新潟大学大学院自然科学研究科環境科学専攻
社会基盤・建築学コース（建築系）修士論文梗概　平成 28 年度

家庭用エアコンを対象とした実使用時における機器特性及び実 APF に関する研究

大熊　耀平
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家庭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。特に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、暖冷房機器の運転効率の向上が求められている。その中でも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負荷に合わせて行うのではなく、部屋の広さに対応した機種のラインナップから選定され、高断熱化された負荷の小さい住宅では過大な暖冷房能力を持った機種が選定されることになる。更に、機種毎の性能としてカタログに表示されている通年エネルギー消費効率（APF[※1]）は定格・中間暖冷房、低温暖房出力時の性能のみから算出された推定値であり、実運転時の実 APF とは大きく異なる可能性がある。そこで、実運転時の外気温・暖冷房出力と COP の関係（COP マトリクス）を実験により測定し、実 APF を正確に算出することにより、実運転時の性能が最も良い機種を選定することができると考えられる。

本研究では、市販されているＡ社製エアコン（2015 年製）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用いて実使用時における外気温、空調負荷及び COP の関係を測定し、COP マトリクスデータベースの作成を行う。次に、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い、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、測定した COP マトリクスデータベースと照合することにより、実 APF を求める。更に、既往研究[文2)] により明らかにしたＰ社製エアコン（2013 年製）との比較を行い、家庭用エアコンの機器特性の違いを明らかにし、最適機種選定方法の検討を行うことを目的とする。

2　測定概要

表１に測定対象のＡ社製エアコン４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 -10[℃］に調整可能なクーラーと電気ヒーター（10[kW]）を組み合わせた温度調整用空調機を設置し、温度をコントロール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　室内機吹出風量自動（図１：測定方法①）

吸込・吹出空気の温湿度を測定するため、温湿度セ

表１　測定対象のＡ社製エアコン４台の仕様

メーカー	性能												
A社	暖房					冷房					APF [-]	期間消費電力 [kWh]
	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	定格	範囲	定格	範囲	定格		
エアコン①	2.5	0.6～5.2	465	105～1,480	5.4	2.2	0.6～3.4	440	105～880	5.0	6.9	603
エアコン②	2.8	0.6～5.2	525	105～1,480	5.3	2.5	0.6～3.5	520	105～910	4.8	6.7	706
エアコン③	5.0	0.6～9.9	1,090	105～3,670	4.6	4.0	0.6～5.3	1,110	105～1,600	3.6	5.9	1,282
エアコン④	6.7	0.6～10.2	1,580	105～3,670	4.2	5.6	0.6～6.0	1,850	105～2,020	3.0	5.7	1,858

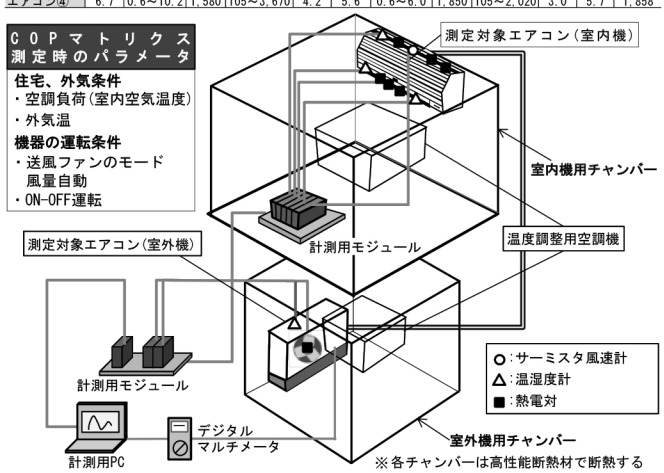


図１　簡易カロリーメータの概要（測定方法①）

ンサー（HIOKI 社製）※3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、実験精度を向上させるため、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※4を用いる。室内機の吸込口にサーミスタ風速計を１点設置し、循環処理風量※5を算出する。又、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※6を接続し、圧縮機のインバータ電圧、周波数を測定する。

エアコンの COP 測定は、家庭用エアコン COP 簡易測定法[文3)]により行う。測定対象エアコンのリモコン風量設定は風量自動とし、外気温、暖冷房負荷を変化させて電力消費量を測定し、COP を算出する。外気温は暖房時：-5 ～ 15[℃]、冷房時：24 ～ 38[℃] とする。実験は暖冷房負荷として、室内温度を暖房時： 0 [℃]、冷房時：40[℃] と設定し、室内温度が設定温度に達し次第、測定対象エアコンを運転させる。測定対象エアコンが稼働し、出力が一定となり定常運転となった後、室内側チャンバーの温度調整用空調機を停止させ、測定対象エアコンのみで空調を行う。室温はエアコン設定温度へ次第に近づき、それに従ってエアコンの出力は減少する。この間のエアコンの出力と電力消費量から COP の算出を行う。尚、測定結果はエアコンが稼働中の最大出力で定常運転となってから停止する直前の最小出力までの結果を用いる。

3.1.2　室内機吹出風量固定（図２：測定方法②）

既往研究[文2)]でＰ社製エアコンは通常運転時で風量設定を変更させていないにも関わらず、処理風量が変化することを報告した。本研究で対象とするＡ社製エアコンにおいても同様の傾向があるため、二つの測定方法（測定方法①、②）による実験を行う。

図２に測定方法②の測定装置の概要を、表２に測定条件の概要を示す。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、フレキシブル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下流に直列に接続し、循環処理風量を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。

測定条件は測定方法①と同様とし、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。

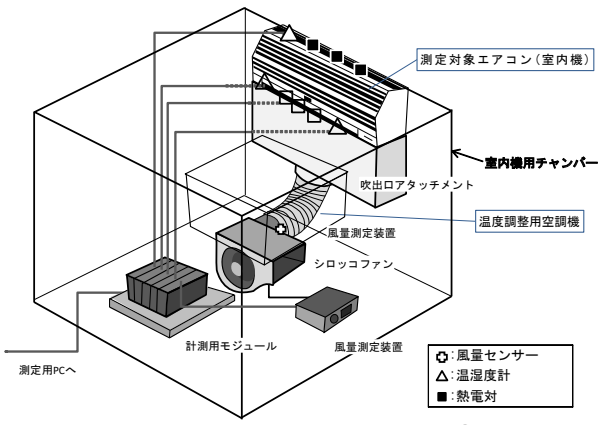


図２　測定装置の概要（測定方法②）

表２　測定条件の概要

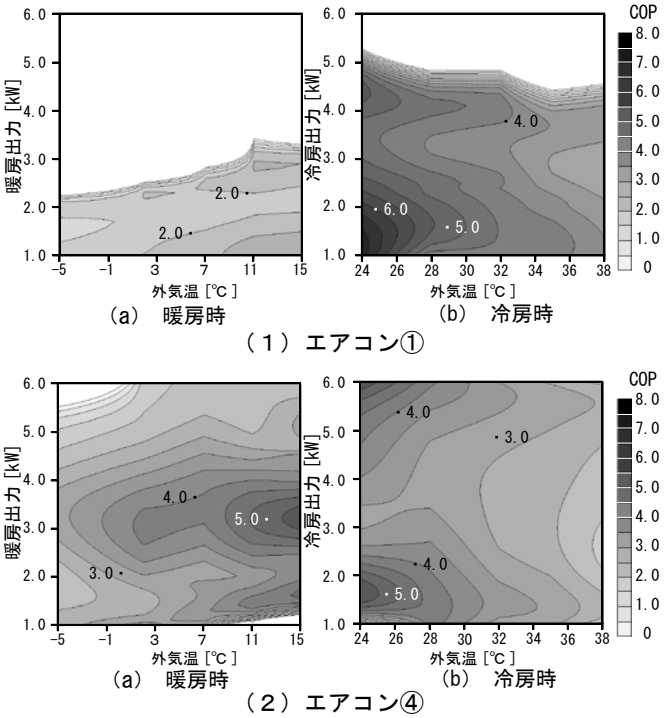
項目		暖房時		冷房時	
エアコン設定温度[℃]		20		27	
風量設定（送風ファン）		静/1/2/3	自動	静/1/2/3	自動
処理風量 [m^3/min]	エアコン①	4/7.5/12.1	－	4/8/11	－
	エアコン②	4/7.5/9.5/12.5	－	4/8/11/13.5	－
	エアコン③	4/7.5/9.5/13.9	－	4/7/9.5/11.8	－
	エアコン④	5.5/7.5/9.5/13.9	－	7/9.5/11/13.5	－
空調負荷(室内温度)[℃]		0～25		25～40	
外気温[℃]		-5～15		24～38	

4　測定結果

4.1　COP マトリクス

4.1.1　風量自動時の COP マトリクス（測定方法①）

図３に風量自動時の COP マトリクス（Ａ社製エアコン）を示す。暖房時のエアコン④では出力が 2.5 ～ 4.0[kW]、外気温 11 ～ 15[℃] の範囲で COP が高く、エアコン①ではエアコン④と比較すると COP の低い値となる。



（a）　暖房時　　（b）　冷房時

（１）エアコン①

（a）　暖房時　　（b）　冷房時

（２）エアコン④

図３　風量自動時の COP マトリクス（Ａ社製エアコン）

冷房時はエアコン①、④共に外気温 26[℃] 以下の場合には低出力時 (1.0 ～ 2.0[kW]) 及び高出力時 (4.0 ～ 6.0[kW]) の範囲で COP が高い。出力が 2.5 ～ 4.0[kW] の範囲では外気温が低い場合でも相対的に COP が低い傾向がある。又、外気温 30 [℃] 以下の場合で出力が約 4.0[kW] 以上では、出力が上昇する程、COP は再び高くなる。

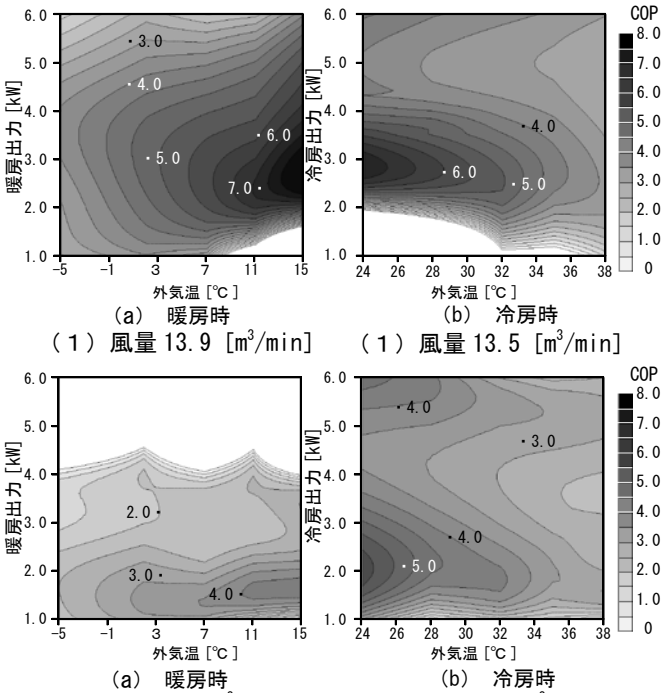
4.1.2 風量別の COP マトリクス（測定方法②）

図４に風量別 COP マトリクス（Ａ社製エアコン）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、暖冷房時共に出力が約 2.0 [kW] 付近で COP が高い傾向がある。風量の多い方が高い COP の範囲が増加する傾向がある。これは同一の出力の場合でも風量の多い方が熱交換機の対流熱伝達率が大きくなる事、冷媒の蒸発・凝縮温度差を少なくする事ができ、循環ファンの電力消費量の増加と比較して圧縮機の電力消費量の減少量が大きく、COP が向上するためと考えられる。

4.2 Ｐ社製エアコンとの比較

表３にＰ社製及びＡ社製エアコンの仕様を、図５にＰ社製及びＡ社製エアコンの暖冷房出力と COP・風量及びインバータ周波数の関係（風量自動）を示す。比較対象エアコンは表３に示す同一の暖冷房能力であるＰ社製及びＡ社製エアコンとする。

4.2.1 暖房運転時



エアコン④

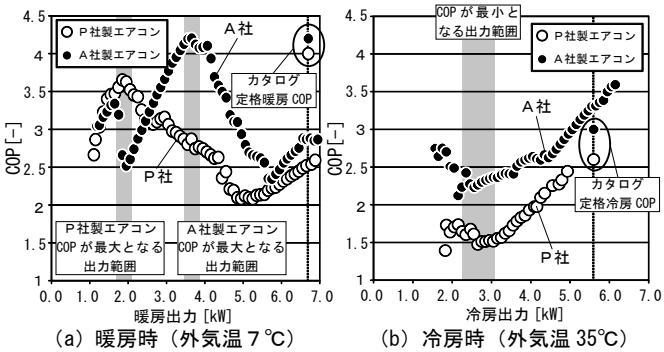
図４　風量別 COP マトリクス（Ａ社製エアコン）

Ｐ社製エアコンの COP は出力が約 2.0[kW] で最大となるのに対し、Ａ社製エアコンは出力が約 4.0[kW] で最大となる。又、どちらのエアコンも COP は最大となった後、出力が増加するにつれて徐々に低下し、出力が約 5.5 ～ 6.0[kW] の範囲で再び上昇する傾向がある。

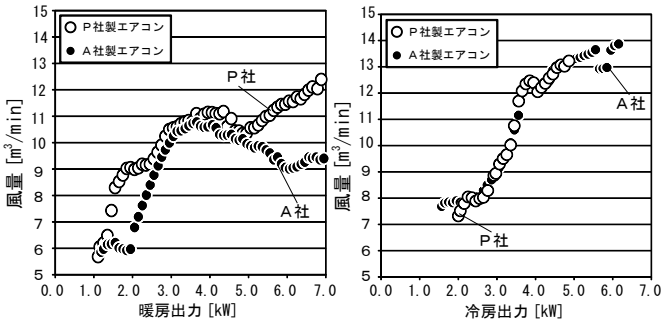
処理風量を比較するとＰ社製エアコンの方が比較的多く、どちらのエアコンも約 6.0 ～ 12[m³/min] の範囲で変化する。圧縮機のインバータ周波数は出力が約 2.0 ～ 5.0[kW] の範囲ではＰ社製エアコンの方が高い値となる。どちらのエアコンも概ね 60 ～ 300[Hz] の範囲で変化する傾向がある。

表３　Ｐ社製及びＡ社製エアコンの仕様

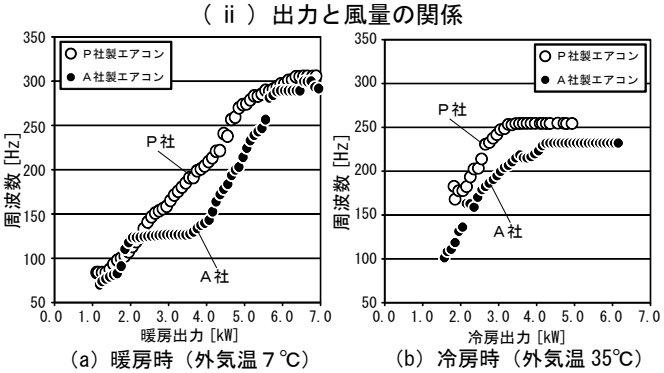
メーカー	性能											
	暖房					冷房					APF [-]	期間消費電力 [kWh]
	出力 [kW]		消費電力 [W]		COP [-]	出力 [kW]		消費電力 [W]		COP [-]		
	定格	範囲	定格	範囲	定格	定格	範囲	定格	範囲	定格		
Ｐ社	6.7	0.4～11.7	1,720	110～3,960	4.0	5.6	0.5～5.7	2190	120～2,220	2.6	5.6	2,004
Ａ社 (エアコン④)	6.7	0.6～10.2	1,580	105～3,670	4.2	5.6	0.6～6.0	1850	105～2,020	3.0	5.7	1,858



（ｉ）出力と COP の関係



（ii）出力と風量の関係



（iii）出力と圧縮機のインバータ周波数の関係

図５　Ｐ社製及びＡ社製エアコンの暖冷房出力と COP・風量及びインバータ周波数の関係（風量自動）

4.2.2　冷房運転時

Ｐ社製エアコンは出力が約 2.5[kW] で COP が約 1.5 と最小となり、Ａ社製エアコンは出力が約 2.0[kW] で COP が約 2.2 と最小となる。Ａ社製エアコンの COP の方が相対的に高い。又、どちらのエアコンも COP が最小となった出力から、出力が増加するに従って COP が徐々に上昇する傾向がある。同外気温、同出力の場合、Ａ社製エアコンの COP はＰ社製エアコンの COP より約１高い。

処理風量はどちらのエアコンもほぼ同様であり、約 7.0 ～ 14[m^3/min] の範囲で変化する。周波数はＰ社製エアコンは 160 ～ 250[Hz]、Ａ社製エアコンは 100 ～ 230[Hz] の範囲で変化する傾向があり、Ｐ社製エアコンの方が概ね高い値となる。

5　解析概要

5.1　風量合成 COP マトリクスの作成方法

測定方法②による風量別の COP マトリクスを対象に暖冷房時における COP マトリクスの比較を行う。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 マトリクス（風量合成 COP マトリクス）を作成する。

5.2　実 APF の算出方法

図６に日本建築学会標準住宅モデル（１階平面）を、表４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④とし、表３に示したＰ社製エアコンとの比較を行う。算出した熱負荷と各時刻の外気温を COP マトリ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。

5.2.1　シェルター性能の変化

表５に解析 case を示す。建物のシェルター性能による実 APF 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[m^2]）を ZONE A、和室（約８畳 /13[m^2]）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[m^2]）とした場合の２つの条件について熱負荷計算を行う。

表４　熱負荷計算の条件

項目		設定	備考
冷房設定温度[℃]		27	
暖房設定温度[℃]		20	
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条件
	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条件
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条件
	暖房	暖房期間の中で外気温が17℃以下	JIS C 9612条件
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	Ｐ社製　5.6	カタログ目安：木造15畳、25m^2
		Ａ社製　5.6	カタログ目安：木造15畳、25m^2
	暖房	Ｐ社製　6.7	カタログ目安：木造15畳、25m^2
		Ａ社製　6.7	カタログ目安：木造15畳、25m^2
設置エアコン標準風量 [m^3/min]	冷房	Ｐ社製　17.4	風量４（最大風量）
		Ａ社製　13.4	風量３（最大風量）
	暖房	Ｐ社製　19.5	風量４（最大風量）
		Ａ社製　13.9	風量３（最大風量）

表５　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 JIS C 9612条件と同程度
case 1-2	新潟		
case 2-1	東京	A+B	
case 2-2	新潟		
case 3-1	東京	A	5 次世代省エネ基準と JIS C 9612条件の中間条件
case 3-2	新潟		
case 4-1	東京	A+B	
case 4-2	新潟		
case 5-1	東京	A	2 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 5-2	新潟		
case 6-1	東京	A+B	
case 6-2	新潟		

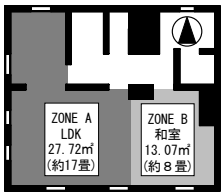


図６　日本建築学会標準住宅モデル（１階平面）

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。シェルター性能は JIS C 9612 条件と同程度の熱損失係数 10[W/m^2・K] とする。

6　解析結果

6.1　風量別の COP マトリクスの合成結果

図７に風量合成 COP マトリクスを示す。両機種共に暖房時は外気温が 15[℃]、出力が約 3.0[kW] 付近の COP が高く、比較的類似した風量合成マトリクスである。冷房時は 2.0[kW] 以下の低出力部分で、Ｐ社製エアコンの方が COP の高い範囲が広い。

図８に風量別の COP マトリクスの分布を示す。冷房時は両機種共にすべての風量の COP マトリクスが混在して分布し、低出力時は比較的風量の少ない COP マトリクスが広く分布している。暖冷房時共に全体的に風量の多い COP マトリクスの値が風量合成 COP マトリクスを占めている。

6.2 実 APF の解析結果

6.2.1　シェルター性能の変化

図９にシェルター性能の変化による実 APF（東京・新潟、風量自動）を示す。解析対象のＡ社製エアコンのカタログ APF は 5.7、年積算消費電力量は約 1,900[kWh] であるが、APF 算出条件※８と同様の case1-1（東京）の実 APF は 3.4 程度となり、カタログ APF と比較して 2.3 程度低く、COP マトリクスによる１時間毎の COP から算出した年積算消費電力量は約 2,800[kWh] となり、年間で約 900[kWh](1.5 倍）多い。

一方、シェルター性能の変化に着目すると、Ａ社製エアコンは暖冷房負荷の減少に対して実 APF の変化はほぼ無く、どの case においてもＰ社製エアコンよりも実 APF が高い。これは暖冷房負荷が少なくなるにつれて ON-OFF 運転※９の頻度が多くなるが、Ａ社製エアコンは ON-OFF 運転時の COP がＰ社製エアコンと比較して高いためと考えられる。

図 10 にシェルター性能の変化による実 APF（東京・

新潟､風量合成）を示す。風量合成時の case1-1（東京）の実 APF は 4.9 程度となりカタログ APF と比較して 0.8 程度低いが､年積算消費電力量は約 1,900[kWh] となり､カタログ値とほぼ一致する。又、風量自動運転時と比較して実 APF は約 1.5 倍高い値となる。

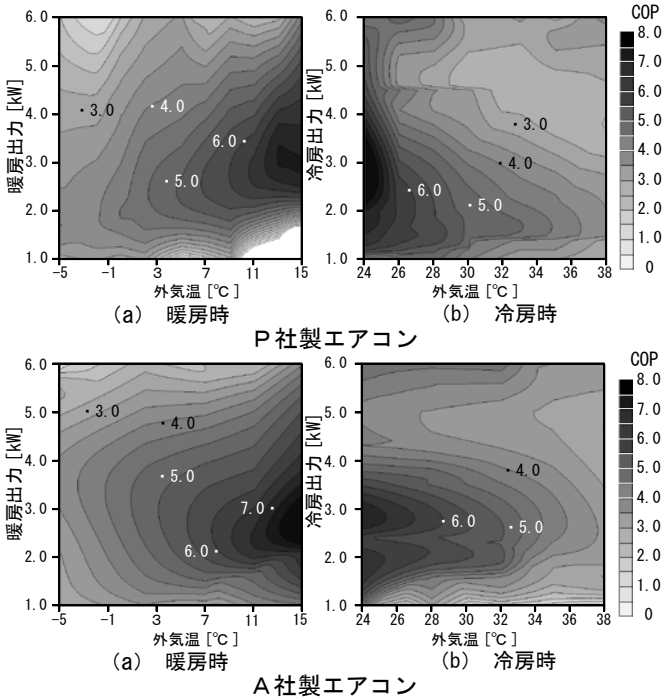


図７　風量合成 COP マトリクス

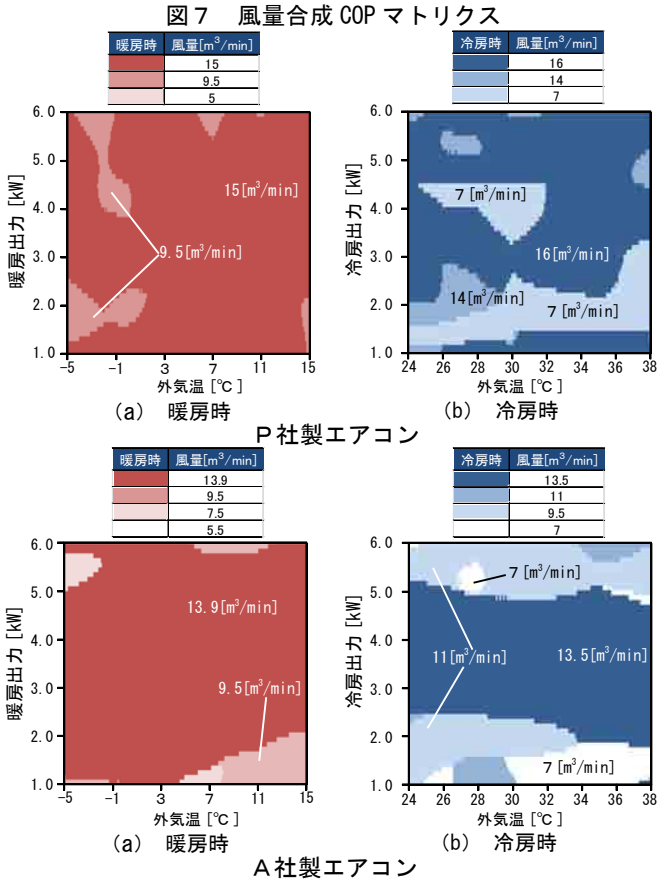


図８　風量別の COP マトリクスの分布

6.2.2　地域条件の変化

図 11 に風量自動 COP マトリクスと暖冷房負荷の関係（北見、宮崎）を、図 12 に 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実 APF（熱損失係数: 10[W/m²・K]、風量自動）を示す。暖房負荷が多い地域では、A社製エアコンの実 APF の方が相対的に高い。これは暖房負荷と COP マトリクスの関係から、A社製エアコンの方が COP の高い範囲で運転する頻度が多いためと考えられる。

又、暖房負荷が無く、冷房負荷の多い那覇ではP社製エアコンの実 APF の方が高い。これは、冷房時においてはどちらのエアコンも ON-OFF 運転※9 の頻度が多く、その際、ON-OFF 運転時の COP が P 社製エアコンの方が高いためと考えられる。

7　まとめ

7.1　測定結果まとめ

1. 暖房時のエアコン④では出力が 2.5 ～ 4.0[kW]、外気温 11 ～ 15[℃] の範囲で COP が高く、エアコン①ではエアコン④と比較すると COP の低い値となる。
2. 冷房時はエアコン①、④共に外気温 26[℃] 以下の場合に低出力時（1.0 ～ 2.0[kW]）及び高出力時（4.0 ～ 6.0[kW]）の範囲で COP が高い。
3. 暖房時では、P 社製エアコンの COP は出力が約 2.0[kW] で最大となるのに対し、A社製エアコンは出力が約 4.0[kW] で最大となる。

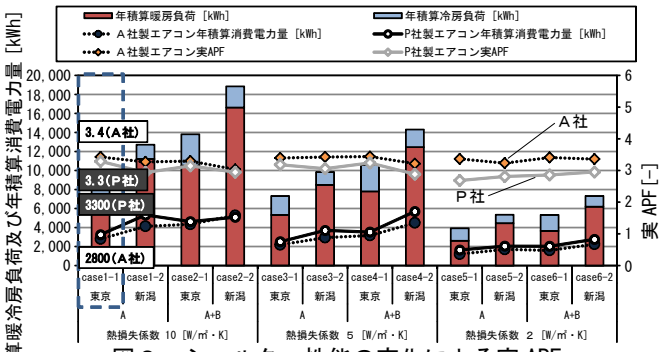


図９　シェルター性能の変化による実 APF
（東京・新潟、風量自動）

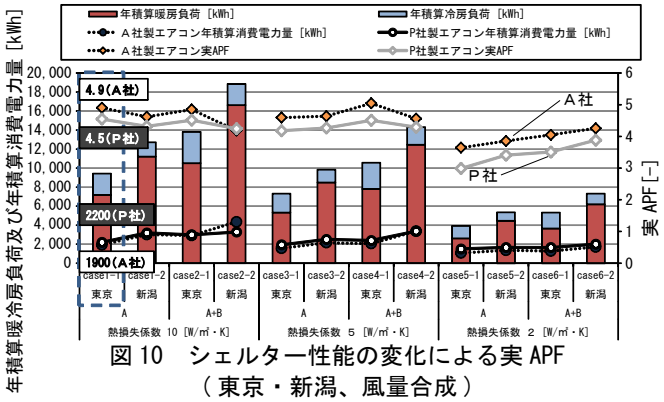


図 10　シェルター性能の変化による実 APF
（東京・新潟、風量合成）

4.冷房時では、Ｐ社製エアコンは出力が約 2.0[kW] で COP が約 1.5 の最小となり、Ａ社製エアコンは出力が約 3.0[kW] で COP が約 2.2 の最小となる。

5.同外気温、同出力の場合、Ａ社製エアコンの COP はＰ社製エアコンの COP より約１高い。

7.2　解析結果まとめ

1.暖冷房時共に全体的に風量の多い COP マトリクスの値が風量合成 COP マトリクスを占めている。

2.風量自動の場合、Ａ社製エアコンは暖冷房負荷の減少に対して実 APF の変化はほぼ無く、どの case においてもＰ社製エアコンよりも実 APF が高い。

3.暖房負荷が多い地域では、Ａ社製エアコンの年平均 COP の方が比較的高い。これは暖房負荷と COP マトリクスの関係から、Ａ社製エアコンの方が COP の高い範囲で運転する頻度が多いためと考えられる。

4.暖房負荷が無く、冷房負荷の多い那覇ではＰ社製エアコンの実 APF の方が高い。これは、冷房時においてはどちらのエアコンも ON-OFF 運転※9 の頻度が多く、その際、ON-OFF 運転時の COP がＰ社製エアコンの方が高いためと考えられる。

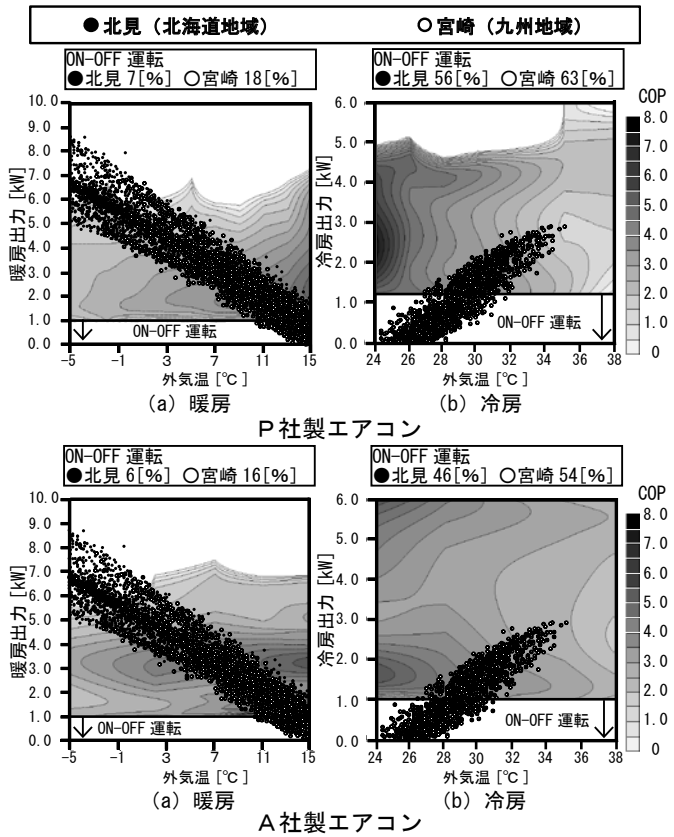


図 11　風量自動 COP マトリックスと暖冷房負荷の関係（北見、宮崎）

注釈

※1　Annual Performance Factor: 通年エネルギー消費効率

※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　温度分解能：0.1[℃]、湿度分解能：0.1[%]、温度測定確度：０～35.0[℃]±0.5[℃]、35.1～70.0[℃]±1.0[℃]、湿度測定確度：測定温湿度によるが概ね±５～10[%]。

※4　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。

※5　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。

※6　HIOKI 社製 DT4281

※7　予備実験として、リモコンによる風量設定（静、１～３）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、実験対象のＰ社製及びＡ社製エアコンでは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　Ｐ社製エアコンでは、暖房負荷 1.1[kW] 冷房負荷 1.3[kW] 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 32[℃] で COP3.2、暖房：外気温 7[℃] で COP1.6 とする。Ａ社製エアコン（エアコン④）では同様に、暖房負荷 1.0[kW] 冷房負荷 1.0[kW] 以下の場合、ON-OFF 運転を行い、COP は冷房：外気温 35[℃] で COP2.4、暖房：外気温 7[℃] で COP3.2 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 2016」

2）赤林・坂口・有波・阿部ら「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」
日本建築学会北陸支部研究報告集、第 58 号、2015 年

3）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

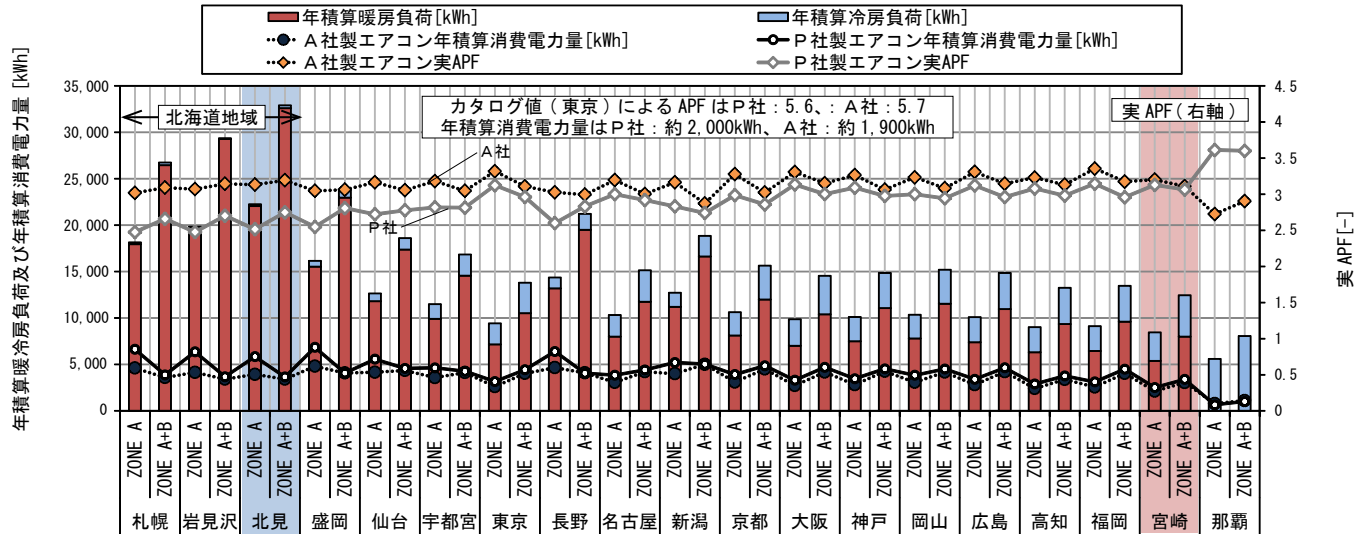


図 12　19 都市における年積算暖冷房負荷、年積算消費電力量及び実 APF（熱損失係数：10[W/m^2・K]、風量自動）