

# ガスタービンを利用したトライジェネレーション (電力, 熱, 水供給) システム

Trigeneration Gas Turbine System which Supplies Electricity, Heat and Pure Water

堀次 睦 久芳 俊一 幡宮 重雄  
Horitsugi Mutsumi Kuba Shunichi Hatamiya Shigeo

日立製作所のH-25ガスタービンは世界各国で発電用、コージェネレーション用に広く利用されている。その適用範囲をさらに拡大することを目的に、信頼性が高く連続運転に適しているという特徴に加え、多種燃料に適用可能な特徴を生かして、電力と熱と水の供給を可能とするトライジェネレーションシステムを検討した。水の供給は民生用、産業用を問わず重要な社会基盤であるが、Oil & Gasなどのエネルギー資源開発分野でも重要な課題になっている。ガスタービンを利用したトライジェネレーションシステムは、重質油の増産や炭層ガスの生産に寄与するとともに、環境保護にも配慮した新しいシステムである。

## 1. はじめに

水は生活の基盤であるとともに、各種産業にとっても極めて重要な資源である。発電やコージェネレーション用途に必要なとされる水にはボイラ補給水があり、補給水は淡水で良好な水質が要求される。しかし、世界には、水自体が不足していたり、水はあっても水質が補給水に適さない地域も存在する。そのような条件においても、ガスタービンから生み出される電力と熱を利用すれば良好な水質の淡水を製造することができ、生産活動範囲を広げることが可能になる。

ここでは、資源埋蔵量が在来型の石油・ガスの数倍に及ぶと予想されて開発が進む重質油と炭層ガスの生産に関わる将来型トライジェネレーションシステムについて述べる。

## 2. ガスタービン利用コージェネレーションシステム

H-25ガスタービンを利用すると1基当たり30 MWの電力を発生させることができ、同時に排ガスの熱を蒸気発生や各種熱源に利用するコージェネレーションシステムが構成できる。

インドネシアのペトロチャイナ社ベタラプロジェクトの

ガスタービンコージェネレーションシステムの例を図1に示す。このシステムは近隣の数十か所のガス井からのガスと液をパイプラインで受け入れ、気液分離した天然ガスを製造する設備である。プロセスガス中の水分を除去するドライヤの吸着剤を再生するため、H-25ガスタービンの高温の排気熱を利用している。このサイトの主たる負荷はパイプライン用圧縮機で、従来の機械駆動ガスタービンに替

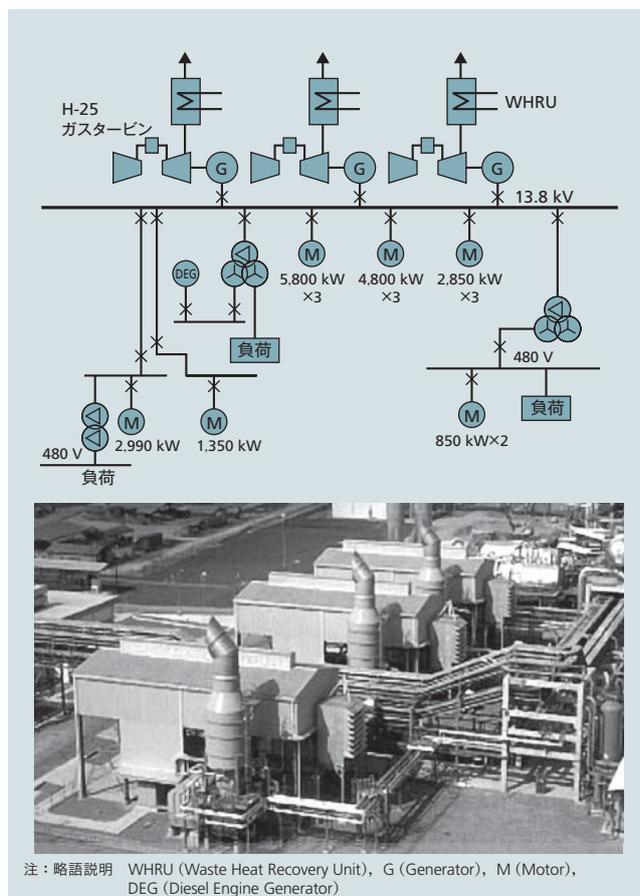


図1 | ガスタービンコージェネレーションシステム

インドネシアのペトロチャイナ社ベタラプロジェクトの外観と系統構成を示す。

えてH-25で発電した電力を使用した電動機で運転され、システム全体としての運用性が高められている。

### 3. 将来型トライジェネレーションシステム

#### 3.1 水蒸気圧入法による重質油回収への適用

ベネズエラは、世界第10位の生産量を誇る南米最大級の産油国であるが、マラカイボ油田は開発されてから100年近く経ち、圧力低下が著しく、生産量が低下の傾向にある。他方、東部のオリノコ地域には重質油の大規模な埋蔵量が確認され脚光を浴びているが、処理の難しさが課題となり、開発は緒についたばかりである。

油は加熱し温度を高めることによって粘度が低下するため、生産量が減退した油井から再度油を回収することが可能になる。これが、いわゆるEOR (Enhanced Oil Recovery) 法である。熱源として最も一般的なものが蒸気であり、H-25コージェネレーションシステムを用いることにより、蒸気の利用が可能となる。

水蒸気圧入法には二つの方法がある。一つは坑井に一定期間水蒸気を注入し、数日間密閉後、重質油を生産する間欠的な方法であるCSS (Cyclic Steam Stimulation) 法、通称ハフパフ法である。もう一つは、上下ペアの水平坑井を利用し、上部の坑井から水蒸気を圧入して下部の坑井から連続的に油を生産するSAGD (Steam Assisted Gravity Drainage) 法である(図2参照)。SAGD法は上部に水蒸気の飽和領域を形成して温度を上昇させ、粘度が低下し重力の作用で下方に流下した油を、下方の坑井から連続的に生産する方式であり、生産が順調な場合は埋蔵量の50~70%が回収でき、その他の水蒸気圧入法よりも効率的な手法とされている。

マラカイボ地域では南米最大のマラカイボ湖が水源になるが、この湖は北部が海とつながった汽水湖であり水質は補給水に適していないため、補給水として利用するには水処理設備が必要になる。さらに、湖は環境汚染が進んでお

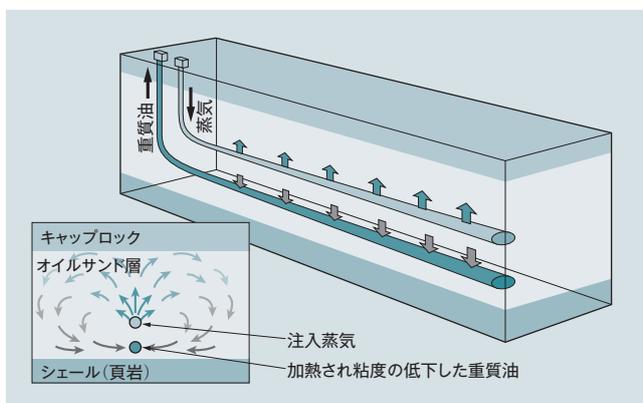
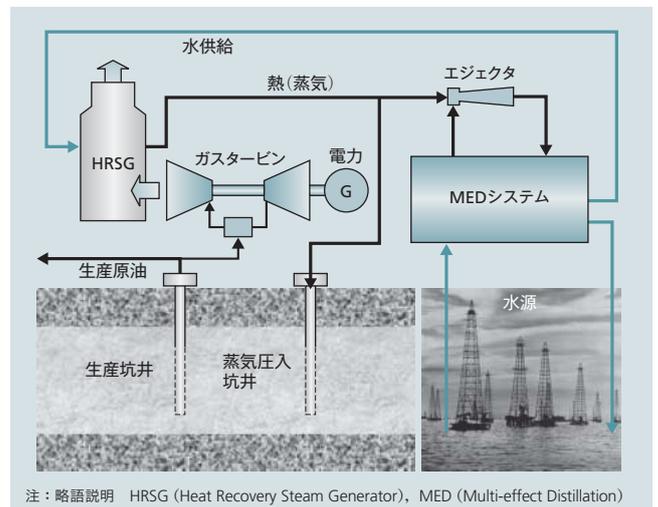


図2 | SAGD法による重質油回収の概念図

SAGD(Steam Assisted Gravity Drainage)法による重質油回収の概念を示す。



注：略語説明 HRSG (Heat Recovery Steam Generator)、MED (Multi-effect Distillation)

図3 | 電力・熱・水供給トライジェネレーションシステム

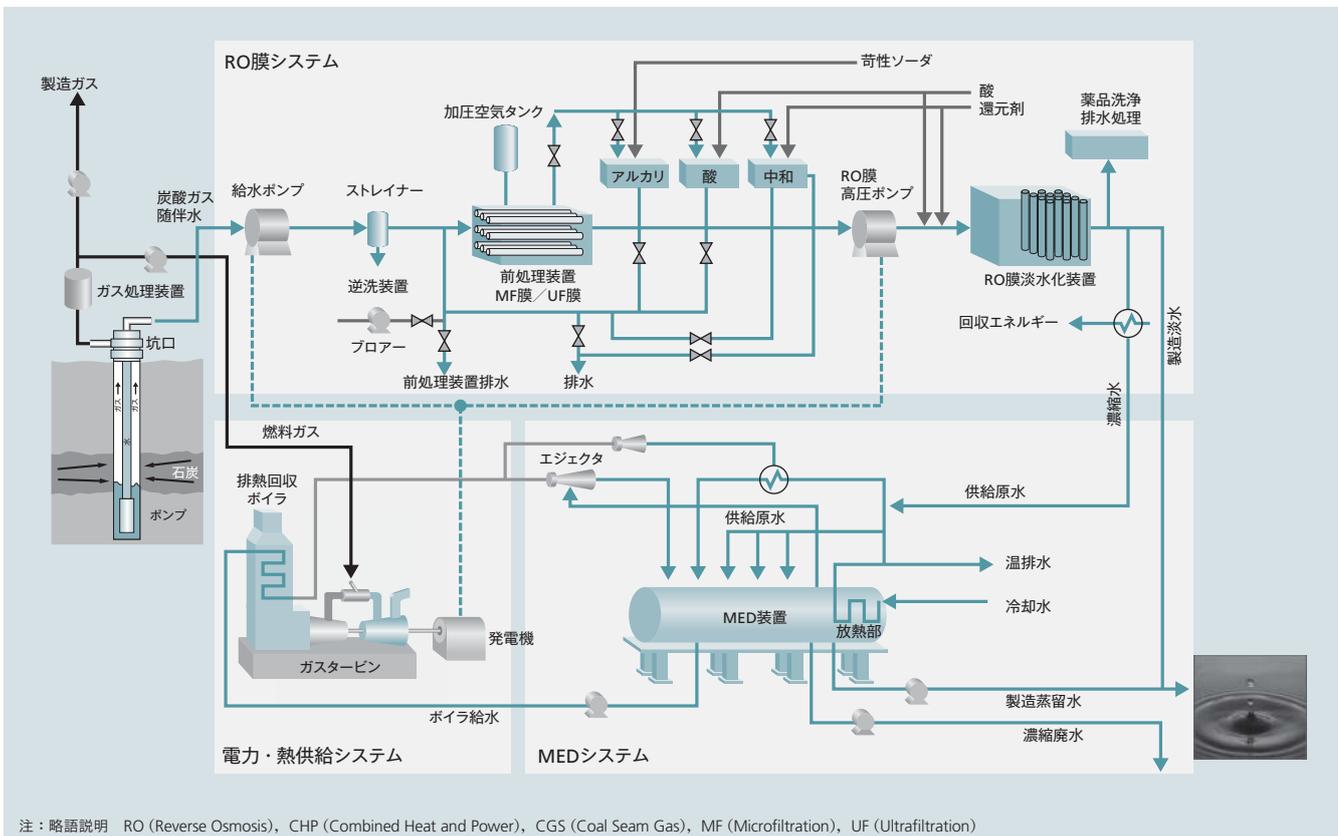
ガスタービンで発電し、排熱回収ボイラで発生した蒸気を油井に圧入するとともに、淡水製造にも利用するトライジェネレーションシステムの概念を示す。

り、地域住民の飲料水確保も重要な課題となっている。日立グループは、環境に配慮しつつ効果的なEOR法を実施し、製油所に必要な電力を確保することに加え、地域に飲料水を供給したいというマラカイボ地域のニーズに対応し、電力と熱と水を提供できるトライジェネレーションシステムを提案することができる。

トライジェネレーションシステムの概念を図3に示す。ガスタービンで発電し、排熱回収ボイラ(HRSG: Heat Recovery Steam Generator)で蒸気を生成し、油井に圧入するとともに多重効用蒸留式淡水化装置「MED (Multi-effect Distillation) システム」の熱源に利用する。またMEDシステムで製造した純水はボイラ給水として供給されるだけでなく、地域に飲料水として供給される。

#### 3.2 炭層ガス随伴水処理への適用

在来型の天然ガスは比較的浅い堆積層の油・ガス田から産出されるが、近年、シェールガス、タイトサンドガスと呼ばれる非在来型の天然ガスが注目されている。オーストラリアにはCSG (Coal Seam Gas) と呼ばれる石炭に吸着、あるいは石炭中の微細な孔隙や亀裂に存在する天然ガスが多量に存在する。このガスは大鑽井(さんせい)盆地(The Great Artesian Basin)の石炭層に多く分布しており、地下水の水圧で石炭層に吸着した状態で存在しているため、ガスを採取する目的で坑井を掘ると、ガスとガスに随伴する多量の水が産出する。この随伴水には塩分が含まれ、その濃度は200~10,000 ppm程度であり、海水の35,000 ppmよりは低いが、動植物の生長に影響を及ぼす濃度レベルである。塩分濃度の高い随伴水はそのままでは環境に放出できないため、従来は随伴水を浅い池に貯め、天日によって蒸発させる方法で処理していた。



注：略語説明 RO (Reverse Osmosis), CHP (Combined Heat and Power), CGS (Coal Seam Gas), MF (Microfiltration), UF (Ultrafiltration)

図4 | ハイブリッドトリジェネレーションシステムの構成例  
RO膜システムで濃縮した塩水を、ガスタービンの排熱を利用したMEDシステムで、さらに濃縮するハイブリッドトリジェネレーションシステムの概念を示す。

この方法では、蒸発池として広大な面積を必要とし、蒸発池に残る塩が適切に処理されなければ環境を汚染させる懸念があるため、随伴水をそのまま蒸発池に貯めて減容する方法は制限されるようになった。そこで、近年は海水淡水化プラント技術のRO (Reverse Osmosis：逆浸透) 膜システムが検討されている。しかし、RO膜システムは塩分濃度が濃くなると造水性能が低下し、設備コストと電力使用量が多くなる傾向があるため、RO膜システムでは随伴水の体積を数分の1に減容する程度である。

このような課題に対し、日立グループは、H-25ガスタービンとRO膜システム、およびMED装置を組み合わせたハイブリッド淡水化システムを提案している。ガスタービンの排熱を利用するMEDシステムはRO膜システムで濃縮した塩水をさらに濃縮して減容することができ、随伴水の体積を初期の $\frac{1}{10}$ 以下、あるいは減容濃縮をさらに進め、濃縮排水量をゼロとすることも可能である。

ガスタービンとRO膜システム、MED装置から成るハイブリッドトリジェネレーションシステムの構成例を図4に示す。RO膜システムは、塩分濃度が低い条件では浸透圧が低いので操作圧力が低く、エネルギー消費量の少ないシステムを構築できる。しかし、塩分濃度が高くなると淡水製造効率が低下し消費動力が多くなる特性がある。一方、熱エネルギーを利用するMED法は蒸留操作であり、

塩分濃度の高い処理水にも適用可能なため、この双方のシステムを組み合わせることによって、エネルギー消費量を最小とするシステム構築が可能となる。

ガスタービン、RO膜システム、およびMED装置、さらに製造した天然ガスをパイプラインで輸送する際のガス圧縮機の所用動力も考慮したシステム全体の消費エネルギー計算例を図5に示す。RO膜システムとMEDシステムを適切な割合で運用することにより、消費エネルギーを最小化できることが示されている。

この将来型トリジェネレーションシステムにより、随伴水から生産した淡水は、灌漑 (かんがい) や工業用水に

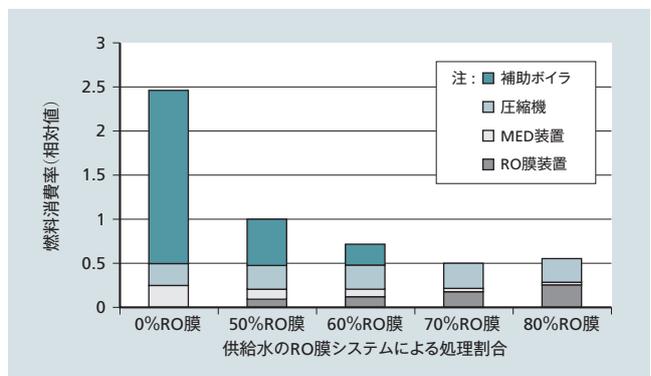


図5 | ハイブリッドシステムの最適化検討  
RO膜装置とMED装置の運用割合を変化させた場合のシステム全体の消費エネルギー試算例を示す。

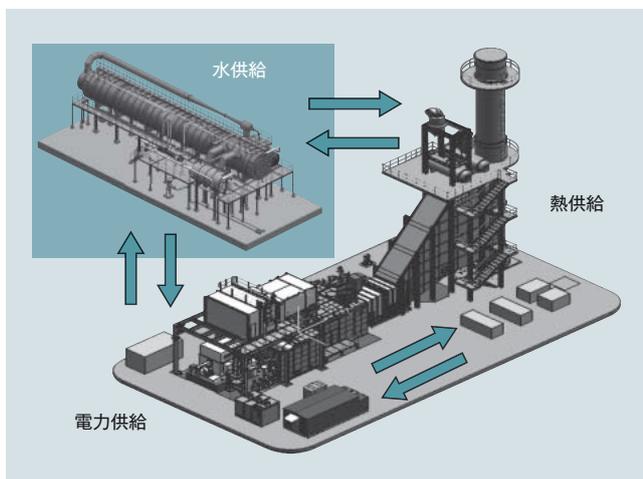


図6 | トライジェネレーションシステムにおける電力・熱・水供給の相互関係  
ガスタービンは水蒸気を加え、発電出力・効率を向上できるため、トライジェネレーションシステムでは電力・熱・水の需要に応じたフレキシブルな運用が可能になる。

有効に活用することができるとともに、水を電力に変換するシステムとして提供することもできる。ガスタービンは空気を作動媒体としており水蒸気を混合することで、発電出力、効率を向上することが可能になる。燃焼器やタービンに蒸気を注入する蒸気注入型ガスタービンSTIG (Steam Injection Gas Turbine) では約20%の出力向上が、圧縮機の前後にも湿分を加えるAHAT (Advanced Humid Air Turbine) では50%を超える出力向上と効率の向上が期待できる。

このような高湿分空気利用ガスタービンに使用する水としては、不純物をほとんど含まない純水が望ましく、MEDシステムで生産した蒸留水はガスタービンへの供給水として最適である。提案するトライジェネレーションシステムは、電気と熱と淡水を供給するだけでなく、運用条件に応じて電力と熱と水を相互に変換できるフレキシブルなシステムとなっている(図6参照)。

#### 4. おわりに

ここでは、Oil & Gas分野におけるH-25ガスタービンを利用した将来型トライジェネレーションシステムについて述べた。

海外における水資源確保や水環境保全に対しても日立グループのコア技術、ソリューション技術を活用し、電力、社会・産業インフラ部門の力を結集することでさまざまな顧客のニーズに応えることができる。今後さらなる技術開発を進め、技術を通して社会に貢献することをめざしていく。

なお、ここに述べたトライジェネレーションのエンジニアリングは、経済産業省「産油国石油精製技術等対策事業費補助金(産油国産業協力等事業)」の補助事業の補助金の一部を使用して実施された。誌上を借りて御礼申し上げる次第である。

#### 参考文献

- 1) 宮崎, 外: 開発投資拡大と環境保護に貢献するOil&Gas市場向けソリューション, 日立評論, 92, 6, 442~449 (2010.6)
- 2) 荒井, 外: 日立H-25ガスタービンの特徴と適用例, 日立評論, 90, 2, 174~179 (2008.2)

#### 執筆者紹介



##### 堀次 陸

アラビア石油株式会社を経て、2000年日立製作所入社、電力統括営業本部 所属  
現在、電力事業戦略立案とガスタービン利用システムの海外受注活動に従事



##### 久芳 俊一

1979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、ガスタービンの設計および海外受注活動に従事  
工学博士



##### 幡宮 重雄

1985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 石炭科学研究部 所属  
現在、ガスタービンを利用した発電システムの研究開発に従事  
工学博士