

# 低濃度メタン燃焼ガスタービン発電装置

## Lean Methane- Fueled Gas Turbine Generator Set



山崎 義弘① Yoshihiro Yamasaki  
 上村 大助② Daisuke Uemura  
 堂浦 康司③ Yasushi Douura  
 細川 恭史④ Yasufumi Hosokawa  
 田中 克典⑤ Katsunori Tanaka  
 佐藤 毅⑥ Tsuyoshi Satou  
 黒坂 聡⑦ So Kurosaka  
 松尾 和也⑧ Kazuya Matsuo  
 堀川 敦史⑨ Atsushi Horikawa

当社は、石炭採掘時に湧出する希薄な炭坑通気メタンなどの低濃度メタンガスを燃料として活用する「低濃度メタン燃焼ガスタービン発電装置」を世界で初めて開発した。世界の炭鉱やごみ埋め立て地などから大気中に放出されている未利用の低濃度メタンガスの大量処理による温室効果ガスの削減と発電による有効活用を目指し、本装置の商品化を進めている。

We developed, for the first time in the world, a lean methane- fueled gas turbine generator set in which ventilation air methane (VAM) obtained during the excavation of coal is used as fuel. Aiming at the reduction of greenhouse gases through large volume treatment of unused lean methane gas, which is emitted into the atmosphere from coal mines and landfill etc. around the world, and simultaneously aiming at its effective use for power generation, we are accelerating the commercialization of this system.

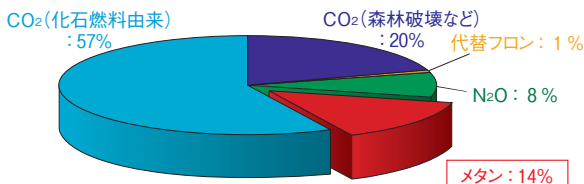
### まえがき

メタンガスは京都議定書で定義されている温室効果ガスの一つで、その温室効果は二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）の約21倍であり、CO<sub>2</sub>に次いで環境影響負荷が高い。さらに、このメタンガスの総排出量の約6%が炭鉱から大気放出されている（図1）。

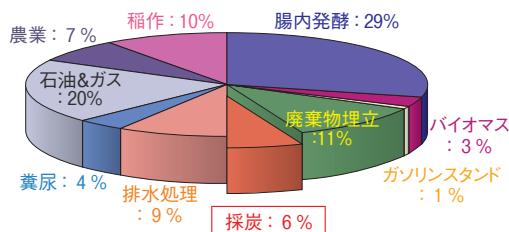
石炭層中には、石炭の生成過程で生じたメタンガスが含まれており、石炭採掘時に湧出する。湧出したメタンガスのうち、メタン含有量が30%以上の炭鉱メタン（CMM:

Coal Mine Methane) は発電などに利用されているが、メタン含有量が1~30%のCMMと1%未満の希薄な炭坑通気メタン（VAM: Ventilation Air Methane）は、現状では利用方法がないため大気中に放出されている。このVAMは、採炭過程において排出されるメタンガスの60~80%を占めるため、大気中への放出は、エネルギーを無駄にするだけでなく地球温暖化の一因にもなる（図2）。

そこで、当社では、VAMなどの低濃度メタンガスを燃料として発電できるガスタービンを開発している。



(a) 全世界の温室効果ガス排出量 (CO<sub>2</sub>換算) 2007年



(b) 全世界のメタンの排出源 2010年

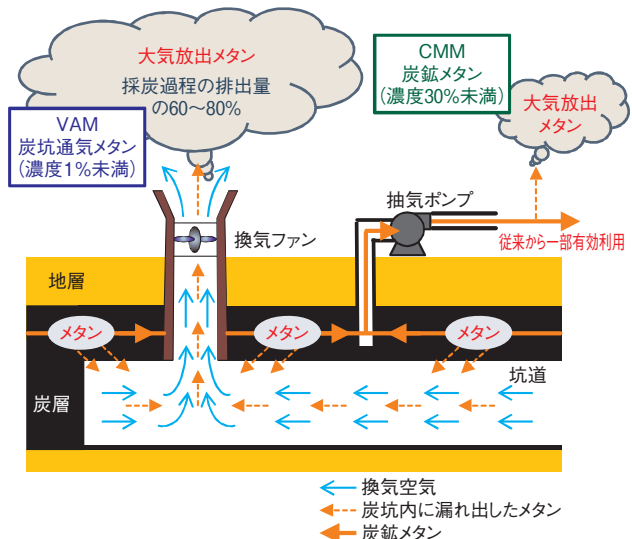


図2 炭鉱からの大気放出されるメタン  
 Fig. 2 Methane emitted into the atmosphere from coal mines

図1 全世界の温室効果ガス排出量および排出源  
 Fig. 1 Greenhouse gas emissions and sources around the world

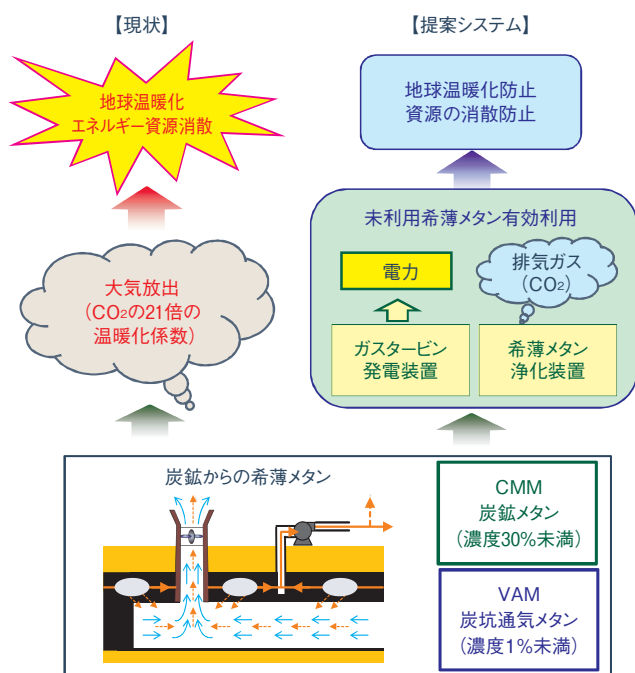


図3 未利用希薄メタン処理システムのコンセプト  
Fig. 3 Concept behind treatment system for unused lean methane

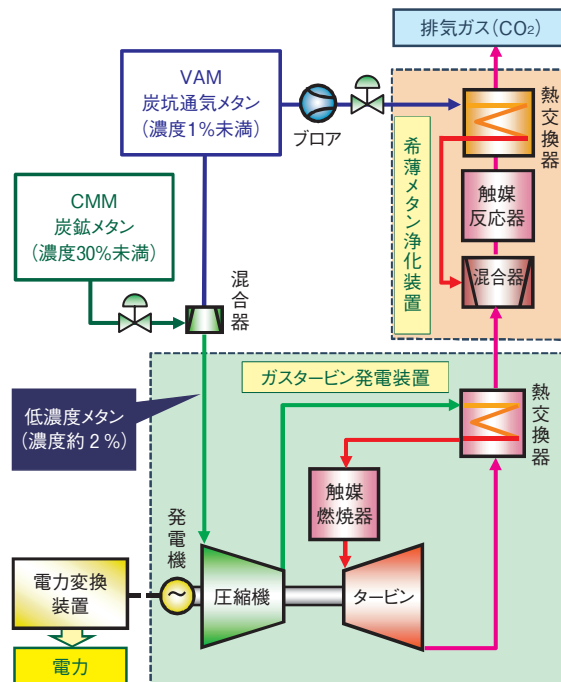


図4 システムの機器構成  
Fig. 4 Configuration of system

## 1 未利用希薄メタン処理システム

### (1) コンセプトおよび構成

当社が提案する未利用希薄メタン処理システム<sup>1)</sup>のコンセプトを図3に示す。

本システムは、触媒燃焼式「ガスタービン発電装置」と、ガスタービンの排熱を利用して作動する触媒燃焼式「希薄メタン浄化装置」から構成され、通常では処理できないVAMのような超低濃度のメタンガスを処理すると同時に発電することができる。システムの機器構成を図4に、計画性能を表1に示す。

### (2) 原理

触媒燃焼式「ガスタービン発電装置」では、未利用のまま大気放出されている大量のVAMとCMMの混合気（メタン濃度：2%）をエンジン吸気として吸い込んで圧縮し、熱交換器で触媒反応開始温度まで加温した後、触媒燃焼器で燃焼させる。これによって得られた高温・高圧のガスでタービンを回転させ、発電機を駆動する。

発電装置の排気ガス温度は、まだ高いエネルギーを有しており、このエネルギーを利用してVAMを酸化処理するのが触媒燃焼式「希薄メタン浄化装置」である。これにより、温室効果ガス排出量のさらなる削減を図る。希薄メタン浄化装置は排気混合器、触媒反応器および熱交換器から構成している。ブローによって供給されるVAMは、熱交換器で排気ガスとの熱交換によって予熱される。予熱されたVAMは排気混合器において発電装置の排気ガスと均一に混合されて触媒反応器に送られ、触媒反応によって混合

表1 システムの計画性能  
Table 1 Design performance of system

発電装置	発電機端出力 (kW) <sup>*1)</sup>	800
	VAM+CMM処理量 (Nm <sup>3</sup> /h)	22,000
	温室効果ガス削減量 (t-CO <sub>2</sub> /年) <sup>*2) *3)</sup>	48,000
浄化装置	VAM処理量 (Nm <sup>3</sup> /h)	38,000
	温室効果ガス削減量 (t-CO <sub>2</sub> /年) <sup>*2) *3)</sup>	20,000
温室効果ガス削減総量 (t-CO <sub>2</sub> /年) <sup>*3)</sup>		68,000

\*1) 15°C, 1気圧, 高度: 0m条件における出力。  
\*2) メタン濃度をVAM: 0.5%, CMM: 30%とした場合。  
\*3) 稼働率97%で1年間運転した場合。

気中のメタン成分が酸化される。さらに、触媒反応器の排気ガスは熱交換器を通して大気中に排出される。

### (3) 特長

本システムの特長を以下に示す。

- 従来、利用手段がなかったVAMおよび低濃度CMMで発電でき、良質な燃料（天然ガス、石油、石炭）の消費量を削減できる。
- 発電と同時に温室効果ガス排出量を削減できる。
- 窒素酸化物（NO<sub>x</sub>）が発生しない。
- 可燃範囲（5～15%）外の低濃度メタン（約2%）を使用するため、安全性が高い。
- 小型で可搬式にすることが可能。

## 2 適用技術の概要

ガスタービン発電装置の機器仕様を表2に示す。さらに、各要素の適用技術の概要を以下に示す。

表2 ガスタービン発電装置の機器仕様

Table 2 Equipment specifications of gas turbine generator set

部 位	項 目	形式・仕様
ガスタービン	形 式	再生サイクル 1軸式
	出力位置	吸気側
	圧縮機	遠心2段
	燃 焼 器	単缶 触媒燃焼器
	タービン	軸流3段(全段無冷却)
エンジン機器	始動燃焼器	単缶 拡散燃焼器
	熱交換器	プレートフィン型
	減速機	遊星2段歯車式
パワーエレクトロニクス機器	発 電 機	誘導発電機(始動装置兼用)
	電力変換装置	インバータ・コンバータ方式

(1) ガスタービン

本システムの核となる触媒燃焼式ガスタービンは、当社が開発・販売している1,000kW級ガスタービンM1A-01をベースに、触媒燃焼式かつ再生サイクル仕様向けに最適化したものである。

(2) 触媒燃焼器

システムに必要な不可欠な「触媒燃焼技術」は、触媒表面に空気中の酸素とメタンを吸着して触媒の強い酸化作用を

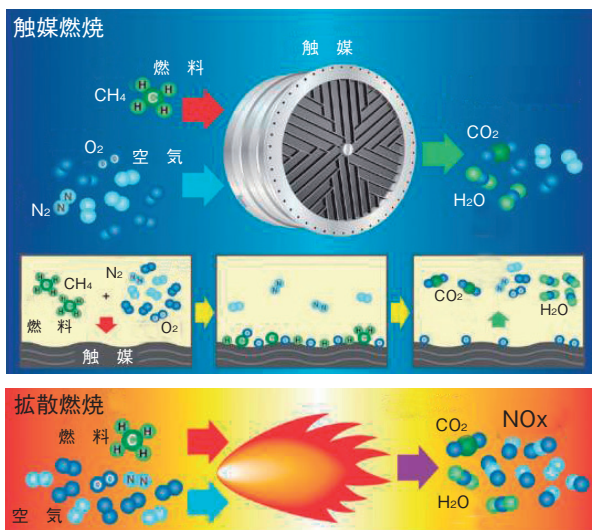


図5 触媒燃焼と通常の燃焼(拡散燃焼)との比較  
Fig. 5 Comparison between catalyst combustion and normal (diffusion) combustion

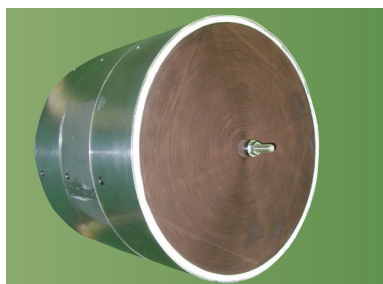


図6 触媒燃焼器コア  
Fig. 6 Catalyst combustor core

利用して燃焼(酸化)させる。通常の火炎燃焼では燃焼できない超低濃度のメタンガスを低温(300~900℃)で燃焼でき、大気汚染原因物質の一つである窒素酸化物(NOx)は全く発生しない。これに対して、通常の燃焼器では可燃濃度範囲(5~15%)の混合気が必要な上、空気と燃料の混合気が炎を出して高温で燃焼するため大量のNOxを発生する。図5に触媒燃焼のイメージを通常の燃焼(拡散燃焼)と比較して示す。

当社は、超低NOxガスタービンとして、触媒燃焼式ガスタービンM1A-13Xを世界で唯一実用化しており、それらの触媒燃焼技術を転用し、開発した(図6)。

(3) 熱交換器

熱交換器は、高い温度効率と耐久性に加え小型であることが要求される。これらを考慮し、当社600kW級再生式ガスタービンS7Aでも実績のあるプレートフィン型熱交換器を採用した(図7)。

(4) 電力変換装置

本システムは始動時の触媒燃焼器着火の際に、部分回転数での暖機および発電状態への移行が必要となるため、発電機に誘導発電機を採用し、自社開発の電力変換装置を用

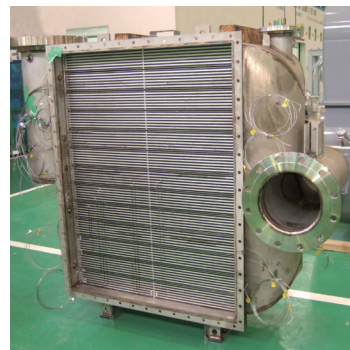


図7 プレートフィン型熱交換器  
Fig. 7 Plate-fin-type recuperator

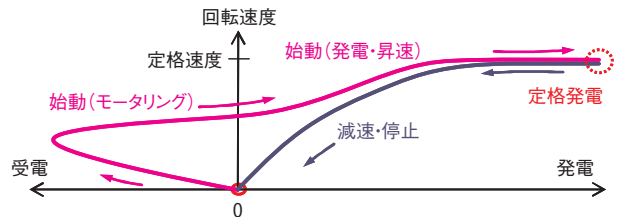
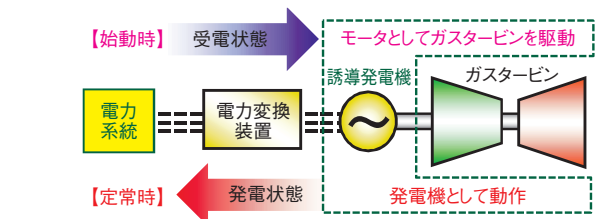


図8 始動時および定常時の機器の作動イメージ  
Fig. 8 Image of equipment operation in starting phase and steady running phase



いた可変速制御を実施している。始動および定常時の機器の作動イメージを図8に示す。

(5) 制御技術

通常の制御シーケンスに加え、本システムに特有の始動停止制御およびメタン濃度変動対応制御などの制御ロジックを新たに設計した。これにより、安定した始動停止、VAM/CMMのメタン濃度が変動した際の触媒などの機器の保護/安全性に配慮したシステムを実現した。

3 社内実証試験

(1) 実証試験機

実証試験機(図9)、実証試験設備(図10)を用いて社内にて実証試験を行った。社内実証試験では、VAMのような低濃度メタンが存在しないため、空気を吸気し、混合器に都市ガスを噴霧し、低濃度メタンを模擬している。

(2) 実証試験結果

始動試験や負荷試験などを実施し、自動制御にて始動から負荷運転まで安定した運転が可能で、かつ所定性能(温室効果ガス削減量:48,000 t-CO<sub>2</sub>/年, 定格出力:800kW)が得られることを確認した。試験結果の一例を図11に示す。

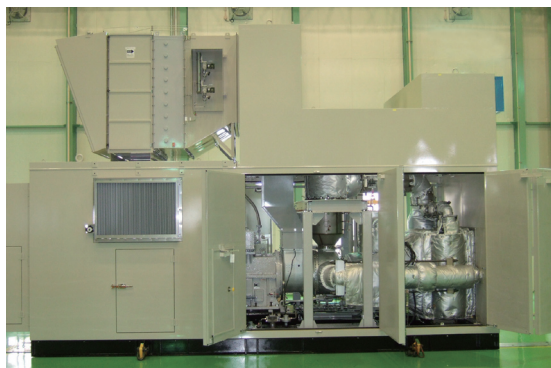


図9 実証試験機  
Fig. 9 Demonstration test unit

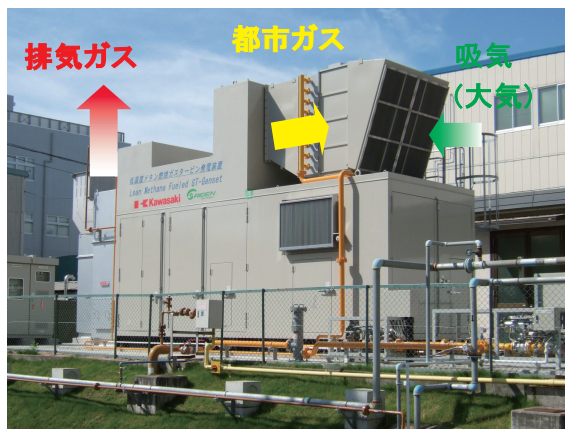


図10 実証試験設備  
Fig. 10 Demonstration test facility

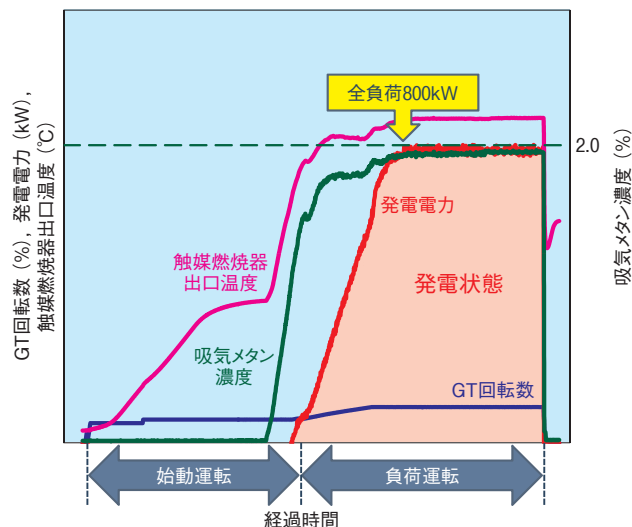


図11 実証試験結果の一例  
Fig. 11 Example of results of demonstration tests

あとがき

今後は、「低濃度メタン燃焼ガスタービン発電装置」の信頼性や耐久性などを確認した後に量産化し、VAM放出量が多いオーストラリアや中国などの炭鉱や、低濃度メタンガスの放出量が多い米国などのごみ埋め立て地などに向けて販売する計画である。

本製品は大気中に放出されている低濃度メタンガス(温室効果ガス)の処理と発電への利用を通じて地球温暖化防止を進め、地球環境の未来に貢献していく。

参考文献

1) 特許 第4538077号, “希薄燃料吸入ガスタービン”



山崎 義弘



上村 大助



堂浦 康司



細川 恭史



田中 克典



佐藤 毅



黒坂 聡



松尾 和也



堀川 敦史