

商品管理と省エネルギーを向上させたショーケース

鈴木 祐司 (すずき ゆうじ)

平田 賢二 (ひらた けんじ)

渡邊 健 (わたなべ たけし)

1 まえがき

近年、地球温暖化防止のために二酸化炭素 (CO₂) 排出量の削減が重要な課題となっており、スーパーマーケット業界においても店舗設備の消費電力量削減や買物袋の削減、食品包装容器のリサイクルなどにより、CO₂ 排出量削減に取り組んできている。また、スーパーマーケットに導入されている空調機器を中心とした冷却・加熱機器においても、省エネルギー化の促進が図られている。

精肉・鮮魚・青果を保冷販売するショーケースを製造販売している富士電機においても、継続的に省エネルギー化を推進してきた。今回は、従来のショーケース冷却システムからさらに省エネルギー化と高鮮度管理を実現したシステムを開発したので紹介する。

2 現状のショーケース冷却システム

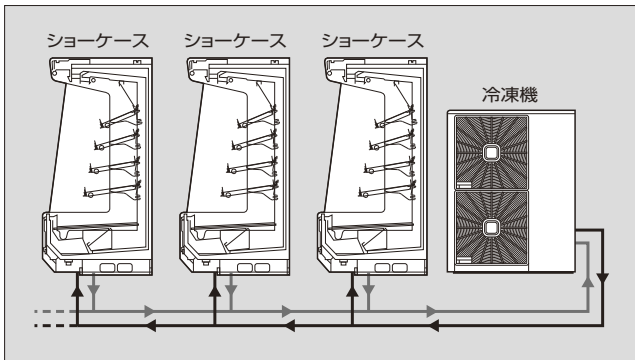
2.1 システム構成

ショーケース冷却システムは、1 台の冷凍機に複数台のショーケースを接続した構成となっており、ショーケースと冷凍機を配管で接続している (図 1)。

2.2 冷却運転システム構成

各ショーケースの内部には、蒸発器 (冷却器)、電磁弁、

図 1 システム構成



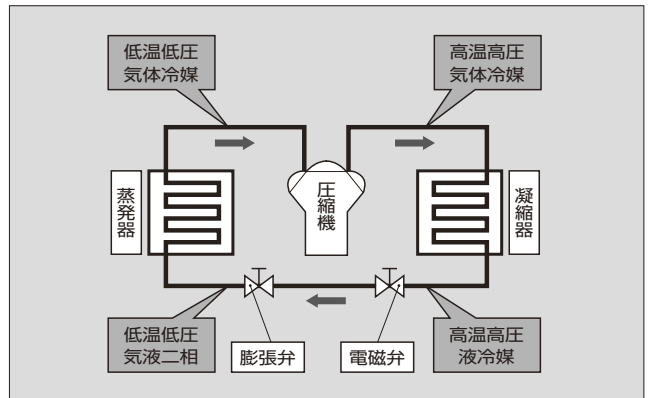
膨張弁を設け、冷凍機は圧縮機と凝縮器 (放熱器) などで構成されている。これらの圧縮機、凝縮器、電磁弁、膨張弁、および蒸発器を接続して冷凍サイクルが構成され (図 2)、冷媒の気化熱を利用してショーケースの庫内を冷却する。以下に、冷凍サイクルの作用について説明する。

- (1) 低温低圧で気体状態の冷媒を圧縮し、高温高压の気体冷媒にする。
- (2) 圧縮機から吐出された高温高压の気体冷媒は、凝縮器で冷却され、高温高压の液冷媒となる (放熱動作)。
- (3) 高温高压の液冷媒を膨張弁で膨張させ、低温低圧の気液二相 (気体と液体の二相) の冷媒にする。
- (4) 低温低圧の気液二相冷媒を蒸発器に導き、冷媒の気化熱を用いて循環空気から熱を奪い、ショーケース庫内を冷却する (吸熱動作)。
- (5) 蒸発した低温低圧の気体冷媒は、再び(1)の工程に戻され、このサイクルを繰り返す。

2.3 現状ショーケースの課題

従来、高温高压の液冷媒を膨張させるには温度膨張弁が用いられてきた。温度膨張弁は、蒸発器の入口と出口の圧力差 (温度差 = 過熱度) から機械的に弁の開度を調節して圧力差を一定に保つ作用を持つが、庫内の温度調整機能はない。庫内温度の制御は電磁弁のオンオフ動作により冷媒

図 2 冷凍サイクル



鈴木 祐司

ショーケース関連の研究・開発に従事。現在、富士電機アドバンステクノロジー株式会社生産技術センター機器技術研究所。



平田 賢二

ショーケース関連の研究・開発に従事。現在、富士電機リテイルシステムズ株式会社コールドチェーン事業本部商品企画本部開発技術部長。



渡邊 健

ショーケース関連の研究・開発に従事。現在、富士電機リテイルシステムズ株式会社コールドチェーン事業本部三重工場 CC 製造統括部アシスタントマネージャー。

の供給と停止を繰り返して庫内温度を調整している。したがって、庫内温度はある幅を持って変動し、冷凍機も運転と停止を繰り返す。このため、現状のショーケース冷却システムには以下のような課題がある。

(1) 温度制御幅が大きい

現状の電磁弁によるオンオフ運転制御では、冷媒と空気の熱交換時の応答速度が遅いため、オーバershoot、アンダershootが起こり、温度制御幅が大きくなる。

(2) 消費電力が大きい

冷凍機は、冷却する温度（蒸発温度）が高いほど、効率が向上して省エネルギーが可能になる。しかし、温度制御幅が大きいため、ショーケース庫内を所定の温度に保つには、蒸発温度を低温側にシフトして運転する必要があり、消費電力が大きくなっている。

上記の課題を解決するために、電子膨張弁を用いた冷媒流量制御を搭載したショーケース冷却システムを開発し、省エネルギーに加え、商品の高鮮度化を実現した。

③ 電子膨張弁制御搭載のショーケース冷却システム

3.1 省エネルギーの考え方

ショーケース冷却システムの省エネルギー化は、冷凍機をいかに効率的に運転するかが鍵となる。そこで、上述した蒸発温度が高くなるに従い、冷凍機の効率が向上する特性に着目した。蒸発器と空気の熱交換量は図3の式で表されるので、蒸発温度を高くするには蒸発器の利用効率（有効面積）を向上させればよい。

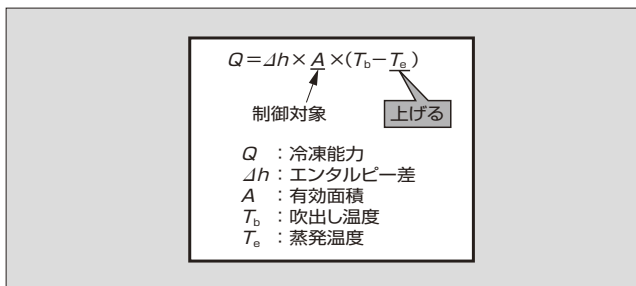
3.2 高鮮度管理の考え方

ショーケースにて販売される商品の高鮮度化は、安定した冷蔵温度で商品を陳列することが鍵である。そこで、電磁弁のオンオフ運転によって生じる温度制御幅を連続運転により小さくして高鮮度化を図った。連続運転を行うには、蒸発器に流れる冷媒の流量を連続制御する必要があるが、図4の式で表されるように、冷媒流量を蒸発器の利用面積から制御すれば解決が可能である。

3.3 電子膨張弁の制御法

前述のように、省エネルギー化と高鮮度化には蒸発器の

図3 蒸発温度制御



利用効率を向上させる必要があり、このためには、着霜対応、多機種のショーケース対応、安定制御などの課題がある。

これらの課題を解決するため、以下のような制御法を開発した。

(1) 着霜対応制御

ショーケースはオープンシステムのため、空気が蒸発器（低温部分）により露点以下に冷却され、空気中の水分が蒸発器に結露して霜として成長する（着霜）。図5に冷凍機を連続運転させた場合の着霜様相を示す。冷凍機を連続運転させると霜が成長し続ける。このように、着霜量が増加するに従って霜による空気抵抗が増加し、ファン風量が低下して、ショーケースの庫内温度が上昇する。そのため、一定時間ごとに除霜運転を行う必要がある。蒸発器の利用面積を変えると着霜様相も異なるので、新たな着霜対応制御法が必要であった。

今回開発した制御法は、ショーケースの庫内温度やショーケース設置環境の絶対湿度など複数の項目を監視し、その状況に応じて蒸発器に付着した霜の量（厚さ）を推定する。その霜の厚みに応じて着霜量を低減する制御を行っている。

(2) 多機種のショーケース対応

ショーケースは6尺、8尺、12尺など幅方向にバリエーションがある。尺数によって蒸発器の配管長が異なり、長さ按比例して圧力損失が異なる。図6に圧力損失の違いによる蒸発器の配管温度を示す。蒸発器では冷媒が完全に気化すると急激に温度上昇が始まり、この温度上昇が始まる箇所を蒸発完了点と呼ぶ。圧力損失が小さい蒸発器は入口から蒸発完了点までの温度変動が小さいが、圧力損失が

図4 冷媒流量制御

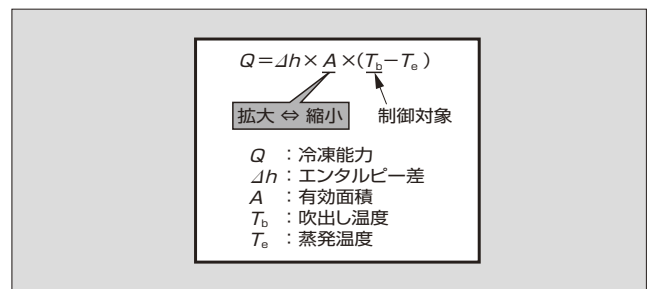


図5 着霜様相

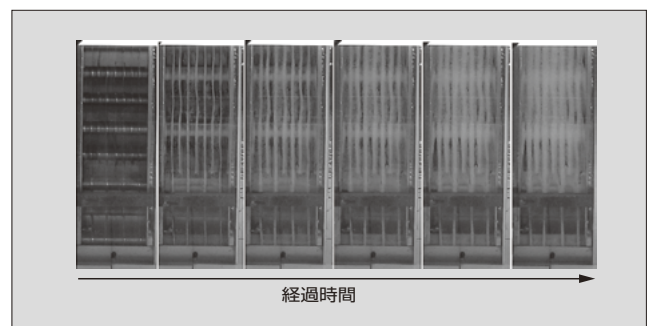


図6 圧力損失の違いによる配管温度

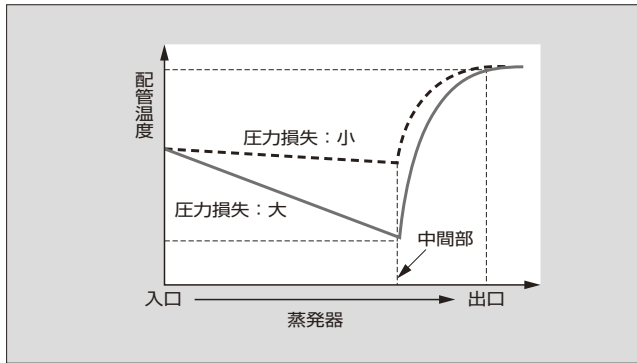
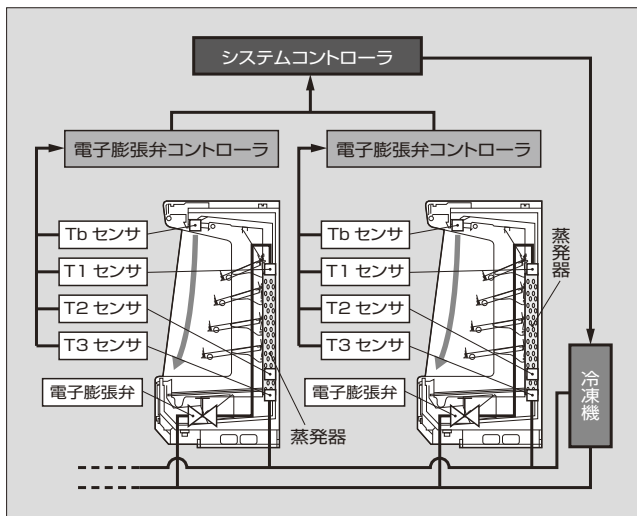


図7 電子膨張弁対応ショーケースのシステム構成



大きい蒸発器では、入口から蒸発完了点までに圧力損失により温度が低下する傾向を示す。蒸発完了点を蒸発器出口に近づけるほど蒸発器の利用効率が向上するので、蒸発完了点を正確に検知して、蒸発完了点を蒸発器出口近傍に制御する必要がある。

そこで、今回はすべてのショーケースに対応させるため、図7に示す構成を用いた。

蒸発器の入口、出口、中間部の配管表面に温度センサを設置し、三つの温度センサから蒸発器の温度こう配を算出して、その傾きの変化点を蒸発完了点として検知した。

電子膨張弁コントローラで電子膨張弁の開度（冷媒流量）を制御し、システムコントローラで冷凍機の蒸発温度を制御している。

(3) 安定制御（冷凍機の故障の回避）

冷媒が液状のまま圧縮機に戻る（この現象を液バックと呼ぶ）と液圧縮により圧縮機が破損する危険がある。冷凍機の故障を防ぐためには、この液バックの迅速回避が必要である。

蒸発器出口の温度を検知する方法では、液バックする際の冷媒移動速度に対して遅れが生じるため、液バックが生じる。そこで、蒸発器中間部の温度で事前検知することにより、制御の応答速度を考慮した制御を開発した。

図8 環境評価試験室

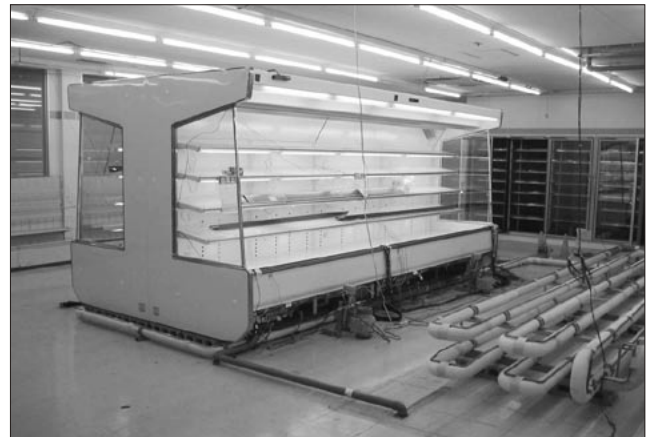
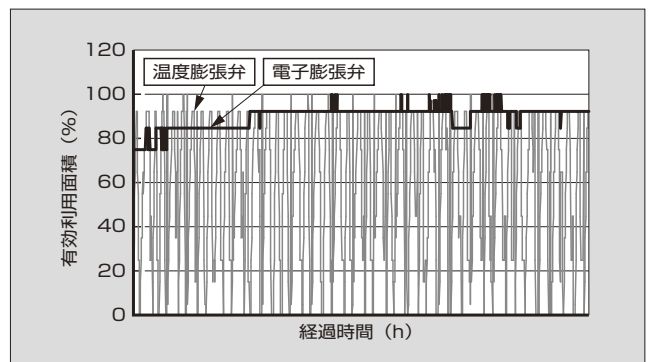


図9 電子膨張弁と温度膨張弁による有効利用面積の推移



4 評価結果

評価システムは6尺ケース2台、8尺ケース1台、12尺ケース1台の計4台（いずれも冷蔵ケース）で行い、冷凍機は10馬力のインバータ冷凍機（冷媒：R404A）を使用した。

年間の消費電力量の評価は、富士電機の三重工場内にある年間の外気条件を模擬可能な環境評価試験室（コンビニエンスストア店舗全体の年間消費電力量の評価装置：図8）を利用して実施した。

4.1 省エネルギー

図9に電子膨張弁と温度膨張弁による蒸発器の有効利用面積の推移を示し、図10に電子膨張弁と温度膨張弁による冷凍機の運転周波数の推移を示す。

温度膨張弁は、電磁弁のオンオフ運転により蒸発器の利用面積が安定せず、冷凍機も停止と運転を繰り返して運転開始時に高周波数（高速回転）で運転しており、消費電力が大きい。それに対し電子膨張弁は、蒸発器の有効面積を継続して90%前後利用できており、それに対応して冷凍機は低周波数（低速回転）での安定運転が可能となっている。

図10 電子膨張弁と温度膨張弁による運転周波数の推移

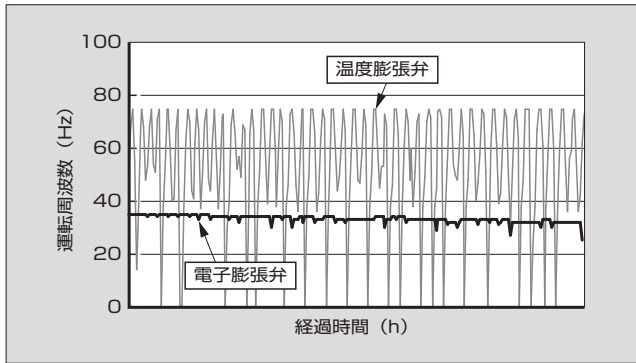
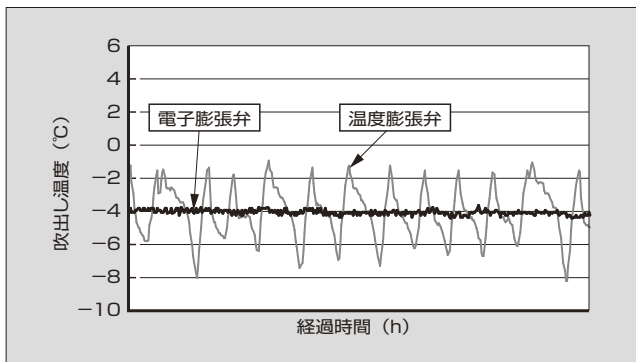


図11 電子膨張弁と温度膨張弁による吹出し温度変動幅



4.2 高鮮度管理

図11に電子膨張弁と温度膨張弁による吹出し温度の変動幅を示す。温度膨張弁では7.3℃であった吹出し温度の変動幅を、電子膨張弁では0.8℃に抑えられている。温度変動幅を小さく制御した分だけ庫内温度を低温に維持することが可能となり、庫内の商品鮮度が向上した。その効果は、K値という魚の劣化量で13%改善する効果に相当する。

4.3 年間の省エネルギー量

省エネルギー量は、富士電機の省エネルギーシステムを搭載した「エコマックスV」を比較対象とした。

エコマックスVは、ショーケースの電磁弁運転率に応じて冷凍機の低圧圧力値を制御し、冷凍機の電力使用量を低減させるシステムである（平成10年度「省エネ大賞」、財団法人省エネルギーセンター会長賞受賞製品）。このシステムによる省エネルギー量は年間平均30%であり（当社比）、より厳しい評価基準とした。

電子膨張弁対応ショーケースとエコマックスVとで、夏期、中間期、冬期の3シーズンでそれぞれ24時間運転したときの電力量を測定し、年間省エネルギー効果を評価

表1 評価試験環境

区分 季節	店内		店外	
	温度	湿度	温度	湿度
夏期	27℃	58%	32℃	64%
中間期	24℃	46%	23℃	69%
冬期	16℃	34%	11℃	59%

表2 年間省エネルギー効果

季節	項目	省エネルギー効果
夏期		14%
中間期		31%
冬期		-8%
年間		19%

した。評価試験環境を表1に、評価結果を表2に示す。
 年間の省エネルギー量は、開発した電子膨張弁制御搭載のショーケース冷却システムでは現行のエコマックスVに対して、19%の電力使用量削減を達成した。
 冬期については、冷凍機の余裕率が大きいために、冷凍機の停止時間が長いエコマックスVを下回る結果となったが、夏期および中間期においては、エコマックスVよりも電力使用量を削減できている。冬期の省エネルギー量の向上が今後の課題である。

5 あとがき

商品管理と省エネルギーを向上させたショーケースの開発について紹介した。ショーケースの省エネルギー化や高鮮度管理には、電子膨張弁による制御技術は必須となりつつある。また、電子膨張弁は構造変更を伴わずに、複数の冷媒に対応可能であることから、地球温暖化係数（GWP）の小さい冷媒への転換にも柔軟に対応できるという点からも今後の普及が予測される。

こうした省エネルギー化や高鮮度管理は今後も強く要望されると考えられ、これに応えるべく新技術の研究・開発を積極的に推進していく所存である。

最後に、本開発において多大なご指導・ご協力をいただいた関係各位に感謝する次第である。

参考文献

(1) 遠藤行雄ほか、環境評価試験室、富士時報、vol.78, no.3, 2005, p.220-223.
 (2) 大隈和男、冷凍の理論、オーム社、1999, p.28-29.