

(技術資料)

蒸気駆動式オイルフリー空気圧縮機

Steam Driven Oil-free Screw Compressor



山本祐介*1
Yusuke YAMAMOTO



松井孝益*1
Takayoshi MATSUI

Kobe Steel has developed a new steam-driven oil-free air compressor, "Emeraude-SD." The machine can be used effectively with the conventional steam that is widely used in industry, in spite of its small flow, low pressure, and flow rate variations. This paper introduces new product that has been developed using oil-free air compressor technology and screw expander technology.

ま え が き = 地球温暖化や環境問題が世界的に取組むべき社会問題として認識されて久しい。わが国でも地球温暖化対策推進法や改正省エネルギー法が施行されて以降、産業界では徹底したエネルギー利用の合理化やエネルギー効率の高い機器の導入、排熱・予熱の有効活用などに積極的に取り組んでいる。

熱源、動力源として利用されている蒸気利用分野もその一つで、これまでも、エコノマイザやドレン回収、予熱器の設置といった排熱回収の強化や燃焼効率向上といった技術開発により蒸気量の大幅な節約効果をあげてきた。現在、これらの取組は広く普及し、さらなる省エネルギー技術が求められている。そのような中、多くの工場プロセスで見られる数t/h程度の比較的少ない蒸気量、1 MPaG未満の比較的低压で流量変動を伴う使用条件下では、まだ多くの未利用エネルギーが存在している。

そこで当社では、産業界で広く利用されている小流量、低压かつ流量変動を伴う蒸気の有効利用を図り、さらなる省エネルギーとCO₂排出量の削減を推進することを目的として、2008年に75kW出力相当の圧縮熱回収蒸気駆動式エアコンプレッサ「Kobelion^{注1)}-SD（以下、コベライアンTMSDという）『SD1310-HR』¹⁾を開発した。

本稿では、さらなる普及を目指して先行開発機で確立したスクリュエキスパンダ技術²⁾、および製造される空気に油分を含まないオイルフリー空気圧縮機技術³⁾を融合して開発した「Emeraude^{注2)}-SD（以下、エメロードTMSDという）『SD770L-HR』」について概説する。

脚注1) Kobelionおよびコベライアンはそれぞれ当社の登録商標、商標である。

脚注2) Emeraudeおよびエメロードはそれぞれ当社の登録商標、商標である。

1. 商品コンセプト

エメロードSDは、「当社のスクリュエキスパンダ技術とオイルフリースクリュ圧縮機技術を融合し、これまで有効利用できなかった蒸気エネルギーを活用することで、さらなる省エネルギーとCO₂排出量の削減に貢献する」というコンセプトを掲げて商品開発した。エメロードSDの外観を図1、仕様を表1に示す。



図1 SD770L-HRの外観
Fig. 1 Appearance of SD770L-HR

表1 エメロードSDの仕様
Table 1 Specifications of Emeraude-SD

Type	SD770L-HR
Free air delivery (m ³ /min)	7.7
Discharge air pressure (MPaG)	0.7
Supply steam pressure (MPaG)	0.85
Exhaust steam pressure (MPaG)	0.40
Differential pressure (MPa)	0.45
Steam flow (t/h)	2.5
Thermal recycle output of water (kW)	78.8
Dimensions (mm)	2,080×1,200×1,500
Weight (kg)	1,440

*1 機械事業部門 圧縮機事業部 冷熱・エネルギー部

2. エメロードSDの特徴

2.1 蒸気駆動式エアコンプレッサの作動原理

エメロードSDの駆動機であるスクリュエキスパンダの膨張行程の模式図を図2、本体断面構造図を図3に示す。スクリュエキスパンダは、雄ロータ、雌ロータ、およびケーシングで構成される空間（以下、作動室という）ごとの圧力が異なるため、高圧域と膨張後の低圧域との圧力差が各ロータの受圧面に生じる。この圧力差に対応した回転トルクがロータに働くことで互いのロータは反対方向に回転する。ロータが回転することによって給気ポートから遮断された後の作動室では、回転とともに容積が増大して作動室内の蒸気が膨張し、ロータに回転トルクを与える。スクリュエキスパンダでは、一連の動作が連続的に繰返されることによって動力が発生する⁴⁾。この動力がギヤを介して空気圧縮機側の駆動軸へ伝達され、スクリュエキスパンダと逆の原理で空気を圧縮する。

理想スクリュエキスパンダの発生仕事は、図4の指圧線図中の(0-1-2-3-4)で囲まれた斜線部面積で表される(0-1:給気工程, 1-2:膨張行程①, 2-3:膨張行程②, 3-4:排気工程)。縦軸は圧力、横軸は行程体積を表している。ここでは、排気圧力がスクリュエキスパンダの内部排気圧力に比べて低い場合($P_2 > P_3$)を示している。

一方、2段空気圧縮機の理想必要仕事は、図5の指圧線図中の(0-1-2-3-4-5)で囲まれた斜線部面積で表される(0-1:給気工程, 1-2:圧縮行程①, 2-3:中間段冷却, 3-4:圧縮行程②, 4-5:排気工程)。

蒸気駆動式エアコンプレッサでは、スクリュエキスパンダの発生トルクと空気圧縮機の必要トルクが等価になるところで回転数が一定に保たれる。

2.2 制御

空気圧縮機の吐出圧力は工場の使用空気量に影響を受け、ある範囲で変動する。また、蒸気圧力も同様に変動を伴うため、双方の変動に追従できる制御プログラムおよび高い応答性を持った制御機器を備える必要があった。図6にエメロードSDの系統図を示す。

エメロードSDでは、駆動側の機器であるスクリュエキスパンダの制御に空気動アクチュエータ式制御弁を使用し、エキスパンダの上流圧力制御を行っている。制御弁に空気動式を採用することにより、急激な蒸気圧力変動に対する高い追従性を実現した。負荷側の機器である空気圧縮機には、電動式エアコンプレッサで採用している給気調整弁をなくし、圧縮後の空気を無段階に大気へ放気できる放風弁(Blow valve)を新たに配置した。これにより、給気調整弁の開閉による急激な負荷変動をなくし、駆動力と制動力のバランスを保ちながら電動式と同等のロード・アンロード運転を可能とした。加えて、起動/停止時にも放風弁を開放した状態とすることでスムーズな立上がり/停止動作を実現した。

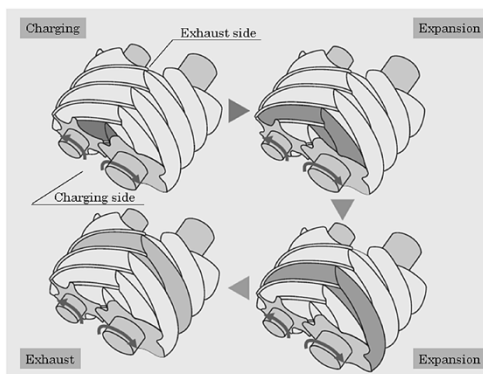


図2 スクリュエキスパンダの膨張行程
Fig.2 Expansion stroke of screw expander

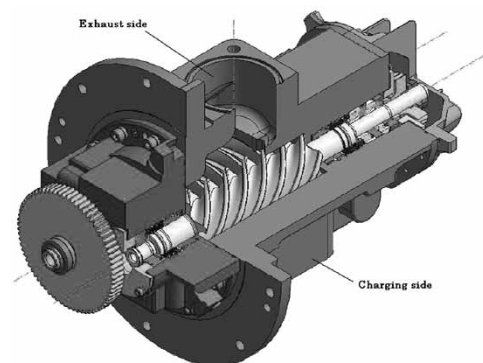


図3 スクリュエキスパンダの本体構造
Fig.3 Main structure of screw expander

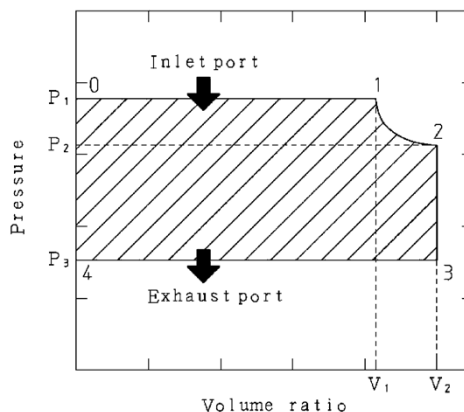


図4 スクリュエキスパンダの指圧線図
Fig.4 Indicator diagram of screw expander

2.3 圧縮熱回収ユニット

エメロードSDでは、空気の圧縮熱、メカニカルロスおよびスクリュエキスパンダ軸封部からの漏れ蒸気の熱を熱交換器により間接的に回収している。冷却媒体として軟水を利用しており、その水をボイラ給水として利用できる。あるいは他の温水利用ユーティリティへ供給することも可能である。エメロードSDでは、蒸気を駆動源としているため、必ずボイラと組合せたシステム構成となることから、前述のように温水として回収した熱を全て無駄なく利用することができ、システム全体のエネルギー効率を大幅に向上させることを可能にした。また、これまでコベライアンSDシリーズでは別置きであった圧縮熱回収ユニットをパッケージ内に収めたことにより、同出力の電動式エアコンプレッサと同等サイズの小型化に成功した。

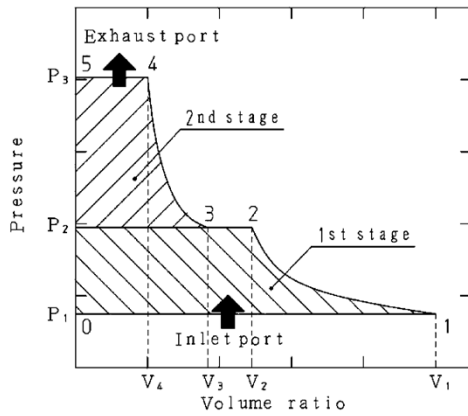


図5 空気圧縮機(2段機)の指圧線図

Fig. 5 Indicator diagram of two-stage air compressor

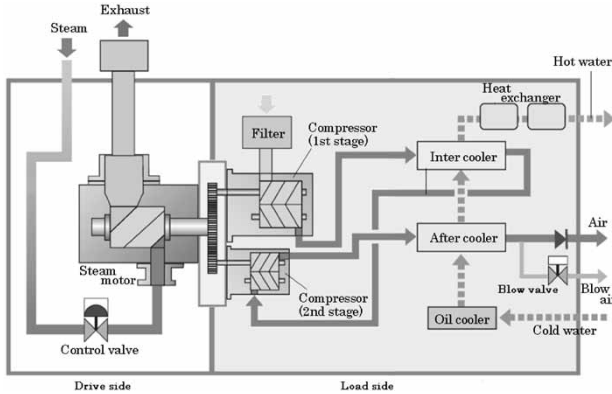


図6 系統図

Fig. 6 System diagram

3. エメロードSDの導入による省エネ効果の試算例

ここでは、多くの工場で蒸気プロセス中に設置されている減圧弁の代替としてエメロードSDを設置し、減圧時に得られた動力で駆動したエアコンプレッサの圧縮空気を既存の空気ラインへ送気する事例(図7)を考える。このときの省エネ効果を試算した結果を表2に示す。同出力の従来型電気駆動式エアコンプレッサとの比較によ

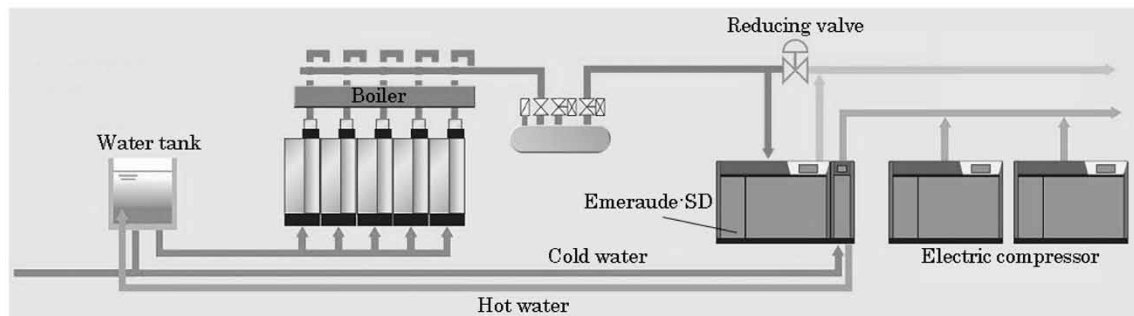


図7 システムフロー

Fig. 7 System flow

表2 導入メリット試算
Table 2 Calculation of introduction merit

	Conventional	Emeraude-SD
Type	FE770W	SD770L-HR
Shaft power (kW)	54.5	55
Free air delivery (m ³ /min)	7.7	7.7
Power of compressor / Steam consumption (kW)	60	114
Thermal recycle output (kW)	—	78.8
Emission factor of carbon dioxide	0.555kg-CO ₂ /kWh	2.23kg-CO ₂ /Nm ³
Annual operation time (h)	8,000	8,000
Operating costs (¥)	5,735,000	625,000
Carbon dioxide emission (t/year)	266	17

※Condition : using city gas-fired boiler

※Steam consumption include leak steam from the axis.

※13A lower heating value : 40.6MJ/Nm³, Boiler efficiency : 96%

※Electricity rate:¥12/kWh, 13A gas rate:¥80/m³

※"Thermal recycle output" = "Heat of compression" + "Heat of leak steam"

るメリット試算の場合、ランニングコストにおいて年間511万円(削減率約89%)の削減、またCO₂排出量では年間249トン(削減率約94%)の削減が期待できる。

むすび=エメロードSDは、小流量、低圧かつ流量変動を伴う蒸気を有効利用し、さらなる省エネルギーとCO₂排出量の削減に貢献できる商品である。当社は今後も、蒸気の有効利用を通じて地球環境問題に貢献できる商品開発を進めていきたい。

参考文献

- 1) 松隈正樹ほか. クリーンエネルギー. 2009, Vol.18, No.1, p.52-56.
- 2) 桑原英明ほか. R&D神戸製鋼技報. 2009, Vol.59, No.3, p.24-28.
- 3) 泉谷清宣. R&D神戸製鋼技報. 2009, Vol.59, No.3, p.29-32.
- 4) 松隈正樹ほか. 省エネルギー. 2007, Vol.59, No.8, p.110.