

冷凍冷蔵倉庫向け省エネルギー制御システム

Energy Saving Control System for Freezing-Refrigerating Warehouse

加藤 博志 KATO, Hiroshi

白木 崇志 SHIRAKI, Takashi

食品の流通過程における保管や仕分けを目的とした冷凍冷蔵倉庫では、電気料金の値上げなどを背景に、省エネルギーのニーズが高まっている。富士電機は、倉庫内の冷凍冷蔵設備（冷凍機、ユニットクーラ）の稼動を最適化するとともに、運用管理を効率的に行うことができる集中管理型の冷凍冷蔵倉庫向け省エネルギー制御システムを開発した。独自のアルゴリズムによる庫内の負荷状況に応じた冷凍機の低圧側圧力制御や、ユニットクーラの最適制御などにより、倉庫における年間消費電力量を12.3%削減できることを確認した。

Freezing-refrigerating warehouses, which are designed for storing and sorting products in food distribution processes, are being required to be more energy efficient due to increasing electricity costs. Fuji Electric has developed an energy-saving control system for centrally controlled freezing-refrigerating warehouses that optimizes the operation of the freezing-refrigerating equipment inside warehouses while also making it possible to carry out efficient operation control. It has been confirmed that yearly power consumption in warehouses can be reduced by 12.3% through the adoption of enhancements such as optimized control of a unit cooler and pressure control of the low-pressure side of a refrigerator unit using a unique algorithm for responding to load conditions inside a warehouse.

1 まえがき

近年、冷凍冷蔵倉庫において、「エネルギーの使用の合理化等に関する法律」（省エネ法）の施行に伴う省エネルギー（省エネ）やエネルギーの見える化の必要性が増している。また、倉庫事業者においては、消費者の求める食品の安全を提供できる温度管理体制や、運用コストを抑制する設備の省エネ機能を備えた集中管理システムのニーズが高まっている。

富士電機はこうした市場ニーズに応えるため、店舗向けコントローラとして実績のある「ECOMAX コントローラ」を制御機器の中心に据えた冷凍冷蔵倉庫向け省エネルギー制御システムを開発した。

2 開発の背景

食料品の冷凍・冷蔵保管や配送のための仕分け作業を行う冷凍冷蔵倉庫設備は、20年の減価償却終了後も相当の年数が経過しても稼動しているものが多数あり、実質的なライフサイクルや投資回収期間が非常に長いという特徴がある（図1）。

しかしながら、近年では物流網の効率化を図るため、冷凍冷蔵倉庫の大型化や集約化も積極的に進められている。また、地球温暖化を促進するフロン⁽¹⁾の使用規制により温暖化の影響が少ない冷媒への転換が行われ、冷凍冷蔵倉庫の設備更新が増加している。

さらに、電気料金の値上げが行われており、事業運営における電気料金の負担が年々増しているため、省エネのニーズが高まっている。

省エネ性を向上させるためには、最新の機器やエネルギー計測機器などを冷凍冷蔵設備へ導入する必要があり、

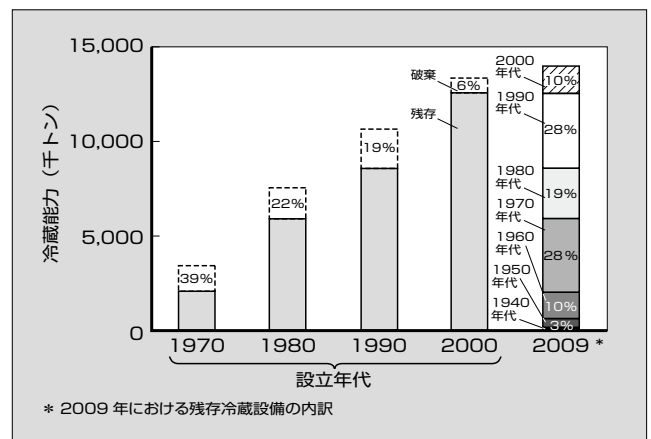


図1 冷蔵倉庫設備の設立年代構成

ある程度大きな投資となる。しかし、事業者は、できる限りの投資抑制を考えており、少ない投資でより効果が得られるエネルギーの見える化、ならびに省エネが行える制御システムを求めている。

3 開発の狙いと課題

複雑なシステム構成はコストの増加につながるため、冷凍冷蔵倉庫では比較的簡単な構成でできることが重要視されている。そのため、SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) のような形態ではなく、シンプルで、かつ多くのセンシングを必要とせず省エネが行える必要がある。

本システムの開発において、冷凍冷蔵倉庫の総合的な管理・省エネ制御を可能とするため次の要件を定めた。

(1) 富士電機の設備機器管理コントローラに倉庫向けの省エネと消費電力量などの見える化を行う機能を開発し、

さまざまなレイアウトや運用条件において、低コストで容易に導入できるシステムとする。

- (2) 庫内ごとの温度や稼動状態をリアルタイムで把握し、運用に応じた設定変更が容易に行える。
- (3) 倉庫に設置されている設備の稼動状況に応じた最適な省エネ制御を行う。
- (4) 消費電力量管理やピークカットなどを行うデマンド制御機能を搭載する。

4 システム概要と特徴

システムの構成を図2に示す。システムの中核であるコントローラ(「ECOMAX コントローラ」)は、各機器から稼動データを収集し、それを基にコントロールするシンプルな機能となっている。倉庫内のレイアウトは用途ごとにさまざまであるが、事務所から一括して機器の操作・稼動管理を行うことで効率的な運用につながる。

(1) 状態管理と設定

コントローラは、タッチパネル式のカラーモニタを内蔵しており、視認性の高さや操作の容易性を実現している。また、インターネット接続により、ユーザは遠隔地からの管理および設定操作が可能である。

(2) 省エネ制御

冷凍冷蔵設備のコアである冷凍機とユニットクーラの運転を効率化するため、制御を行わない従来の場合に比べ、冷凍機の低圧側圧力制御やユニットクーラ最適制御、負荷平準化制御により、年間12.3%の省エネを達成した。

(3) エネルギー管理制御

機器の稼動データや消費電力量をグラフで表示し見える化できる。また、最大需要電力を抑制するため30分単位の累積消費電力に対して、余裕率を持った目標値(上限電力)を設定できるようにした。さらに、デマンド制御により、電力の使用予測から目標値を超過する可能性を判断し、電力の抑制制御や自動的に復元制御を行い、行き過ぎた電力の抑制制御を行わないようにした。

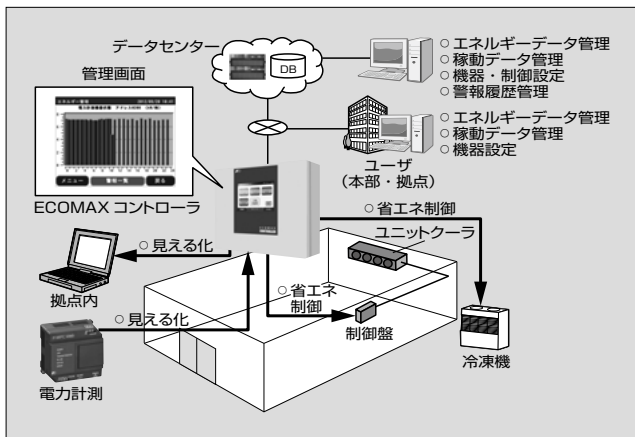


図2 システム構成

5 管理機能

本システムは、大きく分けて冷凍冷蔵設備に対する状態管理機能およびエネルギー管理機能を持っている。コントローラから運用状況の変化に合わせて設定変更などを行うローカル管理、ならびにデータサーバを介した情報履歴の確認や温度推移とエネルギーの相関分析などを行うセンター監視がある。

(a) 状態管理機能

- 庫内温度管理
- 運転状態監視
- 冷却管理(温調シフトスケジュール)
- 除霜管理(除霜スケジュール)

(b) エネルギー管理機能

- エネルギー監視

(c) データ収集

(d) 警報監視

図3に、コントローラ管理画面構成の概要を示す。

(1) ローカル管理

ローカル管理として、コントローラ搭載のタッチパネルモニタ上で一括管理を行うことができ、庫内温度の設定変更やユニットクーラにおける霜取り運転のスケジュール化が行うことができる。また、庫内の温度情報に基づいて温度異常や機器異常などの警報を発令するなどの機能もある。警報発令時は、直ちに該当する設備の稼動情報監視画面に表示を切り替えると同時に、警報ブザーやメールで通知する。

また、最大2日間のエネルギー使用量を見える化しており、前日との比較により、設備管理者が日々の管理意識を向上させることが可能である。

(2) センター監視

本システムは、Webサーバ機能を内蔵しているので離れた場所のパソコン画面から詳細な情報管理を行うことができる。

また、本システムのコントローラが蓄積しているエネルギー利用状況や設備機器の運転状況などのデータは、ネッ

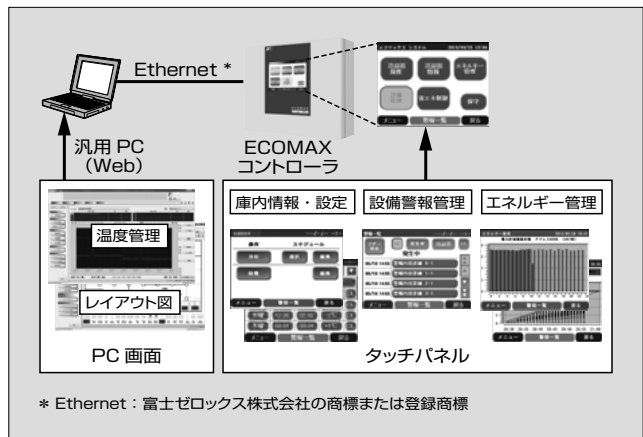


図3 コントローラ管理画面構成の概要

トワーク通信で取得できる。ユーザは、本部や各拠点などの遠隔地から複数の施設の集中管理を行ったり、エネルギー指標を基にした拠点間の比較分析を行ったりすることが容易である⁽²⁾。

6 制御機能

本システムは、冷凍冷蔵設備を構成する冷凍機とユニットクーラの運転制御機能を備えており、制御盤からユニットクーラの運転情報を得て、コントローラから冷凍機への制御指令を行っている。制御機能には、省エネ制御機能とデマンド制御機能がある。

また、商品の搬入・搬出や、これに伴う扉の開閉などの急な冷却負荷の変動に対しても、安定した庫内温度維持と省エネを行う負荷変動制御を現在開発中であり、2016年度内の機能リリースを計画している。

6.1 省エネルギー制御機能

次の制御機能を組み合わせることで省エネ制御を行っている。

(1) 冷凍機の低圧側圧力制御機能

冷凍機の低圧側圧力制御は、庫内の熱負荷に応じて冷凍機の出力（低圧側）を制御することで、熱負荷と出力を一致させ、省エネを行う。

具体的には、庫内に設置されているユニットクーラの運転状況（電磁弁のオン・オフ情報）をコントローラに通知し、コントローラで運転状況に関する計算を行うことで、必要最低限の冷凍能力で運転するように冷凍機を制御する。これにより、総合的に必要な冷凍能力（需要）を判断し、冷凍機の圧力を制御することで適正な冷凍能力（供給）を維持したままで運転することが可能となり、余計な電力消費を抑制することにつながる。

本アルゴリズムの概略ブロック図を図4に示す。ユニットクーラの運転状況については、ユニットクーラ内にある熱交換器を冷やすための冷媒の流れを制御する電磁弁のオン・オフ情報（電磁弁運転情報）から判断する。電磁弁のオン（冷却オン）時間が上限の設定値より長い場合は、“ユニットクーラ負荷が冷凍能力を上回っている”と判断し、電磁弁のオフ（冷却オフ）時間が下限の設定値より長い場合は、“ユニットクーラ負荷が冷凍能力を下回っている”と判断する。この二つの設定値の間である場合は、“ユニットクーラ負荷と冷凍能力がほぼ釣り合っている”と判断する。

インバータ制御の冷凍機については、冷媒の吸入圧力値が圧力設定値になるように周波数制御を行っており、圧力設定値を上げると冷凍能力と消費電力が減少し、下げると冷凍能力と消費電力が増加する。そこで、複数のユニットクーラの負荷のうち、1台でも冷凍能力が不足すると判断すると圧力設定値を下げ、冷凍能力を増加させ、逆に全てのユニットクーラの冷凍能力が過剰であると判断すると圧力設定値を上げて冷凍能力を減少させ、冷凍能力に過不足

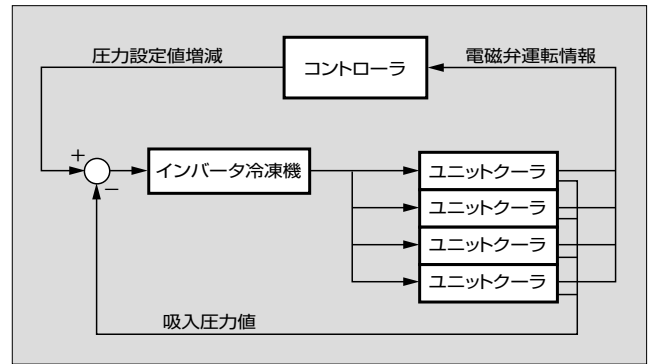


図4 冷凍機低圧側圧力制御アルゴリズムの概略ブロック図

がないと判断することで圧力設定値を制御する⁽³⁾。

以上のアルゴリズムの適用により、複数のユニットクーラに対する冷凍能力を常に最適に保ち、省エネを実現している。

(2) ユニットクーラ最適制御機能

ユニットクーラ最適制御は、ユニットクーラの動作を冷却状態に応じて最適に制御することで省エネを行う。

冷却負荷が低い時間帯の設定温度を高めに変更（セットバック）することで、無駄な冷却運転を抑制する。セットバック運転を行う時間帯や、温度変化が目立つ時間帯を1週間のスケジュールとして設定することで自動運転を行う。

また、冷却負荷が低い場合におけるユニットクーラのファンの運転を最適化することにより、ファンの運転に関わるエネルギーロスが低減できる。

(3) 負荷平準化制御機能

一般的な冷凍冷蔵倉庫では、一つの庫内に複数台のユニットクーラと1個の温度センサが設置されている。計測された温度に基づいて、サーモ運転（電磁弁オン・オフ制御）を行うことで、目標とする温度を維持している。

このような構成では、次のような課題がある。

- (a) 全てのユニットクーラが同じ動作のサーモ運転を行うため、冷却負荷にばらつきがあった場合などに、庫内温度を均一に保つことが難しい。
- (b) 冷凍機の負荷の変動が大きく、安定した冷却ができない。
- (c) 冬季などの比較的負荷が低い時期では、電磁弁オン・オフ動作による冷凍機の頻繁な発進・停止を繰り返すことで無駄な起動電力を発生させる。

これに対して負荷平準化制御では、ユニットクーラごとに設置した温度センサによって、図5に示すように、それぞれが必要とする適正な冷却負荷量を都度算出し、一定の冷凍機負荷でサーモ運転ができるように、それぞれの電磁弁のオン・オフタイミングを補正する。このようにして、冷凍機を安定的かつ効率良く運転することができる。

また、冷凍機が安定的に動作することで、不必要な発進・停止を抑制する効果も得られる。

負荷平準化制御を、上述の冷凍機の低圧側圧力制御と組み合わせることで、冷凍機側と冷却負荷側を安定化できるため、高い省エネ効果を実現できる。

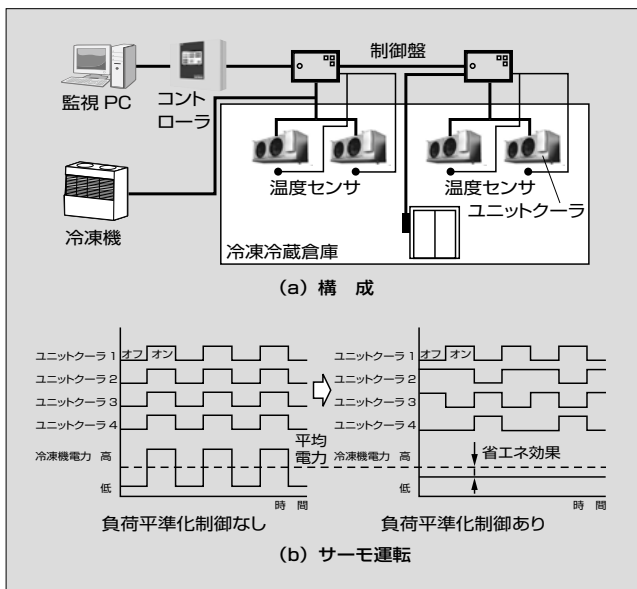


図5 負荷平準化制御の構成

6.2 デマンド制御機能

デマンド制御機能は、対象とする倉庫全体の消費電力が目標値を超えないように電力消費機器の監視制御を行う機能である。本システムのデマンド制御は、その制御方法において次の特徴を持っている。

(1) 目標電力超過の判断方法

従来のデマンド制御では、消費電力が目標電力を超過する可能性の判断は、単に30分ごとの消費電力を基に予測していた。本システムでは、30分単位の消費電力量に対して、余裕率を持った値（上限電力）で超過する可能性を判断している。この判断方法により、計測値のばらつきや消費電力の一時的な急変などで消費電力の増減量が大きく変化した場合でも、行き過ぎた抑制制御を行わないようにした。

(2) 消費の抑制制御と復元制御の方法

図6に示すように目標電力超過の判断に基づき、消費電力が目標電力を超えそうな場合は、30分単位の範囲において事前に設定された制御対象テーブルに従い、消費電力が少なくなる方向に対象機器を順次制御し、消費電力の抑

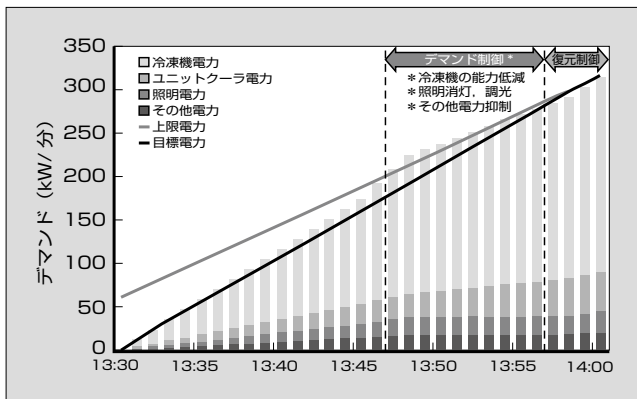


図6 デマンド制御

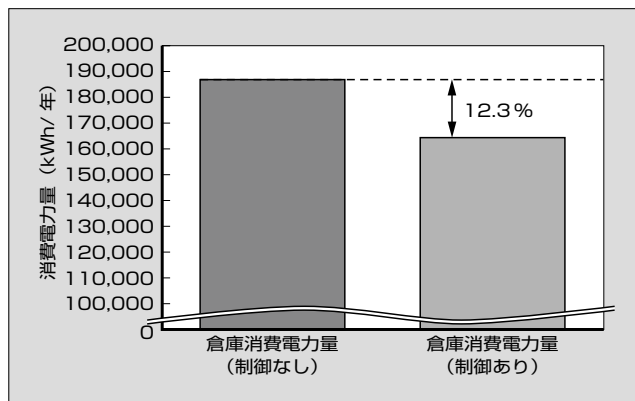


図7 省エネルギー検証評価結果

制制御を行う。

従来、一般のデマンド制御では復元は手動によるものが多かった。本システムでは、消費電力が目標電力を下回って適正な余裕が確保されると、それらの機器を順次超過前の状態に復元する制御を行う。そのため、制御対象テーブルは、対象機器、優先順位、制御可能範囲、制御前後の状態などで構成されている。復元も自動化したことにより、本デマンド制御は夏季の電力消費のピークカットはもちろん、目標電力を低めに設定することで、省エネ主体の運転も可能である⁽⁴⁾。

7 検証評価

富士電機の実験用冷凍冷蔵倉庫環境において、夏季および冬季の省エネ制御性能を検証した。その結果、年間12.3%の省エネが可能であることを確認した(図7)。なお、図7の消費電力量は、冷凍機低圧側圧力制御、ユニットクーラファン最適制御および負荷平準化制御を組み合わせた結果の値である。

8 あとがき

冷凍冷蔵倉庫における更新案件が拡大していく中で、省エネルギーや作業合理化に対するニーズは継続して存在し、さらにエネルギー分野での補助金事業と絡めた展開も多くなっている。今後、さらなる省エネルギーのための機能開発や管理面での強化を図ることで、国内外の市場への普及に努めていく所存である。

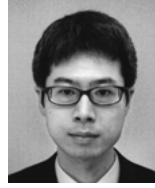
参考文献

- (1) 冷蔵倉庫業界 業界勢力図を塗り替えるフロン規制対応。日本政策投資銀行 (DBJ) 2013年6月20日。
- (2) 城戸武志, 神崎克也. 店舗のEMSを実現する「エコマックスコントローラ」. 富士電機技報. 2013, vol.86, no.3, p.193-196.
- (3) 坂井一博. 店舗向けショーケース・冷凍機連携制御. 省エネルギー. 2012, vol.64, no.10, p.40-43.
- (4) 須藤晴彦. 省エネシステム「エコマックス-Net II」. 日本電気協会. 産業と電気 2006年8月号. p.8-13.



加藤 博志

冷凍冷蔵倉庫設備の設計に従事。現在、富士電機株式会社食品流通事業本部流通システム事業部システム技術部主任。



白木 崇志

省エネルギー制御システムの研究開発に従事。現在、富士電機株式会社技術開発本部製品技術研究所計測制御技術開発センターエネルギーソリューション開発部主任。





*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。