

ターボ冷凍機からなる熱源システムを 最適制御するコントローラ“エネコンダクタ”

Ene-Conductor The Optimum Controller for a Heat Source System
that Consists of Centrifugal Chillers



二階堂 智*1
Satoshi Nikaido

上田 憲治*2
Kenji Ueda

梅野 良枝*1
Yoshie Togano

松尾 実*3
Minoru Matsuo

立石 浩毅*4
Koki Tateishi

熱源システムの省エネにおいては、熱源の高効率化と共にシステム制御の高度化が重要である。しかし、ターボ冷凍機の性能特性を活かした高度なシステム制御は複雑であり、実際に導入するには課題があった。そこで当社では、熱源システムを簡単に一括制御する熱源総合制御システム“エネコンダクタ”を2010年に製品化した。本製品は、大学との研究活動で得られた成果を用いて平易な制御アルゴリズムで高度なシステム制御を実現することで、大幅な省エネを達成可能としている。2012年度のフィールド評価では、従来の先鋭的なシステムより更に23%の省エネを達成した。エネコンダクタは、技術の先進性と実績が高く評価され、“平成25年度省エネ大賞”の製品・ビジネスモデル部門で最高賞の“経済産業大臣賞(節電賞)”を受賞している。

1. はじめに

ターボ冷凍機は主に冷水を供給する大容量熱源機であり、大きなビルの空調システムだけでなく工場・地域冷暖房など大規模な熱源システムに導入されてきた。インバータターボ冷凍機を投入した2003年以降、ターボ冷凍機の高性能化は進み、より小規模なビル空調や中小工場にも導入されるようになった。熱源システムは主機であるターボ冷凍機のほかに補機(ポンプ、冷却塔など)によって構成されるが、ターボ冷凍機の性能向上に伴い、熱源システム全体の消費電力に占める補機の割合が大きくなったため、補機まで含めたシステム全体を最適化する必要性が高まりつつあった。エネコンダクタはこのようなお客様ニーズを鑑みて開発された最適制御コントローラである。

本稿では熱源システム全体を最適制御するコントローラ“エネコンダクタ”の技術的特徴とフィールド評価について紹介する。

2. 開発背景

民生用のエネルギー消費において、ターボ冷凍機をはじめとする熱源システムのエネルギー消費が占める割合は約1/3であり、効率化が求められている。当社では大容量熱源機であるターボ冷凍機(特にインバータ搭載機)の開発・高効率化を進めており、最新機種種のGART-Iでは部分負荷時に最高で、COP 25.3^{注1)}、IPLV 9.29^{注2)}を達成している。

熱源機単体での高性能化が成熟を迎える一方で、熱源システム全体では運用手法の最適化による省エネの余地がある。例えば、事務所などの建物においてターボ冷凍機をインバータ化することで19.9%、更にシステム制御で冷凍機の台数制御を最適化すると24.3%の省エネが期待

*1 機械・設備システムドメイン冷熱事業部大型冷凍機技術部

*2 機械・設備システムドメイン冷熱事業部大型冷凍機技術部 次長兼課長 工博

*3 技術統括本部高砂研究所 主席研究員

*4 技術統括本部高砂研究所

できる⁽¹⁾。しかしながら、インバータターボ冷凍機の性能特性を踏まえた最適運転計画、それに従った運用は専門知識と経験が必要である。そこで冷凍機メーカーとしての専門的な技量を、お客様が必要としない手法が期待された。

さらに熱源システムは夏期の最大負荷を賄うことのできる容量で設計されているため、ほとんどの運転時間(夏期の夜間や春、秋などの中間期)が冷凍機の仕様点を外れた部分負荷域となる。また、工場プロセスや地域熱供給などの用途では、冬期であっても冷房負荷があり、低い冷却水温度域で運転時間が長くなることが分かっている。“お客様に期待される提案”には、これら多岐にわたる課題を、“最適制御システム”という形で実現できないかということが含まれている。

そのため、熱源機の高性能化だけでなく熱源システムの高効率運転をサポートする運転支援ツールの開発が必要であるという考えに至った。

注 1) Coefficient of Performance (成績係数)。値が大きいほど省エネ性に優れる。

注 2) Integrated Part Load Value (期間成績係数)。JIS B 8621 (2011) の算出基準による。

3. 技術的特徴

インバータターボ冷凍機の性能を十分に発揮させる熱源システムの制御手法は確立していなかったため、2007年より大学と共同でシミュレーションを用いて制御技術の研究を進めた。その結果、平易な汎用性のある制御アルゴリズムで大幅な省エネが達成可能であることを見出した。これらの成果を実際の制御コントローラとして実現し、熱源システムを簡単に一括制御可能な熱源総合制御システム“エネコンダクタ”として製品化し、2010年より市場投入した。本章ではエネコンダクタに搭載されている技術的特徴について紹介する。

3.1 大幅な省エネを達成する平易な制御アルゴリズム

(1) 最適負荷に応じたインバータターボ冷凍機の台数制御

ターボ冷凍機が高 COP 状態となるように台数制御を行なうことは熱源システムの省エネにおいて効果的である。インバータターボ冷凍機は冷却水温度に応じて高 COP 状態となる負荷域(以下、最適負荷範囲)が変化する特性を持つ。インバータターボ冷凍機の性能特性が、ターボ圧縮機の機械工学的な原則に基づき表現できることを用いて、現在の運転条件での最適負荷範囲を導き出した(図1)。そして、本演算に基づいて台数制御することにより消費電力が低減できることをシミュレーションで確認した⁽¹⁾。

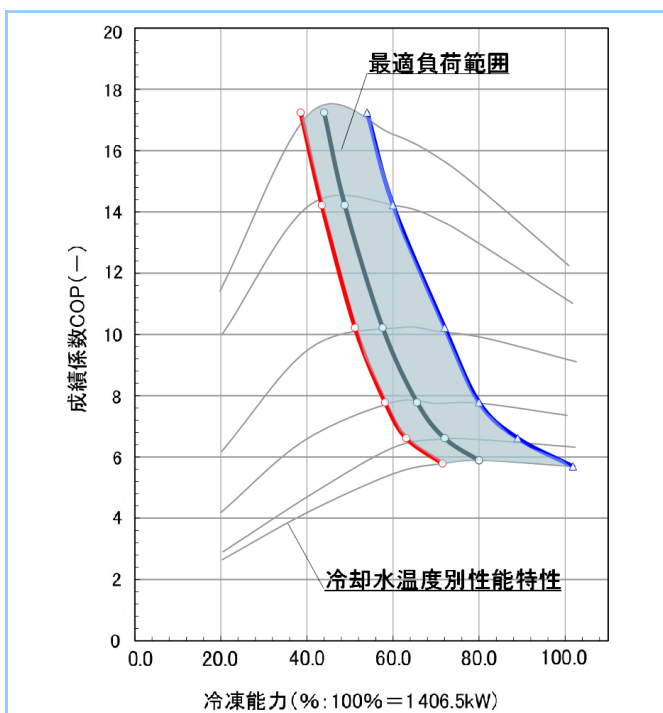


図1 インバータターボ冷凍機の最適負荷範囲

(2) 補機制御技術(冷水変流量制御, 冷却水変流量制御, 冷却塔制御)

熱源システムにおいて、補機の制御操作は他の機器のエネルギー消費量に影響を与えるため、制御設計が複雑となる傾向にある。制御手法検討のため、商業施設や事務所ビルなどの年間空調負荷をシミュレーションできる環境を整え、設備データから考えられる熱源システムのバリエーションについて、補機の制御手法を様々に組み合わせた上で、システム消費電力との関係を整理した。その結果、負荷や冷水・冷却水温度など運用時に入手できるパラメータを用いて、平易なアルゴリズムで補機を最適制御できることを見出した⁽²⁾。

3.2 通信インターフェースの搭載

エネコンダクタには通信インターフェースを標準搭載しており、ターボ冷凍機、PLC(Programmable Logic Controller)、LAN インターフェースなどの周辺機器と簡単に接続できる(図2)。特に当社ターボ冷凍機との通信機能は最大限活用されている。システム制御に使用する温度・流量データは、通信経由で取得したターボ冷凍機のセンサ値を利用することで重複する設備側の専用センサが不要となり、工事費の低減につなげている。更に、機種により異なる最適負荷範囲など冷凍機固有の制御情報は冷凍機の制御装置で演算され、それら演算結果を用いてエネコンダクタで、補機の制御や最適運転台数の演算を行う。そのため、設備設計側で最適制御システムを構築する場合に、従来なら生じていた冷凍機の複雑な特性カーブの煩雑なプログラム設定作業が排除されている。また、PLC や LAN といった上位機器との通信が可能となることで遠隔地からの状態監視が容易となっている。

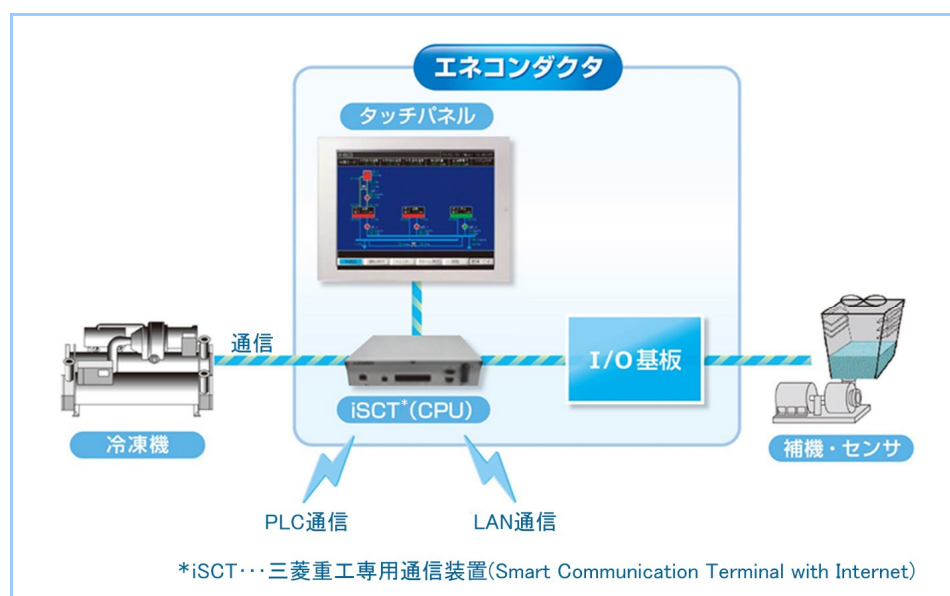


図2 エネコンダクタのハードウェア構成

3.3 組込み制御プログラムの標準化

熱源システムの制御プログラムは、現地設備の接続構成から設計者が都度プログラミングすることが多いが、エネコンダクタは一つの標準制御プログラムを持つのみである。実装対象とした制御機能は3.1項で述べた制御機能(冷凍機台数制御, 冷水変流量制御, 冷却水変流量制御, 冷却塔制御)に加え、システムの安定運用に必要な機能(冷却水バイパス弁制御, 主管バイパス弁制御)などの主要なものに絞り込み、汎用プログラムとして組み込んだ。お客様のシステム構成に応じて、制御機能要否や機種選定, 冷凍機の台数等が、設定パラメータと冷凍機との通信に基づき自動で構成される。

想定される熱源システム構成は何パターンもあり、実機での検証には限界があった。そのため、当社の発電プラント等の動特性解析に実績のあるシミュレーションコード PRANET⁽³⁾を用いて検証システムを構築し、複数パターンの熱源システムをコンピュータ上に構成、物理モデルとして再現する環境とした。この検証システムにて制御ロジックとの結合検証を実施した。

制御プログラムを標準化することにより次の成果を得た。

- ①現場摺り合わせ型から量産型型のプログラムへ移行⇒製品品質・信頼性の向上及び制御設計コストの低減
- ②当社内での事前検証により現地での試運転検証時間を短縮⇒現地作業コストの低減

3.4 高度な付加価値機能の搭載

熱源システムを高効率に運用するうえで、ターボ冷凍機の性能劣化回避も重要である。本製品では本来ターボ冷凍機が発揮しうるCOP(以下、目標COP)を常時計算し、実際のCOPとの比較評価を可能とした。お客様が両者を比較することにより、冷凍機の運用改善や異常の早期発見を見込んでいる。実際に試運用段階で目標COPと実測COPを比較することで、冷凍機のパラメータの調整不足による約3割もの性能低下を、早期に発見し改善することができている⁽⁴⁾(図3)。

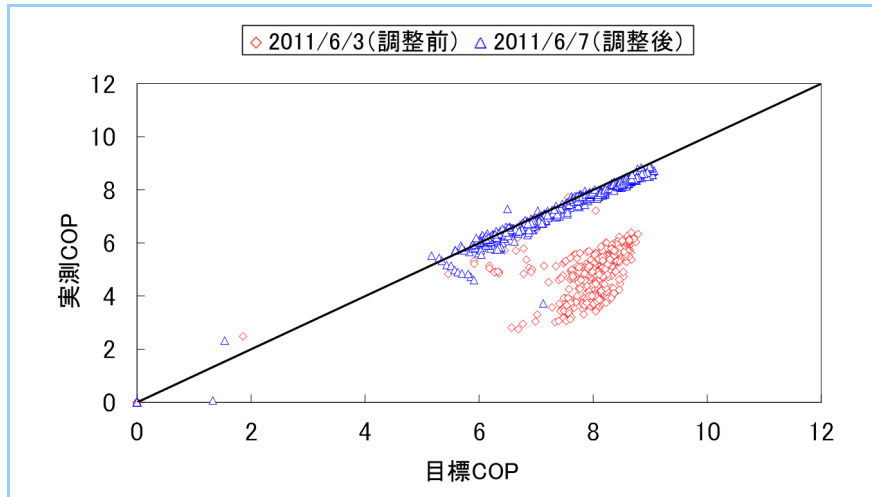


図3 目標COPと実測COPの比較による性能低下検知状況

4. 製品仕様

エネコンダクタは一般的な制御盤と同様の外観である。ユーザインターフェースに10.4インチのタッチパネルを採用し、当社デザイン部門によって人間工学に基づいた画面設計とすることで、オペレータの操作性や表示の見易さを考慮している(図4, 図5)。

ラインナップとしては、ターボ冷凍機3台まで制御可能な”EC-3”と、大規模システムにあたるターボ冷凍機6台まで制御可能な”EC-6”の2型式を提供している(表1)。



図4 エネコンダクタの外観(EC-3)

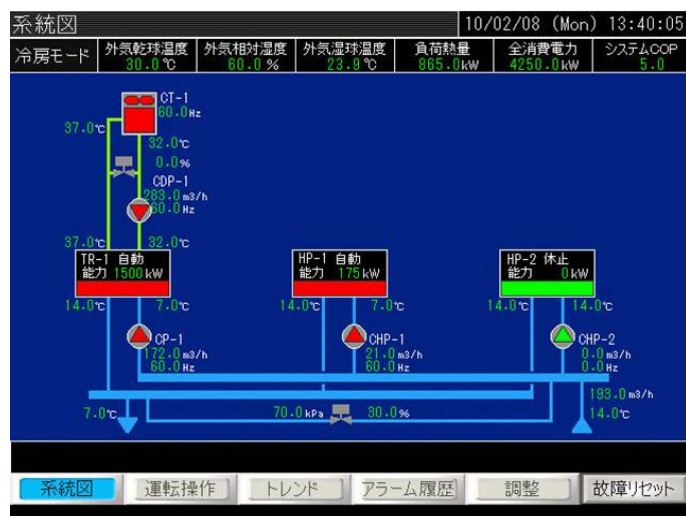


図5 エネコンダクタの画面表示例(系統図)

表1 エネコンダクタの仕様

項目	型式:EC-3	型式:EC-6	
対象設備	当社製ターボ冷凍機, 空冷ヒートポンプ で構成された熱源設備		
制御冷凍機台数	1~3台	1~6台	
制御機能	熱源設備の最適制御として以下の6機能を搭載 ①冷凍機台数制御 ②冷水変流量制御 ③冷却水変流量制御 ④冷却塔制御 ⑤冷却水バイパス弁制御 ⑥主管バイパス弁制御		
外形寸法	幅(W)	700mm	800mm
	高さ(H)	1300mm	1800mm
	奥行(D)	350mm	500mm
質量	約 130kg	約 240kg	
電源仕様	単相 100V~125V, 50Hz/60Hz 共用 (オプション:単相 200V 級対応)		
設置方法	壁掛背面取付	自立	

5. フィールド評価

リニューアル工事でエネコンダクタを導入頂いたソニー株式会社仙台テクノロジーセンターにおいて、第三者(大学ほか)による性能検証評価を 2012 年度より実施している⁽⁵⁾。対象熱源システムは 500USRt (1USRt=3.516kW) のインバーターターボ冷凍機2台を有するシステムであり、全ての補機にインバータが搭載されている(図6)。

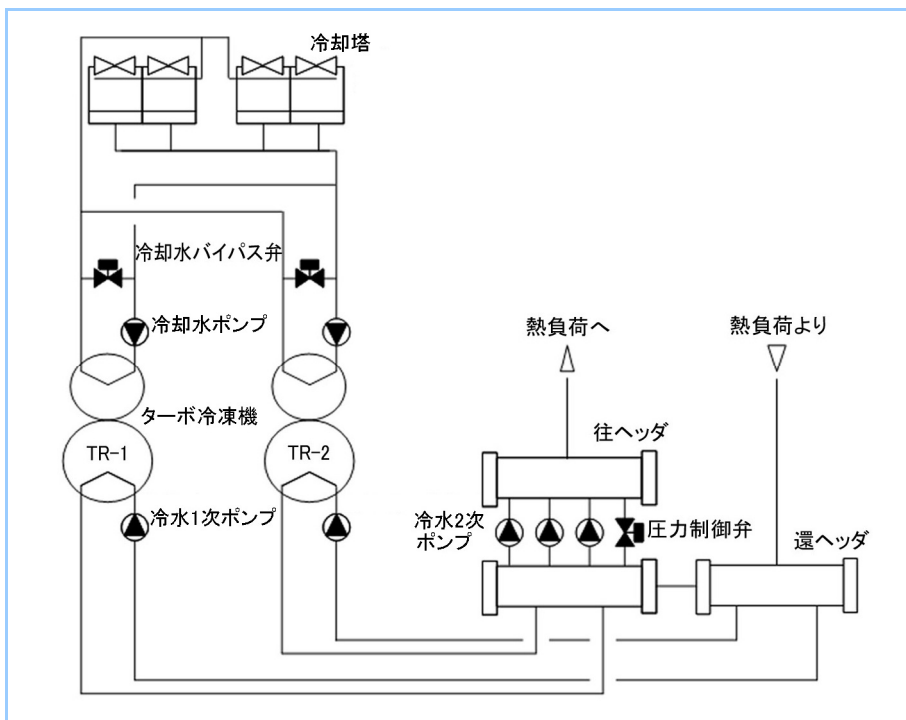


図6 ソニー(株)仙台テクノロジーセンターの熱源システム系統図

検証データを評価した結果、2012 年度には年平均システム COP 7.7^{注3)}という高効率な結果が得られた。リニューアル前も先鋭的な熱源システム(2004 年度に年平均システム COP5.9)⁽⁶⁾であったが、更に 23%の省エネとなっている。特に、外気温度が下がり熱負荷も低くなる冬期に性能差が明らかになっており、エネコンダクタによる低負荷時の制御が効果的であることが分かる(図7)。

注3) 冷凍機だけでなく補機まで含めた熱源システム全体の Coefficient of Performance

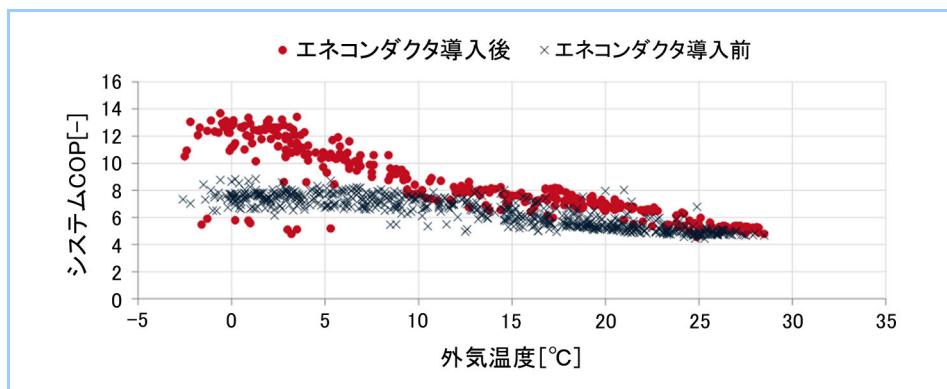


図7 エネコンダクタ導入前後の熱源システム COP

6. まとめ

エネコンダクタは、お客様にとって技術的なハードルが高かった熱源システムの最適化を容易に実現する省エネツールである。本稿で紹介した技術と実績は高く評価され、エネコンダクタは一般財団法人 省エネルギーセンター主催の“平成 25 年度省エネ大賞”の製品・ビジネスモデル部門で最高賞の“経済産業大臣賞(節電賞)”を受賞した。現在(2014 年3月末)、産業用途は半導体、飲料、化学工場など、民生用途はホテル、商業施設、病院など幅広いお客様に導入して頂いている。

当社は、導入時の最適化にとどまらず、従来から提供している WEB 遠隔監視システムを介して、インターネット上で熱源システムの計測データを表示し運転状況が把握できるサービスメニューを揃えるなど、省エネに取り組むお客様の運用をサポートする体制を整えている。

現状の製品は、当社製ターボ冷凍機 (GART シリーズ, AART シリーズ, ETI シリーズ) や空冷ヒートポンプ Voxcel シリーズからなる熱源システムに限定対応した制御プログラムとなっている。今後は吸収冷凍機や他社ターボ冷凍機を組み合わせたシステムへの適用を可能とし、汎用性が高くお客様の使い勝手が良い製品へと進化させていく予定である。

参考文献

- (1) K. Ueda et al., Energy Conservation Effects of Heat Source Systems for Business Use By Advanced Centrifugal Chillers, ASHRAE Transactions 2009 (2009) p.640-653
- (2) 上田憲治ほか, 民生業務用熱源システムにおける高効率ターボ冷凍機の使用法に関する研究(第3報) インバータターボ冷凍機の理論特性に合致した熱源システムの最適運転手法, 空気調和・冷凍連合講演会(2009-4)p.115-118
- (3) 桑原耕治ほか, ノード・リンクネットワーク表現による流体システムのシミュレーションプログラム PRANET, 三菱重工技報 VOL22No.6(1985)p.55-58
- (4) 二階堂智ほか, 熱源システム最適制御技術の実用化と信頼性向上に関する研究(第1報) 実用化と商業建物におけるフィールド検証結果, 平成 24 年空気調和・衛生工学会年次大会(2012),p.2673-2678
- (5) 田井佑典ほか, 最適制御技術を用いた熱源システムの性能評価手法の開発(第2報) 実測値の分析, 平成 25 年度空気調和・衛生工学会大会(2013)p.105-108
- (6) 桑原康浩ほか, インバータ冷凍機を導入した空調用熱源システムの省エネルギー性能と効率的運用方法 第1報-実測結果に基づく性能評価, 空気調和・衛生工学会論文集 No124(2007)p.11-18