

# 氷蓄熱装置を利用したガスタービン吸気冷却システム

Gas Turbine Inlet Air Cooling System Using Ice Storage Equipment

渡邊 裕 杉森 洋一 海治 徹  
WATANABE Yutaka SUGIMORI Yoichi UMIJI Toru

ガスタービンを主原動機とする発電システムは電力のピーク負荷に対して計画されるが、ガスタービン出力は気温上昇に伴い主作動流体となる空気の吸込み量が減少し、主に燃焼温度の制約から投入燃料を制御する結果、出力が低下する特性をもっている。このため、電力需要がピークとなる夏季昼間の高気温時に発電出力を回復させる手段が模索されている。

当社は、クリーンで高効率な発電設備として注目されるコンバインドサイクル発電システムの出力回復手段として、実績のある氷蓄熱装置を利用したガスタービン吸気冷却システムを開発し、東京電力(株)富津火力発電所で実証運転研究を行い、実用性を確認した。

Electric power systems using gas turbines as the main engines have traditionally been employed to meet peak electricity demand. The performance of a gas turbine declines as the turbine inlet air temperature increases. This is because as the inlet air temperature rises, the amount of inlet air is decreased, resulting in a lower fuel flow rate and limitation of the combustion gas temperature. As a consequence, the capacity of the gas turbines of summer peaking electric utilities is lowest when the need for them is highest. Methods of improving this situation are therefore required in order to secure reliable electricity supplies as the most important foundation of society.

This paper introduces a gas turbine inlet air cooling system using ice storage equipment.

## 1 まえがき

高効率でクリーンな発電方式としてその導入が拡大されつつあるガスタービンコンバインドサイクル発電システムは、出力の約2/3をガスタービンが担い、残りを排熱回収ボイラからの蒸気によって駆動される蒸気タービンが分担している。

ガスタービンの駆動流体は高温高压の燃焼ガスであるが、燃焼ガスの形成には高压の空気と燃料が必要である。高压の空気はガスタービンにより駆動される軸流型多段圧縮機が供給する。このため、回転数が厳密に一定制御される発電システムでは吸い込まれる空気の体積流量は一定であっても質量流量は気温の影響を受ける。かりに気温30℃では、気温10℃の条件に比べて吸入空気の質量流量は約7%低下する。このため、最高燃焼温度の制限から投入燃料流量も制限されガスタービン出力は低下してしまう。

最近のコンバインドサイクル発電システムではガスタービン入口の燃焼ガスの圧力と温度を高めることで50%に迫る発電効率の達成を目前にしている。また、高効率なコンバインドサイクル発電システムであるほど気温上昇による出力低下は顕著となる傾向にある。

このような特性のあるコンバインドサイクル発電システムを使用する場合、気温上昇により拍車のかかる夏季の電力ピーク時に給電量が制限を受けてしまうため、各種の出

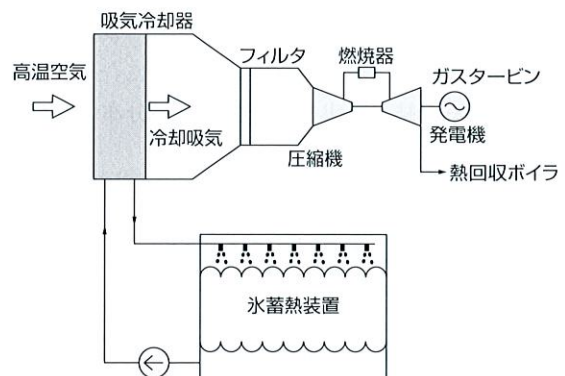


図1. 氷蓄熱による吸気冷却システムの構成概略 夜間電力で水を製造し、これを昼間の電力ピーク時に解氷してガスタービン吸気を冷却し出力を増大させる。

Schematic diagram of gas turbine inlet air cooling system using ice storage equipment

力回復手段が評価検討されている。以下に、ガスタービンの代表的な出力回復手段について述べる。

## 2 ガスタービンの代表的な出力回復方法

気温の上昇に伴い、効率の高いガスタービンほど出力の低下が顕著になることから、夏季の高気温時を対象に出力を回復させる技術が開発・実用化されている。それらの概要を以下に紹介する。

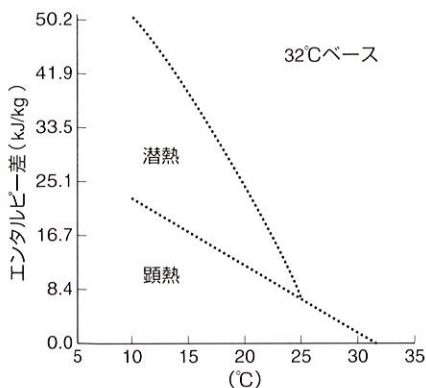


図2. 吸気冷却時に必要となる冷熱の内訳 吸気を露点以下まで冷却するには結露に伴う潜熱消費が発生するので必要冷熱量が増大する。

Relationship between cooling temperature and required cooling energy

最初に、すでに米国や日本で実用化されている氷蓄熱を応用する吸気冷却システムについて述べる<sup>(1),(2)</sup>。

図1にシステムの概要を示す。比較的電力に余裕のある夜間に解氷性の高い氷を製造し、昼間の電力ピーク時にこの冷熱を用いて吸気を冷却するものである。

この手法のメリットは製造される低温吸気の条件がすべて設計条件内であり、長期運用にても信頼性に問題がないことである。しかし、高温多湿時は露点以下まで冷却すると吸気冷却器に結露が発生する。このため、貯えた冷熱が余分に消費されるので、設計時には露点以下までの冷却を行うか否かの検討を十分に実施する必要がある。

図2は露点以下まで吸気冷却を行う場合に要する冷熱量を顕熱分と潜熱分に分けて示したものである。

一方、吸気冷却システムより積極的にガスタービン出力を回復する手段として水のミストを強制的に吸気へ注入する方式がある<sup>(3),(4)</sup>。

この方式は圧縮機の洗浄運転時などの際に出力の回復が認められる特性に類似しており研究結果が報告されている。

この手法の原理は作動流体の質量確保を、主に多量の水 droplet 混入により達成させるものであるが、結果として圧縮機内部での空気の温度上昇を水滴の蒸発潜熱が抑制することから、圧縮効率の改善が見込める利点がある。ただし、高温となる圧縮機高圧段での吸気通過時間はきわめて短いので水滴サイズの適正化が必要である。また、不確定要素として吸気室や圧縮機吸込み過程での噴霧水滴の壁面付着や再結合による大型水滴の圧縮機翼への衝突や侵食など、長期運用時の信頼性の問題が残されている。したがって、比較的短時間の出力回復に使用すべきと考えられる。

### 3 氷蓄熱装置を利用する吸気冷却システム

当社では東京電力(株)と共同で、1996年6月から97年

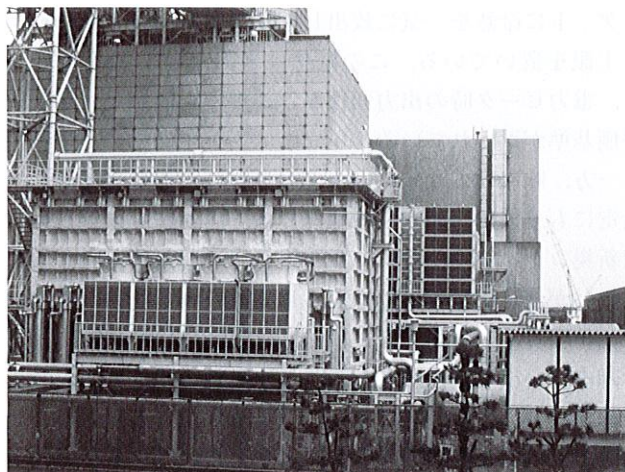


図3. 東京電力(株)富津火力発電所での氷蓄熱装置を利用したガスタービン吸気冷却システムの実証研究装置 発電中の事業用コンバインドサイクルシステムに適用された国内初の氷蓄熱装置を利用したガスタービン吸気冷却システムである。

Testing stand of gas turbine inlet air cooling system at Futtsu Power Station of The Tokyo Electric Power Co., Inc.

3月にかけて富津火力発電所に氷蓄熱装置による吸気冷却システムを設置し、稼働中のコンバインドサイクル発電システムによる実証運転研究を実施した。図3は設置システムの外観を示す。その結果、吸気冷却による出力回復運転は従来の運用技術により十分に対応可能であり実用上問題ないことを確認している<sup>(5),(6)</sup>。

図4は富津発電所での一連の実証運転で得られたコンバインドサイクル発電システムの出力回復結果である。吸気冷却運転では夜間貯えた冷熱を使用して規定値どおりの出力回復結果を得ている。

富津火力発電所での実証研究は、電力ピーク時間帯をタ

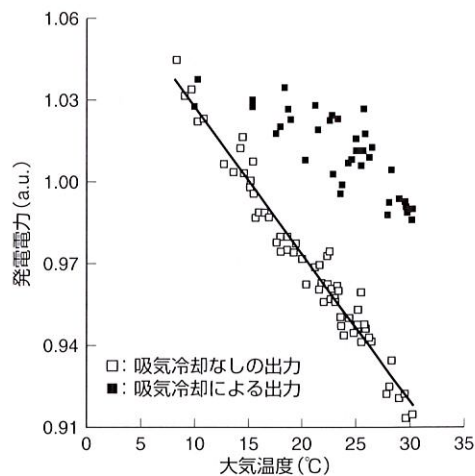


図4. 富津火力発電所にて計測された吸気冷却による出力回復特性の一例 事業用コンバインドサイクル発電システムでの吸気冷却による貴重な出力回復実証試験結果を示す。

Results of inlet air cooling tests at Futtsu Power Station

ーゲットに冷熱を一気に放出し大幅な出力回復を得ることに主眼を置いている。この概念は米国などで定着しており、電力ピーク時の出力回復がどこまで可能かという点に評価基準が置かれている。

一方、昨今のように電力需要の逼(ひっ)迫が一段落し、給電にも比較的余裕がある状況では、高効率でクリーンな最新鋭コンバインドサイクル発電設備の稼働率を向上させることが地球環境への配慮から重要視される傾向にある。

この場合、認可出力を下回る高気温時には積極的に吸気冷却を行い出力を回復させることが吸気冷却システムの主目的となる。したがって氷の高速解氷性ではなく、貯えた冷熱を有効に使うことがシステム運用のポイントとなる。

図5はこの目的から、吸気冷却の目的温度を露点近傍に設定する運転での、気温、冷却後の吸気温度、必要冷熱量などの変化を8月の気温条件で示したものである。

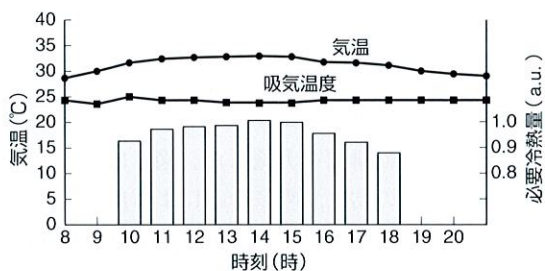


図5. 吸気を露点近傍まで冷却する条件で運用する場合の吸気温度と必要冷熱量の時刻別変化例 結露防止の吸気冷却運転では露点温度以下の冷却が発生しないように冷却条件をコントロールする必要がある。

Inlet air temperature and required cooling energy when inlet air temperature is controlled to dew point

図5からわかるように気温が上昇しても大気の絶対湿度は大きく変化しないため、露点近傍まで吸気を冷却する運転では吸気温度はほぼ一定となる。したがって、各時刻での必要冷熱量は気温上昇に伴い増加する。換言すれば、吸気冷却器へ供給する冷水の流量や温度を気温変動に連動して制御することにより最適な運転が可能となる。

すなわち、蓄熱槽に貯えられた冷熱を結露により消費することなく吸気冷却に充当する制御運用手法が設備の導入効果を高める結果となる。だからと言って冷水供給温度を高く設定し、流量を増大するような結露防止運転では熱交換性能が低下し設備コストが悪化してしまう。

このような運用の吸気冷却システムは、設備償却費を含めたランニングコストを通年して回復された増出力値の総和で割ったkWh単価を最低とすることがポイントとなる。

これは、電力ピーク時の出力回復値と設備コストを基準としたkW単価を最低とする電力ピーク対応型の吸気冷却システムとは異なった評価のポイントである。

#### 4 あとがき

以上、述べたように氷蓄熱装置を利用したガスタービン吸気冷却システムは、夏季の高気温時における発電出力の回復という本来の目的に加え、クリーンで高効率なコンバインドサイクル発電システムの通年稼働率向上という地球環境面への好影響を重視した運用計画にもこたえうるものである。また、氷蓄熱装置を用いたガスタービン吸気冷却システムは流入空气中に液滴を形成する可能性がないために長期間・長時間の使用においても高いプラント信頼性を確保している。

当社ではこれまでに確立されている氷蓄熱技術と吸気冷却技術の結合を最適化させ、効果的かつ設置場所の制約を受けないシステムの提案を継続していく所存である。

#### 文献

- (1) Marc de Piolenc. "LES iced inlet nets utility another 14 MW of peaking at zero fuel cost". GAS TURBINE WORLD. Jan.-Feb. 1992.
- (2) 内田和男. "スーパーダイナミックアイスシステム" 地域冷暖房 第49号 商品・技術レポート.
- (3) Irwin Stambler. "Spray cooling inlet and compressor flow increases hot day plant rating." GAS TURBINE WORLD. May-June 1997.
- (4) 宇多村元昭, 他. "水噴霧を利用したガスタービンの出力増加(熱サイクルの理論的検討)" 第11回ガスタービン秋季講演会 講演論文集B-16. 宮崎, 1996-11.
- (5) 渡辺 裕. "大容量氷蓄熱システムの冷熱取出し特性(ガスタービン吸気冷却システムへの適用)". 第34回日本伝熱シンポジウム講演論文集, D 344, 1997-5.
- (6) 渡辺 裕. "シャーベット氷によるダイナミック型氷蓄熱技術とその応用(ガスタービン吸気冷却装置への適用)". 日本機械学会第75期通常総会講演会 資料集VI. 1998-3.



渡邊 裕 WATANABE Yutaka, D.Eng.

電力システム社 電力・産業システム技術開発センター 新発電システム技術担当主幹, 工博. 高効率で環境負荷の少ない新発電システムの開発に従事. 日本機械学会, 日本伝熱学会会員.  
Power and Industrial Systems Research and Development Center



杉森 洋一 SUGIMORI Yoichi

電力システム社 火力事業部 火力プラント技術部. 事業用コンバインドサイクル発電設備の基本計画業務に従事. 日本ガスタービン学会会員.  
Thermal Power Systems Div.



海治 徹 UMIJI Toru

電力システム社 火力事業部 火力開発技術部主務. スーパーコージェネシステム, 氷蓄熱システムの開発に従事.  
Thermal Power Systems Div.