

# DME 化学再生ガスタービンシステム

## DME-Fueled Chemically Recuperated Gas Turbine System

高橋 武雄      大橋 幸夫      山中 矢

■ TAKAHASHI Takeo      ■ OHASHI Yukio      ■ YAMANAKA Susumu

ガスタービンの排熱を利用することは、サイクル熱効率を向上させる有効な手段である。ジメチルエーテル (DME) 化学再生発電システムは、ガスタービンの排熱をDME燃料の改質反応に利用して発電効率の向上を図る新発電システムである。DMEの改質反応は、DMEが水蒸気と反応して水素リッチガスに改質する吸熱反応であり、ガスタービンの排熱をこの吸熱反応の熱源とすることで、排熱エネルギーを燃料エネルギーに転換することができる。

今回、東芝はDME化学再生ガスタービンシステムの実証試験を行い、このシステムが実用化可能で有望なシステムであることを示した。

The utilization of exhaust heat from gas turbines offers opportunities to improve cycle thermal efficiency. The dimethyl ether (DME)-fueled chemically recuperated gas turbine system is based on reforming DME fuel with steam by means of an endothermic reaction. The exhaust gas from a gas turbine is used to effect this reaction.

Toshiba has carried out a demonstration test of the DME-fueled chemically recuperated gas turbine system. The results of the demonstration test show that this system is a very promising technique for the development of high-performance gas turbine systems.

### 1 まえがき

天然ガスなどの化石燃料から製造されるジメチルエーテル (DME) は、硫黄分を含まず、燃焼時にすすも排出しない。また、人体への有害性は極めて低く取扱いも容易であることから、次世代のクリーン燃料として注目されている。

DMEは、現在、スプレーの噴射剤など化学品としての利用が大半であるが、発電用燃料や自動車の軽油代替燃料、家庭用プロパンガスの代替燃料など、様々な分野での利用が期待されている。発電用燃料としては、ガスタービンやボイラ燃料としての利用が考えられるが、DMEは比較的低温で水蒸気と反応して水素リッチなガスに改質する性質を持っているので、燃料電池用の燃料としても注目されている。

東芝は、DMEが比較的低温で改質する特性に着目し、ガスタービンの排熱をDME燃料の改質反応に利用して発電効率の向上を図る化学再生ガスタービンシステムの開発を行っており、今回、実証試験により実用化可能で有望であることを示した。

### 2 化学再生ガスタービンシステムの特長

化学再生ガスタービンシステムの原理は、ガスタービンの排熱を利用し、燃料を水蒸気と反応させて水素を多く含む水素リッチガスに改質し、発熱量が増した水素リッチガスをガスタービンの燃料に使用するというものである。燃料は、ガスタービンの排ガス温度域で水素リッチガスに改質する燃料で

あればよく、メタノールやメタンなども化学再生ガスタービンの燃料の候補として挙げられる。

燃料の代表的な改質反応を表1に示す。いずれも吸熱反応であることが特徴である。

表1. 燃料の代表的な改質反応式

Heat recovery reactions

燃料	代表的な反応式
メタン	$\text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 3\text{H}_2 + \text{CO}_2 - 165.0 \text{ kJ/mol}$
メタノール	$\text{CH}_3\text{OH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 3\text{H}_2 + \text{CO}_2 - 49.5 \text{ kJ/mol}$
DME	$\text{CH}_3\text{OCH}_3 + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow 6\text{H}_2 + 2\text{CO}_2 - 122.6 \text{ kJ/mol}$

CH<sub>4</sub>:メタン    H<sub>2</sub>O:水    H<sub>2</sub>:水素    CO<sub>2</sub>:二酸化炭素  
 CH<sub>3</sub>OH:メタノール    CH<sub>3</sub>OCH<sub>3</sub>:ジメチルエーテル

化学再生ガスタービンの代表的なシステム構成例を図1に示す。従来のコージェネレーションと同様にガスタービンの排気ダクトに排熱ボイラを配し、更に、排気ダクト中に改質器を設置している。排熱ボイラで発生した蒸気は、コージェネレーションとして直接熱供給するほか、燃料と共に改質器に供給される。改質器は数多くのチューブで構成されており、チューブの中には触媒が充てんされている。改質器へ供給された燃料と蒸気は、このチューブの中の触媒層を通過する過程で水素リッチなガスに転換する。

改質器に使用する触媒は、燃料の種類や改質温度などにより活性の高いものが選定される。燃料に適した反応温度と触媒を表2に示す。天然ガス (メタン) の場合では、800℃以上

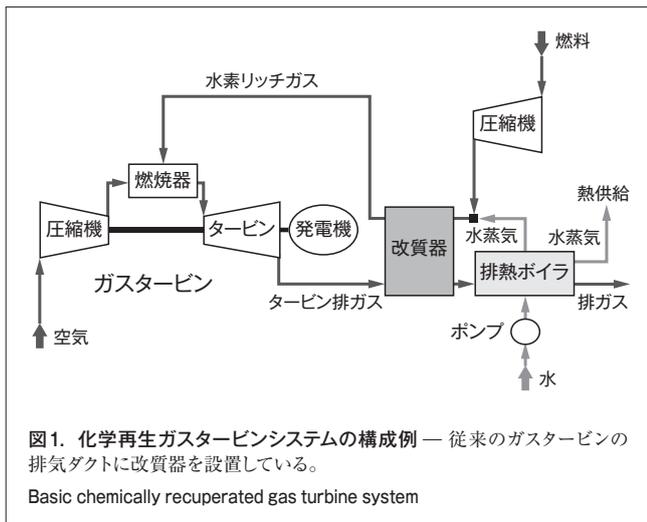
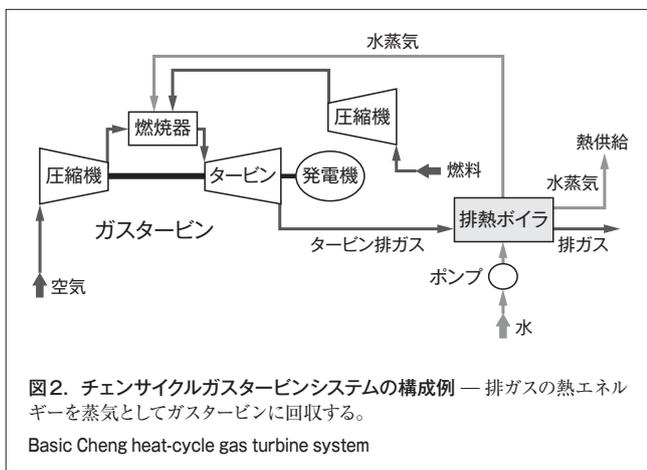


表2. 燃料による改質の特徴  
Operating characteristics

燃料	反応温度	主な触媒
メタン	800℃以上 (500℃程度でも部分的に反応が進行)	Ni系触媒など
メタノール	250～350℃程度	Cu系触媒など
DME	300～450℃程度	Cu系、貴金属系触媒など

Ni：ニッケル Cu：銅

の高温で反応は十分に進行するが、500～600℃程度のガスタービンの排ガス温度域では反応は部分的である。メタノールやDMEの場合は、反応に適した温度がメタンの場合より低く、ガスタービンの排ガス温度域でも十分に反応が進行する。ガスタービンの排ガスの熱エネルギーを利用してシステムの発電効率を向上させる方法には、蒸気タービンと組み合わせたコンバインドサイクルシステムが事業用として一般的であるが、中小型ガスタービンでは、排ガスの熱エネルギーを蒸気としてガスタービンに回収するチェンサイクルガスタービンが実用化されている(図2)。



化学再生ガスタービンは、チェンサイクルガスタービンに類似したシステムであるが、蒸気を燃料の改質に利用することで化学的変化による熱回収も行うことができるため、チェンサイクルガスタービンよりも更に高い発電効率を得られることが特長である。

### 3 DME化学再生ガスタービンシステムの実証試験

#### 3.1 概要

当社は関西電力(株)と共同で、経済産業省資源エネルギー庁から「DME燃料利用機器開発費補助金」の交付を受け、2002年度からDMEを燃料とする化学再生ガスタービンの開発を行ってきた(表3)。

表3. 開発スケジュール

Research and development schedule

実施項目	2002	2003	2004	2005	2006	2007
触媒調査研究		■				
触媒試験		■	■	■		
改質基礎試験		■	■	■		
加圧改質試験		■	■	■		
システム検討		■	■	■	■	
要素試験			■	■	■	
実証試験			■	■	■	■

5年間の開発で、①化学再生ガスタービンに適したDME改質触媒の選定(触媒調査研究、触媒試験)、②システム構成と性能検討(システム検討)、③DME用改質器と燃焼器の開発(要素試験)、④化学再生ガスタービンとしてのシステム全体の検証(実証試験)を行った。

#### 3.2 実証試験設備の仕様

DME化学再生ガスタービンシステムの実証試験設備を図3に示す。



実証試験設備は、出力30 kWのCapstone社製マイクロガスタービン (MGT) を改造し、新たに開発した改質器と燃焼器を組み込み、排熱ボイラなどの機器と組み合わせている。燃料のDMEは、700 kgボンベから液体で取り出し、電気による温水加熱方式の気化器で気化させてから、試験設備に供給した。DME化学再生ガスタービンシステムの実証試験設備の計画仕様を表4に示す。DME改質用の触媒は、触媒試験により選定した白金/アルミナ (Pt/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 触媒を使用し、不活性のアルミナ球と混合して改質器に充てんした。このシステムでは、水蒸気とDMEのモル比率 (S/DME) を3.5に設定し改質器に供給した。

表4. 実証試験設備の計画仕様

Specifications of demonstration plant

項目		仕様
出力		30 kW
燃料		DME
プラント熱効率		16.3%以上 (LHV)
ガスタービン	型式	Capstone社製C30
	圧力比	3.3
	出口排ガス温度	593℃
	排ガス量	約985 kg/h
改質器	触媒	Pt/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
	S/DME	3.5
	改質ガス圧力	0.4 MPa

LHV: 低位発熱量基準

### 3.3 実証試験設備の設計と製作

実証試験設備のレイアウトを図4に示す。改質器や蒸発器などの排熱回収機器は、マイクロガスタービンの排ガスダクトに直列に配置する構成とした。改質器は、使用する改質触媒の活性が温度により大きく異なることから、改質触媒の活性が高くなるよう蒸発器の下流側に配置している。また、燃料のDMEは、蒸発器で発生した蒸気と混合した後に、DME加熱器で改質に適した温度まで加温してから改質器に供給している。

実証試験の目的が、化学再生ガスタービンシステム全体の性能を検証してチェンサイクルガスタービンシステムに対する優位性を確認することにあるため、この設備は化学再生サイクルとチェンサイクルの二つのサイクルの試験が行えるよう設計した。

実証試験設備本体を図5に示す。この設備は、関西電力(株)六甲実験センター敷地内に設置した。

### 3.4 実証試験設備の運転

実証試験設備の据付けを2006年10月に完了し、試運転・調整を経て、運転試験を2007年3月まで行った。

試験は、ガスタービン単独のシンプルサイクル運転及び、排ガスの熱エネルギーを蒸気としてガスタービンに回収するチェンサイクル運転と化学再生サイクル運転についてそれぞれ行い、

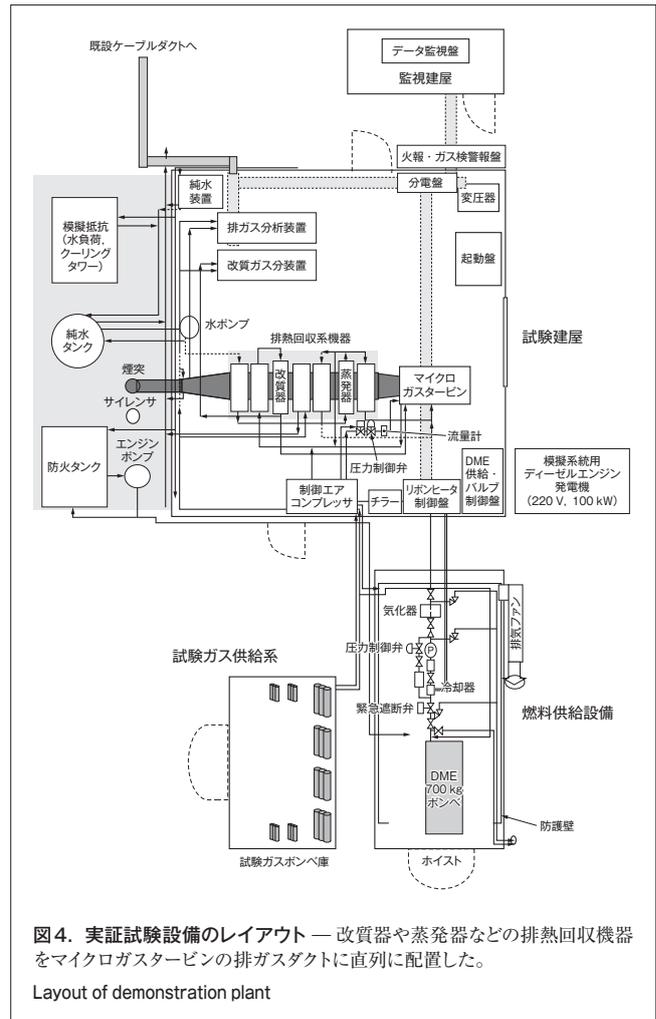


図4. 実証試験設備のレイアウト — 改質器や蒸発器などの排熱回収機器をマイクロガスタービンの排ガスダクトに直列に配置した。

Layout of demonstration plant

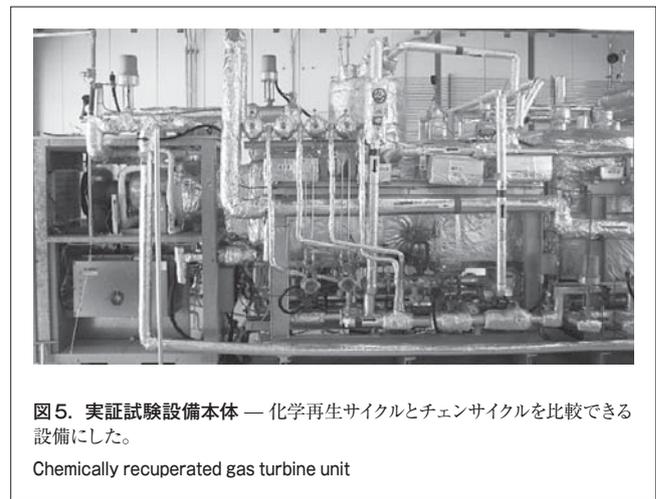


図5. 実証試験設備本体 — 化学再生サイクルとチェンサイクルを比較できる設備にした。

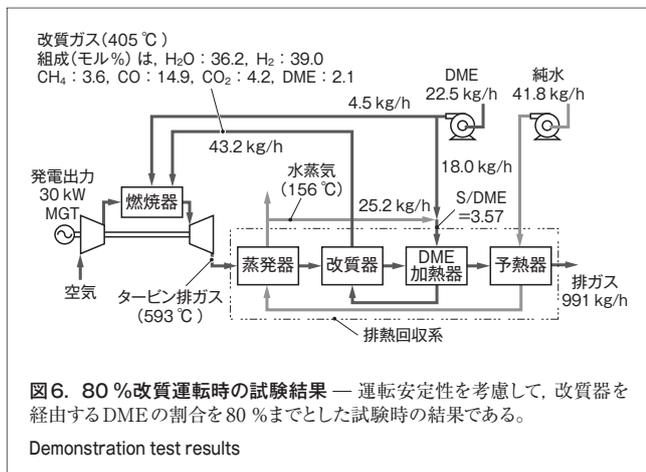
Chemically recuperated gas turbine unit

性能検証に必要なデータを採取した。

化学再生サイクル運転は、起動時には燃料のDMEを直接ガスタービンの燃焼器に投入し、ガスタービンが定格負荷に到達した後、蒸発器で蒸気が発生するのを待って、DMEを改質器側に切り替えた。

### 3.5 実証試験結果

化学再生サイクル運転時の試験結果の一例を図6に示す。試験では、実証試験設備の運転安定性を考慮し、改質器を経由して燃焼器に投入するDMEの割合を80%までに抑え、残りの20%は直接燃焼器に投入して行った。



チェンサイクル運転と化学再生サイクル運転との試験結果を比較して表5に示す。

化学再生サイクルとチェンサイクルの性能を比較するうえで、性能検証では、ほかの要因をできるだけ排除するため、同じ時期に、ほぼ同じ条件(ガスタービン出力、気温、蒸気供給量など)で行った試験結果を用いた。チェンサイクルに対して、60%改質運転時は7.7%(相対値)の効率向上、80%改質運転時は8.9%(相対値)の効率向上が確認でき、化学再生サイクルの効率向上効果が検証できた。また、改質運転の比率を60%から80%に上げると、排ガス中のNO<sub>x</sub>(窒素酸化物)値が減少することが確認できた。

表5. 実証試験結果

Demonstration plant test data

検証項目	性能比較1		性能比較2	
	チェンサイクル	化学再生サイクル 60%改質運転	チェンサイクル	化学再生サイクル 80%改質運転
熱効率 (LHV)	15.16 %	16.32 %	15.29 %	16.65 %
NO <sub>x</sub> 値 (酸素濃度 16 %)	—	20.6 ppm	—	12.8 ppm

## 4 あとがき

DME化学再生ガスタービンシステムに対して、小型実証試験を行い、このシステムがサイクル効率向上に有効な手段であることを検証した。発電システムの効率向上に対するニーズに応えるため、更に実用化に向け開発を進めている。

## 謝辞

この研究は、関西電力(株)との共同研究として、経済産業省資源エネルギー庁から「DME燃料利用機器開発費補助金」の交付を受け実施した。関係各位のご協力に感謝の意を表します。



高橋 武雄 TAKAHASHI Takeo

電力システム社 火力・水力事業部 火力タービン・発電機技術部グループ長。火力発電システムの開発に従事。日本機械学会会員。Thermal & Hydro Power Systems & Services Div.



大橋 幸夫 OHASHI Yukio

電力システム社 電力・社会システム技術開発センター 回転機器開発部主幹。火力発電システムの新技術開発に従事。日本機械学会、エネルギー・資源学会会員。技術士(機械部門)。Power and Industrial Systems Research and Development Center



山中 矢 YAMANAKA Susumu

電力システム社 電力・社会システム技術開発センター 回転機器開発部主査。燃焼機器、CO<sub>2</sub>回収機器開発に従事。ガスタービン学会会員。Power and Industrial Systems Research and Development Center