

## 蓄熱負荷を利用した家庭用エアコンの COP 測定方法に関する研究

F17E052B 蜂谷 亮祐 指導教員 赤林 伸一 教授

### 1 研究目的

室内の快適性の向上や新たな家電製品の普及等により、住宅部門のエネルギー消費量は、今後、更に増加すると予想されている。住宅における暖冷房のエネルギー消費量は、住宅全体の約 1/4<sup>文1)</sup> を占めており、住宅の省エネルギーの推進のためには、住宅の断熱・気密性能の向上と共に、暖冷房機器の性能の向上が求められている。特に、ヒートポンプにより暖冷房を行う家庭用エアコンでは、外気温と暖冷房出力に応じて機器の成績係数 (Coefficient of Performance: COP) が大きく変化するため、地域の気象条件及び建物の熱損失係数を含めた建物の熱負荷特性に応じた機種を選定が極めて重要である。

家庭用エアコンは、エネルギー使用の合理化に関する法律 (省エネ法) に基づくトップランナー方式により機器効率が年々高まっている。現在の機種選定では断熱性能の極めて低い<sup>※1</sup> 部屋の大きさに応じた 6 畳用・8 畳用・16 畳用等の機種のラインナップの中から設置する部屋の大きさのみで機種が選定されている。そのため、断熱化された住宅では過大な暖冷房能力を持った機種が選定され、実使用時では暖冷房期間の多くの時間は COP の悪い部分負荷運転あるいは ON/OFF 運転している状況にあり、省エネルギーの面では極めて問題が多い。最適な機種を選定を行うためには、エアコンの機器特性 (外気温・暖冷房出力・COP の関係 (COP マトリックス)) の把握が必要である。既往の研究<sup>文2)</sup> では、簡易カロリーメータを用いて、COP マトリックスデータベースの構築を行っている。

これまでの家庭用エアコンの COP 測定では、室内機用チャンバーに設置された空調機によって室温を制御し、エアコンの吸込口温度を変化させることで、空調負荷を調整している。しかし、最近のエアコンでは制御方法が複雑になり、既存の測定方法では COP マトリックスを精度よく測定することが困難となっている。一方、既報<sup>文3)</sup> ではエアコンの暖冷房出力が最大から最小まで時系列的に低下する過渡的状态におけるヒートポンプの COP 測定を行っている。しかし、過渡的状态で測定を行う際に室内機用チャンバー内の熱容量が少ないと、室内機の吸込温度が短時間でエアコンの設定温度に達するため、COP マトリックスの作成に必要なデータを十分に確保することが困難である。

本研究では、簡易カロリーメータの室内機用チャンバー内に新たに蓄熱材を設置し、蓄熱負荷に対して測

定対象エアコンで暖冷房を行う。エアコンの暖冷房出力が時系列的に緩やかに低下する過渡的状态において十分なデータを取得することのできるヒートポンプの COP 簡易測定方法を開発する。また、暖房時ではエアコンから吹出された相対的に高温の気流が十分に拡散せずに吸込口に到達するショートサーキットを形成する可能性がある。暖房実験においてショートサーキットが生じた場合、室内に上下方向に温度分布が形成され、蓄熱負荷をエアコンが処理できなくなることが考えられる。本研究ではショートサーキットが生じないようエアコンの吸込口と吹出口の間に仕切りを設置して実験を行い、この効果を検討する。なお、本測定方法では一回の実験でエアコンの出力と COP の関係を連続的に測定可能であるため、室内温度を制御していた測定方法に比較して短時間化・省力化することも意図している。

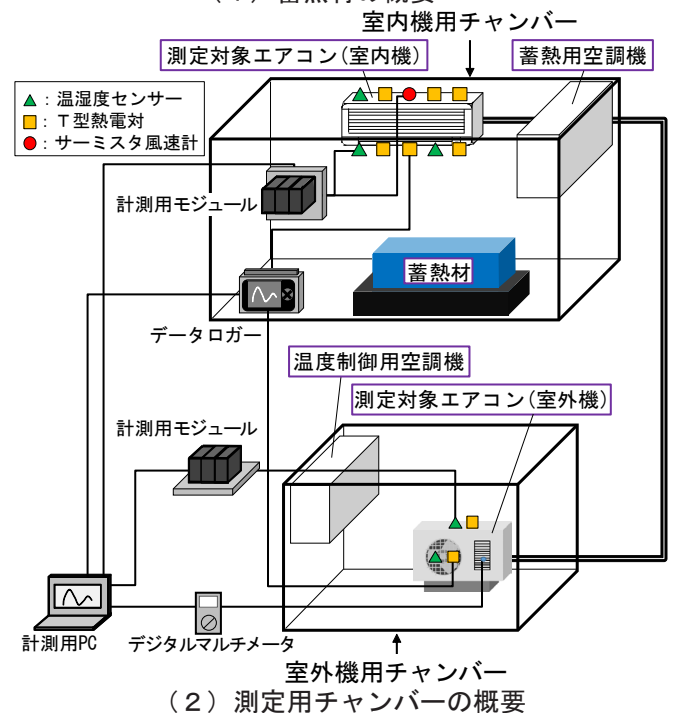
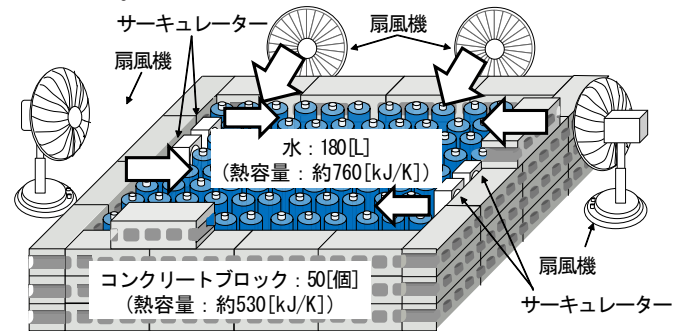


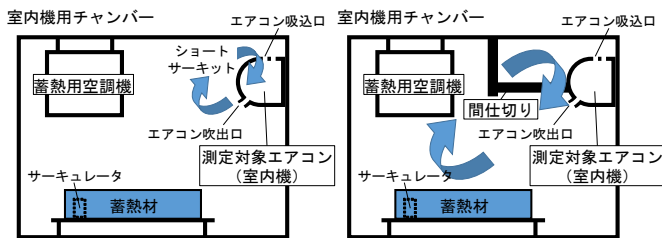
図1 蓄熱式簡易カロリーメータの概要

## 2 研究概要

2.1 蓄熱式簡易カロリーメータの概要：図1に蓄熱式簡易カロリーメータの概要を示す。蓄熱材には水を入れたペットボトル(1.5[L]×120[本]、総熱容量約760[kJ/K])及びコンクリートブロック(390[mm]×190[mm]×120[mm]×50[個]、総熱容量約530[kJ/K])を用い、顕熱蓄熱を行う。蓄熱材周辺の対流熱伝達率を大きくして放熱を促進させ、室内機用チャンバー内の温度分布を均一にするために扇風機とサーキュレーターを配置する。水とコンクリートブロック、蓄熱材

表1 実験対象とした家庭用エアコンのカタログ性能

メーカー	性能										電源 相 電圧[V]	
	冷房					暖房						
	出力[kW]	消費電力[W]	COP[-]	出力[kW]	消費電力[W]	COP[-]	APF[-]	期間消費電力[kWh]				
M社	2.2	0.6 ~ 3.4	440 ~ 105	880 ~ 5.0	2.5	0.6 ~ 5.2	465 ~ 105	1480 ~ 5.4	6.9	603	単	100
D社	4.0	0.5 ~ 5.3	790 ~ 1,330	5.1	5.0	0.4 ~ 12.2	890 ~ 75	3,730 ~ 5.6	7.2	1,051	単	200



(1) 間仕切りなし (2) 間仕切りあり  
図2 室内機用チャンバーにおける間仕切りの設置概要

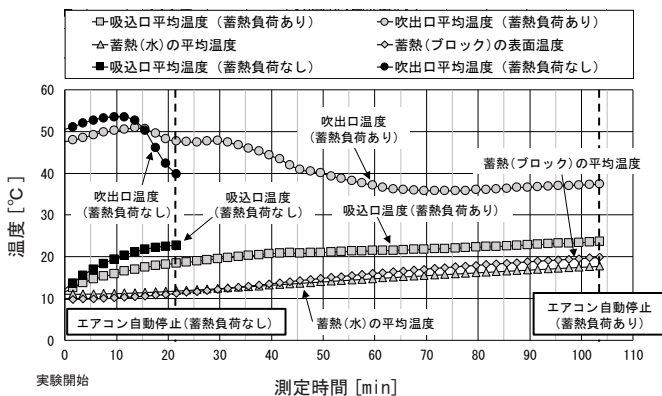
に設置したサーキュレーターの吸込部にはそれぞれT型熱電対を設置し、蓄熱部の温度を測定する。室内機用チャンバー内に蓄熱用空調機を設置し、空気温度を変化させることで蓄熱温度を制御する。室外機用チャンバーでは温度制御用空調機により室外機の吸込口温度を制御することで外気温を変化させる。なお、室外機用チャンバーでは蓄熱は行わない。

2.2 実験の概要：表1に実験対象とした家庭用エアコンのカタログ性能を示す。本実験では始めに、蓄熱用空調機を稼働させて蓄熱を行う。水を入れたペットボトル及びコンクリートブロックは暖房実験では水温及び表面温度が0~5[°C]、冷房実験では40~45[°C]となるように蓄熱する。次に実験対象エアコンを稼働させ、出力が一定となり安定したことを確認する。その後、蓄熱用空調機を停止し実験を開始する。測定対象エアコンで室内機用チャンバーの暖冷房を行い、室内温度が設定温度に近づく過渡的状态において測定を行う。

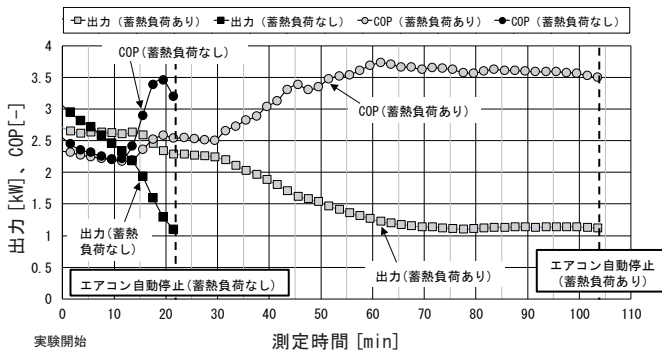
図2に室内機用チャンバーにおける間仕切りの設置概要を示す。エアコンの吸込口と吹出口の間をアルミマットにより仕切ることでショートサーキットを防止する。

本研究では蓄熱負荷の有無による比較を実験①とし、M社製エアコン(定格冷房能力:2.2[kW])を対象に行う。また、間仕切りの有無による比較を実験②としてD社製エアコン(定格冷房能力:4.0[kW])を対象に行う。

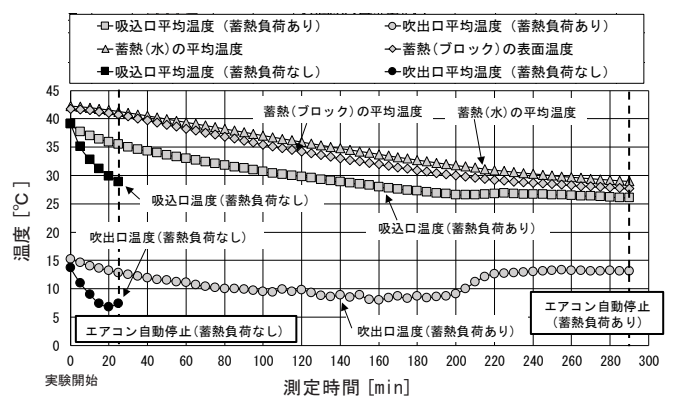
温湿度センサー<sup>※2</sup>、T型熱電対を図1(2)に示す



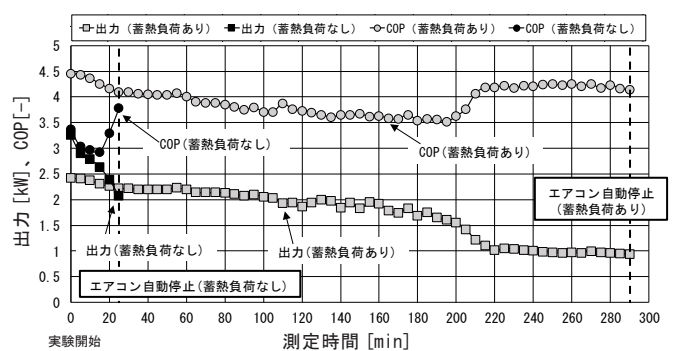
(a) エアコンの吸込・吹出口及び蓄熱材の温度



(b) エアコンの出力及びCOP



(a) エアコンの吸込・吹出口及び蓄熱材の温度



(b) エアコンの出力及びCOP

(1) 暖房時(エアコン設定温度:20°C、外気温:7°C) (2) 冷房時(エアコン設定温度:27°C、外気温:35°C)

図3 蓄熱負荷の有無によるエアコンの稼働状況の推移(M社製エアコン、風量設定:弱)

位置にそれぞれ設置し、エアコン室内外機の吸込・吹出空気の温湿度を測定する。外気温は室外機吸込口温度とする。実験①では室内機の循環処理風量<sup>※3</sup>はアタッチメントで室内機吹出口に直列に接続したシロッコファンと気密測定装置の風量測定装置で制御する。尚、エアコンの風量設定は弱（暖房時：5.4[kg/min]、冷房時：9.0[kg/min]）及び強（暖房時：8.4[kg/min]、冷房時：12.0[kg/min]）とする。実験②ではエアコンの風量設定は1とする。又、どちらの実験でも運転時のエアコンの稼働状況を把握する為、室外機にデジタルマルチメータを接続し、圧縮機のインバータ周波数を測定する。データのサンプリング間隔は1.0[s]である。COPは家庭用エアコンCOP簡易測定法<sup>※4</sup>により算出する。

2.3 COPマトリックスの作成：外気温、冷暖房出力及びCOPの関係からCOPマトリックスの作成を行う。外気温0.1[°C]、出力0.1[kW]毎にCOPマトリックス内にプロットし、測定結果がない条件は回帰式により補完する。

### 3 測定結果

#### 3.1 蓄熱負荷の有無による比較（実験①）

3.1.1 エアコンの稼働状況の比較：図3に蓄熱負荷の有無によるエアコンの稼働状況の推移を示す。測定開始時を0分として示す。蓄熱負荷がない場合、暖冷房時ともに測定開始から約25分で吸込口温度が設定温度となり、エアコンは自動的に停止する。蓄熱材を設置した場合には蓄熱負荷なしと比較して、吸込口温度の

変化が緩やかになる。暖房時では実験開始から約30分の時点で、冷房時では200分の時点でエアコンの吸込温度が設定温度（暖房時：20[°C]、冷房時：27[°C]）に近づき、エアコンの出力が減少する。

暖房時では実験開始後70分、冷房時では実験開始後220分以降では出力が1.0[kW]程度で安定し、その後エアコンは自動的に停止する。この時のCOPは暖房時では約3.6、冷房時では約4.2となる。蓄熱負荷ありの場合、実験開始からエアコンが自動的に停止するまでの時間は、暖房時では約100分、冷房時では約290分となり、蓄熱負荷がない場合に比較して暖房時では約5倍、冷房時では約10倍長くなる。

3.1.2 COPマトリックスの比較：図4にM社製エアコンの風量別のCOPマトリックスを示す。蓄熱負荷の有無では、暖冷房ともに設定風量に関わらずCOPがピークとなる外気温と出力に大きな変化は見られない。しかし、出力が測定された範囲は、暖房時の風量設定弱においては約0.5[kW]、風量設定強においては外気温15[°C]時を除いて約0.5[kW]、冷房時の風量設定弱においては外気温24[°C]と38[°C]時に約1.0[kW]、風量設定強においては外気温24[°C]から28[°C]にかけて約0.5[kW]拡大した。また、COPの最大値は全ての条件において、約1.5程度上昇した。

風量設定の違いで比較すると、COPの分布範囲は概ね一致しているが、暖房時では、出力が約1.5[kW]付近で外気温が高温時において、風量設定強の方がCOPが約1.0

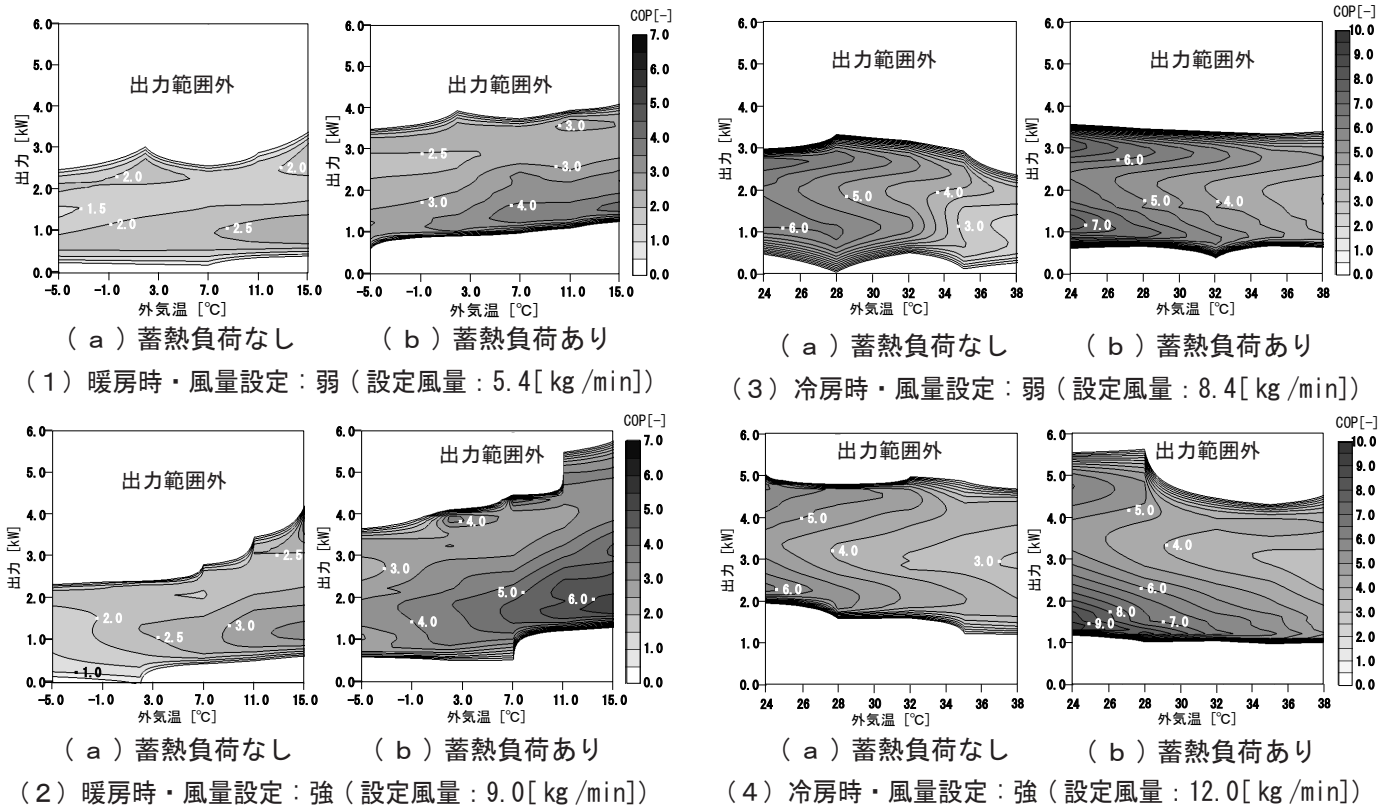


図4 M社製エアコン（定格冷房能力：2.2[kW]）の風量別のCOPマトリックス

大きい。冷房時では、出力が約 3.0[kW] 付近で外気温が低温時において、風量設定弱の方が COP が約 2.0 大きい。

**3.2 間仕切りの有無による比較（実験②）：**図 5 に間仕切りの有無によるチャンバー内温度の比較を示す。間仕切りなしの場合、床付近の蓄熱材内に設置したサーキュレーターの吸込温度と室上部に設置されたエアコンの吸込口の温度差は実験開始後に変化し、最大約 8 [°C] となる。これはエアコンから吹出された気流がショートサーキットし、室内に十分拡散せずエアコンの吸込口に到達しているためと考えられる。間仕切りありの場合、エアコンの吸込口温度とサーキュレーター吸込温度が概ね同様に上昇し、温度差は約 1 [°C] と少ない。室内機用チャンバー内の上下方向の温度差は間仕切りなしと比較して少なくなっている。

図 6 にエアコンの出力と COP の測定結果を示す。間仕切りなしの場合では、実験開始後 40 分～140 分において出力が 2.0～6.0[kW] に比較的大きく変動し、COP はそれに伴って 4.0～12.0 程度まで変化するため、COP マトリックスを作成する際の処理が困難となる。間仕切りを設置した場合、エアコンの出力と COP の変動は比較的小さくなり、高～低出力までの範囲で比較的安定してデータの取得が可能である。

図 7 に間仕切りの有無による COP マトリックスの比較を示す。カタログの定格暖房 COP は 5.6 (定格暖房出力 : 5.0[kW]) であるが、実験ではどちらの場合でも約 6.0 となる。COP がピークとなる出力はどちらも定格暖房能力の 4 割程度の出力の 2.0[kW] である。測定できた出力範囲は間仕切りありの方が高出力側に約 1.0[kW] 大きい。

#### 4 まとめ

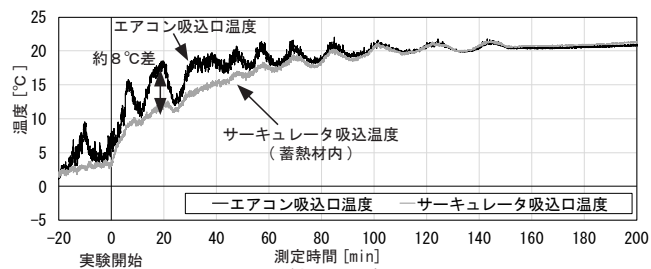
##### ①蓄熱負荷の有無による実験結果

蓄熱負荷を用いることにより、エアコンの稼働時間を暖房実験では約 5 倍、冷房実験では約 10 倍延長させることが可能となった。COP の測定可能範囲は蓄熱負荷を設置した場合で高出力側に 0.5～1.0[kW] 程度大きくなる。

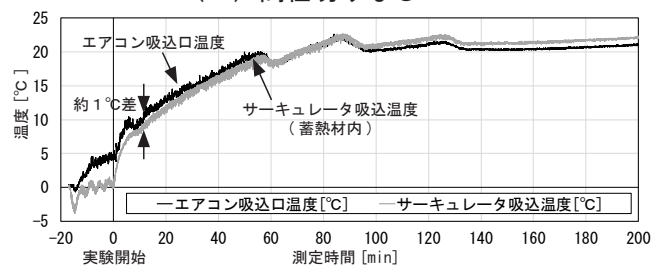
##### ②間仕切りの設置による実験結果

間仕切りを設置した場合、室内機用チャンバー内の上下方向の温度分布は少なくなることが確認された。COP

マトリックスの測定可能範囲は高出力側に約 1.0[kW] 大きくなった。間仕切りを設置することで出力と COP の変動は比較的小さくなり、高～低出力までの範囲で比較的安定してデータの取得が可能である。

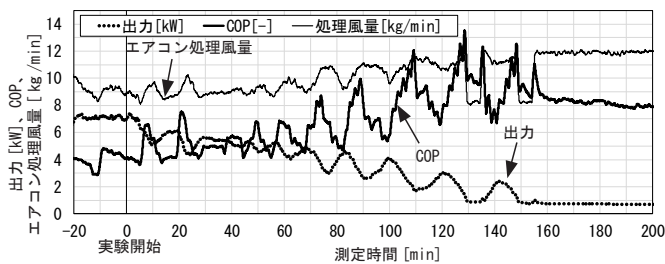


(1) 間仕切りなし

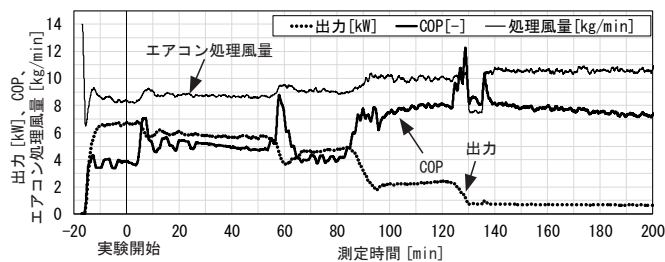


(2) 間仕切りあり

図 5 間仕切りの有無によるチャンバー内温度の比較 (D社製エアコン、暖房時、風量設定：1、外気温 7°C)

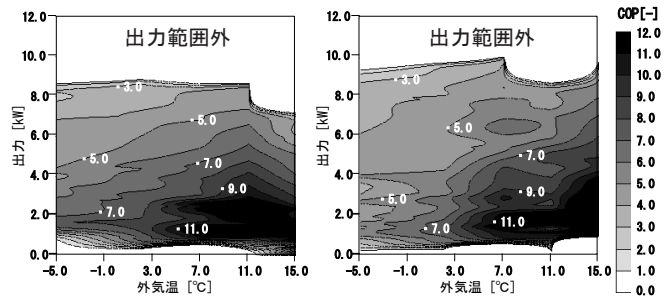


(1) 間仕切りなし



(2) 間仕切りあり

図 6 エアコンの出力と COP の測定結果 (D社製エアコン、暖房時、風量設定：1、外気温 7°C)



(1) 間仕切りなし

(2) 間仕切りあり

図 7 間仕切りの有無による COP マトリックスの比較 (D社製エアコン、暖房時、風量設定：1)

#### 注釈

- ※1 単位床面積当たりの暖冷房負荷値は 1964 年から改正されておらず、現在エアコン選定の際に用いられる量数目安は断熱性能が極めて低い住宅が基準となっている。
- ※2 温度分解能 : 0.1[°C]、湿度分解能 : 0.1[%]、温度測定精度 : ±0.5[°C] (0.0～35.0 [°C])、±1.0[°C] (35.1～70.0[°C])、湿度測定精度 : 測定温湿度によるが概ね ±5.0～10.0[%]。
- ※3 予備実験により、吸込口風速と吹出風量の関係を測定することにより、吸込口風速から処理風量を算出する。本研究では処理風量は重量流量 [kg/min] で示す。

#### 参考文献

- 文 1) 経済産業省資源エネルギー庁「エネルギー白書 2017」
- 文 2) 赤林・坂口・文・有波「家庭用エアコンを対象とした実使用時の COP に着目した最機種選定方法に関する研究 その 1 2013 年度モデルを対象としたカタログスタディ及び簡易カロリメータの概要」日本建築学会大会学術講演梗概集 2014 年
- 文 3) 赤林・坂口・有波・蜂谷「家庭用エアコンを対象とした実使用時の COP に着目した最機種選定方法に関する研究 その 7 ME 社製家庭用エアコンの性能測定及び APF の算出」日本建築学会北陸支部研究報告集 第 60 号 2017 年
- 文 4) 赤林・坂口・佐藤・浅間「家庭用エアコン COP 簡易測定法の開発研究」日本建築学会技術報告集 第 22 号 2005 年