

(技術資料)

小形蒸気圧縮機「MSRC™」によるボイラの省エネルギー

Micro Steam Recovery Compressor "MSRC™" for Energy-saving in Boiler Systems



尾上真也*1
Shinya ONOE



桑原英明*1
Hideaki KUWABARA

Steam is used in a wide range of applications in many industries. The flash steam, which is generated at near atmospheric pressure from the condensate water after being used in the process, is released into the atmosphere without being recovered. Kobe Steel has developed the micro steam recovery compressor "MSRC™" to use the flash steam effectively. This paper describes "MSRC," which makes it possible to utilize the flash steam with high efficiency in a boiler system.

まえがき = 昨今、地球温暖化防止のため温室効果ガスの排出量を削減することが世界的に求められている。また、石油や天然ガスなどの化石燃料の高騰により、経済的にも省エネルギーの取組が求められており、産業界では省エネルギー機器の需要が高まっている。

国内・国外問わず多くの産業では、燃焼式ボイラによって生成された水蒸気が、動力源や加熱、蒸留、殺菌、乾燥、洗浄などの幅広い用途で利用されている。図1に燃焼式ボイラを利用した蒸気システムの代表的なフローを示す。ボイラで生成された蒸気は減圧弁により必要な圧力に調整された後、工場内の各プロセスで使用される。プロセスで使用された蒸気はドレンとなり、ドレンタンク内で圧力が開放されることでフラッシュ蒸気が発生する¹⁾。ドレンタンク内のドレンはボイラ給水として回収され、再び蒸気として利用されているが、発生したフラッシュ蒸気は大気に放出されていることが多い。このため、ボイラが蒸気生成に要した化石燃料の数%が有効利用されずに無駄に捨てられているのが現状である。

そこで、当社が保有するスクリュウ圧縮機の技術をベ-

スとして、有効に利用されていない蒸気を再び利用価値のある蒸気として再生することができる小形の蒸気圧縮機を開発した。従来の蒸気圧縮機は大形ターボ式しかなく、小容量の蒸気に対しては効率が悪くて使用できなかった。しかし、今回開発した蒸気圧縮機をボイラシステムに用いることにより、効率よく、かつ低コストで蒸気を回収・再生することができる。また、代表的な蒸気圧力条件で使用すると3年以内の投資回収が可能である²⁾。

本稿では、2011年より新たに量産販売を開始した小形蒸気圧縮機「MSRC™^{注)} (Micro Steam Recovery Compressor)」について紹介する。

1. MSRCのシリーズ構成

MSRCには、容量の異なるMSRC37LとMSRC160Lの二つのモデルがある(図2)。それぞれの内部構造は、スチームコンプレッサとIPM電動機、主インバータ、蒸気配管、ギヤボックス、および補機部品によって構成されている(図3)。

これらのモデルは、表1に示したように0.02~0.10MPaG

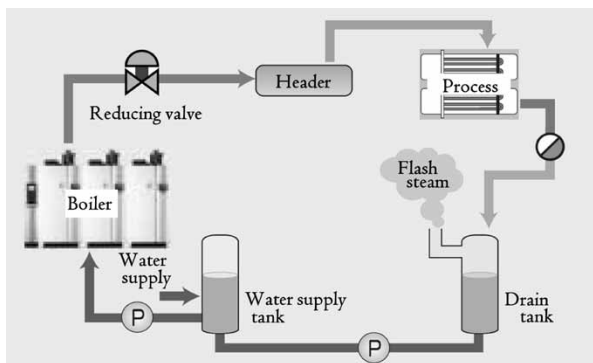


図1 小形貫流ボイラの代表的なフロー
Fig. 1 Typical process flow of micro once-through boiler

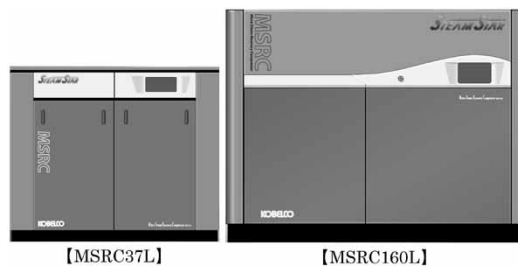


図2 MSRCの外観
Fig. 2 Appearance of MSRC

脚注) MSRCは当社の商標である。

*1 機械事業部門 圧縮機事業部 冷熱・エネルギー部

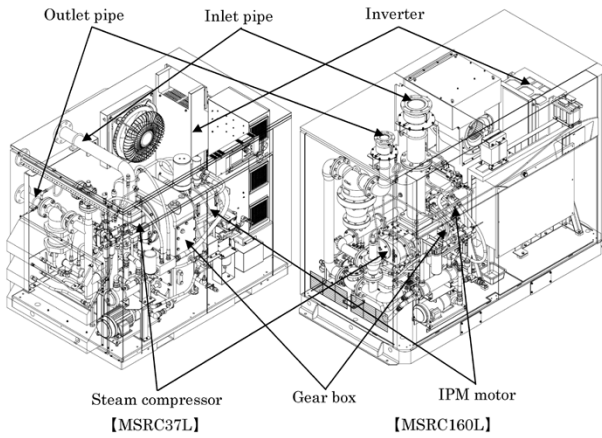


図3 MSRCの内部構造
Fig. 3 Inside view of MSRC

表1 MSRCの仕様

Table 1 Specifications of MSRC

Model		MSRC37L	MSRC160L	
Suction pressure	MPaG	0.02~0.10	0.05~0.10	
Discharge pressure	MPaG	0.2~0.5	0.3~0.8	
Maximum differential pressure	MPaG	0.45	0.75	
Discharge steam flow rate	kg/h	240~420	912~1363	
Motor output	kW	42	160	
Maximum power consumption	kW	47	182	
Power voltage	V	200/220	400/440	
Power Frequency	Hz	50/60		
Dimensions	Width	mm	1,800	
	Depth	mm	1,198	
	Height	mm	1,503	
Weight	kg		1,400	
	Temperature		°C	80~95
Utility	Injection water	Water flow rate	L/min	1.0
		Basic pressure	MPaG	0.05~0.2
	Cooling water of lubricating oil	L/min	22~	40~
Instrument air	L/min	160	300	
Installation location	Indoor / Outdoor			

の低圧蒸気をプロセスで使用される0.2~0.8MPaGまで昇圧する仕様になっており、400kg/hまでの蒸気量に対してはMSRC37Lが、1,360kg/hまでの蒸気量に対してはMSRC160Lが対応している。

2. MSRCの特徴

2.1 システムの基本原理

工場プロセスなどで発生する蒸気ドレンが大気圧近辺で再蒸発して発生するフラッシュ蒸気や、工場プロセスなどで使用された後の低圧蒸気は、相当量の熱エネルギーを持っているにもかかわらず、これまでは熱として回収する以外に利用することが困難だった。

ここで、ボイラとMSRCでの水のエンタルピー変化を考え、図4にその概念図を示す。一般的にボイラで蒸気を発生させる場合は、20℃の給水を燃焼ガスで159℃の飽和水まで加熱・蒸発させることによって圧力0.5MPaGの水蒸気を作っている（図中の太破線）。一方MSRCでは、いったん使用された蒸気のドレンから生じる低圧のフラッシュ蒸気や使用済みの低圧蒸気、例えば0.05MPaGの蒸気をプロセス圧力0.5MPaGまで再昇圧する（図中の実線）。このため、ボイラで新たに蒸気を生成する場合に比べ、蒸気を持つエネルギーのうちの潜熱、および過半の顕熱を与える必要がないことから、MSRCでは効率よく、かつ低コストで工場プロセス用蒸気を再生することができる。

2.2 MSRCユニットの特長

MSRCの系統図を図5に示す。MSRCは、単段圧縮機

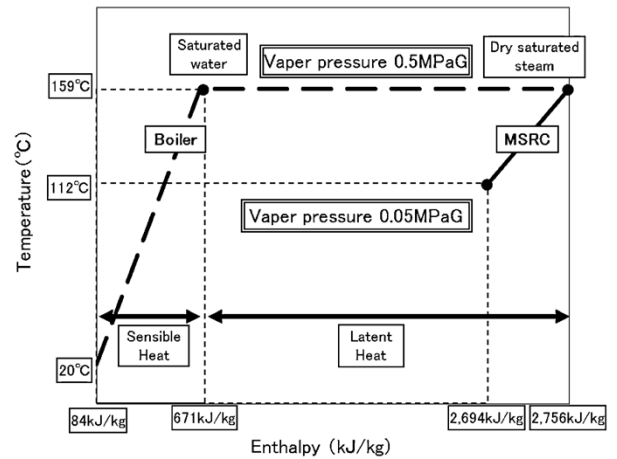


図4 ボイラとMSRCのエンタルピー変化の概念図

Fig. 4 Conceptual diagram of enthalpy change of water in the boiler and MSRC

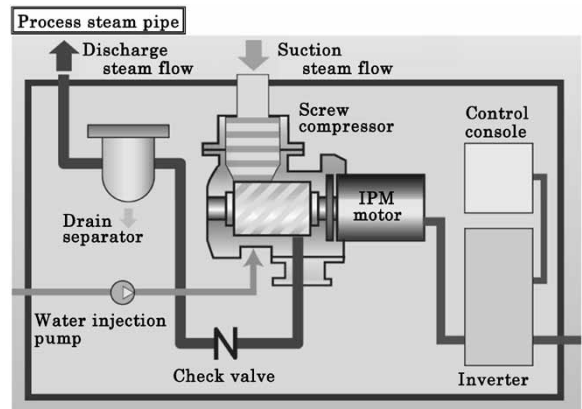


図5 MSRCの系統図

Fig. 5 System diagram of MSRC

により0.05MPaGから0.5MPaGあるいは0.8MPaGまで蒸気を圧縮することができる。圧縮機はインバータ制御の高速IPMモータにより駆動され、高速IPMモータは、主インバータを介して回転数を制御されている。このため、圧力変化に対して柔軟に追従でき、部分負荷でも効率よく蒸気を圧縮できることが特長である。また、後述するように、水蒸気を圧縮する過程で発生する圧縮熱を冷却するために補給水を圧縮機内に噴射しており、蒸発しきれない噴射水がラインに送出されることが考えられる。これを除去してプロセスに飽和蒸気を供給する目的から、ドレンセパレータを設置している。

2.2.1 高速IPM電動機とインバータによる容量制御

MSRCは、スクリュの回転数制御にPID制御 (Proportional Integral and Derivative control) を採用しており、フラッシュタンクで発生する蒸気量の変化に合わせて吸込圧力を一定に保つ運転を行うことができる。スクリュの回転数制御の範囲は二つのモデルともに10~100%であり、幅広い運転範囲に対応していることが特長である。

2.2.2 補給水噴射

圧縮機内の蒸気の温度は、蒸気を圧縮する際の圧縮熱によって高温となる。例えば、圧力0.05MPaGの蒸気を吸込み、圧力0.50MPaGまで断熱圧縮させる場合、112℃で吸込まれた飽和蒸気は約260℃まで上昇する。一方、圧縮機のロータ同士は非接触で微小な隙間を保ちながら

高速回転しており、熱膨張によってロータ同士やロータとケーシングが接触するリスクがある。このため、圧縮機内部に補給水を噴射し、圧縮機のロータやケーシングを冷却している。また、圧縮機内に噴射された補給水は、圧縮熱により一部が気化することから、吐出蒸気は圧縮機に吸込まれた蒸気よりも、質量比で最大約10%増加する。つまり、圧縮熱の一部を蒸気として回収していることが特長である。

3. MSRCの性能

MSRC37LおよびMSRC160Lの性能をそれぞれ表2、表3に示す。従来の大形ターボ式蒸気圧縮機では、蒸気量が数百t/hになり、効率は70%を超えるものもあるが、MSRCが対象としている蒸気量1t/h前後では使用することができない。一方、MSRCではスクリュ式圧縮機を使用しており、ロータ1回転当たり常に一定体積の蒸気を吸込む特性がある。そのため、表2、表3に示すように1t/h以下の蒸気量でも効率よく蒸気を圧縮することができる。また、圧縮機の吸込圧力が高くなるほど吸込む蒸気の密度が高くなり、単位時間あたりに圧縮機が吸込める蒸気量も増加する。また、吐出圧力と吸込圧力との圧力差（圧縮差圧）が低くなることでも、吸込める蒸気量が増加し、より高効率な運転が可能となる。

表2 MSRC37Lの性能
Table 2 Performance of MSRC37L

Discharge pressure (MPaG)	Suction pressure (MPaG)			
	0.02	0.05	0.10	
0.20	①	211.2	294.2	429.4
	②	213.1	300.0	433.2
	③	27.3	27.8	28.6
0.50	①	150.5	228.3	354.7
	②	173.7	254.4	376.6
	③	45.0	45.3	45.7

①	Suction steam flow (kg/h)
②	Discharge steam flow (kg/h)
③	Maximum power consumption (kW)

表3 MSRC160Lの性能
Table 3 Performance of MSRC160L

Discharge pressure (MPaG)	Suction pressure (MPaG)			
	0.05	0.08	0.10	
0.40	①	908	1177	1355
	②	980	1247	1424
	③	112	119	124
0.50	①	841	1107	1282
	②	927	1190	1364
	③	126	132	136
0.80	①	752	1007	1175
	②	880	1131	1297
	③	169	173	175

①	Suction steam flow (kg/h)
②	Discharge steam flow (kg/h)
③	Maximum power consumption (kW)

4. 導入事例と導入メリット試算例

MSRCの導入事例を図6に示す。MSRC導入前のシステムフローは次のとおりである。ボイラで生成された蒸気は減圧弁にて所定圧力まで減圧され、プロセスにて熱源などに使用される。熱を奪われた蒸気は凝縮し、ドレンタンクに回収される。ドレンの一部はフラッシュ蒸気として大気中へ放出され、残りのドレンはボイラ給水として再利用される。

MSRCを導入した場合、ドレンタンクから大気へ放出されているフラッシュ蒸気をMSRCで回収し、再昇圧してプロセスに戻すことができる。表4は、MSRC導入時の経済効果を試算したものである。試算した内容は、蒸気圧力0.4MPaG、蒸気温度152℃で蒸気を利用しているプロセスからドレンが排出され、そのドレンが0.05MPaGでフラッシュして生じた低压蒸気をMSRC37Lで回収・再生し、プロセスへ再送する場合である。MSRCで再生した蒸気量と同量の蒸気をガス焼きボイラで生成した場合に必要な燃料費と燃焼により発生するCO₂量、およびMSRCで消費する電力量と発電に伴い発生するCO₂量を求めた。両者の差がメリットとなり、年間稼働時間を6,000時間とすると、燃料費の削減額は592万円/年、CO₂の排出削減量は159t/年という効果が期待できる。

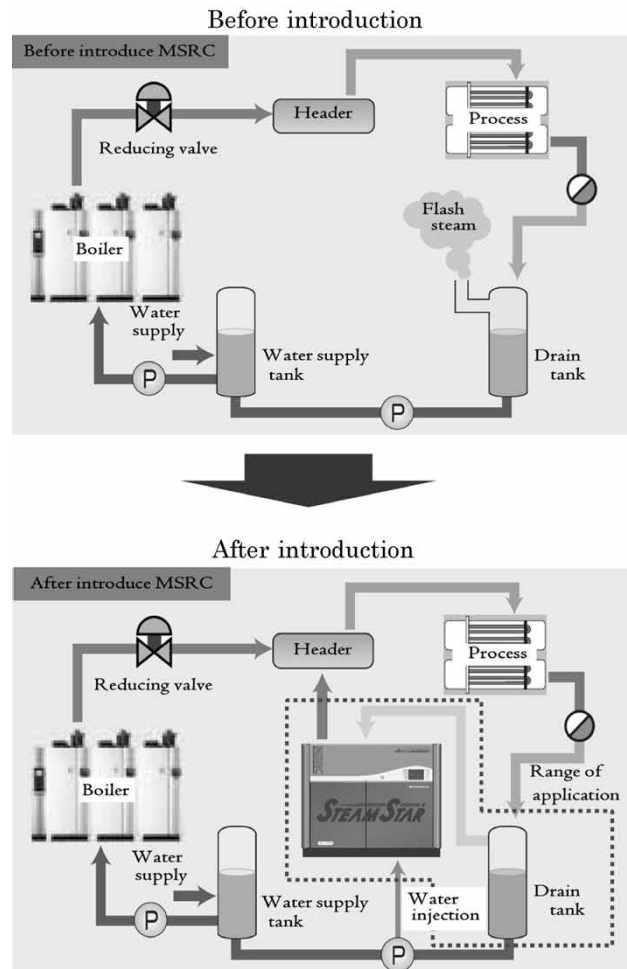


図6 MSRC導入によるボイラシステムフローの変化
Fig. 6 Flow of boiler system before and after introducing MSRC

表 4 MSRC導入効果の試算結果
Table 4 Estimated merit of introduction of MSRC

Steam flow rate	kg/hour	3,100
Flash rate	%	7.7
Suction pressure	MPaG	0.05
Discharge pressure	MPaG	0.4
Discharge steam flow rate	kg/hour	260
Power consumption	kW	41.7
Annual operating time	hour/year	6,000
Merit for one year	thousand yen / year	5,922
CO ₂ reduction	ton/year	159

むすび=MSRCは、従来熱回収でしか利用できなかったために、大気中に捨てられていた利用価値の低い蒸気を、低コストで再び利用価値の高い蒸気に再生することができる、他に例を見ない商品であり、省エネルギーとCO₂排出量の大幅削減に効果のある商品となっている。当社は、MSRCの普及を図ることで、地球環境保全およびCO₂削減に貢献していきたい。

参 考 文 献

- 1) 藤井照重, トラッピング・エンジニアリング 利益を生む省エネ・保全技術. 第1版, 省エネルギーセンター, 2005, p.220-221.
- 2) 松井孝益, 省エネルギー. 省エネルギーセンター, 2012, Vol.64, No.4, p.38-40.