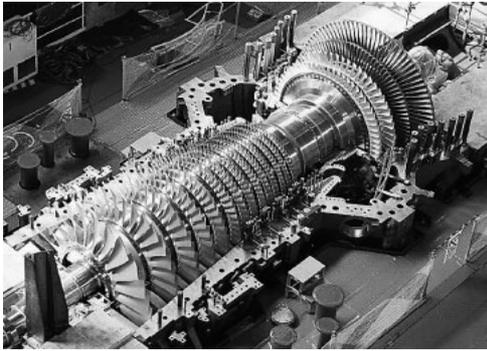


# 発電市場をリードする大容量高効率ガスタービン

Large Frame Gas Turbine, The Leading Technology of Power Generation Industries



福泉 靖史\*<sup>1</sup>  
Yasushi Fukuizumi

潮崎 成弘\*<sup>2</sup>  
Shigehiro Shiozaki

六山 亮昌\*<sup>3</sup>  
Akimasa Muyama

内田 澄生\*<sup>4</sup>  
Sumiu Uchida

これ迄発電用大型ガスタービンの開発は、コンバインドサイクル発電設備の主機として、熱効率の向上に注力してきた。1980年代に燃焼温度1100級の発電設備が実運用開始されてから、燃焼温度は約20%/年の割合で向上し、現在の最高温度は1500に達している。しかし、これ以上の温度上昇は、低NOx化や材料強度面で技術的な課題に直面し、温度上昇の勾配は鈍化する傾向にある。一方で、温度上昇と共に大容量化してきたガスタービンも、一定の電力需要増の見込めた高度成長期が終わり、変化の激しい社会・経済情勢に対応できる、新たな製品を生み出すべき時に来ている。また、地球環境の問題が深刻となりつつあり、限り有る化石燃料の利用と、それに伴うCO<sub>2</sub>の排出量低減の観点から、更に高効率な発電設備は必要不可欠である。本稿では、今後の大容量ガスタービンの進むべき方向を紹介する。

## 1. はじめに

天然ガスを主燃料とする大型の事業用ガスタービンは、1980年代初期に日本の火力発電設備の主機に採用されて以来、発電効率の向上、排出ガスの低公害化に大きく貢献してきた。現在の最高到達タービン入口温度（燃焼器出口温度）は1500であり、総合熱効率は低位発熱量基準（LHV）で60%に達しようとしている。過去の20年間は、このガスタービンの高温化、高効率化によるコンバインドプラント発電設備の効率向上の時代であった。

1500の予混合希薄燃焼に必要な空気量が、燃焼用に使用できる空気量の限界に近づき、現在最高高温強度を持つ材料を用いても、更なる温度上昇による効率の向上は、冷却空気量の増加により鈍化する状況である。

本稿では、サイクル最高温度の上昇、燃料の多様化、中容量ピーク発電及び新サイクルの取り組みの4つの観点より今後の大容量ガスタービンの進むべき方向を紹介する。

## 2. サイクル最高温度の上昇

熱力学の第2法則により、熱サイクルの最高温度を上昇させれば、回収エネルギーの変換効率は上昇する。ガスタービンの燃焼温度を上昇させ、1100以上の高温熱エネルギーの動力回収をガスタービンで、

600以下の低温熱エネルギーの動力回収を蒸気タービンで行う組み合わせは、理想的である。所謂“熱のカスケード利用”を2つの温度域を組み合わせることで、単独サイクルに比べ、コンバインドサイクルの熱効率が上がる。

### 2.1 蒸気冷却技術

このサイクルピーク温度の上昇のために、技術開発が行われ、その一つが、蒸気サイクルの蒸気を利用したガスタービン高温部品の冷却である。図1のように、燃焼器の冷却に適用することにより、燃焼器出口（1段静翼入口）のガス温度を上昇ひいてはその下流の温度を上昇させることができる。更に1段静翼に蒸気冷却を適用することにより、動力回収する1段動翼の入口ガス温度を更に上昇させることができる。比熱のより大きな蒸気の冷却効果を利用することにより、従来

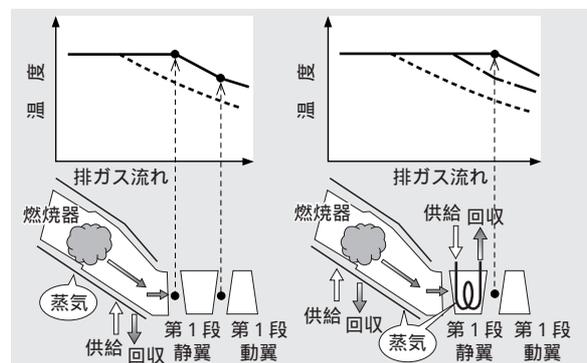


図1 燃焼器の回収形蒸気冷却システム

\*<sup>1</sup> 原動機事業本部タービン技術部ガスタービン技術課長

\*<sup>2</sup> 原動機事業本部タービン技術部ガスタービン技術課

\*<sup>3</sup> 高砂製作所タービン技術部長

\*<sup>4</sup> 技術本部高砂研究所ターボ機械推進研究室長

の材料を用い、冷却空気の作動ガスへの混入を減らし、サイクル最高温度を上昇させることが可能となる。

燃焼器に冷却蒸気を適用したGシリーズガスタービンは、図2のとおり1997年に当社高砂製作所内実証発電設備で運転を開始して以来、既に世界各国で18基が商用運転中で、累計運転時間は19万時間を超えた。実証発電設備の経験を生かした改良設計により、高信頼性で順調な運転実績を積んでいる。

蒸気冷却の適用により、図3に示す蒸気熱媒体の積極利用によるタービン部のクリアランス制御が可能となった。これは燃焼器に通じるタービン翼環冷却通路に蒸気を流しタービン車室側を暖めることにより、ガスタービン起動時にはクリアランスを広げ、逆に負荷運転時には、車室側を冷やすことによりクリアランスを最小として性能の向上をはかる技術でGシリーズガスタービンに採用している。

### 2.2 更なる高温化技術への挑戦

更なる燃焼温度の高温化は、図4のとおり、次の目標値を1700℃、コンバインドサイクル熱効率62%

65% (LHV) を目指して行く。そのためには、材料、冷却技術、空力、低NOx燃焼技術で、従来技術の延長と異なる新たな発想での技術のブレークスルーが必要であり、現在開発に取り組み中である。

### 3. 燃料の多様化

ガスタービン用燃料を図5に示す。天然ガス以外のガスタービン燃料として、製油所関係の副生ガス、製鉄所の高炉ガスなどの実績がある。今後も種々のエネルギー有効利用のために副生ガスの利用が拡大するものと予想される。国内に輸入された石炭の約40%は、コークスの製造を含め製鉄所で消費されている。石炭の発熱量当たりのCO<sub>2</sub>発生量は、天然ガスの約1.5倍であり、製鉄所のエネルギー効率の向上はCO<sub>2</sub>の排出量削減に大きく寄与する。

当社では、これまで燃焼温度1100℃クラス、1250℃クラスの高炉ガス焼きコンバインドを実用化してきた。図6のとおり1300℃クラスの、世界最大容量の高炉ガス焼きコンバインドプラントを実用化、

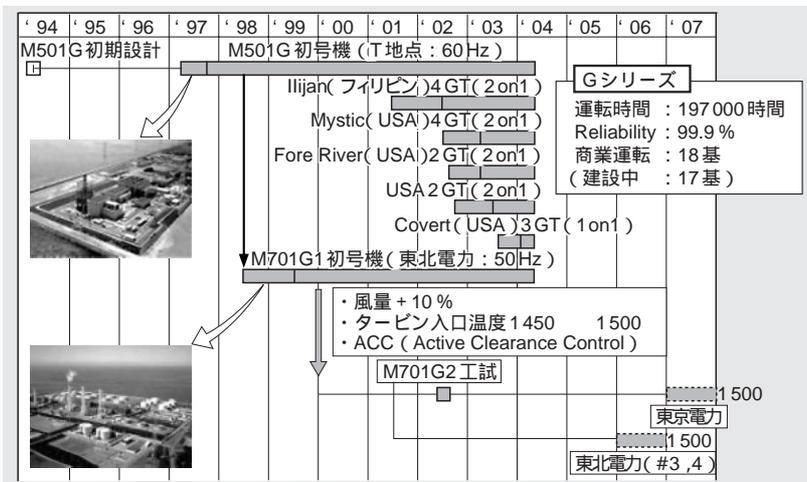


図2 Gシリーズガスタービン運転実績

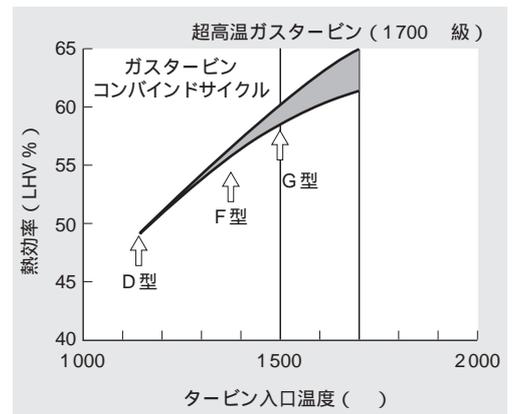


図4 更なる高温化技術への挑戦

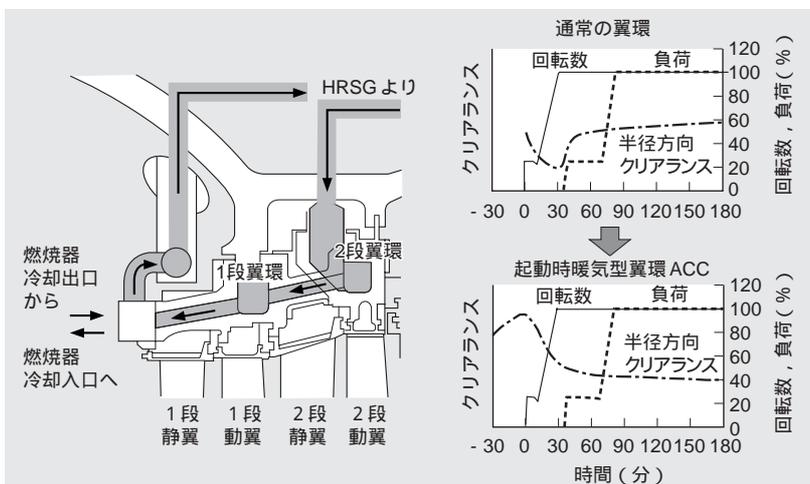


図3 起動時暖気型翼環ACC

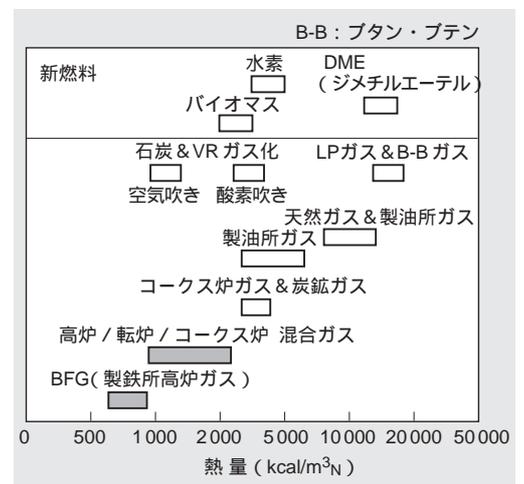


図5 ガスタービン用燃料の多様化

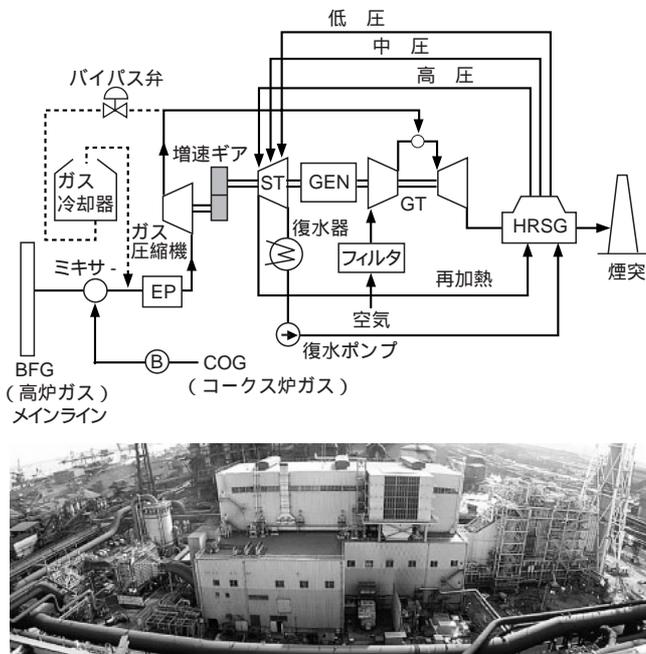


図6 高炉ガス焼きコンバインドシステム

本年7月に商用運転を開始した。これにより、従来のボイラー焼きに比べ、約25% CO<sub>2</sub>の排出量を削減できる。

海外では中国の製鉄所の単位製鉄当たりのエネルギー消費は、日本の製鉄所の約150%と言われ、地球環境の保全のためにも中国の製鉄所の省エネルギー化は重要な課題であり、積極的に取り組んでいる。

また、国家プロジェクトとして進められている石炭ガス化コンバインドプラントは、今秋着工され、2007年に運開が予定されている。

今後、日本のエネルギーセキュリティ確保及びCO<sub>2</sub>の削減の観点から、限られた化石燃料の有効利用の社会的要求は益々高まり、色々な燃料による高効率発電の需要は大きくなると予想される。従来の燃料に加え、今後予想されるのがバイオマスガスのような、天然の廃棄物から生成されるガスや、天然の化石燃料から人工的に製造される燃料で、DME（ジメチルエーテル）やGTL（Gas To Liquid）のような低公害な

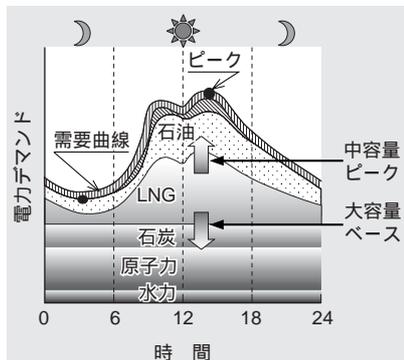


図7 1日の電力デマンドの推移

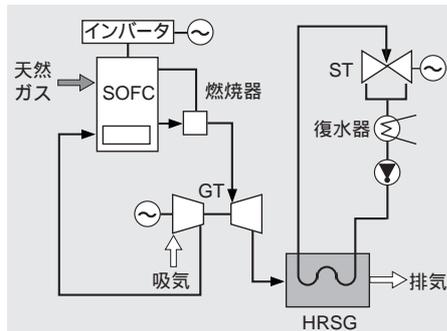


図8 SOFC + GT コンバインドシステムの系統

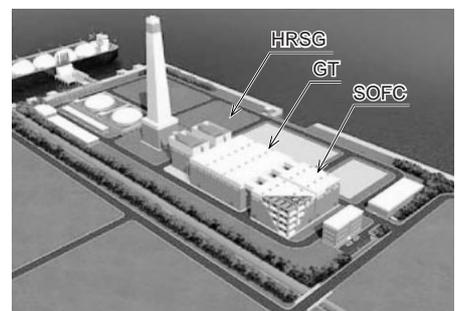


図9 SOFC + GT コンバインドプラントのレイアウト

液体燃料がある。当社においても、国家プロジェクトでDMEの燃焼試験を実施し、実用性を確認中である。

#### 4. 中容量ピーク発電

大型ガスタービンの単機容量は、燃焼温度の上昇と共に上昇を続け、現在当社の最大容量はM701G2の330 MW、一軸コンバインド発電は500 MWとなる。一方で、500 MW単位の発電設備の新設には、ある程度長期の見通しが必要となる。

経済成長と共に電力需要が伸びた時代は、続々と大型の新規電源が計画されていたが、現在のように経済成長率が鈍化し、さまざまな社会情勢が電力需要のピークに影響を与える変化の激しい状況では、大容量機よりも短期に建設できる中容量の火力設備が求められている。

また、図7のとおり電力需要の昼夜間の格差は、エアコン等の普及により先進国を中心に益々拡大する傾向にあり、調整火力の役割を担うガスタービンコンバインドへの期待は大きい。

このような観点から、利用率が比較的 low (40%程度) で中容量の高効率発電設備が今後市場に求められ、今後のガスタービンコンバインドは、効率重視のベースロード運用機と、高効率かつ初期コストを抑えた運用機動性の高い中容量機に分化するものと予想される。

#### 5. 新サイクルの取り組み

先に述べたように、燃焼温度を上昇させることは、総合熱効率の上昇に結びつくものの、ガスタービン技術の更なる開発をもってしても、化石燃料で達成可能な最高燃焼温度約2000~2500の熱エネルギーの完全な有効利用には、検討すべき課題が多い。

そこで、ガスタービンの燃焼温度上昇とは別に熱効率の更なる向上を目指して、他のサイクルとの組合せが検討されている。図8に示す燃料電池との組合せは、燃料から化学的に電気に変換した後の残りの燃料をガ

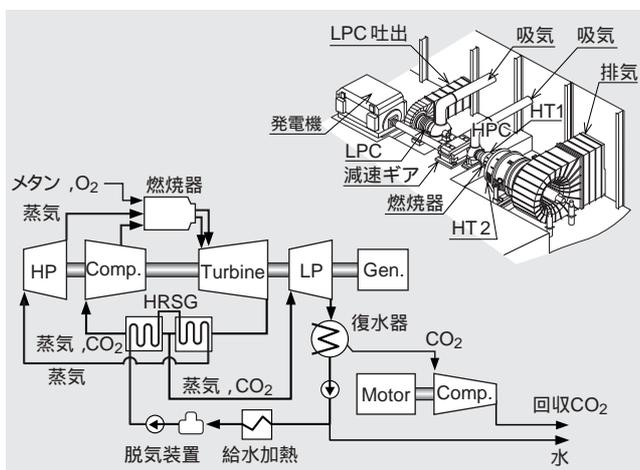


図10 CO<sub>2</sub>クローズドサイクルの検討

スターピンコンバインドサイクルでに用い、総合熱効率の向上を目指すものである。図9に300 MWクラスのコンバインドプラントの鳥瞰図を示す。

また、図10に示すように空気を燃焼の希釈媒体とせず、排気ガスを再循環させNO<sub>x</sub>を排出しない、CO<sub>2</sub>クローズドサイクルなどの検討が、国レベルで行われた。

効率向上・環境性向上の観点から新しい熱サイクルが、積極的に検討され、サイクルの複合化、複雑化が進められ、1100以上の熱エネルギーを有効に電力に変換するガスタービンは、今後も火力発電の中核として、最新技術をリードして行くものと予想する。

## 6. ま と め

本稿では、近未来の動向として、“燃料の多様化”、“中容量ピーク発電”の2点及び、中長期の動向として、“ガスタービン燃焼温度の更なる上昇”と、“新サイクルの取組”の2点を上げた。

化石燃料より得られるエネルギーの回収は、図11に示すように化石燃料の最高燃焼温度2000～2500の熱エネルギーをサイクルの複合化によりカスケード利用し、効率的に電力に変換することが重要である。

現在のガスタービンの最高温度1500をさらに上げる努力と、2000レベルの熱エネルギーを別の方法により回収する新サイクル、また燃料電池のように燃焼を伴わずに回収する複合サイクルなどが考えられ、今後実用化に向けて努力が続けられる。いずれの場合においても1100～1500レベルを大容量かつ効率的に変換する手段として、ガスタービンは非常に有効な機械であり、今後も種々のサイクル検討の中で、燃焼エネルギーの有効な変換手段として活躍することは間違い無い。

サイクルの複合化、複雑化に伴って、発電設備のコ

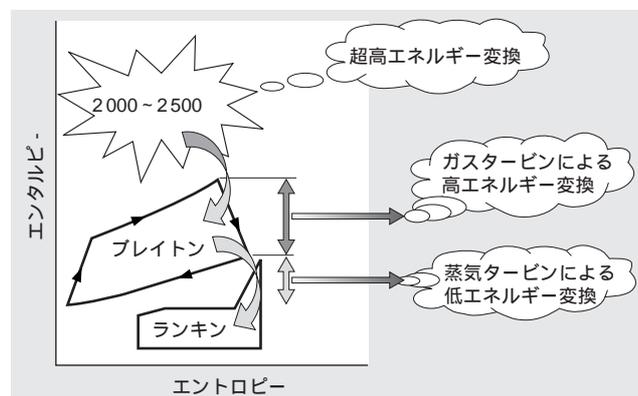


図11 熱のカスケード利用

ストの増加が予想される。一方、地球環境の問題は深刻化し、化石燃料資源の枯渇問題から、熱効率の上昇は益々重要な課題となる。CO<sub>2</sub>排出権などの新たなビジネスにより、追加コストを補償する仕組みを構築できれば、サイクルの複雑化によるコスト増が解決（解消）でき、発電設備の高度化が加速されるものと予想する。

大容量発電設備市場をリードする主機として、今後も新材料の開発、圧縮機・タービンなど要素効率の向上、低公害化など、社会の要求するニーズに答えるべくガスタービンの開発を続けて行く所存である。

## 参 考 文 献

- (1) Y. Fukuizumi et al., Application of "H gas Turbine" Design Technology to Increase Thermal Efficiency and Output Capability of the Mitsubishi M701G2 Gas Turbine, ASME Turbo Expo 2003, ASME GT-2003-38956
- (2) Y. Fukuizumi, Future Prospect of Large Capacity Gas Turbine, CIMAC KYOTO 2004.6
- (3) I. Fukue, Gas Turbine Technology Past 20 Years and Next 20 Years, ASME Turbo Expo 2004
- (4) 福泉, 潮崎, 有村, 馬越, 内田, 大容量ガスタービンの最新技術動向, 三菱重工技報 Vol. 40 No.4 (2003) p.194



福泉靖史



潮成弘



六山亮昌



内田澄生