

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 14 日現在

機関番号：24402

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420167

研究課題名(和文) 温暖化・節電時代に適合した蒸気圧縮式空冷空調機の実性能簡易評価法の開発

研究課題名(英文) Development of the actual performance simple evaluation method of vapor compression air-cooled air conditioners suitable to warming and power saving era

研究代表者

西村 伸也 (NISHIMURA, NOBUYA)

大阪市立大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：30189310

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円

研究成果の概要(和文)：空調機の大半を占める個別分散型蒸気圧縮式空冷空調機を対象に、実際の運転現場における実性能を、簡便かつ正確に測定可能な実性能簡易評価法の開発を行った。結果は以下の通りである。

(1)室内機ならびに室外機を循環する冷媒温度の多点測定を行い、冷媒温度のみから具体的な冷房サイクルを同定する実験的手法を開発した。(2)加速度センサーを用いた圧縮機回転数測定方法を開発、提案した手法により冷媒流量を正確に予測できることを実証した。(3)以上の手法により、室外機への水噴霧による性能回復効果を定量的に評価する測定装置の開発を進めている。

研究成果の概要(英文)：Actual performance simple evaluation method of vapor compression air-cooled air conditioners suitable to warming and power saving era has been developed experimentally.

At first, refrigerant's temperatures along heat transfer tubes at indoor heat exchanger and outdoor heat exchanger were measured precisely. From measurement results, pressure-enthalpy diagram was calculated, and the air conditioner's performances were predicted. Also, rotation speed of a hermetic type rotary compressor was measured by using an acceleration sensor. Then actual refrigerant flow rate was predicted based on the rotation speed of the compressor, furthermore air conditioner performance was calculated. Moreover, effect of water spray for an air conditioner's outdoor unit was revealed experimentally by the above measuring method.

研究分野：熱工学

キーワード：空調機 実性能 温暖化 節電 冷媒温度 冷媒流量 加速度センサー 水噴霧

1. 研究開始当初の背景

- (1) 地球温暖化ならびにヒートアイランド(都市温暖化)が進行する中で、民生部門においてエネルギー消費に占める割合の大きい空調機の省エネルギーが重要な課題の一つとなっていた。
- (2) 一方、東日本大地震以降の電力事情の逼迫から、空調機を含めて電力消費を抑える、節電が強く求められていた。

2. 研究の目的

夏期において全電力消費量の 35~40% を占める空調用電力消費の削減を最終的な目標とし、夏期高温時の空調機の実性能を定量的に評価可能な測定手法を確立する。また、空調分野において節電対策として導入されている空調機室外機への水噴霧などの対策技術の効果を定量的に評価し、有効な技術の普及促進を目指す。さらに、節電対策として、外気温に対する空調機性能を上記の測定結果ならびにシミュレーションにより関数化して、空調機の運転による電力消費の予測を可能な web データベースを構築する。

3. 研究の方法

2 に示した目的を達成するため、蒸気圧縮式空冷空調機の実性能簡易評価法の開発と、その手法を用いた検証実験に関して、以下の三つの項目について検討した。

(1) 冷媒温度測定法の開発

室内熱交換器ならびに室外熱交換器における伝熱管表面温度の多点測定から、蒸気圧縮式空冷空調機の冷凍サイクルを同定し空調機の性能を予測する「冷媒温度測定法」を開発する。

(2) 冷媒循環量のその場測定法の開発

三次元加速度センサーを適用した密閉型ロータリー圧縮機の回転数測定から冷媒循環量を正確に予測する「冷媒循環量のその場測定法」を開発する。

(3) ルームエアコンとビル用マルチエアコンの実性能のフィールド測定

以上の手法を用いて、住宅や業務用建物において、ルームエアコンならびに業務用空調機(ビル用マルチエアコン)の性能測定実験を行う。

4. 研究成果

(1) 冷媒温度測定法の開発

空気エンタルピー法による従来測定法現在、空調機の性能測定法として多用されているのが空気エンタルピー法である。室内機もしくは室外機を通過する空気の状態変化と風量より性能を算出する方法である。空気エンタルピー法では空気の温度、湿度、風量を正確に測定する必要がある。このうち風量を正確に測定することが特に難しく、実環境下での現場測定への適用は期待できない。上記の JIS 規格では、風量測定のためにトンネル型空気エンタルピー装置を設け、温湿度

を管理した中で試験が行われるため、空調負荷を一定に制御することが可能で、高精度で COP が得られるが、実運転環境下のフィールド測定においては一般的でない。図 1 に試験に用いたルームエアコンの室外機ならびに室外機における風量測定用ダクトの外観を示す。



図 1 性能測定に用いたルームエアコンの室外機空気エンタルピー測定用ダクト

空気エンタルピー法により、家庭用ルームエアコンの性能を評価するには、室内機・室外機の吹出口・吸込口の空気の温度・湿度と風速の測定が必要である。

空気の温度・湿度の測定には、高分子膜タイプの温湿度センサーを用いた。また、風速の測定には熱線風速計を用いた。室内機と室外機のいずれにおいても吹出口では風速・温度とも一様ではなく、ばらつきがある。そこで、空気の温度・湿度の測定は、室内機吸込口に 2 箇所、室内機吹出口に 2 箇所、室外機吸込口に 2 箇所、室外機吹出口に 2 箇所の計 8 箇所の測定を行った。また、空気温度に関しては、T 型熱電対での測定も同時に行った。室内機は、吸込口・吹出口に 6 箇所ずつ、室外機は、吸込口・吹出口に 4 箇所ずつ温度測定を行った。各測定項目の測定間隔は 10 秒とし、瞬時値を測定した。



(a) Outlet



(b) Inlet

図 2 室内機における温湿度測定点

測定状況の一例として、室内機の吸込口ならびに吹出口における各測定ポイントを図 2 に示す。空気エンタルピー測定法による性能評価の結果は次に示す冷媒温度測定法の結果とともに併せて示す。

冷媒温度分布測定に基づく性能評価方法

上述の課題解決を目指して、本研究では、空調機各部の冷媒状態に基づき性能を評価する方法（以下、冷媒温度測定法と称す）の開発に取り組んだ。

試験装置の概要を図 3 に示す。また、冷媒温度の測定箇所を図 4 に示す。

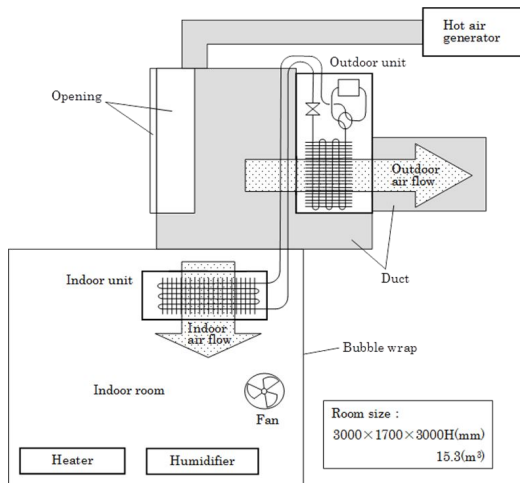


図 3 試験装置の概要

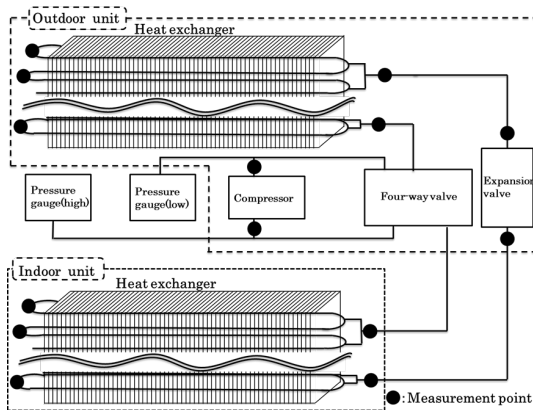


図 4 冷媒温度の主な測定位置

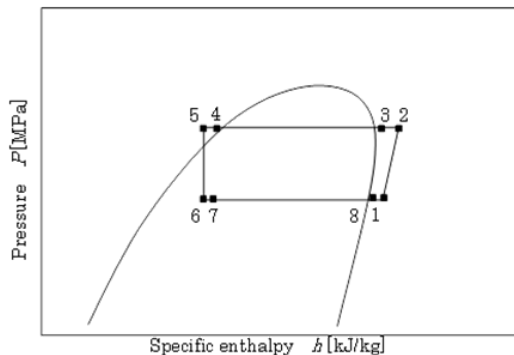


図 5 $P-h$ 線図上の冷凍サイクル

冷媒温度測定法では、測定した空調機各

部の温度よりルームエアコン（蒸気圧縮式冷空調機）の冷凍サイクル図 5 に示すように同定し、冷房能力を算出する。

加えて性能評価値である成績係数（以後 COP と称す）を計算するためには、空調機の実消費電力が必要である。そこで、冷媒温度と消費電力を測定した。冷媒温度の測定は、伝熱管内を流れる冷媒の温度を直接測定することが困難なので、伝熱管表面温度をその点での冷媒温度と近似した。伝熱管表面に T 型熱電対をアルミテープで貼り付け、その周りを断熱材で覆い、断熱材をアルミテープで止めた。消費電力測定には、クランプオン型の電力計を使用した。

冷媒温度および消費電力の出力はデータロガーにより記録した。サンプリング周期は 10 秒で、測定値は冷媒温度については瞬時値を、消費電力については 10 秒間の平均値を用いた。冷房運転時の測定結果の一例を図 6 ならびに図 7 に示す。実験条件は外気温 33.8、外気湿度 45% であり、実験前の室内気温は 32.6、室内湿度は 42.5% であった。空調機の初期設定は、設定温度が試験運転モードの 18 で最大負荷、風量は $11.5\text{m}^3/\text{s}$ （強設定）とした。

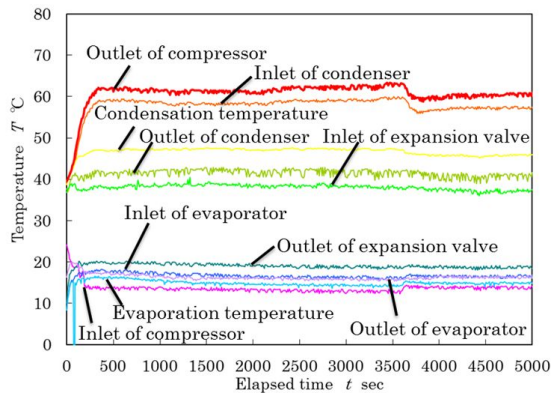


図 6 冷媒温度の測定結果例

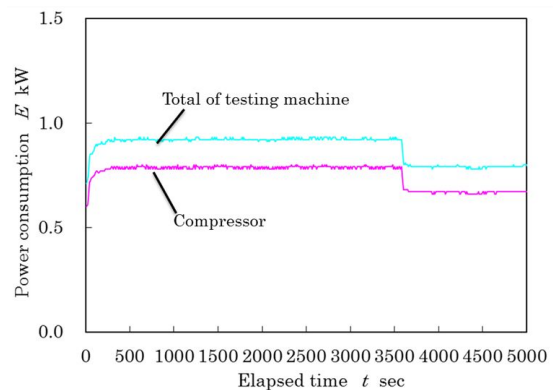


図 7 消費電力測定結果の一例
（全消費電力ならびに圧縮機消費電力）

以上の冷媒温度ならびに消費電力から冷房運転と暖房運転における COP を求めた。結果の一例を図 8 に示す。同図は冷房運転時の結果である。(a) は外気温が 25 の場合、(b) は外気温が 33 の場合の結果である。両図の比較より、冷媒流量が約 $0.01\text{kg}/\text{s}$ で COP は

最大となった。冷媒流量が 0.01kg/s 以下で COP が低下する原因は、能力に対する室内機ファンや室外機ファンの消費電力の割合が大きくなり無視できなくなったためであると考えられる。また、0.01kg/s 以上で COP が低下する原因は、蒸発温度の低下により圧縮機消費電力が増加したためである。

また、両図の比較より、気温の上昇に伴い COP が 20 ~ 30%程度低下することが分かる。

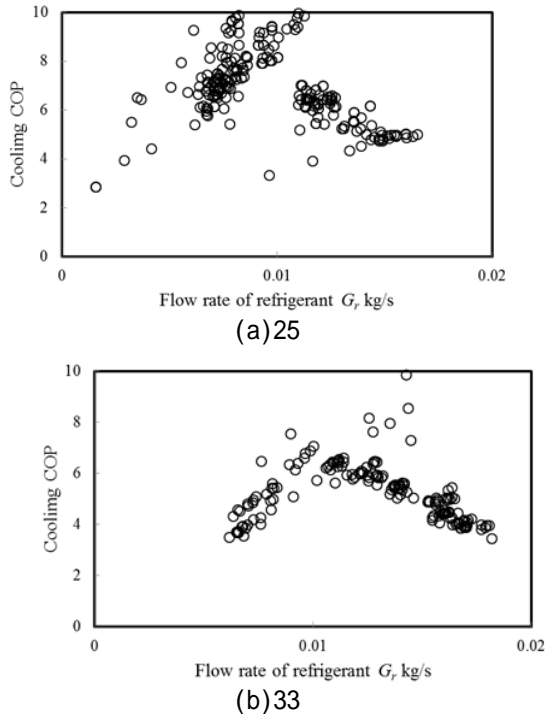


図 8 外気温度に伴う COP の変化

(2) 冷媒循環量のその場測定法の開発

図 8 に示したようにルームエアコンの性能は冷媒循環量、つまり空調負荷量により大きく変化する。このため、空調機の性能評価においては冷媒循環量の正確な把握が必要不可欠である。従来の冷媒循環量の測定方法では、配管の一部を切断して、流量計を追加で取り付ける必要がある。しかし、住宅やオフィスに設置されているルームエアコンやビル用マルチエアコンの性能測定において、このような工事を行うことは現実的ではない。



図 9 3 軸加速度センサーを用いたロータリー圧縮機回転数の測定システム概略

そこで、本研究では、配管を切断することなく冷媒循環量を測定する方法として、図 9 に示す三軸加速度センサーを用いた圧縮機回転数の測定から冷媒循環量を予測する新たな手法を考えた。

測定方法の概略を図 10 を用いて説明する。図 9 に示したデジタルオシロスコープと 3 軸加速度センサーを用いて圧縮機回転数の測定を行なった。デジタルオシロスコープはサンプリング間隔を 0.5ms、測定レンジを 212 ~ 312mV に設定し、3 軸加速度センサーの仕様は、電源電圧 5.0V に対し 1g (重力加速度) あたりの出力振幅が 1000mV である。加速度センサーを圧縮機の圧縮機構部の外表面に取付けて、センサー出力をデジタルオシロスコープで直接取得した。図 11 に圧縮機回転数測定結果の一例を示す。同図より、デジタルオシロスコープを用いて取得した波形データから圧縮機の回転数を直接読み取るとは困難であるため、フーリエ解析により回転周波数を求め圧縮機回転数を求めた。図 12 に圧縮機回転数測定結果の一例を示す。

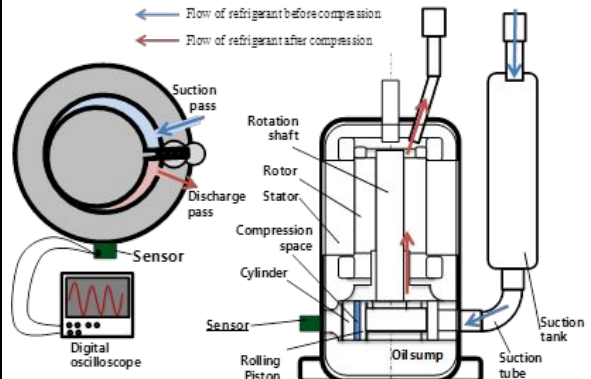


図 10 ロータリー圧縮機の断面と三次元加速度センサーの取付位置

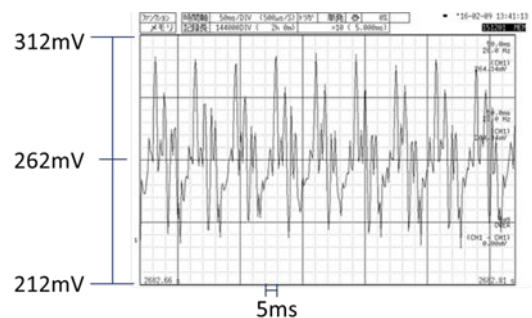


図 11 圧縮機回転数の測定結果の一例 (加速度センサーの出力)

空調負荷量を変化させて同様の測定を行った。その結果、空調負荷が大きくなると振幅、つまり加速度が大きくなり、1 周期 (= 1 回転に要する時間) が短くなることを確認した。よって、空調負荷と圧縮機回転数には密接な関係があることが分かった。

図 12 に冷媒流量の予測結果を示す。同図には 3 種類の算出方法による冷媒循環量が示

されている。図中 が圧縮機回転数から冷媒循環量を求めたものである。一方で、 は蒸発器内の冷媒状態から予測した結果、 は通常行われている圧縮機の断熱効率を関数化することにより冷媒循環量を予測した結果である。図より、提案した 圧縮機回転数から冷媒循環量を求めた場合の結果が良好であると判断できる。

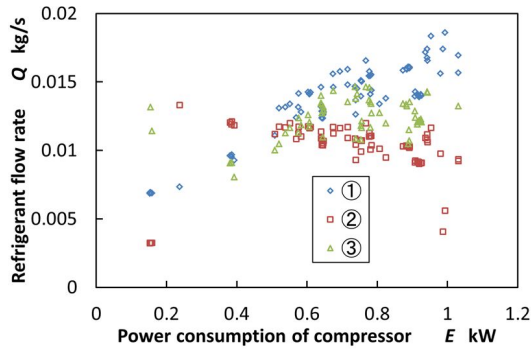


図 12 冷媒循環量の比較

ついで、圧縮機消費電力と圧縮機回転数の関係を求めた。結果を図 13 に示す。

同図より、圧縮機回転数は、圧縮機消費電力の増大に伴い、線形的に増加することが分かる。また、圧縮機回転数が一定であったとしても、空調負荷や外気温度などの影響を受けることにより消費電力に数十 W 程度の違いが生じていることから、圧縮機回転数と圧縮機消費電力は一対一対応となっていないことが分かる。

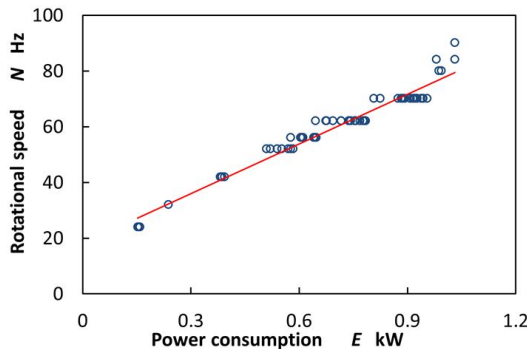


図 13 圧縮機の消費電力と回転数の関係

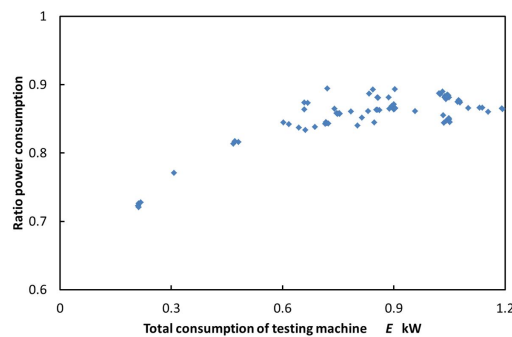


図 14 ルームエアコンの全消費電力に占める圧縮機消費電力の比率

最後にルームエアコンの全消費電力に占める圧縮機消費電力の比率を図 14 に示す。図より、定格運転付近では、ルームエアコンの全消費電力に占める圧縮機消費電力の割合は 85 ~ 90% 程度であることが分かる。

一方で、空調負荷量が減少して冷媒循環量が低下すると、その割合が低下することも分かる。これは前述のように、空調負荷量が低下すると、冷媒循環量と圧縮機での昇圧量が低下して圧縮機の消費電力が減少するため、室内機ならびに室外機のファンの駆動に必要な消費電力の比率が相対的に大きくなるためである。

(3) まとめ

本報告では、ルームエアコンなど小型の蒸気圧縮式空冷空調機の実性能測定方法の概要と測定結果の一例を示した。

特に、3 軸加速度センサーを用いて配管などの工事を必要とせず、冷媒循環量を正確に予測するその場測定方法を提案し、その有用性を示した。なお、研究においては、冷媒の漏れによる、冷媒循環量の減少や圧縮機効率の低下についても検討を加えた。(文献において概要を報告した。今後、詳細を報告の予定である。)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 3 件)

塚脇主瑛, 西村伸也, 蒸気圧縮式空冷空調機の実性能簡易測定法の開発 - 冷媒循環量の検討 -, 第 32 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス, 2016 年 2 月 2-3 日, 砂防会館 (東京・千代田区)

上田昇, 西村伸也ほか, ヒートアイランド問題に関する都市空調システムの検討 - 水の蒸発効果を利用した大気顕熱負荷削減方法の評価手法の検討 -, 日本冷凍空調学会 2014 年度年次大会, 2014 年 9 月 10-13 日, 佐賀大学 (佐賀県・佐賀市)

上田昇, 西村伸也ほか, ヒートアイランド問題に関する都市空調システムの検討 - 冷房ピーク時の性能改善法調査 -, 日本冷凍空調学会 2013 年度年次大会, 2013 年 9 月 10-13 日, 東海大学 (東京・港区)

〔図書〕(計 1 件)

梅干野晃, 西村伸也ほか, 朝倉書店, ヒートアイランドの事典, 2015, pp.96-97, pp.196-201, pp.246-251

〔その他〕(計 2 件)

西村伸也, ヒートアイランドと都市空調システム, 近畿冷凍空調工業会, これからの技受情報, 2015, Vol.3, pp.18-19

6. 研究組織

(1) 研究代表者

西村 伸也 (NISHIMURA Nobuya)

大阪市立大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号: 30189310