

亜臨界サイクルヒートポンプ

甲斐田 武延 (かいだ たけのぶ) 一般財団法人電力中央研究所 主任研究員

要約 今回、様々な種類に分類されるヒートポンプ技術のうち、最も広く利用されている亜臨界サイクルヒートポンプについて詳説する。産業用ヒートポンプは幅広い温度帯で活用されるため、それぞれの温度帯で適した冷媒の種類は異なる。そこで、産業用ヒートポンプ開発の際の目安となる、冷媒選択に関する分析結果も紹介する。また、代表的な日本メーカーと欧州メーカーの亜臨界サイクルヒートポンプの製品ポートフォリオの現状と今後の展望についても述べる。

1. 亜臨界サイクルの概要

連載第2回の中で、産業用ヒートポンプの技術区分を紹介するとともに、温度リフトと温度グライドの用語を概説した。今回詳説する亜臨界サイクルは、冷媒の低圧側も高圧側ともに臨界圧力未満で作動するサイクルであり、市場にあるヒートポンプの中で最も広く利用されているサイクルである。

図1に $T-h$ 線図を示す。熱源よりも低い温度に制御された冷媒は、熱源から熱を回収し、加熱されることで蒸発する。次に、蒸発して気体となった冷媒を圧縮して昇温する。熱供給先よりも高温になった冷媒は、熱供給先に熱を伝えることで冷却され、凝縮する。蒸発や凝縮の際、冷媒が純物質である場合には温度は変化しない。そのため、純冷媒を用いた亜臨界サイクルは、熱源や熱供給先の温度変化（温度グライド）が小さい場合に適している。

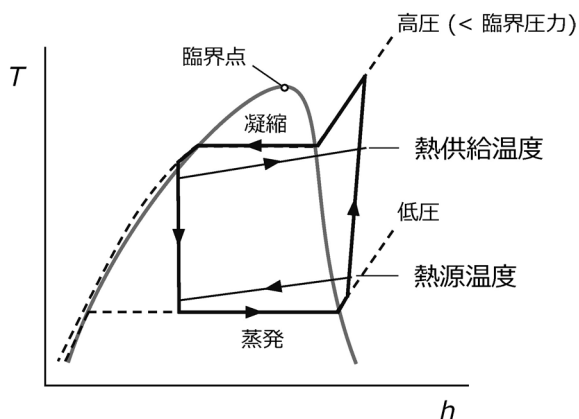


図1 亜臨界サイクルヒートポンプの概念図

熱源側について述べると、外気のように十分な熱容量をもっている場合や、大容量の排熱から熱回収する場合に適している。また、熱供給先については、温水タンクを保温する場合（往きと戻りの温度差が小さい場合）や、蒸発・濃縮設備のように潜熱需要のあるプロセスに適している。

2. 冷媒

亜臨界サイクルにおけるヒートポンプの最高供給温度は、冷媒の臨界温度によって制約を受ける。そのため、高い供給温度のヒートポンプを構成したい場合には、高い臨界温度の冷媒を使用する必要がある。

2.1 基本的性質

表1に主な冷媒の基本的性質を示す。ここでは、純冷媒かつ現在市場で入手可能な18の冷媒のみを記載している。

HFC（ハイドロ・フルオロ・カーボン）は現在主に使用されている冷媒であるが、GWP（地球温暖化係数）が比較的高いため、モントリオール議定書のキガリ改正によって、今後段階的に削減していくことになった。HFCの代替として、GWPが低いHCFO（ハイドロ・クロロ・フルオロ・オレフィン）やHFO（ハイドロ・フルオロ・オレフィン）が開発されている。

例えば、従来のHFCの中ではR245fa（臨界温度153.9℃）が最も高温供給が可能な冷媒であった。しかし、R245faはGWPが962と高いため、低GWP冷媒に転換していかなければならない。R245faと似た熱物性を有する低GWP冷媒としてR1224yd(Z)（臨界温度155.5℃）が開発され、R245faからそのまま代替で