

省エネルギーを実現する空調用インバータ

Inverters for Air Conditioners

加藤 喬* Takashi Katô

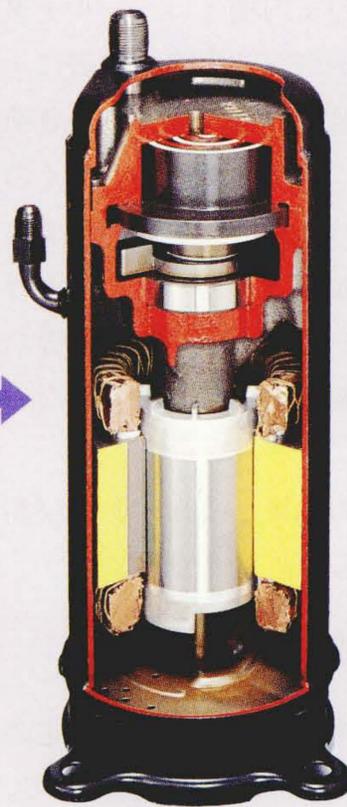
石井 誠** Makoto Ishii



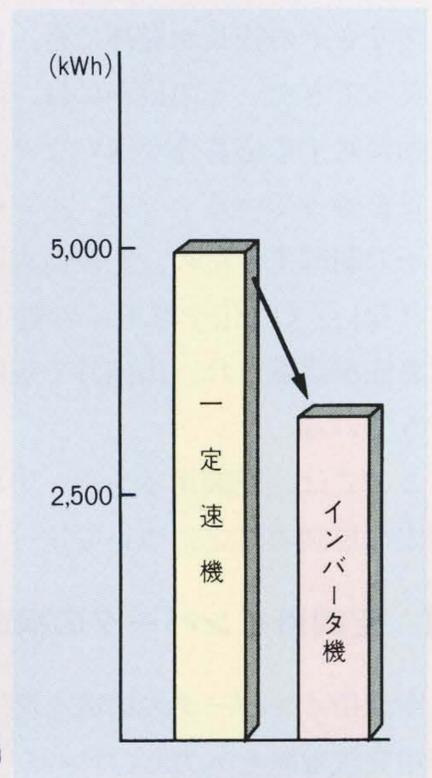
ルームエアコン



パッケージエアコン



インバータスクロール
圧縮機



年間消費電力量

インバータエアコンによる省エネルギーの効果

エアコンの設置例とインバータスクロール圧縮機のカットモデルを写真で示す。右図でわかるように、インバータエアコン(同図ではパッケージエアコン5馬力の例)は年間消費電力を大幅に削減し、省エネルギーに貢献できる。

インバータエアコン(エアコンディショナ)は昭和50年代末から市場に登場し、現在ではルームエアコンの65%、パッケージエアコンの25%を占めるようになった。その大きな効果は省エネルギーである。圧縮機の回転数を制御することによって負荷の大きさにマッチした容量で運転することが可能なため、一定速機と比べると年間の電力量を大幅に低減することができる。

用いられる圧縮機は、現在、スクロール圧縮機が主流であり、これは日立製作所が1983年、世界で最

初にパッケージエアコン用に製品化したものである。このスクロール圧縮機と組み合わせることにより、ルームエアコンではオール直流化方式、パッケージエアコンでは電流最小化制御などの制御技術を用いてエアコンの性能向上を図っている。

1994年10月にインバータから発生する高調波量に対するガイドライン値が明確になった。そのため、ルームエアコン、パッケージエアコンとも「家電・汎用品ガイドライン」を適用もしくは準用することになった。

* 日立製作所 空調システム事業部 ** 日立製作所 冷熱事業部

1 はじめに

インバータ制御は1983年ごろからエアコンに積極的に導入されてきた。その技術的特長はスクロール圧縮機をインバータで容量制御することで、負荷にマッチした運転が可能となる。これは一定速機と比べると、運転時間が長くなればなるほど省エネルギー効果が高いため、ヒートポンプに適している。

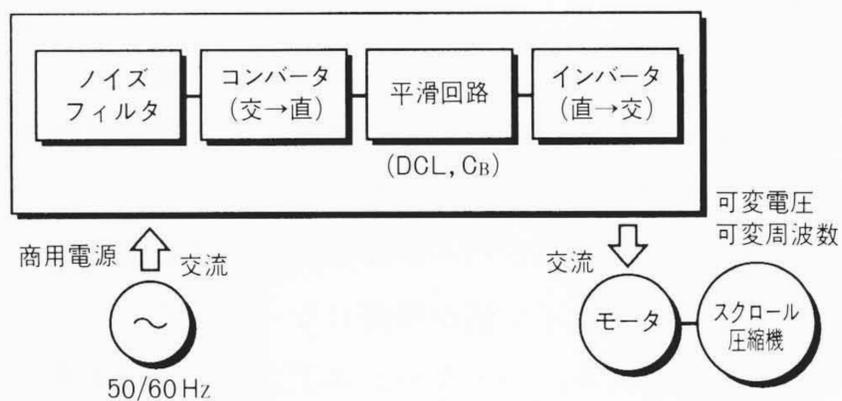
また、1台の室外機に複数台の室内機というマルチタイプでもその特長が発揮でき、個別空調方式の伸展に役買って来た。そのほかには、温度むらが少ない、負荷変動に対する応答性が速いなど、快適性の面でも多くの特長を持っている。一方、インバータはパワーを半導体素子で制御するため、電源高調波やノイズの発生が避けられない。OA化や家電品の電子化と併せてその影響の重要性が認識され、国内外で規制化の動きも活発となってきている。

ここでは、空調用インバータの効果と技術、および高調波の規制の対応について述べる。

2 空調用インバータの構成

空調用インバータの構成を図1に示す。周波数一定の商用交流電源を入力し、コンバータ部で直流に変換する。この直流を平滑し、インバータ部で可変周波数、可変電圧の交流に変換し、圧縮機用モータの回転数を制御することで容量を制御する。インバータ部は、パワートランジスタかIGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)などでスイッチングを行うため、動作時には高周波ノイズが発生する。

これらのノイズが外部に出るのを低減するためのノイ



注：略語説明 DCL (直流リアクトル)
CB (平滑コンデンサ)

図1 空調用インバータの構成

インバータからのノイズ、高調波低減のためのフィルタ、およびリアクトルが標準装備されている。

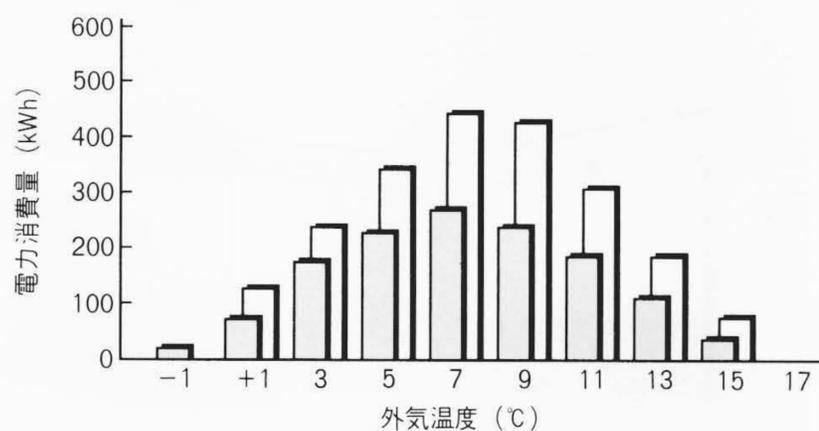
ズフィルタや、高調波を低減するための直流リアクトルがエアコンには標準装備されている。

3 インバータ制御の効果¹⁾

エアコンの年間省エネルギー消費効率SEER(Seasonal Energy Efficiency Ratio)は次式で表される。

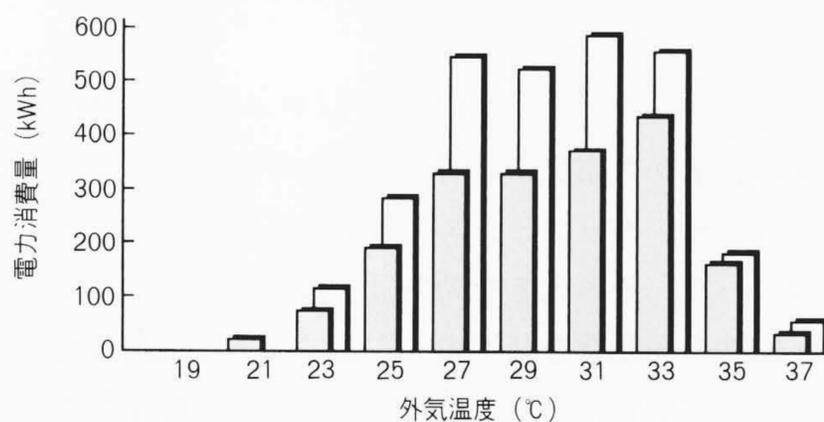
$$SEER = \frac{\text{暖房・冷房の総負荷}}{\text{年間総電力消費量}}$$

あるモデルケース(5馬力パッケージエアコン)でのインバータエアコンと一定速エアコンとの外気温ごとの電力消費量を図2に示す。この例では年間総負荷を10,590 kWhとし、同図から求めた暖房・冷房の消費電力量を加えて年間総電力消費として上式に代入する。その結果、インバータエアコンのSEERは3.23であり、一定速エアコンの2.18と比べると48%も向上しており、大きな省エネルギー効果が期待できる。



暖房電力消費量：1,356 kWh(インバータ機)
：2,083 kWh(一定速機)

(a) 暖房時



冷房電力消費量：1,922 kWh(インバータ機)
：2,775 kWh(一定速機)

(b) 冷房時

注：□ (インバータエアコン), □ (標準機エアコン)

図2 電力消費量

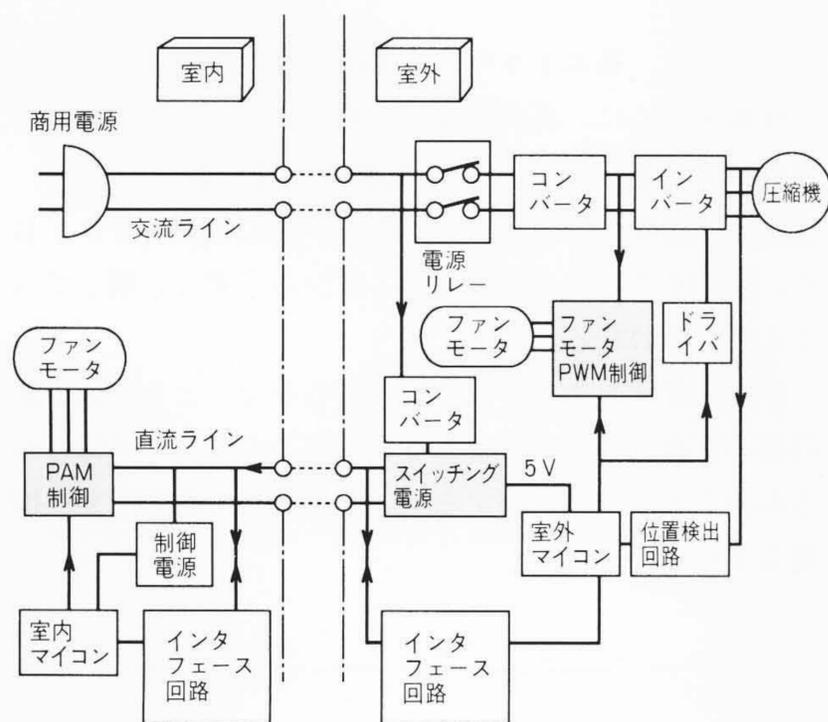
外気温度をパラメータに電力消費量を測定したもので、全域にわたってインバータ機の電力消費量が少ないことがわかる。

インバータを用いると50 Hz, 60 Hzにかかわらず、全国どこでも能力が同じとなる。また、容量制御幅は1 : 6、周波数変化単位は1 Hzで制御するため、(1) 温湿度の変化幅が小さい、(2) 冷暖房時の立上りが速い、(3) 暖房能力が一定速に比べて高いなどの効果も期待できる。

4 特長あるインバータ技術

4.1 全直流インバータ制御システム

日立のルームエアコンは、昭和58年に独自のDCインバータを最初に開発して、10%もの効率向上を実現した。その後、圧縮機のトルク変動による振動を抑制するトルク制御方式インバータを開発し、高効率で低振動のインバータルームエアコンを製品化した。平成6年冷凍年度(平成5年10月~平成6年9月)製品から採用した全直流インバータ制御システムは、インバータエアコンの発展型として、ファンや周辺回路の省電力化による効率向上を目的として開発したものである。このため、(1) 室内外のファンにDCモータを採用する、(2) 従来の室内外機それぞれで交流電源を直流化する制御方式を見直して、室外機に電源回路を集約することとした。室内機用電源が室外機から直流電源を送電することが可能なため、室内外の伝送信号をこの直流電源に重畳する方式が開発できた。このシリアル信号は、双方向に送信することができる。システム構成を図3に示す。室外機の圧縮機モータ



注：略語説明 PAM (振幅制御)
PWM (パルス幅制御)

図3 全直流インバータ制御システムの構成
室外機側ですべての直流電源を作成し、室内にも供給するシステムを示したものである。

とファンモータは、高圧PWM方式インバータによって回転数をおおの制御し、磁極位置ではモータの端子電圧を検出する日立製作所独自のセンサレス方式を採用している。また、室内機のファンモータは、室外機から送電された直流電源(35 V)をベースとして低圧PAM方式インバータで回転数を制御する。

以上の構成によって5%の効率向上を達成するとともに、室内機から電源回路を削除したことで、室内電気品の容積を従来の $\frac{1}{3}$ 、重さを $\frac{1}{3}$ にコンパクト化することができた。

4.2 電流最小化制御方式²⁾

日立のパッケージエアコンの高性能化を実現するうえで、スクロール圧縮機駆動用インバータの課題は、(1) 低騒音化、(2) 高トルク化、(3) 高効率化の3点である。低騒音化に対しては、高速のIGBT素子を用いてキャリア周波数を高く(数キロヘルツ~20 kHz)することにより、高トルク化に対してはセンサレスベクトル制御を採用することによって実現できた。しかし、センサレスベクトル制御は励磁電流を一定に制御しているため、負荷に比例したトルク電流が流れ、これら二つの電流のベクトル和としてのモータ(誘導電動機)電流が特に重負荷時に大きくなる。電流が大きいことによる障害により、インバータとモータの効率の低下による消費電力の増加、モータ温度上昇に伴う圧縮機の効率低下、さらにはインバータの大容量化やこれに伴う放熱対策など、さまざまな問題が生じる。このためモータ電流が最小になるような制御方式を開発し、高効率化を実現した。

電流最小化制御の原理を図4に示す。外乱 d (負荷, 周波数)に対する被制御量 f (モータ電流)の極値を探す方法が極値探索法である。この系の操作量 m (出力電圧指令)を変えると、モータ巻線電流の大きさが変化し、これの最小値を与える出力電圧が生じる。実際にはサンプリングタイムごとにモータ電流を検出し、前回の検出値と比較して最適の電圧 m を探索していくが、負荷変化やノ

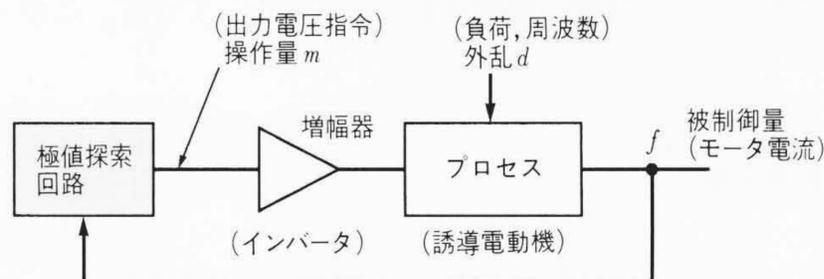


図4 電流最小化制御の原理
外乱 d に対する被制御量 f の極値(最小値)を探す制御の考え方を示す。

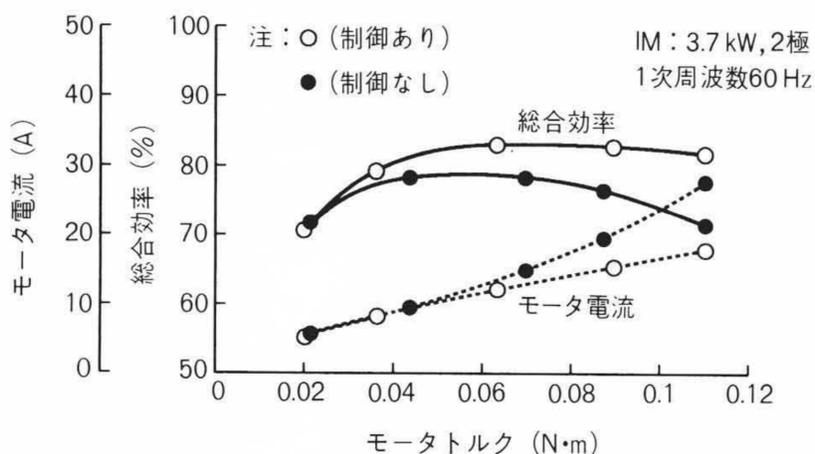


図5 電流最小化制御の効果
モータトルク0.11 N·mで電流が8 A減少し、効率が約10%上昇していることがわかる。

イズ・リップルの影響などを考慮しないと正しい値が得られない。このため、検出した f を直流量に変換し、この電流とこれに対応する m の多数サンプリングの値の比較結果により、 m の変動領域を決定する。この領域内で m を変化させながら、 f が最小となる方向に変動領域を移動させ、かつ m の指令直前に f を検出して、 m と f の対応づけを図るなどのくふうをすることで、負荷の変化に強い日立製作所独自の方式を開発した。

1次周波数60 Hz運転時でのモータ電流および効率について、この制御のある場合とない場合の効果を比較したものを図5に示す。モータ負荷が大きくなるほど効果がある。

5 高調波規制対応

ルームエアコンの回路を図6(a)に、パッケージエアコンの高調波対応回路を同図(b)に示す。日立製作所はインバータエアコン発売当初から、リアクトル(L)を回路に内蔵して高調波対応や力率の改善を図ってきた。この方式では、第5高調波で基本波の30%程度に抑えることができるので、「家電・汎用品高調波抑制対策ガイドライン」の限度値³⁾をクリアすることができる。しかし600 Wを超えるエアコンは、暫定値として1999年までの有効期限となっている。また、IEC(国際電気標準会議)では1996年1月1日から規制されることになっている。この

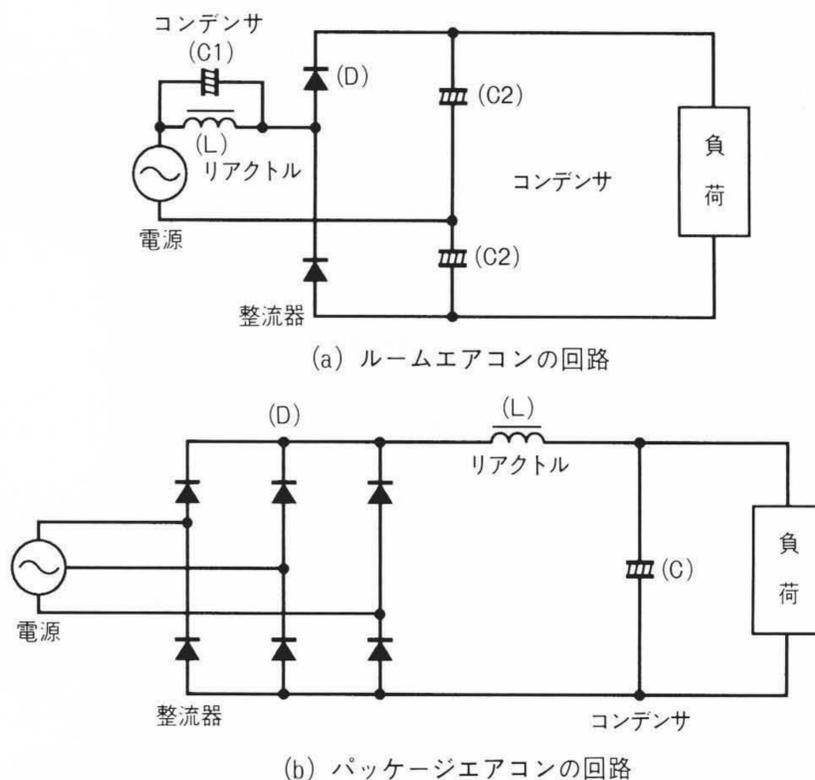


図6 高調波対応回路
ルームエアコンの回路(a)でLをAC側に、パッケージエアコンの回路(b)でLをDC側に入れて高調波を減らしている。

ため、現行のリアクトル方式ではこれらの規制をクリアすることが難しいため、アクティブコンバータ方式を開発して対応する予定である。なお、パッケージエアコンは「家電・汎用品高調波抑制対策ガイドライン」の300 V 20 Aを超える製品もあるため、日本冷凍空調工業会の自主ガイドライン(1995年2月)に沿って運用していく。

6 おわりに

ここでは、省エネルギーを実現する空調用インバータの技術を中心に、高調波規制の動向について述べた。エアコンの市場はバブル経済崩壊後急速に縮まったが、1994年の猛暑の影響によって明るい兆しも見えてきており、空調そのものの重要性はこれからもずっと増していくことと思われる。

日立製作所および日立グループ各社は、より快適で質の高い空調空間が提供できるように、インバータはもちろんのこと、空調に関するシステム技術の研究開発を推進していく。

参考文献

1) 加藤：インバータエアコンの導入について、ヒートポンプによる冷暖房, No.33, pp.33~41(平成元年)
2) 遠藤, 外：誘導電動機の電流最小化制御方式の検討, 平成

3年電気学会全国大会
3) 通商産業省資源エネルギー庁公益事業部：家電・汎用品高調波抑制対策ガイドライン