冷凍機外付けインバータシステム

石山　　修（いしやま　おさむ）　　中山　伸一（なかやま　しんいち）　　後藤　幹生（ごとう　みきお）

1　まえがき

一般のスーパーマーケット業界では，景気低迷のおりから，経費削減を狙って，店舗の中で大きなウエイトを占める消費電力量削減への取組みが一段と強化されている。とりわけ，総消費電力量の半分以上を占めるショーケース冷却設備の消費電力量の削減意識は強い。

近年，一般のスーパーマーケット業界においても省エネルギー，高鮮度管理を目的としたインバータ冷凍機が使われ始めている。一定速冷凍機を設置している既存店舗において，インバータ冷凍機のような省エネルギー設備に置き換えるにはコスト的に負担が大きいため，一定速冷凍機のままでも投資回収に見合う高い省エネルギー効果が得られるものが望まれている。

これまで富士電機は，インバータ冷凍機とショーケースを総合的に制御して，高い省エネルギー効果と食品の高鮮度管理の向上を可能にした，トータル制御システム（422ページの「解説」参照）を開発し，市場へ展開してきており，好評を得ているが，投資意欲減退の中で既存店の省エネルギー指向は，従来にも増して強くなっている。

そこで，既設の一定速冷凍機に接続するだけで，温度管理を損なわず，省エネルギーを実現できる外付けインバータシステムを開発した。

図１に，外付けインバータユニットの外観を示す。

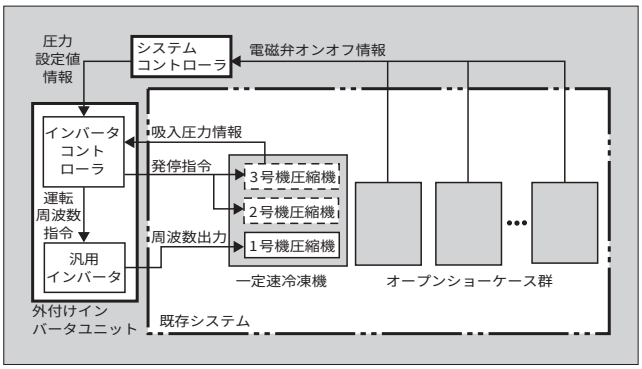
図１　外付けインバータユニットの外観

2　システム構成と概要

図２に示すように，一定速冷凍機とオープンショーケース群が接続されている既存システムに，汎用インバータを内蔵した外付けインバータユニットとシステムコントローラとを加えたシステムから成る。

外付けインバータユニットのインバータコントローラは，システムコントローラからの圧力設定値情報と冷凍機からの吸入圧力情報を基に，汎用インバータへ適切な運転周波数指令を出し，冷凍機をインバータ運転させる。さらに，冷凍機が複数の圧縮機で構成されている場合は，一定速の２号機・３号機の発停制御を行う。

図２　システム構成



インバータコントローラには，操作部・表示部があり，カットアウト圧力値などの各種設定を行ったり，出力周波数はもちろんのこと，２号機・３号機の運転状態をインバータコントローラで表示したりできる。さらに，システムコントローラにネットワークアダプタを接続することで，センター監視機能を構築することも可能である。

石山　　修

オープンショーケースを主体とした店舗管理システムの開発に従事。現在，三重工場開発第四部課長補佐。

中山　伸一

冷凍機制御の研究に従事。現在，(株)富士電機総合研究所機器技術研究所メカトロニクスグループ副主任研究員。日本冷凍空調学会会員，日本機械学会会員。

後藤　幹生

冷却関連機器の設計に従事。現在，三重工場開発第四部。

3　課　題

一定速冷凍機に外付けインバータシステムを接続する場合の課題を**表１**に示す。

4　課題に対する取組み

4.1　省エネルギー効果

4.1.1　圧力制御運転（インバータ制御）

冷凍機の運転周波数を上げると吸入圧力は下がり，運転周波数を下げると吸入圧力は上がる。吸入圧力がシステムコントローラからの圧力設定値（吸入圧力上限値と吸入圧力下限値の間）に収まるよう，運転周波数を適切に制御することで省エネルギー運転を行う。**図３**にその制御方法を示し，以下に説明する。

○吸入圧力＞吸入圧力上限値のときは周波数上昇

○吸入圧力上限値＞吸入圧力＞吸入圧力下限値のときは周波数を現状維持

○吸入圧力＜吸入圧力下限値のときは周波数低下

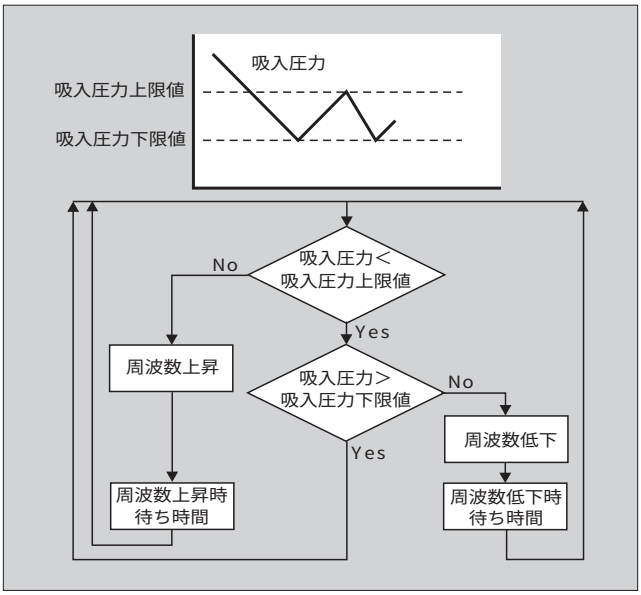
となる制御としている。周波数を変動させる間隔は，周波数変動待ち時間により決定する。周波数待ち時間は吸入圧力と上限・下限値との差の度合いに基づき，独自のアルゴリズムで決定する。

また，このシステムコントローラからの圧力設定値は，ショーケースの負荷に応じて変動するので（富士トータル制御）効率のよい運転となり，省エネルギーを向上させている。

表１　一定速冷凍機に外付けインバータを接続する場合の課題

No.	課　題
1	省エネルギー効果
1-1	圧力制御運転
1-2	冷凍機複数台運転
2	圧力計測値のアベレージング
3	導入条件のチェック
4	耐振動
5	保護機能
5-1	オイルバック運転
5-2	ショートサイクル防止
5-3	異常時の回避 インバータ異常，冷凍機異常，吐出管温度異常

図３　圧力制御運転（インバータ制御）



4.1.2　冷凍機複数台運転

できるだけ多くの既存冷凍機に適応するために，マルチ冷凍機（圧縮機複数台搭載，最大３台まで対応可能）も，適応できるようなシステムを構築した。各圧縮機の合計冷凍能力をショーケースの負荷変動に対し適切に制御することで，省エネルギー運転ができる。**図４**にマルチ冷凍機の制御方法を示す。

インバータ機（１号機圧縮機）が，全速運転（60 Hz）しても吸入圧力が目標値以上となるときには，定速機（２号機・３号機）を起動しインバータ機を圧力制御運転して，吸入圧力が目標値に追従するようにする。逆に，インバータ機＋定速機による運転時に，最小周波数運転（30 Hz）しても吸入圧力が目標値以下となるときは，定速機を停止しインバータ機で圧力制御運転を行う。

これらの結果，年間 25 %の省エネルギー効果を実現した。

図５に冷凍機を一定速運転させた商用運転の場合と，このシステムにて運転させたインバータ運転の場合の年間消費電力量比較を示す。

4.2　圧力計測値のアベレージング

このシステムは，冷凍機の回転数制御を行うために用いる吸入圧力を目標値に対して約±0.04 MPa 以内に抑える必要がある。それに対して圧力センサの出力信号は，リプルなどにより最大±0.05 MPa 程度のノイズがあり，使えない。そこで，以下のアベレージング方法を確立した。

１秒ごとに収集される測定データを５個蓄積し，その中の最大値と最小値を除いた平均を，吸入圧力 PL_d とする。

図４　マルチ冷凍機の制御方法

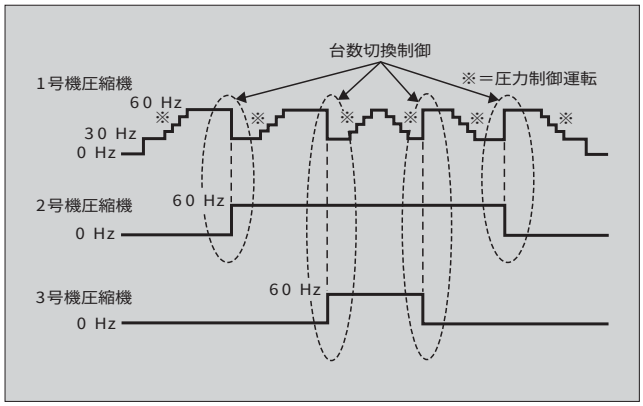


図５　消費電力量比較

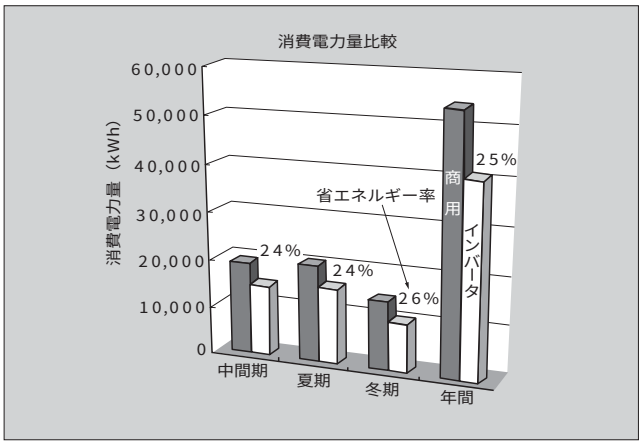
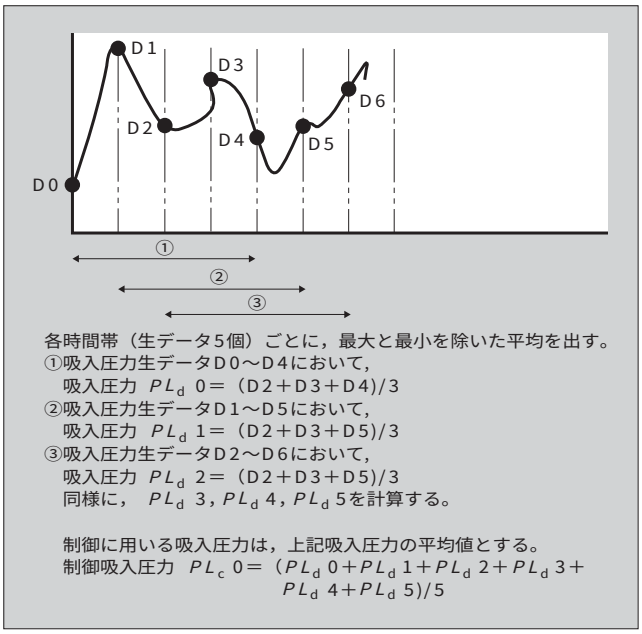


図６　移動平均



制御に用いる吸入圧力 PL_c は，PL_d の５個平均を用いることとした（移動平均処理）（**図６**）。

この結果，圧力センサの出力信号のリプルを，±0.001 MPa 以下に抑えることができた。

4.3　導入条件のチェック

既設店舗のショーケース冷却施設においては，使用期間がかなり経過している場合も多いことから，導入前に運転状況や環境状況を入念にチェックする必要がある。長い期間使用していると，ショーケース・冷凍機とも設置時の性能や状態に変更が生じていることがある。状況が未確認のまま導入すると，期待する省エネルギー効果が生まれない。そこで，特に以下の項目を確認するよう，設置マニュアルを充実させた。

(1)　ショーケース

①周囲温度（設置室内の空調），②温度膨張弁の動作，③センシングの状態

(2)　冷凍機

①負荷に対する冷凍機能力の余力，②冷媒量，③冷凍機の筐体（きょうたい）および圧縮機の固定，④冷媒の分流

4.4　耐振動

一定速冷凍機をインバータ運転させる際に最も注意しなければならないことは，機械的な共振である。本システムでは，共振周波数を見つけるために，仮設置後，インバータの出力周波数を段階的に変動させることができる。共振する周波数があれば，設定値をパスして大きな振動が発生しないように運転できる。

4.5　保護機能

4.5.1　オイルバック運転

インバータによる低周波数運転が続くと，潤滑オイルの偏りと戻り減少によるモータが焼損する恐れがある。その防止策として，インバータ運転側の圧縮機が低周波数で一定時間運転した場合と，インバータ運転の圧縮機と一定速圧縮機が一定時間同時に運転し続けた場合には，インバータ運転側の圧縮機を全速（60 Hz）で運転させることとした。

4.5.2　ショートサイクル防止

１号機から３号機までの圧縮機は，それぞれ停止した場合，設定時間を経過するまでは起動しないこととした。ショートサイクル運転させると，潤滑油不足の原因やモータの温度上昇による焼損を起こすことがある。

4.5.3　異常時の回避

インバータ異常や冷凍機異常，吐出管温度異常など，システムに異常がみられた場合は，自動で商用運転に切り換える制御機能を付加した。このため，ショーケースの商品を傷めるという最悪の事態を防いでいる。

5　あとがき

後付けとしたので，少ない投資で工事期間もかけずに店舗の省エネルギーができた。既存店，新店ともトータル制御システムの対応が可能となり，広く普及することが期待される。また，ショーケースの販売促進に寄与できるものと考える。

以上，冷凍機外付けインバータシステムについて紹介した。今後，省エネルギーに対する要求は，より強くなっていくとみられる。そのためにも，さらに省エネルギー効果を生み出す新製品の開発に取り組んでいく所存である。

最後に，本開発に際し，ご指導・ご協力いただいた関係各位に深く感謝の意を表す次第である。

e-Front runners

＊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。