コンプレッサ容量可変方式ルームエアコンのエネルギー消費効率

COEFFICIENT OF PERFORMANCE OF ROOM AIR CONDITIONER WITH VARIABLE CAPACITY COMPRESSOR

細井昭憲 ——— * 1 荻野登司 ——— * 2

キーワード:
ルームエアコン, 容量可変方式, COP, デュアルコンプレッサー

Keywords:
Room air-conditioner, Variable capacity compressor, COP, Dual compressor

Akinori HOSOI ——— * 1 Takashi OGINO ——— * 2

In this paper, we evaluated the COP of room air-conditioners with variable capacity compressor. The evaluation method and process to lead functions of electricity consumption and cooling / heating output were shown. Coefficients to lead approximate functions of input and output were shown as well.

Next, we compared the COP calculated by functions mentioned above and the COP measured in another test institution. As a result, it was confirmed that evaluation COP was identical with measurement COP. It developed that annual electricity consumption of variable-capacity air-conditioners was less than that of popular air-conditioners, because the COP at partial load was high.

1. はじめに

既報^{1)~3)}では、複数のメーカーの市販機種の実測結果を基に、住宅事業建築主の判断の基準⁴⁾におけるルームエアコンの電力消費量の計算方法について検討し、一般的なルームエアコンの入能力特性や実働COPを、カタログに記載されている機器性能値から推定する方法を示した。本方法は、限られた情報の下、基準機種の実測結果から多様な市販機種の入能力特性を推定するために、入能力の相似性³⁾を仮定している。この仮定は、コンプレッサや熱交換器、送風ファンなどの、入能力特性に影響を与える機器類が基準機種と同等の場合に有効であり、性能が大きく異なる場合は成立しない。

一方、ルームエアコンの電力消費量を削減するためには、能力に対するCOPの変動特性が、住宅の負荷特性と対応していることが望ましい。具体的には、一般的な住宅では、立ち上がり以外は低負荷となり、運転時間ならびに負荷の割合も多くなるため、低負荷運転時にCOPが高く、かつ断続運転とならない方がよい。このような性能を実現する新たな機構として、コンプレッサ容量可変方式を採用する機種（以下、容量可変機種と記し、その他の方式を一般機種と記述する。）が市販されている。当該機種に対しては、上述の入能力の相似性が適用できないことが予想されるため、既報³⁾で示した方法に基づき、COP特性を評価した。

2. コンプレッサ容量可変方式の概要

コンプレッサ容量可変方式の動作機構や、コンプレッサ単体の性能については文献5に詳しく、本報ではその概要のみ記載する。まず、「コンプレッサ容量可変方式」は、住宅事業建築主の判断の基準

における呼称であり、文献5では「可変気筒方式」として記載される。これらの呼称が示す通り、本機構はロータリー型のシリンダを2つ有し、高負荷時には2シリンダ、低負荷時には1シリンダ運転に切り替えて運転する可変気筒方式であり、この機構により、コンプレッサ容量が変化する。コンプレッサの容量が一定の機器では、低負荷時に、能力に対する機械損失や流体損失など各損失量の比率が相対的に大きくなり、モーターは低回転、低効率になるので、コンプレッサ効率が低下する。この時に1シリンダに切り替えると、同能力に対してモーター回転数は2倍になり、モーター効率が改善する。上述の各損失も変化するが、主にはモーター効率の改善によってコンプレッサ効率が向上する。また、最小能力も1/2になるため、連続運転領域が拡大する。以上のような低負荷時の効率と最小運転能力の向上により、省エネルギーを実現している⁶⁾。

3. 入能力特性の評価方法

入能力特性の評価方法は既報^{1)~3)}に準ずる。手順を以下に示す。

手順①人工気候室における評価試験

評価対象機器の任意の外気温度と能力に対する冷凍サイクルを同定するため、4章に示す評価試験を実施する。冷凍サイクルの同定には、蒸発温度や凝縮温度、コンプレッサ吐出温度などの冷媒温度が必要であるが、これら冷媒温度の、外気温度と能力に対する変動特性を求めることが試験の主たる目的である。

手順②理論入能力および実働入能力評価式の導出

手順①の結果を用いれば、任意の外気温度と能力に対して、冷凍サイクルから算出される理論入能力、ならびにCOPを算出すること

*1 熊本県立大学環境共生学部 准教授・博士（工学）
〒862-8502 熊本市東区月出3-1-100

*2 ㈱建築研究所環境研究グループ 交流研究員

*1 Assoc. Prof., Faculty of Environmental & Symbiotic Sciences, Prefectural Univ. of Kumamoto, Dr. Eng.

*2 Exchange Researcher, Dept. of Environmental Engineering, Building Research Institute

ができる。この理論入力能力に、全断熱効率、モーター効率、インバータ損失、ファン消費電力、制御用電力等を考慮した入力補正を適用し、実働入力能力を導く。この実働入力能力を、任意の外気温度、能力、ならびに市販されている様々な定格クラスの機種に対して算出するため、実働入力能力曲線を多項式で近似し、上述のパラメーターから近似係数を求める評価式を作成する。これらの導出過程は6章と7章に示す。

手順③実働入力能力特性の一般化

手順②により評価対象機種の実働入力能力特性が算出可能となるが、評価対象機種と定格入力能力や最大能力が異なる機種に対する評価に対応するため、文献2の方法を用いて評価式を一般化する。一般化の方法は容量可変機種、一般機種共に共通なので、本論文では割愛する。

4. 評価試験の方法

ア) 室内外機の温湿度設定条件

評価試験は、熊本県立大学の2室型人工気候室を用い、図1のA室を外気側条件、B室を室内側条件室としてそれぞれ室外機と室内機を設置した。A室、B室の温湿度条件を表1に示す。

イ) 評価対象機器の仕様

評価対象のルームエアコンの仕様を表2に示す。2.2kWクラスは電源電圧100V、その他は200Vである。なお、2.2kWクラスの試験は2011年、その他機器は2013年に実施した。

ウ) 測定項目

測定項目を表3に示す。冷媒温度は、冷媒配管に絶縁処理をした後に熱電対を貼り、周囲を断熱材で被覆して計測した。エアコンの能力は既報^{1)~3)}と同じく空気エンタルピ法により算出し、送風量はファンの回転数から求めた¹⁾。

エ) 試験の方法

A室、B室を表1に示す実験条件に設定し、温湿度が安定した後にエアコンの運転および測定を開始した。その後、リモコンの設定温度とB室温度の差を5℃~0℃の間で変化させて室内機的能力を調節した。室内機の風量設定は自動、水平/垂直フラップの位置は中央に設定した。一般的に水平フラップは冷房時に水平、暖房時は下向きの角度で運転されることが多いが、本試験では中央に固定した時の能力を基準とし、フラップ位置の他、様々な要因に起因する風量変化による能力補正は別途考慮⁴⁾する。表1の設定温度に対して、温度条件は±0.5℃、相対湿度は±5%以内の誤差、かつ消費電力が10分以上安定(10%以内の変動)したデータを用いて解析を行った。

5. 冷媒変動特性ならびに冷凍サイクルの同定

任意の外気温度と能力に対する冷凍サイクルを決定するため、冷媒温度の変動特性を解析した。図2に、定格冷房能力4.0kW機種の凝縮、蒸発温度の測定例(上段;冷房 下段;暖房)を示す。例えば、冷房時の蒸発温度は、外気温度に関わらず、能力の関数として近似できる。^{注1)}一方、凝縮温度は外気温度により変化し、近似的には、設定外気温度の差分を凝縮温度の相対的变化とみなすことができる。したがって、冷房時の凝縮温度は、35℃の凝縮温度の近似式に、外気温度の補正を加えて推定できる。図3(上段;冷房35℃、下段;暖房7℃)に示すコンプレッサの吸込みと吐出温度について

図1 人工気候室平面と試験機設置状況

表1 温湿度設定条件

	外部		室内	
	温度	湿度	温度	湿度
	[℃]	[%]	[℃]	[%]
冷房	25	40	27	47
	30	40	27	47
	35	40	27	47
暖房	2	87	20	59
	7	87	20	59
	12	87	20	59

表2 評価機器の仕様

	冷房定格能力	2.2kW	4.0kW	7.1kW
発売時期	2010年	2012年	2012年	
冷房	定格能力 kW	2.2	4.0	7.1
	定格消費電力 W	425	1020	2940
	能力範囲 kW	0.2~3.3	0.2~5.4	0.3~7.3
暖房	消費電力範囲 W	45~850	55~1700	60~3040
	定格能力 kW	2.5	5.0	8.5
	定格消費電力 W	425	1040	2640
能力範囲 kW	0.2~6.1	0.2~11.5	0.3~11.9	
	消費電力範囲 W	45~1490	55~3650	60~3900

表3 測定項目

項目		センサー	間隔
室内機	吹出温度(5点)	熱電対	1分
	吸込温度(1点)	熱電対	
	吹出湿度(1点)	静電容量式	
	吸込湿度(1点)	静電容量式	
	送風ファン回転数	回転数計	
	消費電力	クランプ式	
	(冷媒) ガス管温度	熱電対	
(冷媒) 液管温度	熱電対		
室外機	吹出温度(3点)	熱電対	
	吸込温度(1点)	熱電対	
	(冷媒) コンプレッサー吸込	熱電対	
	(冷媒) コンプレッサー吐出	熱電対	
	(冷媒) 膨張弁入口	熱電対	
	(冷媒) 膨張弁出口	熱電対	
	(冷媒) コイル表面温度	熱電対	
	(冷媒) コイル出口温度	熱電対

図2 凝縮/蒸発温度特性の測定例

も、図2と同様に整理することができる。図4には、4.0kW機種、冷房時のサブクール(SC)の計測結果を示す。能力と共にSCのばらつきも大きくなるが、分布に温度依存は認められないので、図の近似式を用いた。暖房についても同様の方法でSCの近似式を作成した。以上のような機種別の冷媒計測結果を用いて冷凍サイクルを決定し、手順②に述べた理論入能力を算出した。なお、吸込み温度は図3の近似式を用いて推定するので、スーパーヒート特性は用いない。また、一般機種では断続運転となる低能力領域を除けば、容量可変機種の冷媒温度の変動特性は一般機種と同等¹⁾²⁾であった。

6. 実働入能力特性の導出

5章で求めた理論入能力特性に、既報³⁾で示した方法を適用して実働入能力特性を導出した。

エアコン全体の消費電力(実入力) P^* [W] を、

$$P^* = W_c + W_f + W_i + W_o = W_c + P_B \quad \dots (1)$$

W_c : コンプレッサ消費電力 [W] W_f : ファン消費電力 [W]

W_i : インバータ損失 [W] W_o : 制御電力 [W]

P_B : 補機類動力 [W]

と表す。 P_B の測定例(4.0kW機種)を図5に示す。図の近似直線の近似係数(一次近似係数 a 、定数項 b)を用いれば、 P^* [W] は、

$$P^* = W_c + a \cdot W_c + b = (a+1)W_c + b \quad \dots (2)$$

である。ここで、冷凍サイクルから求める理論入力 P [W] と W_c の関係は、全断熱効率 η_{ad} と、モーター効率 η_e を用いれば、

$$W_c = \frac{P}{\eta_{ad} \cdot \eta_e} \quad \dots (3)$$

である。したがって、 $\eta_{ad} \cdot \eta_e$ を決定できれば、(3)式と図5、および(2)式から P^* を算出することができる。 $\eta_{ad} \cdot \eta_e$ の決定方法として、既報³⁾では、①求めようとする実働能力に対する実働入力 P^* を、実

図3 吸込み/吐出温度特性の測定例

測した実働入能力の近似式から求め、②この値と(2)式および図5の a 、 b より W_c を決定し、③ P と(3)式から $\eta_{ad} \cdot \eta_e$ を算出する方法を示した。この $\eta_{ad} \cdot \eta_e$ は P に対して連続的に算出できるから、さらに外気温度に対する関数として整理すれば、任意の P と外気温度に対する $\eta_{ad} \cdot \eta_e$ を決定することができる。(図6算出フロー1参照。)

4.0kW機種の冷房、外気温度35℃に対して、上述の方法を用いて算出した $\eta_{ad} \cdot \eta_e$ を図7に示す。 P が200W以上の場合、 $\eta_{ad} \cdot \eta_e$ は400~500Wをピークとして P と共に減少し、相対的変動や値は妥当^{注2)}と考えられる。一方、200W未満の領域では急激に増大しており、2シリンダから1シリンダ運転への移行に伴う $\eta_{ad} \cdot \eta_e$ の変化の傾向を表していると考えられるが、100W未満の領域では1.0を超えてしまう場合があり、適切な値とは言えない。これは冷凍サイクルから理論入力を求める際に、入力が100W以下となる領域では、凝縮/蒸発温度の僅かな差により理論COPが大きく変動するので、図2の近似誤差により理論入力の算出精度が低下したことが主たる原因と考えられる。この領域で $\eta_{ad} \cdot \eta_e$ を精度良く算出するためには、 P を数W以下の精度で推定する必要があり、困難である。そこで、今回の解析では $\eta_{ad} \cdot \eta_e$ の代表値としてそれぞれ0.8と0.95 ($\eta_{ad} \cdot \eta_e = 0.76$)

図4 サブクール特性の測定例

図5 補機類動力特性測定例

図7 $\eta_{ad}\eta_e$ 算出結果

図6 実入力の算出フロー1

図8 実入力の算出フロー2

を仮定して W_e を求め、算出された入力特性に補正係数^{注3)} を乗じて実働入力特性を求めた。(図 8 算出フロー2 参照。) この場合の補正係数の意味は、能力により変動する $\eta_{ad} \cdot \eta_e$ を一定値として仮定したことにより生じる入力の推定誤差 (W_e と P_B の推定誤差) の補正係数である。補正係数は 2.2kW クラスで 0.9~1.4、4.0kW クラスで 1.0~1.2、7.1kW クラスで 1.0~1.3 であった。

7. 入力特性ならびに入能力特性近似式の導出

6 章の方法により実働入力能力を求めることができるが、住宅事業建築主の判断の基準における評価の段階で冷凍サイクルの計算等を個別に実施することは実務上困難なため、外気温度、能力、ならびにルームエアコンの定格クラスをパラメーターとして、実働入力能力の近似式を算出する。そのため、実働入力能力の近似係数を、上述のパラメーターから求める評価式を作成する。

まず、各能力クラスの実働入力能力を、定格入力と定格能力で除して基準化し、能入力比として整理する。図 9 は定格 4.0kW 機種の冷房能入力比の近似結果である。

次に、図の多項近似式の近似係数を外気温度で近似する。4.0kW 機種種の例を図 10 に示す。近似精度を考慮し、X 軸は外気温度の 100 分の 1 とした。

最後に、図 10 の近似式の近似係数を能力クラスごとに整理した。結果を表 4 に示す。表では、計測対象機器である 2.2kW、4.0kW、7.1kW クラスの係数が示されている。これら能力クラスの間際のクラスについては、能力クラスの値で按分(直線近似)して係数を求める。表中の γ は、定格能力比=1 の時の各温度の定格入力比であり、3 章で述べた手順③の入能力特性の一般化に用いる。

8. 評価式の推定精度の検証

作成した評価式の推定精度を、他の試験機関(東京電力株式会社人工気候室)で測定した入力特性の結果と比較して検証する。以後、7 章までの評価式による入力特性や COP を評価値、8 章の入能力特性と COP を実測値と記す。測定概要を以下に示す。

ア) 室内外機の温湿度設定条件

表 1 に示した温湿度条件の内、冷房外気 35℃、暖房外気 7℃の条

件のみ実施した。ただし、試験装置の制御性能から、冷房の低負荷条件では湿球温度が約 3℃高くなった。

イ) 評価対象機器の仕様

表 5 に機器仕様を示す。2.2kW クラスは表 2 の機種と製造年、仕様が異なる。表 5 の 2.2kW 機種の入能力特性の算出に際しては、3 章手順③で述べた実働入力能力特性の一般化を適用した。6.3kW クラス機器の入能力特性と COP の評価値は、表 4 の係数を用いた近似式より算出した。以上のように、本章における検証は、基準機種と異なる機種に対する評価値の推定精度の確認を主な目的とする。

図 9 能入力比の近似例

図 10 能入力比近似係数の外気温度近似例

表 4 能入力比近似係数算出表 (左; 冷房 右; 暖房)

定格能力クラス	2乗係数	1乗係数	0乗係数
4乗係数	2.2	-1.08	0.274
(能入力近似式)	4	-0.32	-0.204
	7.1	-1.5	0.455
3乗係数	2.2	0	1.513
(能入力近似式)	4	0	1.008
	7.1	0	1.59
2乗係数	2.2	0	-2.375
(能入力近似式)	4	0	0.04
	7.1	0	-0.788
1乗係数	2.2	9.6	-0.846
(能入力近似式)	4	-1.56	1.79
	7.1	-0.76	1.236
0乗係数	2.2	0	-0.102
(能入力近似式)	4	0	0.024
	7.1	0	0.009
γ	2.2	0	3.576
	4	0	1.53
	7.1	0	1.146

定格能力クラス	2乗係数	1乗係数	0乗係数
4乗係数	2.2	-0.04	0.0056
(能入力近似式)	4	0.16	-0.5264
	7.1	-3.36	-0.6996
3乗係数	2.2	-0.2	0.046
(能入力近似式)	4	-0.04	1.4896
	7.1	9.36	1.3616
2乗係数	2.2	-0.64	-0.7864
(能入力近似式)	4	-0.94	-0.9654
	7.1	9.24	-0.4664
1乗係数	2.2	-0.18	-2.6298
(能入力近似式)	4	2	-1.312
	7.1	4.26	-0.9854
0乗係数	2.2	0	0
(能入力近似式)	4	0	0.033
	7.1	0	-0.011
γ	2.2	18.233	-7.111
	4	1.12	-1.2728
	7.1	0.6	-0.742

ウ) 測定項目

測定項目は表 3 と同等であるが、風量の算出方法は、ルームエアコンから吹き出された空気を受風チャンパで受け、チャンパに接続された風量測定ダクトのオリフィス差圧から求める方法を用いた。受風チャンパや、ダクト、オリフィスにより生じる送風抵抗は、風量測定ダクトに接続された送風ファンでキャンセルし、受風チャンパ内外の差圧が無い状態にした。

エ) 試験の方法

室内機が設置された部屋の負荷は、定格相当から定格能力の 75%、50%、25%、10%を目標にステップ状に変化させた。風量の設定は 4 章の試験と同じく自動であるが、水平フラップの位置は冷房時中央、暖房時は下向きであった。そのため、暖房時の風量が評価式の基準状態と異なるので、本測定結果と COP の評価値を比較する際、8.2 節で述べる方法を基に補正を行った。

8.1 冷房時の検証

1) 2.2kW 機種

図 11 に冷房、外気温度 35℃の場合の COP 曲線の比較を示す。評価値と実測値を比較すると、能力 1000W 以上の領域の推定誤差は最大 14%である。また、評価値は 700W 程度でピークに達した後、200W 近傍で 4.0 程度まで低下している。実測値は、700W でピークに達する点は同じだが、値が 1.0 程度高い。この原因として、湿湿度の条件設定にて述べたように、この領域の湿球温度が約 3℃高く、潜熱量が増大した可能性がある。7 章の実測では、能力 400W と 700W でそれぞれ 30W と 160W の潜熱が発生したが、5 章の測定では、全ての機種において、能力が 700W 以下の領域の蒸発温度は露点温度 (14.6℃) 以上となり、ほとんど除湿されなかった。(図 2 参照)そこで、図 11、点線内のプロットに対し、700W 近傍の場合 160W、400W 近傍の場合は 30W の潜熱量を引いた結果を併記する。補正値は評価値とほぼ一致する。

2) 6.3kW 機種

図 12 に 6.3kW 機種の比較結果を示す。実測値の点線内のプロットは上述の 2.2kW 機種と同様に湿度が高く、能力 800W 近傍で 260W、300W 近傍で 75W の潜熱が発生したので、潜熱量を補正した結果を併記する。補正後の COP は評価値と一致することが確認できる。

8.2 暖房時の検証

1) 2.2kW 機種

図 13 に暖房、外気温度 7℃、2.2kW 機種の比較を示す。試験の方法にて述べたように、実測値の風量は、水平フラップが下向きに設定された状態であったため、評価値の風量よりも少なかった。図 14 は、実測値の風量と、4 章の試験で用いた回転数-風量特性から算出した風量の比較である。この風量に伴う COP の変化量を、以下の方法で補正した。まず、フラップ位置が水平と仮定した場合の実測値の吹き出し温度を以下の式から推定する。

$$(T_{room}-Te_1)Q_1c_p=(T_{room}-Te_2)Q_2c_p \quad \dots (4)$$

T_{room} : 吸込み温度 [℃] Te_1 : 実測吹き出し温度 [℃]

Q_1 : 実測風量 [kg/s] c_p : 空気比熱 [J/℃kg]

Te_2 : フラップ水平時吹き出し温度 [℃]

表 5 評価機器の仕様

	冷房定格能力 発売時期	2.2kW	6.3kW
		2012年	2012年
冷 房	定格能力 kW	2.2	6.3
	定格消費電力 W	450	2450
	能力範囲 kW	0.2~3.3	0.3~6.5
	消費電力範囲 W	45~850	55~2550
暖 房	定格能力 kW	2.5	7.1
	定格消費電力 W	450	1980
	能力範囲 kW	0.2~5.8	0.3~11.5
	消費電力範囲 W	45~1500	55~3650

図 11 2.2kW クラス冷房 COP の比較

図 12 6.3kW クラス冷房 COP の比較

図 13 2.2kW クラス暖房 COP の比較

図 14 実測風量の比較

Q_l : フラップ水平時風量 [kg/s] ※図 14 の風量比より算出

次に、 Te_1 と、 Te_2 の差が凝縮温度の変化量にほぼ等しいと仮定し、評価式作成時の理論冷凍サイクルに対して凝縮温度が変化、すなわちフラップが下向きで風量が減少し、凝縮温度が上昇した時の理論入能力および実入能力を算出する。凝縮温度変化前後の COP の差を、風量変化に伴う補正值とする。以上の補正の結果得られた COP を併記する。能力 500W 近傍において、評価値は実測値より最大 12% 小さくなるが、それ以外の領域では両者はほぼ一致している。

2) 6.3kW 機種

図 15 に 6.3kW 機種の比較を示す。図には 2.2kW 機種と同様に、風量補正を行った結果を併記する。能力 3000W 近傍で最大 10% の誤差があるが、概ね評価値は実測値と一致している。

以上の比較により、本論文で示した可変容量機種の入能力特性と COP の評価値は妥当であることが確認できた。

9. まとめ

本論文では、容量可変機種の入能力特性、ならびに COP を、既報で示した方法を基に評価した。評価試験の方法と、能力比の導出過程を示すとともに、入能力特性の近似式を求める係数を提示した。また、評価式を用いて算出した COP と、他の試験機関で実測した COP を比較した。実測値は、冷房時の低負荷領域の湿度の実現値や、暖房時の風量設定が評価式の基準と異なる場合があったが、これらを補正した COP は、評価値と良く一致することが確認できた。

最後に、容量可変機種と一般機種で仕様を統一し、COP の評価値を比較した結果を図 16 に示す。図から明らかなように、容量可変機種の COP は、能力が 2kW 以下の領域で相対的に高くなる傾向がある。2kW を超える領域では両機種の COP は同等となるが、2.2kW クラス暖房の場合、定格能力以上となる 3kW～6kW の領域では一般機種の COP がやや高い。このように、容量可変機種の COP の評価値は常に一般機種よりも高いとは言えないが、住宅の負荷分布に対してより望ましい特性を有している。従って、容量可変機種は、定格 COP 等のカタログ上の仕様が同等の一般機種よりも年間の電力消費量が少なくなると言える。

注釈

注 1) 外気温度 25℃において、他の外気温度よりも蒸発温度が高い点が存在する。これは同能力に対する室内機の送風量が多い場合であり、風量制御を考慮して蒸発温度を近似すれば、推定精度は向上する。

注 2) 文献 5 には同タイプのコンプレッサの効率の変動範囲が示されており、これにモーター効率 (0.95) を乗じると $\eta_{ad} \cdot \eta_e$ は 0.5～0.7 となる。

注 3) 補正係数の例を参考図 1 に示す。図の例では、入能力の実測値が能力 4000W を境に不連続に変化しているため、4000W 未満と以上で異なる補正係数を採用した。

図 15 6.3kW クラス暖房 COP の比較

図 16 容量可変機種と一般機種の COP の比較
(冷房；外気温度 35℃、暖房；7℃)

参考図 1 入能力特性の補正係数の例 (7.1kW クラス 冷房)

参考文献

- 1) 細井，澤地，三浦：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，日本建築学会環境系論文集 第 622 号，pp. 65～72，2007. 12
- 2) 細井，澤地，三浦，安浪：実測に基づくルームエアコンディショナの COP 算出方法 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 2，日本建築学会環境系論文集 第 654 号，pp. 741～747，2010. 8
- 3) 細井，三浦，澤地：実使用時のルームエアコンディショナの COP 評価 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 3，日本建築学会環境系論文集 第 681 号，pp. 881～888，2012. 11
- 4) 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，建築環境・省エネルギー機構，pp. 82～102，2009. 3
- 5) 冷媒圧縮機，日本冷凍空調学会，pp. 69～71，2013. 3
- 6) 細井，山手，安浪：コンプレッサ容量可変式ルームエアコンの COP，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp. 935～936，2012. 9
- 7) 冷凍サイクルの動特性と制御，日本冷凍空調学会，2009. 2
- 8) JIS B 8615-1，日本規格協会，1999. 3

[2014 年 8 月 20 日原稿受理 2014 年 12 月 1 日採用決定]