CO₂を用いた多用途熱供給システムに関する研究

(第3報 ガスクーラーの分割の効果(1))

Study of the Total Heat Supply System Using CO₂-Heat Pump

(Part 3 Effect of the Division of Gas Cooler (1))

○学 加藤 正治 (早大院) 学 酒巻 拓朗 (早大院) 正 橋詰 匠 (早大)
米田 弘和 (前川製作所) 藤間 克己 (前川製作所) 佐々木 道生 (前川製作所)

Masaharu KATO, Waseda University, 17 Kikui-cho, Shinjuku-ku, Tokyo
Takuro SAKAMAKI and Takumi HASHIZUME, Waseda University
Hirokazu YONEDA, Katsumi FUJIMA and Michio SASAKI, Mayekawa Co.

This study deals with a refrigerating system using CO₂ as the working fluid. The CO₂ refrigerating system has a cycle including trans-critical region at the high-pressure side due to its thermodynamic characteristics. This system can supply both refrigerating and heating supply simultaneously. This paper shows the effect of the division of gas cooler on supplying the heat of higher temperature.

Key Words: CO₂, Refrigerator, Trans-Critical Region, Gas Cooler

1. はじめに

近年, 地球温暖化やオゾン層破壊などの地球環境問題が深刻化する中で, 自然系冷媒に大きな期待が持たれている. 本研究では, 前報までに CO₂ を作動流体とする多用途熱供給システムについて, その特徴, 運転動作点とシステムの基本的な性能について報告してきた.

CO₂ を作動流体とする冷凍サイクルは, 高压部において超臨界領域を含むサイクルを構成する. このことに起因して, 冷熱と同時に温熱を有効に供給することが可能となる. しかし, 通常の単純なシステム構成では, 成績係数が高い運転動作点においては十分な温度レベルの温熱を供給することができない. 本報では, 高い成績係数と, 高温の温熱供給を同時に満たすシステムの構成, その特性について明らかにしている.

2. システムの概要

CO₂ を用いた多用途熱供給システムでは, Fig.1 のように圧縮機出口温度が約 90[°C] となり, ガスクーラーにおいて, 通常の凝縮過程とは異なり連続的に温度が変化する. しかし, 超臨界領域においては CO₂ の比熱が大きく変化するため, 冷却用給水温度の高くなる夏期などにおいては, 供給できる温熱の温度が低くなる. 圧縮機吐出圧力をより高压にすることで, CO₂ の温度変化が直線的になり, 高温の温熱を供給することが可能となるが, システムの成績係数の低下を伴う. また, 実際の機器について考慮すると, 過度に圧力を高くすることはできない.

成績係数の高い運転動作点において, より高温の温熱を供給することが可能となるシステムとして, Fig.2 に示すような, ガスクーラーを 2 段に分割するシステムが挙げられる. ガスクーラーを 2 段に分割し, 各ガスクーラーの冷却水流量を操作することで, 幅広い熱負荷に対しても小さな温度差での熱交換が可能となり, より高温の温熱を供給することができる.

また, 筆者らの実機の圧縮機には, オイル噴射式の圧縮機を用いているため, オイルセパレーターやオイルクーラーを含むシステムとしている.

Fig.1 Temperature transition in the gas cooler.

Fig.2 Outline of the total heat supply system.

圧縮機を出た CO₂ とオイルは, オイルセパレーターで分離され, CO₂ はガスクーラー, オイルはオイルクーラーにて冷却される. 水は, まず中温ガスクーラー (Gas cooler-1) で加熱され, その一部が高温ガスクーラー (Gas cooler-2), オイルクーラーでさらに加熱される. よって本システムでは, 中温ガスクーラーから外部に供給する中温水と, 高温ガスクーラー, オイルクーラーからの高温水による, 温度レベルの異なる 2 水準の温熱を同時に供給することが可能である.

3. ガスクーラーの分割位置とシステムの性能

本システムでは、ガスクーラーの分割位置(各ガスクーラーにおける交換熱量の割合)によって、供給可能な温熱の温度、流量が決定する。Fig.3 にガスクーラー分割位置(全交換熱量に対する中温ガスクーラーにおける交換熱量の割合)と各温熱の供給温度との関係を示す。システムへの給水温度は夏期を想定し 25[℃]、CO₂のガスクーラー入口温度を 90[℃]、出口温度は 30[℃]、圧力は 8.5[MPa]とする。また、ガスクーラーでのピンチ点温度差は 5.0[K]とする。

さらに、システムの評価指標の一つとして、ガスクーラー分割位置とガスクーラーにおけるエクセルギー効率の関係を Fig.4 に示す。エクセルギー効率 ε は、以下の式を用いて算出する。

$$\varepsilon = \frac{m_{w,1}(e_{w,1,out} - e_{w,1,in}) + m_{w,2}(e_{w,2,out} - e_{w,2,in})}{m_{CO_2}(e_{CO_2,2,in} - e_{CO_2,1,out})}$$

ここに、 m 、 e はそれぞれ流量[kg/s]、比エクセルギー[kJ/kg]とし、添字の w は水、CO₂ は作動流体、1 は中温ガスクーラー、2 は高温ガスクーラーとし、in, out は各流体から見た入、出口とする。

Fig.3 Hot water outlet temperature.

Fig.4 Exergy efficiency at the gas cooler.

Fig.3 より、ガスクーラーを 2 分割することで、より高温の温熱を供給することが可能であることがわかる。また、分割位置が高温側であるほど各温熱の供給温度が高い。

Fig.4 からわかるように、エクセルギー効率が最大となるガスクーラー分割位置が存在する。温熱の需要温度を考慮すると、必ずしもこの点が最適な分割位置とは限らないが、システムの一例として、ガスクーラーにおけるエクセルギー効率が最大となる点で分割した場合のサイクルの特性を Table1 に示す。ただし、圧縮機は実際の機器を想定し、断

熱効率は 60%、圧縮機出口温度は 90[℃]とし、圧縮機における損失はオイルが吸収し、オイルクーラーにおいて温熱として回収できるものとする。また、供給する冷熱は水蓄熱槽への蓄熱を想定し -10[℃]、作動流体は単位流量 (1[kg/s])とする。さらに、このときのガスクーラー内での温度変化は、Fig.5 のようになる。

Table 1 Cycle specification.

Input shaft power	kW	86.9
Refrigerating capacity	kW	163
Medium temperature heating capacity	kW	102
High temperature heating capacity	kW	149
Total capacity	kW	414
Refrigerating COP		1.88
Medium temperature heating COP		1.17
High temperature heating COP		1.71
Total COP		4.76
Medium temperature	℃	39.2
Medium temperature water flow rate	kg/s	1.71
High temperature	℃	80.1
High temperature water flow rate	kg/s	0.645
Exergy efficiency at the gas cooler	%	71.0

Fig.5 Temperature transition in the gas cooler.

以上のように、ガスクーラーを適切な割合で 2 段に分割することで、ガスクーラー全体にわたって小さい温度差で有効に熱交換が行われる。その結果、総成績係数が約 5 となる運転動作点においても 80[℃]以上の温熱を供給することが可能となる。この場合には中温水の温度が約 40[℃]と低い場合、産業界の熱需要に応じることができない場合もある。しかし、中温水を除いてもシステムの総成績係数が約 3.5 となり、高効率なシステムと言える。

4. 結言

本報では、CO₂を用いた多用途熱供給システムにおいて、より高温の温熱を供給するために、ガスクーラーを 2 段に分割したシステムについての基本的な性質についての調査を行った。その結果、成績係数の高い運転動作点においても、80[℃]以上の高い温熱を供給することが可能であることを明らかにした。

参考文献

- (1) 吉川他, 「自然系冷媒 CO₂ およびアンモニアの冷凍機への導入効果」, 機講論, 010-1(2001), pp. 205-206.