

脱炭素を目指したイノベーション施設の計画と検証

(第2報) 3管式ダイナミックレンジ冷熱源システムの概要

福井 雅英 (新菱冷熱工業)
矢島 和樹 (新菱冷熱工業)

坂本 裕 (新菱冷熱工業)
山川 莉加 (新菱冷熱工業)

本研究のプロジェクトでは、潜熱顕熱分離空調システム用の冷熱源システムにおいて、従来の並列方式の冷熱源システムの課題である部分負荷時の効率低下を回避し、省エネルギー性能向上を目的に3管式ダイナミックレンジ冷熱源システムを考案した。本報では、考案した3管式ダイナミックレンジ冷熱源システムの概要と省エネルギー性能向上のポイントについて報告した。3管式ダイナミックレンジ冷熱源システムは、2種類の熱源機器および2種類の負荷処理機器をすべて直列に設置するシステムである。このシステムは、“往還バランス管”を設置し、設定などを操作することで省エネルギー運用が期待されるシステムである。

はじめに

空調熱源の高効率化のため、主に潜熱処理用に低温冷水製造、顕熱処理用に高温冷水製造と異なる温度帯を製造する潜熱分離熱源方式が考案・採用されている。従来の潜熱分離熱源方式は、熱源・負荷を完全に分離する方式（以下、並列方式）が主流である。高温冷水製造と低温冷水製造を分離しない熱源方式（以下、標準熱源）に比べて総合効率を高くすることが目的であるが、部分負荷時など条件によって、標準熱源より効率が劣ってしまうケースがある。本プロジェクトでは、部分負荷時においても効率低下を回避し、並列方式の潜熱分離熱源よりも省エネルギー性能向上を目的に3管式ダイナミックレンジ冷熱源システムを考案した。

本報では、考案した3管式ダイナミックレンジ冷熱源システムの概要と省エネルギー性能向上のポイントについて報告する。

1. 従来の潜熱分離熱源の効率低下要因

潜熱分離熱源方式の並列方式の概略図を図-1に示す。なお、定格の温度仕様は、高温冷水の還温度を23℃、高温冷水の往温度を15℃、低温冷水の還温度を15℃、高温冷水の往温度を7℃とする。

並列方式は、熱源および負荷を潜熱処理用と顕熱処理用に分離する。この方式では、低～中負荷時において、

双方の冷凍機とも効率が悪い低負荷運転となる頻度が高くなり、部分負荷時の効率が低下する傾向にある。また、負荷が無い場合でも熱源はスタンバイ運転を継続するため、補機などの電力を消費する。

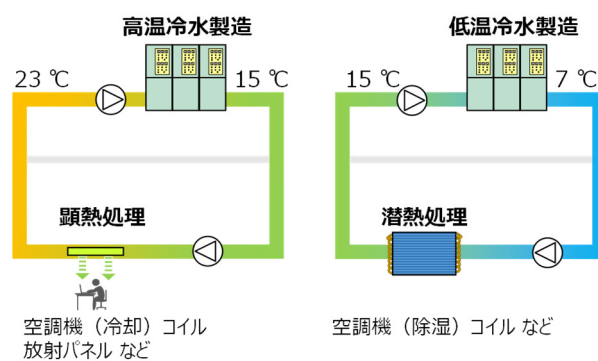


図-1 潜熱分離熱源 並列方式の概略図

2. 3管式ダイナミックレンジ冷熱源システムの概要

2.1 システムの概要

このような従来の潜熱分離熱源方式の効率低下要因を改善し、更なる高効率運転が可能な熱源システムとして、3管式ダイナミックレンジ冷熱源システム（以下、本システム）を考案した。

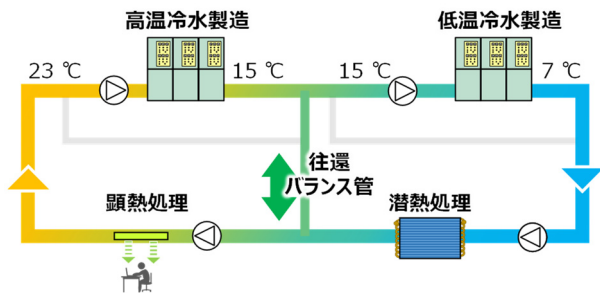


図-2 3 管式ダイナミックレンジ冷熱源システムの概略図

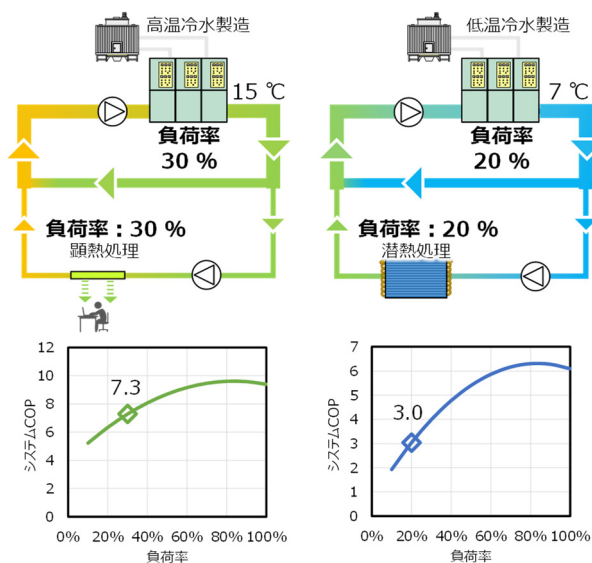
本システムの概略図を図-2 に示す。本システムは、低温冷水製造と高温冷水製造の熱源および潜熱処理用と顕熱処理用の負荷を直列に配置し、低温側（潜熱処理側）と高温側（顕熱処理側）の間に“往還バランス管”を設置する。往還バランス管により、潜熱処理と顕熱処理との間で生じる負荷偏在に起因する水量の不均等を熱源側へ返送、または、負荷側に供給することができる。

2.2 システムの利点

本システムの計画・設計にあたり、その特徴や利点について定量的な効果検証を行った。

(1) 部分負荷時の熱源効率低下回避

並列方式にて、同仕様同容量の水冷式インバータ冷凍機で低温冷水・高温冷水を製造するケースにおいて、潜熱処理の負荷率 20 %、顕熱処理の負荷率 30 %の低負荷条件での運転状態を想定した例を図-3 に示す。この場合には、潜熱処理・顕熱処理それぞれに見合う熱量をそれぞれの熱源で製造するしかなく、熱源システムの効率はそれぞれの負荷に依存し、双方の熱源とも低効率運転となるが、どちらの熱源も運転をせざるを得ず、非効率的



総合システムCOP : 4.7

図-3 並列方式の運転例

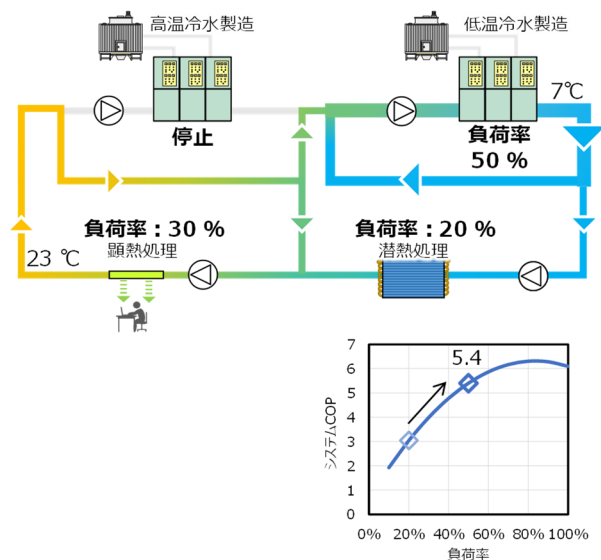


図-4 3 管式ダイナミックレンジ冷熱源システムの運転例

な運転を継続してしまうことになる。例えば図-3 の条件では、低温冷水製造のシステム COP が 3.0、高温冷水製造のシステム COP が 7.3 であり、熱源システムの総合 COP は、4.7 となる。

本システムにて図-3 と同じ負荷条件を想定した運転状態を想定した場合を図-4 に示す。低温冷水製造用の水冷式インバータ冷凍機だけを運転することで、熱源システム全体の総合システム COP は、5.4 に向かう。

図-3 と図-4 から、本システムでは、高負荷時の潜顕分離熱源の省エネルギー効果に加え、低負荷時でも片側の熱源機器を停止することで、システム全体の効率低下を回避することができる。

(2) 中間温度可変制御

本システムでは、往還バランス管があることで高温冷水製造の製造温度（以下、中間温度）と負荷側の利用温度帯を異なるレンジで運用することが可能となり、中間温度の設定値を負荷側の送水温度とは異なる温度に設定することができる。

中間温度の設定値を可変する利点は大きく分けて 2 つあり、1 点目は部分負荷時 COP 特性に応じた熱源負荷率の最適化である。この例として、潜熱処理の負荷率 40 %、顕熱処理の負荷率 60 %の負荷条件を想定し、中間温度が 15 °C（定格仕様）の場合を図-5 に、中間温度を 18 °Cにした場合を図-6 に示す。図-5 および図-6 から、中間温度を 15 °C から 18 °C に変更すると、高温冷水製造熱源は、送水温度が上昇するために効率が向上し、かつ、低温冷水製造熱源は、負荷率が上がることで効率も向上する。この 2 つの効果により、システム全体の総合効率が向上する。

中間温度の設定値を可変制御する利点の2点目は、外気条件に応じた最適化である。例えば冷熱源機器として、高温冷水製造には空冷式モジュールチラーを、低温冷水製造には水冷式インバータチラーを用いた場合などに効果的になる。空冷式冷凍機の効率には外気乾球温度の影響を受け、一方で水冷式冷凍機のシステム効率は、冷却水温度、すなわち、外気湿球温度に影響される。

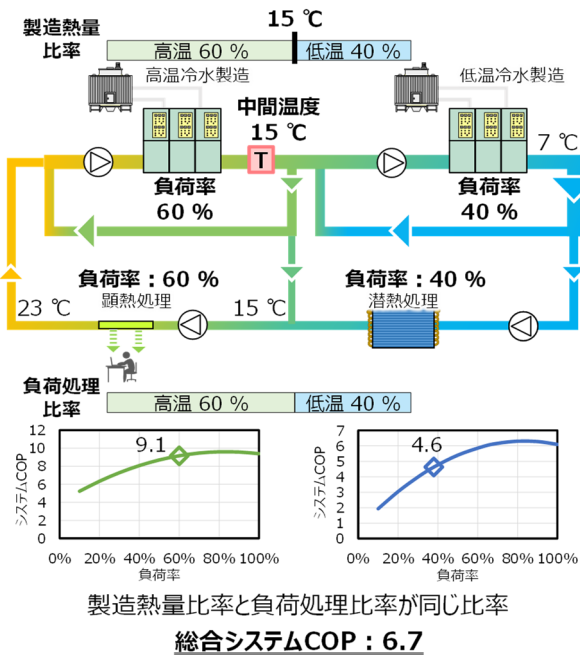


図-5 3管式ダイナミックレンジ冷熱源システム
中間温度が15℃の場合の運転例

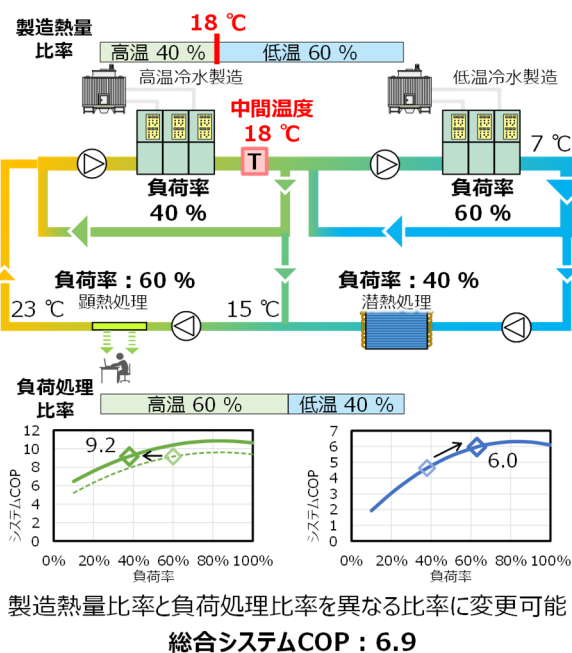


図-6 3管式ダイナミックレンジ冷熱源システム
中間温度が18℃の場合の運転例

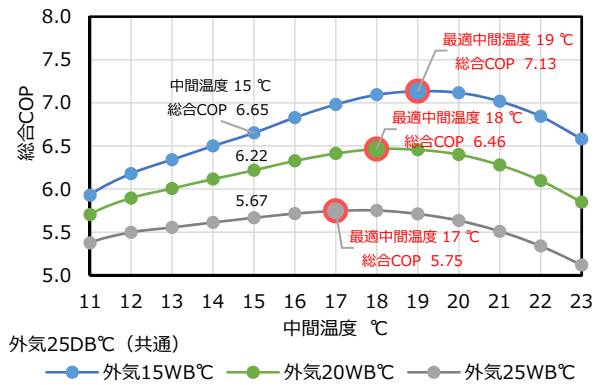


図-7 外気湿球温度別の中間温度とシステムの総合COP

この機器構成で外気乾球温度が25℃の場合における外気湿球温度別の中間温度とシステムの総合COPの試算結果を図-7に示す。外気湿球温度の違いによって総合COPが最高となる中間温度が変化します。このことから、前述の負荷条件だけでなく、外気条件に応じて、システム全体の総合効率が最高となる熱源の製造比率にする中間温度を最適可変設定することで、更なる省エネルギー運用が可能となる。

(3) 負荷側温度帯の制御によるさらなる高効率化

本システムでは、熱源側の中間温度と負荷側の利用温度帯を異なるレンジで運用できるため、負荷側の顕熱処理入口温度を最適にすることで、フリークーリングシステム併用時などにおいて、さらなる省エネルギー運用が期待できる。本システムの冷熱源として、高温冷水製造熱源に空冷式モジュールチラーを、低温冷水製造熱源に水冷式インバータチラーを用いて、フリークーリングシステムを追加したシステムの概略図を図-8に示す。

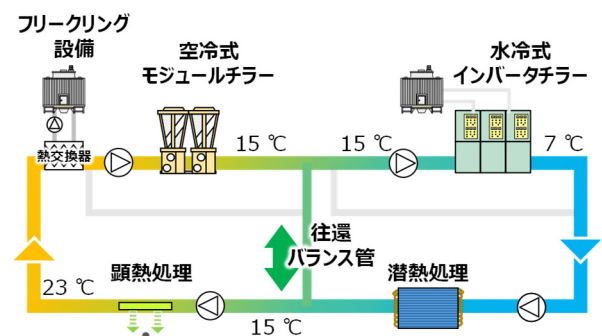


図-8 フリークーリングシステムを追加した
3管式ダイナミックレンジ冷熱源システムの概略図

この機器構成で外気条件が20℃CDB、15℃CWB、潜熱処理の負荷率30%、顕熱処理の負荷率50%の負荷条件を想定する。中間温度を15℃、顕熱処理負荷の入口温度を15℃とした場合を図-9に、フリークーリングシステムの熱交換器出口温度を18℃、顕熱処理負荷の入口

温度を 17℃とした場合を図-10 に示す。図-9 の運転では、フリークーリングが活用可能であるが、設定した冷水温度を満たすためには空冷式モジュールチラーが稼働し、熱源システムの総合 COP が 8.5 となる。一方、図-10 の運転では、フリークーリングのみで設定した冷水温度を満たすことができ、空冷式モジュールチラーを停止させることができる。その結果、熱源システムの総合 COP が 10.8 となり、図-9 の運転と比較して効率向上が期待できる。

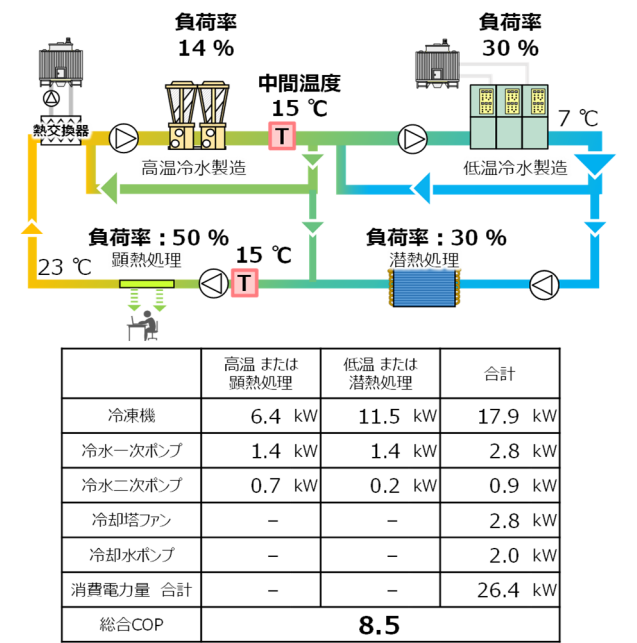


図-9 中間温度を 15℃、顕熱処理負荷の入口温度を 15℃とした場合の運転状態および総合 COP の試算

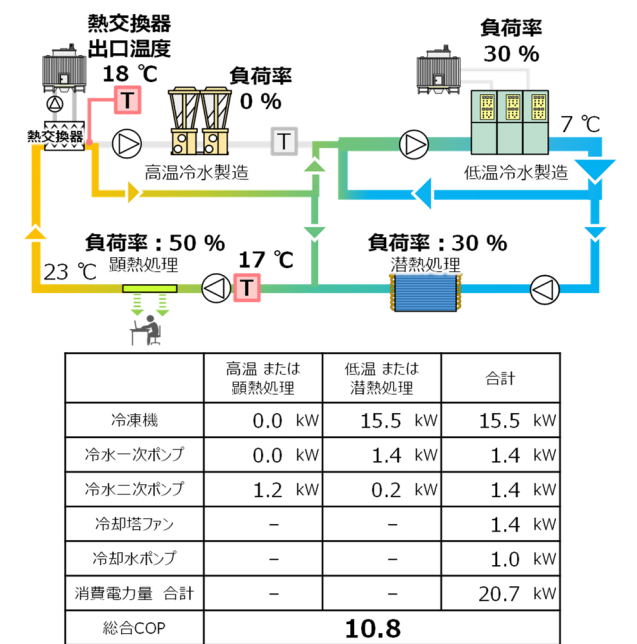


図-10 フリークーリングシステム熱交換器出口温度を 18℃、顕熱処理負荷の入口温度を 17℃とした場合の運転状態および総合 COP の試算

ここで、オフィス用途で送水温度通年一定の場合は、フリークーリングシステムの活用期間は冬期のみなど限定的であるが、負荷側の送水温度を最適に設定することで、中間期や夏期夜間など幅広い期間で冷却塔での冷却活用が可能となる。

3. 本プロジェクトでの適用

2 章で述べた利点を備えて本プロジェクトに適用させた熱源システムの概略フローを図-12 に示す。次報にて、この熱源システムを対象とした詳細エネルギーシミュレーションによる性能評価について報告する。

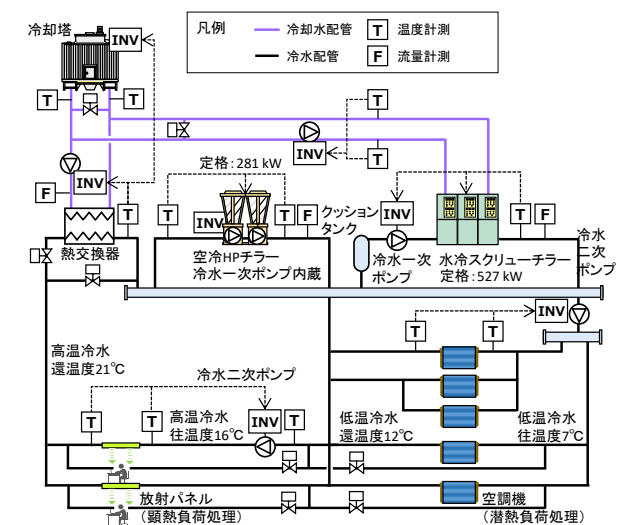


図-11 本プロジェクトの熱源システム 概略フロー

おわりに

本報では、従来の潜顕分離熱源よりも省エネルギー性能向上が期待される 3 管式ダイナミックレンジ冷熱源システムの概要と省エネルギー性能向上のポイントについて、以下の内容を示した。

- ・低温冷水製造と高温冷水製造の熱源および潜熱処理用と顕熱処理用の負荷を直列に配置し、低温側（潜熱処理側）と高温側（顕熱処理側）の間に“往還バランス管”を設置するシステムである。
- ・低負荷時には、片側の熱源機器を停止することでシステム全体の効率を向上させる。
- ・往還バランス管があることで中間温度と負荷側の利用温度帯を異なるレンジで運用することが可能となる。負荷条件や外気条件に応じてシステム全体の総合効率が最高となる熱源の製造比率にする中間温度を設定することで省エネルギー運用が可能となる。
- ・負荷側の顕熱処理入口温度を最適にすることで、フリークーリングシステム併用時などにおいて、さらな

る省エネルギー化が可能となる。

本報で示した検討内容、および、次報で報告するエネルギーシミュレーション性能評価を踏まえて、熱源機器の組合せや中間温度の最適解を求める制御手法を確立し、年間を通して高効率運転を維持する新しい熱源システムの構築を目指す。