

## 論文の内容の要旨

### 論文題目 ヒートポンプ空調機の性能評価法に関する研究

氏 名 堀江 勇人

近年、地球温暖化問題により低炭素社会へのシフトが重要になっている。その為には、新エネルギーの開発と共に、さらなる省エネを実現する必要がある。ヒートポンプは、投入エネルギーの数倍の熱エネルギーを移動させることが出来るので、環境と経済の両面で普及を促進が期待されている。ヒートポンプ空調機は冷媒の状態変化によって、冷媒と空気が熱交換し、室内の温度・湿度をコントロールする装置である。日本では一般家庭や事務所などでも用いられ、広く普及している。

ヒートポンプの性能の指標は、主にエネルギー効率(COP)である。従来のヒートポンプ空調機の性能評価法は冷暖房それぞれ、ある条件下での COP を用いて性能を評価していた。しかしヒートポンプ空調機が使用される環境は、同じ夏期でも外気温度によってヒートポンプ空調機が処理すべき負荷が変化する為、多様である。また、インバーター搭載の圧縮機が一般的になった為、外気や室内の温湿度条件によって柔軟に能力制御が可能になった。よって、より実態に近い性能を評価するには、負荷の変化による COP の変化を考慮する必要が生じてきた。そこで新たに、期間効率と呼ばれる指標が用いられるようになった。期間効率は、ヒートポンプが使用される期間（夏期・冬期）を通じたエネルギー効率を表す。ヒートポンプ空調機の性能評価法は JIS 規格で定められており、冷暖房合わせて 5 点の実験結果で負荷変動による COP 変化が推算でき、さらに年間のエネルギー効率(APF)を算出することができる。この評価法により比較的短時間で、簡単に APF の評価を行うことができるようになった。

現行の性能評価法では、ヒートポンプ空調機が処理すべき負荷が小さくなればなるほど、COP

が上昇するような評価法になっている。しかしながら、実際にはインバーター搭載のヒートポンプ空調機でも、ある一定の負荷よりも小さい条件下では圧縮機が連続運転を行えず、断続運転してしまう事が知られている。断続運転時には、起動時に冷媒の状態を再び回復させなければならぬので、消費エネルギーが大きくなる。その結果、断続運転時には COP が下がる。JIS 規格によると、ヒートポンプ空調機が最も使用されている負荷の範囲は、定格能力に等しい負荷を 100%とした場合、50%以下の領域であることから、性能評価法による低負荷域での COP 推算が実際の COP とかい離していると、APF に大きな差異を生む原因となる。このように、現行の性能評価法は低負荷域における断続運転の発生による COP 低下をほとんど考慮していない。

そこで、本論文ではパッケージエアコン、ガスエンジンヒートポンプ(GHP)、ルームエアコン(RAC)を対象に、低負荷域における COP 低下を定量的に評価し、さらに新たな性能評価法を提案することを目的とする。

研究手法としては、まずカロリーメータを用いた実験を行い、COP 低下を評価する。次に、現行の性能評価法と低負荷域での COP 低下がある場合の APF の差異を明らかにする。さらに、複数の新評価法を考え、比較した上で最適な評価法を提案する。新評価法を考える際には、 $C_D$  値を導入する。

$C_D$  値とは、断続運転の際の COP が連続運転時の COP と比べ、どの程度低下するかを示す値である。現行の JIS には 0.25 と定められているが、インバーター搭載のヒートポンプ空調機については  $C_D$  値が適用されない場合がほとんどである。

まず、パッケージエアコンについて述べる。パッケージエアコンについては、先行研究で行われた部分負荷試験の実験データを用いて、現行評価法と実験データから求まる APF の比較を行った。先行研究で実験対象になったのは、室内機と室外機が 1 台ずつ備わっている機種が 3 種類と、室外機 1 台に対して、室内機が 4 台備わっている機種が 2 種類である。その結果、JIS 法(JIS B 8616:2006)から求まる APF の方が、部分負荷試験の結果から求まる APF よりも 5~26%大きかった。主な原因は、低負荷域における COP 低下であった。次に 6 つの評価法を考案し、部分負荷試験から求まる APF を基準値として、それぞれの評価法から APF を算出し、その偏差を求めた。ここで最適な評価法を選定する際に、当然ながら部分負荷試験を多く用いるような評価法は基準値との偏差が小さくなる。しかし、APF を評価する際に徒に実験点を増やすのは実用上好ましくないため、実験点数と偏差を考慮して最適な評価法を決定した。その結果、50%負荷試験を含む 5 点を使い、最適化した  $C_D$  値を用いた評価法を新たな評価法として提案した。ここで、最適化した  $C_D$  値とは、基準 APF と偏差が最も小さくなるように定めた  $C_D$  値である。提案した評価法から求まる APF と基準 APF の偏差は、平均 3%程度であった。このように、パッケージエアコンを対象に部分負荷試験が行われた先行研究のデータを基に、現行評価法から求まる APF との差異を定量的に評価し、さらに新たな評価法を提案した。

次に、GHP について述べる。GHP については著者の修士論文で取得した部分負荷試験の実験データを基に、パッケージエアコンと同様の解析を行った。即ち、JIS(JIS B 8627-1:2006)法から求まる APF と、部分負荷試験の結果から得られる APF の差異を定量的に明らかにし、新たな評価法を提案することである。対象となった GHP は、いずれも室外機 1 台に対して室内機が 4 台備わっている機種であり、冷房定格能力が 56kW であった。なお、3 つの異なるメーカーの機器が選ばれた。部分負荷試験の結果から求まる APF を基準値とすると、JIS 法から求まる APF は、27~38%大きかった。JIS 法が APF を高く見積もる原因は、パッケージエアコンと同様に低負荷域での断続運転による COP 低下が大きかったからである。パッケージエアコンよりも、低負荷域における COP 低下が顕著であった。次に、パッケージエアコンと同様に 6 つの評価法を

考案し、それぞれから求まる APF と基準 APF を比較した。その結果、50%負荷試験を含む 5 点の実験結果と、 $C_D$  値を 0.25 とした評価法が最適であった為、これを新たな評価法とした。この評価法による APF 推算値は、基準 APF との偏差が平均 4%程度となり、大幅な改善が見られた。このように、パッケージエアコンと同様に GHP を対象とした部分負荷試験の実験データを基に、現行評価法から求まる APF との差異を定量的に評価し、さらに新たな評価法を提案した。

最後に、RAC について述べる。パッケージエアコン、GHP と同様に RAC についても JIS(JIS C 9612 : 2005)法から求まる APF と、部分負荷試験の結果から得られる APF の差異を定量的に明らかにした。RAC については最適な評価法の提案よりも、 $C_D$  値に注目して解析を行った。パッケージエアコン、GHP の部分負荷試験の結果を解析した結果、 $C_D$  値が機種によってばらつきがあり、JIS に規定されている 0.25 という値の根拠が得られなかったからである。

RAC も冷房定格能力が同じで、メーカーが異なる 3 機種について部分負荷試験を行った。パッケージエアコンと GHP と同様に部分負荷試験の結果から求まる APF を基準値として JIS 法から求まる APF との偏差を計算した結果、偏差は+3~13%であった。また、 $C_D$  値を部分負荷試験結果から求めると、0~0.64 と幅広い値を示した。

本研究では、パッケージエアコン、GHP、RAC の三つのヒートポンプ空調機を対象に部分負荷試験を行い、得られた実験データを用いて現行の性能評価法から求まる APF と、部分負荷試験結果を基に得られる低負荷域での COP 低下を考慮した APF を定量的に評価した。その結果、部分負荷試験から求まる APF を基準として、JIS 法により推算された APF はパッケージエアコンでは+5~26%、GHP では+27~38%、RAC では+3~13%の偏差を示した。また、 $C_D$  値についても定量的に考察し、0~0.64 と広範な値を得た。パッケージエアコンと GHP に関しては、新評価法を提案し、基準 APF との偏差をパッケージエアコンでは平均 3%、GHP については平均 4%まで小さくできた。