

ショーケースの省エネルギー技術

Energy-Saving Technology for Showcases

木下 卓 KINOSHITA, Suguru

スーパーマーケットやコンビニエンスストアなどの小売業界において、商品を適切な温度に保冷するショーケースに対して、さらなる省エネルギー（省エネ）を求めるニーズが高まっている。富士電機は、ショーケースの消費電力量を削減するため、弁開度を緻密に制御できる電子膨張弁を採用し、冷媒の流量を最適に制御するシステムを開発した。また、冷媒配管への冷媒封入量の最適化や、複数のショーケースに対して、冷却の偏りをなくするために冷媒を均等に配分する設計を行った。この制御システムにより、従来の制御方法に比べて消費電力量を約 20% 削減した。

The retail industry, including supermarkets and convenience stores, is increasingly demanding further energy saving of showcases, which keep products in adequate cold temperatures. To save showcase power consumption, Fuji Electric has developed a precise valve opening control system using an electronic expansion valve to optimally control the flow rate of refrigerant. This system is also designed to optimize the amount of refrigerant contained in the refrigerant piping and equally allocate the amount of refrigerant to each showcase, ensuring uniform cooling. This control system reduces power consumption by approximately 20% compared to conventional control methods.

1 まえがき

近年、スーパーマーケットやコンビニエンスストアなどの小売業界では、ライフスタイルの変化による冷凍食品や新鮮で衛生的な食品へのニーズが高まっており、冷蔵ショーケース（ショーケース）の導入が増加しつつある。一方、店舗ではより一層の省エネルギー（省エネ）が求められており、ショーケースの省エネは必須となっている。本稿では、富士電機におけるショーケースの省エネ技術の開発状況について述べる。

2 ショーケースの基本構成と種類

スーパーマーケットやコンビニエンスストアに設置してあるショーケースは、商品の展示とともにショーケース内を冷却し、商品を適正な温度に保冷する機能を持つ。

ショーケースの冷却装置の基本構成を図 1 示す。ショーケース内に設置した蒸発器に低温・低圧の冷媒を流すことにより庫内に吹き出す空気を冷却する。このとき、蒸発器

を通過する冷媒は空気から熱を奪って蒸発し、蒸発器の出口では蒸気（気体）となる。蒸発器の上流側に設置された膨張弁により、冷媒流量を調整して蒸発器の運転温度を制御している。したがって、膨張弁はショーケースの冷却効率を左右する重要な機器である。冷凍機は、冷媒ガスを圧縮して吐出する圧縮機と冷媒ガスを冷却して凝縮（液化）する凝縮器で構成される。

ショーケースの装置構成は、冷凍機の設置場所の違いから 2 種類に大別される。外観からは判別が難しいが、一つは内蔵ショーケースと称し、図 2 に示すように、ショーケース内部に冷凍機を搭載するタイプである。搭載した冷凍機と蒸発器が 1 対 1 でつながっているため、ショーケースと冷凍機の接続施工が不要であり、店舗内の中央部に単体で設置する場合に多く使用されている。もう一つは、別置ショーケースと称し、図 3 に示すように店舗外に冷凍機を設置し、店舗内の複数のショーケースと接続するタイプである。この場合、ショーケースと冷凍機を接続する配管

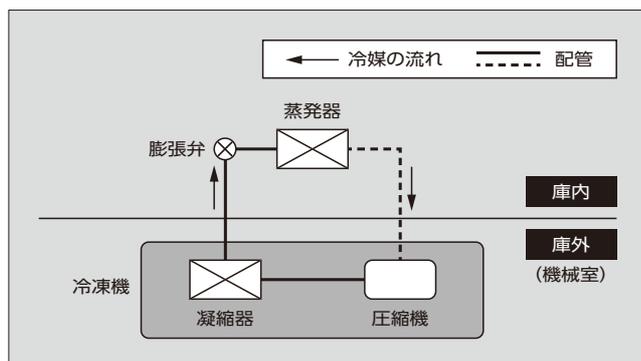


図 1 ショーケースの冷却装置の基本構成



図 2 内蔵ショーケース

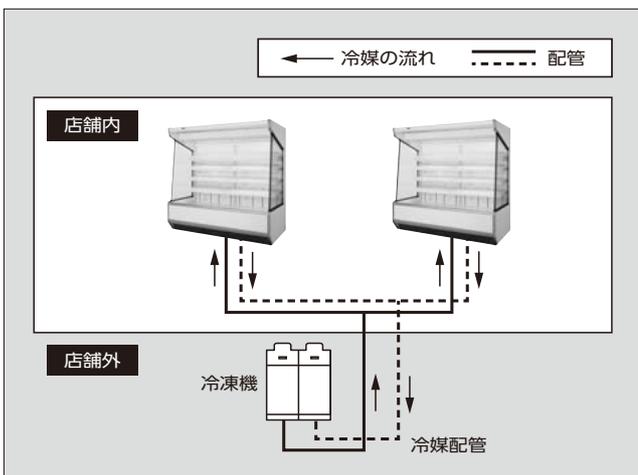


図3 別置ショーケース

は現場で施工される。1台の冷凍機で複数のショーケースが運用できることでコストを安く抑えられることや、冷凍機の排熱を店舗内に出さないため店舗内環境への影響を抑制できるため、店舗内の壁沿いに複数台のショーケースを並べる際に多く使用されている。

③ 最新の省エネルギー技術の特徴

3.1 電子膨張弁による制御の最適化

(1) 課題

冷却装置を正常に運転するためには、蒸発器の出口に達した冷媒蒸気の過熱度を一定に保つ必要がある。過熱度とは、冷媒の沸点（飽和温度）を基準とした冷媒蒸気の温度の高さを意味する。過熱度が負値、すなわち沸点を下回る温度になると、冷媒が蒸発しきらずに下流側の圧縮機に液冷媒が送り込まれる“液戻り”と呼ばれる現象を引き起こす。これは圧縮機に過大な負荷を与えて圧縮機を故障させるリスクとなるため、必ず回避しなければならない。蒸発器の入口側に設けられる膨張弁には、上述の過熱度を一定に保つように冷媒の流量を制御する機能が求められる。これを実現するため、従来の冷却装置に採用されていた機械式膨張弁では、蒸発器出口の配管に感温筒を取り付け、その内部に封入された冷媒を気化させて筒内部の圧力を変化させ、その圧力を使って膨張弁の開度を機械的に調整する仕組みであった。しかしこの仕組みでは、直接的に過熱度により膨張弁の開度を制御しているわけではなく、誤差要因が多い。また、構造上の制約があるため必ずしも適切な制御性能となるように調整できるとは限らなかった。

蒸発器を効率的に使用するためには、過熱度を限りなくゼロに近い理想値に近づけることが望ましい。しかし、先に述べた液戻りを起こさないために、機械式膨張弁を使用する場合は、安全率を考慮して過熱度を理想値よりも大きい値に設定するのが一般的であった。膨張弁としては弁開度を必要以上に小さくすることになり、その結果として蒸発器の出口の圧力が低下する。この下流側にある圧縮機では、必要以上に低下した冷媒の圧力（低圧圧力）を所定の

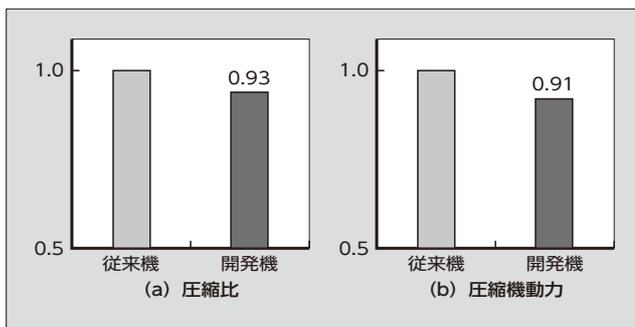


図4 圧縮比と圧縮機動力の比較

圧力（高圧圧力）まで高めなければならない。つまり、この高圧圧力と低圧圧力の比である圧縮比を必要以上に高めなければならない、これを達成するための圧縮機動力が増加してしまう。これによりむだなエネルギーを消費するため、ショーケースの消費電力量を増やす結果を招いていた。

(2) 対策と効果

ショーケース単体での消費電力量を削減するため、適切な調整が常にできるとは限らない機械式膨張弁から、弁開度を緻密に制御できる電子膨張弁に変更し、膨張弁の弁開度を最適にフィードバック制御する制御システムを開発した。

電子膨張弁は、ステッピングモータにより弁開度を調整できる機構を持つため、弁開度を高精度に調整することができる。開発した制御システムでは、蒸発器の入口と出口の両方の温度をサーミスタで測定し、測定値を基に算出した過熱度をPID（Proportional-Integral-Differential）制御の制御量に用いて弁開度を操作する。さらに、現在の過熱度と時間をトリガーに液戻りのしきい値を設定する液戻り防止制御を追加した。これらの制御により、常に理想値に近い過熱度を実現する。必要以上に低圧圧力を下げることなく常に最適な冷凍サイクルを実現できるので、圧縮機動力が抑制される。図4に従来機と開発機の圧縮比と圧縮機動力の比較を、従来機の値を1として示す。開発機の方が圧縮比と圧縮機動力を抑制できていることが分かる。自社で行ったショーケースの評価の結果、年間を通した消費電力量が、従来機比で約10%の省エネを実現した。

3.2 現地施工条件に応じた冷媒封入量の最適化

(1) 課題

内蔵ショーケースの場合は、冷凍機周りの配管はあらかじめ現場で施工されているため、冷媒封入量を適切に管理することができる。一方、別置ショーケースの場合は、別置された共用の冷凍機と複数のショーケースの間の配管は現場で行われるため、設置されるショーケースの種類や台数、現場施工でつなげる冷凍機までの配管長さなどに合わせて、冷媒封入量を調整する必要がある。

従来は、現場での配管工事完了後に、冷凍機の高圧側サイトグラスで状態を目視しながら、凝縮器で完全に液化した状態になるまで冷媒を注入する手法で実施していた。この方法では、施工時の条件の影響を受けて、冷媒が多めに

注入される傾向があり、注入量を最適化する必要があった。

(2) 対策と効果

上述の問題を解決するために、現場の配管容積から必要な冷媒封入量を算出する、現場で容易に使えるツールを導入した。冷媒封入量は、式(1)で算出される。

$$M=a \times A+b \times B+c \times C+d \dots \dots \dots (1)$$

- M：冷媒封入量 (kg)
- a：蒸発器内冷媒密度 (kg/m³)
- b：高圧配管内冷媒密度 (kg/m³)
- c：低圧配管内冷媒密度 (kg/m³)
- d：冷凍機内冷媒量 (kg)
- A：蒸発器内容積 (m³)
- B：高圧配管内容積 (m³)
- C：低圧配管内容積 (m³)

本ツールを作成するに当たり、実際の冷凍機とショーケースを組み合わせて、環境条件、配管長さ、ショーケース台数(配管内容積)、冷媒封入量という四つのパラメータを変化させたときの最適冷媒封入量を実験的に求めた。この実験結果を基に a～d を決定して計算ツールを完成させた。計算ツールを使ってショーケースの種類と台数を入力すると A が求まり、さらに現場で接続する配管の外径と長さを入力すると B、C が決定する。これにより、店舗ごとの最適な冷媒封入量を自動で計算することができ、ショーケースの消費電力量を従来方法に比べて、最大で 12% の省エネを実現した。

3.3 別置ショーケースの冷媒の均等配分

(1) 課題

別置ショーケースでは、冷凍機からの冷媒が各ショーケースに分配されるが、冷凍機と各ショーケースの間の配管長はショーケースの設置場所ごとで異なってくるため、冷媒流量も配管の圧力損失に応じて変わる。このため冷媒の流れやすいショーケースやエネルギー負荷の小さいショーケースは冷媒流量が過多となって冷え過ぎ状態となり、冷媒の流れにくいショーケースやエネルギー負荷の高いショーケースは冷媒流量が不足して冷却が足りなくなる。これにより、ショーケースごとに冷却状態に偏りが出てしまう。

さらに、従来の店舗では、店舗の全てのショーケースの冷却状態を監視し、全てのショーケースが十分に冷却できていると判断した場合に、冷凍機の運転周波数を下げるように指示する省エネ制御を実施している。しかし、上述のように各ショーケース間で冷却状態に偏りができると、冷却が足りないショーケースに合わせて冷凍機を制御してしまうため、消費電力量が高くなってしまった場合があった。そこで、各ショーケースへの冷媒の均等配分が必要となる。

(2) 対策と効果

3.1 節で述べた電子膨張弁を用いると、目的に応じてさまざまな制御を容易に実現することができる。内蔵ショー

ケースに適用した場合は省エネ性能を高める効果が得られたが、別置ショーケースに適用して、それぞれのショーケースが均一に冷却されるようにショーケースごとの電子膨張弁を調整する制御システムを開発した。

開発した制御システムでは、各ショーケースの冷却状態を判別するため、冷気吹出し温度も測定する。先に述べた蒸発器の入口と出口の温度と合わせた 3 か所の温度測定値から各ショーケースの冷却状態を認識し、これを次に示す 6 種類のモードに分類する。

- (a) 初期運転モード (冷却開始時の状態)
- (b) 吹出し温度モード (冷却が不足している状態)
- (c) 過熱度保持モード (冷却が安定している状態)
- (d) 液戻り防止制御モード (冷却が十分足りている状態)
- (e) 弁開度固定モード (冷凍機が停止している状態)
- (f) 停止モード (ショーケースが停止している状態)

この分類結果を基に、冷媒が足りていないショーケースがある場合はそのショーケースの膨張弁を大きく開くなどの制御により、まずは全体の冷却状態の均一化を目指す。続いて、個別のショーケースの冷却状態が安定するように膨張弁開度を微調整して最適な流量制御を実施する。図 5 に示す膨張弁制御用状態遷移図を示す。それぞれのモードになるよう、各ショーケースの膨張弁は制御される。図 6 に初期運転モードの適用事例を示す。図 5 の(a)に示した初

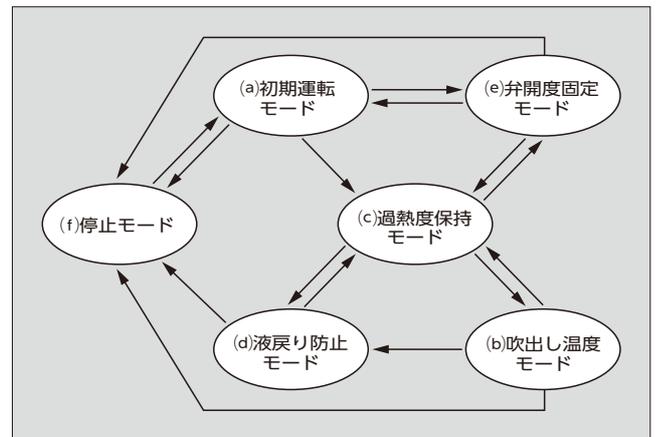


図 5 膨張弁制御用状態遷移図

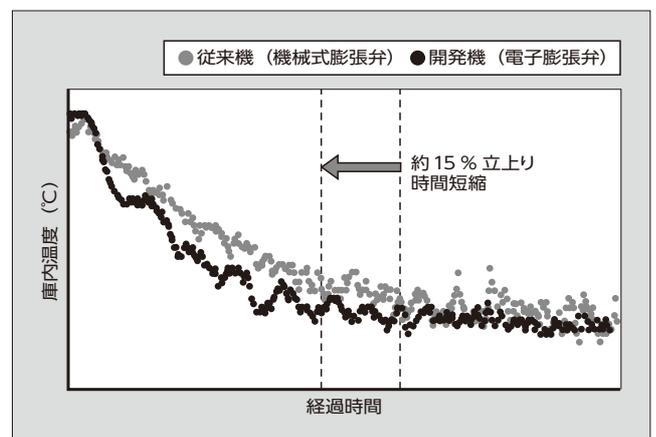


図 6 初期運転モードの適用事例

期運転モードの制御を用いた効果を示したものである。庫内が目標温度に到達するまでの時間が、従来機に比べて約15%短縮する効果が得られている。

上述の制御システムを適用することにより、常に各ショーケースに最適な冷媒を分配することができるので、同一系統内の各別置ショーケースの冷却状態が均一化され、従来の制御方法に対して消費電力量を約20%削減した。

4 あとがき

本稿では、ショーケースの省エネルギー技術について述べた。

富士電機は、お客さまのニーズに応じ、内蔵型と別置型の双方のショーケースを市場に提供している。それぞれのショーケースの特徴に応じた課題を解決し、今後も省エネルギー性の高いショーケースや店舗全体の省エネルギーシステムの開発に取り組んでいくことで、環境対応やお客さまの要望に応じていく所存である。



木下 卓

冷凍・冷蔵ショーケースの設計に従事。現在、富士電機株式会社食品流通事業本部三重工場製品設計部課長。日本冷凍空調学会会員。





*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。