び導入の現状等を紹介した。このたびの東日本大震災により発生した原発事故を受けて、自然エネルギーの導入を積極的に進めようという方々が多いが、まだ我々の生活で上手に使っていく仕組みができていないのが現状ではないだろうか。遠い将来に化石燃料や核燃料が枯渇することは明らかであり、自然エネルギーをどのように使っていくか議論していくことは重要であり、本特集がそれに貢献すれば幸甚である。

原稿受付 2011年8月4日

\* 1 東京海洋大学海洋工学部 海洋電子機械工学科  
〒135-0044 江東区越中島2-1-6

### 参考文献

(1) 刑部真弘, エネルギーのはなし, 朝倉書店 (2011)

特集：再生可能な自然エネルギー利用の現状

## オランダにおける海上風力発電

ロブ・ストロークス\*1

Rob Stroecks

キーワード：海上風力発電，エネルギー，スマートグリッド，政策，オランダ，イノベーション，オフショア事業

### はじめに

オランダは海上風力発電の先進国の一つである。石油や天然ガスの国内事業の発展とともにインフラが整備され、関連会社による専門的な技術の研究開発が進んでいる。特に基礎工事，設備開発，維持管理における技術力が高い。またオランダが面する北海の水深が比較的浅く、海床地盤への建設が比較的容易で、風況が風力発電に適していることなどの自然条件も追い風となっている。

オランダでの海上風力発電事業は始まっているものの、オランダ国内外での本格的な導入にはまだ時間がかかる。その一番の原因はコストである。オランダでは海上風力発電に、陸上風力発電用のタービンを転用することが多いが、海上ではその発電効率が低く、陸上風力発電の1.5倍ちかいかコストがかかる。現在開発中の海上専用タービンは陸上タービンの数倍大きく、容量が6-7MW、将来的には10-20MW規模まで拡大する予定だ。これら専用タービンの普及が進むことで大きな費用対効果が期待される。オランダ政府の具体的な目標値としては2020年までに4割のコスト削減を掲げており、これが実現できれば民間事業として自立でき、国の負担をなくすることができる。この目標値を達成するには、2年おきに新しい海上ウィンドファームを建設していき、毎回建設費のコストダウンをはかると同時に発電効率が高くなるようなイノベーションが必要となってくる。

### オランダについて

オランダといえばチューリップと風車の国と思う方も多いだろう。オランダは欧州北西に位置する低い小さな国で、経済・社会・研究・文化など各方面において元気な国だ。都市化が進み、アムステルダム・ロッテルダム・ハーグ・ユトレヒトの4大都市とその周辺が首都圏にあたる。この地域を「Randstad」（ラントスタット＝带状都市）と呼び、国土の20％に人口42％が占め、経済の50％を担っている。Randstadは人口700万人でパリやロンドンと比較できる都市規模だ。パリやロンドンと異なる点は中心地が緑保全地区（Green Heart）に指定されており、建設禁止地区となっていることだ（図1）。このように、もともとオランダのRandstadには中心がないため分散型エネルギー供給システムに向いているということもあり、今後の新エネルギー活用にも積極的だ。

### エネルギー政策

オランダのエネルギー利用パターンは日本と同様に、産業、運輸、住宅・サービスの各分野にそれぞれ約3分の1ずつを利用、残りの8％を農業に利用している。2011年6月発行のオランダ“Energy Report”「エネルギー白書」は、経済的発展と安定的なエネルギー供給を確保しながら、2050年までに低炭素社会の実現を目標にしている。そのためにオランダ政府は主に下記5つの目



図1 オランダと首都圏「ラントスタット」

原稿受付 2011年8月2日

\*1 オランダ王国大使館 科学技術部  
〒105-0011 港区芝公園3-6-3

標を掲げている。

- ・エネルギー分野で強いオランダの技術開発力によってグリーンエネルギーの費用対効果を生み出すこと。
- ・再生可能なエネルギーの割合を2010年の4%から2020年には14%まで引き上げること。
- ・エネルギー源の多様性をはかり、ユーザーの選択肢を増やすこと。
- ・グリーンディール政策を促進すること。
- ・オランダ独自の大規模発電から、ヨーロッパ各国からの新エネルギーを含めた様々なエネルギー源をネットワーク化し、分散型エネルギーシステムへの移行を視野に入れること。

また同レポートでは、オランダは炭素依存性を低減するための良い条件がそろっていると述べており、その主な点は以下の通りである。

- ・60年代に入り大量の天然ガスが発見され、エネルギー自給率が上がった。これにより国内のインフラが整備され、また海外へのガス輸出が可能となったこと。
- ・海岸線が長く、これまでの大規模な港湾事業や海上事業によってつちかかったオフショア技術を海上風力発電施設開発等に応用が可能であること。
- ・半導体関連技術が発達しているため、例えば太陽光発電の普及に役立つこと。
- ・農業が盛んなため、バイオマスの普及に向いていること。

このような優位性を持つオランダであるが、低炭素社会実現への課題もあげている。

- ・オランダの天然ガス・石油埋蔵量の限界があること。
- ・既存のシステムへの依存性が高く、新システム導入が容易でないこと。

今後上記を視野にいれながら、風力発電に力を入れていくとしている。

### スマートグリッドの役割

オランダでも昨今都市化が進み、低炭素社会を目指す上でスマートグリッドが注目を集めている。主にグリッド全体の効率性の向上、新エネルギーの安定供給、小規模発電システムの本格導入、プロバイダーの役割、利用者による自家発電などの技術発展が大きなカギとなってくる。オランダではすでにスマートメーターの導入が始まり、また、電気自動車のインフラ整備など町のスマートシティ化をはかる事例が増えてきている。

スマートシティ構想を推進するオランダ経済・農業・イノベーション省下のスマートグリッド・タスクフォース委員会は今後5～10年の間にスマートシティの数が急激に増えるとみている。また、2010年5月には各部門関係者によるスマートグリッド委員会によりロードマップとアクションプランが示された。この中で、費用対効

果確認のための実証試験の実実施計画、電気・ガスなどの料金制度の最適化プラン、プライバシーと安全性の確認方法や研究開発拠点の設置計画などについて具体策を述べている。

### 海上風力発電

2009年にオランダ政府に採択された国家水計画(National Water Plan 2009-2015)のなかで重点政策として北海での海上風力発電をあげている。2020年に電気の14%を持続的に供給することを目標としているオランダは、その38%に相当する6,000MWを海上風力によって発電することを目指している。

オランダ国内では、すでに2地点のウィンドファームが稼働中で、その総発電容量は220MWとなっており、これらを第1ラウンド・ファームとよんでいる。また第2・第3ラウンド・ファーム計画がすすんでおり、第2ラウンド・ファームについては建設許可もあり、現在建設の準備が進んでいる。第3ラウンドについては2つのパーク建設地点が指定され建設許可申請中である。(図2)。

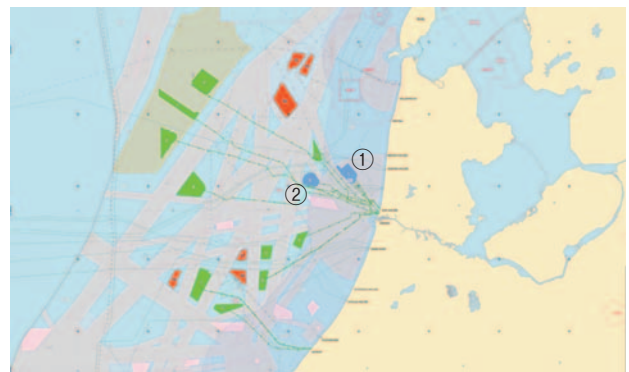


図2 オランダの海上風力発電の稼働中地点(①②)と検討地点(出典RWS)

第1ラウンド・ファームはOffshore Windpark Egmond aan Zee (OWEZ) とPrinses Amalia Windparkと2地点にあり、合計の発電容量は220MWである。

①Offshore Windpark Egmond aan Zee (OWEZ) は海岸から8キロ離れた500m安全ゾーン含む26.8km<sup>2</sup>の面積をほこる、2006年に操業開始した100MW規模のプロジェクトである。オランダ初の海上ウィンドファームで、目的は建設と運営のノウハウと経験を得ることであった。36基のVestas V90 3MWタービンで構成され、10万世帯に電力供給可能である。デベロッパーはRoyal Dutch Shell とユーティリティー会社Nuonで250億円相当のプロジェクト。工事はBallast Nedamが担当している。

②Prinses Amalia Windpark は上記OWEZより23キロ西方にあり、16.6km<sup>2</sup>の面積をほこる、2008年に操業開始した120MW規模のプロジェクトである。60基の

Vestas V80 2MWタービンは海面下19-24mの深さに建設された土台に建つ。デベロッパーはEcoconcern社とEneco Energie社で500億円相当のプロジェクトである。

### 国際活動

国際的にもオランダの海上風力発電の関連会社・大学・研究所・政府機関の活躍がみられる。欧州風力発電アカデミー (European Wind Academy), 欧州風力技術プラットフォーム (European Wind Technology Platform), IEA国際エネルギー協会 (International Energy Agency) などオランダ人が議長を務めるなど中心的役割を果たしている。このようにオランダはイノベーションとビジネス両面で海上風力発電業界を引っ張っていく存在となっている。

### 研究開発

現状のウィンドファームでは陸上用の風力タービンを海上風力発電にそのまま使用しているため効率が悪くコストが高い。今後コストを抑えるためには陸上用のものを転用するのではなく、タービンが大きい海上専用のものを開発する必要がある。現在オランダではこういった海上専用タービン設計をはじめ風況分析、タービンのライフサイクル、電気網への接続方式、新型回転翼の設計や検証、維持管理など幅広い分野で研究開発がおこなわれている。デルフト工科大学, ECN (オランダエネルギー研究センター), IMArEs (Institute for Marine Resources and Ecosystem Studies), TNO (応用技術研究所), トゥエンテ工科大学, MarIN (オランダ海事研究所) が主な研究拠点である。

### FLOW計画

FLOW計画 (Far and Large Offshore Wind program)

は遠距離かつ大規模な海上風力発電を研究するプロジェクトである。オランダ政府は目標値を2020年までに海上風力発電技術による総発電容量を6000MWとしているが、北海における船舶海路、石油・天然ガスの開発事業、景観・エコロジーなどの理由により、海岸から50-60KMの距離では目標値の半分の3000MW相当の電力しか発電できない。残り3000MWはより遠い地点で発電する必要がある。このため、遠距離地点で課題となる土台建設技法、付帯設備開発とその維持管理技法などを検討するため、オランダ企業と研究機関による共同研究開発プロジェクトFLOW計画が立ち上がった。このプロジェクトでは、海岸から75キロ地点、海面下から35メートルの深さに土台を建設し、その上に海上専用風力タービンを設置、遠距離・深海におけるウィンドファーム建設の研究・実証実験を行うというものだ (図3)。この技術の確立で海上風力発電のコストを2割削減できる見込みだ。オランダはこのプロジェクトで培った技術力やノウハウを生かし、風力発電業界のリーダー的存在になることを目指している。

### おわりに

今までと異なるエネルギーシステムが必要となる現代社会では、新エネルギーの活用が非常に重要となってくる。このためオランダは海上風力発電に着目し、それに必要なスマートグリッドのインフラ整備に力をそそいでいる。現状一番の課題はコストであり、技術開発・イノベーション・社会認識・投資環境・政策・支援制度など多方面から取り組んでいる。まだまださまざまな政治・経済・社会的課題もあるがFLOW計画などのプロジェクトを通して技術力向上による費用対効果も期待されている。コストダウンが実現できればオランダの海上風力発電の本格的導入の時代もそう遠くはないだろう。

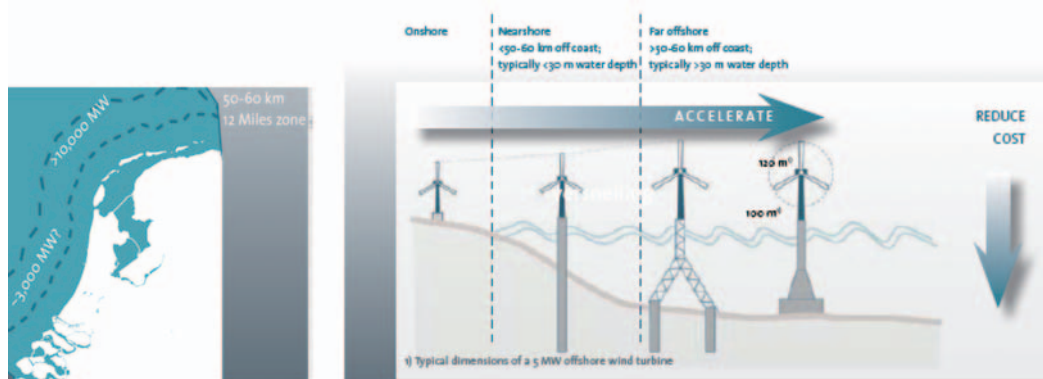


図3 FLOW計画 (出典FLOW)

特集：再生可能な自然エネルギー利用の現状

## 低炭素型都市構造への転換を目指して～横浜市の挑戦

信時 正人\*<sup>1</sup>  
NOBUTOKI Masato

### 1. はじめに

横浜市は、2010年12月に横浜市中期4か年計画を策定しその中で横浜版成長戦略を取りまとめた。本市の未来図として考えられている、「つながるしあわせ」～安心と活力があふれるまち・横浜、を実現するための中長期的視点の戦略として取りまとめたもので経済の活性化、人々の活力創出の二つを狙っている。その為に、「成長産業の強化」「地域で暮らす人々の活力作り」「成長を支える基盤作り」の三つの重点戦略が策定され推進中である。第一の戦略として「成長産業の強化」があり、その中で第一に“環境最先端都市戦略”が置かれている。低炭素社会に向け需要の創出を通じてビジネスチャンスを提供し、市内企業の技術革新（イノベーション）を促すことで、市内経済活性化を目指すこととしている。その環境最先端都市戦略の中核には、YSCP（横浜スマートシティプロジェクト）が位置付けられている。これは、横浜市が、昨年4月に国から次世代エネルギー・社会システム実証実験地域に指定され、企業や市民との連携の中で推進しているプロジェクトの総称である。詳しくは後述するが、太陽光、太陽熱等の再生可能エネルギーの大量導入、電気自動車の大量導入やエネルギー関連システムの構築、エネルギーマネジメントシステムの開発・導入促進等が柱になっている事業である。本プロジェクトにより、地元中小企業の技術・経営革新戦略、或いは、企業の海外ビジネス展開、という他の成長戦略の目的にも合致する施策の展開を図っているところである。

環境モデル都市でもある横浜市はこれまでも“市民力”を前面に出して、環境家計簿や、ヨコハマ・エコ・スクール（YES、後述する）、更には、子ども省エネ大作戦や、住宅用太陽光導入などを推進してきたが、スマートグリッドのような、最先端技術を受け入れ、その汎用化への一歩にトライしていくプロジェクトにも、その市民力を発揮し始めている。横浜市は、将来の低炭素型都市構造への転換を目指して、温暖化対策を大きな切っ掛けとして走り始めたが、その内容について詳述する。

### 2. 横浜市地球温暖化対策地域実行計画、区域政策編と事務事業編の策定

原稿受付 2011年8月1日

\*1 横浜市温暖化対策統括本部

〒231-0017 横浜市中区港町1-1

「地球温暖化対策の推進に関する法律」（温対法）に基づく法定計画「横浜市地球温暖化対策地域推進計画」（計画対象：横浜市域から排出される温室効果ガス）及び、「横浜市役所地球温暖化防止実行計画」（計画対象：市役所の庁舎・施設等から排出される温室効果ガス）の計画期間が、2010年度をもって終了することに伴い、これを引き続く新たな法定計画である「横浜市地球温暖化対策実行計画」（区域施策編・事務事業編）を本年3月に策定した。区域施策編は、2007年度に策定した横浜市の自主行動計画である「横浜市脱温暖化行動方針（CO-DO30（コードサンジュウ）」を礎として、市民、事業者、市役所の各主体が一体となって都市環境の整備や仕組みづくりを進め、低炭素社会の実現を目指していくものである。又、事務事業編は、横浜市役所が市域から年間に排出される温室効果ガスの総量のうち約4%程度を占める排出業者であることを踏まえ、市役所が率先して温室効果ガス排出量の削減に取り組む、というもの。

3・11の東日本大震災では、被災地だけではなく、都市部においてもエネルギーの在り様を根本から再考を迫るものとなった。地球温暖化対策の本旨は、化石燃料に過度に依存しないエネルギー対策にあり、ライフラインの途切れないまちづくり、災害に強いまちづくりについて、地球温暖化対策、及びエネルギー対策の観点から、市域のみならず、我が国の再興の一助となるべく推進する。

詳しくは、下記のURLから検索できるので、参考にして欲しい。

横浜市地球温暖化対策実行計画（区域政策編）

<http://www.city.yokohama.lg.jp/kankyo/ondan/plan/jikkou-kuiki/>

横浜市地球温暖化対策実行計画（事務事業編）

<http://www.city.yokohama.lg.jp/kankyo/ondan/plan/jikkou/>

### 3. 都市ヨコハマの構造転換への実践

本年度、上記の実行計画を推進するため、温暖化対策統括本部という筆頭局を設置し、温暖化対策が全庁的な取り組みであることを鮮明にした。スマートシティプロジェクトのような、先鋭的ではあるが、プロジェクト自体がまだ未成熟な事業の進展を図り、また、各区局事業において温暖化対策の取り組みを活発化することを、

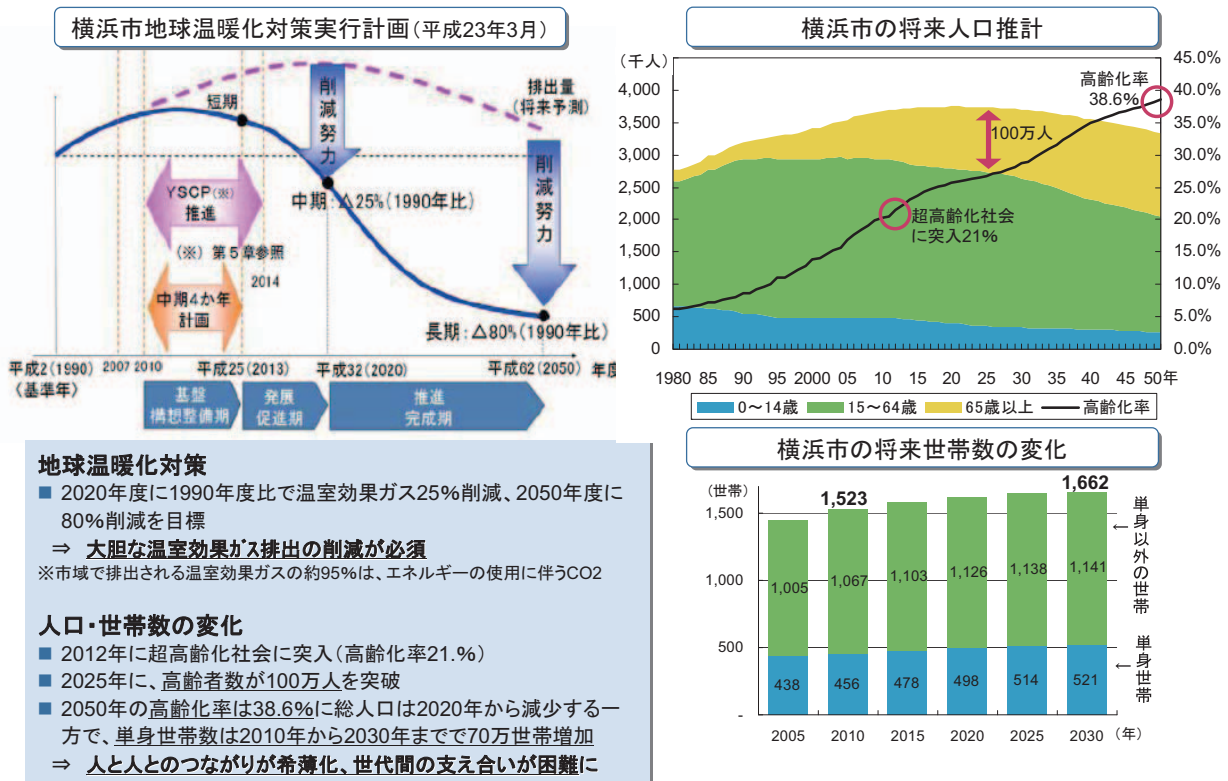


図1 横浜市が直面する課題

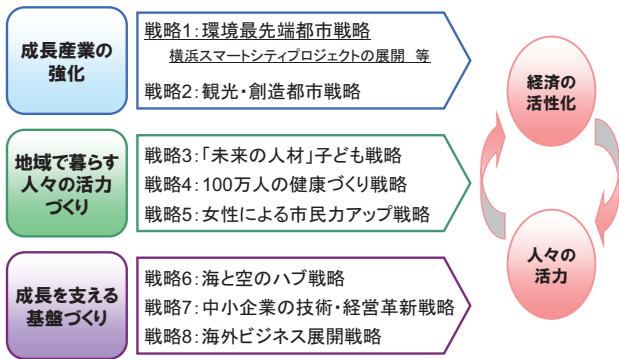


図2 横浜版成長戦略

統一ブランド「YES」のもと、市民、団体、事業者、大学、行政などが行う「環境・地球温暖化問題」に関連する活動を、全市的なムーブメントに



図3 ヨコハマ・エコ・スクール (YES)

二本柱として、文字通りの環境最先端都市を目指して進み始めた。更に、国がこの秋に選定を予定している“環

境未来都市”の獲得をも目指し、取り組みの多様化と総合化を図っている。

横浜市の、これまでの取り組みの流れと、都市ヨコハマを低炭素都市に向けて構造転換するための具体的プロジェクトについて、次に述べていく事とする。

1) CO-DO30からエコ活へ

横浜市は現在、全国で13都市が指定されている環境モデル都市の一つである。“市民力”を上位概念に据えた施策を打ちだし、「知の共有・選択肢の拡大、行動促進による市民力発揮で大都市型ゼロカーボン生活を実現」というタイトルが環境モデル都市に選定された時のキャッチフレーズだった。人口370万人弱、2020年まで人口が増え続け375万人程度になることが予想されている横浜市中で、人々の需要、市場から社会を変えていく事を標榜したわけである。又、横浜市では、ゴミを30%削減する(2001年度比、2010年度が目標年次)「ヨコハマはG30」運動を2003年度から開始し、目標となっていた、昨年度で約42%という大幅な削減を達成した。これには、担当局ののべ11,000回に及ぶ市民の方々へのインストラクションだけではなく、それに続く各自治会、町内会の市民の方々の十二分なフォローが功を奏している。この事実に基づき、去年、世界銀行が世界6都市のEco2Cities(環境面と経済面での優位性の有る都市)を選定、横浜市はその一つに選ばれた(他に、シンガポール、ブリスベン、ストックホルム、クリチバ、オーストラランド)。この事業で示すことが出来た横浜市の市民力を、

今度は地球温暖化対策にも活かして行こうと言う意味も込めて策定したのが、自主行動計画であるCO-DO30で、2007年度（2008年1月）に策定した。この時は、2004年を基準に、一人あたりの温室効果ガス排出量を2025年で30%以上、2050年で60%以上減らす、という目標と計画を立てた。横浜市は2020年迄、人口が増える事、また、市民力で、一人一人が努力をする、という姿勢を示す、ということで、一人当たりの排出量を基準にしていた。その当時は国の基準に確たるものがなく、他の自治体も目標値を決めていないところが多い状況の中で、かなり高い目標を掲げていた。が、その後、鳩山首相が、2020年に1990年比で、総量25%削減を国際公約した。我々としても国の国際公約を踏まえ、検討の後、国と同等の目標値を定める事とした為、CO-DO30の数字的な基準は、古いものとなった。そういった状況と、更に、市民の方々への温暖化対策への親しみやすさも勘案し、“エコ活”というキャッチフレーズに変え、カジュアルな感覚で、身近なエコ活動を、市民のムーブメントとして広げていく、という方向を狙うこととし、今に至っている。

2) 都市ヨコハマの特徴

人間に人格があるように、都市には都市格がある。その都市格をまず知ることから色々な施策は始まると思う。横浜市はすべての施策でそうしているとは言わないが、地球温暖化対策については、少なくともまず、横浜という市の特徴を考えていくことを基本に据えて進めてきている。“市民力”が特徴だ、と上記で何回か述べたが、その理由としては次のようなものだと考えている。

一つ目は、チャレンジングな気風、というものを挙げたい。1859年、アメリカのペリー提督が、たった100軒しかなかった小さな寒村であった当時の横浜に上陸し、日本の開国（横浜の開港）が為された。それ以来、今年で152年、横浜は明治以降の殖産興業の中で、海外からの文化や技術を導入する窓口として、さながら、実験都市の様相を呈した。多くの企業家、実業家が大いなる夢を持って横浜に集結し、新しい事業を生み出し、日本の他地域に伝搬し、日本国の近代化の核としての役割を持った。鉄道、生糸、電信・電話、上下水道、ガス、ホテル、クリーニング、競馬、石けん、麦酒、アイスクリーム…等々、数々の事業が横浜から立ち上がった。私は横浜というまちは、宿場町、城下町、門前町ではなく、ベンチャー町と名付けたい、と思っているくらいである。三日いれば浜っこ、と呼ばれる、という位、新しいものが好きで、オープンな雰囲気と、チャレンジングな市民文化がDNAとして根底にある。

もう一つは、都市としての多様性（diversity）である。まず、都市部と活気ある農村部の両方を持っている。MM21に代表される近代的な都市部と、小松菜の出荷額が全国市町村別で1か2位、キャベツ同10位というような農地があることも特色となっている。最近の地産地消ブームにより市内の野菜や果物、或いは、はまポークというブランド名まである豚肉が買える、ファーマーズマーケットが地元では人気になっている。多様性のもう一つは、近代的な建物と、開国当時の歴史的建造物の混在である。新しい街並みと古い街並みの混在が街の雰囲気を独特のものとし、程良いコントラストを見せて

農山村地域の森林資源を活用し、山梨県・道志村・横浜市の3者が共同研究したカーボンオフセット事業及び交流拡大事業等を展開。



図4 都市・農山村連携事業（山梨県・道志村・横浜市）

いる。更に、地形的にも、市の東側は平地であって、レンタサイクル事業が出来るのに対して、市の西側では谷戸という谷と丘が重層的に重なり合う、独特の地形が連なっていて坂道が多く、自転車交通は西側では難しい。更に、もう一つ上げるとすれば、多文化共生と言う面だ。日本最大の中華街があり、長年に亘って多くの国々の方々の一つのコミュニティーを形成してきている。ドイツやトルコのインターナショナルスクールも横浜にはあり、こういった、歴史や文化も横浜では無視の出来ないものとなっている。

横浜の、この都市格をベースに我々がどういった取組を展開しているのか、を次項で述べる。

#### 4. 横浜市の脱温暖化に対する主な施策について

##### 1) 市民力の更なる発揮：

・YES (Yokohama Eco School) の展開：

いつでもどこでもだれでも、を合言葉にNPO、事業者、大学、個人、或いは行政等をネットワークし、YESを統一ブランドとして提供する「横浜で地球を学ぼう」をテーマにした教育・啓蒙事業。名誉校長に林市長、名誉顧問に小宮山宏元東大総長をお願いし、更に裾野を広げるためにアンバサダーを江守正多氏（国立環境研究所）、白井貴子氏（横浜在住のロック歌手）、別所哲也氏（俳優、プロデューサー）の三人の方をお願いし、折に触れイベントへの登場や講座開催をしていただいている。YESは環境問題、地球温暖化問題に関する、様々な形の講座やイベント、シンポジウムなどの活動・取組を情報公開し、すでに高度な知識を持つ人には更に高度な知識を得る場を、関心のない人には何か切っ掛けを、と全体

として横浜市の売り物である市民力を更に向上させ、継続的な脱温暖化行動を担保していくための施策として位置づけている。

横浜市のいたるところで「学び」の場が提供される状況を作っていくということは一つの街づくりにも通じるものであり、知的で行動的な市民を多く擁し持続可能な横浜市の一つの特徴としていきたい。22年度末現在84団体が協働パートナーとしてネットワークし、参加者は3万人を超えるまでになっている。例えば、昨年度、神奈川大学とは、学生の単位取得が可能な講義で連携した。今年は同大に加えて横浜国大とも同様な講義を持つことになり実施しているが、これは更に経団連関連団体とも連携した産官学の取組となっている。又、協働パートナーにはフードマイレージに基づいたメニューを出すレストランのオーナーや、環境音楽の作曲家、ヨガ（体内環境？）等のような多彩な市民の方々もおり、講座の多様性が実現してきており、更に拡大を図っていきたい。又、今年から、地元のFM横浜で、我本部として枠を持ち（毎週金曜日1605～YES! For you）毎回違った角度からの地球温暖化対策や、節電関係の情報等をいろいろなゲストを迎えて情報発信を行っている。YES! For youに関しては、それぞれ、横浜市のHPやFM横浜のHPにアクセスしていただけるので、見ていただければ幸いである。

・都市農山村連携：

企業がお互いの足りないところを埋め合い、プロジェクト推進していくことはよく行われているものだが、これからは自治体同士の連携も、今後の日本社会の健全な

## 再生可能エネルギー技術のパイオニアエリアの形成



### 環境・エネルギー産業の育成

- ・専門家による、中小事業者の再生可能エネルギー導入・省エネ技術導入への支援・情報提供
- ・産学官の連携によるベンチャー企業の育成

### 具体的なエネルギー施策の展開

- ・エネルギーモニタリング事業
- ・EV(電気自動車)シェアリング事業

### 環境啓発拠点の形成

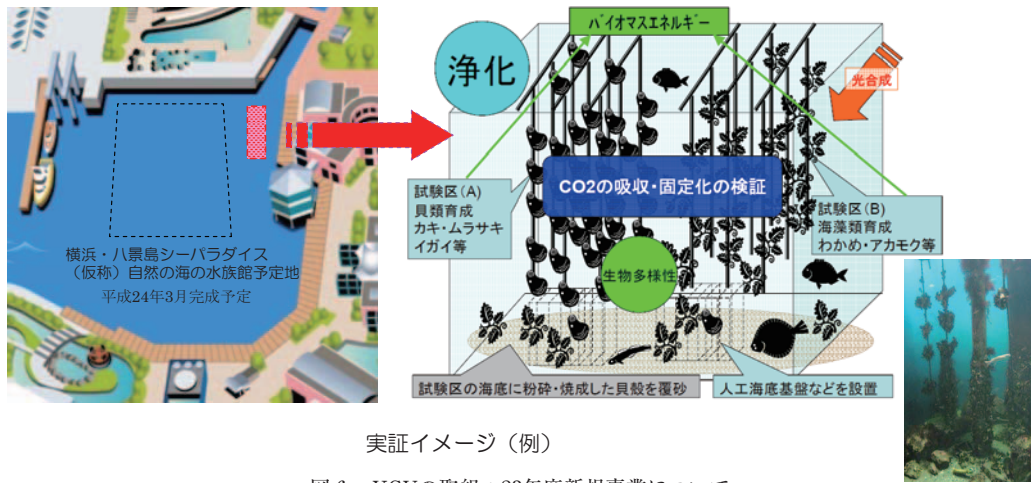
- ・市内大学と連携した環境教育事業
- ・自然環境関連施設(公園等)、社会インフラ環境施設(清掃工場等)の社会科見学・視察への活用

図5 横浜グリーンバレー (YGV) 構想 (環境モデル都市提案)



横浜・八景島シーパラダイスのセントラルベイに実験海域を確保し、海域における温室効果ガス吸収・固定化の効果と海域環境への影響（海の浄化）等を実証します。

さらに、将来的には、ブルーカーボンによる経済的価値の仕組みづくり（カーボンオフセット）を目指します。



実証イメージ（例）

図6 YGVの取組：23年度新規事業について

- ・経済産業省の「次世代エネルギー社会システム実証地域」に選定(H22.4)
- ・選定された4地域（横浜、豊田、京都、北九州）が、5年間の実証実験を行う。

### スマートグリッドに基づく新しい社会システムの構築

“英知を結集させ 横浜で構築し 海外へ展開する”



図7 横浜スマートシティプロジェクト（YSCP）

発展の為には必要なものとする。特に、都市と農山村のお互いの良いところを活かし合うべく、連携して行くことは、地球温暖化対策や、防災、教育の面でも非常に有効なものである。横浜市は、山梨県道志村に、約2800haの水源地を所有している。横浜市の約10%の水源地は道志村からの直送であり、その他も道志村あたりを水源とする相模川からの取水で賄っている。3年前から、山梨県、道志村と横浜市で三者合同の研究会を持ち、交流事業を核にカーボンオフセットやバイオマス技術・開発等を検討してきている。これに関しては、その方法が先進的で、他の自治体にも応用が利くものであるということで、昨年度、内閣官房の方からベストプラクティス賞を頂いた。具体的にはカーボンオフセットについては市内企業のすでに数社が、水源地管理に対して資金を出し、その対象となる森林のCO<sub>2</sub>吸収のクレジットを獲得し、カーボンオフセットを実施している。これを顧客

サービスにも使用していて、更に希望する企業が増えそうである。交流事業は、特に、都会の子供たちが守るべき本物の自然を自分の体で感じていただく必要があると考えており、今後長く継続していく必要のある地球温暖化対策に取って非常に必要なモノであるとの認識から、民間事業者と組み、横浜からの間伐ツアーやその他セミナーの企画等を実施している。「上流は下流を思い下流は上流に感謝する」、という意識のもと更に深く交流を進めていきたい。

更に、環境モデル都市仲間の、北海道下川町とは、戸塚区の連合自治会と連携してもらい（人口が殆ど同じ）、自治会ベースの祭りやイベントでのカーボンオフセットや特産品販売での協力が開始され、この8月には、協定が締結されることとなっており、将来は戸塚区の森を下川町に作る、ということまでを視野に入れてやっていきたい。又、熊本県小国町ともサッカーのJ2繋がり元にしたカーボンオフセットの事業も始めており、今後の都市農山村の有機的連携の更なる展開を期待したい。

## 2) YMPZ (Yokohama Mobility “Project Zero”) :

グローバル本社を横浜市に移した日産自動車と協定を結び、東大も協力体制を取っていただきつつ、都心部はゼロカーボン、郊外部はローカーボンを目指す交通システムとまちづくりの検討・実施を行なっている。日産社内で活用してきたエコ運転の運動E-1グランプリの市民への普及をまず行い、更にITSを利用した渋滞回避システム等の実証等を目指す。EVの普及も図りつつ、EVフレンドリーな都市とは、をお互いの共通の問題意識として、種々の分野の検討を行っていく。今後他のメーカーや他業種も入れたオープンな研究調査プラットフォーム

の設置をしていくことにしている。

### 3) YGV (Yokohama Green Valley) :

米国カリフォルニアのシリコンバレーの環境・エネルギー版を目指し、横浜の一番南に位置する金沢区で行なう環境と経済の両立を目指したプロジェクト。米国のシリコンバレーは有名だが、既に産業の変遷を経て、ソーラーバレー、そして、エネルギーバレーと変わってきているが、日本でもそういった進化型の産業地域の創出を狙いたい。深い緑があり、横浜で唯一の自然海岸がある金沢区を選んだが、更に、1000社に及ぶ工業団地、横浜市大、関東学院大のヘッドクォーターがあり、住宅団地や、水再生センター（下水処理場）や清掃センター（ごみ焼却場）等、横浜市の縮図のような地域であることも選定の切っ掛けになった。2008年に環境モデル都市に選定された際の柱プロジェクトの一つでもあり、この為に、内閣官房の設置した低炭素都市推進協議会のグリーンエコノミー部会のリーダーとして横浜市にご指名頂いた。地球温暖化対策でCO<sub>2</sub>の削減だけを目的とすれば、工場や発電所が移転していなくなれば済むが、現実的には雇用の問題もあり経済の問題として、それは不可能である。横浜版成長戦略にも環境最先端都市として施策を取り入れたが、これからの成長への前向きなものとして地球温暖化対策を受け止め新しい産業や人材の育成をして行く横浜市のセンターとしての位置づけを持たせていきたい。地元の産業界との密接な連携が非常に重要で、これを核として産官学民の有機的な繋りを築き再生可能エネルギー技術のパイオニア的な実験都市として各種連携や協働を、上手くマネージしながら未来の都市のあり方を考えていく地域としたい。すでに昨年度から、エネ

ギーの見える化、EVのカーシェアリング、等で地元中小企業とノウハウを持った企業群との連携を行ない推進している。更に、国内外からの多くの見学者・研究者の訪問・研修を受け入れられる、一流の環境啓発拠点となることも目指して推進していきたい。

加えて今年度から新機軸として、ブルーカーボン実証実験を行う。海水、海藻、貝類等がどれだけのCO<sub>2</sub>吸収を行うのか、定量的に調べてみようという事、で山の森林での吸収をグリーンカーボンと呼ぶのに対比しての名前である。これから、資源、エネルギー、食糧等、日本は、海をもっと活用をしていく必要があると思っていて、我々としても温暖化対策の中で、森林に企業の資金が回って整備費となる、カーボンオフセットのような、仕組みを海にも広げられないだろうか、と考えたトライである。沿岸の海藻、貝類が再生していけば、CO<sub>2</sub>吸収だけでなく、沿岸漁業の再生にも資することができるのではないかと考える。注目していただきたいと思う。

### 4) YSCP (Yokohama Smart City Project) とYGP (Yokohama Green Power) :

昨年4月、経済産業省の次世代エネルギー・社会システム実証実験地域に選定された。市内3地域（MM21、港北ニュータウン、YGV）にて、スマートグリッドに基づく新しい社会システムの構築を目指している。更にYSCPでは各企業等の英知を集結し実証実験した上で、事業化し海外（加えて、他の国内地域）への展開を図るつもりである。

横浜の実証実験の特徴として、既存市街地で行う事と地域としてのバリエーションがあることが挙げられる。MM21地区は、高層ビルが立ち並び、住商業が混在して



図8 YSCPマスタープラン（全体概要）

いる事が特徴であるが、これは、アジアの中核都市によくあるパターンであり、当地で実証できた成果をそういったアジアの都市に輸出・応用するには非常に適した実証実験の条件を整えているのではないかと思う。

昨年度から5年間の実証実験では、規模として、HEMS (Home Energy Management System) と太陽光パネルを備えたスマートハウスを4000軒、2000台のEV、27MWの再生可能エネルギー導入を計画している。この規模は他の日本国内の実証実験と比べて非常に大きな数字となっているが、お隣、韓国では、既に、済州島で、3000軒のスマートハウスを使って実験が始まっており、世界的規模から言うと特に大きいというわけではない。今後海外に打って出ていく企業には、世界標準の実験規模も必要ではないかと考える。我横浜チームのメンバーは、東芝、パナソニック、日産、明電舎、アクセンチュア、東京ガス、東京電力（震災後も協力社には留まる）をキープレイヤー企業群とし、その他プロジェクト毎の企業群約30社で、現在12の実証実験が進んでいる。横浜市では、システムのネットワークの中に大規模蓄電池を置き、再生可能エネルギーの逆潮流をコントロールする実験を核に、EVの蓄電池から系統等外部への通電等も充放電型EVが市場投入された段階でメニューに入っており、今後の進展が待たれる。エネルギーの地産地消、多様化、再生可能エネルギーの導入は災害に強い街づくりでも必要な都市インフラであり、それを実現させるのがスマートグリッドの技術である。これからの街づくりに必要な新しいインフラの実現を目指し、進めているわけであるがここで重要になってくるのが、今の実験段階で導入を決めてくれる市民の方々の力である。上記の通

り、スマートハウスとなってくれる家庭を4000軒募集していかななくてはならない。既存地区での展開を目指している横浜であればこそ、ここが、市民力の見せ所だと思われる。横浜グリーンパワー (YGP) 事業では、業者を選定し、実験に協力していただけるご家庭を増やしていく事業を推進している。昨年度は実証実験地域である都筑区で66家庭がスマートハウスになっていただけた。今年度は一年で1000軒 (5区、都筑、青葉、西、中、金沢) を目標に既に業者 (オリックスと地元工事業者11社のコンソーシアム) を選定し業務が始まっており、7月末現在で、約200軒が実験に参加する事を前提に導入を決めていただいた。これで昨年と合わせて約260軒がスマートハウスになったわけだが、YGPでは、1kWあたり約40万円の値段となっていて、戸建ての平均3kWとすれば、約120万円で、PVとHEMSの導入が図れることになる。大量購入による価格低減と補助金の合わせ技でこの価格を実現した。

又、実証実験に参加している企業と、地元中小企業とのマッチングイベントも執り行い、今後、YSCPの取組が地元企業にも大いにビジネスチャンスがあるように推進することにより、横浜市としての成長戦略に合致するようにも持っていく。

スマートグリッドが出来た前提での新しいサービス事業も欧米先進国の事例を見ながらその可能性を図ってきたい。使い手となる市民の方々の利便性を更に向上するためにもその方向性は有効だと考える。

#### 5) その他:

当本部では上記の事業以外にも大きな使命を負ってい

**定置型蓄電池と地域内に集中導入された一般世帯向けエネルギー管理システム (HEMS) や事業者向けエネルギー管理システム (BEMS) と連携し、地域内で集中導入された再生可能エネルギーの出力変動を吸収する。**

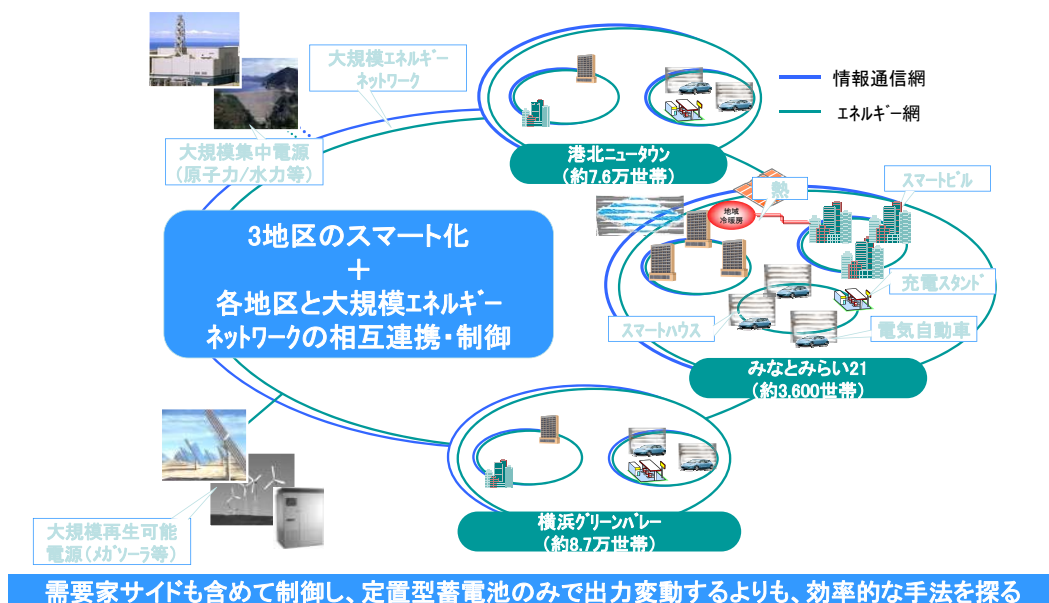


図9 地域エネルギー管理システム (CEMS)

る。温対法に基づく新たな法定計画である横浜市地球温暖化対策実行計画の区域施策編も担当しており、これを元に、市内の他局区の事業の中で如何に温暖化対策事業を組み込み、目標値をクリアしていけるか、をプロモートしていくことが求められている。今の政府の国際公約である1990年比、2020年に温室効果ガス25%減、2050年に同80%減という数字を横浜市も目標にしている以上、全庁的な取り組みは非常に重要となっている。又、昨年度までの地球温暖化対策事業本部で持っていた仕事を元に、環境創造局に環境エネルギー課を設置、こちらでは、地球温暖化対策実行計画事務事業編を担当し、市役所そのものの温暖化対策を推進している。環境創造局では、更に、企業の方々にご提出いただく地球温暖化対策計画書制度も担当しており、当方と連携を取り推進している。

## 5. 今後について

地球温暖化対策や最近注目されている安心・安全・防災対策は、それぞれが独立して居るものではなくトータルな街づくりの中で考えられていくべきものだ。一例を挙げれば、EV。街中をEVが走り回っている、ということだけではまだ入り口だと思う。例えば、排気ガスを出さないEVは駐車場ではなく、そのまま家の中に入れる事が可能であり、ライフスタイルを十分に考慮した新機軸のデザインで新しい機能を付加した家や町並みのデザインも改めて考えられるべきだと思う。又、市民生活的には、かつての味噌、醤油を譲り合い、借り合ったような近所さんがあったように今度はEVが電気を融通しあう、良き近所付き合いを復活させることになるかも

知れない。これは昨年、日産さんと我々で一緒に行った市民とのワークショップで、市民の方々のあるグループの提案にあったものだが非常に面白く一理あるものと思う。又、先日の東日本大震災の折り、ガソリンがない状況の中で東北ではEVが震災直後の段階でかなりの活躍を見せたという。EVは移動手段でもあるが、一種の家電や、効率の良い蓄電池としての役割が今後大きくなるように思う。先進的な温暖化対策技術を導入していく事で、新しいルールも必要となることもあろうし、都市が新しいインフラを得たことにより、その上のハード、ソフト、そして、人の生活まで、変わって行く事が出来る、という観点が必要だ。EV以外でも、例えば、太陽光パネルを置いた家の隣に高いビルが建つ、そうした際に電気の買い取り制度で売れると踏んでいた電気が、隣の建物のせいで電気を起こせなくなったら、その機会損失の補てんは誰がどういう風にやるのか。日照権の考え方だけでは解決が無理であり、その意味でも、今後は、環境施策、地球温暖化対策と、都市計画施策等は密接に連動していく必要がある。政府の高い目標値を実現していくためには、都市の大改造が必要であると思うが、今後は、規制の緩和や、廃止、或いは新たな規制づくり等を要請しながら都市が変わっていくことになる。

先年、横浜で開催した国際会議にいられていた環境先進都市コペンハーゲン市長がこうおっしゃっていた。「我々の目標はCO<sub>2</sub>排出量を下げることではない。快適で市民に選ばれる都市を如何に作るかだ」。我意を得たりだった。CO<sub>2</sub>を下げるために工場等を無くす、ということでは解決にはならない、就業先を失う事の代償は大

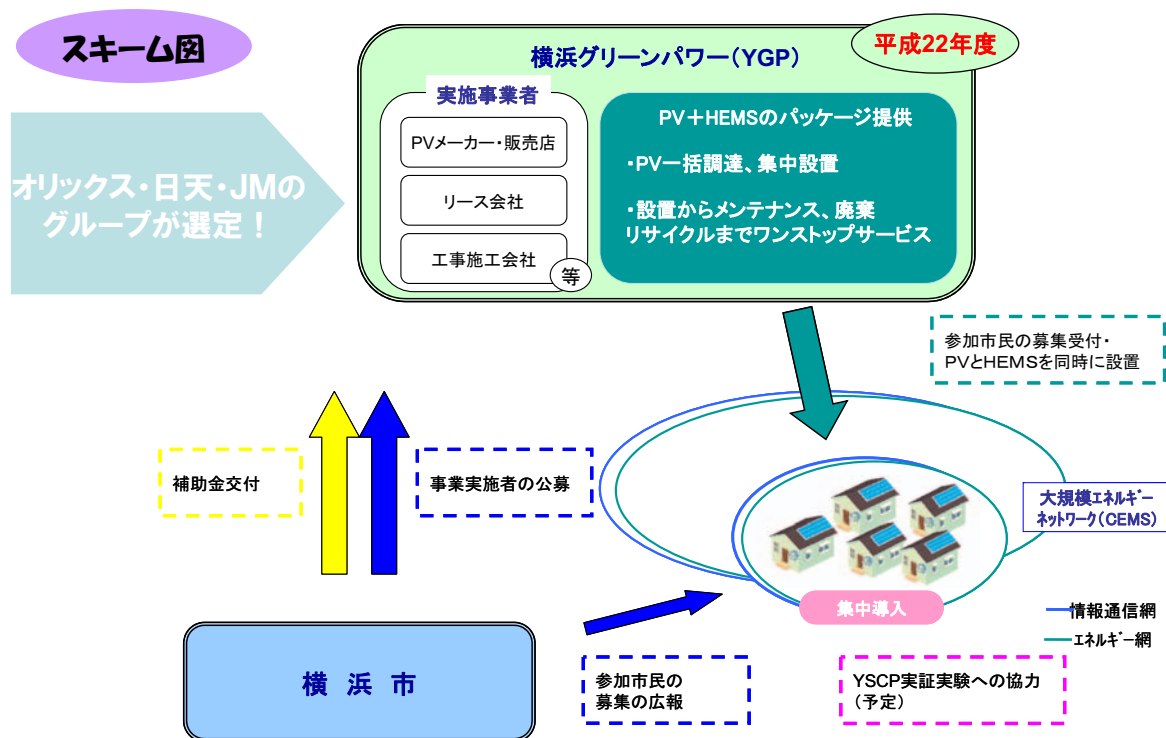


図10 横浜グリーンパワー (YGP) モデル事業

きすぎる。新しい環境技術を敢然と受け入れつつ、都市として快適性を確保し、住処として選んでもらえる魅力を保持することはこれからの都市に必須。例えばMM21地区は住商業の混在する高層ビルが立ち並んでいるが、それが、アジアの中心都市に近似しているのでは、と上記で述べた。そこでのスマートグリッド実証実験は、アジアへの都市輸出において非常に重要な示唆を与えると共に、そこに住む積極的な市民の行動様式と、横浜が40年に亘って追求してきた十分にデザインされた街並み、食やエンターテインメントの充実、が、非常に快適な都市生活を生み、最先端のインフラの上でのワクワクする都市の魅力を生んでいくのではないかと期待しているところである。

又、横浜市は、上記の通り国内都市との連携を進めているが、海外についても積極的に連携を進めている。上記したEco2CitiesやC40（世界大都市気候先導グループ：ニューヨーク市 ブルームバーグ市長が議長、日本では東京都と横浜市が参加）の枠組み等を通して海外の都市との連携も図っているところである。最先端の都市との連携の中で、都市格と都市格の触れ合い、有機的な連携を元に、地球環境を考え、安全で安心、そして、都市本来のワクワク感がありクリエイティブで希望を感じられ

る21世紀型都市をこれからどう作っていくか、それを更にトライしていきたいと思っている。

本年9月に応募し、本年中に決まると言われている、「環境未来都市」にも獲得を目指して推進している。Triple Bottom Lineと言われている、環境、社会、経済の三分野での特色ある未来の都市の構図とそれを実践していく体制が重要だと考えている。我々の推進しているスマートシティプロジェクトを核に、超高齢化対策や横浜市が得意とするクリエイティブシティ施策を上手く融合して、上記のコペンハーゲン市長のお言葉の通りの都市を目指し推進していく切っ掛けとして、鋭意応募していくことにしている。

今の日本の大懸案である東北の復興に際しては、これまでの20世紀型の都市作りの制度、ノウハウや経験をそのまま利用していくのではなく、都市連携の上、新しい価値観を持ち、環境やITの先端技術で、新しい産業を湧出させ、世界に誇れる都市を新しく作って行くべきと考える。横浜市としてもこれまでも、上下水道の技術支援や、医療支援で、延べ5000人ほどの助っ人を送っているが、今後、我々のやっているような、最先端技術の都市への導入、技術提供等の機会があれば是非協力をし、新しい都市づくりへ一緒に歩んでいきたいと考えている。

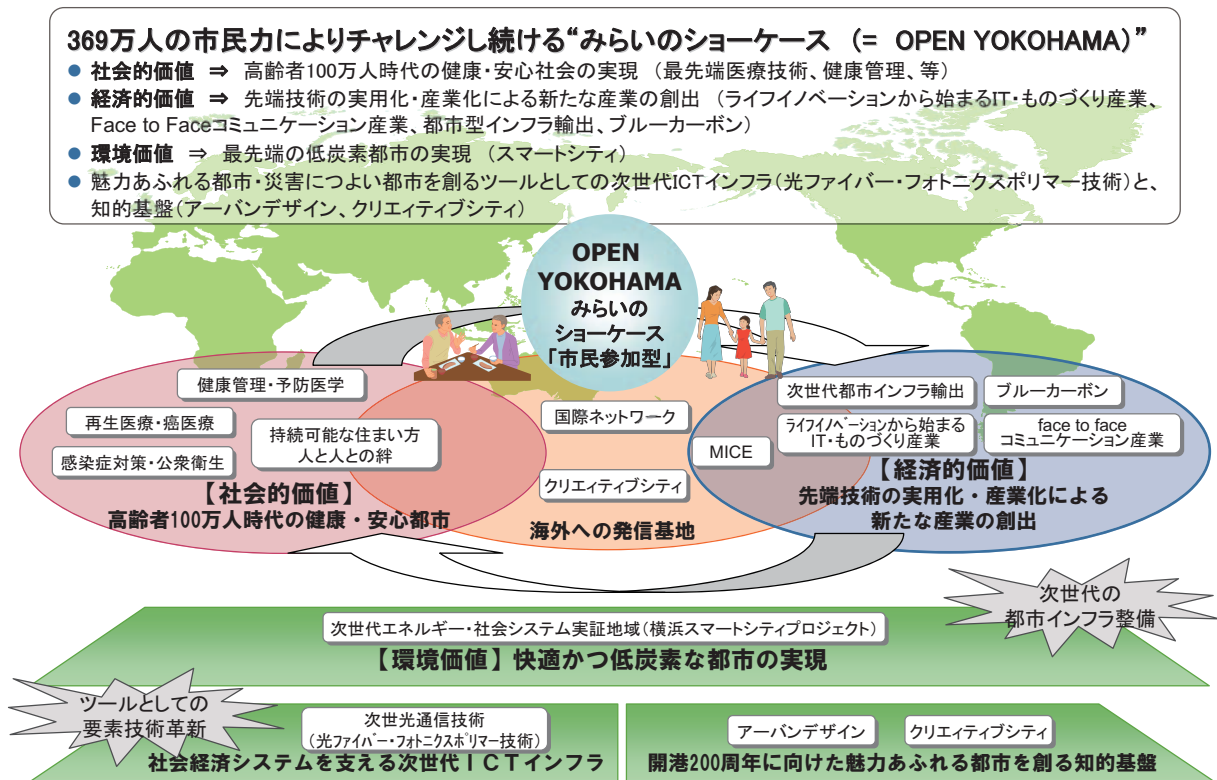


図11 横浜市が目指す「環境未来都市」(将来ビジョン)

特集：再生可能な自然エネルギー利用の現状

## 扇島太陽光発電所の紹介

中村 知治\*<sup>1</sup>

NAKAMURA Tomoharu

キーワード：太陽光発電，メガソーラー，太陽電池

### 1. はじめに

現在国内の太陽光発電のおよそ70-80%は住宅用であるが、来年度（2012年度）導入見込みの全量買い取り制度を踏まえ大規模太陽光発電，所謂メガソーラーが関心を集めている。そのメガソーラーの代表例として、現在建設中で完成すると国内最大級となる東京電力の扇島太陽光発電所の概要を紹介する。

2008年6月，政府は「低炭素社会・日本」を目指し太陽光発電の導入量を2020年までに1,400万kWとすることを宣言，その後この目標は2,800万kWに引き上げられ今日に至っている。これを受け，電力会社各社は，全国で合計30地点，14万kWの太陽光発電所を2020年までに構築する計画を立てた。ここで紹介する扇島太陽光発電所は，この計画の代表的プロジェクトである。

### 2. 扇島太陽光発電所の概要

扇島太陽光発電所は，電気事業用としては国内最大規模の出力13MWの太陽光発電所である。川崎市と東京電力株式会社による共同事業として，浮島・扇島太陽光発電所が計画された。この全体計画は川崎市が所有する埋め立処分地約11haに建設される浮島太陽光発電所（出力7MW）と，ここで紹介する扇島太陽光発電所からなる。（図1参照）



図1 扇島太陽光発電所の設置場所

扇島太陽光発電所は東京電力の所有地約23haの平坦で広大な敷地に太陽電池を敷き詰めて構成されている。図2はその完成予想図である。日立製作所がSI（System Integrator）として敷地整備から機器の設計，製作，据付工事，試運転までの一式を請け負って建設をすすめている。ここで発電される電力は約1,370万kWh/年で一般家庭約3,800軒分に相当する。CO<sub>2</sub>排出の削減量はおよそ5,800tである。2010年4月に着工し現在も建設が進められており2011年12月に運転開始の見込みである。

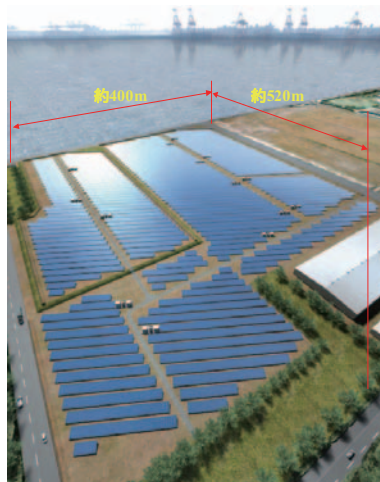


図2 扇島太陽光発電所完成予想

### 3. 扇島太陽光発電所のシステム構成

扇島太陽光発電所のシステム構成を図3に示す。ここでは扇島太陽光発電所の主要構成品について概説する。

#### 3.1 太陽電池

扇島太陽光発電所では京セラ製の多結晶パネルを採用している。その仕様を表1に示す。

また，外観を図4にしめす。

直流回路は，この太陽電池パネルを16枚直列接続した構成を基本構成としている。これをストリングと呼ぶ。1ストリングの直列数は，最大電圧がシステム電圧の600Vを超えない範囲で決める。出力が最大になるのは開放電圧（日射はあるが，出力を取っていない状態）で，この場合は33.2Vである。16直列では531.2Vであるから

原稿受付 2011年8月24日

\*1 (株)日立製作所 電機システム事業部  
〒101-8608 千代田区外神田1-18

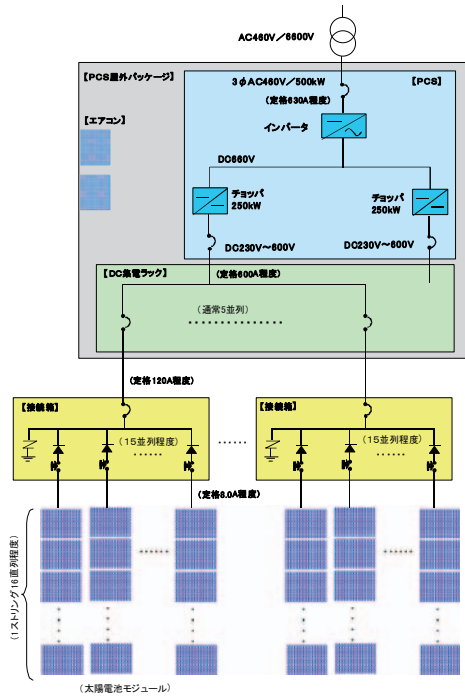


図3 扇島太陽光発電所のシステム構成

まだ余裕があるように見えるが、この開放電圧というのは温度特性があり、温度が低いほど高くなる特性を持っている。前述の33.2Vという値は、基準温度（25℃）での電圧である。設計では最低使用温度での開放電圧を考慮したうえで直列数を決定している。1ストリング当たりの最大出力は220W\*16枚で3,520Wである。このストリングを75回路程度並列に接続してPCSに入力（1回路当たり250kW定格で2入力あり）している。並列接続するための端子を備えた箱が接続箱で通常、太陽電池の架台の後部に設置している。ここで75回路程度とあいまいに表現したが、実際の設計ではPCSの損失を考慮し、さらに複数のPCSで入力数が平均化するように並列数を決定している。

3.2 PCS (Power Conditioning System)

太陽電池が発電した直流の電力を交流に変換する装置がPCSである。扇島では定格出力500kWのPCSを採用している。このPCSの仕様を表2に、外観を図5に示す。このPCSはメガソーラー適用を目的に開発したもので、トランスレスによる高効率化、軽量化などのほか系統連系機能を充実させたものとなっている。その概要について以下に説明する。尚系統連系機能については5章で説明する。

PCSの機能は、直流-交流変換のほか、最適運転電圧を決定するMPPT制御機能、系統連系保護機能、日射に応じて自動的に運転/停止をおこなう運転停止機能などである。このPCSの構成を図6に示す。

表1 京セラ製太陽電池仕様

製造メーカー	京セラ 株式会社
種類	多結晶シリコン
型式	KD220X-PPEU-S
最大出力 (Pmax)	220 W
短絡電流 (Isc)	8.98 A
開放電圧 (Voc)	33.2 V
最大出力動作電流 (Ipmx)	8.28 A
最大出力動作電圧 (Vpmx)	26.6 V
最大システム電圧	600 V
効率	14.8 %
最大出力温度係数	-0.46 %/°C (-1.019W/°C)
出力電圧温度係数	-0.45 %/°C (-0.12V/°C)
モジュール寸法	1500mm×990mm×46mm(フレーム厚さ)
モジュール質量	17.5 kg
モジュール総数	63,792枚

表2 PCS仕様

定格容量	525kVA / 500kW
直流入力電圧	DC230V~600V
直流入力数	2系統 (独立最大電力追従制御)
交流定格電圧	AC460V ±10%
交流定格電流	525kVA : AC660A
周波数	50/60Hz
効率	最大97% 95%以上 (DC500V, 25~100%出力時)
設置場所	屋内

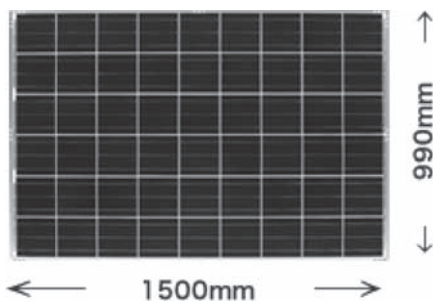


図4 京セラ製太陽電池パネル外観



図5 PCS外観

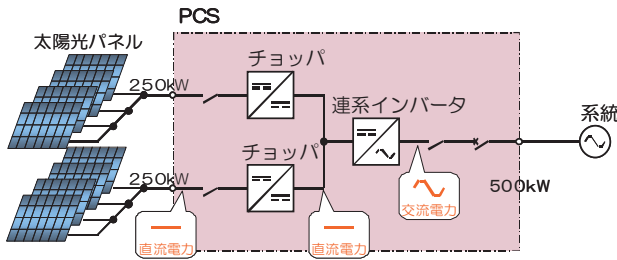


図6 PCSの構成

(1)MPPT制御

MPPT制御はPCSの最も重要な機能の一つである。太陽電池には固有の電流-電圧特性がある。この特性を電力との観点で書き直すと図7に赤線で示したような電力-電圧特性が得られる。太陽電池の出力を最大に引き出すには電力特性の山の頂点のP点で運転する必要がある。そのためにはP点に対応した電圧 ( $V_p$ ) になるように運転電圧を制御すればいいことになる。この運転電圧はPCSのチョッパー（チョッパーがないものはインバータ）が決めている。ところで、図7の電力-電圧の特性は日射の状態が変わると図中の矢印で示したように変化する。つまり日射が強くなると電流値が大きくなる方向に移動する。その結果最大出力点P点の電圧も変わる。つまり日射に応じた最大出力電圧  $V_p$  を常に探しながら運転する必要がある。このような制御を最大電力点追従制御（MPPT：Maximam Power Point Tracking Control）と呼ぶ。MPPTの代表的な手法は山登り法と呼ばれるもので、常時運転電圧を微小に動かし、動かす前との電力を比較する。たとえば、電圧を少し下げ、そのとき電力が下がる方向ならば、 $V_p$ 点は電圧の高いほうにあることになるので、次は電圧を上げる方向に動かす。逆に電圧を下げた時に電力が増えたならば、 $V_p$ 点は更に低いほうにあることになるので次回も電圧を更に下げる方向に動かす。このような制御を連続して行うことで常に最適な  $V_p$  点近傍で運転することができるのである。

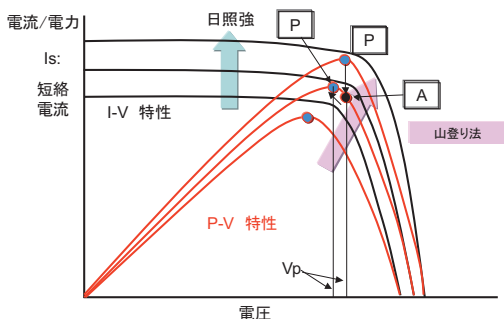


図7 太陽電池の特性とMPPT制御

(2)系統連系保護機能

PCSのもう一つの重要な機能は保護機能である。保護機能には二つある。一つはPCS自身を過電圧や過電流から守るもの。過電圧や過電流の原因は外部の交流系統によるもの、PCS自身の故障や制御装置の異常によるものなどが考えられる。過電流や過電圧を検出したら、すぐにPCSの運転を停止して故障の拡大を防ぐことが必要である。もう一つの保護機能は系統連系保護と呼ばれるもので、電力系統に系統事故が発生した時や、太陽光発電設備に異常が発生した時にPCSを系統から切り離し、事故の拡大を防ぐことが目的である。PCSを系統に連系するための要件は保安に関する事項は「電気設備技術基準解釈」、電力品質に関することは「電力品質確保に係わる系統連系技術要件ガイドライン」に規定されている。これらの規定を具体的に整理しているのが、日本電気協会が発行している「系統連系規程」である。ここで規定されている保護機能の一例を表3に示す。「系統連系規程」はいわゆる分散型電源を電力系統に連系する場合の要件を整理したもので、発電機の種類、連系する電圧階級、逆潮の有無などで細かく分類されている。太陽光発電はPCSを介して系統に連系されるので逆変換装置を有する分散電源として分類されておりそれに沿った保護機能を具備している。

表3 系統連系保護機能

発電機の種類	逆変換装置	
	逆潮流あり	逆潮流無し
保護対象	逆潮流あり	逆潮流無し
構内故障時の事故波及防止	OCR-H(過電流リレー)、OCGR(地絡過電流リレー)	
発電設備故障時の系統保護	OVR(過電圧リレー)、UVR(不足電圧リレー)	
系統側短絡故障時の保護	UVR(不足電圧リレー)	
系統側地絡故障時の保護	OVGR(地絡過電圧リレー)	
単独運転の防止	OFR(周波数上昇リレー)	○
	UFR(周波数低下リレー)	○
	RPR(逆電力リレー)	○
	転送遮断 単独運転検出(能動、受動)	○
再閉路時の事故防止	線路無電圧確認装置	

4. コストダウンへの取り組み

以上、一般的な概要について説明してきた。4章、5章では扇島太陽光発電所の設計において特に力を注いだ、コストダウンと系統連系機能について紹介する。

太陽光発電の最大の課題は発電コストが高いということである。2008年のエネルギー白書によると、発電設備の種類による発電コストは下記の通りで、太陽光発電のコストは他の発電設備の4倍以上と群を抜いて高い。

石油火力発電	10.0 ~ 17.3 ¥/kWh
LNG発電	5.8 ~ 7.1 ¥/kWh
石炭火力発電	5.0 ~ 6.5 ¥/kWh
水力発電	8.2 ~ 13.3 ¥/kWh
風力発電	10 ~ 14 ¥/kWh
太陽光発電	46 ¥/kWh



太陽光発電の特徴は、一度作れば燃料費は掛からず、メンテナンスも簡単であるという点である。従って太陽光発電のコストを下げるには初期の建設費用を抑えることが最も重要である。

一方、発電システムの中で生じる損失を抑え発電量を増やすことも、10年、20年運転する太陽光発電設備にとっては大きなメリットである。

もう一つ重要な視点は、電力系統の対策費用である。太陽光発電は不安定な電源で、電圧変動や周波数変動を引き起こす恐れがある。そのため、大量導入に当たっては蓄電池等の系統対策が必要とされており、ある試算では1.4～16兆円の費用が掛かるといわれている。<sup>(1)</sup>太陽光発電設備自身がこれらの系統問題の一部でも軽減できる機能を有していれば、莫大な系統対策費用をいくらかでも抑えることが期待できる。

#### 4.1 コストダウン技術の紹介

非住宅用太陽光発電設備のコストの約40%は太陽電池モジュールと言われている。<sup>(2)</sup>太陽電池モジュールは生産技術の向上、大量生産による量産効果等で年々価格は下がっており、今後も更なる低減が期待できる。

一方で、この太陽電池モジュールを支える架台や基礎、配線などの工事費が約40%を占めている。<sup>(2)</sup>これらはBOS (Balance of System) と呼ばれており太陽電池モジュールと異なり量産効果やイノベーションが期待しにくい分野である。しかし、このBOSについても最新技術を適用してコストダウンがなされている。それらについて紹介する。

##### (1)架台の最適傾斜角度の設定

太陽電池モジュールは、太陽の光を直角に受ける状態が一番発電量が多い。太陽の傾斜角は季節により異なるが、一般的には設置点の緯度に相当する角度と架台の傾斜角を一致させるのが年間発電量が最も大きいとされている。本州であればおおむね30度程度である。図8に架台の傾斜角と発電量の関係を示す。

架台の傾斜角を10度にすると約5～6%年間発電量が小さくなる。一方、架台と基礎の構造設計における支配的な要素は風荷重であり、これは傾斜角が小さいほど小さく出来る。(JIS C 8955) つまり、30度の架台よりも10度の架台の方が構造を軽量化できる。

さらに影の影響も小さくなる。架台の後ろには影が出来る。後ろの列に配置する架台はその影の掛からない距離を開ける必要がある。一般には冬至の日の午前9時から午後3時までの時間帯で影が掛からないためには架台の高さの2倍程度の距離をあける必要がある。(倍数は緯度により異なり、影倍率という。)<sup>(3)</sup>架台の傾斜角を小さくすると、架台高さを低く出来、後ろの列との間隔も狭くすることが出来るのである。土地の狭い日本にとっては土地の有効活用という点で重要な要素である。

傾斜角を小さくすることによる発電量の低減分と、構

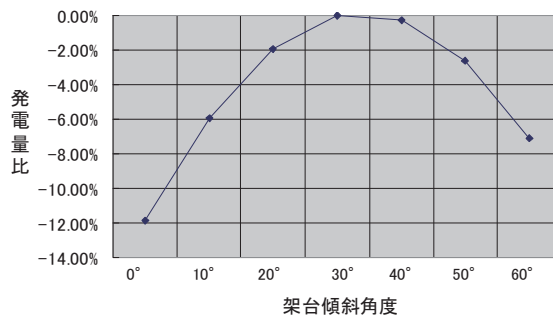


図8 架台の傾斜角と発電量の関係

造の軽量化によるコストダウン、土地の有効活用といったメリットのバランスで最適角度を設定する。ちなみに扇島太陽光発電所では10度で設計をしている。

##### (2)防風壁による基準風速の軽減

架台、基礎の構造設計の支配的要素は風荷重であることは前にも触れた。風除けの壁があると風圧が軽減できるであろうことは直感的にも理解できる。扇島ではこの風除け壁手法を適用し、架台、基礎の軽減を図っている。このことはJIS C 8955にも規定されているが、定量的な記載がないのが難点である。扇島の設計に当たっては、周囲を架台と同じ高さの防風土壁で囲い風荷重の軽減効果を三次元の流体解析で確認した上で、設計風荷重を50%に軽減した設計を採用した。



図9 風圧軽減のための防風土壁

#### 4.2 システム効率向上技術の紹介

太陽光発電設備のシステム効率は一般的に約70%である。つまり1,000kWの太陽電池を設置しても最大電気出力は700kW程度ということである。損失の内訳はPVモジュールの特性のバラツキや経年劣化、パワーコンディショナーなどの電気回路の損失などである。詳細はJIS C 8907に詳しい。ここではこれらの損失を減らし効率を少しでも高くする技術を紹介する。太陽光発電システムの効率を考える場合に共通して意識する必要があるのは、太陽電池が定格出力で運転できるのは、晴天の日の太陽が真上に来る正午前後の一部の時間帯だけで、大部分の時間帯は所謂部分負荷運転だということである。

### (1) パワーコンディショナーの効率

仕様書では効率が\*\*%と表示されている。効率の測定方法はJIS C 8961でも決められているが、これは実際の運転状態を意識したものではない。実際の運転を考えた場合は、部分負荷運転のできるだけ広い範囲（例えば20%負荷から100%負荷まで）で一様にある程度高い効率を示していることが重要である。欧州ではこの部分負荷を考慮した効率の規定（ $\eta_{EU}$ ）がある。

#### 欧州で採用の効率表記 (European Efficiency)

$$\eta_{EU} = 0.03 \cdot \eta_{5\%} + 0.06 \cdot \eta_{10\%} + 0.13 \cdot \eta_{20\%} + 0.1 \cdot \eta_{30\%} + 0.48 \cdot \eta_{50\%} + 0.2 \cdot \eta_{100\%}$$

この種の効率規定は日本には未だない。図10は扇島太陽光発電設備で採用しているパワーコンディショナーの効率特性である。低負荷領域から95%以上の効率を確保できる設計となっている。

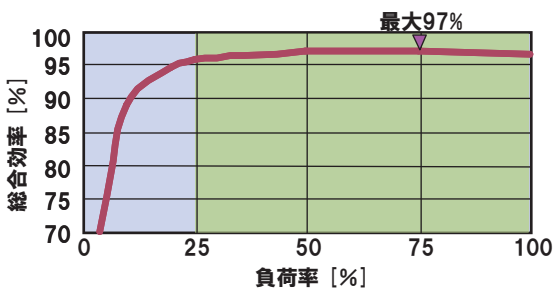


図10 パワーコンディショナーの効率特性

### (2) 夜間の待機電力

太陽光発電は、言うまでもなく夜間は発電をしない。この間は、例えば変圧器は電圧が印加されているだけでも鉄損と呼ばれる待機電力を消費する。アモルファス変圧器は、鉄心にアモルファス素材を採用し特に待機損失の軽減を図った変圧器である。図11にアモルファス変圧器と一般の変圧器の損失比較例を示す。待機損失が低減された効果で図の円で示した低負荷率領域での高効率を実現している。そのほか、各種補機類の夜間の消費電力を抑制することは重要である。

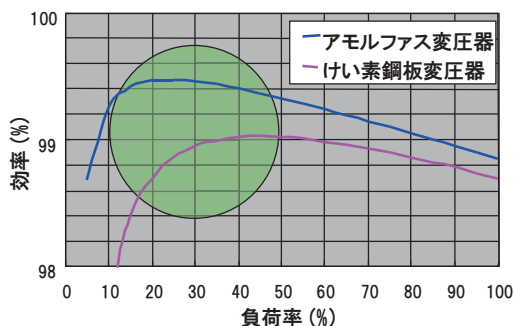


図11 アモルファス変圧器とけい素鋼板（一般）変圧器の効率

## 5. 系統連系問題とその対策

太陽光発電の出力は天気依存した不安定な電源である。特に晴天で雲がでると50%を超える出力の変動が生じる。このため、太陽光発電が大量に電力系統に連系されると次の問題が生じる可能性がある。

### (1) 電圧変動問題

太陽光発電の出力潮流により送電線や配電線での電圧上昇が生じる。出力が変動すると、この大きさが変動し同じ系統の需要家の受電電圧も影響を受けることになる。例えば、家庭で使用している100Vの配電線は、常時101±6V以内に変動を抑えることが電気事業法施行規則で定められているが、多くの家庭で太陽光発電が設置されているような地域では、この変動範囲を逸脱するケースが出てくる。

### (2) 周波数変動問題

電力系統は常に発電量と消費量（需要）が一致するように制御されている。このバランスがずれると周波数変動が生じる。太陽光発電は出力が安定しないので、それを補正する調整のための発電余力が必要となる。

### (3) 軽負荷時の供給過剰問題

(2)で説明した発電量と需要のバランスの問題が最も厳しくなるのは、正月や長期連休など電力消費量が極端に少ないときである。調整用の発電機の出力が絞込まれた状態で、大量に連系された太陽光発電の出力が変動すると、周波数の調整能力が不足する恐れがある。

### (4) 発電の一斉脱落問題

電力系統で落雷などの事故が発生すると、瞬時の電圧低下が生じたり、地震等の大規模事故では大量の発電機脱落や負荷脱落などに起因した周波数の低下、上昇が発生する。太陽光発電の系統連系装置は半導体を使った逆変換装置（インバータ）で、一般の同期発電機などと比較すると瞬時電圧低下や周波数変動などの外乱に弱く、このような外乱発生時にはすぐに停止するものが多い。系統事故時の電圧変動、周波数変動は広範囲で生じるため、その影響で大量の太陽光発電設備が一斉に停止する恐れがある。その結果、事故の影響を拡大するケースも懸念される。

以上の(1)～(4)の問題の内、系統全体に関係するものは系統側での対策が必要であるが、太陽光発電設備側で可能な対策もある。扇島太陽光発電所で備えている機能について以下に紹介する。

### 5.1 無効電力制御、力率制御機能

電圧変動は発電電力の変動で生じるが、連系用のパワーコンディショナーは同時に無効電力を出力することが出来る。この無効電力を適正に制御することで電圧変動を抑制することが出来る。扇島では二つのモードで無効電力を出力する機能をもたせている。

一つは無効電力スリープ特性運転モードで、PVシステムの監視制御を行う監視制御装置からの指令に沿った

無効電力を出力する。もう一つは力率一定運転モードで運転力率が一定になるように無効電力を制御する。

## 5.2 出力抑制機能

日射が少ないときに太陽光発電の出力を上げることは出来ないが、出力が過剰なとき、つまり周波数が上昇しているときには出力を抑制することで需給バランスの調整が可能で、調整余力の削減への貢献が期待できる。扇島の設備では監視制御装置が系統周波数を監視し、その偏差が設定以上となった場合には出力を抑制する機能を有している。また、遠方からの指令により出力を抑制する機能を有しており、特異日の軽負荷時の余剰電力対策としても活用できる。

## 5.3 FRT機能

系統事故による瞬時電圧低下や周波数変動時にも安易に停止することなく運転を続けることをFRT (Fault Ride Through) と呼んでいる。連系されている多くの太陽光発電設備がこの機能を備えることで系統事故に伴う電圧低下や周波数変動での太陽光発電の一斉脱落を防ぐことができ、事故拡大の懸念を軽減できる。扇島で採用しているパワーコンディショナーはこの機能をもたせている。

## 6. おわりに

扇島太陽光発電所の紹介をさせていただきながら、ここで採用されている様々なコストダウン技術や、系統安定化技術を紹介した。今後FIT (Feed In Tariff全量買取制度) 導入などにより太陽光発電は急速に導入されることが予測される中、更なるコスト低減の技術開発が進められ、また系統安定化技術については標準化とともに、多くの太陽光発電設備に適用されることを期待したい。

## 〔謝辞〕

扇島太陽光発電所の設計、建設に当たり東京電力殿には事業主という立場から一方ならぬご指導とともに御支援をいただいている。深甚なる感謝を申し上げます。

## 参考文献

- (1) 資源エネルギー庁, 「次世代送配電ネットワーク研究会」報告書, P31, 2010年4月, <http://www.meti.go.jp/report/downloadfiles/g100426a03j.pdf>
- (2) 資源エネルギー庁, 「第14回買取制度小委員会説明資料」, 2009年8月  
[http://www.meti.go.jp/committee/summary/0004601/014\\_02\\_00.pdf](http://www.meti.go.jp/committee/summary/0004601/014_02_00.pdf)
- (3) (独) 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO), 太陽光発電の効果的な導入のために, P74, 2010年3月

特集：再生可能な自然エネルギー利用の現状

## 自然エネルギー利用バイナリータービン発電システム

山下 誠二\*<sup>1</sup>  
YAMASHITA Seiji

溝口 和彦\*<sup>2</sup>  
MIZOGUCHI Kazuhiko

キーワード：バイナリーサイクル，再生可能エネルギー，地熱発電，環境適合媒体，高速発電機

### 1. はじめに

バイナリーサイクルは低温熱源から効率よく出力を取り出すことのできるサイクルとして古くから知られている。実用化の例としては，国内では1970年代のエネルギー危機を契機とする省エネルギー機運の高まりによる，産業分野における低温排熱回収発電の例<sup>(1)</sup>，自然エネルギー利用としては2003年のRPS法（電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法）施行後に地熱発電で採用された例<sup>(2)</sup>，さらに海外では温泉リゾート地における小規模地熱発電の例<sup>(3)</sup>，大規模地熱発電に採用された例<sup>(4)</sup>など，米国をはじめとして数多くの実績がある。

近年，特に温暖化ガス排出削減の見地から，バイナリー発電システムにさらなる注目が集まりつつあり，本稿ではバイナリー発電システムの特徴と自然エネルギー利用への適用について述べる。

### 2. 低温熱源利用サイクルの概要

ここでは低温熱源利用サイクルとして比較して論じられることの多いカリナサイクルとバイナリーサイクルについて，それぞれのサイクルの特徴をまとめる。

#### 2.1 カリナサイクル

カリナサイクル（kalina cycle）は混合媒体の沸点上昇を利用して，排熱回収率を高くとることができるのが特徴である。低温沸点媒体が先に蒸発するので，分離器を設置して気相はタービンを駆動し，液相は再生器において媒体の予熱に用いられる。タービン膨張仕事後の気相は吸収器において液相と混合・吸収され，さらに凝縮器において全量凝縮される<sup>(5)</sup>。図1にカリナサイクル構成例を示す。

通常のランキンサイクルに比べると，分離器，吸収器などの機器が媒体側に追加されることとなり，単位発電出力あたりの物量が大きくなるのが課題である。また，混合媒体を利用することで伝熱特性が改善するわけでは

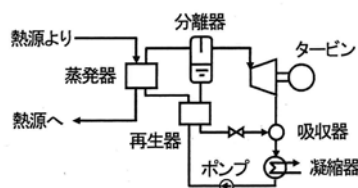


図1 カリナサイクル構成例

ないので<sup>(6)</sup>，実際に排熱回収率を高く取るためには蒸発器，再生器さらには凝縮器の伝熱面積を増加する必要がある。

また，混合媒体には熱力学的な特性を考慮して水-アンモニア混合媒体を用いることが多いが，この場合材料の腐食<sup>(7)</sup>や漏洩に対する配慮が必要な点が実用化の課題となるものと思われる。

#### 2.2 バイナリーサイクル

バイナリーサイクル（binary cycle）とは文字通り2流体サイクルを意味しており，高温・低温のそれぞれの温度範囲において適切な性質をもつ作動媒体を選定して組み合わせることでシステム全体の性能を高めようとするものである。バイナリーサイクル構成例を図2に示す。図2では水を媒体とする高温ランキンサイクルと低温沸点媒体による低温ランキンサイクルで構成されている。バイナリーサイクルは2つのタービンを持つので，本稿では区別を明確にするために，水を媒体とするタービンを蒸気タービン，低温沸点媒体によるタービンをバイナリータービンと呼ぶことにする。

熱源の温度が低い場合，図3のように蒸気タービンを設置しない場合もある。図3のサイクルは厳密には低温

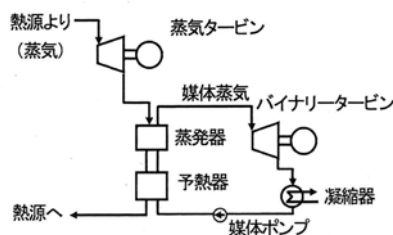


図2 バイナリーサイクル構成例

原稿受付 2011年8月10日

\*1 川崎重工業(株) 技術開発本部 技術研究所 熱技術研究部

\*2 川崎重工業(株) ガスタービン機械カンパニー  
機械ビジネスセンタータービン課 陸用タービン課  
〒650-8670 神戸市中央区東川崎町3-1-1

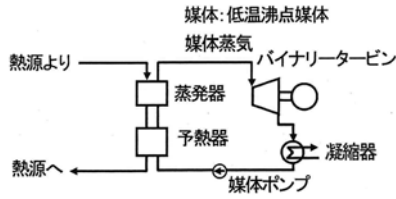


図3 広義のバイナリーサイクル

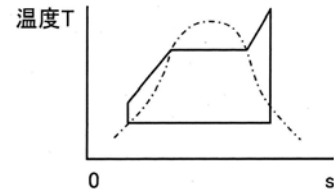


図4 水のT-s線図

ランキンサイクルであるが、広義には低温沸点媒体を用いたランキンサイクル全般をバイナリーサイクルと呼んでいる。

理論上は3流体を組み合わせたトリナリーサイクル (trinary cycle) も可能であるが、システム構成が煩雑になることから実際には経済的な制約が多いものと思われる。

### 2.3 バイナリーサイクルの媒体とその特徴

バイナリーサイクルの媒体には炭化水素やフロンなどが用いられることが多い。表1に大気圧における各種媒体の飽和温度を比較して示す。水を用いた場合、例えば100℃以下の熱源のような場合には蒸気の圧力が大気圧以下になってしまうが、低温沸点媒体を用いた場合にはタービン入口圧力が高く十分なタービン出力を確保できるほか、タービンの大きさが過大になることを避けられる。

炭化水素やフロンは構造式の長さにより沸点がほぼ規定されるので、熱源の温度、冷却水・冷却空気 の温度やシステム設計上の観点から媒体を選択することになる。例えば、炭化水素ではペンタン<sup>(8)</sup>、フロンではHFC245fa<sup>(9)</sup>など大気圧における沸点が常温付近のものが採用されることが多い。

炭化水素やフロンは水とは異なる特徴的なT-s線図を持っており、このことがタービンやシステム構成上の特徴となっている。図4、5にそれぞれ水、炭化水素およびフロンのT-s線図を模式的に示す。図中の1点鎖線は飽和線を示している。

水を媒体に用いた場合、膨張するにしたがって飽和線を横切って膨張する。つまり膨張するにつれて湿り蒸気となる。湿り蒸気に含まれる水滴はタービン翼侵食の原因となるほか、いわゆる湿り損失と呼ばれるタービン効率の低下をもたらす<sup>(10)</sup>、特に十分な過熱蒸気が得られない地熱発電の場合にその影響が顕著である。

一方、バイナリーサイクルに用いられる炭化水素やフロンは膨張するにしたがって飽和線から遠ざかっていく。つまり膨張するにつれて過熱度が增大していくことにな

表1 大気圧における各種媒体の飽和温度

水	炭化水素 (ブタン)	炭化水素 (ペンタン)	フロン (HFC134a)	フロン (HFC245fa)
100℃	-0.5℃	36℃	-26℃	15℃

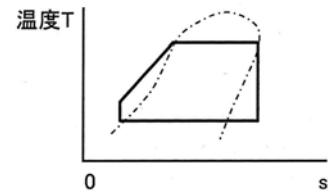


図5 炭化水素およびフロンのT-s線図

る。これはタービン翼侵食や湿り損失が無いばかりか、タービン入口を過熱蒸気にする必要が無いので、過熱器のないシンプルな排熱回収系にできるのが大きな特徴である。

なお、媒体に炭化水素を利用したバイナリーサイクルは有機ランキンサイクル (ORC: Organic Rankin Cycle) とも呼ばれる<sup>(8)</sup>。

## 3. 地熱発電とバイナリーサイクル

### 3.1 従来型地熱発電

従来型地熱発電のサイクル構成例を図6に示す。蒸気井から噴出する地熱蒸気は気水分離器で気相の蒸気と液相の熱水に分離され、蒸気はタービンを駆動する。タービン駆動後の蒸気は凝縮器で復水され、熱水とともに還元井から地下に戻される。地熱発電はいわば地球をボイラーとする蒸気タービン発電ということになる。

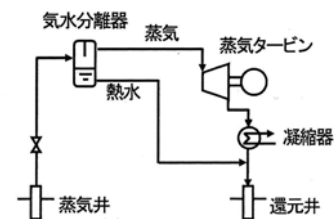


図6 従来型地熱発電のサイクル構成例

### 3.2 地熱発電におけるバイナリーサイクル構成

地熱発電におけるバイナリーサイクル構成例を図7に示す。

バイナリーサイクルの特徴は、従来型地熱発電では利用できない熱水を熱源としてバイナリータービンを駆動することにより、さらに出力が増加できる点にある。バイナリータービンを駆動する低温沸点媒体は閉ループで繰り返し利用される。蒸気タービン駆動後の復水は蒸発器で温度の下がった熱水とともに還元井から地下に戻さ

れる。

地熱蒸気の温度、圧力が低い場合、図8のように蒸気タービンを設置せずに、地熱蒸気を低温沸点媒体の熱源に用いる場合もある。この構成は従来型地熱発電では十分な出力が得られない蒸気井を利用することができ、地熱資源の有効利用が可能となる。

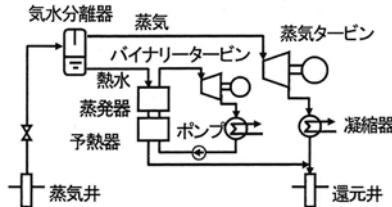


図7 地熱発電におけるバイナリーサイクル構成例

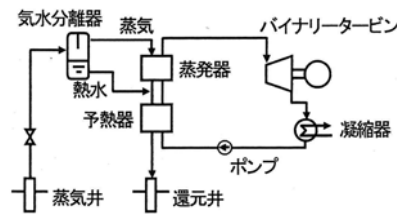


図8 低温、低圧蒸気井バイナリーサイクル構成例

#### 4. グリーンバイナリータービン<sup>(1)</sup>

ここでは当社のバイナリー発電システム「グリーンバイナリータービン」の概要と設置例、自然エネルギー利用の例として地熱への適用について述べる。

##### 4.1 グリーンバイナリータービンの概要

図9にグリーンバイナリータービン構成を示す。グリーンバイナリータービンはサイクルを構成する蒸発器、凝縮器、タービン発電機、制御・電力変換装置盤などをパッケージ化したもので媒体は安全で温暖化係数が小さく環境性に優れた代替フロンを用いている。表2に設備主要目を示す。

発電機端出力は250kWとして比較的小規模な排熱量でも十分発電可能な規模としており、大規模な排熱においては系列対応することで排熱のエネルギーを余らせることなく有効活用できる。なお、熱源との取り合いは温水で供給する形式としている。これは分散して存在する排熱や様々な形態の排熱や自然エネルギーを温水に変換することで、熱源の形態にかかわらず一括して利用できる利得がある。

蒸発器や凝縮器は当社グループ企業の製品である吸収冷凍機<sup>(2)</sup>の技術を適用して高性能・コンパクト化設計を行っており、先に述べた媒体の特徴や発電機端出力の選定とあわせて分散型発電用途におけるバイナリー発電を可能にしている。図10、11にパッケージ組み込み前の蒸発器および凝縮器外観を示す。

図12にタービン発電機外観を示す。タービン発電機開発には、当社が長年にわたり培ってきた発電用蒸気タービンの技術<sup>(3)</sup>も活用されている。

図13にタービン発電機構造を示す。発電機とロータはキャンと呼ばれる薄い筒により仕切られており、これによりロータ、インペラを含むすべての回転部および軸受が媒体とともに密閉された空間に閉じ込められるため、媒体の漏洩が無いことが特徴である。また、ロータの両端に鏡像のインペラを装着するダブルフロー構造とすることで、スラスト力をキャンセルしてスラスト軸受を最小化するとともに、小径インペラの採用と高速回転化によるコンパクト化を図っている。インペラの形状は最新の流体解析技術を利用して媒体の特性に合わせた最適設計を行っている。インペラまわりの数値流体解析の例を図14に示す。

発電機はタービンと一体構造の高速発電機を採用しており、高速発電機の周波数を電力変換装置により系統の周波数に変換している。高速発電機と電力変換装置の採用は、単に減速機が不要となるだけでなく、熱源の変動に応じてタービン回転数を可変とすることで、タービンの作動点を常に最適に設定できるため、熱源からのエネルギーを最大限に利用できる利得がある。図15に回転数可変によるタービン作動点最適制御の説明図を示す。例えば、熱源の量が減少して部分負荷となりタービン膨張比が下がるような場合、回転数一定制御ではタービン効率が定格のタービン効率  $\eta_d$  から悪化していくが、回

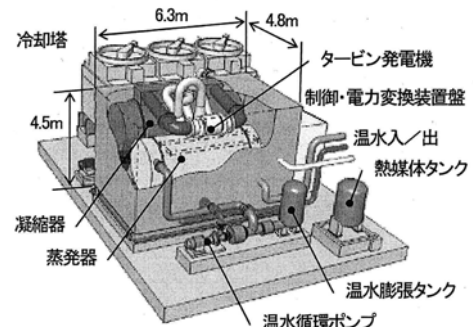


図9 グリーンバイナリータービン構成

表2 設備主要目

要目	仕様
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
回転数	9,000rpm (可変速式)
蒸発器型式	シェル&チューブ式
凝縮器型式	シェル&チューブ式
(熱源) 温水入口温度/流量	98℃ / 180t/h
(冷却源) 冷却水温度/流量	20℃ / 480t/h

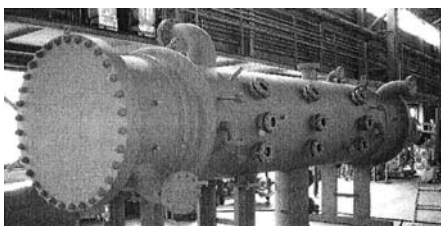


図10 蒸発器

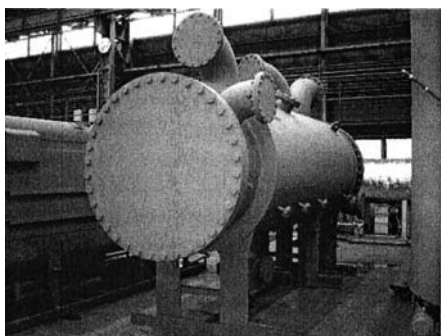


図11 凝縮器

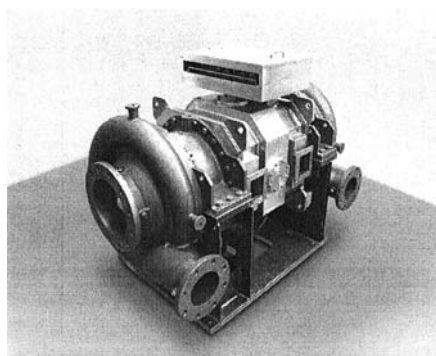


図12 タービン発電機

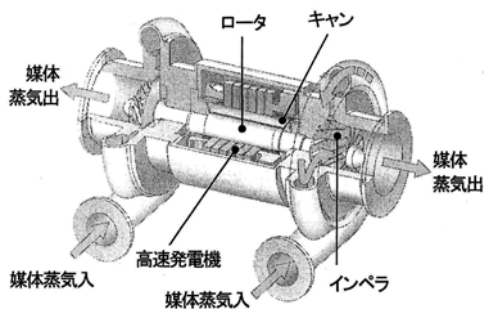


図13 タービン発電機構造

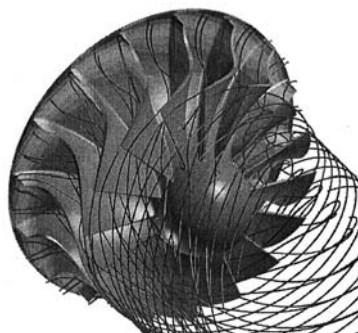


図14 インペラ数値流体解析の例

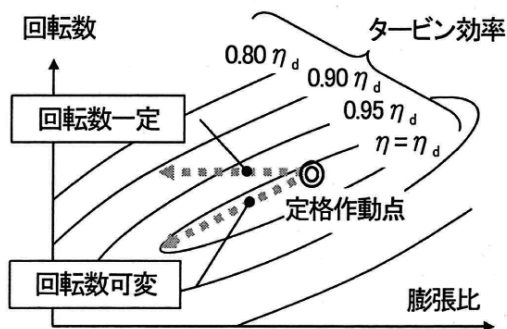


図15 回転数可変によるタービン作動点最適制御

回転数可変制御ではほとんどタービン効率の悪化がない。  
 図16に制御・電力変換装置盤外観を示す。高速回転機器の制御や電力変換技術は当社の関連機器である高効率ターボブロワ「川崎MAGターボ」<sup>44)</sup>などにも用いられている実績のある技術である。

4.2 グリーンバイナリータービン設置例

図17は当社工場内に設置されたグリーンバイナリータービンである。工場内には発電出力5,000kWの「グリーンガスエンジン」<sup>45)</sup>が設置されており、バイナリータービンはこのガスエンジン排熱により駆動されている。図18にグリーンバイナリータービンをガスエンジン排熱に適用した場合のシステムフローを示す。特筆すべきことはボイラ温水の他にガスエンジンのジャケット冷却水も熱源として利用している点にある。通常、ガスエンジンのジャケット冷却水は熱源としては温度が低いために

通常の排熱回収発電では電力を取り出すことができないが、グリーンバイナリータービンではこのような低温排熱でも利用可能である。つまり、グリーンバイナリータービンを熱源と冷却塔の間に設置するだけで、通常は冷却塔で捨てられるだけの排熱から電力を取り出すことができるということであり、高い省エネルギー効果と設置性を両立させている。

4.3 グリーンバイナリータービンの地熱発電への適用

グリーンバイナリータービンパッケージと熱源の取り合いは温水配管のみであるので、熱源は先に述べたようなコージェネ排熱に限定されず、産業排熱や自然エネルギーなども利用することができる。図19にグリーンバイナリータービンを地熱発電に適用した場合のシステムフロー例を示す。

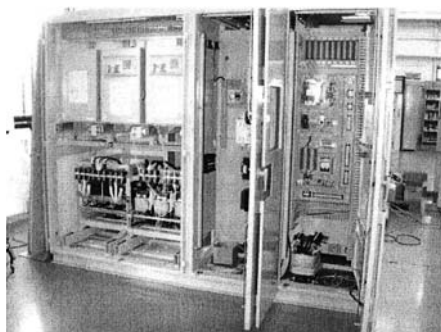


図16 制御・電力変換装置盤

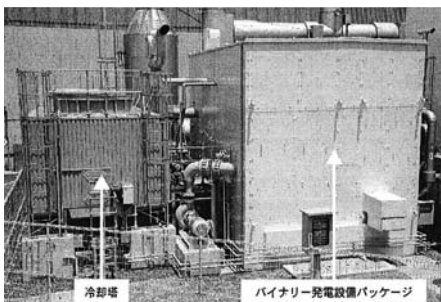


図17 グリーンバイナリータービン設置例

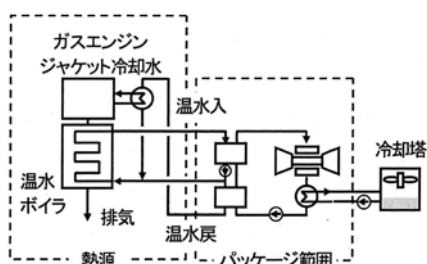


図18 ガスエンジン排熱利用システムフロー

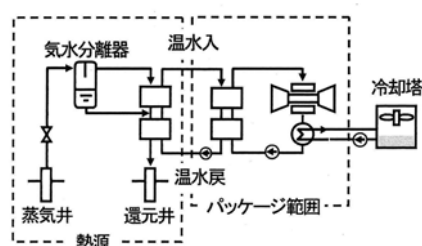


図19 グリーンバイナリー地熱発電適用適用例

## 5. まとめ

低温熱源利用サイクルとしてのバイナリーサイクルの特徴と当社のバイナリー発電パッケージ「グリーンバイナリータービン」の概要および自然エネルギーへの適用について述べた。グリーンバイナリータービンは安全で環境性に優れた媒体の採用と分散型用途に最適な発電出力とパッケージングでコージェネや産業排熱、さらには自然エネルギー利用発電分野において、広く適用可能性があるものと思われる。

2008年の新エネルギー法施行令改正により地熱バイナリー発電は新エネルギーと位置づけられており、2009年の経済産業省「長期エネルギー需給見通し（再計算）」では一次エネルギー供給のうち2020年に5.5%、2030年に7.4%を新エネルギー等により供給する姿を描いている。今後、地熱バイナリー発電のみならず低温熱源利用バイナリーサイクル全般が再生可能エネルギーとしてのインセンティブが与えられることを期待して、結びとしたい。

## 参考文献

- (1) 後藤田秀美, 熱水利用フロンタービン発電, エネルギー・資源, 1-2 (1980), p71-79
- (2) 高藤 剛 八丁原バイナリー発電施設について, コージェネレーション 20 (1), 42-48, 2005
- (3) Joost J. Brasz, et. El., Power Production from a Moderate -Temperature Geothermal Resource, GRC Annual Meeting September 25-28th, 2005; Reno, NV, USA
- (4) GEOTHERMAL ENERGY ASSOCIATION, US Geothermal Power Production and Development Update, April 2010,
- (5) Kalina, A. L., 1984, "Combined Cycle System with Novel Bottoming Cycle", ASME Journal of Engineering for Power, vol. 106, no. 4, Oct. 1984, pp. 737-742
- (6) 古谷泰ほか, 水-アンモニア混合媒体の凝縮伝熱・沸騰伝熱, エバラ時報, (2001), No. 190, p. 16
- (7) 高鍋浩二ほか, アンモニア・ランキンサイクルによる廃熱回収発電, 日立造船技報第65巻第1号 (2004-5) p6-9
- (8) Joseph Sinai Dr Uriyel Fisher, 1MW SOLAR POWER PLANT Using ORMAT ENERGY CONVERTER, Proceedings of the 14th Sede Boquer Symposium on Solar Electricity Production 53, February 19-21, 2007
- (9) Paola Bombarda, et. El., Integration of Geothermal Liquid Dominated Sources and Waste Heat Sources for Electricity Production, Proceedings World Geothermal Congress 2010, Bali, Indonesia, 25-29 April 2010
- (10) 田沼唯士ほか, 蒸気タービンの湿り蒸気の影響低減技術, ターボ機械Vol.31, No.8, 2003.8
- (11) 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, 日本工業出版, 20 (1) (2011.1) P24-28,
- (12) 新製品紹介 世界最高効率 Σエース地域冷暖房用吸収冷凍機, 川崎重工技報 153号 (2003.9) P68-69
- (13) 森下浩志ほか, タービン大型化における性能改善技術-発電用中容量蒸気タービン-, 川崎重工技報 167号 (2008.5) P12-15
- (14) 西村哲夫ほか, 次世代高効率プロワ「川崎MAGターボ」川崎重工技報 167号 (2008.5) P16-21
- (15) 桜井秀明ほか, 世界最高の発電効率と環境性能を達成-カワサキグリーンガスエンジン-, 川崎重工技報 167号 (2008.5) P6-11



特集：再生可能な自然エネルギー利用の現状

## 小水力発電システム 発電機一体型リング水車

長谷川 英樹\*<sup>1</sup>  
HASEGAWA Hideki

キーワード：発電機一体型、リング水車、小水力発電、インライン型プロペラ水車、水潤滑軸受

### 1. はじめに

小水力発電は、CO<sub>2</sub>排出が最も少ない再生可能エネルギーであって、地球温暖化の防止に即効性のあるエネルギーであること、また他の新エネルギーに比べ稼働率が高いことから再び見直されてきている。さらに、電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法（RPS法）では、新エネルギー等と認定された。

小水力発電の導入場所としては、上下水道施設、小河川、農業用水路、ダム（河川維持放流水・利水放流水）、プラント工場（工業用水）等の身近な水源が注目されており、特に水利権の問題が少ない上水道施設では、水道管路で発生する余剰圧力を用いた小水力発電装置の導入が既に活発である。そこで、川崎重工業株式会社は、新方式の小水力発電システム、リング水車を開発した。

小水力発電装置の導入に対する課題としては、大型の水力発電に比べて、建設コスト、メンテナンスコストが割高なため経済性が低いこと、身近な水源のため既設の狭隘な場所に設置されることが多いためコンパクトな装置が求められること等である。さらに居住地の近くに設置される場合もあるので、環境への配慮として静穏性も重要である。

このような背景を下に、約5年をかけて開発し、2009年1月に市場に投入したのがリング水車である。最大の特長は発電機一体型でコンパクトな水車であること及び軸受に水潤滑軸受を採用したことによるオイルレス構造を同時に実現したことである。



図1 発電機一体型リング水車

原稿受付 2011年7月16日

\*1 川崎重工業株式会社 プロジェクト開発総括部  
〒650-8670 神戸市中央区東川崎町3-1-1

当社のリング水車は、次に示すように従来の水車と比較して大幅なコンパクト化、低騒音化、日常メンテナンスの軽減化を実現している。

### 2. 発電機一体型リング水車の特徴

開発したリング水車は、水流によって回転するインライン型プロペラ水車で、回転翼の外周に永久磁石を埋め込み、発電機を水車の外周にリング状に配置した、つまり、水車と発電機を一体とした点が特徴である。

さらに主な特徴を以下に紹介する。

#### 2.1 コンパクト設計

図2、図3に示すように水車と発電機を一体の構造にしたため、従来のインライン型水車に比べ、半分以下のサイズである。これまで小水力発電の導入が難しかった既設の狭い配管スペースにも設置が可能で、設置工事も簡単である。また、中心にシャフトを持たないシンプルな構造により部品点数が少なく故障も少ない。

#### 2.2 水潤滑機構の採用

軸受を水車外周に配置することにより軸受部周速を高め、粘性の低い水でも潤滑剤として利用できるようにした。また、発電に使用している水流（砂等の浮遊物質を含んだ水）でも耐用年数の長い水潤滑軸受を新開発したことにより、機構部は潤滑用オイルが一切不要であり、水質に一切影響を及ぼさない構造である。

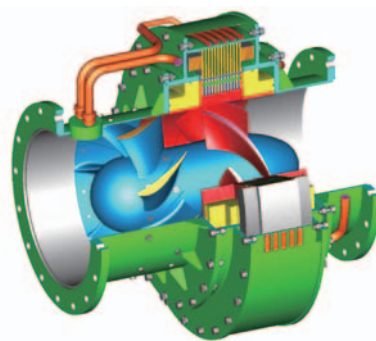


図2 発電機一体型リング水車概略図

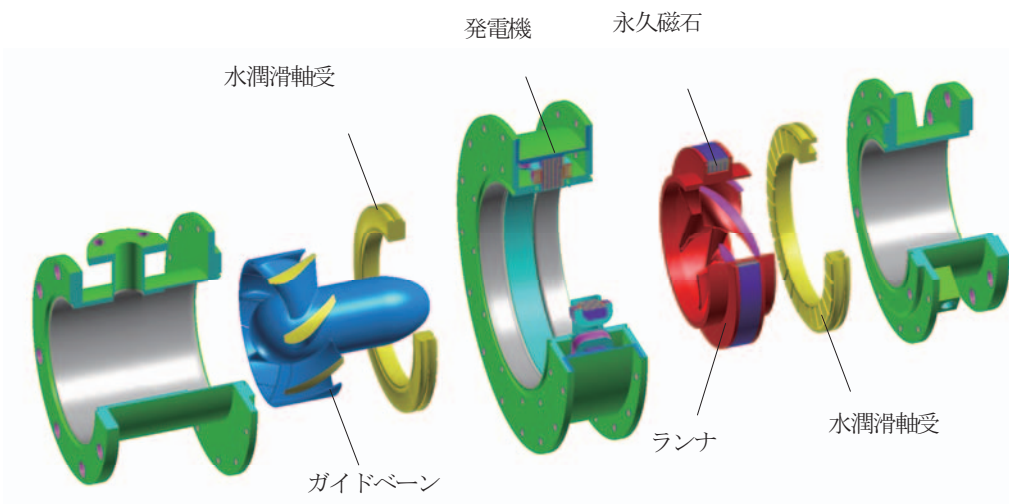


図3 リング水車内部構造図

2.3 低騒音

新開発の水潤滑軸受により、騒音がほとんど発生しない。これにより、住宅が近い場所に導入する場合でも、特別な騒音対策は不要である。また、減圧弁の代わりに当社のリング水車を導入すれば、発電によるエネルギー回収と周辺環境への騒音を大幅に低減することができる。

2.4 日常メンテナンスの軽減化

オイルの補充・交換、あるいはメカニカルシール、パッキン、ベルト交換などの日常メンテナンスが不要である。

3. リング水車のラインナップ

口径200mmから650mmまで、7機種にシリーズ化している(図4)。

ラインナップ範囲外の仕様であっても、例えば流量が2.8m<sup>3</sup>/s以上の地点では、2台以上の水車を並列に配置

することで対応ができる。

有効落差 (H)	5 ~ 30m
流量 (Q)	0.14 ~ 2.8m <sup>3</sup> /s
発電機出力 (P)	20 ~ 500kW

4. 連系盤の一般仕様

リング水車には制御をつかさどる連系盤が付属される。連系盤の型式は屋外鋼板製自立形、前背面扉式であり500kW用のみ屋内形を標準としている。連系電源は電圧周波数・電圧400V/440V、50/60Hzに対応している。収納機器は運転/トルク指令による運転制御、高効率空間ベクトル制御、発電機センサレス制御が行われる発電機用インバータと電流歪最小化変調制御、安定した電圧・周波数への変換、系統への自動同期投入が行われ

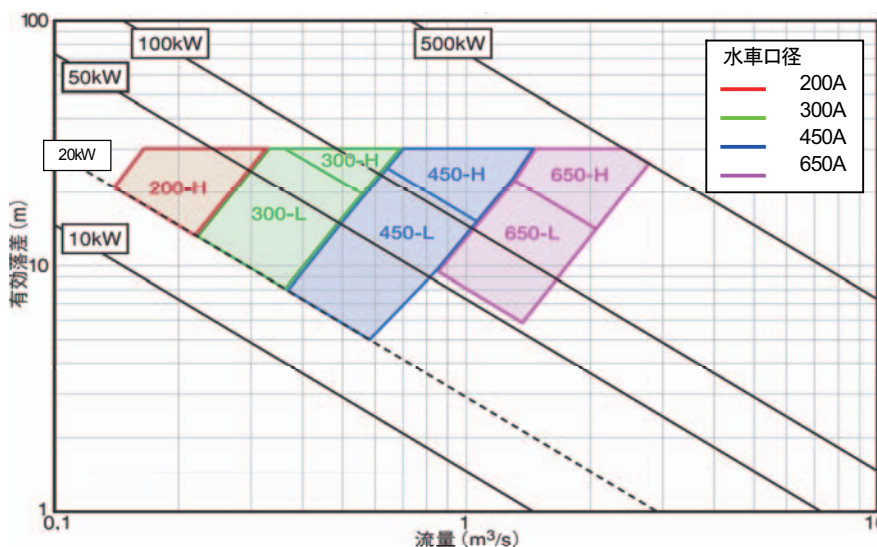


図4 発電機一体型リング水車選定表

る連系用インバータ及び連系用遮断機 (MCCB), 発電機用, 連系用接触器, 制御用PLC, 監視操作用ディスプレイが標準装備されており, 連系保護機能として過電圧検出, 不足電圧検出, 周波数上昇検出, 周波数低下検出, 単独運転検出機能 (能動, 受動) を装備している。

5. 導入事例の紹介

新方式の小水力発電システム (リング水車) は水が流れる配管の途中にすっぽりと収めて設置するインライン型といわれるタイプである。そのため, ダム河川維持放流水・利水放流水や上下水道, 工場処理水など配管内を流れる水力が対象となる。

5.1 多目的ダムにおける発電の例

現在, 兵庫県内の多目的ダムで実証試験を続行中である。水車・発電機仕様を表1に, 実証試験装置を図5に, 全体機器構成を図6に示す。水車発電機は, 下流域への水流を流すための放水管 (主ゲート) に設けたバイパス配管に設置している。

表1 水車・発電機仕様

出力	40kW
落差	8.4m
流量	0.72m <sup>3</sup> /s
水車径	450mm
発電機外径	895mm
全長	860mm
重量	945kg

リング水車で発電された電力は電力制御盤, 系統連系盤により系統連系されている。主な操作は系統連系盤又は操作室制御タッチパネルにより手動で行っているが, 異常時には自動によりインバータを停止させ, 発電を止めている。

6. おわりに

電力会社, 地方自治体や民間等から多数の問合せ及び設置検討依頼があるので, 全国により多くのリング水車の設置を目指すとともに, 川崎重工業(株)は, 新エネルギーである小水力発電をはじめ, エネルギー, 産業インフラ, 環境保全技術分野において優れた技術, 製品を提供して行くことにより世界の人々の豊かな生活と地球環境の未来に貢献していきたいと考えている。

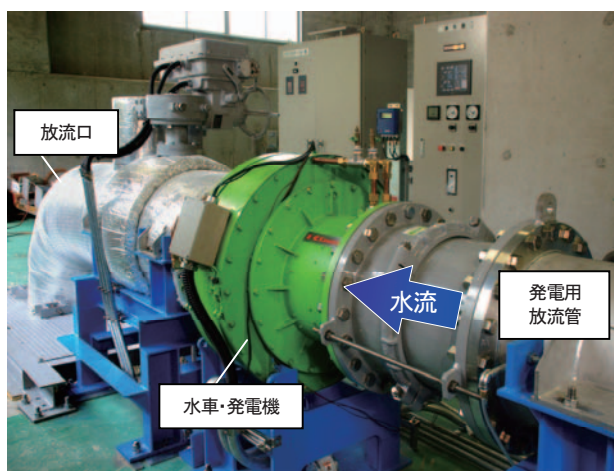


図5 実証試験装置

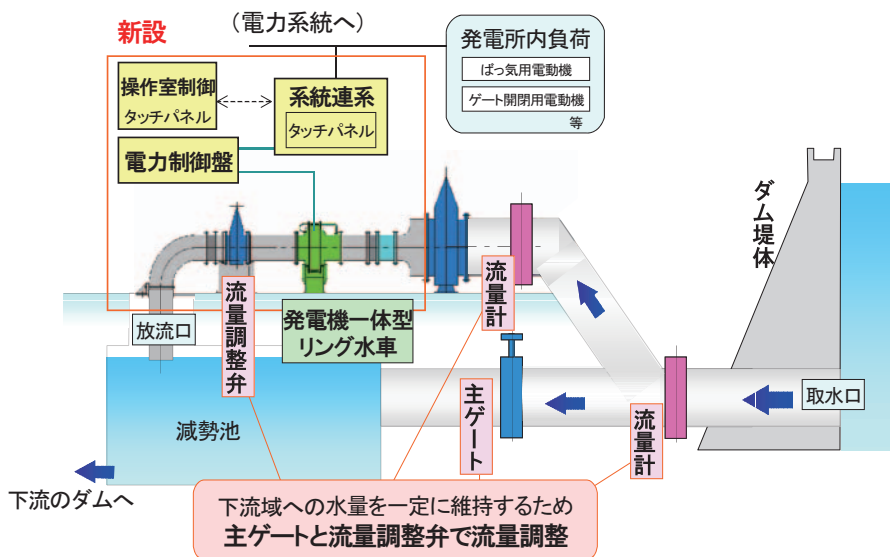


図6 実証試験装置

特集：再生可能な自然エネルギー利用の現状

## ソーラー吸収冷温水機

浅沼 俊浩\*1

ASANUMA Toshihiro

キーワード：吸収冷温水機，ソーラー，太陽熱，再生可能エネルギー，CO<sub>2</sub>排出量

### 1. はじめに

吸収冷温水機は、少ない消費電力で冷房用の冷水を取り出せることから、冷房需要による夏場の消費電力を抑えるために有効な冷暖房熱源機器である。

一方、業務用の最終エネルギー消費量の約3分の1を占める冷房・暖房空調用のエネルギーを低減するために再生可能な自然エネルギーの1つである太陽熱を利用した空調システムの普及拡大が期待されており、太陽熱を冷房に利用する手段として吸収冷温水機の必要性が高まることが予想される。

本稿では、季節や天候に左右される太陽熱を可能な限り有効利用することを目的に製品化したソーラー吸収冷温水機を紹介する。

### 2. ソーラー吸収冷温水機の概要

ソーラー吸収冷温水機は、コージェネレーション排熱を熱回収し冷房に利用することが可能な排熱投入型吸収冷温水機（超省エネルギー型ジェネリンク）をベース機とし、ガス単独運転でのCOP1.5（定格運転時、低位発熱量基準値）はそのままに、太陽熱を優先利用し、かつ太陽熱集熱器の集熱効率を向上させるためにソーラー温水をできるだけ低い温度まで回収するというコンセプトで開発した。

太陽熱を優先利用することでガスの消費量を25%削減し（定格運転時、ソーラー温水入口温度90℃の場合）、また、雨天時や夜間の運転など太陽熱が不足する運転においてガスのバックアップによる高効率運転をすることで、省エネルギー、省CO<sub>2</sub>が図れる。

### 3. ソーラー吸収冷温水機の特徴

#### 3.1 高効率化の技術について

ソーラー吸収冷温水機は、COP1.5（定格運転時、低位発熱量基準値）のガス吸収冷温水機の技術を継承し、排温水再生器、排温水熱交換器、温水三方弁およびこれらを制御する機能を付加した構成である。図1にソーラー吸収冷温水機の外観を示す。蒸発器と吸収器をそれ

ぞれ上下に2個ずつ配置した「二段蒸発吸収サイクル」やプレート式の「高性能溶液熱交換器」などの採用が、高効率化に寄与している。

図2に「二段蒸発吸収サイクル」を示す。蒸発器と吸収器を二段とし、吸収器から出る吸収溶液を従来よりも低濃度とすることで、サイクル全体の溶液循環量を低減し、放熱ロスや高温再生器で加熱する熱を減少させサイクルの高効率化を図っている。

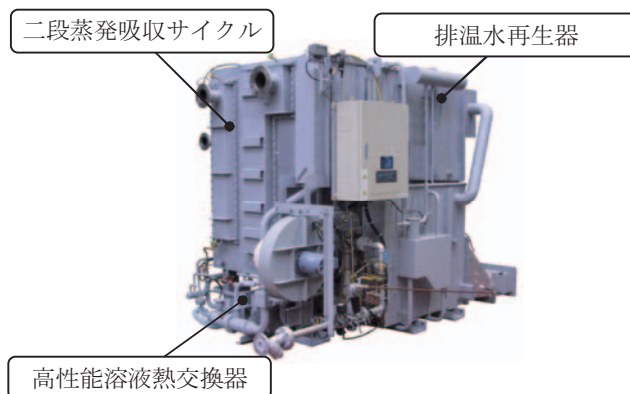


図1 ソーラー吸収冷温水機の外観

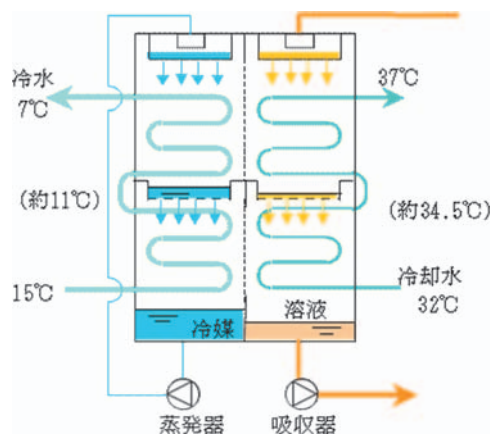


図2 二段蒸発吸収サイクル

#### 3.2 熱回収技術について

図4のサイクルフロー図に示すように、ソーラー吸収冷温水機ではソーラー温水を稀溶液に顕熱回収する排温

原稿受付 2011年7月21日

\*1 日立アプライアンス(株) 大型冷熱営業統括部  
〒105-0022 港区海岸1-16-1

水熱交換器と、潜熱回収する排温水再生器の2箇所で熱回収する構造とし熱回収量を増加させた。

排温水再生器は、従来の滴液型再生器と比較して伝熱性能がよい流下液膜型を採用した。従来との構造の比較を図3に示す。排温水再生器は低温再生器と一体構造とし、まずソーラー温水が通水される排温水再生器の伝熱管上へ溶液を散布し加熱濃縮した後、下部に配置した低温再生器伝熱管へ流下させ2段階で濃縮させる。

また、図5に示すように排温水再生器を低温再生器と

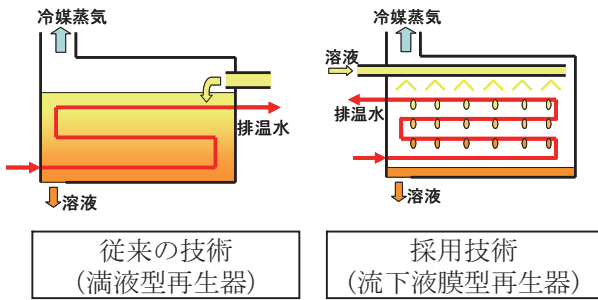


図3 排温水再生器の構造比較

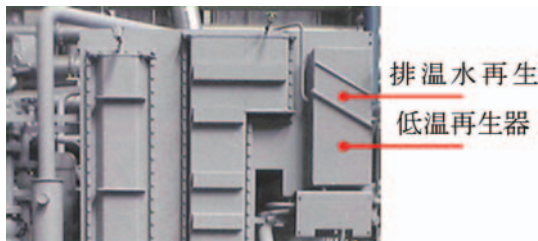


図5 排温水再生器

一体構造としたことで、本体の寸法をほぼベース機と同一とすることができ省スペース化を実現した。

図6に屋外仕様120RTソーラー吸収冷温水機 (HAU-BGN120EXJO) の外観写真を示す。

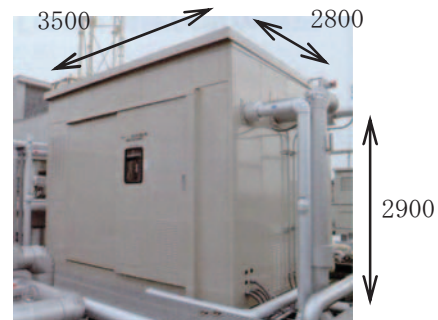


図6 HAU-BGN120EXJO 外観図

### 3.3 熱回収量特性について

図7にガス消費量特性、図8に太陽熱回収量特性を示す。定格運転時において、ソーラー温水入口温度90℃ではガスを25%削減し、ソーラー温水温度が75℃と低い条件においても熱回収が可能である。また、冷房負荷が少ないほど排熱回収量が増大し、低負荷の領域ではガスによるバックアップ運転無しのソーラー温水単独運転が可能である。

### 3.4 太陽熱の低温度利用

太陽熱集熱器の集熱効率を向上させるためには、ソーラー温水をできるだけ低い温度まで熱利用することが有効である。吸収冷温水機は、冷房負荷が少ないほど内部

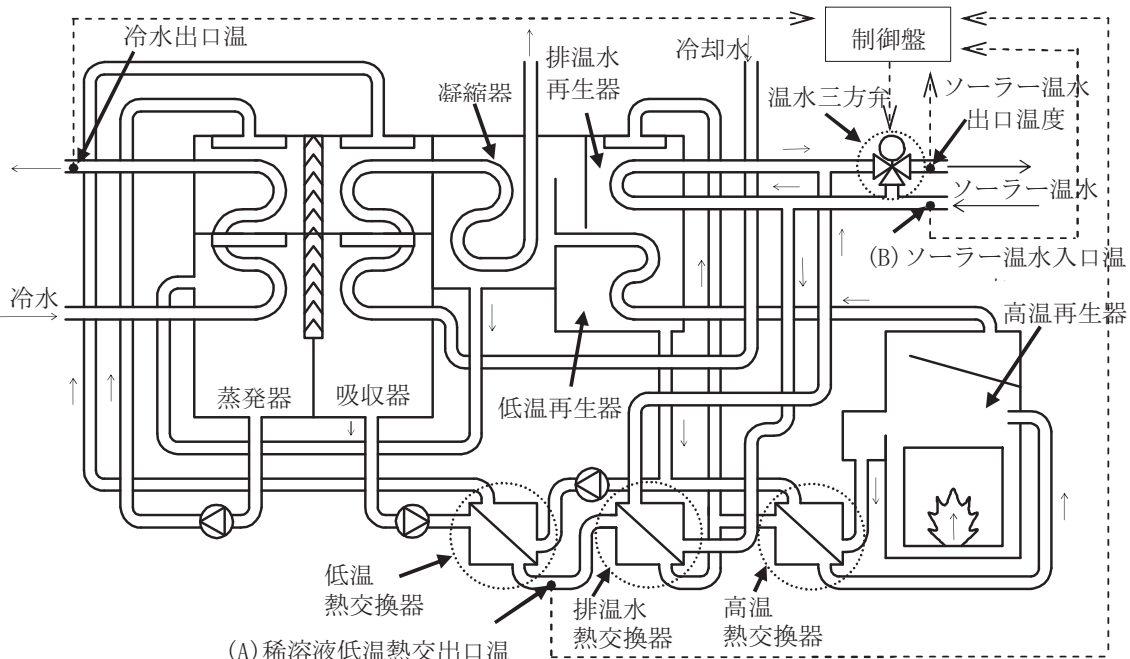


図4 ソーラー吸収冷温水機の冷房サイクルフロー図

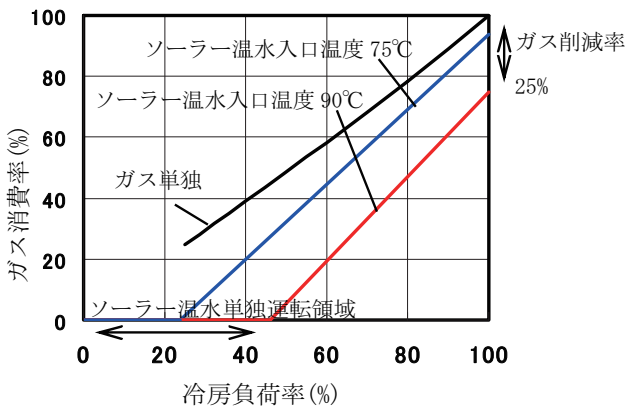


図7 ガス消費量特性

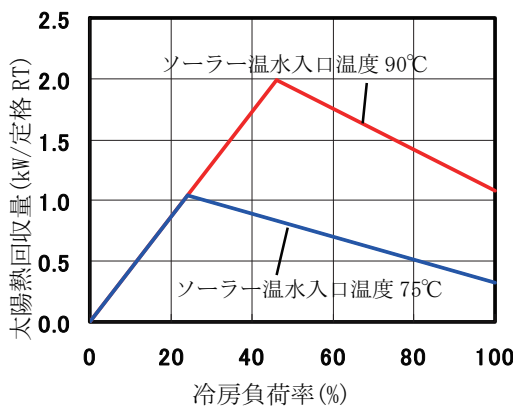


図8 太陽熱回収量特性

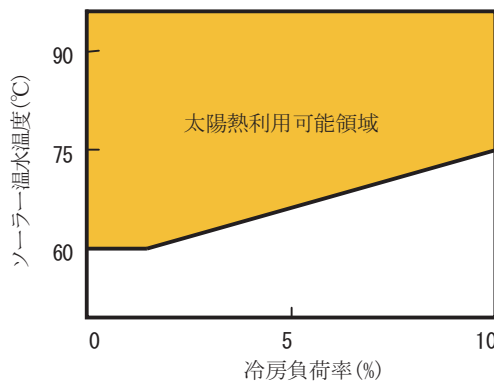


図9 太陽熱利用可能領域

を循環する溶液の温度が低いという特性がある。この特性を最大限活用するためソーラー温水の受け入れ温度をソーラー吸収冷温水機の運転状態により変化させる制御を採用した。図4のサイクルフロー図に示す(A)稀溶液低温熱交換器出口温度と(B)ソーラー温水入口温度を常時比較演算し、(A) < (B)の場合はソーラー温水受け入れ可能と判断し、これに冷水出口温度などを加味した条件で温水三方弁を制御する。この制御により図9に示すように冷房負荷率が少ないほど、ソーラー温水温度が低い領域まで太陽熱を利用することが可能となった。

### 3.5 太陽熱の優先利用

ソーラー吸収冷温水機においては、日射が有り太陽熱が利用可能な条件では、太陽熱を優先して利用する。負荷が大きい運転や、雨天時や夜間の運転など太陽熱が不足する運転においては、自動でガスによるバックアップ運転となり太陽熱を無駄なく利用することができる。また、冷房負荷が0近傍の領域においても太陽熱単独運転が可能であり、日射量および冷房負荷が少ない季節においても太陽熱単独運転による太陽熱の有効利用が可能である。図10に太陽熱の優先利用の概念図を示す。

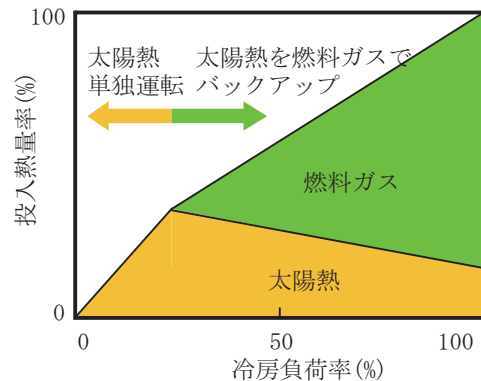


図10 太陽熱の優先利用

### 4. 実機における運転状況

図11に実機における代表日の運転データを示す。表1に機器の主な仕様を示す。

太陽熱回収量は時間帯によって変動し、ソーラー温水温度は60°C前後で推移しているが、この状態でソーラー吸収冷温水機で太陽熱を回収できていることがわかる。また、ガスによる追焚き運転により冷房能力は安定し、冷水出口温度においても1日を通して安定している。

図12に別の代表日における運転データを示す。集熱器取得熱量が多い時間帯ではソーラー温水単独運転を行い、少ない時間帯にはガスによる追焚き運転がおこなわれていることがわかる。

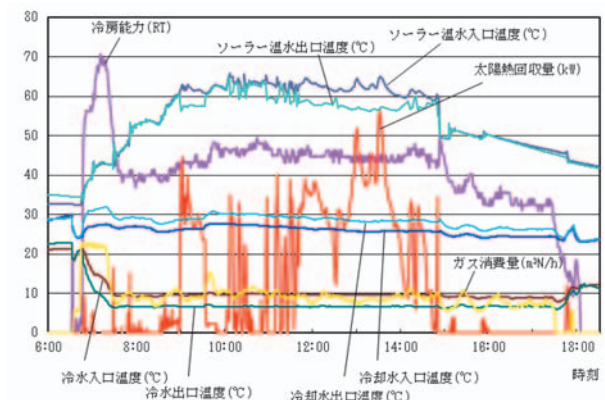


図11 実機における代表日の運転データ(1)

表1 機器仕様

型式	HAU-BGN120EXAJO
冷房能力	422kW (120RT)
冷水温度	15⇒7℃
定格冷房COP (低位発熱量基準)	1.5 <太陽熱なしガス焚単独> 1.85 <太陽熱ピーク集熱時>
太陽熱回収量	100kW <ピーク集熱時>

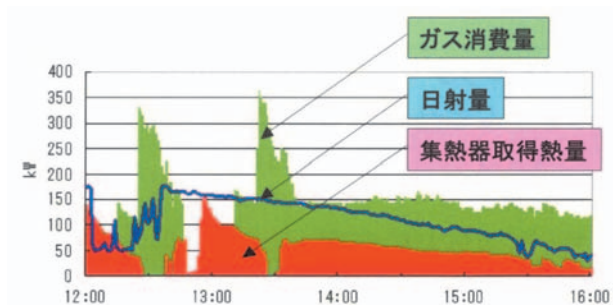


図12 実機における代表日の運転データ(2)

## 5. ソーラー吸収冷温水機導入による効果試算

### 5.1 試算条件

ソーラー吸収冷温水機の導入による消費電力，省エネルギー性，環境保全性について試算を行った。

一般ビル用への設備導入を想定し，比較対象は空冷ヒートポンプ式モジュールチラーユニット，太陽熱設備なしのガス吸収冷温水機およびソーラー吸収冷温水機とした。試算条件を下記に示す。

- (1)冷房能力：422kW (120RT)，暖房337kW
- (2)年間運転時間：冷房1800時間，暖房1800時間
- (3)平均負荷率：60%
- (4)太陽熱回収量：130kW (ピーク集熱時)
- (5)試算範囲：熱源機，冷水ポンプ，冷却水ポンプ，冷却塔ファン，集熱ポンプ

### 5.2 消費電力

図13に消費電力が最大となる冷房定格運転の消費電力の比較を示す。空冷ヒートポンプに比較しソーラー吸収冷温水機の消費電力は，ほぼ4分の1であり，真夏の電力負荷平準化に効果が大きいことがわかる。

### 5.3 1次エネルギー消費量

年間1次エネルギー消費量の試算結果を図14に示す。

ガス吸収冷温水機の年間1次エネルギー消費量が他に比べて大きく，空冷ヒートポンプとソーラー吸収冷温水機は，ほぼ同じという試算結果となった。

### 5.4 CO<sub>2</sub>排出量

年間CO<sub>2</sub>排出量の試算結果を図15に示す。ガス吸収冷温水機のCO<sub>2</sub>排出量が最も大きく，ソーラー吸収冷温水

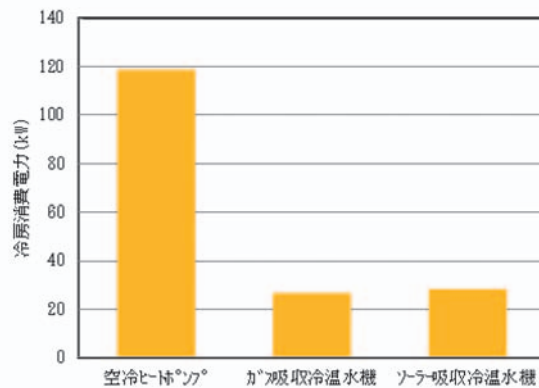


図13 消費電力

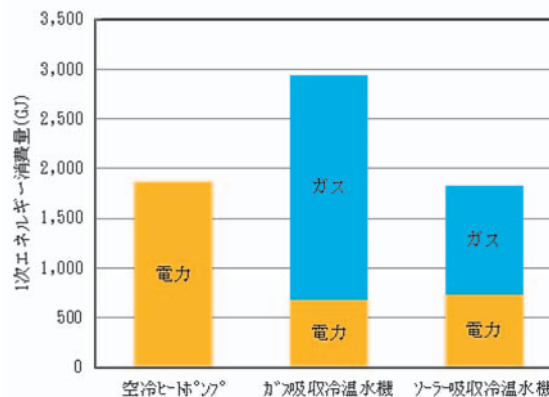
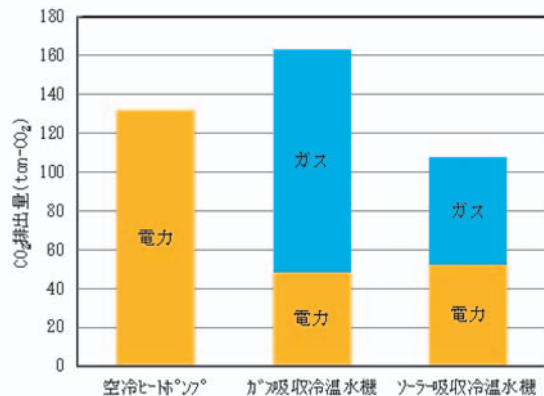


図14 年間1次エネルギー消費量



CO<sub>2</sub>排出量原単位：電力0.69 (kg-CO<sub>2</sub>/kWh)，13A ガス2.99 (kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>N)

図15 年間CO<sub>2</sub>排出量

機は空冷ヒートポンプに対し約20%少ない試算結果となった。

## 6. 製品仕様

表2にソーラー吸収冷温水機の基本仕様を示す。冷房能力422kW～3,516kWの17機種をラインナップした。

## 7. おわりに

再生可能エネルギーである太陽熱を空調に利用するソーラー吸収冷温水機は，消費電力の低減，省CO<sub>2</sub>，に有効である。

表2 ソーラー吸収冷温水機の基本仕様

型 式	HAU-BGN120EXAJ ~ 1000EXAJの17機種	
冷房能力	422kW (120RT) ~ 3.516kW (1,000RT)	
暖房能力	337kW ~ 2,280kW	
冷 水	温 度	15.0℃ - 7.0℃
	流 量	0.378m <sup>3</sup> /h・定格RT
冷 却 水	温 度	32.0℃ - 37.4℃
	流 量	1.0m <sup>3</sup> /h・定格RT
温 水	温 度	60℃ (出口)
	流 量	0.378m <sup>3</sup> /h・定格RT
ソーラー 温 水	温 度	90℃ - 80℃ (下限75℃)
	流 量	0.096m <sup>3</sup> /h・定格RT
	回収熱量	1.08kW/定格RT
燃 料 (13Aガス)	冷 房 (ソーラー利用有)	0.1563m <sup>3</sup> N/h・定格RT
	冷 房 (ソーラー利用無)	0.2085m <sup>3</sup> N/h・定格RT
	暖 房 (ソーラー利用無)	0.091m <sup>3</sup> N/h・定格kW

## ■ソーラー温水入口温度75℃条件

冷 却 水	温 度	31.0℃ - 36.1℃
ソーラー 温 水	温 度	75℃ - 72℃
	回収熱量	0.325kW/定格RT
燃 料 (13Aガス)	冷 房 (ソーラー利用有)	0.1953m <sup>3</sup> N/h・定格RT

今後も太陽熱利用システムなどの再生可能エネルギー利用の普及拡大が見込まれており、さらに高効率で熱の有効利用が可能な製品を提供していきたい。

## 参考文献

- (1) 本間立, クリーンエネルギー vol20 No.3 (2011), pp1-4.
- (2) 本間立他, 「高効率ソーラークーリングシステムの検証・実証」, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, 第2009巻, 第3号, pp1759-1762.
- (3) 浅沼俊浩, クリーンエネルギー vol20 No.3 (2011), pp15-18.



特集：再生可能な自然エネルギー利用の現状

## 太陽熱複合発電について

奥 幸之介\*<sup>1</sup>  
OKU Kounosuke

キーワード：太陽熱発電, CSP, Solar Thermal

### はじめに

世界的な温暖化対策への要求の高まりの中で再生可能エネルギーへの期待は今までに大きくものとなっている。中でも太陽熱発電（CSP：Concentrating Solar Power）は従来の火力発電の技術や設備が適用できること、蓄熱による安価な発電量平準化が可能で、及び高温化、大型化による効率向上の余地があることから、ベース電力の代替手段としてサンベルト地域を中心とした太陽熱リッチ諸国から大きな注目を浴びている。

ヨーロッパではスペイン、ドイツが中心となり、北アフリカや中東の広大な土地を利用して大規模なCSP発電所を建設・運営し、高電圧直流給電（HVDC：High Voltage Direct Current）や海底送電技術を駆使して欧州に送電し、EU電力需要の15%（2050年時点）をまかなうDESERTECという壮大な計画をスタートさせている。また、米国では中西部の恵まれた直達日射量（DNI：Direct Normal Irradiance）を生かした100MWクラスの太陽熱発電所計画が数多く計画されている。

日本においても2009年に日本製のCSP集光装置が初めてU.A.E国アブダビに設置され（図1）新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の再生可能エネルギー



図1 アブダビMASDARシティ内のCSP実験装置 提供：三井造船

原稿受付 2011年8月22日

\*1 三井造船株式会社機械・システム事業本部 事業開発部  
〒103-0027 中央区日本橋1-3-16

技術白書に今後の有望技術としてCSPが紹介されるなど、この技術に対する産官学の期待は高まっている。

### 1. CSP市場の成長に向けて

米国のEmerging Energy Research社によると2015年の年間CSP設置容量は1500～2000MW、市場は6000～9000億円に拡大するとされている。しかし2009年のリーマンショックに端を発した世界的な景気悪化により、各国の再生可能エネルギーに対するインセンティブが低下したことから、欧米の光電池（PV：Photo Voltaic）ビジネスへの意欲が低迷し、CSPのプロジェクト進捗への影響も心配されている。一方CSPの設備費用は年々低下して、発電単価は25～30円/kWhの水準にあると言われているがGRID PARITYと言われる7～8円/kWhとはまだ大きな隔りがあり、今後期待された市場規模に成長してゆくには更なる技術革新とコストダウンが必要である。中でもISCCの技術は旺盛な電力需要と安価な化石燃料入手経路を持った国が再生可能エネルギーに早期に移行するための最も効果がある手法として、中東・北アフリカ諸国や米国、豪で、多くのプロジェクトが計画されている。

当社は2009年に上述のアブダビCSP実験のEPC（Engineering, Procurement and Construction）工事を完成させると同時に、同国にて集光設備、集熱プラントの共同実験を実施した。また、ISCCに関しては、2010年にインドのGUJARAT州において既設のガスタービンコンバインドサイクル（GTCC：Gas Turbine Combined Cycle）と組み合わせたISCCの実現可能性のプレF/Sを日本貿易振興機構（JETRO：Japan External Trade Organization）から受託し実施した。またその後、新設GTCCと組み合わせたISCCに関してチュニジア国でのNEDO実証試験のF/Sを受託し、現在様々な調査・検討を行っている。（図2、図3参照）

### 2. CSPの種類と特徴

図4に各CSPの方式を分類した。各方式はそれぞれ特徴がある。歴史が古く実績があることからトラフ型のシェアが圧倒的に多いが、熱媒に合成油を使う事から蒸気温度が400℃以下となり、効率が上がらない事が欠点

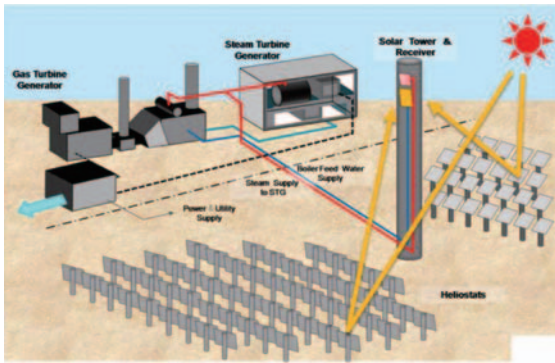


図2 チュニジアNEDO実証試験設備の概念図。右側の集光集熱設備（5MWe相当の蒸気を供給）を建設予定。パワープラント以降はチュニジア側所掌

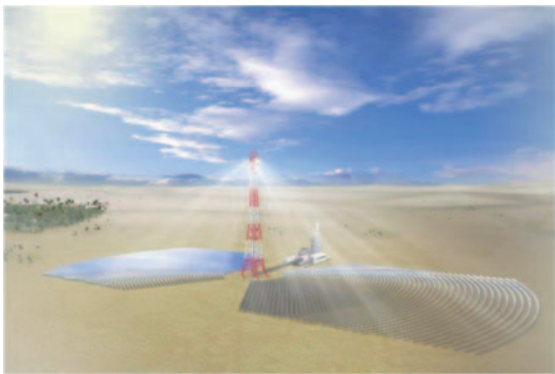


図3 チュニジアNEDO実証試験設備の完成予想図

であり、最近では合成油の代わりに集熱管に水や熔融塩を流す実験が欧米で始まっている。フレネル型はトラフ型の面積効率や耐風性を向上しコストを下げるために開発された方式で、通常熱媒には水が使われる。蒸気の昇温や安定が難しいとされているが、最近多くのベンダーが参入し、開発をしている。

タワー型は中央に位置するタワー部のレシーバという極めて狭い範囲に集光集熱するので、熱媒管理が簡単で昇温が容易という特徴を持つ。しかし数千基以上になる反射鏡（ヘリオスタット）を精巧にかつ安価に製作し、制御・運転することが要求される。

現状運転されているISCCではすべてその実績からトラフ型の集光装置（熱媒は合成油）が採用されているが、当社では、このタワー型CSPをISCCに組み込むことを計画している。

2.1 タワー型CSPプラントの特徴

タワー型CSP（スタンドアローン）の概念図を図5に示す。集光部は、ヘリオスタットとタワーで構成され、タワー上部にはスチームドラム、エバポレーター、スーパーヒーターからなるレシーバーが設置される。ヘリオスタットにより太陽光をレシーバーに集光させ、高温・高圧の蒸気を得、これを蒸気タービン発電機に導入し発電を行う。DNIにより発電量は変動し夜間は発電出来ないで日々運転・停止を行うDSS運転（Daily Start & Stop）となり、基本的に運転は日中の電力需要増に対応するためのピークカット対応となる。（図6）また日中時以外の稼働要望がある場合や、急な曇天への対応のために、一般的に、ある程度の補助ボイラーや蓄熱システムの導入が望まれる。

2.2 タワー型CSPによるISCC発電プラントの特徴

図7にGTCCにCSPを付加したISCCプラントの概念図を示す。GTCCプラントに設置された脱気器の後流（A部）において純水をCSPプラントへ分岐・導入し、タワー上部のレシーバーにおいてHRSGから排出される蒸気と同条件の蒸気を発生させ、蒸気タービン入口（B部）において排熱回収ボイラ（HRSG：Heat Recovery Steam Generator）からの蒸気と混合し、蒸気タービンにより発電する。CSP側としては、DNI変動に対する補償が得られる事や、蒸気タービン・発電機・受送電設備他をGTCCと共有することによるコストダウンメリットが得られる。GTCC側としては太陽熱相当の燃料費・CO<sub>2</sub>排出量の削減を図れることや、日中の気温上昇による出力減少を補える他、日中電力のピーク対策をCSPに期待できるというメリットがある。（図8）



図4 CSPの各方式

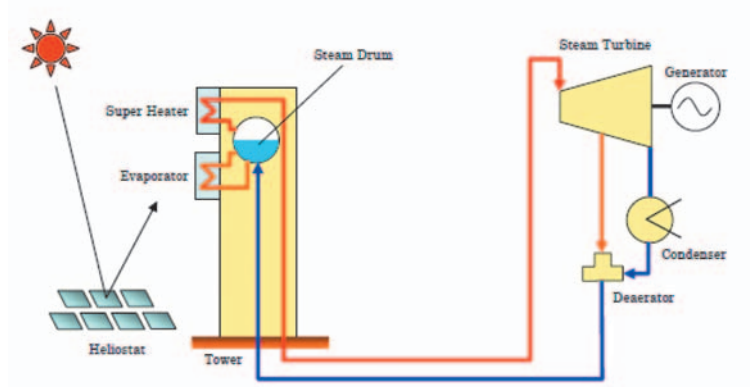


図5 タワー型CSP（スタンドアロン）の概念図

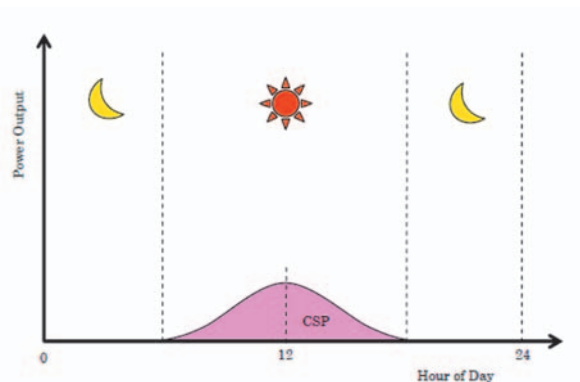


図6 タワー型CSP（スタンドアロン。大規模蓄熱無し）の運転要領。南中時近辺に電力需要のMAXがある場合、ピークカット可能

### 3. 今後のISCC普及への課題

前述の如く、ISCCはCSPの持つ“直射日照次第”という不確定要因を解消し、タービン・発電電系の兼用によりコスト優位性を発揮するという、優れた技術であるが、下記の如く改善解決すべき問題も存在する。

- ①発電所隣接地に広大で平坦なスペースを必要とすること。
- ②ISCCの蒸気タービン出力のうち、構造・運転上、ある出力比率分の蒸気しかCSP側から受け入れる事ができないこと。表1に現状（一部計画中）ISCCプロジェクトの容量とCSPの寄与率を示すが、数%から多くても20%以下である。
- ④CSPで発生した蒸気とGTCC側の蒸気条件（温度・圧力等）を合わせるために両システムに様々な追加

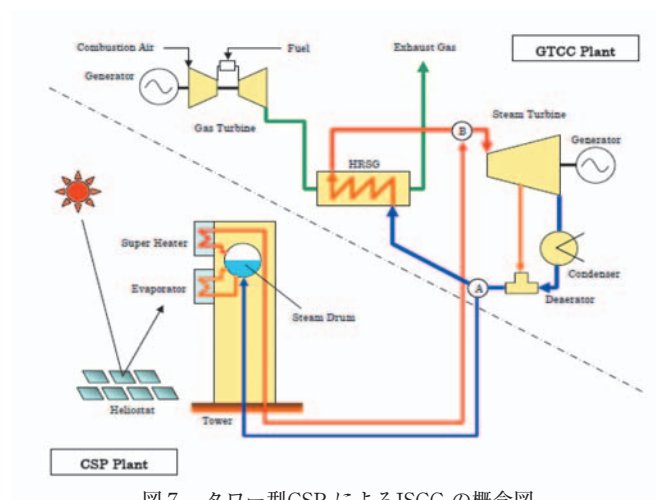


図7 タワー型CSPによるISCCの概念図

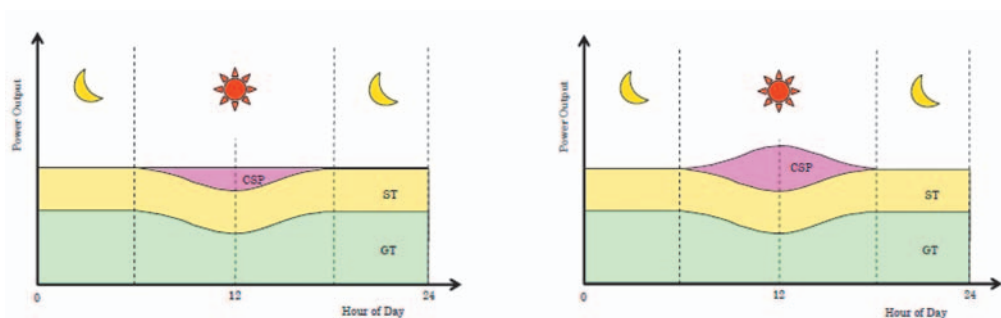


図8 タワー型CSPによるISCCの運転要領。左：ガスタービン出力の昼間落込の平準化 右：ピークカット

表1 世界各国のISCC及び出力（各プロジェクト報より）

Project	Location	CSP方式	プラント出力	うちCSP寄与	CSP比率
Kureimat	エジプト	トラフ	140MWe	20MWe	14%
Hassi R`Mel	アルジェリア	トラフ	130MWe	25MWe	19%
Ain Ben Mathar	モロッコ	トラフ	472MWe	20MWe	4%
Victoville	米国（計画中）	トラフ	563MWe	50MWe	9%

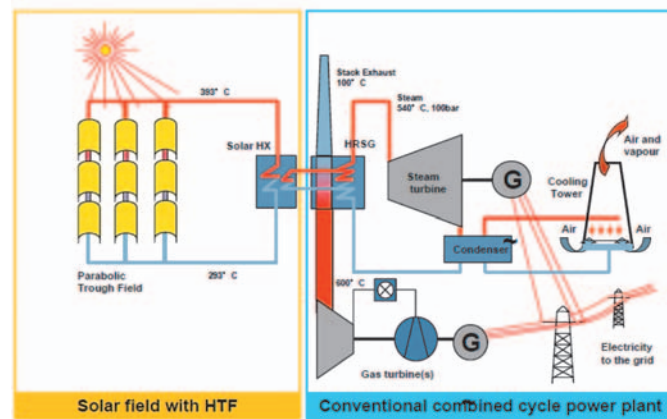


図9 エジプトKreimatのISCCの概念図出典：Solar Milleniums社Solar Thermal Power Plants -Firm Capacity with 100% Renewables2009年6月

措置が必要となること。

- ⑤FITが設定された国において、ISCCにおけるCSPの蒸気としての寄与部分を正確に切りだして電気料金としての固定価格買取制度（FIT：Feed-in Tariff）を適用してもらう事が難しいこと。

図9はエジプトのKureimatのISCCの概念図である。ここでは熱媒の393℃の合成油とGTCC側のHRSGの600℃～100℃までの温度域とで熱交換をしている。

図10はCSPで製造される蒸気の温度によるGTCC側のフローの変化を示すものでベクテルが発表したものである。

通常トラフ型CSPで発生できる蒸気温度は380℃程度、フレネル型ではそれ以下、タワー型では500数十℃まで昇温可能である。

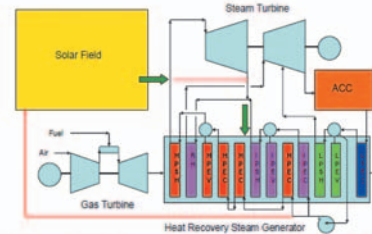
つまり図は上からフレネル型、トラフ型、タワー型のISCCを示していると言える。

フレネル型やトラフ型ではCSPから供給された蒸気をHRSGの内部に貫流させ、所定の温度・圧力に上げた後に蒸気タービンに投入する。タワー型では所定の温度・圧力の蒸気を得られればHRSGを経ず直接蒸気タービンに投入できるのでシステムが著しく簡素になる。特に既存GTCCにCSPを付加する場合は有利である。

ISCCシステムの技術に関しては、CSP,GTCCの最も効率的な熱交換手法、急な曇天時の制御方法など、今後の改善・改良が期待される要素が多々あり、CSPベンダーとパワープラントベンダーの協力による開発が期待されている。（以上）

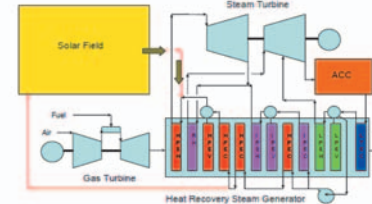
**ISCC for Low Temperature**

Solar Field Generated Steam Goes to Cold Reheat Line



**ISCC for Medium Temperature ~716 °F (380 °C)**

Solar Field Generated Steam Goes to HP Superheater



**ISCC for High Temperature ~1022 °F (550 °C)**

Solar Field Steam Generation Close to Main Steam Conditions

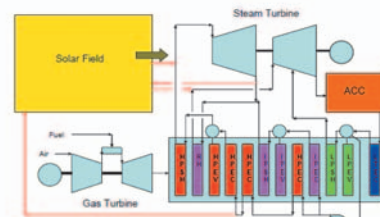


図10 CSPの方式によるISCCの運転要領。出典ベクテル社olarpower In ternational-09 プレゼン資料 Hybrid Solar and Fossil Power Generation

特集：再生可能な自然エネルギー利用の現状

## 太陽熱利用ガス温水システム『SOLAMO』の開発

常木 達也\*<sup>1</sup>  
TSUNEKI Tatsuya馬淵 はるか\*<sup>2</sup>  
MABUCHI Haruka

キーワード：太陽熱，SOLAMO，ガス，給湯，暖房

## 1. はじめに

昨今、低炭素社会の実現に向け、国や都をはじめとする自治体が再生可能エネルギーの普及促進を加速しており、ガス業界においても「再生可能エネルギーとガスとの融合」という大きなテーマに取り組んでいる。太陽エネルギーは枯渇することがなくCO<sub>2</sub>を排出しないエネルギーであり、地球温暖化対策として積極的に利用していくことが求められている。中でも太陽熱はエネルギー変換効率が40%以上と高く（太陽光発電は十数%程度）、給湯や暖房、空調の熱として利用することに適している。太陽熱利用機器は、1970年代の原油価格高騰をきっかけに注目され始め、1980年には全国で年間約80万台も設置されるまでに市場は成長したが、ここ数年は数万台の規模に留まっている。省エネ機運が高まっている中で、これほど有用なエネルギーの利用を絶やしてはならないと考えており、太陽熱利用機器のイメージ新とガス機器の先進性、太陽熱とガスとの相性をアピールすべく、東京ガス、大阪ガスは給湯や暖房の熱需要の一部を太陽熱で賄える太陽熱利用ガス温水システム『SOLAMO』を開発した。『SOLAMO』は「空のエネルギーもガスがもっと活かしていく」との想いから名付けられたものである。ガス会社間で互いに連携を取りながら開発を推進し、東京ガスが2010年1月と10月に戸建用システム（それぞれ長府製作所、ノーリツ製）、同年2月に新築集合住宅用バルコニー設置型システム（矢崎総業、三協立山アルミ、リンナイ、ガスターの5社共同開発）、同年6月に小規模業務用システム（ノーリツ）を、また大阪ガスが同年5月に戸建用システム（高木産業）を発売した。

家庭用のシステムには、潜熱回収型高効率給湯器「エコジョーズ」を搭載した。エコジョーズは、従来の給湯器で排出されていた200℃以上の燃焼ガスを有効利用し、これまで80%程度が限界だった給湯熱効率を約95%にまで向上させた高効率給湯器である。給水をバーナーで加熱する前段で、200℃程度の燃焼ガスと予め熱交換させ、給水を予熱する。この時の排気温度は50～80℃程度で

あり、燃焼ガスの顕熱に加え、燃焼ガス中に含まれる水蒸気の潜熱を回収することにより、熱効率を大幅に向上させることが可能となる。太陽熱のみで温められたお湯を利用できる給湯モードを有しており、エコジョーズの効果と併せ、従来の給湯器に比べ、大幅にガス消費量及びCO<sub>2</sub>排出量を削減することができる。一方、業務用システムでは既設の業務用ガス給湯器ならびにボイラーへの接続を可能としている。いずれのシステムにおいても、天気の変動により熱が不足した場合には、ガス給湯器で補うため、いつでも快適にお湯を利用することができる。さらに、リモコンには太陽熱の利用状況が確認できる「太陽熱モニター」や、集熱中であることをリアルタイムに表示する集熱表示機能を搭載しており、利用者の方に太陽エネルギーを利用していることを実感していただきやすい作りとなっている。

システムは大きく分けて太陽熱を集める集熱器と、太

表1 長府製作所製戸建用システムの主な仕様

貯湯ユニット	貯湯タンク：200L（給湯回路） 補助熱源機：24号エコジョーズ 寸法：H1900mm×W440mm×D750mm
集熱器	平板式、約4m <sup>2</sup> （2m <sup>2</sup> ×2枚）
リモコン	太陽熱モニター機能付きエネルギーリモコン



図1 長府製作所製戸建用システムの外観写真

原稿受付 2011年7月14日

- \*1 東京ガス(株) 商品開発部  
〒116-0003 荒川区南千住3-13-1
- \*2 東京ガス(株) ソリューション技術部

陽熱を蓄え、給湯や暖房に利用する蓄熱（貯湯）ユニット、また、利用者とのインターフェースとなり温度設定等をおこなうリモコンから構成される。本稿では各システムの主な仕様と特長を紹介する。

## 2. 各システムの主な仕様と特長

### 2.1 長府製作所製戸建用システム

長府製作所製戸建用システムの主な仕様を表1に、また外観写真を図1に示した。本システムは一般的な戸建物件をターゲットとしている。集熱器面積を4m<sup>2</sup>、貯湯タンク容量を200Lとし、補助熱源機には24号のエコジョーズを搭載した。また、リモコンはデザイン性の高い太陽熱モニター機能付きエネルギーリモコンとし、2009年のグッドデザイン賞を受賞した。

図2には長府製作所製システムの回路構成を示した。集熱回路内は熱媒（主成分プロピレングリコール）が循環しており、集熱パネルで集めた熱を搬送し、タンク内部に組み込まれた熱交換器を介して貯湯タンクの水を加熱していく。タンク内で温められたお湯が設定温度以上だった場合、水と混合し設定温度にしてから給湯する。もちろん、その際にガスは使用しない。逆に設定温度以下だった場合には、ある程度予熱されたお湯を利用しつつ、熱として足りない分だけをガスで加熱し、同じく設定温度にしてから給湯する。利用者にとっては、これまでの給湯器の利便性や快適性を損なうことなく使用できるシステムとなっている。さらに、手洗いや食器洗いなどそれほど高温のお湯が必要でないシーンにおいては、「ecoゆ」ボタンを押すことにより、ガスを使わずに太陽熱だけで温められたお湯を利用することができる。暖房や風呂の追い焚きについては、従来どおりガスによる加熱をおこなう。

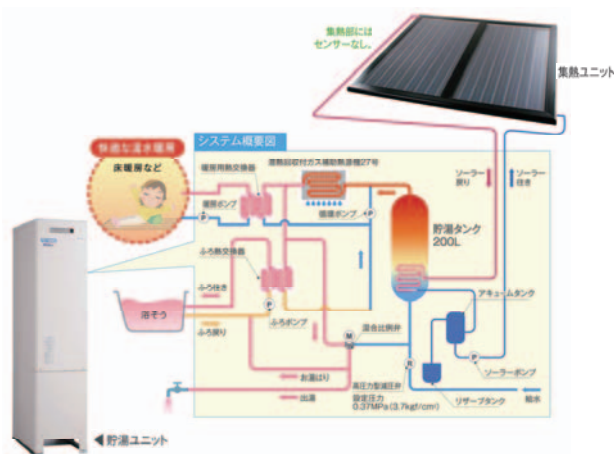


図2 長府製作所製戸建用システムの回路構成

本システムにおいては、標準的な4人家族を想定した場合、全給湯負荷の約45%を太陽熱で賄うことが可能である。また、従来のガス給湯器に比べ、約47%のCO<sub>2</sub>削減

効果が期待できる（集熱ポンプの消費電力を含む）。

リモコンのトップ画面には貯湯温度と貯湯量を表示し、現在どの程度のお湯が貯まっているかを利用者が見られる仕様とした。また、太陽熱モニター機能で太陽熱の利用状況を確認することができる。例えば、全給湯負荷の内、どの程度が太陽熱で賄われたかを示す太陽熱利用率や、本システムの設置により、どれだけガス使用量やCO<sub>2</sub>を削減できたかなどが確認できる。また、集熱中におけるリモコンのバックライト色の変化や先述の「ecoゆ」モードにより、利用者の方には今現在太陽エネルギーを集めている／使っているという喜びを与えることができるものと考えている。

戸建用のシステムでは全てのシステムにおいて集熱ポンプに循環量が可変のDCポンプを搭載し、集熱時の消費電力の低減を図っている他、熱媒蒸発量の少ない半密閉式の集熱回路を採用したことにより、10年間熱媒の補充や交換が不要となった。

### 2.2 高木産業製戸建用システム

高木産業製戸建用システムの主な仕様を表2に、また外観写真を図3に示した。

図4には高木産業製システムの回路構成を示した。本システムは貯湯ユニットの水路構成に高温水分配方式を採用しているため、前述のシステムとは異なり、太陽熱

表2 高木産業製戸建用システムの主な仕様

貯湯ユニット	貯湯タンク：開放式180L（暖房回路） 補助熱源機：24号エコジョーズ 寸法：H1910mm×W480mm×D780mm
集熱器	平板式、約4m <sup>2</sup> （2m <sup>2</sup> ×2枚）
リモコン	太陽熱モニター機能付きエネルギーリモコン



図3 高木産業製戸建用システムの外観写真

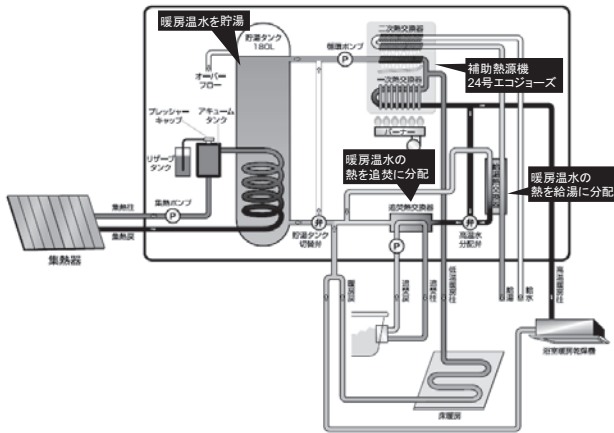


図4 高木産業製戸建用システムの回路構成

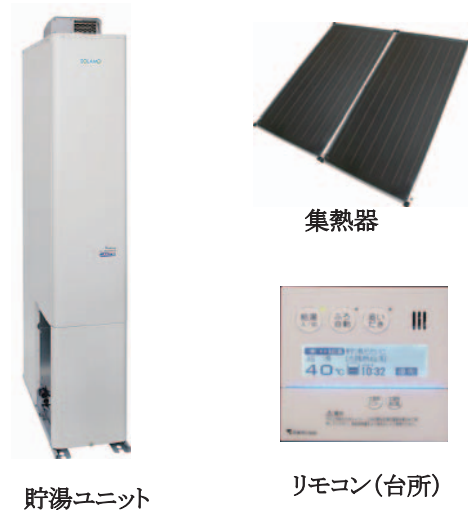


図5 ノーリツ製戸建用システムの外観写真

は暖房用温水として開放式の貯湯タンクに貯められる。  
 高温水分配方式とは、暖房用として作った温水を給湯熱交換器や風呂熱交換器（いずれも液液熱交換）に循環することによって、給湯や追い焚きを行う方式である。これにより、SOLAMOとして初めて、太陽熱の暖房への利用を実現した。また、貯湯タンクのお湯を各熱交換器に循環させることによって、太陽熱を給湯や追い焚きにも利用することができる。

本システムでは、太陽熱とガスを併用して給湯を行う際に、給湯は暖房用温水と熱交換される前に燃焼ガスの潜熱を回収するため、効率よく潜熱を回収できる。また、貯湯タンクが給水回路上に存在しないため、減圧弁やミキシングユニットが不要といったメリットを有している。

高木産業製システムのリモコン（台所用）もエネルギー機能に加え、太陽熱利用状況表示（太陽熱モニター機能）や太陽熱給湯モード（エコ機能）、貯湯量及び貯湯温度表示機能を搭載している。

2.3 ノーリツ製戸建用システム

ノーリツ製戸建用システムの主な仕様を表3に、また外観写真を図5に示した。

本システムも前述の2つのシステム同様、戸建物件をターゲットとしているが、特に都会の狭小地への設置を想定した仕様とした。貯湯タンク容量を90Lに小型化することで、貯湯ユニットの幅も300mmまで低減することに成功し、従来のサイズでは設置スペースを確保しにくかった物件にも導入しやすいサイズとした。また、2㎡や3㎡といった小面積の集熱器をラインナッ

表3 ノーリツ製戸建用システムの主な仕様

貯湯ユニット	貯湯タンク：90L（給湯回路） 補助熱源機：24号エコジョーズ 寸法：H1790mm×W300mm×D720mm
集熱器	平板式、約2.3、4㎡ (2㎡×2枚, 1㎡×2枚, 3枚, 4枚)
リモコン	太陽熱モニター機能付きエネルギーリモコン

プすることで、小さな屋根にも積載しやすいよう配慮した。さらに、集熱ポンプの揚程を高め、3階建ての屋根高さに相当する12m（機器底面から集熱器上端までの高さ）まで集熱器の設置高さの上限を引き上げた。これらの工夫により、都内に多く見られる狭小3階建て住宅へのSOLAMOの適用範囲を広げることができた。

本システムでタンクを小型化したのは設置性向上の他にもう一つ理由があり、それは太陽熱の床暖房利用量向上のためである。集熱器面積当たりのタンク容量比を小さくしたことにより、貯湯温度を高めることができるため、40～60℃程度の温度が必要な床暖房用途に対しても太陽熱をより多く利用することが可能となった。

図6にノーリツ製システムの回路構成を示した。タンクに蓄熱してから暖房に振り分ける高木産業製のシステムとは異なり、床暖房利用時にその熱を賄えるだけの日射があった場合には、熱媒と暖房用温水とを直接熱交換し、床暖房に利用できる。その間はタンクにお湯を貯めることはできないものの、暖房側から熱の要求がない時間帯は熱の搬送先をタンク側に切り替えるため、太陽

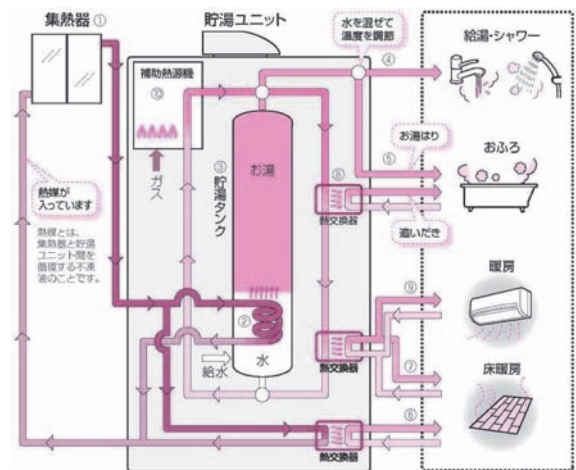


図6 ノーリツ製戸建用システムの回路構成

熱を余すことなく利用できる。なお、日射が少なく太陽熱だけでは床暖房に必要な熱量を賄い切れなかった場合には、不足分をガスでアシストするため、利用者にとってはこれまでと同様の利便性、快適性が得られる。冬場の晴天日に7時から23時まで床暖房を使用した場合（フローリング12畳，集熱器：南向き30°），全床暖房負荷の3割以上を太陽熱で賄える試験結果が得られた。さらに、日中数時間はガスを使用せずに床暖房が可能であった。このような点をアピールすることで、普段ガス代を気にして床暖房の利用を控えているお客さまなどに対し、利用してもらうきっかけとなり、床暖房の利用拡大に繋がるものと考えている。

さらに、一旦タンクに貯めた熱であっても、熱量が取れさえすれば、夜間の床暖房に自動的に利用するため、風呂利用がない日などにおける太陽熱利用機会の増大にも繋げられるものと考えている。

ノーリツ製システムのリモコンも前述のシステム同様、太陽熱モニター機能付きエネルックリモコンであるが、集熱中は前面のLEDランプが点灯する他、太陽熱モニター内で現在の集熱量が確認できる場所が特長的である。

#### 2.4 新築集合住宅用バルコニー設置型システム

新築集合住宅用バルコニー設置型システムの主な仕様を表4に、また外観イメージを図7示した。バルコニーのスペースと集合住宅に多い3人家族を想定し、貯湯タンク容量は100Lとした。写真（図7）では熱源機が貯湯ユニットと一体となっているが、分離して設置することも可能である。また、貯湯ユニットは集合住宅への適用に際し、耐震性能として1Gが要求されることから、耐震試験を実施するなどして固定方法を強化した。太陽熱は給湯のみに利用し、風呂や暖房はガスで賄うシステムとなっている。

表4 集合住宅用システムの主な仕様

貯湯ユニット	貯湯タンク：100L（給湯回路） 熱源機：24号エコジョーズを別途設置 寸法：H1900mm×W480mm×D400mm （貯湯ユニットのみの場合）
集熱ユニット	手すり組込み型，平板式（垂直設置） 約3m <sup>2</sup> （1m <sup>2</sup> ×3枚） 太陽電池付属（集熱ポンプ駆動用）
リモコン	太陽熱モニター付きタッチパネルリモコン

集熱器は建物外観との調和を目指し、バルコニーの手すりに組み込んだ。本システムの集熱ポンプ駆動電力は太陽電池で賄っており、集熱器の両端に配置することにより、フレームを細くすっきり見せることに成功した。また、配管用目隠し板を内蔵するなど、露出配管等により見栄えが落ちることのないよう配慮した。集熱部を取り外しても手すり機能を維持する他、バルコニーの内側



図7 集合住宅用システムの外観写真

で部品交換が可能となっており、メンテナンス面にも十分に配慮した。

リモコンには先進的なタッチパネル式を採用した。貯湯量や集熱中の表示に加え、トップ画面には累積CO<sub>2</sub>削減量を表示し、毎日の環境貢献の見える化に努めた。表示方法等についてはユーザビリティ評価を通じ、できるだけ分かりやすい表現を目指した。本システムでも太陽熱給湯モードを搭載しており、運転スイッチを切ることにより自動的に当該モードに切り替わる仕組みとなっている。集合用システムにおいては、標準的な3人家族を想定した場合、全給湯負荷の約16%を太陽熱で賄うことが可能であり、また、従来のガス給湯器に比べ、約29%のCO<sub>2</sub>を削減することができる。本システムは2010年のグッドデザイン賞を受賞した。

#### 2.5 小規模業務用システム

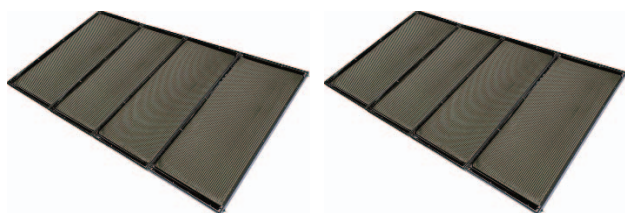
小規模業務用システムの主な仕様を表5、外観写真を図8、システムの回路構成を図9に示した。

従来の業務用システムは、集熱器面積・蓄熱槽容量を都度個別に設計・施工する必要があり、汎用性がないことで、業務用建物への太陽熱システム導入はコスト高となっていた。本システムは、業務用として初めて主要部品（蓄熱タンク，集熱ポンプ，リザーブタンク，混合弁制御）をパッケージ化することでコストダウンを図った

表5 小規模業務用システムの主な仕様

貯湯ユニット	蓄熱タンク：200L（給湯回路） 寸法：H1900mm×W450mm×D650mm
集熱器	平板式，約8，12，16m <sup>2</sup> （2m <sup>2</sup> ×4枚×1列，2m <sup>2</sup> ×2枚×2列）， （2m <sup>2</sup> ×3枚×2列），（2m <sup>2</sup> ×4枚×2列）
リモコン	太陽熱モニター 蓄熱ユニットリモコン





集熱器



蓄熱ユニット



太陽熱モニター

図8 小規模業務用システムの外観写真

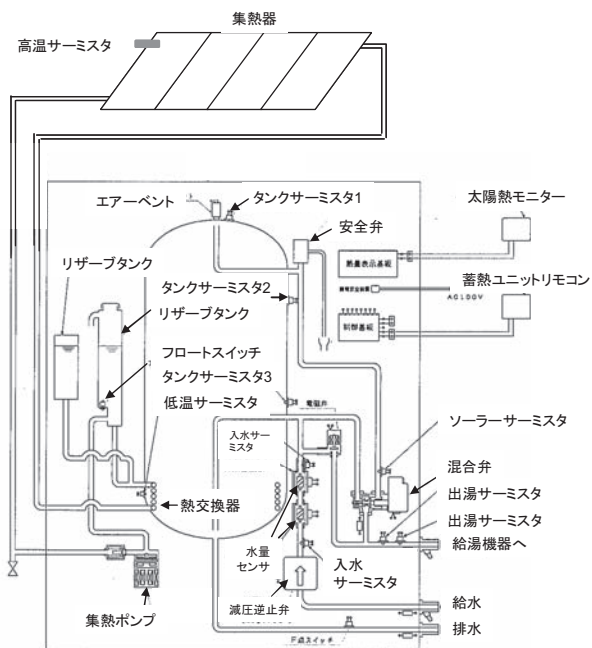


図9 小規模業務用システムの回路構成

製品である。

給湯需要が風呂やシャワーなど夜間に集中する家庭用システムに対し、業務用用途では日中も給湯負荷が多いという特徴がある。この特徴を活かしたシステムを設計すべく、業務用給湯負荷データを実測シミュレーションを行った。その結果、200Lという小型な蓄熱槽であっても過集熱は頻発せず、集熱効率も高くなるという計算結果を得た。これにより、集熱器面積1m<sup>2</sup>あたりの蓄熱槽容量としては、従来の50Lから12.5Lと1/4の小型化を実現し、設置性が大きく向上しコストダウンも可能となった。本システムの性能については、株式会社セブン&アイ・フードシステムズ様にご協力いただき、「デニーズ成城店」(東京都世田谷区)に試作機を設置し、2009年9月から実証試験を行った。その結果、2009年9月～2010年6月の期間において、集熱効率<sup>※1</sup>148% (日射量68,754MJ (集熱器面積16m<sup>2</sup>), 省エネ率<sup>※2</sup>29.3% (給湯負荷熱量317,519MJ) とシミュレーション結果と同等の性能を確認できた。

※1 集熱効率=集熱量/日射量×100

※2 省エネ率=一次エネルギー削減量/太陽熱導入前の一次エネルギー消費量×100 (集熱ポンプ消費電力含む)

一方、本システムの蓄熱ユニットでは熱源機を一体化しておらず、太陽熱が不足した場合には別に設置された熱源機により加熱する。蓄熱ユニットに内蔵された混合弁により給水と蓄熱槽内の温水をミキシングすることで、熱源機を安定的に温度制御できるため、既設の給湯器やボイラーと組み合わせ使用できるというメリットがある。また、集熱器面積は給湯負荷に応じて8, 12, 16m<sup>2</sup>から選択できる。さらに、家庭用システム同様、太陽熱モニターには太陽熱利用量、ガス削減量、CO<sub>2</sub>削減量を表示できる。本システムは日中に給湯負荷の多い業務用のお客さまであれば、給湯負荷にもよるが太陽熱の利用により全給湯需要のおよそ10～20%程度を賄うことが可能である。

### 3. おわりに

再生可能エネルギーとガスとの融合を目指し、太陽熱利用ガス温水システム『SOLAMO』を開発した。現在までのところ、家庭用では戸建用システムを3種類と新築集合住宅用システムを1種類、業務用は2種類(小規模向けおよび中規模向けシステム)が発売されており、今後もさらに特徴的な製品の拡充を図っていく予定である。

特集：再生可能な自然エネルギー利用の現状

## 再生可能エネルギー利用の概要

渡部 正治\*<sup>1</sup>  
WATABE Masaharu長沼 二巳\*<sup>2</sup>  
NAGANUMA Futami山内 康弘\*<sup>3</sup>  
YAMAUCHI Yasuhiro中谷 浩己\*<sup>4</sup>  
NAKATANI Hiromi

キーワード：再生可能エネルギー，風力，太陽光，太陽熱

## 1. はじめに

本年3月11日に発生した東日本大震災においては甚大な被害が発生し、その影響は現在も継続している。被災者の皆様に謹んで心よりお見舞い申し上げますと共に被災地の日も早い復興を心よりお祈り申し上げますものである。

この未曾有の災害を一つの契機として現在、国内では「エネルギー基本計画」の見直しが実施されているところであるが、その中でも、これまで以上に再生可能エネルギーへの期待が大きくなってきている。また、世界的にも化石燃料等の枯渇性資源の有効利用や地球温暖化等の一つの対応策として、再生可能エネルギーの利用拡大が進められている。

再生可能エネルギーの定義は国や機関により水力発電の規模やヒートポンプを含めるかどうか等、若干異なることがあるが、一般的には枯渇性資源である化石燃料や原子力と対比して、自然環境の中で繰り返し起こる現象から取り出すエネルギーとして位置付けられるものであり、具体的には、太陽光や太陽熱、水力、風力、バイオマス、地熱、波力、温度差などを利用した自然エネルギーと、廃棄物の焼却熱利用・発電などのリサイクルエネルギー等が該当する。

一般に再生可能エネルギーの特徴としては、自然界に広く存在し、資源としての制約が少なく将来にわたって安定した利用が期待でき、二酸化炭素など温室効果ガスの排出量が少なく環境に与える影響が小さいことがメリットとして挙げられる一方、エネルギー密度が低く、コスト高や不安定性等の問題がある。

以上のことから再生可能エネルギーは現在、低コスト化や性能向上などの取組がなされているが、本解説では

三菱重工が取り組んでいる太陽光、風車および太陽熱を中心とした再生可能エネルギーの動向について紹介する。

## 2. 再生可能エネルギーの動向

## 2.1 再生可能エネルギーのポテンシャル

再生可能エネルギーの種類には前述の通り太陽光、太陽熱のほか風力、波力、バイオマスなど様々な形態があるが、太陽光や太陽熱以外の再生可能エネルギーにおいても、根本的には太陽エネルギーによる大気循環や海洋の熱塩循環、さらに光合成の結果として生じているものであり、再生可能エネルギーの多くは太陽エネルギーが源となっている<sup>(1)</sup>。(図1参照)

図2は、地球に降り注ぐ太陽エネルギーの量を示したものである<sup>(2)</sup>。太陽から地球表面に到達する1年間のエネルギー量は約 $3.8 \times 10^{21}$ キロジュールに及ぶ膨大なものである。太陽光をエネルギーとして換算すると、約1時間足らずの照射で世界中の人が1年間に利用する全エネルギーを賄える量となる。

また、図3は資源の有限性の観点から、再生可能エネルギーのポテンシャルを示したものである。図に示すとおり産業革命以降から現在までのおよそ200年間に消費されたエネルギーは、石油換算で約3000億トンであるが、2100年までの今後100年間で消費されるエネルギー消費量は約2兆1000億トンと推定され、約7倍のエネルギー

図1 太陽エネルギーと再生可能エネルギーの関係<sup>(1)</sup>

原稿受付 2011年8月10日

\*1 三菱重工業(株) エネルギー・環境事業統括戦略室  
〒108-8215 港区港南2-16-5

\*2 三菱重工業(株) 風車事業部 企画・営業部

\*3 三菱重工業(株) 原動機事業本部 太陽電池部

\*4 三菱重工業(株) 原動機事業本部 新エネルギー事業部



図2 太陽エネルギーの規模<sup>(1)</sup>

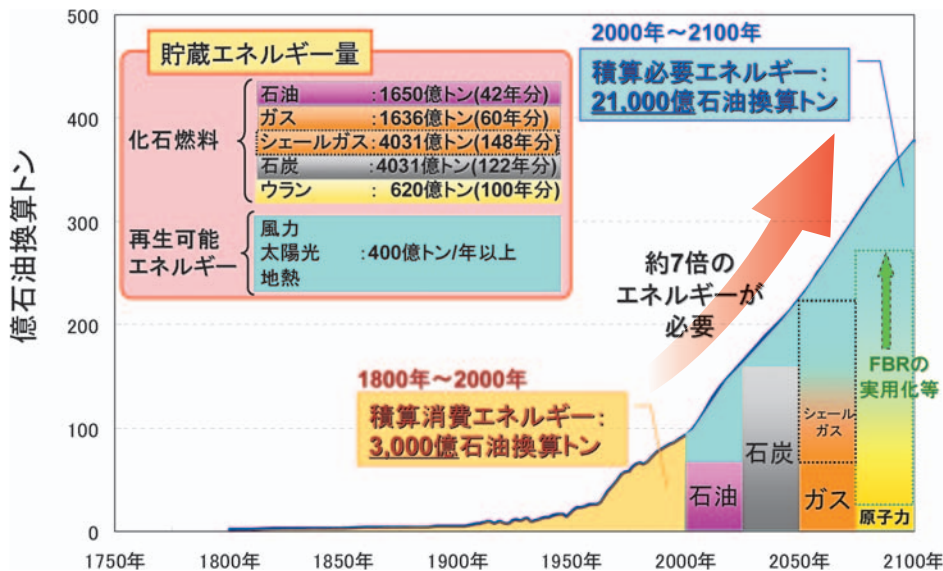


図3 全世界エネルギー消費予想と資源埋蔵量

消費されることになる。一方、図中には各種枯渇燃料において一般的に示されている埋蔵量を石油換算し、そのエネルギー総量を矩形の面積で示している。各種枯渇燃料の埋蔵量については今後、探査技術や採取技術の進展により埋蔵量が増える事が十分考えられるが、これらの面積全てを積んでも今後100年間のエネルギー消費を賄えない部分が生じる可能性が否定できない。一方、再生可能エネルギーは、毎年、縦軸でいうと400億トン程度のポテンシャルを有しており、再生可能エネルギーの活用が重要である事が分かる。

## 2.2 再生可能エネルギーの導入量予想

図4はIEAによる2030年までの全世界での再生可能エ

ネルギーの導入予測量（発電設備容量）を示したものである<sup>(2)</sup>。

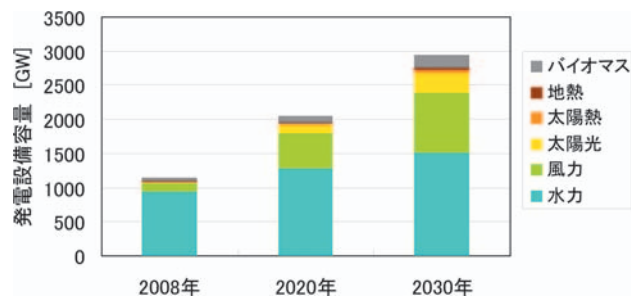


図4 再生可能エネルギーの導入予測量<sup>(2)</sup>

平均的には再生可能エネルギーは設備容量で今後、年間100GWの規模で増加すると捉えることができる。また、2030年までの再生可能エネルギーの導入量では水力の寄与が大きく2030年時点においても全体の約半分を占めているが、2008年からの伸び率で考えると風力および太陽光の伸びが大きい。また、太陽熱についても、再生可能エネルギーの中でも小さいものであるが、2008年時点で1GW程度であるものが2030年時点では約50GWと無視できないレベルまで増加することが予想されている。

これらの再生可能エネルギーの導入量増加の背景には各国が掲げている再生可能エネルギーの導入目標が関係している。表1にはEU、米国、中国および日本における再生可能エネルギーの導入目標を示す<sup>(3)</sup>。EUや中国では、2020年の再生可能エネルギーの導入目標値を政策として明確に定めているが、米国や日本では見通しとしての導入目標数値に留まっている。しかしながら総じて各国とも2020年時点で一次あるいは最終エネルギー消費の10～20%を再生可能エネルギーとする高い導入目標が示されている。

### 3. 風力発電

#### 3.1 世界の市場動向

世界の風力発電の導入状況を図5に示す。2010年末の導入量は200GWに達した。2009年における風車の市場規模は約63 bil US\$, 雇用50万人を創出していると推定されている。風力発電の国別導入量を表3.1に示す。風力発電は、当初欧州に市場が形成され、世界の市場を引っ張ってきた。2003年以降米国（北アメリカ）や中国（アジア）の伸びが著しくなり、世界市場はヨーロッパ、北米、アジアの3強で占められている。特に、中国の躍進はすさまじく、金融不安による欧米市場の停滞の影響

もあり、2010年の中国の導入量は世界市場の半分を占めるに至っている。

風力発電設備の新設電源に占める割合は欧米とも年々増加しており、2009年には約40%となり、火力発電とともに重要な電源となってきている。スペインにおいては、2011年3月の電力供給のトップが風力発電となり、全電力の21%<sup>(5)</sup>を占めるまでになっている。今後の世界の導入量は、伸び率はやや低下するものの堅調な伸びが予想され、2014年には400GWに達する見込みである。

一方、日本における累積導入量は24.2万W、世界12位であり、風車先進国の後塵を拝している。さらに、ここ数年は建築基準法の改正等により、国内への導入が停滞しているが、再生エネルギーの固定買取制度（FIT：Feed in Tariff）が制度化されれば、国内においても導入量が拡大するものと予想される。FIT制度は、現在法制化の作業が進められている。

#### 3.2 風力発電の技術動向

##### (1)大型化

風力発電の開発の歴史は、大型化の歴史であるといえる。1985年に500kW機が開発されて以来、90年台半ばから2000年初めに掛けて急激に大型化が進み、MWクラス機が開発された。この間の大型化は、面積当たりの発電出力を高める狙いであった。しかしながら、陸上用風車では、輸送上の制限から大型化は3MW前後で頭打ちの状況となる。一方、2000年台に入って実用化が進み始めた洋上風車では、陸上のように輸送の制限が無いこと、基礎構造物や海底送電線の費用割合が大きくなり大型化した方が経済的であることから陸上機を超える大型機が開発が進められた。現在の最大の風車はEnercon社の6MW機であり、10MWクラス超大型風車の実用化も間

表1 各国の再生可能エネルギー導入目標<sup>(3)</sup>

EU	<ul style="list-style-type: none"> <li>・2009年再生可能エネルギー指令(2009/28/EC)において、2020年に最終エネルギー消費の20%、輸送用燃料消費の10%を再生可能エネルギーとする目標を設定。</li> <li>・2001年再生可能電力指令(2001/77/EC)において、2010年に電力消費の22%を再生可能電力とする目標を設定。</li> <li>・上記に基づいた加盟各国の目標が設定されている。</li> </ul>
米国	<ul style="list-style-type: none"> <li>・2008年エネルギー独立安全保障法において、2022年までのバイオ燃料導入量（2022年には360十億ガロン(2008年の4倍)）を設定。</li> <li>・オバマ大統領は2025年に電力消費の25%を再生可能とする目標を公約に掲げる。</li> <li>・2009年「Annual Energy Outlook 2010」で、2020年に一次エネルギー供給の9.4%を再生可能エネルギーとする姿を描く。</li> <li>・28州で再生可能電力導入義務制度を導入、2025年などの再生可能電力比率目標を設定。</li> </ul>
中国	<ul style="list-style-type: none"> <li>・2007年の「再生可能エネルギー中長期発展計画」で、2020年に一次エネルギー供給の15%を再生可能エネルギーとする目標を設定。</li> </ul>
日本	<ul style="list-style-type: none"> <li>・2009年の経済産業省「長期エネルギー需給見通し（再計算）」で、最大導入ケースとして、2020年に一次エネルギー供給の9.0%を水力・地熱・新エネルギー等（水力3.4%、地熱0.1%、新エネルギー等5.5%）*による供給とする姿を描く。</li> <li>・民主党は2009年のマニフェストで、2020年までに一次エネルギー供給の10%を再生可能エネルギーとする公約を提示。</li> <li>・2009年11月の「地球温暖化問題に関する閣僚委員会タスクフォース会合中間とりまとめ」では、2020年の一次エネルギー供給に占める再生可能エネルギーの比率を、1990年比の温室効果ガス削減が▲15%ケースでは大規模水力を含み10%、▲20%ケースで大規模水力を含まず10%とする試算を実施</li> </ul>

\*経済産業省「長期エネルギー需給見通し（再計算）」(2009年)P7「一次エネルギー供給の推移」より

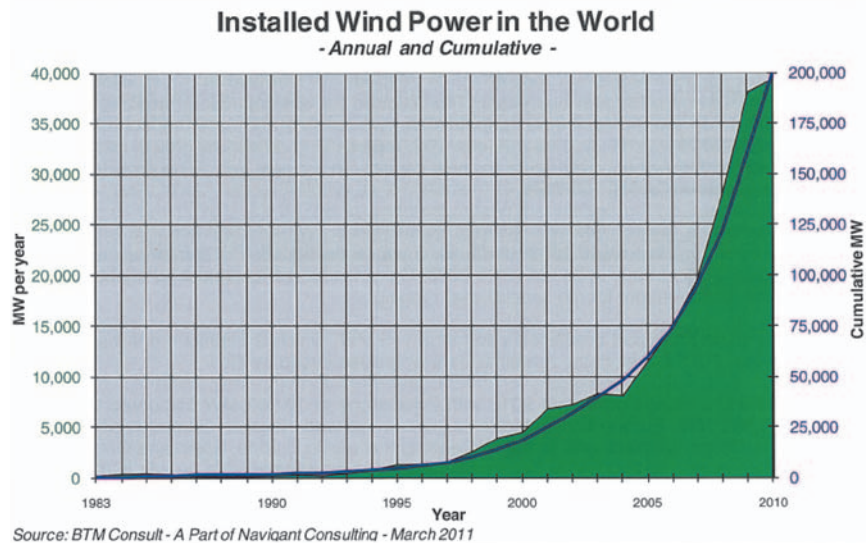


図5 世界の累積導入量と新規導入量 (2010年)<sup>(4)</sup>

表2 風力発電の国別導入量<sup>(4)</sup>

Country	2008	2009	2010	Share %	Cum. Share %
P.R. China	6,246	13,750	18,928	48.0%	48%
USA	8,358	9,922	5,115	13.0%	61%
India	1,810	1,172	2,139	5.4%	66%
Germany	1,665	1,917	1,551	3.9%	70%
UK	869	1,077	1,522	3.9%	74%
Spain	1,739	2,331	1,516	3.8%	78%
France	1,200	1,104	1,186	3.0%	81%
Italy	1,010	1,114	948	2.4%	84%
Canada	526	950	690	1.8%	85%
Sweden	236	512	604	1.5%	87%
<b>Total</b>	<b>23,659</b>	<b>33,849</b>	<b>34,199</b>		
<b>Percent of World</b>	<b>83.9%</b>	<b>88.8%</b>	<b>86.8%</b>		

Source: BTM Consult - A Part of Navigant Consulting - March 2011

近と見られている。

(2)遠隔監視

風力発電の経済性を確保するためには、風車を故障することなく安定して運転させる必要がある。このためには適切な運転保守を行う必要があり、風車事業者は遠隔監視制御装置 (SCADA) を導入し、常時運転状況を把握できるようにしている。風力発電の遠隔監視システム構成概念を図6示す。風車の大型化・高機能化に伴い風車には数多くのセンシング技術が適用されているが、今後導入量の拡大が予想される洋上風車では信頼性向上対策としてコンディションモニタリングが重要視される。コンディションモニタリングシステムは、増速機トラブル対策の一環として故障停止に至る前に損傷劣化を把握し、部品取り替えをタイムリーに実施することを目的とした状態監視システムである。

(3)洋上風力発電

洋上風力発電には、海底に基礎と支持構造物を固定し、その上部に風車を設置する着床式と、アンカーで海底に

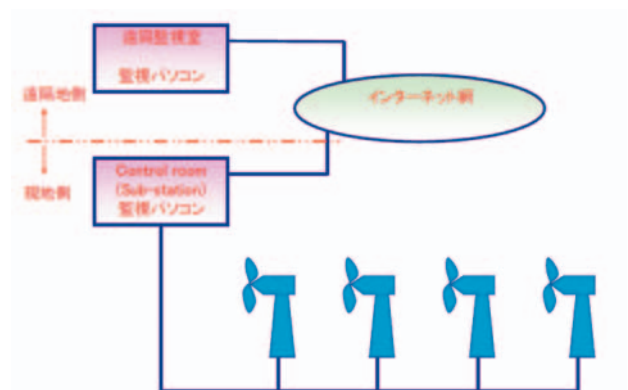
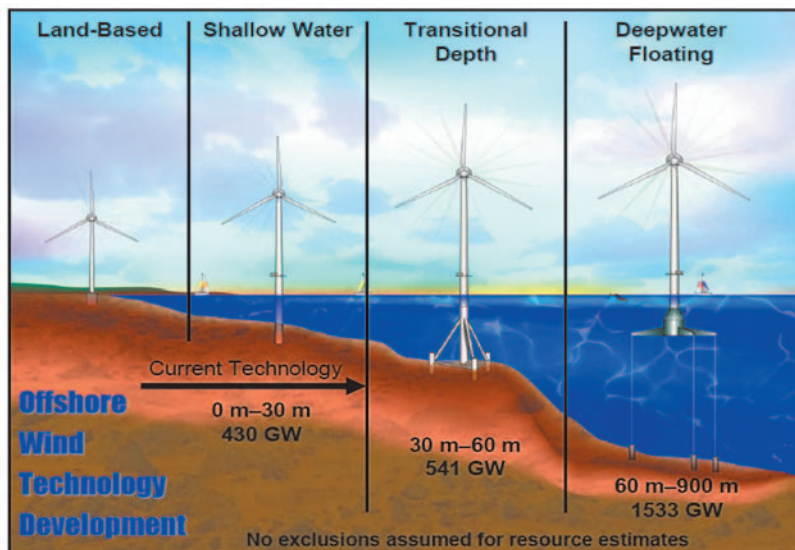


図6 遠隔監視システムの構成概念

固定した浮体上に風車を設置する浮体式とがある<sup>(6)</sup>。(図7参照)

風車の普及が進み陸上の適地が少なくなった欧州において、風車の普及は洋上へと進出し、既に着床式は実用段階にある。英国、デンマーク、オランダ、ドイツを中心に、全世界では1,000基以上が導入済である。アジア

図7 洋上風力発電の形態<sup>6)</sup>

においては、上海で本格的洋上風車が2010年に運開しており、米国においても東海岸等の数箇所計画中である。

我が国ではまだ本格的な洋上風車は建設されておらず、港湾内、沿岸水路および波打ち際に設置されたNear-Shore洋上風車が運転されているのみである。本格的洋上風車は、NEDOによる着床式洋上風車実証機として、銚子沖と北九州市沖に建設される予定である。

浮体式洋上風車は、現在実機スケールの実証試験の段階で、実用化に至っていない。

三菱重工業は、これまでの陸上風車に加えて、洋上風車市場への参入を目指している。信頼性と軽量化に優れた油圧ドライブ式風車に着目し、現在着床式の大型風車を開発中である。(図8参照)

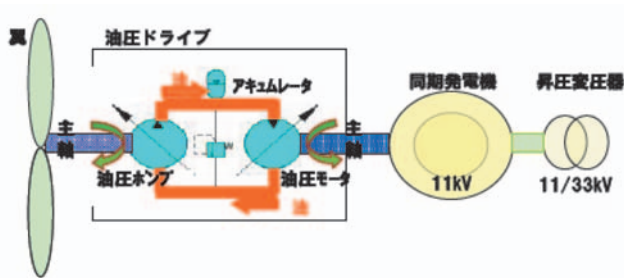


図8 油圧ドライブ式風車

## 4. 太陽光発電

### 4.1 市場動向

世界の太陽光発電の市場は1990年にドイツで導入された固定価格買取制度（フィードインタリフ）によって大きく拡大した。この制度は太陽光発電などの自然エネルギーで発電した電力を一般電力料金より高く一定期間固定価格で買い取ることを法律で定める助成制度である。買取価格は普及量や生産コストの低減に伴い年々見直されるものの、既に取り価格が認められた発電事業者の買

取価格は見直されない。このため、発電事業者は投資の回収リスクが低くなるため普及が進む。買取価格と発電原価の差額は一般電力料金に上乗せされ国民が負担する。

ドイツで導入されたこの制度は、その後、欧州各国に広がり太陽電池の市場を形成し、太陽電池の生産量は図9に示すように2010年で年間約24GWまで成長した。

太陽電池生産量は、2006年までは日本が首位であったが、2007年以降中国・台湾が急速に生産量を伸ばしている。

日本では、余剰電力を買取する固定価格買取制度が2009年から始まったが、余剰電力が発生する一般個人住宅を対象としたものが主体となっている。

一方、菅首相はG8サミットで、日本は2020年代の早い時期に、発電電力量に占める自然エネルギーの比率を20%以上にし、太陽電池の発電コストを2020年には現在の3分の1、2030年には6分の1にまで引き下げること、1000万戸の屋根に太陽光パネルを設置することを表明している。これを受けて、日本でも再生可能エネルギーの全量買取制度法案が2011年3月11日に閣議決定された。

### 4.2 技術動向

太陽電池は結晶シリコン型、リボンシリコン型、薄膜シリコン型、化合物半導体型（CdTe、CIS；CuInSe）、a-Si/単結晶型が市場で販売されており、結晶シリコンが2010年で83.7%のシェアを占めている。結晶シリコンは単結晶または、多結晶シリコンの結晶を200ミクロン程度にスライスしたものを原料として製作した太陽電池で、製造方法が確立されており、比較的容易に効率も出せる。また、装置メーカーがターンキー設備を販売している為、資金さえあれば、誰でも生産に参入でき、台湾、中国で新規メーカーが増えている。特に中国では国の政策として結晶型太陽電池メーカーを保護しているため、急速

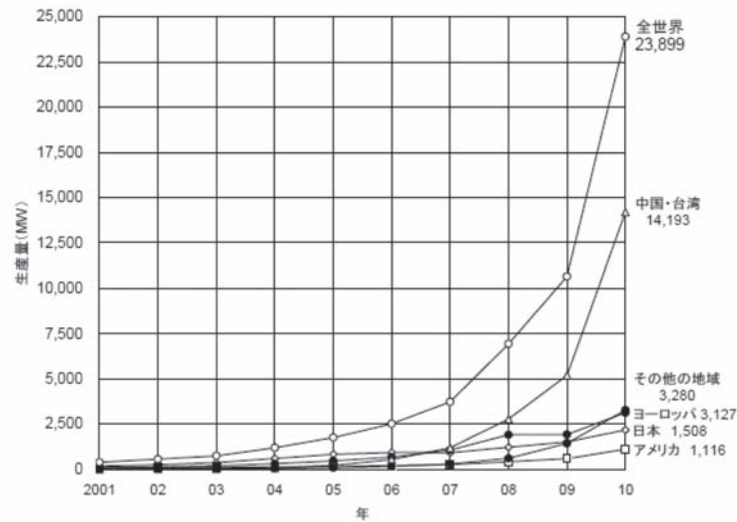


図9 世界の太陽電池生産量(7)

に生産量が増加している。

一方薄膜シリコン型は、日本で主に研究開発された技術である。原料ガスであるシランガスを、真空中でプラズマによって直接ガラス基板に分解蒸着させるプラズマCVD装置を使って製造するもので、従来から、シャープ、カネカ、三洋が、各社独自の装置で電池を製造してきた。薄膜シリコン型は、生産コストを低減するため、製造装置であるプラズマCVD装置を、大面積で早い製膜速度にする必要がある。三菱重工では、世界に先駆け2002年に1.5m<sup>2</sup>の大面積基板で薄膜シリコン太陽電池を量産した。三菱重工では従来の13MHzのプラズマ発生電源に代え、60MHzの電源を用いることで従来の約10倍の製膜速度で1.5m<sup>2</sup>の基板に製膜することを実現した(8)。

薄膜シリコン型は、アモルファスシリコンを用いた単層構造電池と、アモルファスシリコン電池と微結晶シリコン電池を重ねて発電効率を上げたタンデム型電池の2種類が製品化されている。

2009年に米国AMATやスイスのエリコンソーラ等のTFT製造装置メーカーが薄膜シリコンのターンキー設備

を売り出し、ドイツ、中国、台湾で新たな薄膜シリコンメーカーが誕生して生産量が増加した。しかし、薄膜シリコンは製造プロセスにノウハウが多く、装置立ち上げは容易ではなく、数社が倒産しAMATは2010年に事業撤退した。

化合物半導体ではCdTeとCISの二つがある。CdTeは、太陽電池としては理想的な特性を持っており、製造方法が簡単、安価で且つ性能が良い。日本でも開発されていたが、毒性のあるCdを含む為開発を中止した。CdTe自体は安定な物質であり、通常の使用状態ではCdが溶出することは考えにくいとされているが、生産時や廃棄された後の処理でCdの管理が難しいことと、日本では公害問題を引き起こした物質であり、企業イメージを損なうことを恐れたため開発を中止したのと考えられる。

一方、米国では開発が継続されFirst Solar社が2002年に製品化し、2010年には1.4GWまで生産量を増やし、現在最も製造コストが安い太陽電池として市場のプライスリーダーとなっている。また、GEも2008年からCdTe太陽電池を開発していたPrimeStar Solar社を買収してCdTe

表3 太陽電池の種類別生産量(7)

種類	2008年生産量		2009年生産量		2010年生産量		対前年伸び量・伸び率	
	(MW)	(%)	(MW)	(%)	(MW)	(%)	(MW)	(%)
結晶Si (単結晶及び多結晶)	5,690.3	82.0	8,265	77.5	20,001	83.7	11,736	142.0
薄膜Si	328.1	4.7	780	7.3	1,349	5.6	569	72.9
a-Si/単結晶Si	210.0	3.0	255	2.4	400	1.7	145	56.9
リボンシリコン	166.6	2.4	171	1.6	285	1.2	114	66.5
CdTe	504.0	7.3	1,023	9.6	1,438	6.0	415	40.6
CIS/CIGS	42.0	0.6	165	1.5	426	1.8	261	158.2
計	6,941.0	100	10,660	100	23,899	100	13,239	124.2

太陽電池製造に参入し、2013年には米国内で400MWの工場を稼働予定である。

CISは日本のソーラーフロンティア（旧社名昭和シェルソーラー）やホンダソルテックが製品化しており、ソーラーフロンティアは2006年に宮崎に第1工場（20MW）を稼働させ、2007年から出荷を開始した。その後2009年に第2工場（60MW）、2011年に第3工場（900MW）を稼働し、総生産量約1GWに達する。CISは変換効率が高く、経年劣化が少ない特徴があるが、材料に生産量の少ないInを用いる為、将来生産量が増加した場合に原料不足になる懸念がある。Inは現在TFTで世界の生産量のほとんどが使用されており、

a-Si/単結晶型は、n型シリコン単結晶にa-Si電池膜を製膜したもので、20%近い発電効率を得られる太陽電池であり三洋によって開発された。結晶型太陽電池はp型半導体の結晶シリコンにn型の半導体を作るリンなどを添加してpn接合を作るが、接合界面に欠陥が多く存在し、この欠陥により発電した電子が再結合して電力損失が発生する。a-Si/単結晶型はn型半導体の基板にアモルファスシリコン膜を製膜することで界面の欠陥を減らし、発電ロスを低減している。また、結晶型より温度による発電量低下が少ない特徴を有している。

## 5. 太陽熱発電

### 5.1 市場動向

太陽エネルギーは、地球上の再生可能エネルギー源として最も豊富であり、反射鏡やレンズなどを用いて容易に集光しエネルギー密度を高めることができるため、新エネルギーの中でも効率的・経済的な発電を実現できるポテンシャルが大きい。

世界各地で再生可能エネルギー利用による発電導入量を積極的に増やす政策（Feed-In-Tariff, 各種補助金制度など）が採られ、太陽熱発電にも適用され始めている。

市場としては、図10で示すエリア（サンベルト地帯）が、直達日射量が多く太陽熱発電に向いている地域であり、具体的には、米国、スペインなどの南欧、豪州、アフリカ、中東、インドなど広範囲におよぶ。

市場規模は、図11に示す通り、2020年には世界の設備容量が25～40GWに上ると予想され、年間建設容量は2～5GWにも相当する。

尚、各国の太陽エネルギー導入計画に加えて、デザーテックプロジェクト（北アフリカで発電した電気を、地中海の海底ケーブルで送電し、欧州消費電力の15%をまかなう）のように、国際協力による壮大な計画も進められており、実現すれば上記予想を上回る規模に市場が拡大する可能性もある。

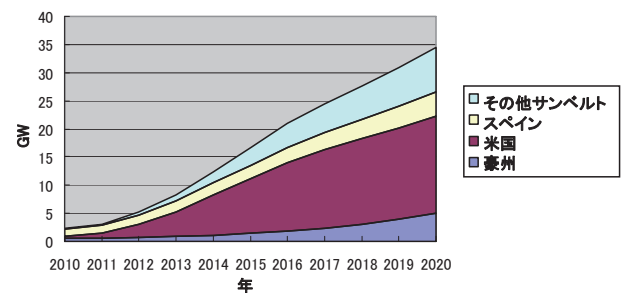


図11 太陽熱発電の市場規模<sup>(8)</sup>

### 5.2 技術動向

#### 5.2.1 発電方式と集熱方式の比較

太陽熱発電方式の比較を図12に示す。現在は、集光・集熱したエネルギーを利用し、蒸気タービンを回して発電する方式が主流となっている。特に、①トラフ型は集熱器が標準化されて普及しているが集熱温度は400℃レベルである。また、近年プラントの効率向上を目的に集熱温度をさらに高める方法として、集光密度の高い②タワー型も作られるようになってきた。両者とも蒸気ター

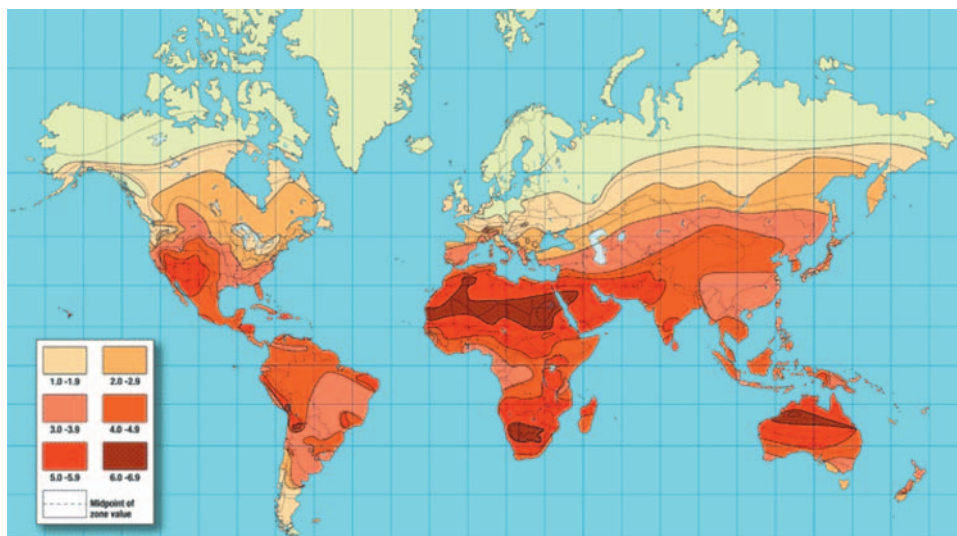


図10 日射量による候補市場<sup>(9)</sup>



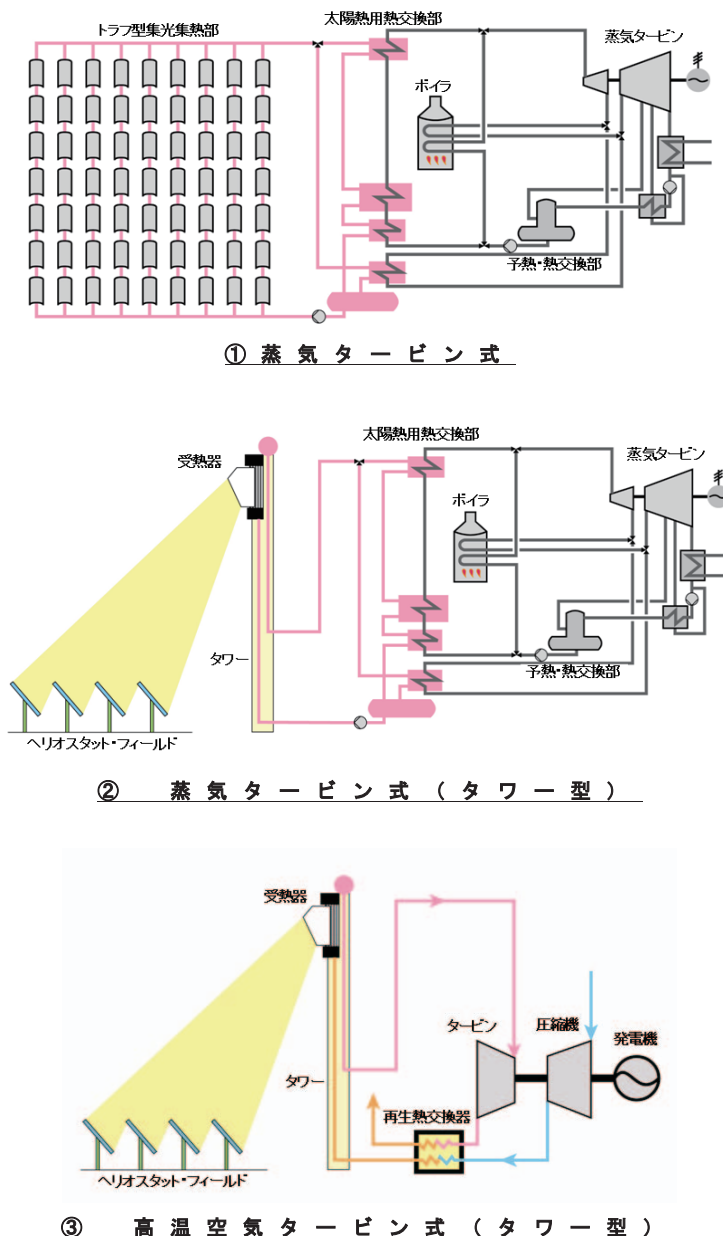


図12 太陽熱発電方式の比較

ビン式 (Rankine cycle) である。

一方、太陽熱発電の適地は乾燥したサンベルト地帯が多いと考えられ、水を使わない発電システムの検討も進められている。これに対応する方法として③高温空気タービン式 (タワー型, Brayton cycle) がある。大気から吸気・圧縮した空気を集光・集熱した受熱器で加熱し、高温の空気を生成する、発電サイクル内に水が不要なシステムである。更に、作動媒体の高温化により従来の蒸気タービン式より高効率化が図れるほか、機器数が少なくメンテナンス性にも優れた発電方式といえる。

### 5.2.2 三菱重工の取組み

三菱重工では、ガスタービン、ボイラ/熱交換器等においてこれまで蓄積した技術を活用して、図12③に示した「集光・集熱型の高温空気タービン式発電システム」

を開発中である。これは世界に実用化の例がない画期的なシステムであり、高効率 (総合効率約30%)、低コストで、かつ水が不要なシステムが実現できるものである。

本システムのキーコンポーネントである「受熱器」の性能を確認するため、200kWe級の受熱器試作機を製作、オーストラリア/連邦科学産業研究機構 (CSIRO) と共同で検証試験を行った (図13)。太陽熱のみによる加熱で、所期の目標である850℃への加熱が可能であることを確認した。

今後、上記受熱器を使って200kWe級マイクロガスタービンの発電実証試験を行う予定である。さらにより大規模設備での発電実証試験を経て、水が不要な、再生可能エネルギーによるタービン発電システムとして、実プラントへ展開していく計画である。

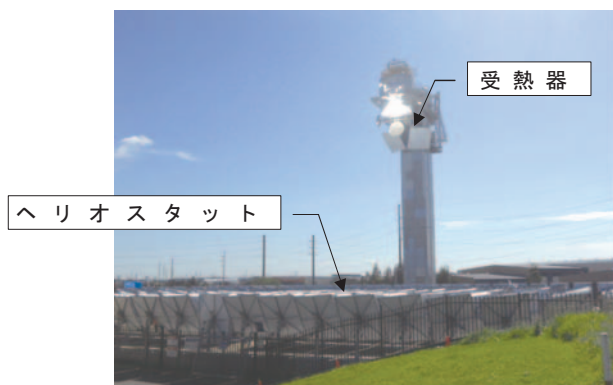


図13 CSIROでの試験風景

## 6. おわりに

日本は化石燃料のほとんどを輸入に依存しており、エネルギー価格の高騰や供給不足は、国内の経済や社会に直ちに深刻な影響を与えるものである。また先進国の一つとして地球温暖化防止にも積極的に取り組む必要がある。このように、経済・環境・政治といった様々な面から再生可能エネルギーの導入拡大が検討されているが、一方で、これまで努力して築き上げてきた豊かな経済や生活文化、暮らしの快適性や安全性を維持することも必要である。

すなわち、現在の経済性を損なわない形で、エネルギー利用の仕方を変える3E（エネルギーの安定供給：Energy, 環境性：Environment, 経済性：Economy）の観点で太陽光などの再生可能エネルギーの導入を拡大し、合わせて既存の化石燃料等のより効率的な利用法を

考えることで、エネルギー構成のベストミックスを目指すことが重要であると考え。

僭越ではあるが、今回紹介した当社の再生可能エネルギー関連製品と技術が今後のエネルギー構成のベストミックスの一助になれば幸いである。

## 参考文献

- (1) 三菱重工業HP (<http://www.mhi.co.jp/earth/know/history/future/renewable/index.html>)
- (2) IEA, World Energy Outlook 2010, New Policies Scenario
- (3) 環境省, 「地球温暖化対策に係わる中長期ロードマップ検討会エネルギー供給WG」資料
- (4) World Market Update 2010, BTM Consult AsP
- (5) スペイン送電網管理会社REE 2011年3月分電力供給源データ
- (6) Dynamics Modeling and Load Analysis of an Offshore Floating Wind Turbine, 2007, NREL
- (7) 資源総合システム 2010年における太陽電池生産量（速報）Version1 2011/5/12
- (8) 竹内, 高野, 山内他 低コストアモルファスシリコン太陽電池の開発 三菱重工技報 Vol.37 No1, 26～29, 2000
- (9) [http://www.oksolar.com/abctech/images/world\\_solar\\_radiation\\_large.gif](http://www.oksolar.com/abctech/images/world_solar_radiation_large.gif)
- (10) New Energy Finance社レポート「Solar Levelised Cost of Energy and Solar Thermal Electricity Generation Market Analysis」2009年8月31日

# 1,500°C級高効率ガスタービン用第1段動静翼の開発について

## Development of the First Stage Vanes and Blades for 1500°C Class Advanced Gas Turbine

松崎 裕之\*<sup>1</sup>

Hiroyuki Matsuzaki

**Key words :** gas turbine, 1500°C class, combined cycle, FCFC

### 1. はじめに

火力発電設備においては地球的規模での温暖化防止対策としてさまざまな対策が取られている。

これらのうち、ガスタービン（以下GTとする。）と蒸気タービン（以下STとする。）を組み合わせたコンバインドサイクルプラント（以下C/Cとする。）は熱効率の大幅な改善効果が望める発電方式として世界各国で導入が進められている<sup>(1)</sup>。

こうした中、東北電力(株)は国内で初めての大容量C/Cである東新潟火力3号系列を1984年に開発・実用化し、その後、C/Cのさらなる熱効率向上を目指し燃焼温度1500°C級次世代高効率ガスタービンの開発研究に取り組んだ<sup>(1),(2)</sup>。

ここでは、この次世代高効率ガスタービン開発の過程で実施した高温部品検証試験（High Temperature Demonstration Unit）（以下HTDU試験とする。）の概要とその結果について報告する<sup>(3)</sup>。

### 2. 試験の目的

1500°C級高効率GT用タービン第1段動静翼には新しい冷却方式として全面膜冷却（Full Coverage Film Cooling）（以下FCFCとする。）などを採用し、また新しい耐熱材料として一方向凝固合金（Directionally Solidified Material）（以下DS合金とする。）やセラミックスによる遮熱コーティング（Thermal Barrier Coating）（以下TBCとする。）を採用することとした。

これら新しい冷却方式、耐熱材料さらには翼の空力性能などの検証のため、高温風洞試験など静止場での試験により性能確認を行ってきたが、これらの試験では、回転場の影響を把握することができない。このため、HTDU試験を実施し、動翼などの回転体に各種センサーを取り付けて翼メタル温度や翼各部の圧力などを計測す

ることにより、回転場におけるFCFC動静翼の冷却性能や空力性能などを検証する。

当社の開発プロジェクトでは実機適用に先立ち実機の50%スケールモデルを用いて回転試験を行うこととした<sup>(4)</sup>。

### 3. 試験装置および方法

HTDU試験装置の基本仕様は表1に示すとおりである。装置はタービン1段動静翼、タービンディスク、エアセパレータ、翼環、中間軸と16本の燃焼器で構成される。また、軸端には水動力計が設置され翼列が発生する動力を計測できるようにしてある。さらに、回転体から得られる各種データはローター軸に設けられたスリップリングを介して外部の計測機器に蓄積されるようになっている。なお、燃焼などに必要となる圧縮空気は別置き空気源圧縮機から供給される。図1に装置全体の系統図を示す。

後述する各性能検証のため各部温度と圧力測定を行っ

表1 HTDU試験装置基本仕様

項 目	仕 様
① 回転数 (rpm)	6000
② 出力 (kW)	7600
③ タービン入口温度 (°C)	1500
④ タービン圧力比	1.8
⑤ タービン段数 (段)	1
⑥ 燃焼器本数 (本)	16

たが、温度については熱電対と一部放射温度計（パイロメーター）を使用した。また、各部圧力測定は圧力タップによった<sup>(5)</sup>。

#### 3.1 計測翼及び計測点位置

HTDU試験では①空力性能特性検証、②FCFCの冷却性能検証、③TBCの冷却性能検証、などを行った。図2に温度並びに圧力の計測位置を示す。

原稿受付 2008年7月30日

校閲完了 2011年8月24日

\* 1 東北電力(株)新仙台火力発電所  
〒985-0910 仙台市宮城野区港5-2-1

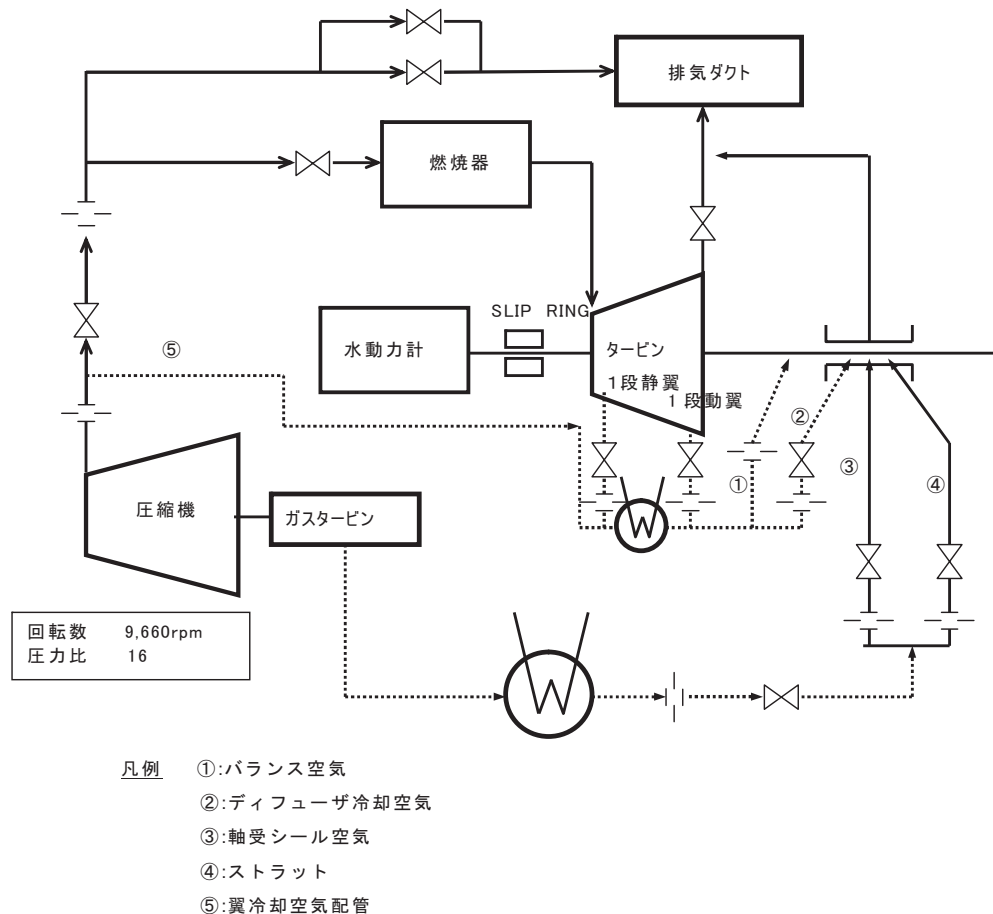


図1 HTDU試験装置系統図

### 3.2 試験条件

HTDU試験は平成6年12月26日と27日の両日にわたって実施され、前半は空力性能試験、後半は冷却性能試験を実施した。

## 4. 試験結果および考察

### 4.1 空力性能試験結果

図3と図4にタービン第1段階静翼と第1段階動翼の静圧分布を示す。なお、図中、 $P_{IN}$ : 翼列入口圧力、 $P$ : 計測点圧力、 $S$ : 翼コード長、 $X$ : 計測点の翼前縁からの距離を表している。図中実線と波線はこれまで実施した高温風洞試験の結果<sup>6)</sup>に基づきCFD解析ツールのキャリブレーションを実施してCFDツールの精度を高め、その計算結果から導いた予測曲線<sup>7)</sup>で、実測値とほぼ同一の結果を示しており、予測手法の精度が検証された。以上の計測結果から計画通りの空力性能が得られていることを確認した。

### 4.2 1500°C冷却性能試験結果

#### 4.2.1 タービン入口ガス温度分布の評価

実際のT1Tを全温管により計測した。HTDU試験装置に設置される16本の燃焼器の内、5本の燃焼器出口に設置位置をずらして1本ずつ全温管を取り付け、各全温

管は半径方向に7点温度計測をできるようにし、合計35点で燃焼器出口ガス温度の分布測定を行った。図5に燃焼器出口への全温管取り付け状況の一例を示す。この結果、 $T1T=1500^{\circ}\text{C}$ におけるパターンファクター（以下PFとする。）は9%と、実機燃焼器の目標PFである10%とほぼ同程度であることを確認した。なお、PFの定義は以下の通り<sup>9)</sup>。

$$PF = \frac{\text{燃焼ガス最高温度} - \text{燃焼ガス平均温度}}{\text{燃焼ガス平均温度} - \text{空気圧縮機出口空気温度}} \times 100\% \quad (1)$$

冷却性能の評価は以上の最高ガス温度を適用して実施した。

#### 4.2.2 翼内外面圧力差の評価

図6に第1段階静翼50%翼高さにおける翼外表面と内部通路圧力評価を図7には第1段階動翼50%翼高さにおける翼外表面と内部通路圧力評価を示す。図中●あるいは○は実測値を示し、実線と点線は予測値を示している。第1段階動静翼の圧力評価に関しては、計画値とほぼ一致しており、翼内部冷却空気圧力は翼全域にわたって翼外表面主流ガス圧力に対して十分な差圧を有しており、冷却空気吹出しに支障のないことを確認した。

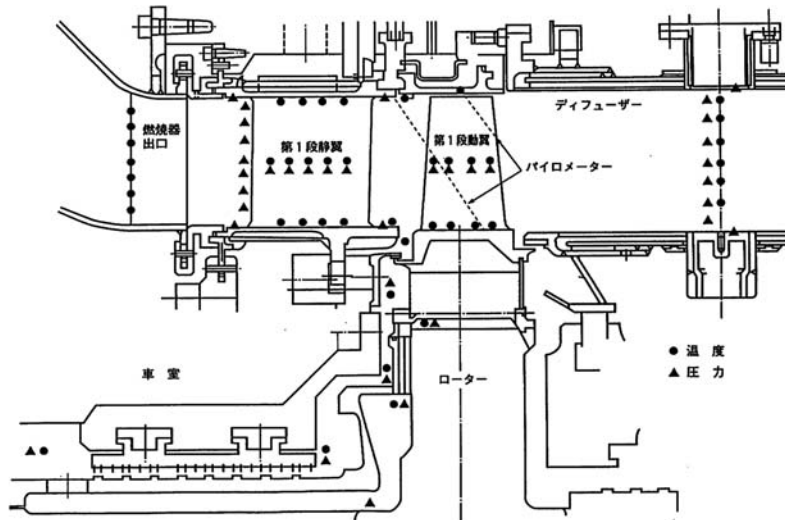


図2 温度計測ならびに圧力計測位置

4.2.3 翼メタル温度計測結果の実機条件への換算

HTDU試験で計測された翼メタル温度は実機条件への換算を行った。補正項目としては、T1T補正、冷却空気温度補正、冷却空気流量補正があり、各補正方法は以下のとおりである。

まず、T1Tと冷却温度補正に関して、主流ガス流量に対する冷却空気流量比が一定であれば計画条件と実測条件で冷却効率に変化はないことは、これまでの高温風洞試験等により確認されている<sup>(6)</sup>ことから、以下の式が成り立つ<sup>(9)</sup>。

$$\text{冷却効率} = \frac{T_g - T_M}{T_g - T_c} = \frac{T'_g - T'_M}{T'_g - T'_c} \quad (2)$$

(2)式より、

$$T_M = T_g - \frac{T'_g - T'_M}{T'_g - T'_c} \times (T_g - T_c) \quad (3)$$

ただし、 $T_g$ : 計画ガス温度、 $T_M$ : 計画メタル温度、 $T_c$ : 計画冷却空気温度、 $T'_g$ : 実測ガス温度、 $T'_M$ : 実測メタル温度、 $T'_c$ : 実測冷却空気温度を表す。

第1段静翼の冷却空気流量は、計画値と実測値で1%未満の相違しかないと補正は行わない。第1段動翼の冷却空気流量は、計画値と実測値で約3%変化している。また、高温翼列試験の結果から、冷却効率変化は冷却空気流量変化の10%程度となって表れることが既知である<sup>(7)</sup>ため、これらに基づき補正を行う。つまり、今回の

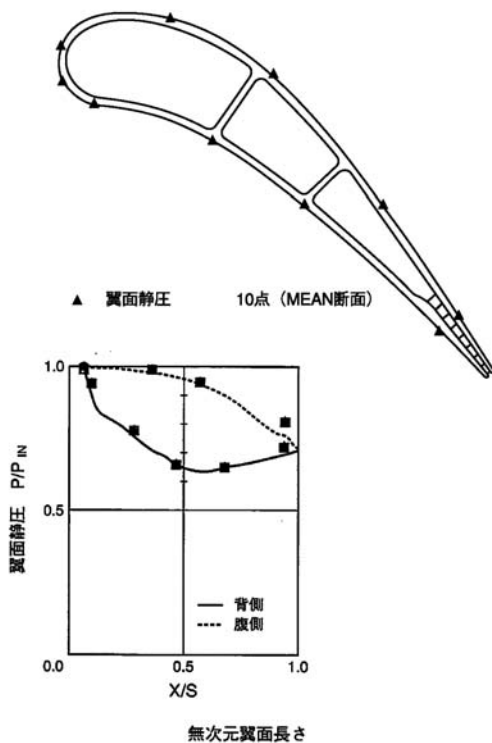


図3 タービン第1段静翼静圧分布

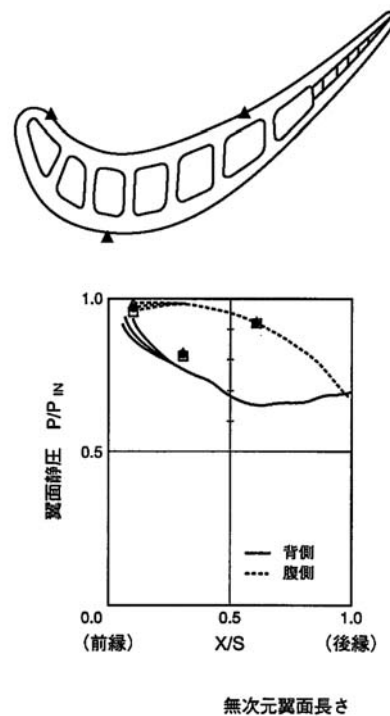


図4 タービン第1段動翼静圧分布

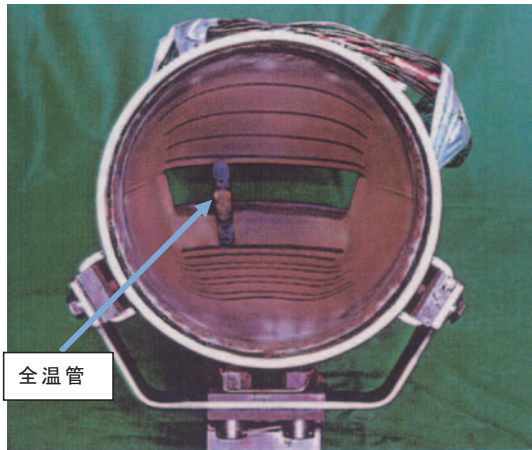


図5 燃焼器出口全温管取り付け例

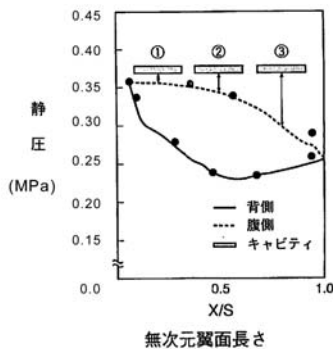
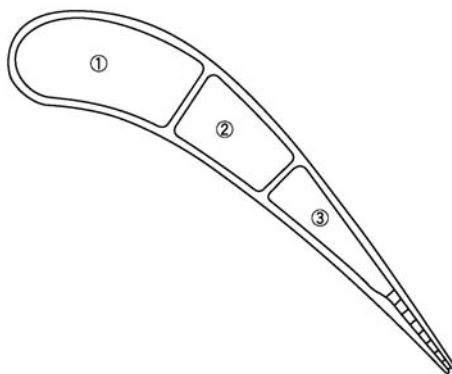


図6 第1段静翼内外圧力評価

HTDU試験では冷却効率率は約0.3%低下していると考えられる。

$$\frac{\eta_c \text{実測}}{\eta_c \text{計画}} = \frac{0.997}{1.000} \div \frac{1.000}{1.003} \quad (4)$$

であるから、

$$T_M'' = T_g - \frac{T_g - T_M'}{T_g - T_c'} \times 1.003 \times (T_g - T_c) \quad (5)$$

となる。ただし、 $T_M''$ ：冷却空気流量補正後の計画メタル温度を示す。

4.2.4 全面膜冷却 (FCFC) の効果

図8に一例として第1段静翼の冷却方式をFCFCとした場合とフィルム冷却方式とした場合の実測メタル温度

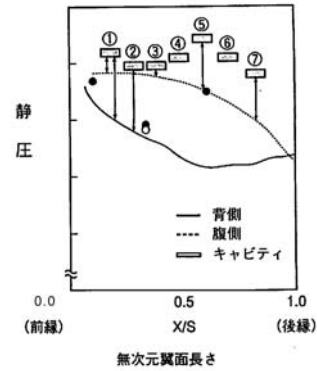
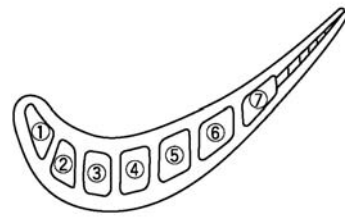


図7 第1段動翼内外圧力評価

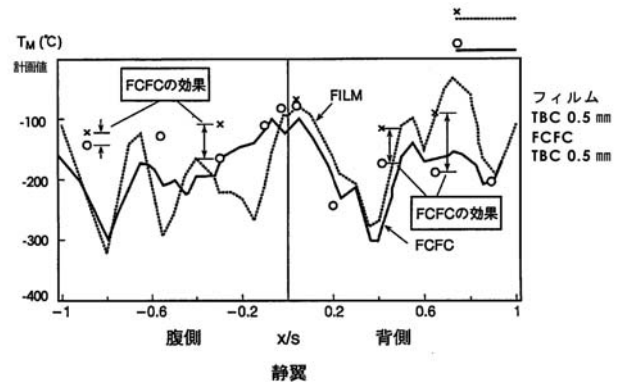


図8 第1段静翼FCFCの効果

と既述の方法による解析結果を比較して示す。なお、解析TBC厚さはいずれも0.5mmである。解析結果と実測値は良好な一致を示し、FCFCの効果は場所によって異なっている。腹側では20～60℃、背側では最大100℃程度メタル温度を低減する効果がある。これは、特にガス側熱伝達率の高い部分でFCFCの冷却効率の高さが効果を発揮しているためである。また、FCFCの適用により均一なメタル温度となっていて、熱応力緩和にも効果があることが推測できる。

同様に第1段動翼についてもFCFC冷却とフィルム冷却の冷却性能比較を行った。

以上から、動静翼ともにフィルム冷却に比べてFCFCが有効な冷却手段であることが検証された。

以上から、動静翼ともにフィルム冷却に比べてFCFCが有効な冷却手段であることを検証した。

なお、図中x/sは無次元翼面長さ、 $T_{gMAX}$ は最高ガス温度を示す。

4.2.5 遮熱コーティング (TBC) の効果

図9にはFCFC冷却第1段静翼のTBC有無によるメタ

ル温度実測値と解析結果を比較して示す。解析結果と実測値は良好な一致を示し、TBCの効果は場所によって異なっている。これも、FCFCとフィルム冷却方式比較のところでも述べたと同じ理由による。腹側では30°C程度、背側では50°C程度メタル温度を低下させる効果がある。

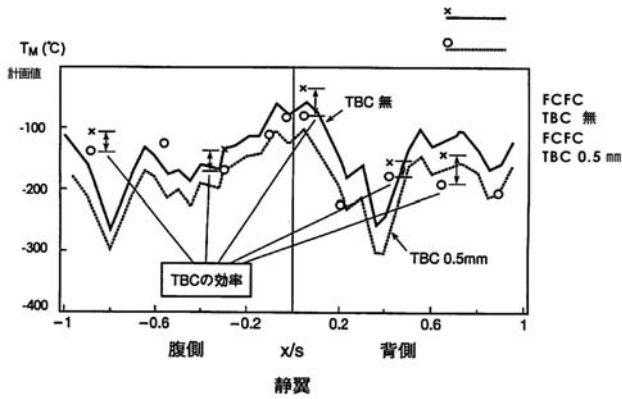


図9 第1段静翼TBCの効果

一方、TBC厚みの効果を調べるため図10に冷却方式はFCFCに統一し、TBC厚0.5mmの翼と0.3mmの翼のメタル温度実測値と解析結果を比較して示す。TBC厚0.5mmの翼メタル温度はTBC厚0.3mmの翼メタル温度に対して10～20°C程度低くなり、TBCの厚さを増すことにより遮熱効果が増加することを確認した。

同様に第1段動翼についてもTBC有無による遮熱効果、ならびにTBC厚みの効果を確認した。

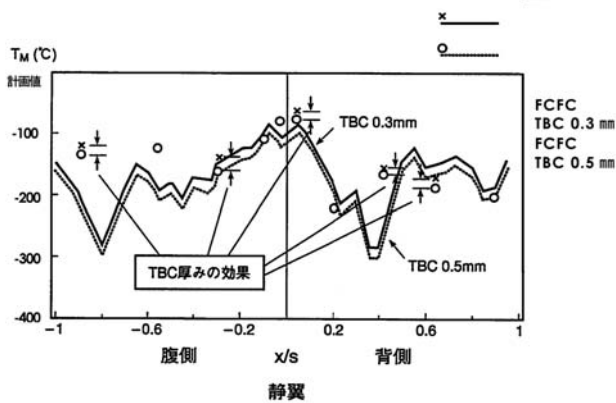


図10 第1段静翼TBCの厚みの効果

#### 4.2.6 放射温度計 (パイロメーター) によるメタル温度計測

第1段動翼表面温度を2本のパイロメーターを用いて計測した。まず、ハブ側パイロメーターの軌跡を図11に示す。パイロメーターの光軸は背側プラットホームをトレースし、翼部 (ハブから前縁) へ移動し腹側プラットホームへ抜けていく。トレースされた温度と翼円周上の配列位置・熱電対による温度計測結果などを照合して翼を特定する。

プラットホーム側パイロメーターは予測計算から得ら

れたメタル温度とパイロメーター計測から得られたメタル温度を比較することにより、パイロメーター計測の妥当性を確認するために実施した。

次にチップ側パイロメーターの軌跡を図12に示す。パイロメーター光軸はチップ部をトレースし、腹側へ抜け

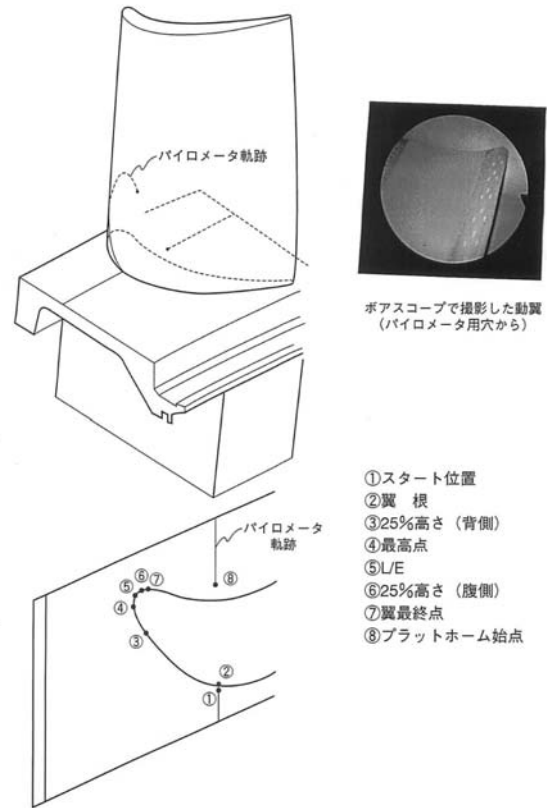


図11 第1段動翼ハブ側パイロメーター軌跡

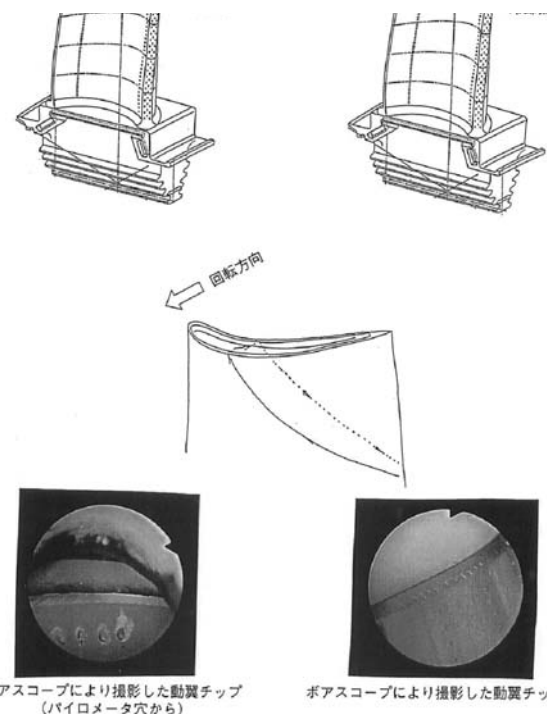


図12 第1段動翼チップ側パイロメーター軌跡

次の背側チップ端面に到達する。ハブ側と同様にして翼を特定する。

図13にFCFC翼と従来翼のチップ部メタル温度パイロメーター計測結果を比較して示す。

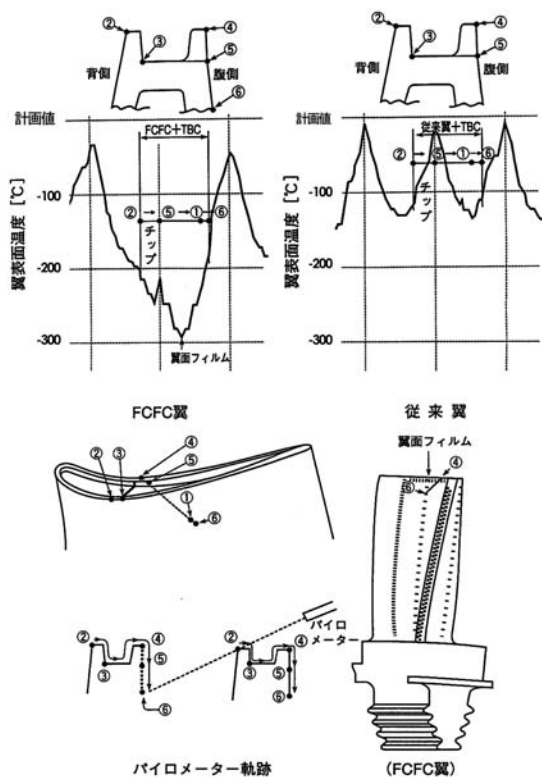


図13 FCFC翼と従来翼のチップ部メタル温度

パイロメーターメタル温度計測結果から、HTDU条件ではチップ部冷却により約75°Cのメタル温度の低下が確認された。実機においても同程度の効果が期待できる。

#### 4.2.7 結論ならびに考察

T1T=1500°CのHTDU試験を実施し、①空力性能特性検証、②FCFCの冷却性能検証、③TBCの冷却性能検証などを行った。この結果、以下の結論を得た。

- (1)空力性能に関しては実機相当運転条件で、ほぼ設計通りの性能を確認した。
- (2)FCFC冷却、TBC効果について、計画に近いメタル温度を予測することが可能であることが検証され、十分な精度で設計評価できる。また、翼表面の圧力分布、リターンフロー冷却通路内部の圧力変化についての予測法の精度も検証できた。
- (3)FCFCによる冷却はHTDU静翼で腹側20～60°C、背側で最大100°C程度の効果が確認され、HTDU動翼では腹側最大90°C、背側最大140°Cの効果が確認された。
- (4)TBCによる遮熱効果については2種類の膜厚が比較され、厚さ0.3mmの場合静翼で10～20°C程度、動翼で30～40°C程度であり、厚さ0.5mmの場合静翼で30～40°C程度、動翼で50～60°C程度の効果があることが確認され膜厚の大きいほど遮熱効果も向上することが確認された。

以上から、空力性能、冷却性能に関して予測計算精度は非常に高く、実機設計に当たっても予測計算ツールにより設計条件変化に十分対応可能であることが確認された。

## 5. まとめ

ジェットエンジン用小型動静翼では実用化されていたFCFC動静翼の大型GTでの実用化を目指し、これまで高温風洞試験など静止場での各種試験を実施しデータ蓄積を行ってきた。

加えて、HTDUによる回転試験を実施して回転場におけるFCFC翼の空力性能と冷却性能、TBCの遮熱性能などの検証試験も実施して、良好な結果を得、FCFC翼の大型GTへも十分適用可能であることを確認した。

本研究の成果は最新鋭1,500°C級大型GTに適用され、高性能、高信頼性を確保しつつ世界各地で運転を継続している<sup>[11],[12]</sup>。

最後に本稿とりまとめにあたって新潟大学大学院自然科学研究科の藤澤延行教授より多大なるご指導をいただいたことに関し感謝申し上げます。

## 参考文献

- (1) 松崎裕之、他4名：次世代LNG複合発電設備の計画、第10回ガスタービン秋季講演会講演論文集、(1995.8新潟)、pp.25-30
- (2) K.Kano、他5名：Development Study of 1500°C Class High Temperature Gas Turbine, ASME Paper No.91-GT-297
- (3) H.Matsuzaki、他5名：Development of Advanced Gas Turbine, ASME Paper No.96-GT-294
- (4) M.Sato、他5名：Final Report of the Key Technology Development Program for a Next Generation High Temperature gas Turbine, ASME Paper No.95-GT-407
- (5) M.Sato、他6名：High Temperature Demonstration Unit for a 1500°C Class Gas Turbine, ASME Paper, No.94-GT-412
- (6) J.L.Kerrebrock 著/梶沼次郎訳：ジェットエンジン概論、東京大学出版会、pp.179-267
- (7) S.Amagasa、他6名：Study on the Turbine Vane and Blade for a 1500°C class Industrial Gas Turbine, ASME Paper No.93-GT-414
- (8) 塚越敬三、他2名：最新の産業用ガスタービンの冷却技術、日本ガスタービン学会誌Vol.35 No.3, 2007.5, pp.11-16
- (9) H.Matsuzaki、他4名：Investigation of Combustion Structure Inside Low NOx Combustors for a 1500°C-class Gas Turbine, ASME Paper No.92-GT-123
- (10) 三輪光砂：ガスタービンの基礎と実際、成山堂書店、pp.128-140
- (11) 佃嘉章、他3名：東新潟4号系列1,450°C級ガスタービン複合発電設備の運転実績、火力原子力発電Vol.51 No.6, 2000.6, pp.27-34
- (12) 福泉靖史、他4名：大容量ガスタービンの最新技術動向、三菱重工技報 Vol.40 2000.7, pp.2-4





## 原動機開発と環境について

木下啓次郎\*1

KINOSHITA Keijiro

私が自動車用ガスタービンの研究開発に携わっていた1960年から1980年頃までの期間から25年程経過した今日、パワープラントの開発という立場から、今までにいろいろなことを感じている。

その第一は原動機そのものの素性とか特質が絶対的に優れていても、その開発成果が評価を受ける局面になって相対的に評価された場合、例えば市場性とかコストとかの面で実用化に至らない場合が少なくない。

いいかえれば、シーズの優秀性だけではニーズを引き寄せることは難しいということが言えると思う。

これを強く感じた理由は、1945年から30年間にわたって、米国や欧州各国の有力な自動車メーカに日本のメーカも加わった形で行われた、自動車用ガスタービンの開発競争にあった。特に自動車先進国であった米国のビッグスリーの完成度は非常に高いと感じたのは、日本ガスタービン学会が発足して間もない頃、米国で行われたガスタービン国際会議に参加した時であった。

会議の何日目かの製品展示の会場に、キーンという高周波音を響かせて、いきなり大きなガスタービン駆動のトラックが乗り入れてきたのには驚かされた。

それはフォード社の705型ガスタービンの搭載車ということがわかった。

また別の会場では、クライスラー社開発のCR2Aガスタービン搭載の試乗乗用車が、来場者の前を走り回るといふデモンストレーションを行っていた。

当時のガスタービン学会活動を通じて面識のあった米国政府の担当官が、運よくその場において彼の口利きのお蔭で、部外者には普通絶対に握らせない試験車のハンドルを握ることができた。

この時アクセルペダルを踏んだ感触では、二軸タービンにつきものの加速おくれはあまりなかったようで、車のスピードが出過ぎて助手席の社員に叱られてしまったということがあった。

開発の先頭を切っていたGM社は、当時の報告によればガスタービン搭載の路線バスを、米国西部海岸の都市間で試験的に営業運行まで行っていた。

ここまで完成の域にあった米国のガスタービンでさえ、自動車用ともなると、トラック・バスにおいては、インシャルコスト、輸送の採算性、車両整備費用等について、

現行ディーゼル車との開きを埋めるには、まだ距離があったようである。

まして乗用車に至っては、それを使いこなして評価するのが、個人や一般家庭単位であることを考えると、その実用化との距離はさらにトラックの何倍になるのか、想像もつかない位の困難性がある筈である。

このことが開発の玉成度を以てしてニーズを呼び寄せることは、いかに困難であるかという事実を目の当たりに見た気がするのである。

二つ目に思うことは、開発におけるニーズは自然環境や社会環境によってシーズを引き寄せる強さが変わってくるということである。

本学会誌の本年五月号において、「ガスタービンを用いたコージェネレーション」について特集され、現時点におけるこのシステムの重要性が、非常に高まっていることがよく理解できた。

1985年頃このシステムについてガスタービンが参入する場合の市場ニーズを考えたことがあったが、発電とかエネルギー利用の地域的完結の度合いが非常に大きな影響があるとその時思った。

その後年月が経過して、地球温暖化の問題が起こって来るようになり、さらに最近では全国単位での発電量不足が問題視されるなど、環境面から見たニーズの方から、ガスタービンのシーズに近づいてきたように思う。

最後にガスタービンの特性が時代を先取りしていたという先行性を最近感じたことがある。

それはガスタービンバスを公道で走らせる計画を立てた1976年に、運輸省自動車局に対して車両登録の許可を申請したところ、当局から「ガスタービンのエンジン容量は排気量CCに代わって出力KWで表示するものとする。」という国内初めての通達が出た。

もう一つはタービン車の走行音が静粛過ぎるので、歩行者の安全のために、却って音を出す工夫が必要であると考えたことがあった。

それから35年経過した現在、電気自動車が普及するようになってから、ガスタービンと同じ二つのことが電気自動車に初めて当て嵌ってきたということは、ガスタービンの先見性を見た思いがしている。(終)

原稿受付 2011年6月23日

\*1 日本ガスタービン学会 名誉会員

# NIIGATA CNT-4002MNポンプ駆動用ガスタービン装置

樽井 真一\*1  
TARUI Shinichi

キーワード：ポンプ駆動, 2軸ガスタービン, 2機1軸

## 1. はじめに

日本の河川は流路が短く勾配が急なことから、台風や豪雨による災害が発生しやすく、古くから堤防、揚排水設備等の治水施設を築いてきた。近年、河川周辺の都市化の進展に伴い、集中豪雨等の発生に対する新たな治水対策が求められるようになり、ポンプによる強制排水施設の重要性が増し、施設の大規模化・ポンプの大型化が進んでいる。

新潟原動機(株) (以下当社という) は、2001年より2000PS (1471kW) クラスのポンプ駆動用ガスタービン装置を自社開発し製造販売してきたが、上記のような近年の要求を満たすため、2000PS (1471kW) クラスのNGT2BM型ガスタービンを、出力軸減速機を介して2機1軸化した出力4000PS (2942kW) クラスのCNT-4002MN型ポンプ駆動用ガスタービン装置を開発した。表1に装置要目を示し、また図1に装置外観を示す。

表1 CNT-4002MN装置要目

ポンプ駆動装置	型式	CNT-4002MN
	定格出力	4,000PS (2,942kW)
	回転速度	1,000min <sup>-1</sup>
	始動時間	約60秒
	再始動時間	約60秒
ガスタービン	燃料	A重油, 軽油, 灯油
	型式	NGT2BM-T
	圧縮機	遠心2段
	燃焼器	単筒缶型
	ガス発生機タービン (GGT)	軸流2段
	出力タービン (PT)	軸流1段
	回転速度 (GGT)	22,000 min <sup>-1</sup>
回転速度 (PT)	22,000 min <sup>-1</sup>	

周囲条件：40℃, 高度150m



図1 CNT-4002MN装置外観

## 2. 概要及び特長

CNT-4002MN型ポンプ駆動用ガスタービン装置は、ガスタービン及び減速機を横に配置した横型2軸ガスタービン装置であり、以下の特長を有する。

### 1) 自社開発純国産ガスタービン

シングル機で実績のある当社製NGT2BM型ガスタービンを2機1軸化した純国産ガスタービン装置であり、充実したアフターサービスが可能。

### 2) 低回転高トルクの2軸ガスタービン

2機のガスタービンが出力軸減速機を介して1軸となる構造であり、2軸ガスタービンの特性はそのままに、出力の倍増を図っている。従ってクラッチや流体継手は不要。

### 3) 高い始動信頼性

始動時間約60秒、また停止動作中の再始動要求に対しても約60秒で始動可能であり、ポンプ駆動用として迅速で確実な始動性を有する。

### 4) 先行待機運転ポンプに最適

無負荷の管理運転が可能であり、また雨水の急激な流入に備えた先行待機運転も可能。

### 5) 高性能制御装置

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。

原稿受付 2011年3月24日

\*1 新潟原動機(株) 技術センター

〒957-0101 新潟県北蒲原郡聖籠町東港5-2756-3

### 3. ガスタービン主要構造

NGT2BM型ガスタービンのガス発生機タービンは、2段の遠心式圧縮機と2段の軸流タービンからなる。また、出力タービンは軸流1段を採用している。燃焼器は単筒缶型のシンプルな構造で、ライナ内壁面には遮熱コーティング（TBC）を施工し耐久性を高めている。図2にガスタービン断面図を示す。

ガス発生機タービンの吸い込み側には始動装置、燃料ポンプ及び潤滑油ポンプを駆動する補機ギヤが結合されている。

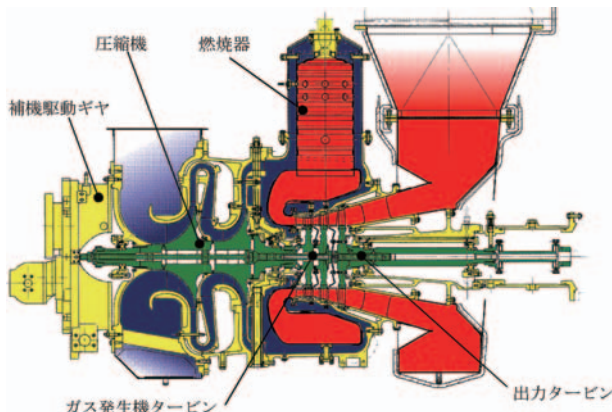


図2 ガスタービン断面図

### 4. ポンプ駆動用ガスタービン装置概要

#### 4.1 エンクロージャ

小型・軽量のガスタービンの特長を活かした軽量・コンパクトなエンクロージャ方式を採用し、設置スペースを節減。周囲1mでの騒音は85dB（A）以下を標準としている。

#### 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、良好な始動性能や負荷追従性を実現している。

#### 4.3 始動性能

CNT-4002MNポンプ駆動用装置は、当社非常用ガスタービンで培った急速始動の技術を水平展開することで、始動指令からアイドル回転速度まで約60秒での急速始動が可能である。

さらに、図3に示すように機関停止操作中に、再度始動指令が入った場合でも、約60秒で再始動できることを実証している。この再始動システムのポンプ駆動用装置への適用は業界初となる。

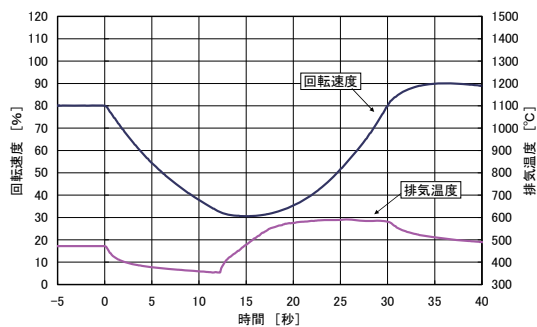


図3 再始動トレンド

#### 4.4 換気レスパッケージ

ポンプ駆動用装置は、豪雨や洪水等の発生時に運用されることが想定されるが、このような災害時には停電が併発する可能性がある。そこで当社では、装置のオプションの一つとして、パッケージ内換気にモーターファンを使わずに、ガスタービンの燃焼用空気を利用する換気ファンレスパッケージを開発した。装置断面図を図4に示す。

なお、本システムではパッケージ内の暖められた空気を吸入するため、出力は定格の70%となる。

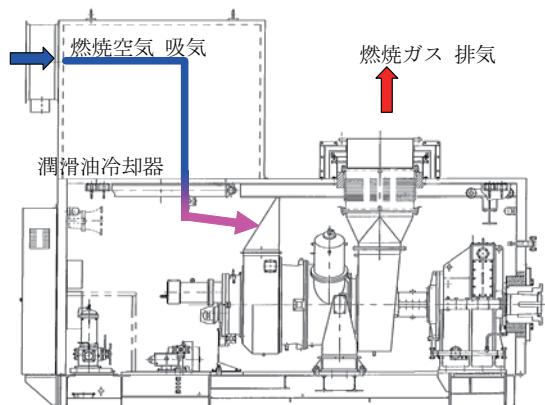


図4 換気ファンレスパッケージ

### 5. まとめ

CNT-4002MN型ポンプ駆動用ガスタービン装置は、河川周囲の都市化が進む最近の社会的ニーズに適する大型の2軸ガスタービン装置である。

2001年から製造・販売を開始した当社製ポンプ駆動用ガスタービン装置は、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。この新しいポンプ駆動用装置が、さらに多くのユーザーにご活用いただけるものと期待している。

# 2011年ASME国際ガスタービン会議

## 1. 全般

船崎 健一\*1

FUNAZAKI Ken-ichi

北米と欧州とで毎年交互に開催されているASME TURBO EXPOは、今回2011年6月6日～10日の間、カナダブリティッシュコロンビア州のバンクーバー市で開催された。今年も多くのGTSJ関係者が参加されており、私が会議概要を説明する必要もないと思うが、技術的な内容の見聞録とはまた異なった視点で会議を見ることができたこともあり、会議全体を俯瞰した結果を報告することにも価値はあるだろう。ややバイアスの掛かった内容と時差との戦いに敗れて？大切な情報を聞き逃していることもあるが、その点をご容赦願いたい。

バンクーバーは、山、海を同時に楽しむことができる風光明媚な世界有数の観光地で、冬季オリンピックの開催地としても有名な場所である。住民の中でアジア人（中国系、韓国系）の占める割合が非常に高く、その影響もあってか、no-show policyが功を奏したのか、例年にもまして中国からの参加者が増えているように感じられた。

会場となった Vancouver Convention Centerは、ダウンタウンにほど近い港の中にあり、会議場と巨大な展示場とが機能的にセットされた、TURBO EXPOのように非常に数多くのセッションを同時に行うような学会に最適なサイトである（写真1）。休憩や昼食の際に広々とした窓から一望できる海と山のコントラストは、会議の疲れを吹き飛ばすほどの絶景であった（写真2）。



写真1 講演会場

初日にはOpening Ceremonyがあり、観光・労働大臣によるバンクーバーの紹介につづき、Board ChairであるBunker氏から、IGTIの現況、今回の会議に関する概要、簡単な統計データが披露された。ASMEでは勿論のことだが、IGTIはエネルギーをキーワードに、様々な分野で拡大を図っている。この拡大路線の象徴として、セッションの分野数の増加が挙げられる。昨年度からの蒸気タービンのセッションにつづき、風力、太陽熱、ファン、送風機などのセッションも企画されている。このような路線の効果があつてか、280ものセッション総数、970の講演数及び3,000人とも推定される参加者数にも達する巨大な会議となった。Bunker氏につづいて、大会委員長Thomas Sattelmayer氏（独）と実行委員長Ibrahim Yimer氏（加）が紹介され、キーノートスピーチとなった。今年のテーマはClean & Efficient Turbomachinery Technologies for Future Low Carbon Economiesで3名のキーノートスピーカが紹介された（福島原発の影響による動向の不透明感に言及があつた）。一人目のスピーカはPWC CanadaのWalter Di Bartolomeo氏で、航空エンジンにおけるLife-Cycle-Optimizationの重要性やGTF（Geared Turbo Fan）エンジンの優位性が述べられた。特に後者について、効率面だけでなく騒音面でも飛躍的な改善が図られていること、また、regional jet用としてGTFの技術が活かされる可能性が強調された点が印象的であつた、その後続くRonald Fischer氏（Siemens）及びGarg Mercer氏（GE）は、それぞれ化石燃料及び風力発電についての現況と展望が示された。



写真2 講演会場からの絶景

原稿受付 2011年7月22日

\*1 岩手大学工学部

〒020-8551 盛岡市上田4-3-5

Fischer氏はsustainable,affordable,accessibleが今後の発電事業にとり重要になると指摘し, Mercer氏は21世紀はIntegrated diversityの時代であるとの見解を示した。

キーノートスピーチに続いて幾つかの授賞式が行われた。ASME R.Tom Sawyer賞は, 長年にわたってガスタービン関係の燃焼の分野で数多くの業績を残されたDayton大学(米)のBallal教授に贈られた。Ballal教授はIGTI Boardメンバーとして, またChairとしても活躍され, GTSJとIGTIの友好的な関係構築にも尽力された方である。また, IGTI Schalor Lecture はUTRC(米)のSharma氏によるThe Role of Physical and Numerical Experiments in the Development of High Performance Axial Flow Turbinesであった。本来ならば出版されているべき原稿が間に合わず, また, かなり古いビデオ(それでも当時は先駆的であったと思われる内容であった)の紹介など, Sharma氏らしい講演であった。

ASME/IGTIのアジア地区(特に中国)への意識の高まりは相当なものである。IGTI Boardのメンバーにな

り, Review Co-Chairの大役を務めたSong教授(ソウル国立大学)の働きかけもあり, 日本, 韓国, 中国などアジア諸国から例年ない数の Session Organizerが選ばれ, 論文査読コントロールや座長などの役目を果たした。このような Asian Contributorを集めた会合では, 論文投稿(全体の18%)という貢献からさらにステップアップした貢献をアジアに期待している旨のアナウンスがあった(Session Organizerの中に占めるアジア人の割合は5%程度であり, 今後さらに割合を高めたいということである)。

来年はコペンハーゲンで開催されるが, 「エネルギー」を軸として, ますますTURBO EXPOが巨大化していくであろう。その中で, 日本やGTSJのプレゼンスをしっかりと示していくことは, 東日本大震災からの日本の復興や福島原発問題を踏まえての日本の姿勢を示すという観点からも, とても重要である。ブースを構えるなり, 特別セッションの企画なども可能かと思う。学会内で大いに議論して頂きたい。

## 2. 航空用ガスタービン

五十川 武士\*1  
ISOKAWA Takeshi

キーワード: 超高バイパス比エンジン, 火山灰, 騒音

### 1. 概要

今年の航空エンジン委員会主催のセッションは計14セッション, 54講演であり, 昨年の59件とほぼ同等の講演数であった。

内容は, エンジン・モデルとシミュレーション, 運用性, 新しいエンジン・コンセプト, ジェット騒音, インテークと排気ノズル, エンジンの試験・評価などに関する論文発表と, 超高バイパス比エンジン, 航空エンジンに対する火山灰吸込みの影響に関するパネル・セッションである。

総じて超高バイパス比エンジンやシミュレーション技術に関する講演が多く, 注目を集めていた。

### 2. 超高バイパス比エンジン

従来エンジンよりも燃費改善, 排出物低減を目指したUltra High Bypass Ducted Fanやオープン・ロータに関するパネル・セッションが開催され, NASA, 大学, 機体およびエンジン・メーカーが講演した。オープン・ロータやGTF(Geared Turbo Fan)によって高バイパ

ス比化が進むと, エンジンの燃費が良くなる一方で, 従来以上にエンジンへの流入空気流量が多くなるため, 誘起された流れによって, パイロンや主翼, 胴体の空気抵抗が増加することが紹介され, これを考慮したエンジン搭載方式検討の必要性についても言及されていた。

また, ペーパーセッションでも超高バイパス比エンジンを取り扱った論文(GT-45370, 46451, 46694)が多く発表された。全般的に超高バイパス比エンジンに関する発表は聴講者も多く, 関心の高まりが感じられた。

### 3. 航空エンジンに対する火山灰吸込みの影響

昨年に引き続き, 降灰環境下における航空機の運行に関するパネルセッションが開催され, 機体およびエンジン・メーカー, 民間航空会社, 米空軍, FAAなどの政府機関からの発表があった。昨年のアイスランドの火山噴火の際は, 欧州の75%にあたる空港で離発着が停止され, 800万人の足に影響が出たとの紹介もあり, 聴講者の関心も高く, 大変盛況なセッションであった。各発表者の間ではリスク対応の考え方に違いが見られ, 活発な意見交換が行われた。

### 4. ジェット騒音

排気ジェットの発生する騒音低減方法を取り扱った研

原稿受付 2011年7月15日

\*1 (株)IHI 航空宇宙事業本部 防衛システム事業部  
〒196-8686 東京都昭島市拝島町3975-18

究についての発表があった。艦載機などの双発機の排気を想定した平行ジェットが生じる騒音とその軽減に関する研究 (GT-46417), 垂直離着陸機の排気が地面へ衝突する際や艦載機の排気が後方のリフレクタに衝突する際に発生する騒音の解析 (GT-46548) などの研究について紹介があった。また, 排気ノズルにノッチを追加したり (GT-46244,46656), 排気ノズル部で主流に少量の空気を噴出したり (GT-45200) することで, ジェット騒音低減を図る研究の紹介があった。

### 5. 試験・評価

エンジンやその要素の試験や評価方法に関する発表があった。運用中のエンジンの性能劣化を運行時のOn-wingデータと数学モデルを用いて評価する手法 (GT-45839) や, 効率 (Efficiency) ・経済性 (Economy) ・

環境性 (Environment) の向上を目指したE3Eコアエンジンの高空試験成果 (GT-45876) に関する発表があった。また, 要素技術の分野ではプラズマ・アクチュエータの性能評価の試験条件設定に関する研究 (GT-46583) の紹介があった。

### 6. モデル・シミュレーション

航空機用エンジンのモデル化やシミュレーションに取り組んだ技術の紹介があった。エンジンの初期設計段階において, エンジンの熱サイクル設計と流路設計, ロータやシールの配置を自動的に行うツール (GT-46437) や, NPSS (Numerical Propulsion System Simulation) や構造設計CADを取り込んだ環境を整備し, エンジン構想設計での設計トレード・オフを自動化する活動 (GT-45546) の紹介があった。

## 3. 産業用ガスタービン

荒木 秀文\*1  
ARAKI Hidefumi

### 1. Cycle Innovations : 新規サイクル

このCommitteeでは, テクニカルセッションが8セッション企画され, 論文件数は32件であった。

発表が多かったテーマは, まずCO<sub>2</sub>回収7件であり, 排熱回収の工夫により燃焼後回収の吸収液の再生効率を上げる検討 (GT-45678), 酸素燃焼によるクロズドガスタービンの試設計 (GT-46299), IGFCとCO<sub>2</sub>回収の組合せ検討 (GT-46274) などのほか, ケミカルループ反応, カルシウムループ反応を利用したCO<sub>2</sub>除去の検討 (GT-45480,46602,45884) など, 先進的な研究も発表された。

燃料電池関連研究も7件と多く, ハードウェアシミュレーターを用いたIGFC (GT-45369), SOFCのリアルタイムシミュレーション (GT-45527), エクセルギー再生による高効率IGFCの検討結果 (GT-46282) が発表された。

加湿サイクルの発表は4件あり, AHATシステムの運用特性の試験と解析 (GT-45168), コンバインドサイクルの燃焼器への蒸気噴射のシステム性能解析 (GT-45730), 再生サイクルと蒸気噴射の組合せの解析 (GT-46375), ガスエンジンからの排熱回収によるラジアル蒸気タービンの試験と解析 (GT-46192) が発表された。

自然エネルギーを利用するものとして, 太陽熱利用ガスタービンでの負荷変動時に, VIGV (可変入口案内翼)

を操作した場合のシステム性能解析 (GT-45331), 既存ランキンサイクルプラントの, 太陽熱によるリパワリング (GT-45736) があり, 地球環境保護の気運の高まりを感じた。

### 2. Electric Power : 電力事業用ガスタービン

このCommitteeは, 論文発表4セッション, パネルが2セッションあり, 合計25件の発表がなされた。論文発表数は昨年と同等であるが, CO<sub>2</sub>回収のパネルセッションが, 昨年の2つから1つに減少している。全体として, ガスタービンメーカーが自社の最新技術を発表する論文発表とパネルセッションが多く, 聴講者で賑わった。1700°C級ガスタービンを目指した技術開発と, その技術の商用機への適用 (GT-45172, 46898), 約30%の低負荷までNO<sub>x</sub>やCOを規制値以下に保つことが可能な, 運用性に優れたドライ低NO<sub>x</sub>燃焼器 (GT-45373, 46895), 15分程度で急激な負荷上昇が可能な, 運用性に優れたコンバインドサイクルガスタービン (GT-46897) の発表があった。最近のメーカーの開発動向が, 効率向上だけでなく, 運用性の向上にも大きく向けられていることが伺える。

一方, このCommitteeでも, サトウキビを燃料としたボイラーの経済性の評価 (GT-45055), 自然エネルギーと組み合わせた場合のシンプルサイクル, コンバインドサイクルガスタービンの役割の検討 (GT-46484) など,

原稿受付 2011年7月15日

\*1 (株)日立製作所 日立研究所

〒312-0034 茨城県ひたちなか市堀口832-2

資源や環境の持続性に配慮した論文発表があった。

### 3. Industrial & Cogeneration : 産業&コージェネ用GT

論文発表が3セッション、パネル/チュートリアルが5セッション設けられ、合計31件の発表があった。これらの約半分の15件が吸気冷却に関するものであり、特に夏場のガスタービン出力向上への潜在的なニーズが伺える。

吸気噴霧冷却のスプレイ設置位置を変えた場合の蒸発解析 (GT-46809)、噴霧冷却による圧縮機の特長変化のCFDによる解析 (GT-46124)、3種類の液滴蒸発モデルを想定した場合のシステム性能解析 (GT-46584)、メディア式冷却を噴霧式冷却に改造した場合の事例紹介 (GT-45398) など吸気冷却装置自体の研究のほか、気候と吸気冷却効果の関係の検討 (GT-46463)、冷熱貯蔵を利用した吸気冷却システム検討 (GT-45997, 47027) など、システム全体の検討が発表された。

他に、運転保守のセッションでは、圧縮機オンライン洗浄のトラブル事例 (GT-45019)、吸気フィルタの選定 (GT-45225)、吸気フィルタのライフサイクルコスト分析 (GT-46708)、GTの性能低下原因の調査 (GT-45375) など、圧縮機関係の発表が目立った。

### 4. Oil & Gas Applications : 石油, ガス用GT

論文発表が5セッション、パネル/チュートリアルが8セッションあり、合計で44件の発表があった。

このCommitteeの特徴として、ターボ機械の信頼性、健全性の確保に関する発表が多く、GT性能の経年劣化の予測 (GT-45710)、圧縮機の汚れ付着のCFDによる解析 (GT-46089)、圧縮機に砂が入った場合のCFDによる解析 (GT-45057)、モンテカルロ法によるガスタービンのAvailabilityの予測 (GT-45708) が報告された。

他に、ガスパイプラインステーションの圧縮機に関する発表が5件あった。

パネルセッションでは、例年通り、海底、オフショア向けのガス圧縮機、CO<sub>2</sub>圧縮機のセッションが開催され、各社の適用事例が発表された。

### 5. Marine : 船用ガスタービン

このCommitteeは、論文発表3セッション、チュートリアル、パネル各1セッションで合計16件の発表があった。論文発表では、ガスタービン駆動船の運転性能解析 (GT-46101, 45902)、ガスタービン駆動船の制御 (GT-46849, 45911, 45093)、船用ガスタービンの開発 (GT-45484)、損傷原因の検討 (GT-45851) が発表された。

## 4. 小型ガスタービンおよびセラミックス

倉田 修\*<sup>1</sup>  
KURATA Osamu

マイクロタービン・小型ターボ機械関連の各セッションの論文件数は「熱交換器の設計、最適化、材料」が4件、「ターボチャージャーの設計と最適化 I II」が8件、「ローターの動力学と軸受」が4件、「燃焼器の設計、最適化と代替燃料」が3件、「マイクロタービンの分散エネルギー、海洋、自動車への応用」が5件、「可搬式マイクロタービン」が2件、「部品の設計と最適化」が4件で、合計8セッションで30件の論文発表が行われた。セラミックス関連の論文件数は、「セラミックス部品の開発と試作」が2件、「Ceramic Matrix Composite (CMC) の性能と試作」が4件、合計6件の論文発表が行われた。

### 1. マイクロタービンと小型ターボ機械

「マイクロタービン・小型ターボ機械」各論文はProceeding DVDのセッション18に収められている。「熱交換器の設計、最適化、材料」については、900℃まで

の水蒸気雰囲気中でコロージョンとクリーブ耐性を有するアルミナ形成オーステナイト箔の評価 (GT-46704)、小突起、大突起、2連突起による熱交換器熱伝達量の改善 (GT-46401)、内外フィンを有するバヨネット式熱交換器の流れ解析 (GT-46036)、波形ダクトの簡略化CFDモデルによる熱流体解析 (GT-46050) について発表があった。

「ターボ過給機の設計と最適化」については、羽根背面のキャビティとブローパイの流体力の軸受力への影響 (GT-46360)、ターボ過給機のスケールマップに基づく性能改善 (GT-45345)、入口温度と背圧を入力したターボ過給機のマップの応用 (GT-45500)、ターボ過給機可変翼の2次流れ損失CFD解析 (GT-46753)、エンジン駆動高性能低圧タービンのCFD解析 (GT-45541)、ターボラグを改善するターボコンパウンド発電機の過渡性能 (GT-45317)、新型能動ターボ過給機の1次元解析 (GT-46599)、自動車機関の脈動による応答とターボラグの解析 (GT-45164) について発表があった。

「ローターの動力学と軸受」については、磁気流体

原稿受付 2011年6月20日

\* 1 産業技術総合研究所 エネルギー技術研究部門  
ターボマシナグループ  
〒305-8564 つくば市並木1-2

ハイブリッド高速軸受 (GT-46513), 能動磁気軸受で支持されたターボ分子ポンプの振動制御 (GT-45785), マイクロスラスト軸受の溝モデルに基づく3次元解析と最適化 (GT-45822), マイクロタービン用フレキシブル継手の応力解析 (GT-45347) について発表があった。

「燃焼器の設計, 最適化と代替燃料」については, 水素添加燃料マイクロガスタービン燃焼器の解析 (GT-45275), レーザーシートによる燃焼器ガス予混合過程の可視化 (GT-45752), 液体バイオ燃料 (ケロシン, エタノール) を用いたマイクロガスタービンEGRフレームレス燃焼の解析 (GT-46341) について発表があった。

「マイクロタービンの分散エネルギー, 海洋, 自動車への応用」については, ロシアにおける船用セラミックトンネルタービンの開発 (GT-45201), 中大型自動車向けのICR350タービンの開発 (GT-45945), マイクロタービンとターボ過給機改造の比較 (GT-45220), 空調用逆ブレイトンサイクルタービンの改善 (GT-46007), 遺伝アルゴリズムを用いたマイクロタービン分散システムの費用最適化 (GT-46400) について発表があった。

「可搬式マイクロタービン」については, 空圧駆動マイクロタービン発電機の試作 (GT-45897), ボンド線図を用いたターボ過給機系の過渡応答解析 (GT-46072) について発表があった。

「部品の設計と最適化」については, 可変ジオメトリタービンのCFD解析による損失改善 (GT-46177), 圧縮機のシュラウド形状相違の数値解析 (GT-46015), 空力と強度を満たす100kWタービンの解析と設計 (GT-46140), 600kWラジアルタービンの総合性能1次元数値解析 (GT-46148) について発表があった。

その他, 「マイクロタービン・小型ターボ機械」以外のセッションでは, 「石炭, バイオマス, 代替燃料」のセッション3において, 合成ガス燃料100kWマイクロタービンの実証と燃焼器数値解析 (GT-46090), 10%-30%バイオディーゼル燃料マイクロガスタービン燃焼器の試験 (GT-46655) について, 「燃焼, 燃料と排気」のセッション4において, バイオ燃料マイクロタービン燃焼器の数値解析 (GT-45807, 45551) について発表があった。「新規サイクル」のセッション6において, 既存部品を用いるハイブリッドSOFC/マイクロガスタービンの部分負荷性能 (GT-45834), 天然ガス燃料のハイブリッドSOFC/マイクロガスタービンの概念設計と

燃料電池内2次元解析 (GT-46137) について, 「ソーラープレイトン&ランキンサイクル」のセッション20において, 太陽熱集光キャプストンマイクロタービンの試験結果 (GT-45918) について発表があった。「ターボ機械: ラジアルターボ機械」のセッション33において, 低レイノルズ数MEMSマイクロタービンの流れと損失の3次元数値解析 (GT-46587), 低圧と高圧段を有する1段小型APU圧縮機の試験 (GT-45005), マイクロタービン圧縮機の性能解析 (GT-46374) について発表があった。

## 2. セラミックス

「セラミックス」各論文はProceeding DVDのセッション2に収められている。「セラミックス部品の開発と試作」については, High Performance Oxide Ceramics (HiPOC) 計画におけるCMCの燃焼器とタービン部品の開発 (GT-45460), セラミックタービンの寿命と信頼性を向上し, 水蒸気によるエロージョンと亀裂の防止に適した運転条件 (GT-46784) について発表があった。

CMC高温部材の挑戦のパネルディスカッションにおいては, CMCタービン設計の挑戦, CMC部材-ロールスロイスの展望, CMCシュラウド エンジン試験の経験について話題が提供された。

「CMCの性能と試作」については, CMC微細構造の多様性による応力分布と亀裂損傷の評価 (GT-45930), Calcium-Magnesium AluminoSilicate (CMAS) や塩に曝露されたCMC高温部品の強度の低下 (GT-46771), 高温における1.59mmの鋼球を用いたCMCへのFOD試験のモデル化 (GT-46851), FODにおける鋼球衝突のSiN試験材の大きさの影響 (GT-46831) について発表があった。

その他, 「セラミックス」以外のセッションでは, 「製造材料と冶金」のセッション16において, TBC用TiYSZの熱物性と構造分析 (GT-45054), TBC用TiYSZの機械特性 (GT-45643), 燃焼器TBCのクリープ, 酸化, 熱サイクル試験 (GT-45761), CoNiCrAlY結合層の酸化特性 (GT-45747), CMSXとMAR M上のプラチナアルミナボンド層TBCの評価 (GT-45028) について, 「構造と動力学: 確率論」のセッション23において, CMC微細構造の多様性の抽出 (GT-45890) について発表があった。



## 5. ターボ機械の性能と流れ 5.1 軸流関係

### 5.1.1 ファン・圧縮機

奥井 英貴\*<sup>1</sup>  
OKUI Hidetaka

軸流・ファン圧縮機の空気力学は9セッションで、昨年度の45件からやや少ない、合計38件の論文が紹介された。この分野の近年の動向は、低エミッション要求、産業用ガスタービンに特化すれば、自然エネルギーとの混合利用に伴う運用性向上を背景に部分負荷性能の向上が重要視されており、広い負荷帯でタービン入口温度を維持することが可能な作動範囲の広い圧縮機およびその要素技術の開発がメインテーマになっている。そのためケーシングトリートメントやチップインジェクション、境界層の抽気、エンドウォールコンタリングなど、比較的高コストではあるが、ストールマージンを積極的に制御する方法が多数報告されている。

ケーシングトリートメント (CT) については1セッション4件の報告があり、異なる動翼形状に対してロバストな設計 (GT-45905)、多段圧縮機の影響 (GT-46315) や3次元翼との組み合わせ効果、最適形状に対するスタディ (GT-45364)、非定常CFDによる解析方法の提案 (GT-45806) など、これまでに流れのフィジックスやCTの効果について着目した研究から一歩すすんで、実用的な研究が中心となっている印象を受けた。

一方、チップインジェクションはおもにチップ流れの分野 (セッション) で紹介され、PIVを用いた詳細な流れ場の計測や (GT-45281)、動翼単列内で流れを再循環し、設計点の効率を落とさずにわずかな流量で安定性を改善する方法 (GT-46042) など、比較的基礎研究に近い新たなアイデアが紹介されたものの、顕著な効果を期待するのは難しいように思われた。その中で、ストールと流れの制御に紹介されたアクティブコントロールに関する論文 (GT-46468) では詳細な計測と非定常CFDにより、噴出しの強さや角度、周波数など詳細な設計パラメータに言及しており、そうしたパラメータの最適化より、13%の損失低減を達成できることを示していた。

チップインジェクションでは、定常の噴出しでも流れは非定常となるため、チップ流れのストール点付近での非定常な特性やストール発生のメカニズムが十分に理解されていない現段階では、実用化については模索段階といったところではないかと考える。昨年度から別セッション (非定常流れの分野) に移ったストールとサージの研究、十分な非定常データベースの構築による非定常

CFDの進歩が望まれる。

境界層抽気については、今回、新たに設けられたコーナーストールとダクト設計のセッションの中で、航空エンジンのS型ダクトにOGVを組み込んだ新しいデザインを提案し、OGVの下流の抽気とあわせて30%の軸長の短縮と20%の損失低減を達成する報告があった (GT-45267, 45268)。また、翼面やエンドウォールからの抽気に関する研究ではGT-46479, GT-45202などが報告されている。

エンドウォール流れとコンタリングのセッションでは、動翼チップに波型のコンタリングを適用し、チップのキャンパーラインの最適化とあわせて漏れ流れによる損失を低減する方法 (GT-45624) や、静翼のハブに高さの異なるフェンスをいくつか並べる方法 (GT-45858) など、新しいアイデアが提案された。

GT-45059では、実測に基づき、こうした一連の流れの制御方法のサイクルコストを、ポルトローブ効率に換算して見積り、比較している。

設計・解析・試験は3セッション12論文が発表された。航空エンジン関連では、近年話題の2重反転ファンの設計手法に関する論文が報告された (GT-45426)。その他、冷凍機用の反転軸流圧縮機 (GT-46009)、ラムロータ (GT-46051)、垂直離着陸機のダクトファン (GT-46359) などが報告されている。

抽気、漏れ流れ、実形状のセッションでは、既に説明したGT-45202に加えて、GT-45888で航空エンジンのインタークーラー用の冷却空気の抽気方法が紹介されている。GT-46855では翼面にリブレットをつけることによって摩擦損失を減らす試みが翼列試験によって調査され、リブレットの設置範囲、形状などが詳細に調べられている。10°という実用的なRe数で実施され、リブレットに対する粒子の付着まで調査している。また、GT-46300ではキャビティ流れの影響に着目して非定常多段CFD解析を実施しており、今後の研究動向が注目される。

その他、計測方法についてはLGV (Laser Global Velocimetry) と呼ばれる時間応答が非常に高いレーザー流速方法で、チップ流れの調査に対する有効性が示されているものや (GT-45176)、壁面にマウントしてせん断応力の大きさと方向を同時に計測する方法 (GT-46364) が紹介されていた。

原稿受付 2011年7月19日

\* 1 三菱重工業(株) 高砂製作所 ガスタービン技術部  
〒676-8686 兵庫県高砂市荒井町新浜2-1-1

## 5.1 軸流関係 5.1.2 タービン

田沼 唯士\*<sup>1</sup>  
TANUMA Tadashi

「軸流タービンの空力」として10の論文セッションがあり、43件の論文が発表された（昨年51件）。

エンドウォールコンタリング（壁面形状制御による翼列2次流れ損失低減技術）に関しては5件の論文が発表された。遷音速翼列への適用に関するCFDでの評価（GT-45192）と遷音速直線翼列実験による評価（GT-46511）では共に高負荷翼列でエンドウォールコンタリングによる損失低減効果が大きいとされた。実機に近い条件での実験検証では、静翼と動翼のハブとチップ両壁面に非軸対称エンドウォールコンタリングを採用し、動翼入口ハブ壁面から冷却シール空気が主流に流入する条件でモデルタービン実験を行った研究（GT-46309）が目された。

リーク損失低減に関しては、準3次元解析とCFDによる損失モデルの提案（GT-46718）、亜音速から超音速にかけてのチップリーク損失と先端形状の関心のCFDによる評価（GT-45798, 46390）、低圧タービン動翼へのチップインバースフィン（蒸気タービンで採用されているケーシングからのフィン）採用効果の検討（GT-45250）が報告された。ハブ側のリムシールに関しては、直線翼列試験でリムシール形状が翼列性能に及ぼす影響が調べられた（GT-45682）。

航空エンジンの高圧・低圧タービン間のインタータービンダクト（ITD）のコンパクト化と高性能化の研究が最近注目されているが、ITD入口のスワールを模擬する静翼を用いた環状風洞試験（GT-45554, 45555）、上流に高圧タービン1段落を設けたガイドベン付きタービンダクトの環状風洞試験（GT-46221）の結果が報告された。

表面粗さの損失への影響評価に関する研究としては、

粗さを考慮した壁関数モデルの検討（GT-45424）、上流回転動翼を有する静翼環状風洞試験装置を用いて低レイノルズ数条件で空力損失への表面粗さの影響を計測した研究（GT-46371）、同じく低レイノルズ数条件の高負荷低圧タービンの高速翼列試験結果（GT-45015）が報告された。

高負荷低圧タービン翼の剥離制御装置として、翼背側にバックステップを形成する方法（GT-45156）、流体振動素子を設ける方法（GT-45073）、プラズマアクチュエータを設ける方法（GT-45397）が提案された。

今回も、航空エンジン巡航時の低レイノルズ数条件での高負荷低圧タービン翼の背側剥離制御に関連する発表が多く、前述した研究（GT-46371, 45015, 45156, 45073, 45397）以外にも、低圧2段落タービン試験との比較解析（GT-45557）、2次元翼型負荷分布の影響評価（GT-46328）、適切な負荷と翼型を決めるための一次元設計法（GT-45238）の発表があった。

また、5孔高感度非常定圧力プローブを用いた翼列風洞計測結果（GT-45838）、壁面に設けた突起で発生させた縦渦で翼前縁から発生した馬蹄形渦を制御する実験（GT-46246）などの発表に多くの質問があった。

2009年から始まった「蒸気タービン」のセッションは7セッション（パネルセッション1、論文セッション6）で22件の論文が発表された（昨年24件）。最終段の影響を考慮した排気ディフューザーの性能評価（GT-45677, 45302, 45466, 46180）、最終段翼の空力設計や空力弾性学に関する研究（GT-45450, 46368, 46856, 46857, 46858）、A-USC蒸気タービン（GT-45549, 45816）などの発表ではメーカー間の活発な議論が印象的だった。なお、会期中の6月9日（木）に、蒸気タービン委員会の設立がIGTIボード会議で承認された旨の報告があった。

原稿受付 2011年8月1日

\*1 帝京大学 ジョイントプログラムセンター  
〒173-8605 板橋区加賀2-11-1

## 5.2 遠心関係

山田 和豊\*<sup>1</sup>  
YAMADA Kazutoyo

遠心関係では9セッションで36件の講演があった。一

原稿受付 2011年7月28日

\*1 九州大学  
〒819-0395 福岡市西区元岡744

昨年の7セッション28件、昨年の8セッション32件と比較すると、論文数は増加傾向にある。

インペラ関係では、数値計算の流れ場予測について調べた研究があった。設計点のインペラ流れを対象に

RANS計算を実施し、インペラ出口の計測結果との比較から、キャビティーからの流れを考慮することでハブ側の予測が改善されることを示した発表があった (GT-45036)。また、一流路8,000万点を超えるLESを実施した例が紹介された (GT-45804)。格子解像度がまだ不十分なのに加え、入口での主流乱れや乱流境界層の導入の必要性が指摘された。高圧力比遠心圧縮機の流れ場予測に関して、様々な乱流モデルを評価した発表もあった (GT-46829)。数値計算によって流れ場を解析した発表では、二種類の遠心圧縮機に対してDESが実施され、渦崩壊が旋回失速の抑制および低流量での性能改善に寄与することが示された (GT-46253)。三次元翼設計に関しては、逆問題設計により最適化されたインペラ (GT-46505) や、リーンの効果 (GT-45383) などが数値的に調べられていた。その他に、小型ガスタービンの補助動力装置 (APU) として、1つの圧縮機で二系統の圧縮空気を供給するDFC (dual flow centrifugal compressor) が紹介された (GT-45005)。

ケーシングトリートメント (再循環流) 関係では、再循環流に対しインペラ入口で負のスワールを供給するカウンタースワールベーンの効果について調べたもの (GT-45360)、キャビティーベーンの効果に加え抽気スロット幅がインデューサの流れ場に及ぼす影響を調べたもの (GT-45629) が発表された。また、対称・非対称のケーシングトリートメントによる安定性の改善について、“stability parameter” で議論した発表があった (GT-45065)。他にも非定常計算を実施し抽気孔とインペラの非定常干渉が性能に与える影響を調べたもの (GT-45777) があった。

ディフューザに関しては、タンデム型LSDについて調べたもの (GT-45382) やインペラとベーン付きディ

フューザの干渉について調べたもの (GT-46223, 46234) などがあった。リターンチャンネルについては、GAを用いてU字の流路形状およびベーンの最適化を行ったもの (GT-45076)、インペラの代わりに予旋回を生成する静止翼を取り付け、ディフューザからリターンチャンネルまでの開発を容易かつ高速に行える試験装置についての発表 (GT-46834) があった。

タービン関係では、従来のVTG (Variable Turbine Geometry) とは異なる新しいコンセプトとして、VOT (Variable Outlet Turbine) が紹介された (GT-45729)。VOTでは、スリーブを軸方向にスライドさせることによってインペラ出口でスロート面積が制御される。小型・マイクロタービンに関しては、レイノルズ数の影響を調べたもの (GT-46587)、圧縮機側からタービン側への伝熱の影響を議論したもの (GT-45887)、製作時の幾何学形状の変化が性能に及ぼす影響を一次元モデルで評価したもの (GT-46374) などがあった。他にもツインスクロールの性能について調べた研究が発表されていた (GT-46820, 45525, 46308)。

性能予測モデルに関する研究がいくつかあった。実験データに関して一次元性能予測モデルをチューニングする自動最適化手法 (GT-45499) や、無次元パラメータを導入し物理に基づいた代数方程式から性能特性を予測する手法 (GT-45502) が発表された。また、IGV付遠心圧縮機に関する性能特性の予測手法が提案された (GT-45195)。ベースとなる圧縮機の性能特性を近似曲線で表し、IGVによる性能変化の相対関係を無次元化により定式化している。その他には、圧縮機システムの動的挙動を解析するために開発されたシミュレーションモデルが紹介された (GT-45810)。

## 5.3 非定常流れと数値流体力学

渡辺 紀徳\*1

WATANABE Toshinori

ターボ機械の非定常流れに関しては7つのセッションで31件の論文が発表された。

失速・サージ関係では失速初生の流れ・予知・能動抑制に関する研究が今回も多数発表された (GT-45116, 45338, 46118など)。壁面圧力の測定から“不規則性”を抽出し失速の予兆を捉える手法が詳細に検討された (GT-45850)。また遠心圧縮機ベーン付きディフューザの旋回失速発生がURANS数値解析と実験の結果から詳

細に検討され、短波長擾乱から旋回失速に至る過程が翼端流れではなくインペラ出口の強い旋回とスパン方向の非一様性に支配されていることが示された (GT-46332)。一方、軸流ファンおよび圧縮機空力の分野でケーシングトリートメント (CT) のセッションがあり、周方向溝型CTの効果とメカニズムを論じた研究 (GT-45364, 45905, 46315)、CTへの流入空気を上流に噴き出すタイプのCTの研究 (GT-46042) などが発表された。

タービン翼面流れの遷移と剥離、および後流と翼面境界層との干渉を扱った様々な研究が発表された。後流により乱された平板境界層流れのDNS解析 (GT-46322)、

原稿受付 2011年7月20日

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

剥離泡のLES解析 (GT-66057), LPT流れに関する遷移の基礎的実験 (GT-45690, 45852) などが報告された。またタービン流れと他の要素との干渉の研究として、パルスドレネーション駆動タービンの性能評価 (GT-45396), タービン非定常流れが出口ディフューザに及ぼす影響 (GT-45673), ラビリンスシール漏れ流れとの干渉 (GT-45883) などが発表された。

ターボ機械の設計手法とCFDモデリングのセッションが9つあり36件の論文が発表された。

逆解法設計と最適化に関するセッションではタービンの設計法 (GT-46729, 46757), 最適圧力分布を基礎とする圧縮機設計 (GT-46091), 遺伝的アルゴリズムの応用 (GT-45411, 46171など), ファンの多目的最適化 (GT-45618) などが見られた。また翼面形状の曲率を初期値に与え形状を最適化する新たな設計法が提案されている (GT-46722)。

三次元CFDのセッションが2つあり, 軸流ファンの微粒子を含む流れとエロージョンに関する研究 (GT-45992), CTを含む圧縮機の最適化に新しい格子生成法を用いたもの (GT-45483) などが発表された。タービンの三次元流れに関して翼面の渦生成ジェットを対象とす

る遷移のモデル化がなされ (GT-45621), また流れ方向渦の役割が数値的に検討されている (GT-45075)。

近年常設となっている構造・力学委員会とターボ機械委員会との合同セッションとして今回は空力励振および減衰のセッションが7つあり, 26件の論文が発表された。失速域近傍で逆流や流れの不安定と複合する振動 (失速フラッターも含む) に関する研究が目立った (GT-45034, 45035, 45437, 45813, 46624)。ミスマッチングの影響を扱った論文が多く見られ (GT-45800, 45802, 45849, 46283), 多重モードの不安定を非線形解析した研究 (GT-45983) もあって議論が活発だった。構造と流体の連成解析法が多く用いられるようになり, 計算負荷を減ずるためのモデリングや, モーダルなアプローチ等も研究された (GT-45505, 45692, 46500, 46690)。特色ある研究として, 遠心圧縮機インペラに高密度気体を流した時に見られる固有振動数のシフトが報告された (GT-46297)。

騒音とその革新的低減法について2セッションが設けられた。航空エンジン委員会にもジェット騒音の2セッションがあり, 騒音に関する発表が増加している。

## 6. 伝熱関係

武石賢一郎\*<sup>1</sup>  
TAKEISHI Kenichiro

村田 章\*<sup>2</sup>  
MURATA Akira

キーワード：伝熱, 冷却, 二次流れ, ノズル, ロータ, 燃焼器

### 1. 伝熱一般

伝熱「一般セッション」では計70件の論文発表があった。発表内容を分類すると以下の通りである (重複カウントあり)。Impingement冷却11件, 乱流促進体: リブ16件, ディンプル4件, ピンフィン6件, その他形状2件, 複数の乱流促進体の組み合わせ3件, 翼先端部 (シュラウド部) 6件, 翼面4件, エンドウォール4件, 旋回流5件, その他 (計測法, 灰の付着, 曲がり部へのガイドベーン設置など)。筆者の興味で選んだ論文を会場での議論内容とともに以下に紹介する。

実験での熱伝達率計測手法としては感温液晶または赤外線カメラを用いた非定常法が多い。非定常法では一次元熱伝導の仮定を用いるが, 質疑応答を聴いていると「壁面材質の熱伝導率が低いので一次元熱伝導の仮定は

成立している」という回答が多く, 乱流促進体などの凹凸のある表面形状では (少なくとも部分的には) 一次元熱伝導の仮定に破綻をきたしていることを認識している著者は非常に少ないようであった。新しい乱流促進体形状として, GT-46128ではV型ディンプルの熱伝達率を感温塗料を用いた非定常法によって調べている。計測手法と形状に新しさがあり, 今後が期待される。GT-46132ではダブル・ディンプルという球状ディンプル (凹み) 2つを流れ方向に重ねた形状を用いた粗面上の流れ場を2次元PIVで調べている。このダブル・ディンプル面の熱伝達性能については前報で発表済みである。複数の乱流促進体の組み合わせとして, GT-45356ではディンプル, ピンフィン, リブの組み合わせによる伝熱促進を赤外線カメラによる非定常法計測とrealizable k- $\epsilon$ モデルによる計算で調べている。GT-45449ではピンフィンとディンプルの組み合わせによる伝熱促進を感温液晶による定常法計測とrealizable k- $\epsilon$ モデルでの計算で調べている。GT-46078では片持ちピンフィンと交差リブの組み合わせによる伝熱促進を感温液晶による非定常法計測

原稿受付 2011年8月18日

\*1 大阪大学 大学院工学研究科 機械工学専攻  
〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1

\*2 東京農工大学 大学院工学府 機械システム工学専攻  
〒184-8588 東京都小金井市中町2-24-16

で調べている。

数値解析では、商用CFDパッケージと乱流1方程式モデル (Spalart-Allmarasモデル)、2方程式モデル (realizable  $k-\varepsilon$  モデル, SST  $k-\omega$  モデルなど) を用いた計算例が多い。しかし、 $k-\varepsilon$  モデルなどの渦粘性モデルでは乱流輸送のモデル化が等方的であり、また全ての時間変動スケールをモデル化している。そのために乱流促進体などが誘起する実際の乱流輸送現象と乱流モデルが再現する乱流輸送との対応は通常不十分であり、その利用には十分な有効性の確認が必須である。しかし質疑応答を聴く限りそのような認識は十分に浸透しているとは言えないようである。一方、乱流変動成分を再現するLESやDNSを用いた論文は3件のみと非常に少ない。GT-45312ではタンDEM円柱の下流側円柱前面の熱伝達をDNSとLESによる数値解析で調べている。GT-45749では静止場での90度リブ付き正方形管での熱伝達をLESで数値解析しており、壁面近傍では簡略化した基礎式を別途差分法で解くことで計算負荷軽減を行っている。GT-45915ではフィルム冷却のある場合のエンドウォールの熱伝達をDNS (スペクトルエレメント法) とLESで数値解析し、Horseshoe vortexと熱伝達の関係調べている。

翼先端部について、GT-45610では翼先端部に溝構造とフィルム冷却孔がある場合の伝熱を赤外線カメラによる非定常法計測とSpalart-Allmarasモデルでの計算で調べている。GT-46369とGT-46373では高圧タービン翼先端部にフィルム冷却孔がある場合の流れと熱伝達をアンモニア・ジアゾ法によるフィルム冷却効率計測、5孔プローブによる速度場計測、Spalart-Allmarasモデルによる計算によって調べている。GT-45977とGT-45979では高圧タービンシュラウド部の流れと熱伝達を、感温液晶による定常法熱伝達率計測、アンモニア・ジアゾ法によるフィルム冷却効率計測、内視鏡PIVによる流れ場計測、realizable  $k-\varepsilon$  モデルによる定常・非定常計算によって調べている。

今後期待したい論文をいくつか紹介する。GT-45744では、感温液晶を用いた非定常法計測を回転場に適用し、カメラを回転体に載せることで衝突噴流冷却の熱伝達率を計測している。回転浮力の向きを実機と揃えるために (通常の非定常法とは逆に) 空気温度は非定常的に下げて計測を行っている。回転場での熱伝達率の面分布計測例は非常に少ないので今後期待したい。GT-45757ではピンフィン1列の場合の流れ場を高速度ビデオを用いた高時間分解能2次元PIVで計測し、瞬時流れ場の時間発展を調べている。従来は乱流統計量の計測までであったが、今後はこのように瞬時場の時間発展計測例が増えることで流動・熱伝達現象の理解がさらに進んでいくものと思われる。GT-46853では静翼・動翼表面に薄膜熱流束計を658点、圧力計を289点設置しての実験について説明しているが、まだ本格的な実験結果が無く、

これからの結果に期待したい。

## 2. フィルム冷却

翼面、端壁面、翼前縁、翼後縁、翼先端へのフィルム冷却の適用、高性能シェイプトフィルム、フィルム冷却の空力損失への影響、内部流のフィルム冷却効率への影響、Conjugate問題など58編の論文が発表された。論文数が多いので特徴ある論文を紹介する。

タービン翼面上のフィルム冷却に関して、GT-46703では、タービン1段静翼の前縁に3列、腹側にトレンチを設置し翼列試験で低熱伝導率の材料を用いてピオ数を合わせた状態で冷却効率を測定した結果が報告された。一方GT-46709では、GT-46703と同じ翼列を用いて、上流から乱流格子に塗布したWax通電加熱することにより主流中に注入して、石炭ガス化ガスあるいはバイオマス燃料を燃焼させた際生じる可能性のある、タービン翼へのデポジションの付着のフィルム冷却への影響が調べられた。デポジション付着のフィルム冷却効率への影響は少ない。同様の手法で、GT-45190では端壁面に設けたトレンチへのデポジションの付着を調べている。石炭ガス化ガス燃料、バイオマスなど将来の燃料に対応した研究傾向と考えられる。GT-46612, GT-46614では、Conjugate Heat Transfer問題として、翼前縁模型とNASAのC3Xタービン翼の大型模型を用いて、主流、フィルム冷却、内部冷却を考慮した翼メタル温度解析結果と実験結果の比較が報告された。フィルム近傍で解析が低めとなるが全体に良い予測が得られた。GT-45355では、タービン動翼後縁Cut Back腹側フィルム冷却に関して、フィルム側後縁にリブあるいはディンプルを設けて、後縁のメタル温度を低下させる新しい冷却手法の提案と低速風洞実験による検証、またGT-45898では、タービン動翼後縁Cut Back腹側フィルム冷却に関してマッハ数のフィルム冷却効率への影響が調べられた。GT-45389では、圧力勾配を持たせた流路における全面フィルム冷却に関して大型模型を用いたフィルム冷却とその熱伝達率分布の詳細な測定結果が報告され、一方GT-45507では燃焼器尾筒と一段静翼の接続部からの漏れ空気が端壁面上をカバーする際のフィルム冷却効率と、馬蹄渦などの端壁面上の渦システムのフィルム冷却への影響が調べられた。

内部流とフィルム冷却空気の干渉では、GT-45196でタービュレータ付き流路にフィルム冷却孔を設けた場合、リブとフィルムの位置関係でフィルム冷却効率が影響を受ける測定結果が報告され、その論文と非常に関係ある論文としてGT-46838ではフィルム冷却空気に強制的な旋回を与え、円孔、シェイプト孔への影響を調べた結果、円孔の場合強い旋回流で効率が上がり、一方シェイプト孔の場合弱い旋回でフィルム冷却効率は極大値を取ることが明らかになった。

測定法、解析手法では、GT-45106で円孔とシェイプ

トフィルム孔を設けた高温翼列風洞での3次元PIVとLDVによる詳細なフィルム冷却の流動場の測定とCFD結果の比較がなされた。円孔の方が良い推定結果が得られている。またGT-46838で、フィルム冷却空気的主流との混合場のLIFによる測定が、GT-45134ではMRIを用いたフィルム孔内を含む主流とフィルム冷却の混合場の詳細測定が報告された。今後CFDの検証データとして瞬時場、時間平均場の実験データが有効に活用されるであろう。GT-45070ではMRIを用いた、タービン後縁を模擬した腹側フィルム冷却吹き出しの詳細測定結果が報告された。後縁腹側フィルム冷却の主流との混合状況のフィルム冷却形成の詳細が定量的に測定される手法を提示している。一方数値解析の分野では、汎用コードを用いたフィルム冷却効率の予想と実験との比較は従来通り多くの論文が発表されているが新規性のある報告は少ない。解析時間の短縮計る手法として、フィルム冷却形状を施したタービン翼のメッシュ分割には多くの時間を要するが、GT-45354では、フィルム冷却孔を含むタービン翼面上での形状を前もって作成し、それを当該部位に貼り付けていく方法で、メッシュ分割の時間を大幅に削減する手法が報告された。

### 3. シール

タービン静翼と動翼間のシールに関して31編の論文が発表された。論文数が多いので特徴ある論文を紹介する。

GT-45139では、静翼と動翼間のリムシールに関してオリフィスモデルが提案され、キャビティへの流入流出量の推定方法が示された。またGT-45310ではリムシールの周方向静圧分布の流入流出への影響をCO<sub>2</sub>をトレーサに測定した結果が報告され、一方GT-45314ではリムシールの詳細なCFD解析がなされた。GT-46608では低速翼列を用いて、一段静翼と一段動翼の干渉がシール空気に及ぼす影響を周方向で異なる分布となることを実験とCFD両面から明らかにした。GT-45695では、シールの回転モデルを用いて、ディスクの空隙部の各面に熱電対を取り付け、その温度分布を逆解析することから熱伝達率分布を測定した結果が報告された。

ブラシシールに関して、GT-45756では、シャットダ

ウン時のブラシシールが摩耗することを防ぐために、引き込み式の機構を設けることの可能性を実験的に調べた結果が報告された。また、GT-45353ブラシシールの漏れ特性の測定が、GT-45113ではブラシシールの漏れ特性を調べる新しい実験装置が紹介された。

### 4. 遷移、燃焼

遷移セッションでは、遷移予測式の検証、RANS計算での遷移予測、パルスジェットによる剥離制御、遷移境界層での乱流スポットの同定、プラズマアクチュエータによる剥離制御の5件の発表が行われた。また、燃焼セッションでは、燃焼器内流動・伝熱、放射伝熱モデル、超コンパクト燃焼器、燃焼器内スワールの後流への影響、燃焼器ライナーの吹き出し冷却など13件の発表が行われた。両セッションから筆者の興味で選んだ論文を以下に紹介する。

遷移について、GT-46385ではスペクトル法によるDNSを行い、人工的に乱流スポットを作成し、6通りの方法でその乱流スポットの検出・同定を行っている。乱流遷移現象は非常にモデル化が難しい流動現象であるので、より高次・高精度の計算、そして実験結果の蓄積が望まれる。

燃焼について、GT-45919では超コンパクト燃焼器内の温度分布をLIF法で計測し、火炎の様子は高速度ビデオで撮影している。GT-46037では燃焼器内部スワールが高圧タービン部に与える影響を調べるためにSpalart-Allmarasモデルを用いた3次元非定常計算と薄膜抵抗センサによる表面温度計測実験を行っている。表面熱流束は表面温度のインパルス応答から推定している。GT-46561では、燃焼器内の流れと熱伝達をLESを用いて数値解析している。壁面近傍で簡略化した基礎式を別途差分法で解くのは同一著者グループによるGT-45749（伝熱「一般セッション」）と同様である。さらに入口条件としてRANS計算の結果からsynthetic eddy methodという方法で時空間変動成分を有する入口条件を作成している。LESやDNSの場合には、入口条件として変動成分を有する速度時系列データを与える必要があるが、本手法はこの問題に対する現実的な対応策といえる。

## 7. 燃焼および燃料関係

小林 正佳\*1

KOBAYASHI Masayoshi

### 1. 全般

Combustion, Fuels & Emissionsでは、論文セッションが30、パネルセッションが3の合計33のセッションが開催された。発表件数は論文発表が128件、パネル講演が15件と昨年と同等レベルであった。さらにHeat transferやCogenerationとのジョイントセッションでは合計16件の論文が報告された。国別の論文発表数は、多い順に米国が32件、ドイツが29件、中国が11件、イギリスが8件、フランス、日本がそれぞれ6件であった。特筆すべきは、昨年度の論文発表数で5位であった中国が今年度3位まで躍進しており、中国でのガスタービン燃焼器に関する研究開発が盛んになってきている様子が伺える。また、ドイツの発表29件においてDLRからの発表が10件と約3割を占めていた。日本の6件は、日立製作所から2件で高水素濃度燃料用燃焼器に関するもの、JAXA/川崎重工の共著で航空用希薄燃焼技術に関するものが2件、そしてJAXAからTechCLEANプロジェクトの実験的および解析的成果の2件の報告がなされた。論文発表を主なテーマ別にみると以下のような状況であった。

### 2. 燃焼振動

7セッション、33件の発表があり昨年度同様に一番論文数が多く、その内5セッションが主に実験的アプローチによる調査研究報告であった。希薄予混合燃焼による低NO<sub>x</sub>化に伴う燃焼振動は不可分のテーマであり、各国で盛んに研究が行われている様子が伺える。米国ジョージア大学からの研究発表が多く、筆者の聴講した本セッションのどの論文発表においてもジョージア大学研究者からの質疑応答が必ずあり、活発な議論が行われていた。

### 3. 自己着火、逆火、吹き消え

4セッション、15件の発表がなされ、水素含有燃料に対して実施された研究例が多く見受けられた。様々な水素濃度燃料のリヒート燃焼器における自己着火特性についての実験的調査例 (GT-46195) や解析的解明 (GT-45264) 等が報告された。

### 4. 燃焼モデリング

3つのセッション、12件の発表があった。RANSと最

近研究が盛んに行われているLESをガスタービン燃焼器流れに適用して比較検討を行った研究例等が報告された (GT-46355, 45023)。

### 5. 代替燃料

産業用および航空用とも代替燃料に関する研究は、今回3つのセッションにて12件報告されている。本セッションは従来使用されていなかった低質燃料の有効活用をするため既存エンジンを用いての排ガス調査研究例 (GT-46099, 45387) やGTL燃料に対する高空着火特性の調査研究例 (GT-45487, 45510) 等が報告された。

### 6. 高濃度水素燃焼

2セッション、8件の発表があった。様々な燃料ノズルを用いて各社が研究を行っており、その中にはマルチ噴射方式を用いた研究報告があった (GT-45459, 45295) 水素含有燃料を対象にした研究は、本セッションのみならず他のセッションでも報告されており研究者の関心の高さが伺える。

### 7. その他

「燃料微粒化、噴射、混合、蒸発」は3セッション、12件、「排ガス試験・規制」は2セッション、9件、「燃焼器設計、開発」は2セッション、8件の発表があった。

### 8. パネルセッション

「LES解析」、「天然ガスに替わる燃料の可能性」、そして「低公害航空燃焼器の展望」の3セッションが開設された。航空燃焼器の展望については、NASA、P&W、GEそしてHoneywellからプレゼンがあったが、航空エンジンメーカービッグ3の1つであるRRから報告されなかったのが残念である。冒頭にNASAからNO<sub>x</sub>排出規制に関して2015、2020および2025年の目標がそれぞれ50%、25%および25% CAEP6以下と提示された。これらに対しGE社はTAPS希薄燃焼技術にて対応するとの自信を示していた。P&WはTALON RQL燃焼技術で2020年目標に注力して開発を行っていると報告していた。Honeywellは小型エンジンでさえも今後の規制に対応して行くためにはRQL燃焼方式のみならず希薄燃焼方式も候補として検討するとの報告がなされた。

原稿受付 2011年7月20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

## 8. 制御と診断

森岡 典子\*<sup>1</sup>

MORIOKA Noriko

### 1. 全般

制御分野はControls, Diagnostics & Instrumentation (CDI) コミッティが主管しており、技術分野は制御 (Controls)、診断 (Diagnostics) および計測 (Instrumentation) に分類されている。筆者はControlsのセッションでの論文発表を通じてCDIコミッティ・ミーティングに参加したので、本ミーティングで得られた制御技術分野の動向情報を中心に報告する。

### 2. 制御技術分野の動向

CDIコミッティ主催のセッションは、ペーパー・セッションのみで総数12、そのうちControlsが2、Diagnosticsが6、Instrumentationが4である。論文数はそれぞれ7件、23件、17件であり、総数47件となっている。CDIコミッティの総論文数はここ数年、横ばい状態。なお、2011FYは論文47件のうち17%にあたる8件をジャーナルとして発行予定であり、この割合がコミッティ全体の投稿論文の学術レベルを示す指標になるが、ほかのコミッティと比較して遜色はないという報告がされていた。

セッションごとに見ると、Controlsのセッション数は長年にわたり2ないし3であるのに対して、Diagnosticsのセッション数が2002年ころから急増して以後持続的に高水準で現在に至っている。Instrumentationのセッション数はここ数年3ないし4である。

### 3. 制御および診断

CDIセッション全体で、エンジン制御システムや油圧システム、電気電子システムに関わる論文は筆者がControlsのセッションで発表した航空用エンジン制御システムの電動化に関わる論文 (GT-46765) が唯一であった。Controlsセッションではほかに、シミュレーション・モデルを用いた発電用ガスタービンの運用最適化 (GT-45789, 45626)、エンジンの線形物理モデルを複雑な非線形モデルから解析的に求める方法 (GT-45371) などの論文が発表されていた。学会の基調講演においても、ガスタービン技術の将来像として環境エミッション削減やエネルギー効率向上が主課題であることが強調されていたが、制御システムの同分野における学術貢献は低調な印象である。

Diagnosticsのセッションは論文数も多く、CDIセッ

ションの主流を占めている。診断の方法に関わる論文が15件と多く、ヘルスマonitoringに関する論文が8件である。発表者は大学や研究機関が多く企業発表が少ない状況にあり、数値計算やモデル評価を主とした発表が占めていた。企業の参加者からは非線形性や劣化特性等の非定常過程などへの適用可否や拡張性についての質問が多くなされており、より実機搭載での有用性へと関心が高まっていることを裏付けている。しかし、限定的なデータ範囲や線形領域または定常過程を主とする旨の回答が多く、聴講者の期待との乖離が伺える。Diagnosticsセッションの論文では、モデルベース (GT-45030, 45943, 46825) と、ニューラル・ネットワーク (GT-45990, 45991, 46752) がキーワードとしてあげられる。

今後の動向として、Prognosticsの発表がCDI外のコミッティ (Structures & Dynamics など) で発表されていることもあり、CDIの範疇でPrognosticsのセッションを設けるべきであるという議論もなされ、学術的な枠組みの再構築を図ることも検討されている。

### 4. 計測

Instrumentationのセッションでは高温計測技術に関する論文が8件、センサ技術全般に関する論文が9件である。高温計測技術は制御・監視用の搭載型計測システム、センサのみではなく、高空試験などの地上試験用の計測技術やセンサ較正技術も含まれており、総じて聴講者が多く、関心が高いことがうかがわれる。非接触計測ではタービン入口温度計測に光スペクトラムを用いる方式 (GT-45152) や燃焼状況の診断に音響効果を用いる方法 (GT-46431) が紹介されていた。接触型の計測では水冷温度計測プローブ (GT-45177) など複数の方式が発表されていた。またASIC (Application Specific Integrated Circuit) とSOI (Silicon-On-Insulator) を用いた構成で250℃まで使用可能なアンプつき圧力センサ (GT-45704) なども発表されており、高温計測は計測原理から実用化まで種々の場面での技術開発と評価実証を中心に発表されている。タービン入口などの高温計測技術の革新がエンジン効率改善、さらには環境エミッション削減に繋がることから、基調講演で学会が担うことを示した社会貢献と技術潮流に則っていると考えられる。

原稿受付 2011年6月27日

\* 1 (株)IHI 航空宇宙事業本部 技術開発センター 制御技術部  
〒190-1297 東京都西多摩郡瑞穂町殿ヶ谷229



## 9. 材料, 構造および製造技術

中村 寛\*1  
NAKAMURA Hiroshi

### 1. はじめに

材料, 構造および製造技術に関わる委員会として, (1) 材料および製造技術, (2) 構造力学: 疲労, 破壊, 寿命予測, (3) 構造力学: 信頼性手法の3つが開催された。本報では, 各委員会の講演について聴講した内容を以下に記す。

### 2. 材料および製造技術

材料および製造技術の委員会の主催で, 5セッション32件の講演が行われた。論文発表が12件, パネルセッションとして17件が発表された。

遮熱コーティング (TBC) に関わるセッションでは, TBCの性能を向上させる施工方法について発表があった。この中で, TBCの熱伝導率の低減と機械特性の向上を目的として, YSZにTiO<sub>2</sub>を添加する手法が提案された (GT-45054, 45643)。また, ボンドコートに大気中プラズマスプレー法を用いるとTBCの耐熱性は下がる傾向がある。一方, クリープ抵抗の高い材料を基材に用いることで耐熱性の高いTBCを生成できるという発表があった (GT-45761)。さらに, コールドスプレーによりCoNiCrAlYのナノ結晶のボンドコートを生成することで, 高い酸化抵抗を付与できるという報告があった (GT-45747)。

製造工程と補修技術に関わるセッションでは, 低サイクル疲労域や高温環境下でのショットピーニングの効果 (GT-46847), アルミ酸化物コーティング生成プロセスの長所短所の比較 (GT-46843), Frame 7Eガスタービンに対して実施している補修技術 (GT-46766) についての発表があった。

### 3. 構造力学: 疲労, 破壊, 寿命予測

構造力学: 疲労, 破壊, 寿命予測の委員会では, 6セッション27件の講演が行われた。このうち, 論文発表では21件, パネルセッションとして6件が発表された。

材料強度と寿命予測についてのセッションでは, Ni単結晶のタービンプレードに生じる方位角のずれを考慮した発生応力の評価法について発表された (GT-45309)。また, 微小き裂理論に基づいたチタン合金の疲労寿命予測手法について報告があった (GT-45644)。さらに, Ni合金材を対象とした, 高温ガス環境下における低サイク

ル疲労と高サイクル疲労の重畳した波形の寿命評価法が発表された (GT-45171)。

構造解析と最適化に関わるセッションでは, プラントの余寿命評価に用いる疲労, クリープ, クリープ疲労, 脆化状態の各材料試験結果と, 余寿命評価を行うツールについての報告があった (GT-45324)。また, ショットピーニングを施したタービンプレードダブテール部の残留応力を, FEMとひずみ開放法との比較により予測する手法が発表された (GT-45352)。さらに, タービン翼の空力設計について, 概念設計時の目標寿命から許容応力のレベルと, 材料の温度を予測する手法の報告があった (GT-45613)。また, クリアランスと寿命予測結果の精度向上を目的とした, 逆解析による境界条件予測方法について発表された (GT-45341)。

疲労寿命予測に関わるセッションでは, エネルギー基準の疲労寿命予測手法の発表が3件あった (GT-45043, 45261, 45443)。

パネルセッションでは, ガスタービンの構造強度評価について, 各メーカーの取り組みや展望が紹介された。各社ともに, 信頼性手法を積極的に取り込み, 製品の開発, 生産, 運用, 保守のコストの低減を図っており, さらに発展させていくという展望を有していた。

### 4. 構造力学: 信頼性手法

構造力学: 信頼性手法の委員会では, 5セッション19件の講演が行われた。この中で, 論文発表が9件, パネルセッションでは9件が発表された。

信頼性手法による寿命評価とリスクアセスメントのセッションでは, バイズ推定を用いたブリスクの高サイクル疲労に対する信頼性評価についての発表があった (GT-45151)。また, 静翼のクリープ疲労寿命と酸化層の厚さを, 信頼性手法により評価する取り組みが紹介された (GT-45841)。さらに, ダブテール部のフレットイング疲労寿命に及ぼす高サイクル疲労の影響を, 信頼性手法により評価する手法について報告があった (GT-46686)。

パネルセッションでは, 信頼性手法について各社の取り組みと展望が発表された。この中で, システム全体や開発計画全体で評価する信頼性手法を構築していくことが今後の課題とされた。また, モンテカルロ法よりも評価数を少なくし, 効率的に信頼性を評価できる方法の構築も課題とされた。

原稿受付 2011年7月20日

\*1 (株)IHI 航空宇宙事業本部 技術開発センター  
エンジン技術部  
〒196-8686 昭島市拝島町3975-18

## 10. ロータダイナミクスとベアリング

真柄 洋平\*<sup>1</sup>  
MAGARA Yohei

ロータダイナミクスは7セッションで29件、軸受とシールのダイナミクスは6セッションで22件、計51件の論文が発表された。全体の件数は昨年が48件であり今年も同程度であるが、昨年はロータダイナミクスCommittee内に軸受とシールの分野が含まれていたのに対し、今年は新たに軸受とシールダイナミクスのCommitteeが設けられた。これらの分野における日本からの講演は2件であった。

軸系振動解析のセッションでは、タービンの翼振動モードを単振動モデルに縮小して軸系に付加する翼軸連成解析手法が報告された(GT-45776)。また、圧縮機のねじりモデルと電気系方程式を連成させたねじり振動解析手法(GT-45033)や、水力発電で水車だけでなく制御器等の電氣的補機もモデル化した研究(GT-45907)といった複合的な系を扱った報告があった。他には、ミスアライメントによる軸受荷重変化(GT-45903)、ロータディスクの弾塑性接触(GT-45796)を考慮した解析や、各部剛性等の不確かなパラメータを有する軸系の解析手法(GT-45597)が報告された。電磁アクチュエータや液体バランサによる安定性向上に関する報告もあった(GT-45598, 46848)。

振動特性同定/状態監視のセッションでは、磁気軸受加振による安定性評価(GT-45829)、電子的制御によるねじり振動の消去方法(GT-46005)、異なる速度で回転する2ロータ間の干渉による共振に関する研究(GT-45165)が報告された。また、輸送システム向け製品で基礎が加振された場合の過渡応答に関する発表があった(GT-45339)。

異常振動については、2箇所でのラビング(GT-45081)や径方向と軸方向のラビングによる応答の違い

(GT-46250)などのラビングに関する発表があった。また、Morton効果について、軸受を交換することにより振動を改善した事例(GT-45228)と影響予測のための新しい計算アルゴリズムに関する発表(GT-45266)があった。

軸系振動に対する軸受とシールの影響のセッションでは、軸受に関して、テイルテイングパッド軸受の静/動特性計測結果(GT-45209)や2円弧軸受の最適設計によるロータ安定性向上(GT-45311)等が報告された。またフォイル軸受関連で、大型回転機械に適用するためのパラメータ研究(GT-46767)や軸系の非線形性に関する研究(GT-45763)等が発表されている。シールに関しては、ホールパターンシールを適用した実機の安定性についての報告(GT-45634)があり、また、ホールパターンの摩擦係数計測結果の報告(GT-45213)もあった。

新たに設けられた軸受とシールのダイナミクスCommitteeでは、軸受について、船上の変動荷重などによる一時的な油膜慣性の影響を考慮した計算手法(GT-45880)や軸受摺動面のテクスチャリングの影響に関する研究(GT-46804)、スクイーズフィルムダンパ軸受の動特性同定手法(GT-45818)、テイルテイングパッド軸受のパッド挙動に関する研究(GT-46510)等が報告された。またフォイル軸受に関する発表が5件あり、昨年に引き続き活発に研究されていることが窺えた。シールについては、気泡を含む環状ダンパシールやオイルシールの動特性予測手法に関する報告(GT-45264, 45274)や3種類の環状シールの動特性計測結果を比較した報告(GT-45556)、ラビリンスシールのフラッタに関する研究(GT-46281)等が報告された。

原稿受付 2011年7月20日

\*1 (株)日立製作所 日立研究所 機械研究センター  
〒312-0034 ひたちなか市堀口832-2

## 11. 展 示

堂浦 康司\*1

DOUURA Yasushi

今回の展示会は、6月7日（火）から9日（木）までの3日間、Vancouver Convention & Exhibition Centerの1階にあるExhibition Hallにて開かれ、約100の各企業・研究機関によるブース出展やステージ・プレゼンテーションが行われた。また、展示会期間中に毎日発行された”Turbo Expo Today”という小冊子に技術紹介記事や広告を掲載する等、出展者は自社技術のアピールに努めていた。

プログラム掲載リストによる出展者の地域別内訳は、北米（アメリカ、カナダ）が過半数、欧州が約3割であった。昨年のグラスゴーでは欧州からの出展が半数以上であり、開催場所によって北米と欧州の割合は変わるのであるが、いずれにせよ欧米諸国がほとんどを占めている。他の地域では、日本、中国、ロシア、インドからそれぞれ1社の出展があった。

業種別に見ると、計測機器メーカー、開発・設計等を行うエンジニアリングメーカー、加工メーカーがそれぞれ約2割であり、解析等のソフトウェアメーカー、部品メーカー等がそれに続く。ガスタービンメーカーはGE、Pratt & Whitney、Vericorの3社のみであった（Vericorは実物のエンジンを展示していた）。Turbo ExpoのHPに掲示されている資料に会議参加者の業務内訳が示されているが（2010年のもの）、研究や開発・設計に携わる技術者が多いことが出展者の業種に反映されているのであろう。

展示会開催中はランチ会場がExhibition Hall内に設置されており、お昼時になると、参加者はセッションが行われたフロアから長いエスカレータを下って展示会場へと向かう。エントランスを入ってすぐはガスタービンメーカーや解析ソフトウェアメーカー、部品メーカーの大きなブースが目に入る。筆者はガスタービン燃焼器の業務に従事しているが、燃料ノズルのカットモデルをずらりと並べたParkerのブースが興味深かった。実物を手に取って見ることができる機会は他にはなかなか無い。また、NASAのブースでは流体解析結果を流行りの3D表示でデモンストレーションしており、多くの人が3Dメガネをかけて見入っていた。

少し奥に入ると小さめのブースが並んでおり、計測器のデモが行われていたり、加工品や部品のサンプルが展示されている。足を止めると製品やパンフレットを手に

丁寧に説明してくれ、各社の特徴ある技術を知ることができる。

展示ブースの中には、ちょっとした遊び心を見せるところもあった。ある計測機器メーカーは、自社製圧力計を用いた測定装置による、筋力自慢コーナーを作っていた（上位ランキングに大出力ガスタービンのメーカーの方が多かったのは気のせいであろうか）。その他、密かに人気だったのが展示会場の奥に設置されたヘリコプターの実物で、コックピットに座って写真を撮る人が結構いた。

時間帯によって賑わいの差はあったものの、会場は終始リラックスした雰囲気であったように思う。夕方にはお酒も提供され、ワイングラス片手に談笑する姿があらこちらで見られた。インターネットで簡単に情報が入手できる昨今であるが、顔を合わせて情報交換することで、ビジネスチャンスを得るとともに、ガスタービン業界というひとつのコミュニティを盛り上げていこうというスタンスを感じた。

展示会の企画のひとつとして、最も優れたブースに贈られる”People’s Choice Award”がある。展示会参加者は各ブースを見て回り、自分が良いと思うブースに投票する。今年の実賞者はエンジン模型を展示したPratt & Whitneyと、心地よさそうな空間を作った(?) Numecaであった。

Turbo Expo 2012のHPに今回の展示会の様子が掲載されています (<http://www.asmeconferences.org/TE2012/Exposition.cfm>)。興味のある方は参照ください。



会場風景（ASME/IGTI提供）

原稿受付 2011年8月2日

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

## 第39回日本ガスタービン学会定期講演会報告

内田 竜朗  
UCHIDA Tatsuro

例年10月に開催する定期講演会が、今年は11月にIGTCが開催される関係で、7月6日(水)、7日(木)に長野県松本市で繰り上げ開催した。開催直前の6月30日に松本市で震度5強の地震が発生し、松本城乾小天守内壁にヒビが発生したとの報道があったため、若干心配されたが、大きな影響も無く予定通りに市民フォーラム、定期講演会、見学会を行なった。JR松本駅に到着すると、駅構内の壁には「ようこそ松本へ 日本ガスタービン学会」の大きな看板が掲げられ、歓迎ムードの中、スケジュール初日の市民フォーラムを行なった。順に詳細を報告する。

### 1. 市民フォーラム

定期講演会前日の7月5日に松本県(あがた)ヶ丘高校においてガスタービン市民フォーラムを開催した。「ガスタービン-高速輸送から次世代発電システムまで-」と題して渡辺紀徳氏(東京大学)に平易な表現で講演頂いた。教室は50名の参加者でほぼ満席で、高校生から「CCSによって回収、貯蔵したCO<sub>2</sub>は将来どうなるのか?」など活発な質疑が行なわれた。また、地元新聞2社からの取材を受け、7月6日付の中日新聞および7月12日付の松本平タウン情報に記事が掲載された。



市民フォーラムの様子

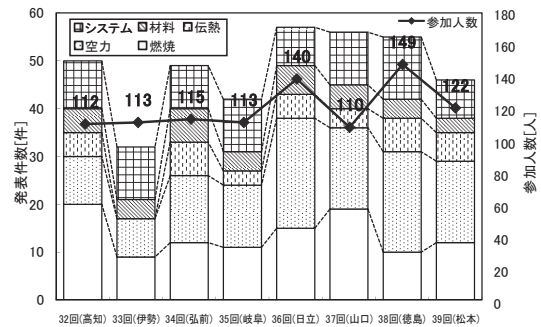
### 2. 定期講演会

定期講演会は松本城から北東に約2kmに位置する松本文化会館で開催した。

#### 2.1 一般講演

過去8年間の一般講演発表件数と参加人数の推移を図に示す。図が示すように発表全件数は例年50件前後であり、本年は46件であった。この内学生表彰にエントリーした発表は10件であった。震災の影響によって通学が制限される中の準備にもかかわらず、何れの発表も質の高い内容であった。詳細は「学生優秀講演賞選考結果について」を参照されたい。

全発表件数に対する技術分野別発表件数割合は燃焼が約3割、空力が約4割であり、例年同様の傾向であった。伝熱と



技術分野別発表件数と参加人数の推移



定期講演会の様子

システムの技術分野の発表件数は昨年に対して若干減少した。また、参加人数は例年110～150人の間を増減しており、本年は昨年と比較して若干減少したものの、過去7年間のほぼ平均値の122名であった。冒頭述べたIGTCと重なった影響を受けているものと思われる。

#### 2.2 先端技術フォーラム

講演会初日に中田俊彦氏(東北大)座長により、「低炭素社会に向けたエネルギーシステムのデザイン」と題して先端技術フォーラムを行なった。園山実氏(三菱総研)にエネルギーモデルを用いた持続可能な需給展望についての検討を、亀山寛達氏(東京ガス)にはCO<sub>2</sub>回収を伴う水素ステーションと水素社会の提言を、山中康朗氏(IHI)には石炭火力



定期講演会先端技術フォーラムの様子

のCCS技術導入課題について講演頂いた。東日本大震災後の原子力情勢を考慮したCCS、再生可能エネルギー技術の開発がより一層重要視されていると同時にCO<sub>2</sub>の輸送、貯蔵、管理、費用分担が課題になっている事について学ぶ事ができた。講演会2日目に「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？」と題して第一部では石塚悟氏（広島大）に「回転流中における火炎の挙動と安定化」について、店橋護氏（東工大）には「乱流火炎構造と燃焼制御」について、立花繁氏（JAXA）に「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」講演頂いた。

第二部では座長として石塚悟氏（広島大）、パネリストとして井上洋氏（日立）、木下康裕氏（川崎重工）、斉藤圭司郎氏（三菱重工）、藤森俊郎氏（IHI）、古谷博秀氏（産総研）、店橋護氏（東工大）、立花繁氏（JAXA）が登壇して討論が行なわれた。

### 2.3 特別講演

講演会初日に「松本城の歴史的価値とその卓越した建築技術について」と題して松本城管理事務所研究専門員の青木教司氏に講演頂いた。50分の限られた時間の中で105枚にのぼるスライドを用いて国宝松本城の歴史的価値、建築技術、魅力と世界遺産登録に向けた活動について説明頂いた。会場からは「なぜ徳川方の城であるにも関わらず黒漆の天守なのか？」など活発な質疑が行なわれた。

講演会2日目に「我が国ジェットエンジンの将来への一考察」と題して柳良二氏（JAXA）に講演頂いた。航空機市場の拡大、エンジン開発動向から推力15tonクラスのエンジン開発を産学官連携によって展開することが必須である事が紹介された。



懇親会の様子

### 2.4 懇親会

懇親会は講演会初日終了後にJR松本駅前の東急インで開催した。

平野孝典学術講演会委員会委員の司会によって進行し、筒井康賢会長の開会挨拶、高田浩之 元会長の乾杯の後、会員同士の懇親が図られた。会の中盤、壱岐典彦学術講演会委員会委員長から学生優秀講演賞審査結果が発表され、受賞者に対し、筒井会長から賞状が授与された。また、壱岐委員長から次回開催地が釧路であることが発表され、IGTC'11 Osakaの参加呼びかけが武石賢一郎IGTC'11実行委員会委員長から行なわれた後、川口修 元会長の閉会辞によって中締め散会となった。

### 2.5 特別セッション

3月11日に発生した震災に対応して特別セッションが緊急

企画された。「東日本大震災とGTSJの果たすべき役割について」と題して船崎健一氏（岩手大学）にご自身の体験を含めた重みのある講演を頂いた。

### 3. 見学会

講演会翌日の7月8日に見学会を開催した。午前中、IHIエアロマニューファクチャリング（IAM）にて航空用ガスタービン部品の生産設備見学を行なった。IAMは松本駅から南へ約40kmの辰野市に位置し、34名の参加者がバスに乗りして約1時間で移動した。翼表面仕上げを独自に開発した加工機械によって製造している様子や世界で最初に開発されたリシオルム式スーパーチャージャが展示されている資料館を見学した。再びバスで松本市内へ戻り、石井味噌の蔵を見学した後、昼食をとった。

午後、松本駅から北へ約6kmの松本クリーンセンターを見学した。この施設は市内から収集される廃棄物を150t/d×3の焼却炉によって処理している。廃熱はボイラによって28.2t/h×3の蒸気を生成し、蒸気タービン6,000kWの電力を発電している。

最後の見学先は松本城である。講演会初日の特別講演で得た予備知識が城内各所の役割を理解する上でとても役立った。見学会前夜半に降った雨が若干心配されたが、市民フォーラム、講演会、見学会が行われた日中は全て天候にも恵まれ予定していたスケジュールも全て無事終了した。



IHIエアロマニューファクチャリング 見学



可燃ごみ処理施設見学

### 4. 謝辞

市民フォーラムの開催にご協力頂いた松本県ヶ丘高校の方々、定期講演会の開催に多大なご協力を頂いた講演者および参加者の方々、松本観光コンベンション協会の方々、見学会の開催に多大なご協力を頂いたIHIエアロマニューファクチャリング殿、松本クリーンセンター殿、関係各位に厚く御礼申し上げます。  
(学術講演会委員会委員)

## 日本ガスタービン学会学生優秀講演賞選考結果について

表彰委員会  
学術講演会委員会

平成23年7月6日、7日に松本市で開催されました第39回日本ガスタービン学会定期講演会で実施した「日本ガスタービン学会学生優秀講演賞」選考について報告いたします。

本年は講演10件のエントリーがあり、分野内訳は空力関係：5件、燃焼関係：2件、伝熱・冷却関係：3件でした。審査は、発表内容に関して5項目、発表態度に関して3項目の評価項目を設け行ないました。全ての審査対象講演の終了後に審査会を開き、懇親会にて表彰を行いました。全体的に学生の講演の質が高く拮抗していたため、審査が難航いたしました。厳正かつ慎重な審査の結果、東京大学大学院 佐久間康典君「周方向溝型ケーシングトリートメントが遷音速圧縮機流れに及ぼす影響」と法政大学大学院 高梨智也君「トランスピレー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」が選出されました。懇親会の席上、受賞者に対して、筒井会長から賞状が授与されました。

最後に、審査をお願いした方々には、全ての審査対象の講演の聴講や審査会の開催など貴重なお時間をいただきましたことを、この場を借りて御礼申し上げます。

### 日本ガスタービン学会学生優秀講演賞

#### 周方向溝型ケーシングトリートメントが遷音速圧縮機流れに及ぼす影響



東京大学大学院 工学系研究科  
航空宇宙工学専攻  
佐久間 康典

この度は日本ガスタービン学会定期講演会において学生優秀講演賞を頂きまして、大変光栄に存じます。

今回の講演では、周方向溝型ケーシングトリートメントが遷音速圧縮機の流れ場に対して及ぼす影響について報告致しました。発表を通じて得た経験と、発表後の質疑応答で頂いた貴重なご指摘を生かせるよう、この度の受賞に慢心することなく研鑽に励み、ガスタービンの圧縮機における失速抑制手法の確立に向けて流体力学的な知見の獲得を目指していく所存です。

最後に、渡辺教授、姫野准教授、IHIの加藤様、今枝様を始めとして日々ご指導頂いている皆様に、この場をお借りして心より御礼申し上げます。

#### トランスピレー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



法政大学大学院 工学研究科  
機械工学専攻  
高梨 智也

私自身にとって、初めての学会発表ということで期待と不安に押しつぶされそうな心境で当日を迎えました。“誠意を持って”という一心で発表を行い、審査のことを考える余裕はなかったため、受賞を知った際には驚きを隠しきれませんでした。

本研究そして私自身も未だ発展途上の段階にあるため、この受賞を励みとして、今後いっそう研究活動に精進することで、より良きものにしていきたいと考えております。

最後になりますが、審査委員の方々をはじめとするガスタービン学会関係者各位、これまで御指導頂いた辻田教授、あらゆる面でサポートしていただいた研究室の先輩、同輩、そして両親にこの場を借りて心から御礼申し上げます。

## 第20回ガスタービン教育シンポジウム報告

西村 英彦

NISHIMURA Hidehiko

2011年6月30日(木)、7月1日(金)の2日間にわたり、「第20回ガスタービン教育シンポジウム」が東京都調布市の独立行政法人宇宙航空研究開発機構(JAXA)調布航空宇宙センターにて開催された。2006年から関東での開催とは別に関西でも隔年で開催されているが、今年度は関東のみでの開催の年に当たる。参加募集の開始直後の応募者が少なく参加者の大幅な減少が心配されたが、最終的には61名(学生34名、社会人27名)の参加者があり、昨年度と比較すると若干の減少となった。

本シンポジウムは、主にガスタービンの初心者を対象に、ガスタービンの基礎知識を学んで頂く目的で、第一線で活躍されている各専門家による講義と、実際のガスタービンとその関連の製造及び研究開発施設等の見学を併せた企画であり、今年度も1日目に講義2テーマと特別講義(JAXAにおける航空エンジン研究紹介)及び航空宇宙技術研究設備の見学会を実施し、2日目に講義4テーマを実施した。

1日目は、集行事務委員会の二村尚夫委員長による開会の挨拶の後、午前中に(1)ガスタービン概論(渡辺紀徳先生)の講義が行われ、昼食後、(2)ガスタービンと流体工学(濱崎浩志氏)、JAXAにおける航空エンジン研究紹介(西澤敏雄氏)について講義が行われた。その後、4班に分れて設備見学を行った。航空機の離着陸時や低速飛行時の空力性能を評価するための「6.5m×5.5m(大型)低速風洞」、騒音試験に用いられる「無響風洞」、実際のエンジンを運転し精細な計測が可能な「地上エンジン運転試験設備」、従来3つに分かれていたシステムを1つに統合した「スーパーコンピュータシステム」の4設備を見学した。研究施設見学後、展示室においてJAXAの研究全般について見学した。

施設見学終了後、JAXA調布航空宇宙センター内の厚生棟での懇親会が開催された。懇親会にはシンポジウム参加者の約8割の方が出席し、会場の各所で議論の輪が出来、官学及び企業間の枠を超えた真剣な議論や相互交流がなされ、時間いっぱいまで有意義な交流が行われた。

2日目は、前日に引き続きガスタービン関連の4テーマの講義、(3)ガスタービンと伝熱工学(船崎健一先生)、(4)ガスタービンと燃焼工学(岩井保憲氏)、(5)ガスタービンと材料工学(玉置英樹氏)、(6)ガスタービンと制御工学(新村栄一氏)が行われた。

講義はガスタービンの基礎に加えて最新の技術動向についても専門家の立場からの説明が有り、受講者にとっては内容の濃い講義であったが、皆熱心に聴講して頂いた。全講義終了後、2日間受講された方に受講修了証が発行された。また、参加者には今後の当シンポジウムの運営及び教材に関するアンケートに御協力頂いた。アンケート集計結果は次回以降の企画及び教材の改訂に反映する予定である。

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

最後に、講義、資料等の準備に貴重な時間をさいて頂いた講師の先生方に感謝すると共に、会場の提供、見学会及び懇親会についてご協力を頂いた独立行政法人宇宙航空研究開発機構の関係者各位に深く感謝いたします。

(集行事務委員)



講義風景



懇親会風景

## 2011年国際ガスタービン会議大阪大会のお知らせ (International Gas Turbine Congress 2011 Osaka : IGTC'11)

IGTC'11実行委員会  
同委員長 武石 賢一郎

1971年に第1回大会を開催して以来、ほぼ4年ごとに開催してきました国際ガスタービン会議は、10回大会を数えるまでになりました。前回の2007年東京大会を京王プラザホテルで開催してから早3年あまりの月日が経ちましたが、本会理事会、組織委員会や多くの会員の皆様のご支援を得て着々と準備を進めて参りました。2007年に引き続き、国内外の多くの学協会からの協力を得まして、また本大会から蒸気タービンを新たなテーマに加え190編のドラフト論文が採択されました。これら新技術・新製品開発に関する発表に加え、現在の状況に即した招待講演、基調講演、フォーラム、パネルディスカッション他が予定されており、充実した国際会議になると確信しています。

最新のガスタービン関連の研究成果を収集し、世界各国の専門家と情報交換が出来る絶好の機会ですので、是非ともご参加下さいますようお願い申し上げます。

1. 開催期間：2011年11月13日(日)～18日(金)
2. 会場：大阪国際会議場（大阪/中之島）\*  
10階～12階
3. 講演会：  
採択ドラフト論文数190件（国内106件，海外84件）  
招待講演3件，基調講演7件，パネルディスカッション2件，フォーラム2件

特別講演：大学生・高専生（一般）を対象にガスタービンの講演3件を予定  
日時：11月14日(月) 17:00～18:30  
会場：大阪国際会議場12階ホール  
言語：日本語  
参加料：無料

4. 展 示：  
展示内容：ガスタービンおよびターボ過給機，関連機器，計測・データ処理機器，関連ソフト他  
出展者数：39社  
会場：大阪国際会議場（会議開催会場）10階  
（面積約1000m<sup>2</sup>，79小間）

入場料金：無料

5. 関連行事：  
ウエルカム・レセプション：11月13日(日) 18:30～，  
大阪国際会議場12階  
バンケット：11月16日(水) 19:00～  
リーガロイヤルホテル山楽の間  
見学会：11月18日(金) 2コース

6. 参加登録など詳細情報：  
下記，国際会議のホームページを参照下さい。  
<http://www.gtsj.org/english/igtc/IGTC11/>

\*大阪国際会議場へのアクセス：下記URLを参照下さい。  
<http://www.gco.co.jp/>

会議場へはリーガロイヤルホテル行きシャトルバス（無料）をご利用頂ければ便利です。

場所：JR「大阪」駅西側（高架南寄り）

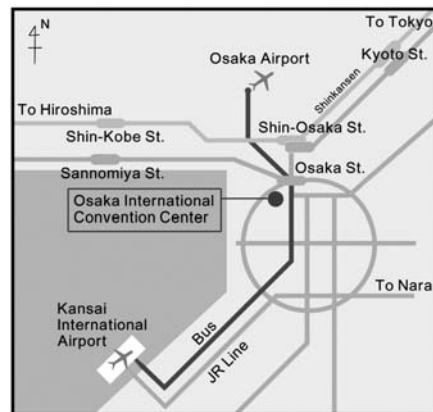
所要時間：約10分

運行時間：毎日7:45～22:15，（10:00～21:00は6分間隔，

他は15分間隔）

時刻表など詳細は下記URLを参照下さい。

<http://www.rihga.co.jp/osaka/map/bus.html>





## 2011年度日本ガスタービン学会賞候補募集のお知らせ

応募締切日：2011年10月31日(月)

日本ガスタービン学会では、下記の趣旨により2年毎に学会賞（論文賞、技術賞および奨励賞）の贈呈を行っております。つきましては、今年度も下記要領により学会賞の募集を行うこととなりましたので、お知らせ致します。

### 募集要領

#### 1. 日本ガスタービン学会賞の趣旨

本会はガスタービンおよび過給機に関連する工学および技術の発展を奨励することを目的として、優れた論文、技術ならびに新進会員個人の業績に対して、それぞれ日本ガスタービン学会論文賞、技術賞、奨励賞を贈り、表彰を行う。

#### 2. 対象となる業績

- (1) 論文賞 日本ガスタービン学会誌および日本ガスタービン学会英文電子ジャーナルに2007年12月以降2011年10月迄に公表された論文で、独創性があり工学および技術に寄与したもの。
- (2) 技術賞 ガスタービンおよび過給機に関連し、同上期間に完成した新技術（画期的な新製品の開発、製品の品質または性能の向上あるいは生産性の向上、材料開発、制御計測および保守技術の向上等）に寄与したもの。
- (3) 奨励賞 日本ガスタービン学会誌および日本ガスタービン学会英文電子ジャーナルに2007年12月以降2011年10月迄に公表された独創的な論文（本人が中心的役割を果たしたもの）。なお、萌芽的研究も対象とする。

奨励賞の候補者は、1976年4月2日以降生まれの個人とする。ただし、論文賞、技術賞あるいは奨励賞をすでに受けた者および今年度の論文賞、技術賞内定者は奨励賞を受けることはできない。

3. 受賞件数 論文賞2件、技術賞2件、奨励賞2名程度とする。

4. 表彰の方法 審査の上、表彰状および賞牌を授与する。

5. 表彰の時期 表彰は、2012年4月開催予定の日本ガスタービン学会総会において行う。

6. 応募の方法 公募によるものとし、論文賞、技術賞は推薦または本人より申請、奨励賞は推薦による。なお、一度申請して受賞しなかったものでも、再度応募して差し支えない。

7. 提出書類 推薦または申請には、本会の所定用紙に必要事項を記載して、1件につき正1通、副2通（コピーで可）の計3通を提出する。申請書は、学会HPからダウンロード可能。

([http://www.gtsj.org/html\\_info/award-2011.html](http://www.gtsj.org/html_info/award-2011.html))

#### 8. 提出締切日

2011年10月31日(月)17時必着

#### 9. 提出先

〒160-0023 東京都新宿区西新宿7-5-13  
第3工新ビル402  
公益社団法人日本ガスタービン学会  
表彰委員会宛

## 第40回ガスタービンセミナー開催のお知らせ

第40回ガスタービンセミナーを下記の通り開催いたします。

今回は、「ガスタービンの最新技術動向およびエネルギー資源の展望」をテーマとしています。

最前線で活躍されている方々のご講演を通して、最新のガスタービン技術動向およびエネルギー資源の展望について学ぶと共に、航空用ガスタービンの航空技術・運用的側面と液体燃料資源に関する今後の課題についても知見を広める内容としました。

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

1. 日 時：2012年1月19日(木) 10:00～17:30  
20日(金) 10:00～17:30

2. 場 所：(株)IHI横浜事業所横浜ゲストハウス  
神奈川県横浜市磯子区新中原町1

3. テーマ：「ガスタービンの最新技術動向およびエネルギー資源の展望」

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

## 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 本阿弥眞治 (東京理科大), 吉田 豊明 (JAXA)

## 2011年度委員名簿 (順不同) 2011年8月4日現在

○は委員長

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

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), 藤網 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)

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), 笠原 公輔 (IHI)

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)

集行事務委員会 ○二村 尚夫 (JAXA), 吉田 征二 (JAXA), 岡 芳彦 (三井造船), 木村 武清 (川崎重工), 酒井 英司 (電中研), 澤 徹 (東芝), 谷光 玄行 (IHI), 仲村 晋 (JAL エンジニアリング), 中村 友行 (防衛省), 西村 英彦 (三菱重工), 松沼 孝幸 (産総研), 三嶋 英裕 (日立), 山形 通史 (富士電機), 山根 秀公 (防衛省), 山本 誠 (東理大), 吉田 英生 (京大)

ガスタービン技術普及委員会 ○山根 秀公 (防衛省), 秋山 陵 (日立), 木村 武清 (川崎重工), 齊藤 大蔵 (東芝), 仲村 晋 (JAL エンジニアリング), 福山 佳孝 (JAXA), 古川 洋之 (IHI), 宮原 忠人 (東京ガス), 村田 章 (農工大), 屋口 正次 (電中研), 山本 誠 (東理大), 渡辺 紀徳 (東大)

学会誌編集委員会 ○船崎 健一 (岩手大), 壹岐 典彦 (産総研), 坂野 貴洋 (中部電力), 佐藤 哲也 (早大), 辻田 星歩 (法政大), 宮原 忠人 (東京ガス), 荒木 秀文 (日立), 柏原 宏行 (川崎重工), 廣光 永兆 (IHI), 吉野 展永 (IHI), 刑部 真弘 (東京海洋大), 加藤 千幸 (東大), 川上 龍太 (東京電力), 岸根 崇 (三菱重工), 佐々木 直人 (IHIエアロスペース), 鈴木 伸寿 (東芝), 檀原 伸補 (防衛省), 寺本 進 (東大), 中野 健 (IHI), 早田 陽一 (ダイハツ), 服部 学明 (三井造船), 北條 正弘 (JAXA), 山下 一憲 (桂原)

ガスタービン統計作成委員会 ○辻田 星歩 (法政大), 山上 展由 (三菱重工), 荒木 伸二 (日立), 井出 琢磨 (IHI), 里見 智弘 (ターボシステムズユニテッド), 澤 徹 (東芝), 白石 隆 (三菱重工), 原田 純 (川崎重工), 米田 幸人 (ヤンマー)

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

表彰委員会 ○佃 嘉章 (三菱重工), 佐藤 哲也 (早大), 壹岐 典彦 (産総研), 二村 尚夫 (JAXA), 船崎 健一 (岩手大), 六山 亮昌 (三菱重工), 渡辺 紀徳 (東大)

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

創立40周年事業準備委員会 ○筒井 康賢 (高知工科大), 太田 有 (早大), 福山 佳孝 (JAXA), 二村 尚夫 (JAXA), 船崎 健一 (岩手大), 山本 誠 (東理大), 渡辺 紀徳 (東大)

調査研究委員会 ○濱 純 (産総研), 壹岐 典彦 (産総研), 岸部 忠晴 (日立製作所), 辻田 星歩 (法政大), 永井 勝史 (川崎重工)

## 2011年国際ガスタービン会議大阪大会実行委員会

委員長 武石 賢一郎 (阪大)

副委員長 佐藤 幹夫 (電中研)

幹事 岡井 敬一 (JAXA)

○は委員長

総務委員会 ○藤岡 照高 (電中研), 高西 一光 (関西電力), 小田 豊 (阪大), 長谷川 武治 (電中研), 水川 雅夫 (関西電力), 木村 武清 (川崎重工), 高田 和正 (三菱重工), 野崎 理 (JAXA)

論文委員会 ○辻本 良信 (阪大), 山本 誠 (東理大), 山崎 伸彦 (九大), 中田 俊彦 (東北大), 渡辺 紀徳 (東大), 牧野 敦 (JAXA), 今成 邦之 (IHI), 太田 有 (早大), 金子 成彦 (東大), 吉岡 洋明 (東芝), 古川 洋之 (IHI), 壹岐 典彦 (産総研), 船崎 健一 (岩手大), 赤松 史光 (阪大), 田沼 唯士 (帝京大), 幸田 栄一 (電中研), 伊藤 栄作 (三菱重工), 柴田 貴範 (日立), 齋藤 英治 (日立), 谷村 和彦 (川崎重工)

財務委員会 ○山脇 栄道 (IHI), 廣川 順一 (IHI), 笠原 公輔 (IHI), 杉浦 裕之 (川崎重工)

展示委員会 ○正田 淳一郎 (三菱重工), 小森 豊明 (三菱重工), 北山 和弘 (東芝), 塚原 章友 (三菱重工), 岸根 崇 (三菱重工), 原 浩之 (三菱重工), 山本 智彦 (三菱重工), [正] 鈴木 伸寿 (東芝), [副] 石川 揚介 (東芝), 吉國 孝之 (IHI), 西村 真琴 (日立), 井上 俊彦 (川崎重工), 山形 通史 (富士電機), 友田 俊之 (関西電力), 柳澤 徹 (大阪ガス), 黒澤 要治 (JAXA), 中村 昌義 (GE)

行事務委員会 ○木下 康裕 (川崎重工), 堀川 敦史 (川崎重工), 安田 耕二 (日立), 松尾 亜紀子 (慶大), 瀬川 大資 (大阪府大), 岩井 裕 (京大), 西村 英彦 (三菱重工)

顧問 大田 英輔 (早大名誉教授), 川口 修 (慶大名誉教授), 大槻 幸雄 (川崎重工), 玉木 貞一 (IHI), 塚越 敬三 (三菱重工)

## ▷ 入 会 者 名 簿 ◁

## 〔正会員〕

前田 新一(川崎重工業) 宮本 卓朗(川崎重工業) 高橋 和義(東 芝) 白川 伸(東京電力)  
 大槻 聡(堀場製作所) 山内 貴洋(三菱重工業) 豊増 良太(三菱重工業) 神野 勝一(I H I)  
 中田 幸宏(I H I) 安田 俊一郎(中部電力)

## 〔学生会員〕

木村 明人(関西大学) 古本 拓也(東京大学) 池田 武夫(首都大学東京) 金森 文男(首都大学東京)  
 曾根 英貴(首都大学東京) 服部 淳一(首都大学東京) 関 亮介(早稲田大学) 酒巻 亮平(東京理科大学)

## 〔学生→正会員〕

佐久間 康典(東京大学) 北村 遼平(I H I)



## ○ 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316回講習会「応力計測の基礎とその応用(計測デモンストラーション付き)」	協賛	2011/10/27-28	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
日本液体微粒 化学会	第20回微粒化シンポジウム	協賛	2011/12/19-20	広島大学 医学部 廣仁会館	日本液体微粒化学会 http://www.ilass-japan.gr.jp
日本流体力学 会	第25回数値流体力学シンポジウム	協賛	2011/12/19-21	大阪大学コンベンションセンター(吹田キャンパス)	日本流体力学会 TEL:03-3714-0427,FAX:03-3714-0434 URL:http://www.nagare.or.jp/



## 訃 報

終身会員 押田 良輝 君 98才

2010年7月 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分野において追求する産学官民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（2011年3月現在）

会員数：2,018名（正会員 1,950名、学生会員 68名） 賛助会員：107社  
 会員の出身母体数：企業・研究機関・官公庁等 約300、学校 約100

### 会員のメリット

個人会員（正・学生会員）：

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

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

### 入会金と会費

会員別	入会金	会費（年額）	後期*入会時 会費（初年度のみ）
正会員	500円	5,000円	2,500円
学生会員	500円	2,500円	1,250円
賛助会員	1,000円	一口 70,000円とし、一口以上	一口 35,000円

\*後期・・・9月1日～翌2月末まで

### 入会方法

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

学会事務局にお電話いただいても結構です。申込書を送付致します。



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

〒160-0023 東京都新宿区西新宿7-5-13 第3工新ビル402

電話番号：03-3365-0095

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

このたびの大震災により多くの発電所が被害にあい、深刻な放射性物質の放出や計画停電等が行われ、改めてエネルギーの安全性や重要性が多くの方々に認識されています。若いころに原子力安全性に関連した研究を行った身として、事故シナリオ通りに進んでいく事象を見るのは痛恨の極みでしたが、日本なら収束できると信じております。エネルギー源の多様性を容認し、合理的な省エネ行動を可能にする新たなエネルギーインフラを構築することに、今まで以上に大きな期待が寄せられています。当然ではありますが、これからの新たな制度提案や技術開発を行う際に、エネルギーに関する根本原理を理解することが必須です。ところが、エネルギーや環境に関することで、一般の方々が意外だと思われることは結構多いのではないのでしょうか。

例えば先日、「車のターボチャージャーはエンジンの高出力化を目指すものであり、効率は低下するのですよね！」と言われたことがあります。「あれは捨ててしまう排ガスエネルギーを回収する省エネ機器なのですよ。車を高速で走らせエネルギーをジャブジャブ使うための道具ではないですよ！」と応えたら非常に驚かれました。また、特に主婦層の方々からもっと積極的に風力や太陽光等の導入をして欲しいとの熱心なご意見を受けます。晴耕雨読という言葉がありますが、晴れたらエネルギーをいっぱい使って仕事をし、雨なら本でも読もうという生活には憧れます。しかし、我々の生活は、すでに風任せ、おてんとうさま任せではなくなっています。自然エネルギーの導入に賛成する人は多いのですが、あの不安定な出力をどうするか、導入に当たって考えなければなりません。電力系統に不安定な発電出力が入ってくることによって、今まで高効率で発電していた火力発電所の効率が急速に低下する可能性すらあります。

一方で、多くの方々が、潤沢にエネルギーを消費した快適な生活を享受しているのも事実です。現状のエネルギー供給レベルよりも下げた、例えば江戸時代のような生活も一つの在り方ではありますが、交通、通信、医療および経済活動等すべてが、安定的に供給されるエネルギーに支えられた現状を変えさせることは不可能に近いと思います。エネルギーについての正しい知識が、高度エネルギー社会である現代を生きる人々に益々重要になってきており、本学会の貢献が期待されます。

最後になりますが、本号刊行にあたり、執筆者の方々にはお忙しい中、快く原稿作成をお引き受けいただき、ありがとうございました。編集委員一同、心よりお礼申し上げます。なお、本号の企画編集は、柏原宏行 委員（川重）、岸根崇 委員（三菱重工）、廣光永兆 委員（IHI）および刑部真弘（東京海洋大学）が担当いたしました。（刑部真弘）

（表紙写真）

#### アブダビ マスダールシティにおける太陽熱集熱実験

三井造船は2009年10月にビームダウン型の太陽熱発電実験設備をアブダビ国マスダール及びコスモ石油に納入しました。全高20m、上部の二次ミラーの直径7mで、地上の9m<sup>2</sup>のヘリオスタット33基で集光。2010年には集光精度の確認実験を行い、2011年にはHTF（合成油）を用いたレシーバ集熱実験を実施中で所定の性能が出ている事を確認しています。左下は集光実験中のレシーバー、右下はHTFの循環装置。今後は熔融塩による集熱と蓄熱、システムの大型化などが課題と考えています。

（提供：三井造船）

だより

## ♣事務局

当学会が公益社団法人に移行して半年が過ぎました。今年度は、以前からの継続の行事に関しても、新規の行事同様に行事の目的は？参加資格は？など計画のスタート地点に立ち返って確認しながら準備をすすめております。並行して、理事会や委員会では新法人として規程類の見直しが行われているところです。今まで「当たり前」なこととして進めてきた部分にも注意を払わなくてはいけないというのはかなり時間と労力を要しますが、理事や委員の方々は着実に取り組んでくださっています。

ところで、本号記事にもありますように、松本での定期講演会開催直前の6月30日朝に松本市で震度5強の地震が発生しました。その日は事務局員は東京調布市のJAXAでの教育

シンポジウム開催のため朝早くから会場へ直行しており、地震のニュースには気がつきませんでした。お昼に事務局に戻り、松本観光コンベンション協会の方からの「地震の被害は報道されているほど大きくありません」とのメールを読んで初めて地震のことを知り、関係者に連絡をとりました。討議の結果、予定通り開催することが決まり、その旨ホームページに掲載、周知いたしました。おかげさまで講演会期間中は大きな余震もなく、無事に終了することができましたが、非常事態での緊急対応など普段からの危機管理意識と安全対策の重要性を今更ながら強く感じました。

（中村）

## 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.5 2011.9

発行日 2011年9月20日  
発行所 公益社団法人日本ガスタービン学会  
編集者 船崎 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。