

ルームエアコンの除霜運転時の COP および消費電力

COP and Power Consumption of Room Air Conditioner during Defrost Operations

正 会 員 〇細井 昭憲（熊本県立大学） 正 会 員 澤地 孝男（建築研究所）

正会員 三浦 尚志（国土技術政策総合研究所）

Akinori HOSOI*¹ Takao SAWACHI*² Hisashi MIURA*³

*¹ Prefectural University of Kumamoto *² Building Research Institute

*³ National Inst. of Land and Infrastructure Management

Because technological information about room air conditioners at defrosting is usually unavailable, it is difficult to estimate the heating power consumption accurately. In this paper, we measured the load and power consumption of a room air conditioner at defrosting, and compared the COP with non-defrosting. Next, we showed the calculation model of power consumption at defrosting. This model is available for the case that a defrosting mode repeatedly appeared. In addition, the conditions of outside temperature and humidity in which the defrosting appeared were clarified.

はじめに

除霜運転時の COP や消費電力に関する情報は、業務用のマルチ型エアコンではメーカーが技術資料として公表している。一方、日本の住宅用エアコンの該当する資料は、現状では通常入手できないため、暖房時の電力消費量の推定や省エネルギー性の判断に際し、除霜運転の影響を考慮することが難しい。そこで本論文では、市販されているエアコンの1機種について除霜を含む運転時の能力、電力消費量を計測して COP を算出し、通常運転時の COP に対する COP 低下量を算出した。また、除霜運転が、ある間隔で繰り返される場合を想定した電力消費量のモデルを示し、除霜間隔に応じた消費電力の算出方法を検討した。さらに、除霜運転が発生する外気の温湿度条件についても検討を行った。

なお、言うまでもなく COP 低下量、除霜運転発生条件共にエアコンの運転能力（処理熱量）の影響を受ける。例えば同じ外気条件でも能力により除霜運転に移行する場合としない場合がある。実測結果からこれらを能力に応じて網羅的に整理することは困難である。本論文では、まずは安全側の基準を検討すること、ならびに除霜運転となる外気条件では一般的に室内負荷が大きくなることを勘案し、エアコンの能力が実験条件の外気温度において最大となる状態で実験を行った。

1. 実験方法

図1に示す熊本県立大学人工気候室のA室を外気側条件室として室外機を設置し、B室を室内側条件室として室内機を設置した。表1に外気側の設定条件を示す。次章で示す除霜運転発生条件の検討のため、外気温度は

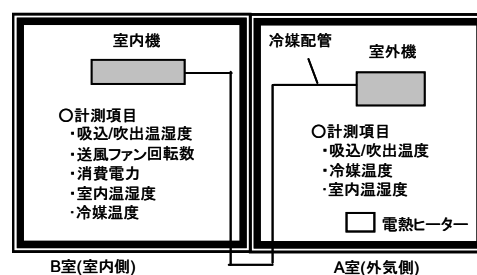


図1 人工気候室を用いた実験方法

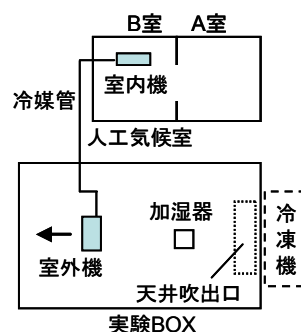


図2 実験BOXを用いた実験方法

表1 外気側条件
相対湿度(%)

温度(°C)	60	80	100
3	○	○	○
0	○	○	○
-1	-	-	○
-2	-	-	○
-3	○	○	○

3℃～-3℃を3℃間隔で3条件、相対湿度は60～100%を20%間隔で3条件設定した。また、外気温度別のCOP低下量や消費電力量を検討するため-1℃と-2℃の外気条件を加え、この時の湿度は最も除霜運転になりやすい

100%とした。室内の湿度の制御条件はJISの測定条件に相当する20℃、59%である。エアコンが実験条件の外気温度において常に最大能力運転となるように、リモコンの設定温度は28℃とした。風量は自動モードに設定した。

なお、人工気候室の制御能力の制約から、-2℃以下の実験条件を長時間保持することが困難な状態が多発したため、人工気候室に隣接して図2に示す実験BOXを製作した。この実験システムでは、人工気候室のA室とB室を連続空間として室内側の条件に設定し、実験BOXを室外側の条件に設定した。

測定したエアコンは温暖地向けの機種で、寒冷地対応の機種ではない。仕様を表2に示す。測定項目を表3に示す。エアコン各部の冷媒温度計測点と冷凍サイクルの対応は図3のようになる。エアコンの室内熱負荷処理量(本論文では”処理熱”と表記)は、室内機吸込と吹出エンタルピ差に吹出し風量を乗じて算出した。吹出し風量の測定は、事前に送風ファンの回転数と風量の関係を測定¹⁾しておき、実験時には回転数のみを計測して風量に換算した。

2. 除霜運転時のエアコン各部温度と消費電力の推移

図4～図6に、外気温度-3℃、相対湿度100%の条件におけるエアコン各部の温度変動を示す。図は除霜運転が2回発生した状況を示しており、1回目から2回目の除霜運転の間隔は96分であった。図4の吹出し温度は、除霜運転時に25℃程度まで低下しているが、送風は停止しているので室内温度に近い、室内機近傍の温度を示している。1度目の除霜運転では不明確ではあるが、コンプレッサー入口/出口温度は、ホットガスの循環により入口温度が上昇して出口温度が低下している。図5の消費電力に着目すると、除霜運転開始の瞬間に消費電力はほぼ0Wになるが、除霜運転の約7分間、400～500Wをピークとする電力を消費している。これが除霜運転の消費電力で、積算すると100～120Whであった。図6に示す室外機コイル入口温度は、除霜運転時にホットガスが循環し、約20℃まで冷媒温度が上昇している。これに対して、霜を溶かした後のコイル出口の温度は、約0℃までしか上昇していない。

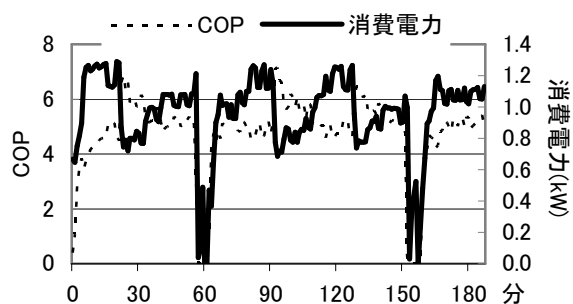


図5 消費電力とCOPの推移

定格	冷房	暖房
能力	2.2kW	2.5kW
COP	5.57	6.17
消費電力	0.395kW	0.405kW

	項目	センサー	間隔
室内機	吹出し温度	熱電対(3点)	5秒
	吸込み温度	熱電対	5秒
	吹出し湿度	静電容量式	5秒
	吸込み湿度	静電容量式	5秒
	吹出し風量	フォトマイクロセンサー	連続
	消費電力	クランプメーター	1分
	(冷媒) ガス管温度	熱電対	5秒
	(冷媒) 液管温度	熱電対	5秒
室外機	吹出し温度	熱電対	5秒
	吸込み温度	熱電対	5秒
	(冷媒) コンプレッサー入口	熱電対	5秒
	(冷媒) コンプレッサー出口	熱電対	5秒
	(冷媒) 膨張弁入口	熱電対	5秒
	(冷媒) 膨張弁出口	熱電対	5秒
	(冷媒) コイル表面温度	熱電対	5秒
	(冷媒) コイル出口温度	熱電対	5秒
B室	空気温度	アスマン通風温湿度計	5秒
室内側	相対湿度	アスマン通風温湿度計	5秒
A室	空気温度	アスマン通風温湿度計	5秒
外部側	相対湿度	アスマン通風温湿度計	5秒

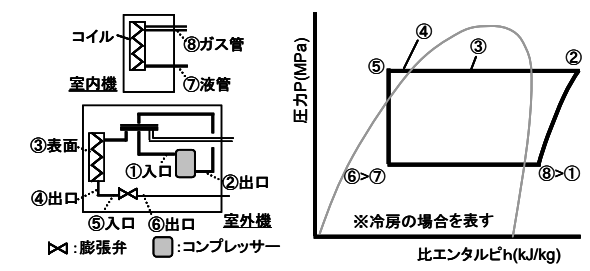


図3 測定点と冷凍サイクルの対応

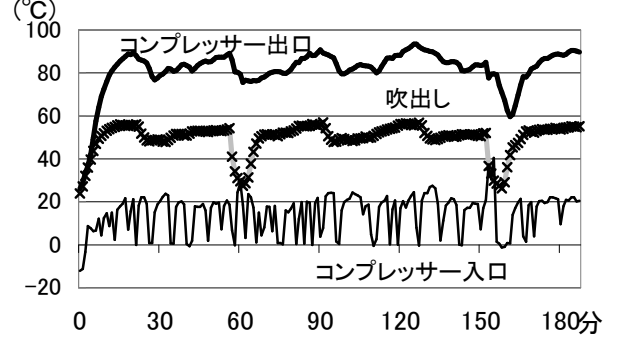


図4 コンプレッサー出入口温度と吹出し温度の推移

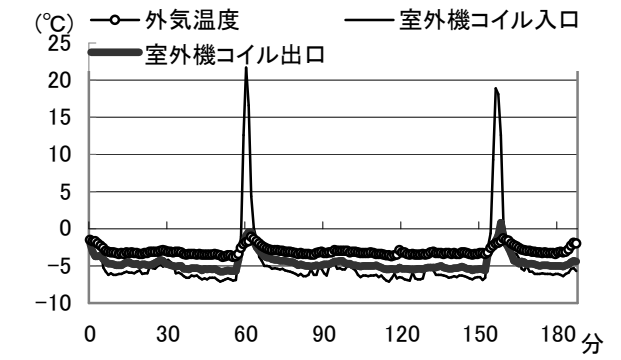


図6 室外機コイル出入口温度と外気温度の推移

3. 除霜運転の発生条件

図7に各実験条件における着霜，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，着霜（中量）は全面に霜が付いた状態で，いずれも除霜運転に移行しなかったことを意味する。図より，外気温度 $>0^{\circ}\text{C}$ ，あるいは相対湿度が60%以下の領域では除霜運転にならないことが分かる。図6の結果からは，外気温度 3°C ，相対湿度100%（露点温度 $=3.0^{\circ}\text{C}$ ）の時にコイル表面温度は 0°C 以下になるので，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が，実験では結露が発生するのみであった。同じ外気温度で相対湿度80%の時，露点温度は -0.1°C であり，結露から着霜のプロセスが生じる境界の条件となる。この条件ではコイルで少量の結露が発生し，僅かに着霜したが，相対湿度100%では大量の結露が発生して着霜に至らなかったと考えられる。実験結果から外気温度 0°C の場合は相対湿度80%以上， -3°C では80%以上の条件で除霜運転の可能性があると判断でき，図7にその領域を示した。なお，1章の実験方法でも述べたように，図7は該当する外気温度における最大能力で連続運転した場合の結果であり，低負荷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。

4. 除霜を含む運転のCOPと消費電力量の算出モデル

除霜運転発現条件において，図8のように繰り返し除霜運転が行われる状態を想定する。直前の除霜運転から次の運転までを除霜運転間隔 T_d とする。除霜運転時間を T_{d1} ，除霜運転後，次の除霜までの時間を T_{d2} とする。この時， T_{d2} の間の積算処理熱を L_{d2} ，平均COPを COP_{d2} とあれば， T_{d2} における消費電力 W_{d2} は，

$$W_{d2} = \frac{L_{d2}}{COP_{d2}} \quad (1)$$

である。 COP_{d2} の算出結果を図9に示す。 COP_{d2} は除霜運転後，対数的に増加している。除霜運転の影響は60分～80分まで残り，僅かに増加し続けている。 COP_{d2} の絶対値は外気温度や相対湿度によって異なっているが， T_{d2} の間の最大COP， $COP_{d2\max}$ （図8参照）で COP_{d2} を基準化した値 $SCOP_{d2}$

$$SCOP_{d2} = \frac{COP_{d2}}{COP_{d2\max}} \quad (2)$$

は，図10のように外気条件による差が小さくなる。図より，例えば T_{d2} が20分の時， COP_{d2} の低下率は20%，60分では5%である。本研究で行った実験において最短の T_{d2} は約45分であったが，あるメーカーの資料によると， T_{d2} の最小値は30分である^{注1)}。これを基に安全側の基準を考える場合， $SCOP_{d2}$ は，約0.85となる。エアコンの技術資料などから T_{d2} を正確に設定できる場合は，図10から $SCOP_{d2}$ を決定することが望ましい。

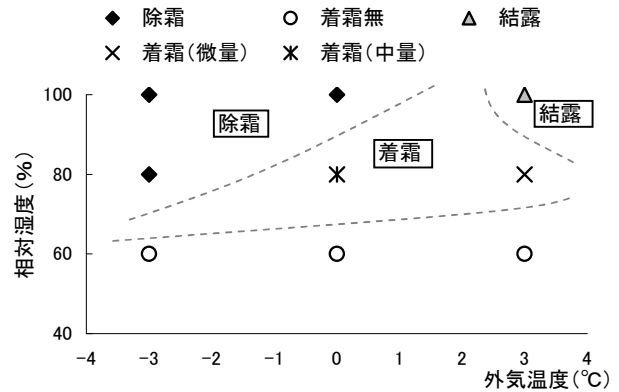


図7 除霜運転の発生条件

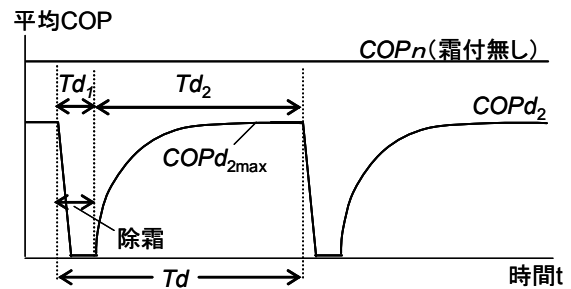


図8 除霜運転を含むCOPの変動モデル

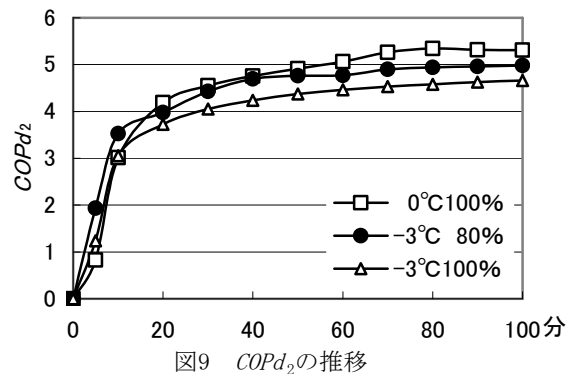


図9 COP_{d2} の推移

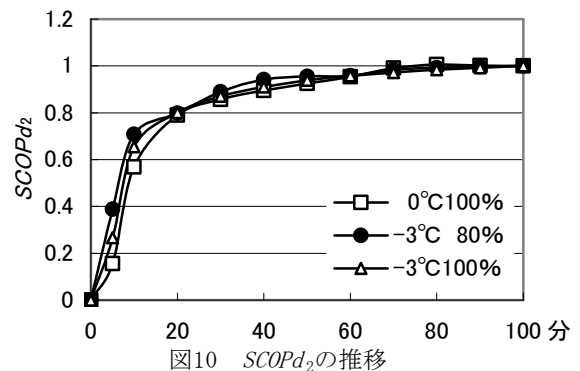


図10 $SCOP_{d2}$ の推移

ここで，除霜運転が繰り返される時には室外機のコイルやフィンの着霜により，霜がない状態よりもCOPが低下すると仮定し，その低下係数 α_d を以下の式で表す。

$$\alpha_d = \frac{COP_{d2\max}}{COP_n} \quad (3)$$

ただし， COP_n は無着霜状態かつ最大能力で連続運転している時のCOPとする。 COP_n は，文献2)の方法で推定す

ることができる。 $COPd_{max}$ と $COPn$ の 10 分平均値 (実測値) から算出した α_d を表 4 に示す。値は 0.96~0.91 とばらつきが大きい, 安全側の基準としては 0.91 を採用すると良いであろう。 $SCOPd_2$ と α_d を考慮すれば, 除霜を含む運転時の平均 COP は, 無霜状態の COP ($COPn$) に対して約 20% の低減 ($0.85 \times 0.91 = 0.77$) を見込むことになる。式 (2) と式 (3) より, 式 (1) は以下の式 (4) になるので, 霜付の無い通常運転時の COP を用いて Wd_2 を算出することができる。

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

Ld_2 は, 負荷計算において除霜運転発生条件となるときに積算負荷とみなせば良いが, 除霜運転の影響で Ld_2 が低下し, 未処理負荷となる可能性を考慮する必要がある。

次に, 図 5 で示したように, Td_1 では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,

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

である。図 5 で述べたように, Wd_1 は 100~120Wh であった。

おわりに

本論文で得られた主な知見を以下に示す。

- 1) 人工気候室における実験結果を基に, 除霜運転が発生する可能性のある外気条件を明らかにした。
- 2) 除霜運転前後のエアコン各部の温度変動を参考に, 除霜を含む運転時の COP の推移をモデル化した。
- 3) COP の変動モデルを用いて, 除霜運転が繰り返される場合の電力消費量の算出方法を示した。

本論文で示した結果は 1 機種での実験を基にしており, 図 7 に示した除霜運転の発生条件, あるいは $SCOPd_2$ や α_d の絶対値は, 他の機種では異なる可能性がある^{注 2)}。除霜運転や今後様々な機種を計測し, 現在市販されている機種として妥当な代表値や, 機種毎の値の分布範囲などを明らかにする必要がある。また, 実験は安全側の基準の観点からエアコンが最大能力となる条件で実施したが, 能力と蒸発温度の関係を整理し, 任意の能力に対する除霜運転発生条件や電力消費量の推定方法を検討することが今後の課題である。なお, (4) 式で述べた Ld_2 の低減量に関する検討は紙面の都合から割愛したが, 上述の課題と共に次報で報告する予定である。

※本研究は H.21~H.23 科学研究補助金 (若手研究 (B) : 21760452) の助成を受けて実施した。

表 4 α_d の算出結果

実験条件	1回目	2回目	3回目	4回目
-3℃ 100%	0.91	0.91	0.95	0.92
-2℃ 100%	0.95	0.95	0.96	0.95

注釈

注 1) 実験に用いたエアコンと同等と思われる機種の, 海外向けの技術資料によると, Td_2 の最小値は 44 分であり, 実験結果とはほぼ一致していた。実験機種とは別の, 日本のあるメーカーが海外で販売しているエアコンの技術資料から判断すると, 最短の Td_2 が 30 分の機種もあった。

注 2) 上述のように, 日本のメーカーが海外で販売しているエアコンの技術資料には, 除霜運転の制御条件が記載されている場合がある。制御パラメーターはメーカーにより異なり, 外気温度, 熱交換器温度と運転の継続時間を制御条件とする機種や, 熱交換器温度と運転継続時間のみを制御条件とする機種などがある。なお, これらの技術資料には, 室温制御方法や, ファンの送風量制御, ドライ運転の方法など, 多くの有用な情報が記載されている。

参考文献

- 1) 細井昭憲 他 2 名: 人工気候室における測定結果に基づく冷暖房 COP の部分負荷特性 ルームエアコンディショナの冷暖房 COP およびエネルギー消費量に関する研究その 1, 日本建築学会環境系論文集, 第 622 号, pp.65~72, 2007. 12
- 2) (財) 建築環境・省エネルギー機構: 住宅事業建築主の判断の基準におけるエネルギー消費量計算方法の解説, pp. 82~102, 2009. 3
- 3) 三浦尚志 他 6 名: 住宅における暖冷房エネルギー消費量の計算プログラムの開発, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, pp. 1991~1994, 2009. 9
- 4) 三浦尚志 他 3 名: 回転数計測装置による家庭用ルームエアコンディショナの室内機吹出風量の計測, 日本建築学会技術報告集, 第 14 巻, 第 28 号, pp. 509~512, 2008
- 5) 下田順一 他 2 名: マルチ型パッケージエアコンディショナ実運用時の運転データ解析に関する研究, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, pp. 201~204, 2009. 9
- 6) (財) 日本規格協会: JIS B 8615-1 : 1999
- 7) (財) 日本規格協会: JIS C 9612 : 2005
- 8) 細井昭憲 他 4 名: 負荷率と外気温度に応じたルームエアコンディショナの冷暖房 COP の変動特性, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, pp. 1081~1084, 2006. 9