

3室異温度対応可能な 多室温調式輸送用冷凍機のシステム制御開発 — 温度制御性・省エネ性の向上 —

Development of Multi-Temperature Control for Transport Refrigeration System



蜂須賀 勝巳^{*1}
Katsumi Hachisuka

星 伸太郎^{*2}
Shintaro Hoshi

定温輸送業界において、異なる管理温度の積荷を同時に運送できる多室温調式(マルチ式)冷凍機の需要が高まっている。従来、輸送用冷凍機ではマルチ式の需要が低かったこともあり、業務・家庭用空調機器に比べマルチ式制御の高度化が遅れていたが、需要の高まりを受けて温度制御性・省エネ性を向上させたマルチ式冷凍機の制御を開発・実用化した。

1. はじめに

我が国における CO₂ 排出量の約2割は自動車などの運輸部門で占めており、トラック輸送を主とする運輸業界においても物流効率化による CO₂ 排出量削減が強く求められている。また近年の原油価格高騰及び、荷主からの物流コスト低減要請への対応として、運輸業界では積載率を高める物流効率化への取組みが強化されている。この流れを受け、定温物流においても管理温度の異なる積荷を同時に運送できるマルチ式冷凍機の採用比率が高まっているが、複数の温調空間の設定温度がほぼ等しいマルチ式空調機器に対し、輸送用冷凍機では設定温度が大きく異なる場合の温度制御性、省エネ性を考慮しなければならず技術的課題が大きい。

当社は、前記の市場ニーズを受け、最大3室の設定温度を-35℃～+30℃の広範囲から任意に設定できるマルチ式冷凍機を開発した。本報で、当社が開発したマルチ式冷凍機制御の特長について述べる。

2. 冷凍能力分配制御による温度制御性の向上

マルチ式冷凍機は、図1に示すように1台の室外機に複数(2～3室)の室内機が接続される構成となる。

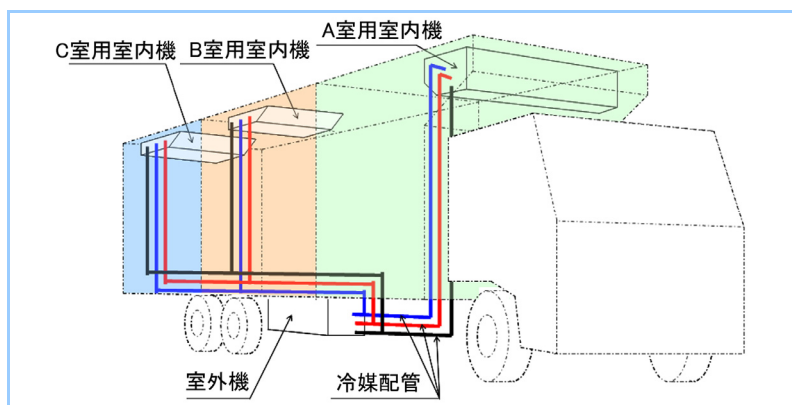


図1 マルチ式冷凍機の構成例

マルチ式冷凍機の機器構成例を示す(バンを3室横割りに間仕切りした例)。

*1 冷熱事業本部輸送冷凍機部 主席技師

*2 冷熱事業本部輸送冷凍機部

従来のマルチ式冷凍機は、各室内機に減圧するための絞り機構として温度式膨張弁が設置されるのが一般的であるが、各温度式膨張弁はそれぞれ独立して動作することから、各室内機への冷媒分配は成り行きとなる。このため、各室内機が発生する冷凍能力と各荷室の熱負荷との間に相関を取ることができないという欠点を有する。その結果、設定温度が大きく異なる条件で多室冷却運転を実施すると、設定温度の低い荷室が冷凍能力不足に陥り、設定温度まで到達できないという問題が発生する場合がある。

当社はこの問題を解決するため、各室内機への冷媒分配量をアクティブに制御する独自の“冷凍能力分配制御”を開発した。冷媒分配量を制御する手段として、業界で初めて、すべての室内機に電子膨張弁を装備したシステムを採用した。冷媒系統図を図2に示す。

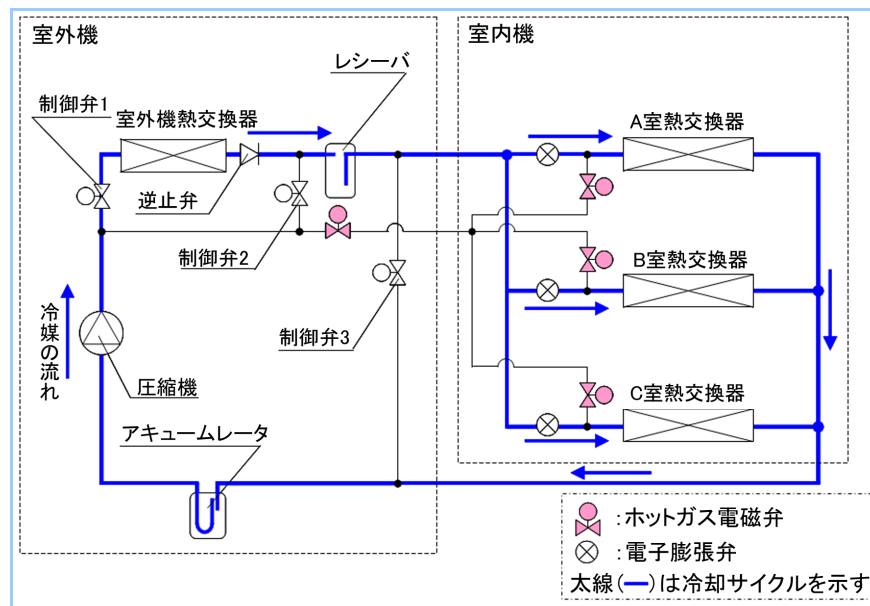


図2 マルチ式冷凍機の冷媒系統図(冷却サイクル)

3室対応マルチ式冷凍機の冷媒系統図を示す。

荷室内の空気を冷却するには、室内温度よりも低温の冷媒を室内機の熱交換器内部に流す必要があるが、例えば設定温度を -30°C と $+10^{\circ}\text{C}$ とする2室を冷却運転する場合、各室の熱交換に必要な冷媒温度は大きく異なることになる。冷凍能力分配制御では、運転しているすべての室内機の電子膨張弁を協調制御し、最も空気温度が低い荷室においても熱交換が可能な冷媒温度に調整する能力保証制御を優先的に実施する。次に、前記の設定温度と室内温度との温度差などの制御パラメータを用い、前記の冷媒温度を維持させながら、各室の必要冷凍能力度合いに応じて冷媒量を分配するよう電子膨張弁開度を制御する。この制御方法により、最も低い設定温度の荷室が冷却可能な能力を維持した上で各室内機が発生する冷凍能力と各室の熱負荷に相関を持たせることができることから、設定温度が大きく異なる使用条件においても安定した温度制御が可能となった。図3に外気温度 25°C 、3室の設定温度が 10°C 、 0°C 、 -20°C での実機データを示す。

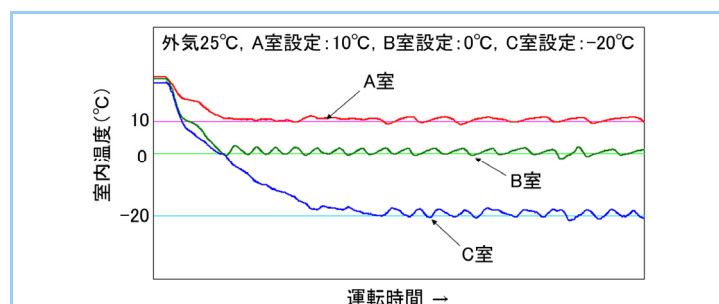


図3 当社新マルチ式冷凍機による3室異温度同時冷却運転

高設定温度側が発停運転を繰り返しても、低設定温度側の室内温度は安定して制御している。

3. サーモ OFF 同期制御による省エネ性向上

室内機の運転/停止を繰り返して設定温度に対する室内温度維持を行う場合、複数の室内機が同時に運転している状況では、すべての荷室が同じタイミングで運転復帰温度未満でなければ圧縮機を停止することができない。各室内機がそれぞれ独立して運転/停止を繰り返した温度制御を行っている状態では、図4に示すように、すべての室内機が運転停止となる頻度は低く、圧縮機の運転時間比率が高くなるため省エネが図れない。

当社は図5に示すように、先に設定温度に到達して運転停止状態(サーモ OFF)となった室内機に微少能力を与え続けることで室内温度を設定温度に維持させ、すべての室内機のサーモ OFF タイミングを強制的に合わせこむ“サーモ OFF 同期制御”を開発し、圧縮機の運転時間比率を約3~8%低下させることに成功した。

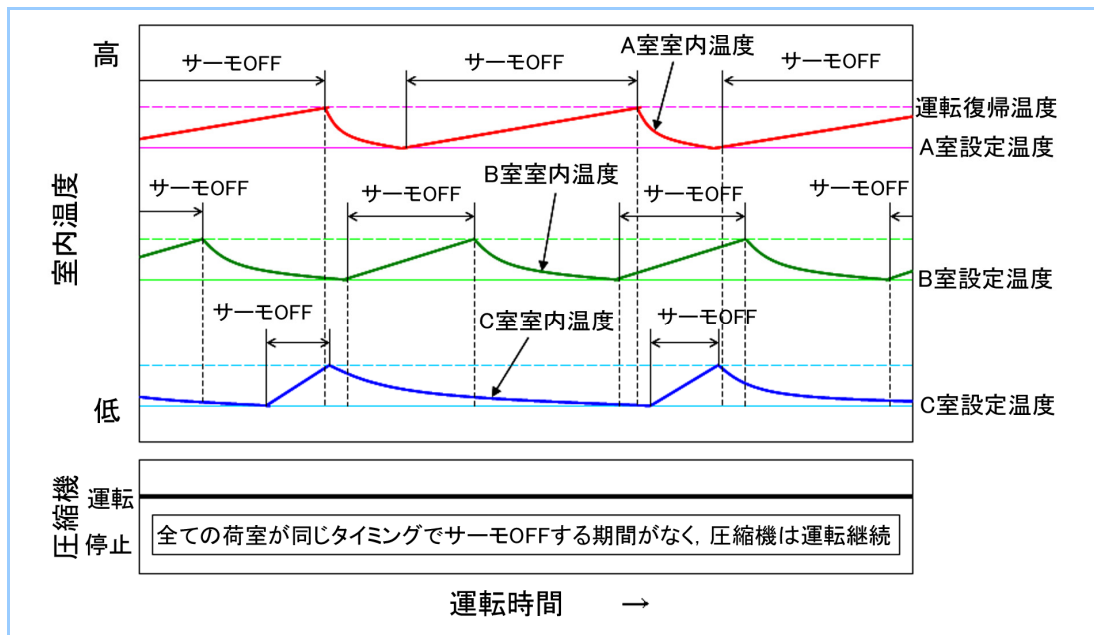


図4 従来マルチ式冷凍機の運転状態概念図

すべての荷室が同じタイミングで設定温度に到達した状態でなければ圧縮機は停止できない。

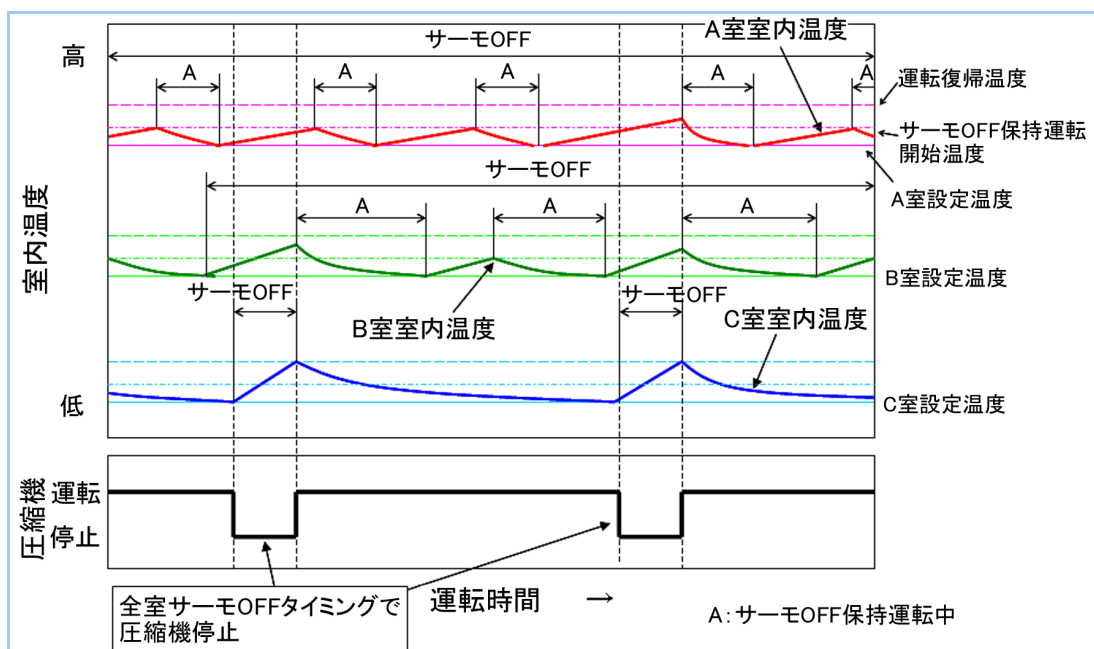


図5 サーモ OFF 同期制御を適用した場合の運転状態概念図

先に設定温度に到達した荷室の室内温度を設定温度に維持して全室のサーモ OFF タイミングを同期させることで、圧縮機の運転時間比率低下が可能となる。

4. 異能力室内機組合せ自由度の確保

図6に示すように、マルチ式冷凍機は荷室数・荷室の広さ・バンの間仕切り方などの要素により多数の組合せが存在するため、数種類の室内機を用意して様々なニーズに対応している。ユーザの要求次第では、冷凍能力の大きさが極端に異なる室内機を組み合わせるパターンも想定され、従来の温度式膨張弁を用いたマルチ式冷凍機では、各室内機の運転/停止切り替わり時に生じる急激な状態変化に対して各温度式膨張弁が追従できなくなり、安定した運転の確保が困難となる場合がある。

そこで、システム全体での減圧特性がほぼ等しくなるよう運転対象となるすべての電子膨張弁を協調制御させ、上記のような運転切り替わり時にも安定した制御を可能にした。この制御により、室内機の自由な組合せにも対応可能なマルチ式冷凍機を実現した。

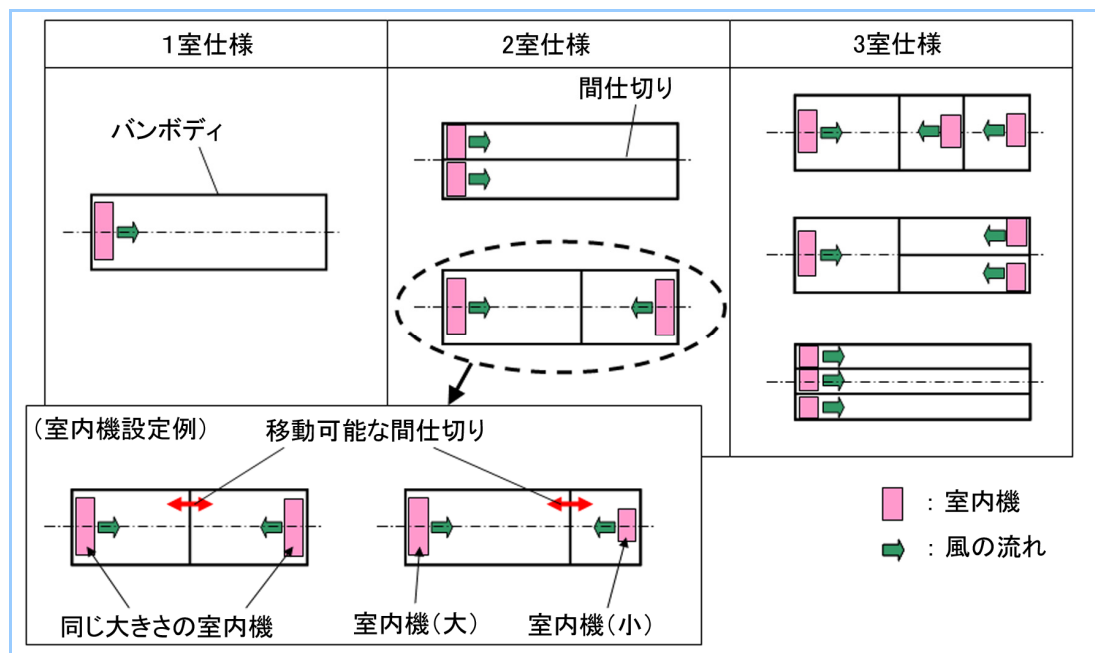


図6 マルチ式冷凍機の組合せパターン

荷室の大きさや用途に応じて、様々な組合せが想定される。

5. 高外気温度運転安定性

温度式膨張弁を用いたマルチ式冷凍機では、高外気温度条件下において圧縮機吐出部の冷媒圧力や動力負荷が使用制限を越えて運転することを防止するため、各種圧力調整機能部品を追設して対応している。

一方、全室電子膨張弁を用いたシステムでは、電子膨張弁を小開度に制御することにより、各種圧力調整機能部品が果たす機能と同様に、圧縮機吐出圧力の上昇や動力負荷の抑制を可能にしている。高外気温度条件においても、異常高圧でユニット保護停止することなく、かつ動力負荷の使用制限を越えて運転する状況を防止する安定した運転を低コストで実現することが可能となった。

6. 低外気温度運転安定性

冷却運転中の室外機・各室内機の冷媒圧力は、より低い外気温度・室内温度条件であるほど、またより小さな室内機で運転するほど低下する。マルチ式冷凍機では、運転状況次第で小さな室内機単独で運転することがあり、低外気温度・低室内温度条件において室内機の冷媒圧力は使用制限以下に至る可能性がある。そこで室外機熱交換器をバイパスしてレシーバ～電子膨張弁間の液冷媒部を加圧して室外機・各室内機の冷媒圧力を上昇させることで、低外気温度・低室内温度条件下において小さな室内機一台での安定した運転が可能となった。

7. まとめ

物流効率化と省エネが重要視される中、業界で初めて、すべての室内機に電子膨張弁を採用し、開度設定が任意に可能な電子膨張弁の特長を最大限に活用したマルチ式冷凍機のシステム制御を開発した。この新システムでは、大きく設定温度が異なる条件下でも、従来に比べて優れた温度制御性を保ちながら積荷の配送ができるようになった。また、圧縮機運転時間比率を下げる制御により、省エネ性も向上させた。さらに、多種の室内機を自由に組み合わせた場合や、広範囲の外気温度条件下においても安定した運転を実現した。

今回開発したマルチ式冷凍機制御が定温物流の効率化に貢献し、環境負荷低減に対しても寄与することを切望する。

参考文献

- (1) 田中孝史ほか、コンビニ配送に最適な冷媒加温式2室用陸上レフユニット、三菱重工技報 Vol.41 No.2 (2004) p.106～109