

高効率・フレキシブルな ガスタービンシステム AHAT

Highly-efficient and Flexible Gas Turbine System AHAT

後藤 仁一郎

Gotoh Jinichiro

荒木 秀文

Araki Hidefumi

佐藤 和彦

Sato Kazuhiko

圓島 信也

Marushima Shinya

日立グループは、高効率で運用性に優れたガスタービンシステムであるAHAT（高湿分空気利用ガスタービン）を開発中である。AHATは再生サイクルに改良を加えた新型ガスタービン発電システムであり、圧力比と燃焼温度の上昇によらず高効率化が可能で、高級な高温材料を必要としない。また、ボイラや蒸気タービンを利用しないため、高い負荷変化率とフレキシブルな運用が期待できる。これまでに出力3 MWクラスのシステム検証機による試験を行い、システムの成立性を確認した。

現在、40 MW級実用化要素技術試験設備を建設中で、2011年度後半から運転開始を予定している。その後、実用化に向けた発電効率の向上や、実証機での検証を行い、100～200 MW級の発電出力での市場投入をめざしている。

1. はじめに

ガスタービンは、設置工事の期間が短いことや負荷変動率が高いことから、1970年代後半から緊急用電源として多く導入されてきた。ガスタービンと蒸気タービンを組み合わせたコンバインドサイクルは、効率が大きく大容量のベースロード発電として使われるようになってきた。しかしながら、大容量のコンバインドサイクルは、負荷変化率を高く取れないことがあり、また、ガスタービンの燃焼温度が高く、高価な材料を用いているため、メンテナンス費用が高価であることや、蒸気タービンの復水器を沿岸に設置しなければならない。これらの課題に対応するため、高効率でフレキシブルなガスタービンシステムAHAT（Advanced Humid Air Turbine：高湿分空気利用ガスタービン）を開発した^{1), 2), 3)}。

AHATは、日立グループが提案し、世界で最初にパイロットプラントによる成立性を確認したシステムである。日本政府が地球温暖化防止の具体的施策として進めている「クールアース50」の「高効率ガスタービン」の代表例と

しても選定され、資源エネルギー庁から補助金を受け、国家プロジェクトとして実用化に向けた開発が進められている。

ここでは、高湿分空気を利用した新型ガスタービンシステムAHATについて述べる。

2. AHATについて

コンバインドサイクルは、ガスタービンと蒸気タービンを組み合わせた発電システムで、高温高压のガスを利用してガスタービンで発電し、ガスタービンで利用した後の排気ガスの余熱を使って水を沸騰させ、さらに蒸気タービンによる発電も行うシステムである。これに対し、AHATは、圧力と燃焼温度を上げずに、ガスタービンの排気ガスの熱を再生熱交換器で回収し、さらに蒸気タービンの蒸気量に匹敵する湿分を加えることにより、蒸気タービンなしで、高効率を達成することができる新型ガスタービン発電システムである。

2.1 AHATの特徴

AHATの特徴を表1に示す。運用性の特徴として、蒸気タービンがないことから、コンバインドサイクルに比べて高いフレキシビリティが期待できる。また、起動時間が短く、負荷即応性はガスタービン単独運転並みで、低負荷での運転が可能であり、大気温度が高いときでも出力低下が少なくなる。

環境性の特徴として、高湿分燃焼によって低NO_x化が可能であり、また、冷却塔による冷却が可能なることから、内陸部にも設置できる。

経済性の特徴として、蒸気タービンがないことから機器構成がシンプルで設置工事の工期が短く、機器構成が少なく済むこと、ガスタービンの燃焼温度が低いことから高

表1 | AHATとコンバインドサイクルとの比較

AHATは、コンバインドサイクルに比べて、蒸気タービンと排熱回収系がないため、機器構成がシンプルである。運用性に優れ、立地制約が少なく、設置工事工期が短いメリットがある。

比較項目		AHAT	コンバインドサイクル
運用性	起動時間	◎ ST系がなく起動時間が短い。	ST, HRSGの暖気が必要
	負荷即応性	◎ GT単独システムと同等	ベース
	最低負荷	◎ 高湿分燃焼により低負荷運転可能	低NOx安定燃焼に制限あり
	大気温度特性	○ 吸気噴霧冷却で高温時の出力低下少ない。	高温時に出力低下あり
	制御の容易さ	○ GT単独システムと同等でシンプル	ST系の制御あり
環境性	NOx対策	○ 高湿分燃焼により低NOx。必要に応じて脱硝装置が必要	低NOx燃焼器または水噴射, 蒸気噴射による低NOx化。脱硝装置が必要
	立地制約	◎ 水回収水温60°C程度で冷却塔による冷却ができるので内陸部にも設置可能	ST出口水温30°C程度で復水器の利用が必要であり, 沿岸部に設置が必要
経済性	設置工事工期	◎ ST系がなく機器構成がシンプルで短い。	ベース
	配管系	— GT圧縮機吐出し圧力低く, 薄肉。ただし, 再生サイクル系の配管径大	HRSGの高圧系の圧力が高く肉厚。ただし, 主蒸気配管径小
	水質管理	— 水処理装置(イオン交換樹脂など)設置が必要	薬剤注入によるpH調整が必要
	ユーティリティ消費	— 純水(圧縮機吸気噴霧冷却用), アンモニア(脱硝用), 冷却水(冷却塔補給用)	純水(HRSGブロー補給用), アンモニア(脱硝用), 冷却水(補給用)
	メンテナンス費用	○ 機器構成がシンプル(排熱回収系, 水回収系なし)。GTの燃焼温度低い。	排熱回収系, ST系, 復水器系あり。GTの燃焼温度が高い。

注1: ◎ 特に優位 ○ 優位 — 同等

注2: 略語説明 AHAT (Advanced Humid Air Turbine), ST (Steam Turbine), HRSG (Heat Recovery Steam Generator), GT (Gas Turbine)

級な高温材料を必要としないことが挙げられる。配管, 水質管理, ユーティリティ消費の面では, コンバインドサイクルと同様であると考えられる。

2.2 システム構成

AHATシステムの概略系統を図1に示す。AHATシステムは, 加湿による出力向上と, 再生熱交換器の再生サイクルによる熱効率向上とを組み合わせることが特徴である。

ガスタービンの圧縮機入口に吸気噴霧システムがある。吸気冷却による吸込み空気量の増加と, 噴霧した液滴が圧縮機内部で蒸発することによる圧縮機の動力低減の効果があり, 夏場の出力低下が抑制される。圧縮機で加圧された空気は, 増湿塔で温水によって加湿される。さらに加圧,

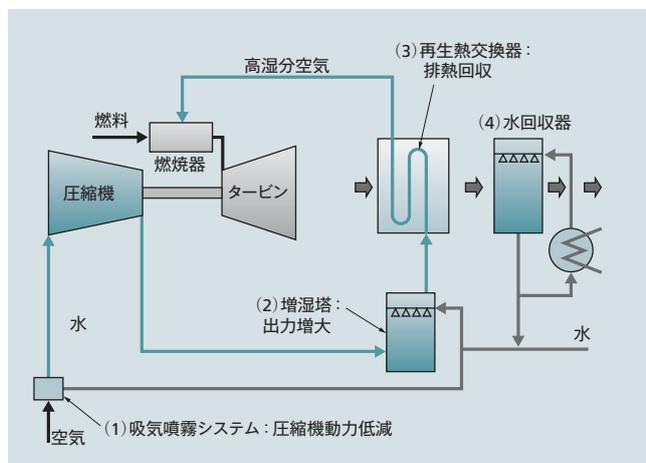


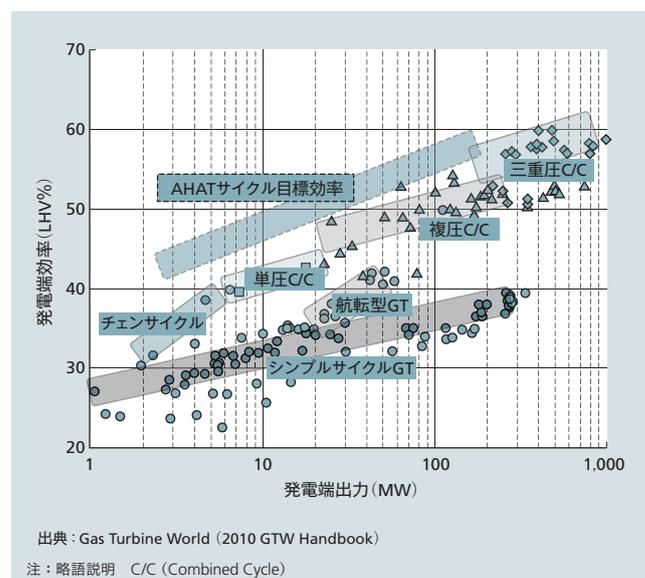
図1 | AHATシステムの構成概略

AHATシステムは, 吸気噴霧システム, 増湿塔, 再生熱交換器, 水回収器などから構成される。コンバインドサイクルに比べてシンプルである。

加湿された空気は, 再生熱交換器を通過し, 排気ガスから回収された熱によって加湿された後, 燃焼器に供給される。また, 高湿分空気による燃焼は, NOx低減に大きな効果がある。

加湿には純水が用いられるが, 排気ガス中の湿分の大半を回収して再利用する水回収装置を有している。回収した水は, 増湿塔に供給されるとともに一部を冷却して水回収装置に再循環される。

各種発電システムの出力と効率の特性を図2に示す。AHATは中容量クラスで既存の発電システムの中でトップ効率をめざしている。



出典: Gas Turbine World (2010 GTW Handbook)

注: 略語説明 C/C (Combined Cycle)

図2 | 各種発電システムの出力と効率の関係

AHATは中容量クラスでトップの性能をめざしている。

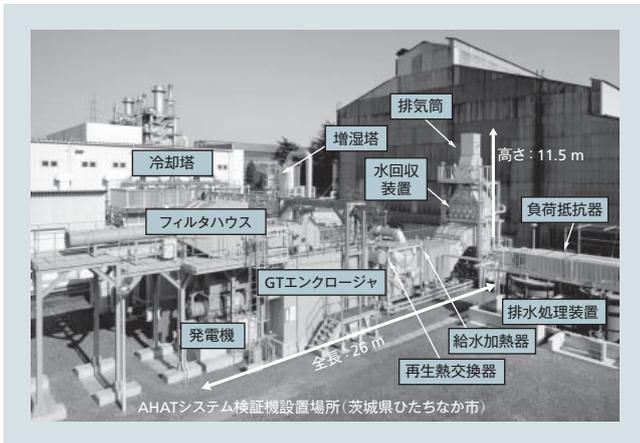


図3 | 3 MW級検証機

システム全体の成立性、大気温度特性、運用性に関わる試験検証を実施した。

3. 技術開発状況

3.1 3 MW級検証機による運用性評価^{4),5)}

3 MW級検証機を開発し、AHATシステム全体の成立性、大気温度特性、運用性に関わる試験検証を行った(図3参照)。大気温度特性を図4に示す。試験結果は出力、効率ともに、ヒートバランスに基づく計算結果と同様の傾向を示している。

完全停止状態から起動(コールド起動)したときのター

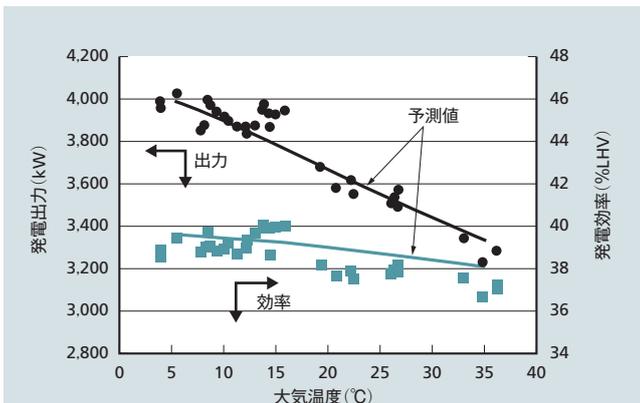


図4 | 大気温度特性

出力、効率ともに試験結果と計算結果が同様の傾向を示した。

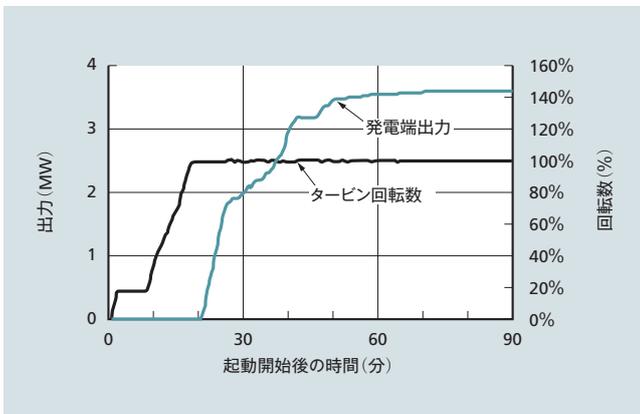


図5 | コールド起動時のタービン回転数、発電機出力

コールド起動はコンバインドサイクルのホット起動並みの約60分で定格出力に達する。

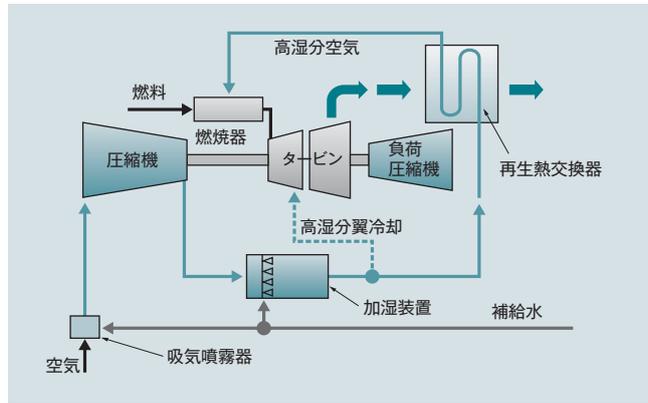


図6 | 40 MW級総合試験装置システムの概略

高圧、高湿分環境における各機器の相互作用を確認する試験装置である。

ビン回転数、発電端出力の試験結果を図5に示す。約60分で定格出力に達している。これは、既存のコンバインドサイクルにおけるコールド起動の時間が約180分かかるのに対し、大幅な短縮であり、コンバインドサイクルのホット起動と同程度の時間である。

3.2 40 MW級総合試験装置

40 MW級実用化要素技術試験設備の概略系統を図6に示す。高圧・高湿分環境における高湿分軸流圧縮機、高湿分再生熱交換器、高湿分多缶燃焼器、高湿分冷却翼の相互作用を確認するためのシステム構成としている。現在、設計完了し、製作を開始した段階である。2011年度後半から負荷試験を予定している。

4. 今後の展開

4.1 要素技術の波及

要素技術開発で開発した高湿分翼冷却技術、高湿分燃焼技術で開発した技術はガスタービン製品ラインアップに適用し、冷却空気量削減による高効率化、CO₂削減、低NO_x化による環境負荷低減に寄与している。

4.2 分散電源

高効率中小容量発電システムは送電網システムのインフラ整備が不十分な地域、特にエネルギー需要が急増している地域において、地域の電源供給に貢献できる。あるいは、熱電併給システムに対応することも可能である。

4.3 燃料多様化

燃料価格の高騰を背景にエネルギーセキュリティの観点からも燃料多様化のニーズが高まっており、燃料の種類は発電システム選定の重要な因子になるため、多様な燃料に対応できれば、より広いユーザーに利用が広がると考えられる。その一例として、CO₂排出を実質ゼロと見なすこ

表2 | 太陽光発電出力変動に要求される性能

AHATは、コンバインドサイクルや従来汽力に比べて、負荷変動に対する性能が高い。

要求される性能	発電方式（10万kW級ガス焚きで比較）		
	AHAT（目標値）	GTコンバインドサイクル	従来汽力
発電開始までの立ち上げ時間が短いこと	◎ 30分（ホット起動） 60分（コールド起動）	○ 60分（ホット起動） 180分（コールド起動）	△ 180分以上
急激な需要変動に対応可能な出力変化速度であること	◎ 8.3~10%/分	○ 5%/分	△ 3~5%/分
最低負荷が小さいこと	◎ 25%負荷	△ 50%負荷	◎ 20%負荷
十分なガバナフリー容量およびLFC容量が確保できること	○ LFC対応	○ LFC対応	◎ ガバナフリーおよびLFC対応
低負荷運転時に効率の低下が少ないこと（50~100%負荷時の効率、HHV）	◎ 43~51%	○ 40~50%	△ 38~40%

注：略語説明 LFC（Load Frequency Control：負荷周波数制御）、HHV（Higher Heating Value：高位発熱量）

とができる液体バイオ燃料の導入が、今後進むと予想される。AHATが得意とする中規模発電は、必要な燃料量の調達も比較的容易であり、液体バイオ燃料の利用促進を図ることができると考えられる。

4.4 太陽光発電導入に伴う電力系統安定化対策

日本では2020年までに温室効果ガスを1990年比25%削減する目標が掲げられており、これに伴い、2020年には2,800万kW（2005年の20倍）太陽光導入の目標が設定されている。経済産業省「低炭素電力供給システムに関する研究会」では、太陽光発電を火力発電によってバックアップする必要性が報告されている⁶⁾。

太陽光発電をバックアップするに際し、火力発電に要求される性能として、「低炭素電力供給システムに関する研究会」で以下の項目が指摘されている。

- (1) 発電開始までの立ち上げ時間が短いこと
- (2) 急激な需要変動に対応可能な出力変化速度（kW/分）が大きいこと
- (3) 最低負荷の小さいこと（いわゆる「下げ代」が大きい）
- (4) 十分なガバナフリー容量およびLFC（Load Frequency Control）容量の確保
- (5) 低負荷運転時に効率の低下が小さいこと
- (6) 多様な燃料種への対応

太陽光発電出力変動に要求される性能を10万kW級のガス焚（だ）き発電方式と比較して、表2に示す。AHATの数値は目標値ではあるが、起動時間、負荷変化率、運用負荷範囲で優れており、系統安定化に寄与できると考えている。

5. おわりに

ここでは、高湿分空気を利用した新型ガスタービンシス

テムAHATについて述べた。

AHATは、圧力と燃焼温度を上げずに、冷却方式とサイクルの改良により、高い効率と優れた運用性、高い経済性を達成することが期待できる新型ガスタービン発電システムである。これまでに、この新しい高効率化技術が評価され、国内外の学会で過去5年間に、ASME（米国機械学会）のJ.P.Davis Award⁴⁾を含む7つの賞を受賞した。

現在、40 MW級実用化要素技術試験設備を建設中であり、2011年度後半から運転開始を予定している。その後、実用化に向けた発電効率の向上や、実証機での検証を行い、100~200 MW級の発電出力での市場投入をめざしている。

なお、この研究、開発は、経済産業省資源エネルギー庁電力・ガス事業部からエネルギー使用合理化先進的技術開発費補助金を受けて、財団法人電力中央研究所、住友精密工業株式会社と共同で行われた。ここに謝意を表する次第である。

参考文献

- 1) 幡宮：高湿分空気を利用したガスタービン発電技術，火力原子力発電技術協会誌，552，47-54（2002.9）
- 2) 圓島，外：高湿分空気を利用したガスタービンシステム（AHAT）の開発，平成19年度火力原子力発電大会（2007）
- 3) 高橋，外：アドバンスト高湿分空気利用ガスタービン（AHAT）の研究開発—3MW級検証機の開発とシステム成立性の検証—，電力中央研究所研究報告書（2008.9）
- 4) S. Higuchi, et al.: Test Results from the Advanced Humid Air Turbine System Pilot Plant—Part1, ASME Turbo EXPO 2008, ASME Paper GT2008-51072（2008）
- 5) H.Araki, et al.: Experimental and Analytical Study on the Operation Characteristics of the AHAT System, ASME Turbo Expo 2011 GT2011-45168（2011）
- 6) 低炭素電力供給システムに関する研究会資料，経済産業省資源エネルギー庁（2008）

執筆者紹介



後藤 仁一郎

2000年日立製作所入社，電力システム社 日立事業所 ガスタービン設計部 所属
現在，AHATシステムの開発，事業企画に従事
博士（工学）
日本機械学会会員，日本材料学会会員，日本ガスタービン学会会員



佐藤 和彦

1992年日立製作所入社，電力システム社 火力事業部 火力技術本部 火力システム計画部 所属
現在，新発電システムの開発，計画業務に従事
日本ガスタービン学会会員



荒木 秀文

1991年日立製作所入社，日立研究所 エネルギー・環境研究センター ガスタービン研究部 所属
現在，AHATシステムの研究開発に従事
日本ガスタービン学会会員，日本機械学会会員



圓島 信也

1992年日立製作所入社，日立研究所 エネルギー・環境研究センター ガスタービン研究部 所属
現在，ガスタービンの研究に従事
博士（工学）
日本機械学会会員，日本ガスタービン学会会員