

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 29 日現在

機関番号：27401

研究種目：若手研究（B）

研究期間：平成 21 年度～平成 23 年度

課題番号：21760452

研究課題名（和文） ルームエアコンのエネルギー消費効率および効率的運用に関する研究

研究課題名（英文） Energy Efficiency and Efficient Operation of Room Air Conditioner

研究代表者

細井 昭憲 (HOSOI AKINORI)

熊本県立大学 環境共生学部・准教授

研究者番号：40433411

研究成果の概要（和文）：ルームエアコンの消費エネルギー量を正確に推定するため、これまで困難であった除霜運転の発生条件と除霜時のエネルギー消費効率の算出法を明らかにした。ルームエアコンの使用時に生じる室内温度分布を改善するため、サーキュレーターを用いた場合の効果を明らかにし、省エネルギー性を評価した。

研究成果の概要（英文）：1.The method to calculate the energy efficiency and the conditions that the air conditioner changes the mode to defrosting were clarified. 2. The improvement of air temperature distribution by a circulator was examined, and its energy conservation effect was evaluated.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
21 年度	1,400,000	420,000	1,820,000
22 年度	1,500,000	450,000	1,950,000
23 年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学・建築環境・設備

キーワード：ルームエアコン 省エネルギー

1. 研究開始当初の背景

京都議定書を背景とした住宅部門での CO₂ 排出量削減の緊急性を鑑みれば、住宅の暖冷房設備として広く普及しているルームエアコンの省エネルギー性を正しく評価することは重要といえる。近年、各メーカーの技術開発により、ルームエアコンの省エネルギーの指標となる COP は目覚しく向上している。一方で、ヒートポンプを熱源とするルームエアコンは、様々な条件、例えば外気温度や負荷率などにより、そのエネルギー消費効率が大きく変化することが知られている。従ってルームエアコンのエネルギー消費量を正確に算出するためには、様々な要因に対

するエネルギー消費効率の変動特性が明確でなければならない。

申請者は、これまで外気温度や負荷率、あるいは室内温湿度がルームエアコンの部分負荷特性に与える影響について、人工気候室における実測をベースに解析を行ってきた。その結果、外気温度、負荷率、室内温度、室内湿度、低負荷断続運転がルームエアコンのエネルギー消費効率に与える影響について整理することができたが、大きな課題として残されているのが除霜運転時の特性である。気象条件と運転条件によっては、除霜運転がルームエアコンの暖房エネルギー消費量に与える影響は少なくないが、その値を正確に

見積もることは難しい。一方、ルームエアコンの運用時には、室内に温度分布が生じ、暖房時の上下温度分布は4℃程度になるとの報告もある。一般にエアコンの室内機は天井近傍に設置され、吸込み温度によって運転状態を制御するから、吸込み温度と居住域の温度が乖離すると、適切な室温維持が困難になる。例えば冷房時に居住域温度が天井近傍より低く、エアコンが天井近傍の空気温度を設定室温に維持しようと運転すれば、無駄なエネルギーを消費するばかりか、居住域空気温度が過度に低くなり、不快となってしまう。近年では室内空気の循環を目的としたサーキュレーター等が安価、容易に入手できるようになり、一部のユーザーは、試行錯誤や経験により、上述の問題を解消しようと努力していると思われる。しかし、サーキュレーターによる温度分布改善効果や省エネルギー効果について、十分な知見があるとはいえない。一般的なユーザーが、比較的容易に実現できる室温分布改善方法を提案し、温熱環境改善効果と省エネルギー効果を定量化することが必要である。

2. 研究の目的

本研究の目的を要約すると、

①ルームエアコンのエネルギー消費効率、特に未解明の部分が多い除霜運転に関して、除霜運転になる条件と、着霜・除霜時のエネルギー消費効率を明らかにし、申請者がこれまでに明らかにした部分負荷効率と合わせて、住宅の暖冷房エネルギー消費量の算出に資する知見を得る。

②ルームエアコンを使用した場合に生じる、居住域とルームエアコンの吸込み温度の差を解消し、不要な運転と冷暖房エネルギー消費を無くすと同時に、設定室温と実現室温を一致させることで適切な温熱環境を維持する方法に関する知見を得る。

ことにより、省エネルギー性を考慮してエアコンの適切な計画を行う方法と、快適性を維持して効率的にエアコンを運用する方法を提案することである。

3. 研究の方法

本研究では、21年度に①エアコンの除霜運転を含むエネルギー消費効率に関する実験を、熊本県立大学の人工気候室で実施し、22年度に②エアコン使用時の室温・気流分布改善に関する実験を、同実験室に新たに構築する実験BOXを用いて実施した。23年度は②の実験を継続し、解析結果からエアコンの効率的運用のための方法を提案した。同時に①の結果からエアコンのエネルギー消費量算出方法を構築し、省エネルギーと快適性を両立するエアコンの適切な計画と運用方法に関する知見を得た。

①の実験に関しては、申請者がこれまでの研究で実施してきた計測方法を用いた。解析の

要点は、①処理熱量と消費電力の計測によりCOPを算出 ②冷媒温度とコンプレッサー運転周波数の計測により冷凍サイクルを解析し、理論COPや能力を算出 することである。②の実験に関しては、熊本県立大学の環境実験室に10畳程度の実験BOXを製作し、22年度は基準となる外皮性能と外気条件の下、エアコン運転時の室温分布とエアコン処理熱量ならびに電力消費量を計測した。23年度は、室温分布改善効果と省エネルギー効果に着目し、サーキュレーターの効果を定量化した。

4. 研究成果

(1) 除霜運転時のCOPおよび消費電力

1) 除霜運転の発生条件

図1に各実験条件での着霜状況や除霜運転発生の有無を示す。図中の着霜(微量)は室外機のフィンの一部に霜が付いた状態を意味し、着霜(中量)は全面に薄く霜が付いた状態である。

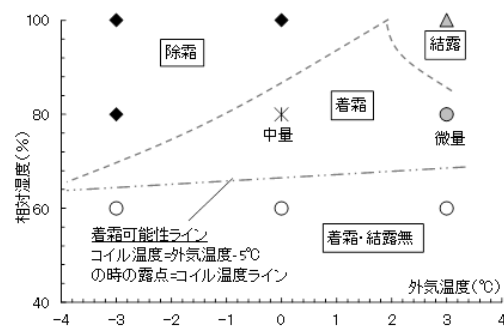


図1 除霜運転の発生条件

図より、外気温度が3℃以上、もしくは相対湿度が60%以下の領域では除霜運転にならないことが分かる。筆者らのこれまでの計測では、外気温度と室外機コイル表面温度の差は3~5℃程度であった。よって、例えば外気温度3℃の時のコイル表面温度が-2℃と仮定すると、相対湿度69%で露点温度が-2.0℃となるから、これ以上の湿度では着霜が進行する可能性がある。実際には、相対湿度が100%の時は結露が発生するのみで、相対湿度が80% (露点温度=-0.1℃) の場合に僅かに着霜した。相対湿度100%の条件では大量の結露と凝縮熱の影響で、80%の条件よりも着霜が進行しにくい状態であったと考えられる。実験結果から、外気温度0℃の場合は相対湿度80%以上、-3℃では60%以上の条件で、着霜が進行して除霜運転に移行する可能性があると判断できる。ただし、低負荷運転や短時間の運転では図に示した条件でも除霜運転にならない場合がある。図1は除霜運転によるCOPの補正を考慮するための、安全側の条件である。

2) 除霜を含む運転の消費電力算出モデル
繰り返し除霜運転が発生する状態を想定し、その時のCOP変動を図2のようにモデル化し

た。除霜運転時間を Td_1 、除霜運転後、次の除霜までの時間を Td_2 とする。 Td_2 において、除霜終了直後からある時間までの積算能力を Ld_2 、平均 COP を $COPd_2$ とすると、ある時間までの積算消費電力量 Wd_2 は、

$$Wd_2 = \frac{Ld_2}{COPd_2} \quad \dots (1)$$

$COPd_2$ を Td_2 間の平均 COP の最大値、 $COPd_{2max}$ (図 3) で除し、基準化した値 $SCOPd_2$ は、

$$SCOPd_2 = \frac{COPd_2}{COPd_{2max}} \quad \dots (2)$$

図 3 に $SCOPd_2$ の算出結果を示す。 $SCOPd_2$ は除霜運転後徐々に増加するが、除霜運転による平均 COP 低減の影響は 60 分～80 分まで残存している。なお、メーカーの技術資料にある制御情報を参考にすると、一般的な機種種の Td_2 の最小値は 30 分程度と推察される。これを基に安全側の基準を考える場合、 $SCOPd_2$ は、約 0.85 となる。次に、除霜運転が繰り返される時には、除霜運転終了後の区間 Td_2 においても室外機の coils が着霜あるいは結露して熱交換効率が悪化し、霜がない状態よりも COP が低下すると考えられる。無着霜状態かつ最大能力で連続運転している時の COP、 $COPn$ に対する $COPd_{2max}$ の低下係数 α_d を、

$$\alpha_d = \frac{COPn}{COPd_{2max}} \quad \dots (3)$$

と定義する。 α_d の算出例を表 1 に示す。値は 0.91～0.98 の間でばらつくが、安全側の基準としては 0.90 を採用すると良いであろう。 $SCOPd_2$ と α_d を安全側の基準で考える場合、除霜を含む運転時の平均 COP は、無着霜状態の COP ($COPn$) に対して約 20% の低減 ($0.85 \times 0.90 = 0.77$) を見込むことになる。(2) 式と (3) 式より (1) 式は、

$$Wd_2 = \frac{Ld_2}{\alpha_d \times COPn \times SCOPd_2} \quad \dots (4)$$

となる。(4) 式より、霜付の無い通常運転時の COP から Wd_2 を推定することができる。最後に、 Td_1 ではホットガスの循環など、除霜運転のための電力を消費する。この間の消費電力量を Wd_1 とし、除霜運転が n 回繰り返されるとすれば、除霜を含む運転時の電力消費量 Wd は、

$$Wd = n \times (Wd_1 + Wd_2) \quad \dots (5)$$

である。本実験機種では、 Wd_1 は 100～120Wh であった。

3) まとめ

実験により除霜、着霜、結露の発生境界を明らかにした。また、除霜運転を含む COP の変動をモデル化し、基準化された平均 COP の推移を用いて電力消費量を算出する (4) 式を

提案した。除霜運転間隔や α_d を安全側で考える場合の COP 補正係数は、0.77 であった。以上の成果は、ルームエアコンの除霜を含む運転のエネルギー消費量評価に用いることができ、家庭の暖房エネルギー消費量の正確な予測に資する知見と言える。本成果は日本建築学会環境系論文集の投稿論文としてまとめ、2012 年 5 月 10 日に投稿した。

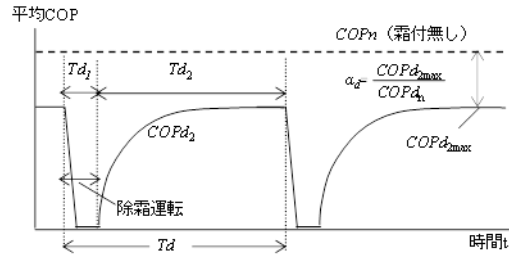


図 2 除霜を含む運転の COP 変動モデル

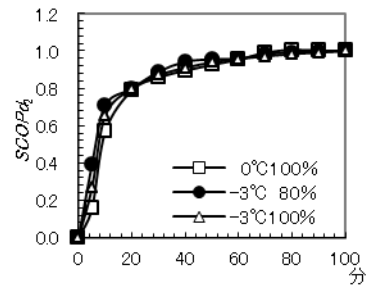


図 3 $SCOPd_2$ の算出結果

表 1 α_d の算出例

実験条件	α_d の範囲
-3°C 100%	0.91～0.95
-3°C 80%	0.95～0.98
-2°C 100%	0.95～0.96
0°C 100%	0.94～0.98

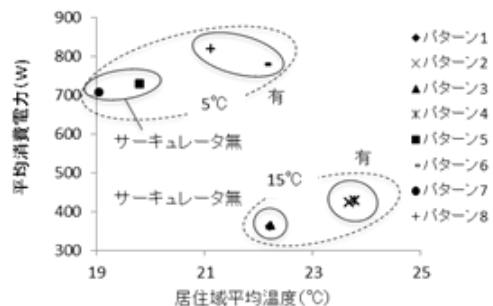


図 4 サーキュレーターの有無による変化

(2) サーキュレーターを用いた暖房時の室温分布改善とエネルギー消費量の評価

1) 温度分布の改善効果

図 4 に、居住域平均温度と平均消費電力の関係を示す。平均消費電力は計測時間の平均消費電力である。サーキュレーターを用いると、居住域平均温度は上がるが、どのパターンにおいても、消費電力が増えたことがわかる。これはサーキュレーターが無い場合、暖気が

部屋の上部に滞留するため、エアコンの吸い込み温度が早い段階で設定温度に達して能力が低下するのに対し、サーキュレーターにより暖気が攪拌されると、吸い込み温度の上昇が緩やかになり、高負荷運転を継続する時間が長くなるためである。また、居住域平均温度の改善幅は、隣室温度が低い（隙間からの流入空気が低い）場合に大きくなった。

2) 電力消費量の比較

サーキュレーターを用いずに、設定温度を24℃～28℃に変化させ、室温と消費電力の関係の近似式を求めた結果を図5に示す。サーキュレーターを用いたパターン（図5のA）と比較すると、設定温度の変更により同等の居住域平均温度を実現するためには、より多くの電力が必要になることがわかる。ただし、サーキュレーターの消費量を考慮すると（AからA'）、近似線から推定される電力消費量を僅かに超えてしまう。サーキュレーターの消費電力を30W程度に抑えることができれば省エネルギー効果が期待できるので、効率の良い機器を試用することが必要である。

3) COPの比較

表2に示すように、サーキュレーターを用いた場合のCOPは、サーキュレーター無の場合と比べて同等もしくは若干低い値となった。これまで示したように、混合攪拌によりエアコンの吸い込み温度は下がるので、COPが向上することが期待されるが、そのような効果は得られていない。この原因を分析するため、実験対象機種種のCOP特性曲線を算出した結果を図6に示す。図のように、サーキュレーターを用いた場合のCOPは全体的に向上するものの、運転時の平均能力（表1参照）が大きいためCOPが低下し、吸い込み温度低下の効果が相殺されたことが分かる。

4) まとめ

居住域温度を均一にする点において、サーキュレーターの効果が大きいことが確認され、特に立ち上がり時の室温分布の改善に有効であった。一方、室内への投入熱量と電力消費量は増加する傾向があり、COPは僅かに低下した。同等の居住域温度を実現する観点からは、エアコンの設定温度を上げる方法を用いても電力消費量は同等であったが、室温のばらつきが抑えられる点にサーキュレーターの利点があった。得られた一連の成果は、一般の居住者がサーキュレーターを用いる際に参考となる情報として、広く提供できると考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計0件）

〔学会発表〕（計2件）

①細井昭憲：ルームエアコンの除霜運転時の

COP および消費電力、空気調和衛生工学会学術講演会講演論文集、2010年

②細井昭憲：サーキュレーターを用いた暖房時の室温分布とエネルギー消費量の評価、空気調和衛生工学会学術講演会講演論文集、2010年

〔図書〕（計0件）

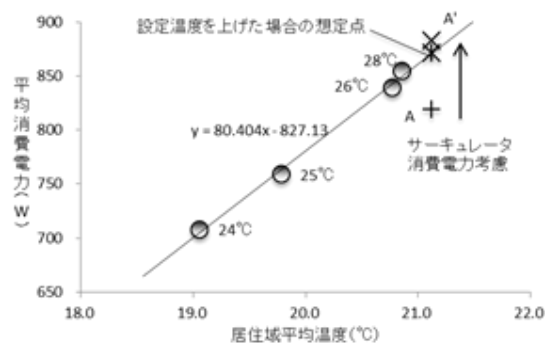


図5 居住域平均温度と消費電力の関係

表2 サーキュレーターによる室温変化

	パターン							
	1	2	3	4	5	6	7	8
ばらつき(℃)	1.37	0.55	1.45	0.44	2.14	0.99	2.57	0.84
	-0.82		-1.01		-1.15		-1.73	
居住域平均温度(℃)	22.21	23.68	22.23	23.79	19.80	22.14	19.06	21.12
	1.47		1.56		2.34		2.07	

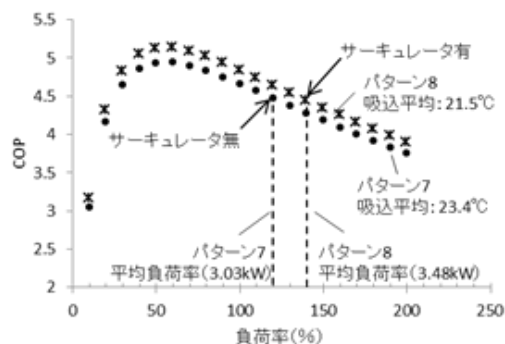


図6 サーキュレーターによるCOPの変化

〔産業財産権〕

○出願状況（計0件）

○取得状況（計0件）

〔その他〕

6. 研究組織

(1) 研究代表者

細井 昭憲 (HOSOI AKINORI)

熊本県立大学環境共生学部

研究者番号：40433411