

空調熱源システム用インバータ「FRENIC-Eco Plus シリーズ」

井上 幸雄 (いのうえ ゆきお)

来馬 守宏 (くるま もりひろ)

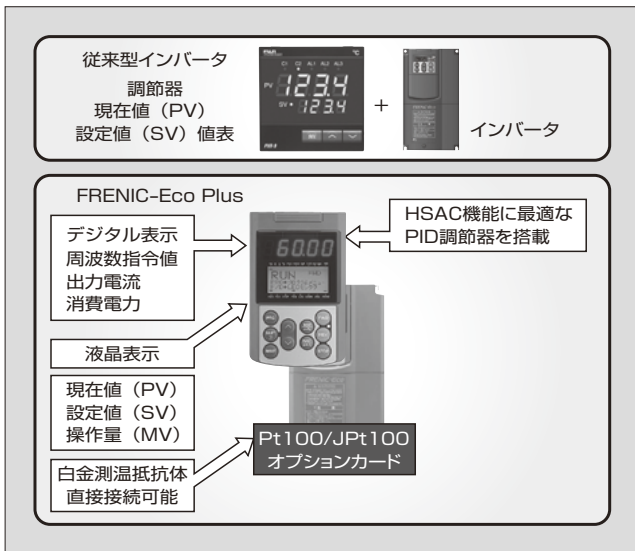
大山 勉 (おおやま つとむ)

特集(1)

1 まえがき

近年、世界的なエネルギー需給の危機的状況を背景に工場・事業所、運輸部門、家庭部門と多岐にわたる分野で資源の有効利用を図ることを目的として「エネルギーの使用の合理化に関する法律」(省エネ法)が施行されている。特にエネルギー資源の有効利用と地球温暖化防止という双方の要請に応えた省エネルギー対策を着実に実施することは、きわめて重要な課題となっている。通常のビルで消費するエネルギーの50～60%は、送風機や冷凍機などの空調関連のものといわれており、エネルギーを大量に消費していることからインバータ化により大きな効果が期待できる。しかしながらこれらの用途に導入されるのは汎用インバータがベースであり、その負荷特性に応じた2乗低減負荷対応や低めの過負荷耐量設定など、基本的かつ限定的な内容が中心であった。これらの状況を踏まえ温度、圧力、流量などの制御に最適なHSAC (Heat Source system for Air Conditioner: 空調用熱源システム)機能を開発し、インバータ「FRENIC-Eco Plus シリーズ」(図1)に搭載

図1 FRENIC-Eco Plus シリーズの特徴



した。このインバータを空調熱源システムに採用することで、大幅な省エネルギー効果が期待できる。

本稿では、HSAC機能に適したPID調節器と温度制御に必要な白金測温抵抗体 (Pt100/JPt100) 入力カードオプションを内蔵した FRENIC-Eco Plus の特徴と応用例を紹介する。

2 HSAC 機能の概要

HSAC機能として四つの制御モードを持っている。以下にこれらのモードを示す。

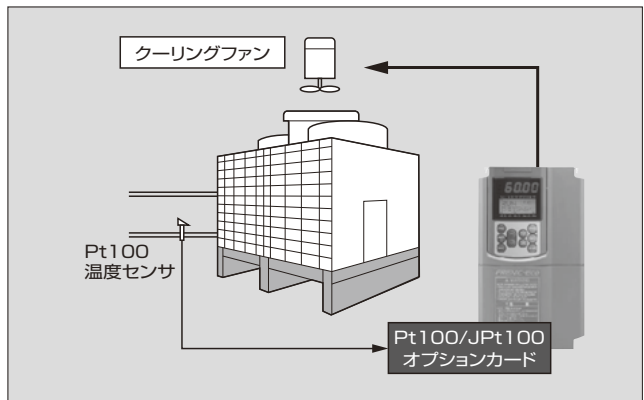
- モード1: 温度・圧力・差圧・流量の一定制御
- モード2: 推定末端圧制御 (リニアライズ機能付き)
- モード3: 比例運転制御 (補正制御)
- モード4: 温度差一定制御・圧力差一定制御

各動作モードの特徴および応用例について、以下に述べる。

2.1 温度・圧力・差圧・流量の一定制御モード

このモードは、インバータに内蔵したPID調節器で、温度・圧力・差圧・流量を一定に制御するモードである。図2に、応用例を示す。このモードは、冷却塔クーリングファンの温度制御、給気ファン制御、二酸化炭素 (CO₂)

図2 温度一定制御モード使用例



井上 幸雄

可変速駆動機器応用システムのエンジニアリング業務に従事。現在、富士電機機器制御株式会社営業本部システム技術統括部システム技術第一部。



来馬 守宏

可変速駆動装置の開発・設計に従事。現在、富士電機機器制御株式会社生産本部システム機器事業部インバータ開発生産センター駆動設計部。



大山 勉

可変速駆動装置の開発・設計に従事。現在、富士電機機器制御株式会社生産本部システム機器事業部インバータ開発生産センター制御設計部。

濃度制御などに使用する。PID 制御による変流量制御のほか、PID 制御をキャンセルし、多段周波数設定（一定速運転）による定流量制御運転に切り換えることも可能である。

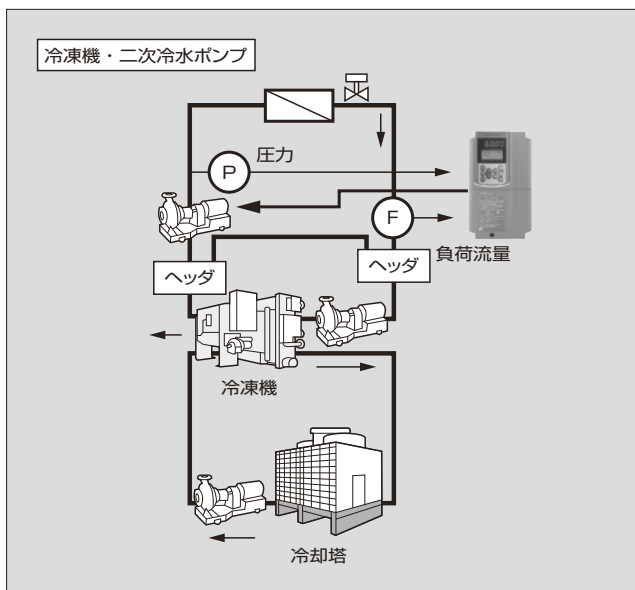
2.2 推定末端圧制御（リニアライズ機能付き）モード

このモードは、検出した負荷流量から目標圧力を推定し、目標圧力（推定値）と圧力検出値（フィードバック）とでPID 制御を行う。目標圧力を推定して制御することから推定末端圧制御と呼ばれている。そして、冷凍機の二次冷水空調熱源システムなどに採用されており、高稼働時の給水ポンプなどの運転に最適なモードである。図3に、その応用例を示す。これらのシステムは、通常、夏冬の高稼働時には多量の冷温水を必要とし、春秋の低稼働時には少量で済むなど、季節や昼夜で、必要な冷温水の量が変動する。高稼働時に合わせ送出圧一定制御で運転を続けると、低稼働時には不要な圧力を末端にかけることになり、ポンプが無駄な電力を消費する。また、送水管の管路損失は配管の長さや形状のほか、管内流速（流量 Q ）の約2乗に比例して変化する。そのため、管路損失が比較的大きな配管系統ではポンプの送水圧を水量に応じて変える推定末端圧制御を行うことで、現状の空調の快適さを損なうことなく無駄な電力を大幅に削減することができる。また、少流量域ではポンプの回転速度をさらに低くすることができるので、大きな省エネルギー効果が得られる。

この制御のキーポイントは、負荷流量から目標圧力を推定するリニアライズ機能にある。FRENIC-Eco Plus シリーズは、HSAC 機能の一つとして、この機能を業界で初めてインバータに内蔵した。以下にリニアライズ機能を用いた推定末端圧制御の概要を説明する。

図4に、ポンプの流量-圧力特性カーブと動作点の例を示す。図に示すリニアライズ特性は、設定した動作目標点(①, ②, ③)を基に、負荷流量から目標圧力を求め、この目標圧力に対してPID 制御を行うものである。リニア

図3 推定末端圧制御モード



ライズ特性は、流量 Q と圧力 P の関係を式(1)で近似した。

$$P = aQ^2 + bQ + c \dots\dots\dots(1)$$

P : 圧力

Q : 流量

a, b, c : システムごとに決まる定数

定数 a, b, c は、自動計算機能で設定できる。目標とする特性カーブ上に動作点を3点定め、その3点のデータ（流量、圧力）をインバータの自動計算ファンクションへ入力すると自動的に計算され、定数 a, b, c が設定される。また、手入力による設定も可能である。設備の立上げ時に、この近似関数の定数 a, b, c を設定しておくこと、流量信号から末端圧を推定するリニアライズが起動され、圧力指令が求められる。その圧力指令と、圧力のフィードバックが一致するようにPID 演算を行い、推定末端圧の制御が行われる。また、外部からの信号で圧力指令をリニアライズ出力からあらかじめ設定されている内部設定値へ切り換えることもできる。なお、インバータとパソコン間にローダケーブルを接続し、ローダソフトウェアを利用し、パソコン画面上で流量-圧力特性を確認しながらリニアライズ特性を変更することもできる。

図4 ポンプの流量-圧力特性カーブと動作点

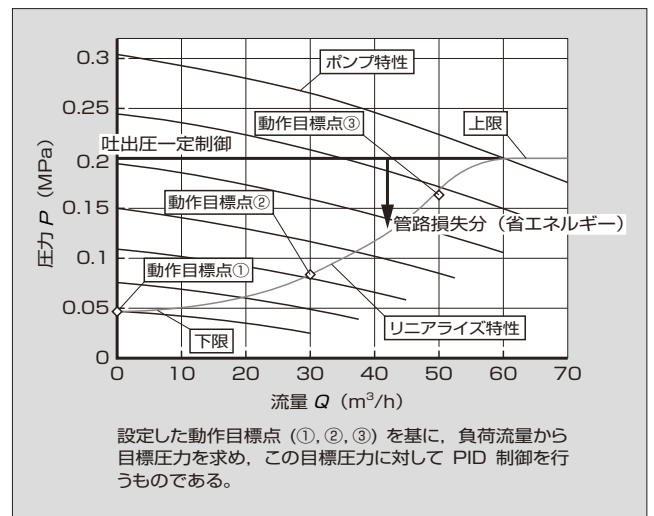
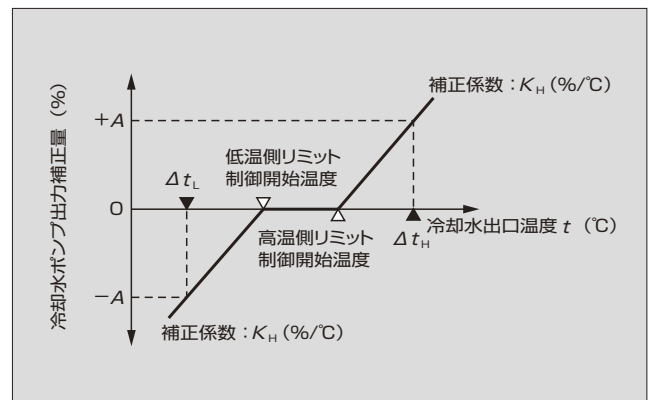


図5 冷却水ポンプの出力補正の温度-補正量特性



2.3 比例運転制御（補正制御）モード

このモードは、上位ポンプを駆動するインバータの出力周波数に比例した制御を行うモードである。FRENIC-Eco Plus では、比例制御に加えて補正制御（リミット制御）を具備している。制御対象の冷却水温度が「リミット制御開始温度」（設定値）を上（下）回った場合は、その温度差に比例した出力補正量を現在の制御出力に加（減）算して冷却水の送水量を補正する。これにより冷凍機の冷却水を制御するポンプ設備において、通常の制御範囲を超えた場合に、制御範囲内に戻す制御を行うことができる。図 5 に冷却水の出口温度により、冷却水ポンプの出力を補正する際の温度 - 補正量特性を示す。

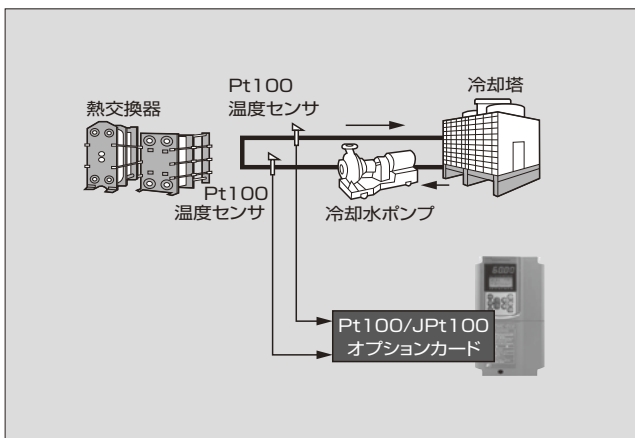
2.4 温度差一定制御・圧力差一定制御モード

このモードは、二つのプロセス量の偏差をフィードバック値として、PID 制御を行うモードである。冷凍機・熱交換器・押出機などに応用されており、冷却水の機器出口側と機器入口側の温度偏差を一定にする制御（図 6）である。二つのプロセス量の偏差を指令値どおりに保つ制御（温度差一定）のほか、外部入力によりプロセス量一定制御（温度一定）への切換も可能である。さらに、圧力差一定制御など、温度以外の制御対象への応用も可能である。

2.5 定流量制御、起動時・停止時安定化制御

一般に空調システムでは、起動時や負荷急変時に即応性が求められる。このような場合には、外部接点信号により、PID 制御をキャンセルして、多段周波数設定による定流量運転を行う。また、ファンクションの設定により、起動時安定化制御や停止時安定化制御も行える。起動時安定化制御とは図 7 (a) に示すように、起動時に、あらかじめ設定した周波数で一定時間の安定化運転を行い、システムが通常の制御に移行できる状態となってから変流量制御（PID 制御）などの各モード別の通常制御を行うものである。一方、停止時安定化制御とは図 7 (b) に示すように、停止時に、あらかじめ設定した周波数で一定時間の運転を継続した後、停止する制御である。これらの機能はインバータのファン

図 6 温度差一定制御モード



クションを設定するだけで実現でき、外部あるいは上位コントローラに設けられていたタイマなどの回路が削減できる。さらに、安定化制御中はその旨を示すトランジスタ信号が出力されるので、PID 制御など通常の制御モードでないことを外部に知らせることができる。

2.6 その他の充実した機能

(1) センサ異常出力

センサからのフィードバック信号が過小となった場合、センサ信号過小として、または、過大となった場合にはセンサ信号過大として、それぞれトランジスタ出力がオンされる。センサ信号過小と判断されるのは、4 ~ 20 mA 信号が 2 mA 以下、または電圧信号が 0.5 V 以下の状態が、0.1 秒以上継続した場合である。一方、センサ信号過大と判断されるのは、4 ~ 20 mA 信号が 22 mA 以上、または電圧信号が 5.5 V 以上の状態が 0.1 秒以上継続した場合である。

(2) PID 出力リミッタ、警報出力

インバータ内部における PID 機能では、上下限のリミット機能や外部信号によるホールド機能を持っている。さらに、PID 機能の入力・出力に対してレベルを設定し、警報

図 7 安定化制御

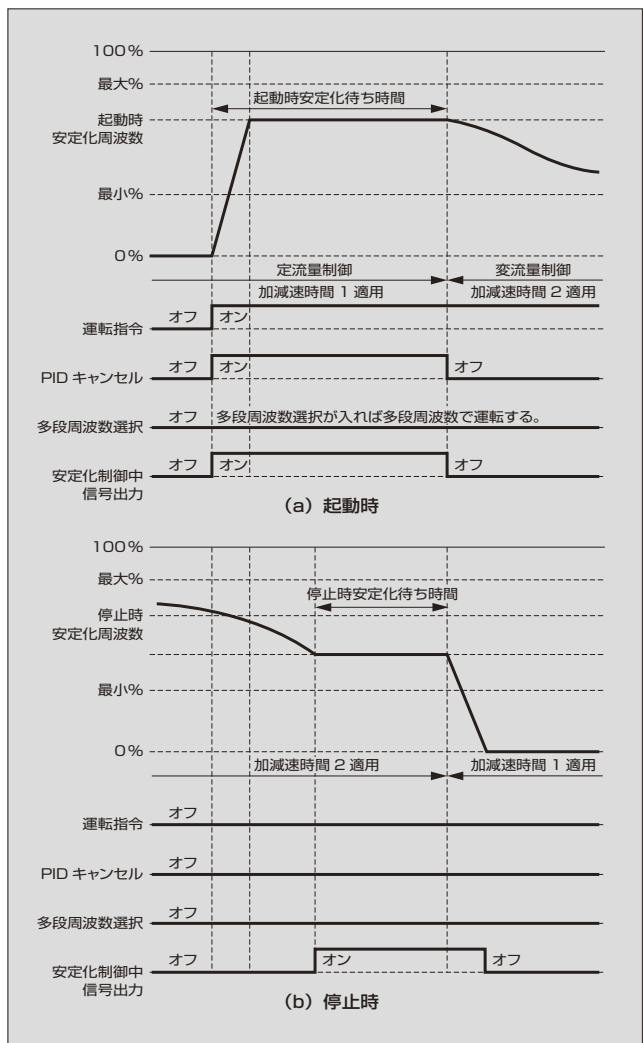


図8 多機能表示器（液晶表示画面）

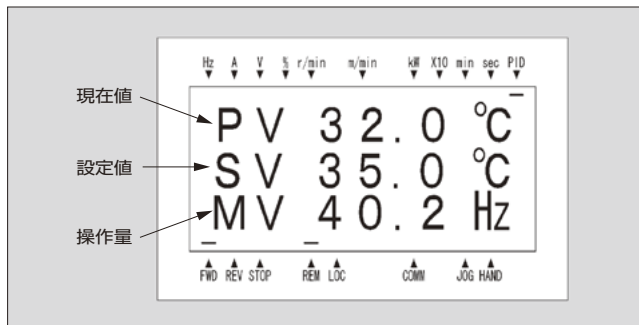


表1 仕様

項目	仕様
型式	OPC-F1-PT
入力チャンネル数	2チャンネル
接続可能な測温抵抗体	白金測温抵抗体 (Pt100/JPt100) 3線式
Pt100通電電流	1 mA
測定温度範囲	-20~80℃
分解能	0.1℃
許容入力配線抵抗	10Ω以下
サンプリング周期	0.2s/2チャンネル
入力フィルタ時間	ハードウェア：0.05s以下 デジタルフィルタ時間：1~100s
外部接続	端子台M3ねじ
異常検出	センサの断線や短絡検出が可能

として、トランジスタ出力をオンし外部に知らせることができる。この警報出力は2系統の設定が可能である。

FRENIC-Eco Plus では、専用の多機能表示器を採用し、現在値 (PV)、設定値 (SV)、操作量 (MV) を同時に表示できる。図8に多機能表示画面を示すが、液晶にPV、SV、MV が大きな文字で表示され、現在の制御状態が一目で分かるようになっている。

③ 白金測温抵抗体入力カード（オプション）

白金測温抵抗体などの高精度な温度センサを用いてPID制御を行う場合、温度センサをインバータに直接接続することができないため、温度変換器やPLCなどを用いて温度を電圧または電流に変換した後、インバータに入力する必要があった。そのため、インバータにPID調節器が内蔵されていてもこれらの変換器を新たに設置する必要があるためコスト高となり、中小規模の熱源システムへの導入は難しい状況にあった。以上の状況から、幅広い熱源システムへの応用を狙い、高精度汎用計測で幅広く使用されているPt100/JPt100に対応する入力カードを内蔵オプションとして開発した。この素子は、温度と抵抗値の関係がリニアに変化し、経時変化が少ない白金の測温素子である。このカードの開発で計装システムのコストダウンを図った。なお、本入力カードはRS-485通信回路も搭載しているためパソコンやPLCなどのホスト機器と接続し、インバータをアクチュエータとしてコントロールすることが可能である。表1に仕様を示す。

④ あとがき

空調熱源システム用インバータ「FRENIC-Eco Plus シリーズ」の特徴について紹介した。空調熱源分野では今後もよりいっそうの省エネルギーが進むと推測でき、FRENIC-Eco Plus シリーズのHSAC機能がこの分野で貢献するものと確信している。今後も空調熱源システムの動向を見据え、さらなる省エネルギーに寄与する製品の開発・改良に努めていく所存である。

参考文献

- (1) 藤田光悦. インバータの選定と正しい使い方. 省エネルギー. vol.58, no.10, 2006, p.48-51.