

家庭用エアコンを対象とした実使用時の COP に着目した最適機種選定方法に関する研究

阿部 真季
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など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。その中でも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^{文1)} を占めており、住宅の省エネルギーの推進のために住宅の断熱・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 (COP) が大きく変化するため、地域の気象条件及び設備配置計画を含めた建物の熱負荷特性に応じた機種の選定が極めて重要である。

家庭用エアコンは、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向上している。しかし現在の機種選定は設置する部屋の熱負荷に合わせて行うのではなく、6 畳用、8 畳用、16 畳用等、断熱性能の極めて低い^{※1} 部屋の広さに対応した最大負荷に基づいた機種のラインナップから選定されている。従って、高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、実使用時における暖冷房期間の多くの時間は COP の低いとされる部分負荷運転あるいは ON-OFF 運転をしている状態にあると推測され、省エネルギーの観点から大きな問題であると考えられる。

本研究では、市販されている家庭用エアコンを対象として外気温、暖冷房負荷を自由に調整可能な簡易カロリーメータを使用し、循環処理風量別に外気温、暖冷房出力と COP の関係を明らかにする。最初に COP 測定方法の検討を行い、次に COP マトリックスデータベースの作成を行う。更に、日本建築学会標準住宅モデルを対象に、各都市^{※2} における熱負荷シミュレーションを行う。シェルター性能及び地域条件を変化させて熱負荷計算を行い、作成した COP マトリックスデータベースと照合することにより、年平均暖冷房 COP を求める。年平均 COP とカタログ APF^{※3} と比較し、各地域の気候条件、熱負荷条件による家庭用エアコンの機器性能特性を明らかにし、最適機種選定方法を検討することを目的とする。

2 測定概要

表 1 に測定対象の P 社製エアコン 5 台の仕様を、図 1 に簡易カロリーメータの概要を示す。簡易カロリーメータの室内機用チャンバーは 3 [m] (幅) × 3 [m] (奥行) × 2.7 [m] (高さ)、室外機用チャンバーは一辺が 2 [m] の立方体とし、壁体は厚さ 60 [mm] の高性能断熱材 (熱伝導率: 0.024 [W/m・K]) と構造用合板で構成されている。各チャンバー内には空気温度を -10 [°C] に調整可能な冷凍機と電気ヒータ (最大出力 10 [kW]) を組み合わせた温度調整用空調機を設置し、温度を制御することで暖冷房負荷及び外気温を任意に変化させることが出来る。

3 測定方法

3.1 家庭用エアコン COP 測定方法

3.1.1 風量変化を許容した COP 測定 (図 1: 測定方法①)

吸込・吹出空氣の温湿度を測定するため、温湿度センサー (HIOKI 社製)^{※4} を測定対象エアコンの室内機吸込口に 1 点、吹出口に 2 点設置する。更に、実験精

表 1 測定対象の P 社製エアコン 5 台の仕様

	性能												期間消費電力 [kWh]
	暖房						冷房						
	出力[kW]		消費電力[W]		COP [-]	出力[kW]		消費電力[W]		COP [-]			
	定格	範囲	定格	範囲		定格	範囲	定格	範囲		定格		
エアコン①	2.5	0.3 ～ 5.9	420	105 ～ 1480	6.0	2.2	0.4 ～ 3.4	395	110 ～ 780	5.6	7.2	612	
エアコン②	3.6	0.3 ～ 9.5	710	105 ～ 3300	5.1	2.8	0.4 ～ 4.2	585	110 ～ 1100	4.8	7.0	802	
エアコン③	5.0	0.4 ～ 11.6	1025	110 ～ 3960	4.9	4.0	0.5 ～ 5.4	1010	120 ～ 1720	4.0	6.7	1196	
エアコン④	6.7	0.4 ～ 11.7	1720	110 ～ 3960	4.0	5.6	0.5 ～ 5.7	2190	120 ～ 2220	2.6	5.6	2004	
エアコン⑤	8.5	0.4 ～ 11.9	2630	110 ～ 3990	3.2	7.1	0.5 ～ 7.2	2990	120 ～ 3080	2.4	4.9	2903	

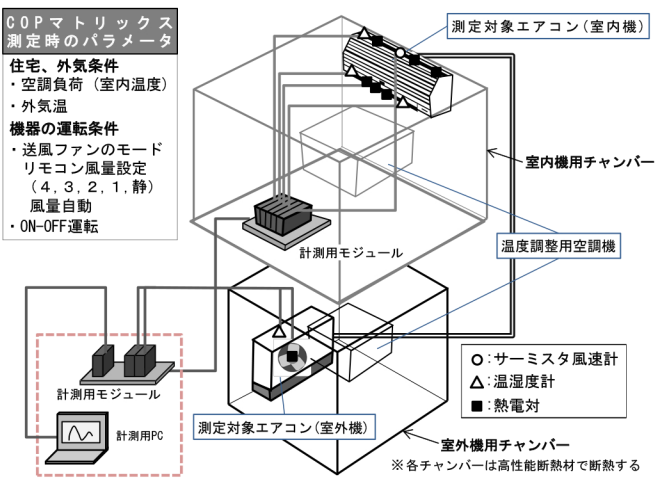


図 1 簡易カロリーメータの概要 (測定方法①)

度を検討するため、室内機吸込口、吹出口に3点ずつ、熱電対を別途設置する。また、室外機吸込口に温湿度センサーを1点設置し、この点の温度を外気温とする。COP算出の際の室内機吹出温度は温湿度センサーと熱電対で計測した値の平均値^{※5}を用いる。室内機の吸込口にサーミスタ風速計^{※6}を1点設置し、循環処理風量を算出する。

エアコンのCOP測定は、家庭用エアコンCOP簡易測定法^{※2)}により行う。測定方法①では、風量はリモコンによる風量設定(4~1、静)とする。測定対象エアコンは、表1のエアコン⑤とエアコン②の2機種とする。暖冷房通常運転時を測定対象とし、外気温(暖房時: -5~15[℃]、冷房時: 24~38[℃])、暖冷房負荷(室内機吸込口空気温度)を変化させて、エアコンの吸込・吹出口の温湿度より各点のエンタルピーを算出し、暖冷房出力を求め、暖冷房出力を測定した電力消費量で除することでCOPを算出する。

3.1.2 風量を一定に制御したCOP測定(図4:測定方法②)

図2にエアコン②の風量設定を風量3とした場合の暖冷房通常運転時の実測結果を示す。エアコンは通常運転しており、風量設定は変更させていないにも関わらず、処理風量が変化する。この現象は、測定を行った表1に示す全ての機種において、リモコンによる風量設定の全てで生じる。図3にエアコン②の風量設定を風量3にした場合の冷房出力とCOP及び風量の関係(外気温35[℃])を示す。風量の変化に応じ、同一の出力でも異なるCOPが測定される。そこで本研究では、補助ファンでエアコンの処理風量を一定に制御し測定する方法(測定方法②)より風量別に暖冷房出力、外気温とCOPの関係を明らかにする。

測定方法②の測定装置の概要を図4に示す。測定方法②では測定対象エアコン室内機吹出口の寸法に合わせて作成した亜鉛引き鉄板のアタッチメントを設置し、フレキダクトで風量測定装置に接続する。更にシロッコファンを風量測定装置の先に直列に接続し、循環処理風量を

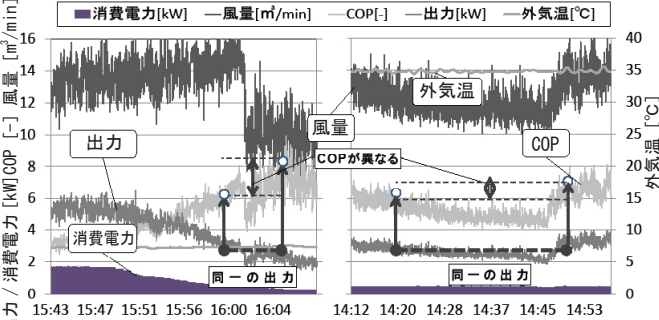


図2 実測結果(エアコン②/風量3)

風量測定装置で計測し、風量測定装置のファンで風量を段階的に制御する。エアコンの風量設定は風量4とする。

表2に測定条件の概要(測定方法②)を示す。予備実験^{※7}により測定方法②で一定に制御する風量を決定する。測定対象エアコンはエアコン①・③・④の3機種とし、風量自動運転時は測定方法①を、風量別運転時は測定方法②を用いて測定を行う。

3.2 COPマトリックスの作成方法

3.1により測定を行った各外気温、各暖冷房出力とCOPの関係からCOPマトリックスの作成を行う。測定結果から外気温0.1[℃]、出力0.1[kW]毎にCOPをマトリックス内にプロットし、作成する。測定結果が無い条件は周囲の値から回帰式を求め、補間する。

4 測定結果

4.1 暖冷房出力とCOPの関係

図5に風量自動運転時の出力とCOPの関係(エアコン④)を示す。暖冷房出力が約0.7~1.8[kW]の範囲で、

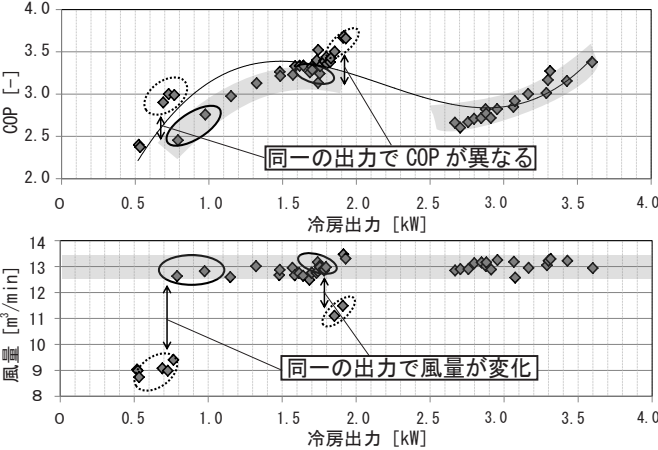


図3 冷房出力とCOP及び風量の関係(エアコン②/風量3/外気温35[℃])

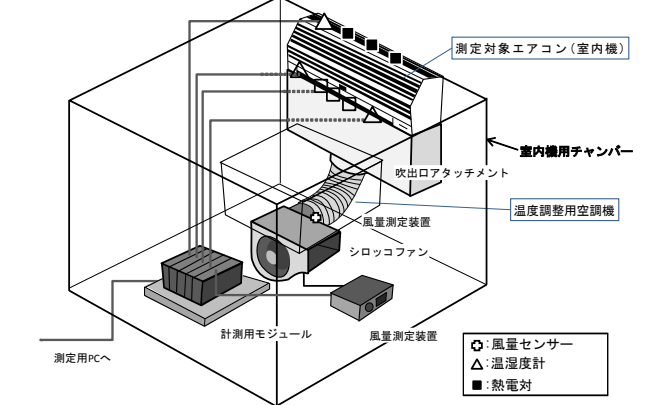


図4 測定装置の概要(測定方法②)

表2 測定条件の概要

項目	暖房時		冷房時	
エアコン設定温度[℃]	22		26	
風量設定(送風ファン)	4	自動	4	自動
処理風量[m³/min]	エアコン①	4/8/12	4/8/14	-
	エアコン③	8.5/10/11.5/14.5	7.5/10/11.5/13/14.5	-
	エアコン④	5/9.5/15	7/14/16	-
空調負荷(室内温度)[℃]	0~23		27~40	
外気温[℃]	-5~15		24~38	

エアコンはON-OFF 運転を行う。暖房時は出力の低い方が、冷房時は出力の高い方が COP が高くなる。冷房時と比較して、暖房時の方が最大出力が高い。又、暖冷房時共に、定格出力では定格 COP にはならない。エアコン④の暖房時は風量設定最大の風量4で測定しても、カタログ値の最大暖房出力(11.7[kW])は出ない。

4.2 COP マトリックス

4.2.1 風量別の COP マトリックス

図6に測定方法②の暖冷房時の風量別の COP マトリックス(エアコン④)を示す。どの風量でも暖房時では外気温が高い方が、冷房時では外気温が低い方が COP が高い。又、風量の多い方が高い COP の範囲が増加する。これは処理風量の多い方が熱交換器を通過する際の風速が速いことから、対流熱伝達率が高くなり、熱交換器の熱交換効率が上昇するためと考えられる。

4.2.2 風量自動時の COP マトリックス

図7に風量自動運転時の COP マトリックスを示す。風量自動運転時では、風量別に測定した COP マトリックスとほぼ同様の特徴が見られる。又、風量別の COP マトリックスと比較すると、比較的少ない風量に類似した COP マトリックスとなる。冷房定格能力の小さい機種の方が最大出力は低いが、全体的に COP は高くなる傾向がある。

5 解析概要

5.1 風量合成 COP マトリックスの作成方法

測定方法②による風量別の COP マトリックスを対象に暖冷房時における COP マトリックスの比較を行う。

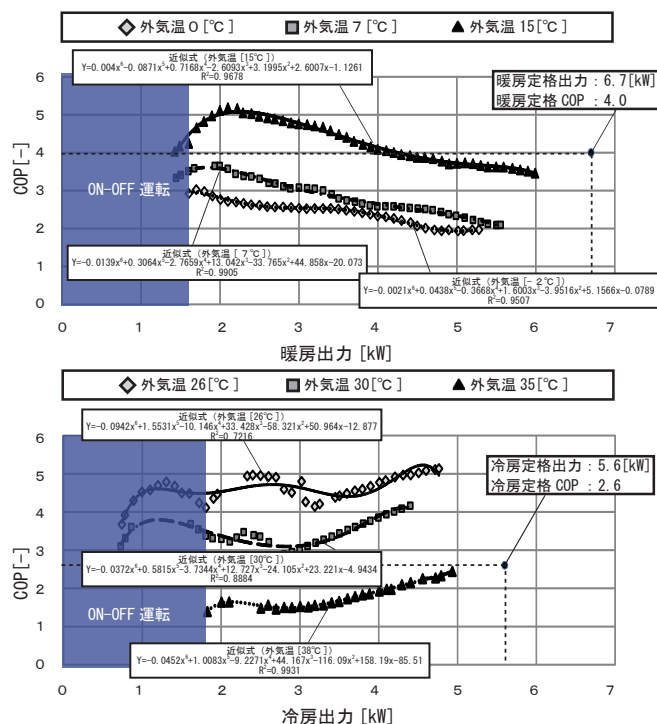
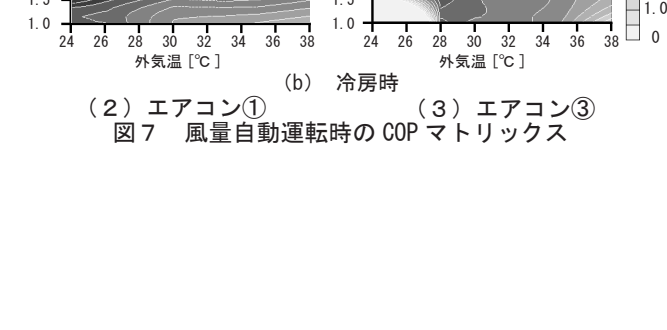
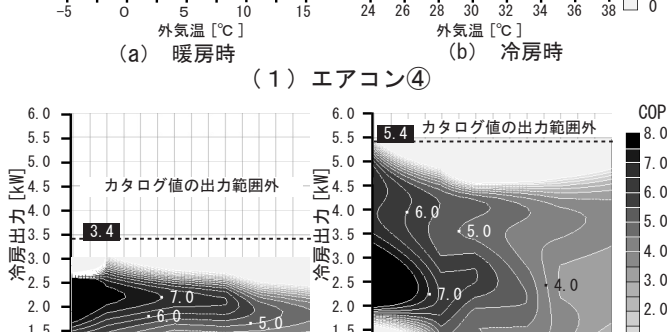
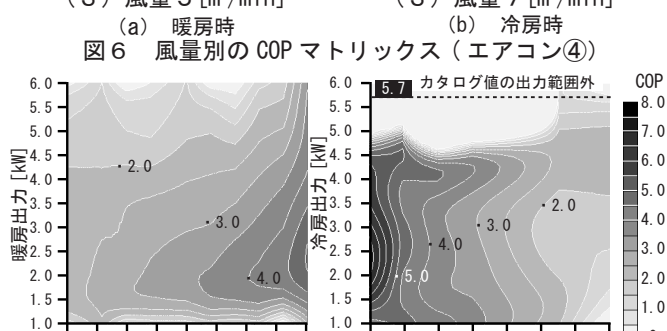
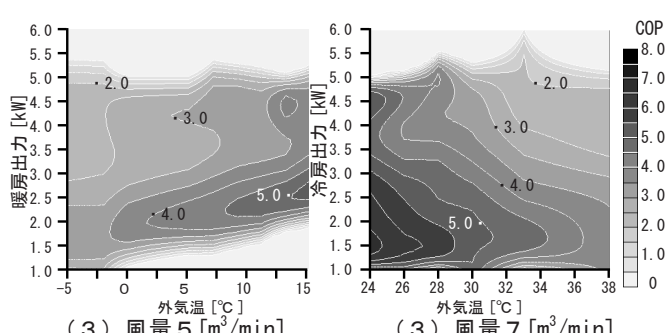
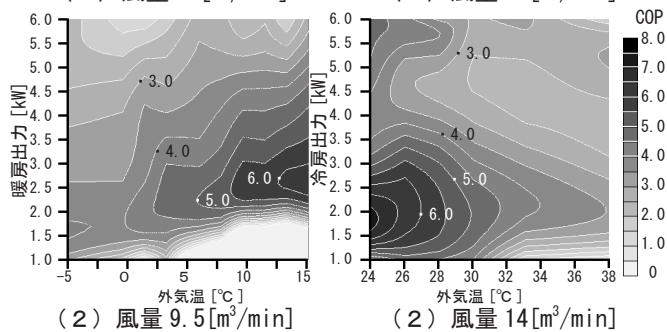
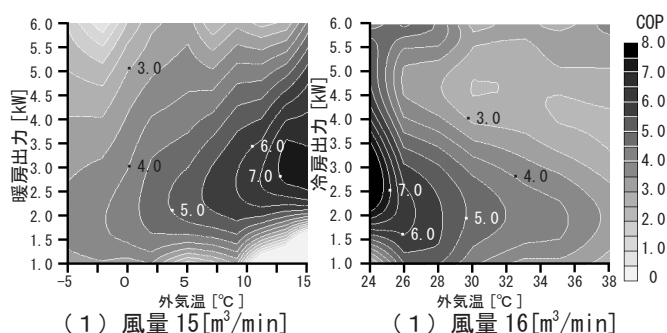


図5 風量自動運転時の出力と COP の関係(エアコン④)



各外気温、各出力毎にCOPが最も高い値を選択することで新たなCOPマトリックス（風量合成COPマトリックス）を作成する。

5.2 年平均COPの算出方法

図8に日本建築学会標準住宅モデル（1階平面）を、表3に熱負荷計算の条件を示す。解析対象エアコンは、エアコン①とエアコン④の2機種とする。算出した熱負荷と各時刻の外気温をCOPマトリックスと照合することで、各空調室にエアコンを設置した場合の1年間のCOPを1時間毎に算出する。又、本解析で対象とするCOPマトリックスは風量自動時及び風量合成COPマトリックスとする。

5.2.1 シェルター性能の変化

表4に解析caseを示す。建物のシェルター性能による年平均COPの変化を検討するため、住宅モデルの断熱性能を変化させ解析を行う。対象地域は東京、新潟とし、気象データは日本建築学会拡張アメダス気象データとする。対象モデルは日本建築学会標準住宅モデルを用い、LDK（約17畳/28[m³]）をZONE A、和室（約8畳/13[m³]）をZONE Bとし、空調対象室をZONE Aとした場合とZONE A+B（約25畳/41[m³]）とした場合の2つの条件について熱負荷計算を行う。

5.2.2 地域条件の変化

地域条件を変化させた場合の解析対象地域は札幌、岩見沢、北見、盛岡、仙台、宇都宮、東京、長野、名古屋、新潟、京都、大阪、神戸、岡山、広島、高知、福岡、宮崎、那覇の計19都市※²とする。シェルター

表3 熱負荷計算の条件

項目		設定		備考	
冷房設定温度[℃]		27			
冷房設定湿度[%]		50			
暖房設定温度[℃]		20			
暖房設定湿度[%]		50			
暖冷房期間	冷房	日平均外気温が22℃以上となる3回目 の日から、日平均外気温が22℃以上 である最終日より3回前の日まで			JIS C 9612案件
	暖房	日平均外気温が14℃以下となる3回目 の日から、日平均外気温が14℃以上 である最終日より3回前の日まで			JIS C 9612案件
暖冷房負荷発生条件	冷房	冷房期間の中で外気温が24℃以上			JIS C 9612案件
	暖房	暖房期間の中で外気温が17℃以下			JIS C 9612案件
空調方式		時間帯空調			6:00-23:59
人員数		3人			父、母、子1人
対象住宅モデル		日本建築学会標準住宅モデル			
設置エアコン定格能力 [kW]	冷房	エアコン①	2.2	カタログ目安：木造6畳/10m ³	
		エアコン④	5.6	カタログ目安：木造18畳/29m ³	
	暖房	エアコン①	2.5	カタログ目安：木造6畳/10m ³	
		エアコン④	6.7	カタログ目安：木造18畳/29m ³	

表4 解析case

解析case	対象地域	ZONE	熱損失係数[W/m ² ・K]
case 1-1	東京	A	10.06
case 1-2	新潟	A	
case 2-1	東京	A+B	JIS C 9612条件と同程度
case 2-2	新潟	A+B	
case 3-1	東京	A	5.05
case 3-2	新潟	A	
case 4-1	東京	A+B	JIS C 9612条件の中間条件 (目標値：最大暖房負荷275W/m ²)
case 4-2	新潟	A+B	
case 5-1	東京	A	2.00
case 5-2	新潟	A	
case 6-1	東京	A+B	新潟の次世代省エネ基準と (地域IV：2.7W/m ² ・K)を満たす条件
case 6-2	新潟	A+B	

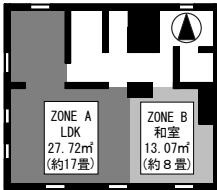


図8 日本建築学会標準住宅モデル（1階平面）

性能は次世代省エネ基準の2.00[W/m²・K]とする。

6 解析結果

6.1 風量別のCOPマトリックスの合成結果

図9に作成した風量合成COPマトリックスを示す。風量合成COPマトリックスは、風量別に測定したCOPマトリックスとほぼ同様の特徴が見られる。風量自動時と比較して、風量合成マトリックスの方が高いCOPが広範囲に分布している。エアコン④と比較して、エアコン①は暖冷房時共にCOPが高い。

図10に合成に用いた風量別マトリックスの分布（エアコン④）を示す。冷房時では全ての風量のマトリックスが混在して分布しているが、暖冷房時共に全体的に風量の多いCOPマトリックスの値が風量合成COPマトリックスを占めている。エアコン①もエアコン④と同様に、比較的風量の多いCOPマトリックスの値が広く分布する傾向がある。

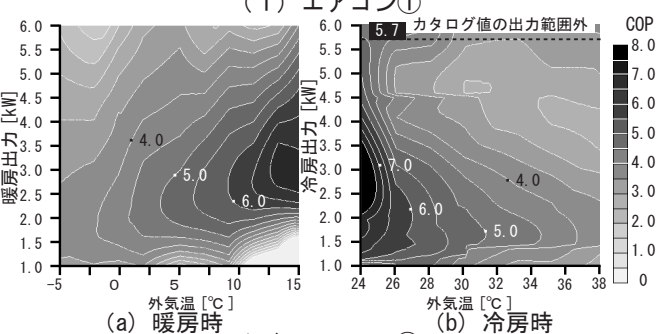
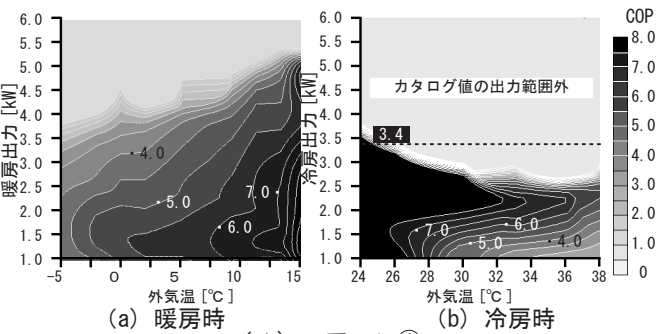


図9 風量合成COPマトリックス

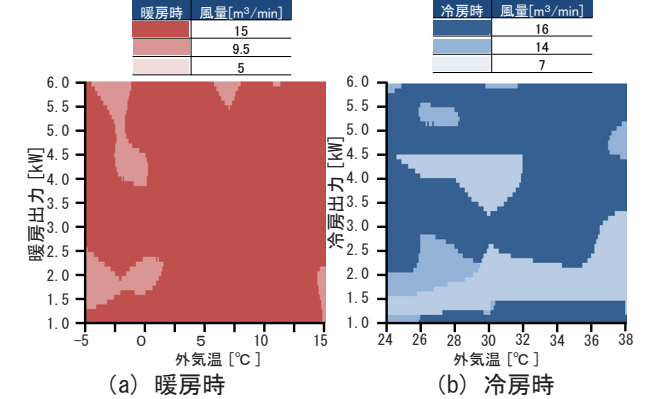


図10 風量別のCOPマトリックスの分布（エアコン④）

6.2 年平均 COP の解析結果

6.2.1 シェルター性能の変化

図 11 にシェルター性能を変化させた場合の年積算消費電力量及び年平均 COP (東京、新潟 / エアコン④) を示す。エアコン④のカタログ APF は 5.5、年積算消費電力量は約 1900[kWh] であるが、APF 算出条件^{※8}とほぼ同様の畳数面積である case1-1 (東京) の風量自動 COP マトリックスと照合した場合の年平均 COP は 2.5 程度とカタログ APF と比較して約 1/2 倍、年積算消費電力量は約 3600[kWh] となり、年間で約 1.9 倍となる。風量合成 COP マトリックスも同様に、カタログ APF より低く、年積算消費電力量は多い。

一方、シェルター性能の変化に着目すると、暖冷房負荷が減少するにつれて年平均 COP が低下する傾向がある。これは、断熱性能が向上し、暖冷房負荷が小さくなった場合、COP の低い ON-OFF 運転^{※9}の頻度が多くなるためと考えられる。

図 12 に暖冷房負荷と COP マトリックスの関係 (東京 / ZONE A / エアコン④) を示す。case1-1 (熱損失係数: $10.06[\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}]$) と case5-1 (熱損失係数: $2.00[\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}]$) を比較すると、東京の場合、暖房期間におけるエアコン稼働時の ON-OFF 運転の割合は、case1-1 で 10[%]、case5-1 で 61[%] である。冷房期間の ON-OFF 運転の割合は、case1-1 で 66[%]、case5-1 で 93[%] である。暖冷房時共に、熱損失係数の小さい方が COP の低い ON-OFF 運転の頻度が増加する。

6.2.2 エアコン①と④による年平均 COP の比較

図 13 にエアコン①及び④の年平均 COP (東京 / 熱損失係数: $2.00[\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}]$) を示す。熱損失係数: $2.00[\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}]$ の断熱性能の場合、ZONE A では暖冷房時の熱負荷はエアコン②.2 の出力範囲とほぼ一致する。又、ZONE A (17 畳) は、エアコン④の APF 算出条件のカタログ目安の畳数面積 (18 畳) とほぼ一致する。エアコン①と比較すると、エアコン④の方が ON-OFF 運転の割合が高いため、年平均 COP が低い。又、ZONE A の方が ZONE A+B と比べ ON-OFF 運転の割合が高いため、年平均 COP が低い。部屋の大きさによってエアコンを選定する方法は、過大な能力のエアコンを選定することになり、省エネルギーの観点から問題がある。解析結果により定格出力の小さいエアコンの方が年平均 COP が高くなることから、定格出力の大きなエアコンを設置するより、住宅の持つ断熱性能に合わせ、機種選定を行う方が省エネルギーとなる可能性がある。

又、過大なエアコンを設置した場合は ON-OFF 運転時の頻度が多くなるため、ON-OFF 運転時の COP が年平均

COP に大きく影響する。

6.2.3 地域条件の変化

図 14 にエアコン④の 19 都市における年積算暖冷房負荷、年積算消費電力量及び年平均 COP (熱損失係数: $2.00[\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}]$) を、図 15 に暖冷房負荷と COP マトリックスの関係 (北見、宮崎) を示す。那覇を除く 18 都市では年積算冷房負荷と比較して年積算暖房負荷が多い。那覇は暖房期間に該当する日平均外気温度が発生しなかったため、年積算暖房負荷は 0 となる。又、暖房負荷の比較的大きい北海道・東北地域と比べ、その他の地域では年平均 COP が低くなる。これは、北海

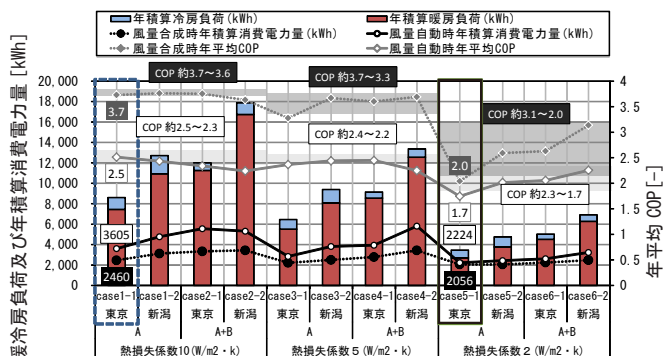


図 11 シェルター性能の変化による年平均 COP (東京、新潟 / エアコン④)

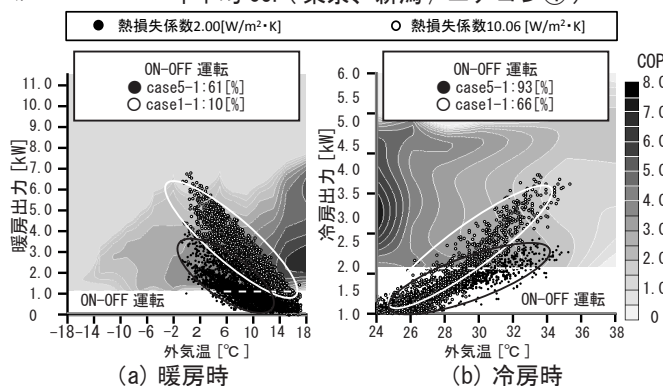


図 12 暖冷房負荷と COP マトリックスの関係 (東京 / ZONE A / エアコン④)

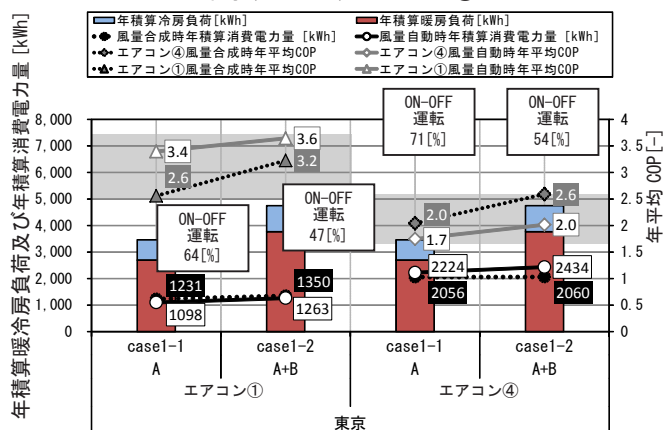


図 13 エアコン①及び④の年平均 COP (東京 / 熱損失係数: $2.00[\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}]$)

道地域である北見（年平均 COP2.2）と九州地域である宮崎（年平均 COP1.5）を比較すると、どちらの地域も冷房時はほぼ ON-OFF 運転であるが、暖房時には ON-OFF 運転の割合は北見が 26[%]、宮崎が 67[%]であり、北見の方が ON-OFF 運転の割合が低いのである。設置対象面積だけではなく、地域によっても熱負荷に合わせたエアコンを選定する必要があると考えられる。

7 まとめ

7.1 測定結果まとめ

- ①暖房時は出力が低い方が、冷房時は出力が高い方が COP が高くなる。冷房時と比較して暖房時の方が最大出力が高い。
- ②処理風量が多い方が熱交換器を通過する際の風速が速いことから、対流熱伝達率が高くなり、熱交換器の熱交換効率が上昇するため、暖冷房時共に風量が多い方が COP の高い範囲が増加する。
- ③暖冷房時共に、定格出力で定格 COP にはならない。
- ④風量自動時の COP マトリックスは、風量別の COP マトリックスと比較すると、比較的少ない風量に類似した COP マトリックスとなる。

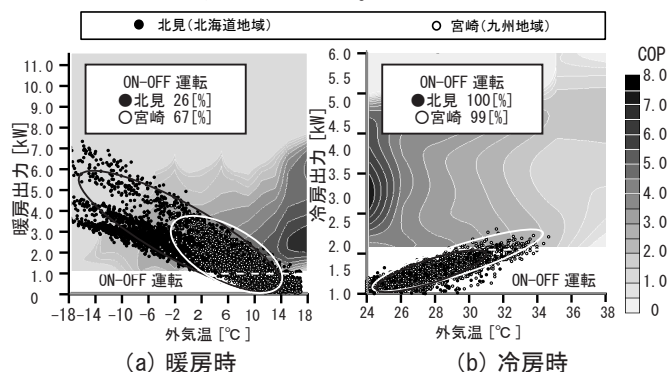


図 15 地域別の暖房負荷と COP マトリックスの関係（北見、宮崎 / エアコン④）

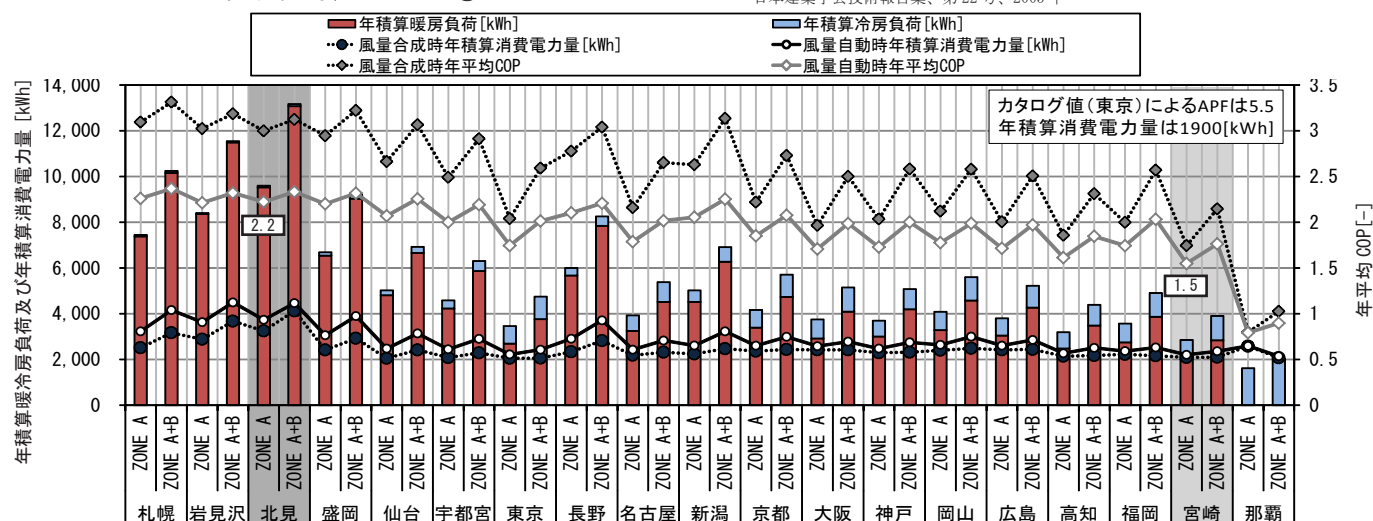


図 13 19 都市における年積算暖冷房負荷、年積算消費電力量及び年平均 COP（熱損失係数：2.00[W/m²・K] / エアコン④）

7.2 解析結果まとめ

- ①暖冷房時共に比較的風量の多い COP マトリックスの値が風量合成 COP マトリックスを占めている。
- ②住宅の断熱性能が向上し、暖冷房負荷が小さくなった場合には COP の低い ON-OFF 運転の頻度が多くなるため、年平均 COP が低下する傾向がある。
- ③部屋の大きさによってエアコンを選定する方法は、過大な能力のエアコンを選定することになり、省エネルギーの観点から問題がある。
- ④住宅の持つ断熱性能に合わせ、機種選定を行う方が省エネルギーとなる可能性がある。
- ⑤過大なエアコンを設置した場合は ON-OFF 運転時の頻度が多くなるため、ON-OFF 運転時の COP が年平均 COP に大きく影響する。
- ⑥設置対象面積だけではなく、地域によっても熱負荷に合わせたエアコンを選定する必要があると考えられる。

注

- ※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畳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 主要 11 都市として札幌、仙台、東京、名古屋、新潟、京都、大阪、神戸、広島、高知、福岡とし、住宅事業建築主の判断基準の地域区分（8 区分）に属する 8 都市として北見、岩見沢、盛岡、長野、宇都宮、岡山、宮崎、那覇とする。
- ※3 Annual Performance Factor: 通年エネルギー消費効率
- ※4 温度分解能：0.1℃、湿度分解能：0.1%、温度測定精度：0～35.0℃±0.5℃、35.1～70.0℃±1.0℃、湿度測定精度：測定温湿度によるが概ね±5～10%。
- ※5 測定間隔は 1 [s] とし、COP の算出には 1 分間の平均値を用いる。
- ※6 予備実験により、吸込口風速と吹出風量の関係を選定することにより、吸込口風速から処理風量を算出する。
- ※7 予備実験として、リモコンによる風量設定（4～1、静）にし、外気温、暖冷房負荷を変化させ、測定した風量から風量制御時の循環処理風量を決定する。
- ※8 本解析での空調対象室は 17 畳、25 畳としているが、カタログ APF 算出時は、エアコン④では 18 畳が対象とされている。又、APF は JIS C 9612:2005 の期間消費電力量で算出する。
- ※9 エアコン①では、暖房負荷 1.0kW 冷房負荷 1.0W 以下の場合、エアコンは ON-OFF 運転を行うとする。その際の COP は外気温により変化し、ON-OFF 運転時の実験結果より冷房：外気温 30℃で COP3.3、暖房：外気温 7℃で COP1.6 とする。エアコン④では同様に、暖房負荷 1.1kW 冷房負荷 1.3kW 以下の場合、ON-OFF 運転を行い、COP は冷房：外気温 32℃で COP3.2、暖房：外気温 7℃で COP1.6 とする。

参考文献

- 1) 経済産業省資源エネルギー庁「エネルギー白書 2015」
- 2) 赤林・坂口・佐藤・浅岡「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