

(技術資料)

ガスエネルギー回収タービン発電装置

Gas Energy Recovery Radial Turbine Generator System



松谷 修*

Osamu MATSUTANI

Gas energy recovery power system is an eco-friendly system which produces lower CO₂ emissions by using gas pressure difference. It is expected to be wide spread in future. Also, our radial turbine plays a key part in the technology of power recovery. This paper introduces this energy recovery system, our unique turbine technology and furthermore items to be considered for future sales expansion.

まえがき = 2008 年秋、京葉ガス配管内においてガスエネルギー回収発電システムが導入されたが、当社はその基幹部にラジアルタービン発電装置を納入した。このシステムは、従来利用されることがなかった断熱膨張時に発生するエネルギーを動力あるいは冷熱源として有効活用するもので、燃焼を伴わない非常にユニークなシステムである。

本報では、こうした発電システムの中核で活躍する当社ラジアルタービンを紹介すると共に、今後の拡販に向けた取組みを紹介する。

1. ガスエネルギー回収発電システム

都市ガスは一般に、海外のガス田で採掘された天然ガスを液化し、専用の液化天然ガス(以下、LNG という)タンカーで日本へ輸送される。輸入された LNG は沿岸部に設置された LNG 基地(製造所)においていったん LNG タンクに貯蔵された後、海水などの熱で気化して所定の熱量に調整され、着臭されて都市ガスとして需要家のもとへ供給される。広範囲にわたって供給される場合、まず高圧^{注)}幹線(高圧導管)で供給されるのが一般的な都市ガス会社の供給システムとなっているが、高圧幹線を通じて供給されたガスは地域ごとに設けられたガバナ

ーションで中圧^{注)}まで減圧し、いったん球形ガスホルダ(供給所)に貯蔵される(図 1)。中圧で供給された都市ガスは各地域ガバナで需要家の必要とする圧力に調整を行った後、各需要家に供給される。

この減圧時の圧力エネルギー(断熱膨張によるエネルギー)を膨張タービンの回転に利用し、発電するシステムがガスエネルギー回収発電システムである。図 2 に発電システムのフロー図を示す。図に示したように、膨張タービンは高圧から中圧 A に圧力調整するパターン 1 (球形ガスホルダー上流側)、および中圧 A から中圧 B に圧力調整するパターン 2 (球形ガスホルダー下流)のいずれのパターンでも設置することが可能である。本システムは、火力発電などの通常の発電システムに比べてシステムや構造が簡単である。さらに、燃焼を伴わない発電であるため CO₂ 排出量が極めて少なく、環境にやさし

脚注)「高圧」は 1.0MPaG 以上の圧力、「中圧 A」は、0.3MPaG 以上 1.0MPaG 未満、「中圧 B」は、0.1MPaG 以上 0.3MPaG 未満、「低圧」は 0.1 MPaG 未満のガス圧力を示す。代表的な需要家である一般家庭で使用するガス圧力は「低圧」である、一方、工場やビルなどの大口需要家には「中圧 A」や「中圧 B」で供給される場合もある。

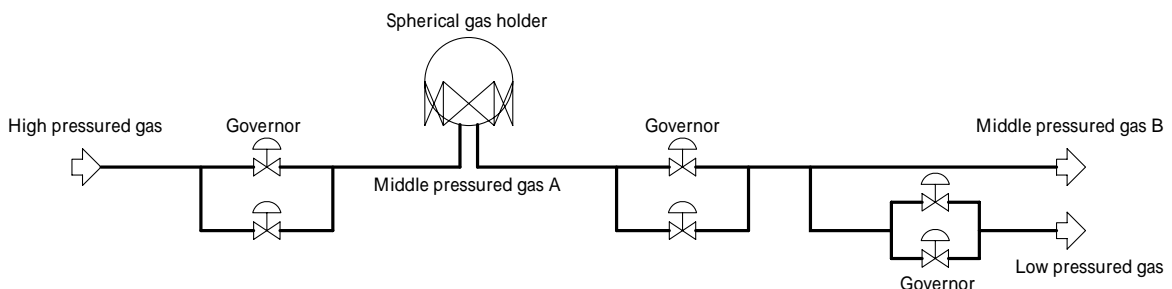


図 1 一般的なガス供給フロー図
Fig. 1 General system flow of gas supply

*機械エンジニアリングカンパニー 圧縮機事業部 回転機技術部

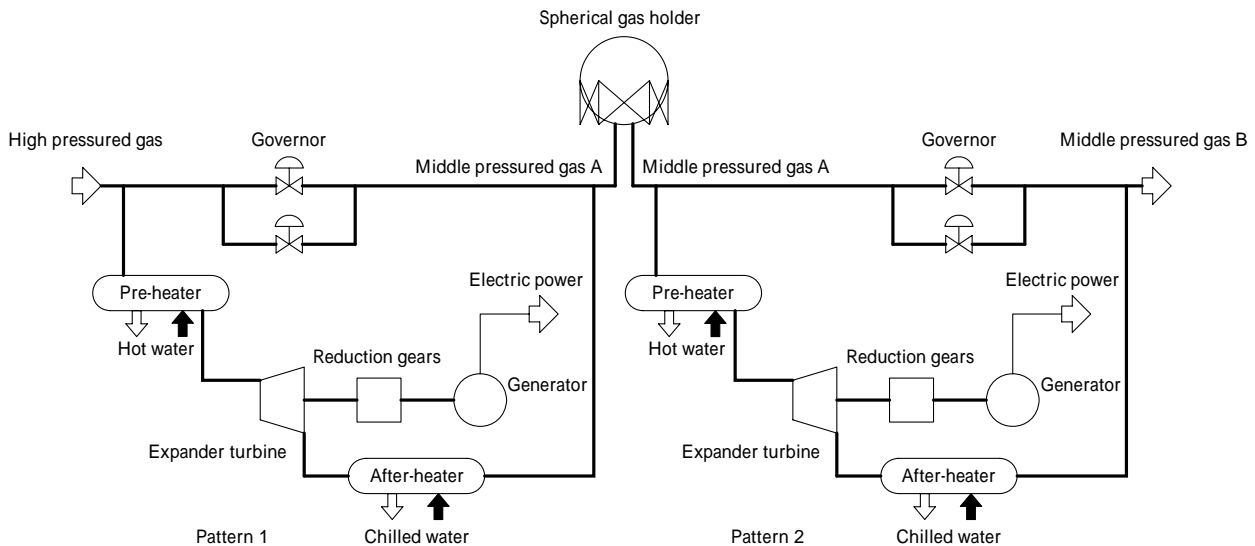


図2 ガスエネルギー回収発電システムのフロー図例
Fig. 2 System flow of gas energy recovery system

いという特長をもっている。

しかし、膨張タービンで圧力エネルギーを回収するとタービン出口ガス温度は低下する。もちろんガバナによる高圧から中圧への圧力調整においても、ジュールトムソン効果によりガバナ出口ガス温度が低下するが、膨張タービンの方がより大きなエネルギー落差があるため、低下する温度幅も大きくなる。一方、都市ガスの供給規定により、需要家への供給温度は通常0 よりも高くするのが一般的であるため、エネルギー回収の際に加温する必要が生じる。加温方法としては図2に示すように、(A)タービンにガスが入るまでに前もって温水ボイラなどによって加温するプレヒータ方式、(B)温度低下したタービン出口のガスを冷水などで冷熱回収しながら、あるいは近隣の設備や工場からの廃熱や用途のあまりなかった低温熱源を利用してガス温度を調節するアフタヒータ方式がある。通常のガバナステーションにおいても、圧力調整時には上述のごとく断熱膨張による相当なエネルギー落差が発生するため、ガバナ前後で同様の加温システムが用いられている。したがって本システム導入によるCO₂排出量は、厳密には上述の加温システムにおける加温用燃料ガス使用分だけ増加する。なお、中圧Aから中圧Bへの圧力調整の際には加温システムが必要ない場合もある。

需要家のニーズに合わせてプレヒータ方式かアフタヒータ方式のいずれか、あるいは両方を選択することができる。このようにエネルギーの有効利用を図る上で多彩なオプションシステムが選定できる点もガスエネルギー回収発電システムの特長と言える。

1.1 京葉ガス㈱納入装置の特徴

2008年に当社はラジアルタービン発電装置を京葉ガス㈱に納入した。納入した装置の近景写真および3D-CAD図を図3に、発電システムフローを図4に示す。また表1に発電装置の仕様を示す。京葉ガス㈱に納入した発電装置は、先にパターン1(球形ガスホルダー上流)で示した高圧幹線から中圧Aに圧力調整するガバナのバイパスラインに膨張タービンを設置した事例である。地

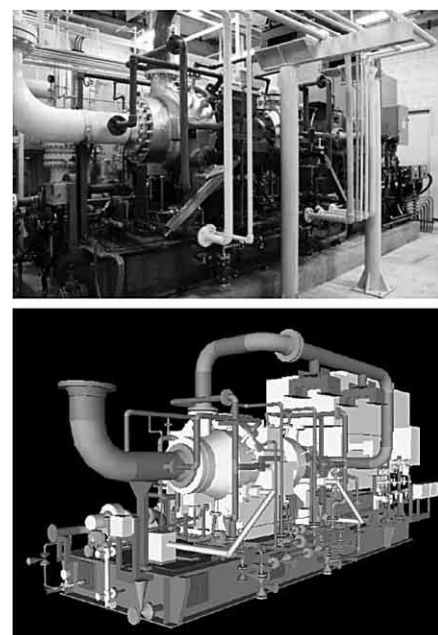


図3 ガスエネルギー回収発電タービンユニット近景写真と3D-CAD図
Fig. 3 Photo of gas energy recovery turbine unit and 3D-CAD drawing

元新聞の報道¹⁾によると、本発電装置の最大出力は830kW、年間440万kWhの発電電力量が見込まれている。これは一般家庭のおよそ1,000軒が1年間に使用する電力規模に相当し、買電に比較して年間1,500トンのCO₂削減が期待される。今回設置したガバナステーションでは、近隣に冷熱利用先や余剰廃熱の供給元がなかったためプレヒータ方式が採用されている。また、同社の発表^{2),3)}によると、ガバナステーションで発電した電力は所内で消費するほか、特定規模電気事業者に販売することになっている。本来、発電した電力は自家消費するのが最大の経済的メリットをもたらす運用方法である。すなわち、それまで電力会社から購入していた電力の一部は発電電力によって賄うことができ、その分だけ電力会社への支払いを低減させることができる。

これまで我が国のガスエネルギー回収発電設備の導入例は海外と比べて少なかったが、その要因の一つに発電

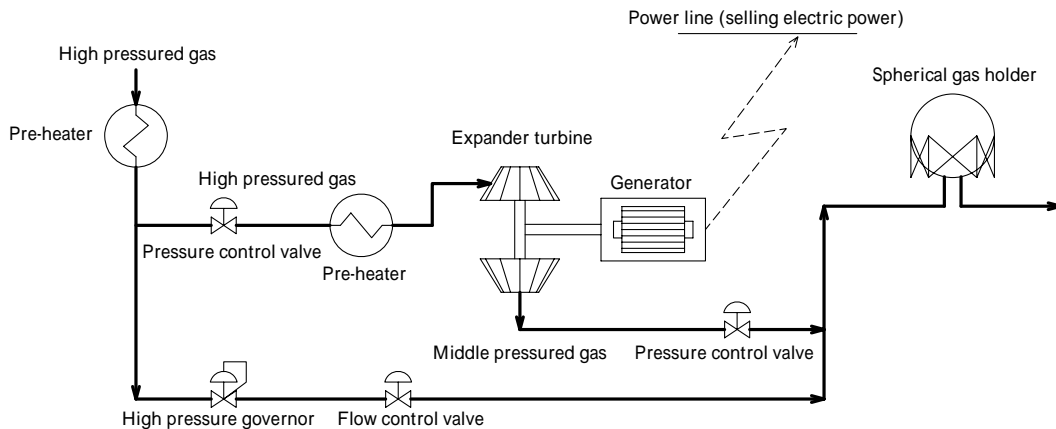


図4 京葉ガス燃発電システムフロー図
Fig. 4 Flow of gas power generating system for Keiyo Gas Co., Ltd.

表1 京葉ガス殿納入ガスエネルギー回収タービン発電装置仕様
Table 1 Specification of gas energy recovery turbine unit for Keiyo Gas

Item	Spec.	Note
Stage	2	GRT250+GRT310
Gas flow (Nm ³ /h)	30,000	10,000 ~ 30,000 variable operation
Turbine inlet		
Pressure (MPaG)	3.9	
Temperature ()	83	
Size	150A(6B)	
Turbine outlet		
Pressure (MPaG)	0.9	
Temperature ()	6	
Size	250A(10B)	
Rated power (kW)	830	@Terminal
Unit size (m)	6.5 × 2.6 × 2.2	Seal gas unit is separately installed
Unit Weight (kg)	25,200	Seal gas unit is not included

した電力を自家消費以外に利用することが困難であったことが挙げられる。そのため、比較的大きな電力消費が見込まれるガス製造所のようなところを除いては導入による経済的効果は期待できなかったのが実情である。

ところが近年、電気事業法の規制緩和により、発電した電力は自家消費するだけでなく、特定供給や電力会社（特定規模電気事業者や一般電気事業者）に売電できるようになった。こうした規制緩和を受けて本件のような自家消費電力の少ないガバナステーションでもガスエネルギー回収発電システムを導入することができるようになった。加えて、地球温暖化対策の一環として、未利用エネルギーの有効利用によるCO₂排出量の削減に対し、その設備システムの導入に対して国から一定の補助を受けることができるようになった。この制度によってもまた、本発電システムの今後の導入促進が期待される。

1.2 当社膨張タービンの特徴

1.2.1 高効率

タービンには軸流型とラジアル（輻流）型があるが、当社は遠心式（Centrifugal）圧縮機で培ったインペラ技術を応用したラジアルタービンを採用している。その最大の利点は、圧力エネルギーを効率よく外部動力に変換できる^{4)~6)}点にある。

1.2.2 高部分負荷特性

都市ガス供給会社は需要家のガス使用量に応じて供給量の制御を行っているため、タービンを通過するガス量

もこれに連動して変化する。需要家の代表である一般家庭におけるガスの消費量は1日の中でも朝および夕方から夜にかけて多く（朝・夕食時の調理や、暖房、入浴などでの使用）、夜半から早朝の間は少ない。また年間を通じて見ても冬と夏ではガス消費量に大きな差があり、日々、年間を通じて常にガス流量（需要家の消費量に連動した供給量）が変動している。このため、ガスエネルギー回収タービンには広い運転流量範囲と高い部分負荷効率が要求されることとなる。

タービン効率はガス流量に依存し、設計点流量に対して実際の流量が低下するとタービン効率も低下する。これは、タービンへのガス流入量の減少に伴ってタービノズルからタービンランナへのガス流入速度や角度が変化し、設計点流量における最適な流入が確保できなくなるからである。これに対し、流量の変化に対応してノズル角度を変化させることができる可変ノズルを採用した場合、タービノズルからタービンランナへのガス流入角度や速度を広い範囲で最適な状態に維持することによってタービン効率の低下を抑制することができる。

京葉ガス協の例においてはガス流量制御範囲（運転領域）を10,000 ~ 30,000Nm³/hの範囲での対応を実現している。広範囲な運転領域と高い部分負荷効率は本発電システム普及のための重要なファクタの一つである。

1.2.3 高信頼性

当社における都市ガス/天然ガスの圧力エネルギーを回収する特殊なタービン発電装置の歴史は、1970年代末の冷熱発電システム向けタービン発電装置の製作にまでさかのぼる。冷熱発電システムとは、LNGのもつ冷熱を利用して発電するシステムである。海水などとの熱交換によってLNGを気化し、その体積膨張による圧力エネルギーをタービンで回収するシステムであり、1章で述べたガス製造所内におけるガス圧力エネルギー回収発電システムに相当する。可燃性ガス流体を取扱うことから、遠心圧縮機で長年培った軸封技術（回転軸部から外部へのもれ出し、およびもれガスの爆発を防止する技術）などを応用し、高い安全性と信頼性を確保している。

1.2.4 高耐久性

ガスエネルギー回収発電システムの先駆的例として、大阪ガス協泉北冷熱発電（第2工場）がある。1979年に

当社製初号機が、ついで2号機が1982年より運転開始、同じく大阪ガス堺路製造所においても1987年より運転を開始している。初号機以外は現在も稼働中であり、実に20年以上の運転実績を誇る高い耐久性を示している。

2. 今後の取組み

ガスエネルギー回収発電システムは、未利用エネルギーの有効活用という点では高いマーケットニーズが期待されるシステムである。電力の自由化や地球温暖化防止活動の一環としてCO₂削減に向けた取組みに対する理解が浸透しつつあるなか、本発電システムが普及する環境は整いつつある。

本章では、当社が認識する現状の技術的課題と今後の普及に向けた当社の取組みについて述べる。

2.1 現状の課題

2.1.1 小流量ガス運転への対応

先に紹介したように、京葉ガス㈱の発電システムは10,000～30,000Nm³/hで運転されている。需要家の多い都市部ではまとまったガス流量が確保できるため、今回の京葉ガス㈱のような発電システムを構築することはできる。しかしながら、全国的に見れば最大流量が10,000Nm³/h程度の規模の供給所もあり、京葉ガス㈱のような条件の整った供給所や地域は比較的少ないと考えられる。ガスエネルギー回収発電システムの普及が地球温暖化防止活動の一助になりうることから、全国に多数存在する中小都市ガス会社において本システムが導入されることに期待を寄せている。中小都市ガス会社で導入される場合、発電量は小規模となることが予想されるため、先に述べたように、発電システムの導入により自家消費電力(=買電電力)を抑制できるメリットとプレヒータでの加温エネルギー、アフタヒータで冷熱利用や廃熱利用といったトータルエネルギー収支のバランスが取れるようなシステム構築を工夫する必要がある。またシステムが小型化すればするほど単位出力あたりの装置コストは“割高”となる傾向があるため、タービンユニットなどの製作コスト削減や廉価システムの開発が必要となる。

また、ガス流量が少な過ぎるとタービンは発電することなく、逆にモータとして電力を消費することになる。このとき、逆電力継電器が動作してせっかくのタービン発電システムを緊急停止させてしまう。

ガス流量が少なくなった場合でもギリギリまで商用電源と連携し、発電できない状況になった場合にはいったん商用との連携を切り離してタービンは『アイドリング運転』を継続、ガス流量が回復した段階で再び商用電源と連携できるような連続運転システムを考案する必要がある。

2.1.2 軸封システム

当社の標準的仕様ではタービンの軸封システムのために窒素ガスを利用するが、通常、ガバナステーションに窒素ガスがユーティリティーとして備わっていることは少ない。代わりに大量の空気を用いる軸封システムもあるが、ガバナステーション内の既存エアコンプレッサでは容量不足であることや、メーカーが要求する空気仕様

(露点温度)を満足できない場合がある。このため、エアコンプレッサの容量アップ(更新)や追加設置が必要となり、本発電システムの導入メリットが小さくなってしまいうことも考えられる。

現状と同等の高い軸封性能を確保しつつ少ない窒素ガスや一般的な空気に対応可能な軸封システムの開発が望まれる。

2.2 普及への当社の取組み

本発電システムが広く普及するために当社発電装置に求められる技術的要件は以下のとおりと認識している。

- ・より多くのランニングメリットが出せるシステムの構築

タービン発電装置のインシャルコストダウンは言うに及ばず、ユーティリティー消費量、とくに軸封部の窒素ガスやシールエア量を抑制するシステム技術の確立が急がれる。

- ・小流量領域での安定運転制御技術の確立

可変ノズル機構の採用により、部分負荷特性の維持は達成しているものの、小量発電時の逆電力防止、商用電源との連携/非連携にかかわらず連続的な運転挙動を実現する制御技術の確立が急がれる。

むすび= 高圧幹線ルートや天然ガスパイプライン、規模の大小を問わず1,000カ所程度と目されるガバナステーション/球形ガスホルダーが全国各地に点在しており、これら全てをガスエネルギー回収発電システムの潜在的マーケットとみなすことができる。さらに、都市ガスパイプラインの拡張によるガバナステーション/球形ガスホルダーの増設や海外のガスパイプラインの中継所などまで視野に入れると、非常に大きなマーケットが存在すると考えることができる。加えて、このマーケットでは実績が高く評価されることから、当社ラジアルタービンには“一日の長”があるといえる。

今後も当社は、他社に先駆けて新たな技術課題にチャレンジし、小型化、コストダウン、性能アップなどのマーケットニーズをくみ取り、当マーケットでの高い競争優位性の確立を目指す。また、地球温暖化防止活動推進という追い風の下、本発電システムの普及に向けて引続き積極的な技術開発・技術確立に取組みたい。

参考文献

- 1) 日本経済新聞千葉版, 2008年(平成20年)10月8日.
- 2) NIKKEI NET(日経ネット), 地域経済 関東, 京葉ガスが売電未利用エネルギーで発電, 2008年10月8日, <http://www.nikkei.co.jp/news/retto/20081007c3b0704g07.html>, (参照2009-06-19)
- 3) 京葉ガス㈱ホームページ, 関東圏初! ガス減圧時の未利用エネルギーを活用 CO₂低排出の発電システムが沼南供給所に完成, News Release(平成20年10月7日), <http://www.keiyogas.co.jp/cont/news/2008/20081007.pdf>, (参照2009-06-19).
- 4) 鈴木日出夫: R&D 神戸製鋼技報, Vol.49, No.1(1999) pp.25-27.
- 5) 松本哲也: R&D 神戸製鋼技報, Vol.56, No.2(2006) pp.43-46.
- 6) 松谷 修ほか: R&D 神戸製鋼技報, Vol.59, No.2(2009) pp.40-44.