

3 - 2 「家庭用エアコンのCOP実測結果」

赤林伸一（新潟大学）

3.2.1 はじめに

我が国におけるエネルギー消費量のうち、住宅部門で消費されるエネルギーの割合は、全体の14%を占め、室内の快適性の追求やIT化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る。住宅で消費されるエネルギーの中で、冷暖房によるエネルギー消費が最も多く、冷暖房機器の性能向上が重要であると考えられる。

本研究では、住宅に設置されているエアコンの実使用時における成績係数(COP=エアコンの熱出力/消費電力)を明らかにするため、COP簡易測定手法を開発し、実使用時のエアコンのCOPと外気温湿度、エアコンの運転状況などとの関係を明らかとすることを目的とする。

3.2.2 COP簡易測定法の概要とカロリメータ測定装置との比較検証

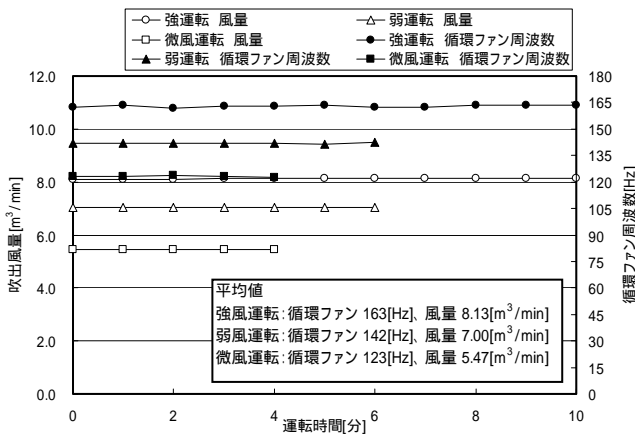
(1) COP簡易測定法の概要

家庭用エアコンの成績係数(COP)は、日本工業規格(JIS B 8615 - 1:1999)に規定されているカロリメータ型空気エンタルピー測定装置(以下カロリメータ)によって定格運転時の測定が行われており、カタログに表示されている。住宅に設置されたエアコンは居住者によって比較的頻繁に運転状態(設定室温等)を調整されるため、エアコンの電力消費量や運転状況、COPの実態を明らかとするためには、エアコンに取り付け可能な簡易測定手法の開発が必要である。本研究では家庭用エアコンに設置可能な吹出・吸込部の温湿度、コンプレッサー周波数、循環ファンインバータ周波数、消費電力量を計測するモジュールを開発する。更に開発した測定モジュールによる簡易測定実験結果とカロリメータによる測定結果の比較検証を行う。

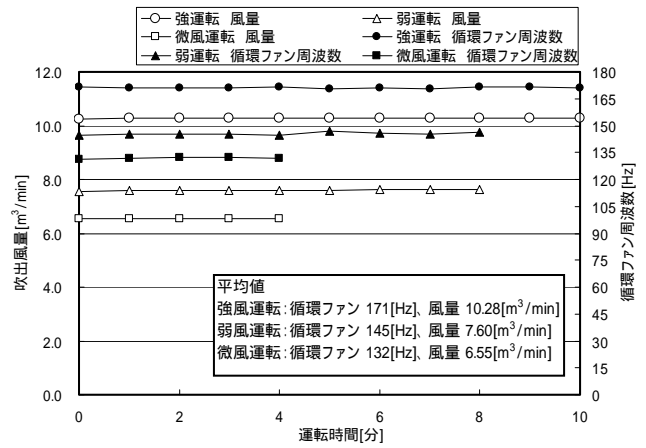
実験はA社カロリメータ試験室で行い、JIS B 8615を参考に冷房、暖房それぞれ室内温湿度、外気温湿度を設定し、カロリメータによる吹出乾球温度、湿球温度、吹出風量、エアコン能力、消費電力を記録する。又、エアコンに設置した測定モジュールから吹出・吸込温湿度、循環ファンインバータ周波数、コンプレッサーインバータ周波数、消費電力、室温湿度、外気温湿度を1分ごとにサンプリングする。エアコンの熱出力は、エアコン吹出、吸込空気のエンタルピーの差に吹出風量を掛けて算出する。

(2) 吹出風量の測定

対象としたエアコンの運転モードは強運転、弱運転、微風運転があり、それぞれ運転時の吹出風量が不明なため、カロリメータで測定した吹出風量と循環ファンインバータ周波数の関係を明らかとする必要がある。図1、2に冷房運転時、暖房運転時の測定結果を示す。図1はそれぞれの風量で冷房、暖房運転を行い、定常に達した時点からのカロリメータの風量と循環ファン周波数の結果を示す。図2はそれぞれの運転モードと吹出風速及び循環ファン周波数の関係を示す。吹出風量はそれぞれの運転モード(強、弱、微風)で、ほぼ一定であるため、COPの計算ではインバータ出力に対して1つの吹出風量を与えて算出する。

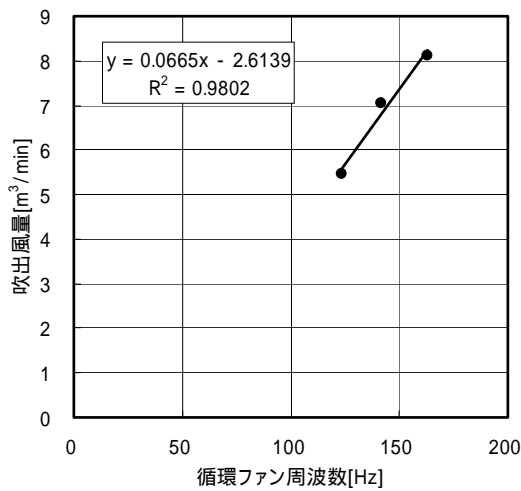


(1)冷房運転時

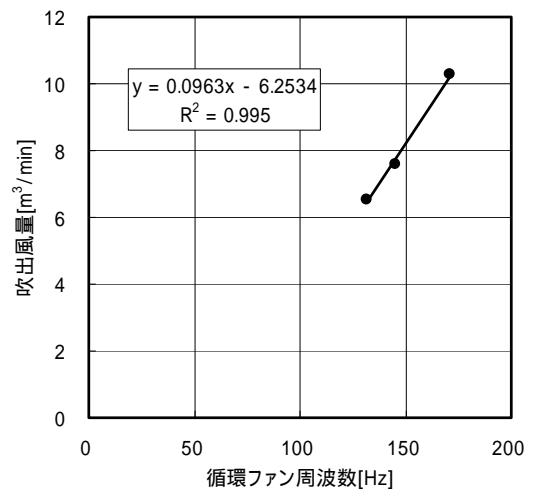


(2)暖房運転時

図1 吹出風量と循環ファン周波数測定結果



(1)冷房運転時



(2)暖房運転時

図2 運転モードと吹出風量の関係

(3)定常時の実験結果

定常時の冷房、暖房運転時の吸込、吹出の温湿度、空気エンタルピーの差、吹出風量を簡易測定装置で測定し、カロリーメータで測定した値と比較する。表1～6、図3～6に結果を示す。

冷房時の吹出相対湿度は測定機器の精度から 100%を超える値を出力する場合があります、この場合の相対湿度は最大値 100%とする。暖房時の吹出相対湿度は 20%以下になる場合があります、吸込の絶対湿度を吹出の絶対湿度として計算する。

冷房時の測定結果

表1～3に吹出、吸込口の温湿度を示す。図3に定常時の強風、弱風、微弱の場合のカロリーメータで測定したエアコンの出力と簡易測定法のエアコンの出力の比較を示す。両者はほぼ一致し、高い相関がある。図4はカロリーメータで測定したエアコン出力と簡易測定法のエアコン出力の時間変化を示す。両者は良く

表1 冷房時の吹出・吸込口乾球温度()

| 乾球温度 | 吹出(簡易測定値) | 吸込(簡易測定値) | 吹出(カロリーメータ) |
|------|-----------|-----------|-------------|
| 強風運転 | 12.4 | 27.4 | - |
| 弱風運転 | 15.3 | 28.3 | 15.3 |
| 微風運転 | 15.9 | 28.3 | 15.9 |

表2 冷房時の吹出・吸込口相対湿度(%)

| 相対湿度 | 吹出(簡易測定値) | 吸込(簡易測定値) | 吹出(カロリーメータ) |
|------|-----------|-----------|-------------|
| 強風運転 | 100.0 | 48.3 | - |
| 弱風運転 | 89.9 | 45.0 | 84.2 |
| 微風運転 | 88.1 | 45.1 | 85.6 |

表3 冷房時の吹出・吸込口絶対湿度(kg/kgDA)

| 絶対湿度 | 吹出(簡易測定値) | 吸込(簡易測定値) | 吹出(カロリーメータ) |
|------|-----------|-----------|-------------|
| 強風運転 | 0.0090 | 0.0110 | - |
| 弱風運転 | 0.0100 | 0.0108 | 0.0091 |
| 微風運転 | 0.0106 | 0.0109 | 0.0096 |

一致しており、最終的に求めたいCOPも正確に測定することが可能であると考えられる。

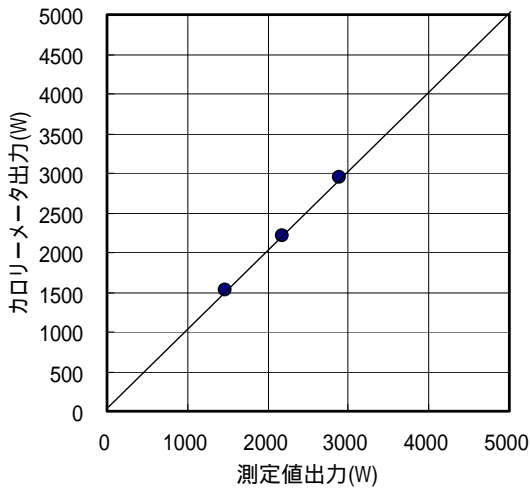


図3 冷房時のエアコン出力の測定結果

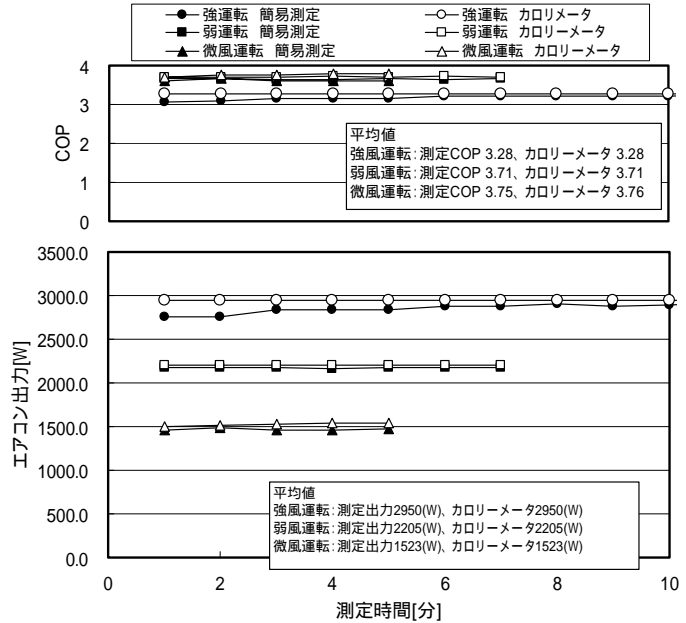


図4 冷房時のエアコン出力とCOP変化

暖房時の測定結果

表4～6に暖房時の吹出、吸込口の温湿度を示す。図5に定常時の強風、弱風、微弱の場合のカロリーメータで測定したエアコンの出力と簡易測定法のエアコンの出力の比較を示す。冷房時同様に両者はほぼ一致し高い相関がある。図6はカロリーメータで測定したエアコン出力と簡易測定法のエアコン出力の時間変化を示す。冷房測定と同様、当然の事ながら両者は良く一致しており、暖房時においても最終的に求めたいCOPを正確に測定することが可能であると考えられる。

表4 暖房時の吹出・吸込口乾球温度()

| 乾球温度 | 吹出(簡易測定値) | 吸込(簡易測定値) | 吹出(カロリーメータ) |
|------|-----------|-----------|-------------|
| 強風運転 | 41.1 | 20.1 | 41.0 |
| 弱風運転 | 47.1 | 20.1 | 47.1 |
| 微風運転 | 44.6 | 20.1 | 44.6 |

表5 暖房時の吹出・吸込口相対湿度(%)

| 相対湿度 | 吹出(簡易測定値) | 吸込(簡易測定値) | 吹出(カロリーメータ) |
|------|-----------|-----------|-------------|
| 強風運転 | 19.1 | 63.4 | - |
| 弱風運転 | 14.0 | 63.6 | - |
| 微風運転 | 15.9 | 63.6 | - |

表6 暖房時の吹出・吸込口絶対湿度(kg/kgDA)

| 絶対湿度 | 吹出(簡易測定値) | 吸込(簡易測定値) | 吹出(カロリーメータ) |
|------|-----------|-----------|-------------|
| 強風運転 | 0.0093 | 0.0093 | - |
| 弱風運転 | 0.0093 | 0.0093 | - |
| 微風運転 | 0.0093 | 0.0093 | - |

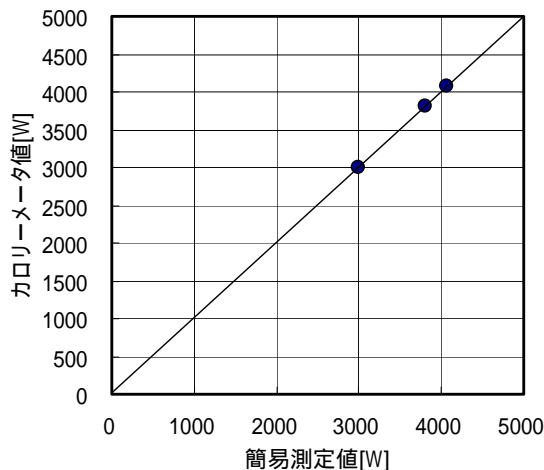


図5 暖房時のエアコン出力の測定結果

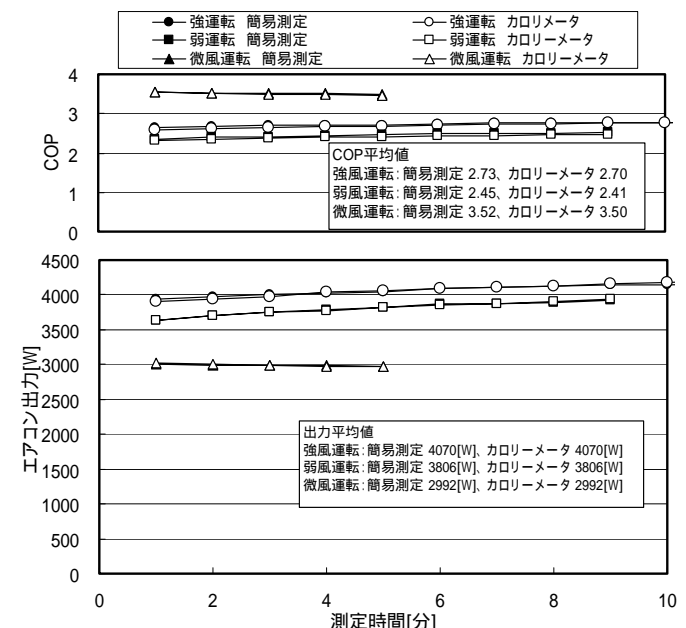
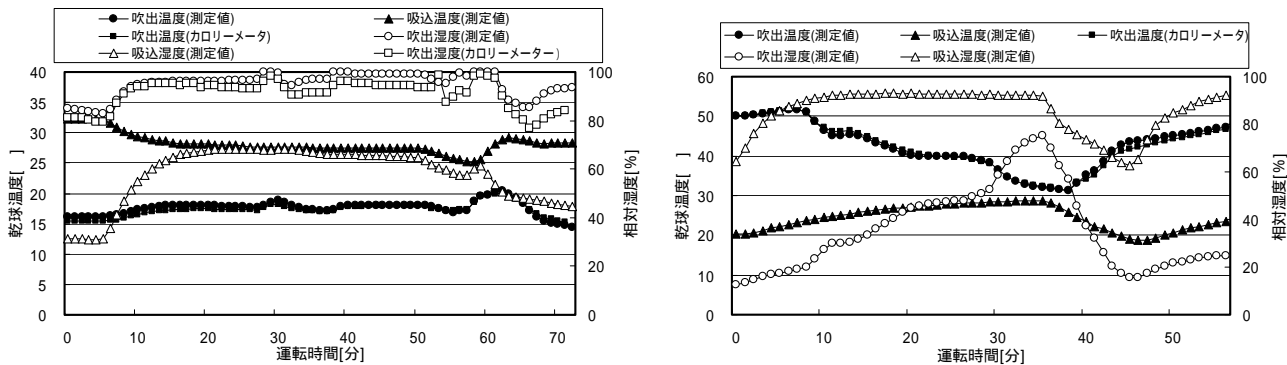


図6 暖房時のエアコン出力とCOP変化

(4) 非常時実験の測定結果

室内機の設置してある実験室の温度をエアコンの設定温度より冷房時には高く、暖房時には低く設定し、エアコンの運転が定常に達した後、実験室の温湿度をコントロールしている空調機を停止する。室温がエアコン設定室温となるまでエアコンを運転した時の非常状態の測定を行う。エアコンの出力は室温が設定室温に近づくにつれて徐々に小さくなり、エアコン設定室温となるとエアコンは停止する。

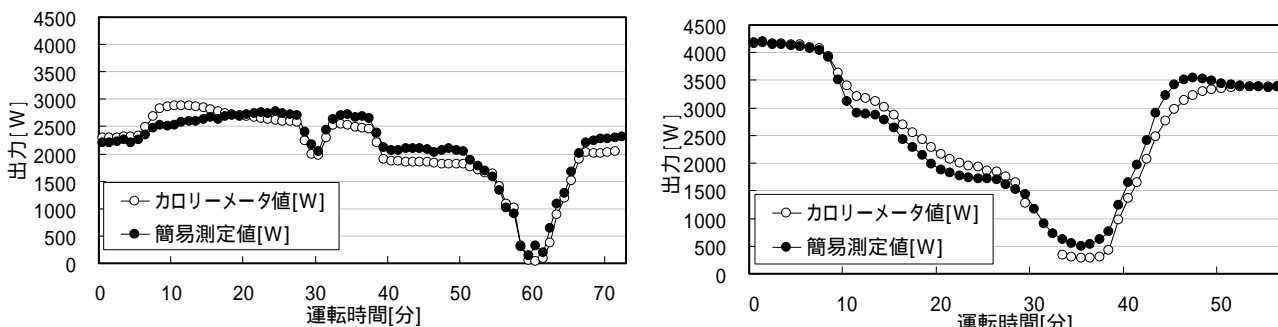
エアコン停止後、実験室の空調機を再度運転し、エアコンがON、OFF運転をするように実験室内の温度を調整した結果を図7～9に示す。カロリーメータで測定したエアコン出力と、簡易測定によるエアコン出力の結果(図8、9)は、冷房、暖房時とも相関は高く、両者は良く一致している。



(1) 冷房運転時

(2) 暖房運転時

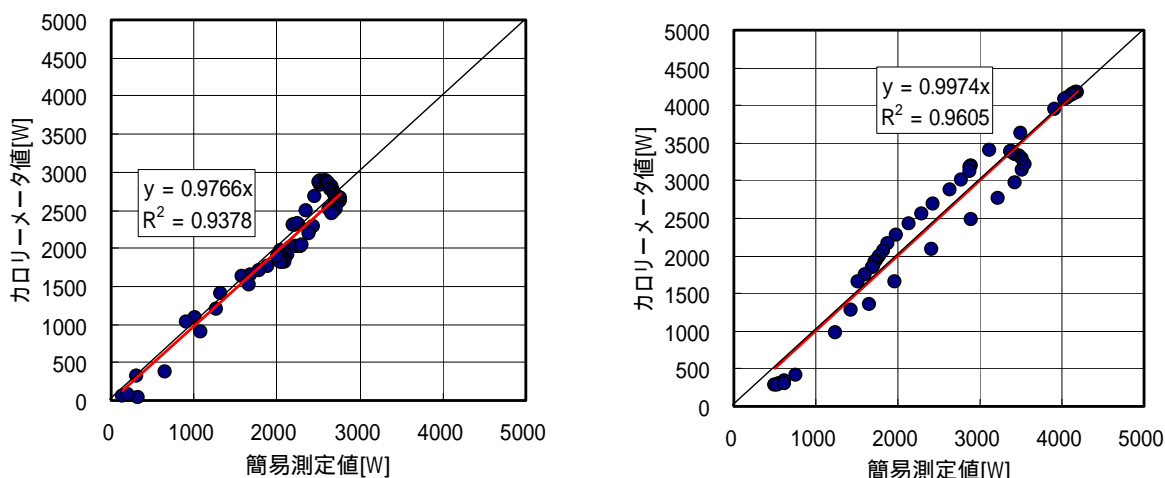
図7 温湿度の時間変化



(1) 冷房運転時

(2) 暖房運転時

図8 カロリーメータ値と簡易測定値の時間変化



(1) 冷房運転時

(2) 暖房運転時

図9 カロリーメータ出力と測定値出力の関係

3.2.3 戸建住宅におけるエアコンのCOP測定結果

調査対象住宅の概要を表7に示す。新潟県の戸建て住宅5戸を調査対象とし、住宅A、B、C、Dで夏季、住宅A、B、C、Eで冬季の家庭用エアコンCOP測定を行う。

表7 調査対象住宅の概要

| | 所在地 | 建築年 | 床面積 | 構造・工法 | 家族人数 |
|-----|-----|-------|--------------------------|-----------|------|
| 住宅A | 新潟市 | 1996年 | 150m ² (居住部分) | 木造(一部RC造) | 3人 |
| 住宅B | 新潟市 | 2002年 | 117.49m ² | 木造 | 4人 |
| 住宅C | 新潟市 | 2002年 | 178.23m ² | 木造 | 5人 |
| 住宅D | 新潟市 | 2002年 | 130.83m ² | 木造 | 4人 |
| 住宅E | 新潟市 | 2001年 | 241.76m ² | 木造 | 2人 |

(1)測定方法

測定は本研究で開発したCOP簡易測定手法により行う。エアコンの機器効率を示すCOPを算出するために、エアコンに吹出・吸込部の温湿度、室外機のインバータ周波数、消費電力量、循環ファン回転数(住宅A)または吹出風速(住宅B～E)を計測するモジュールを設置する。また、室外機の吹出・吸込部に温湿度計を設置し、1分間隔で記録する。住宅Aでは室内機循環ファン回転数より吹出風量を算出する。住宅B～Eでは設置時に吹出風速とエアコンの運転状態の関係を明らかとし、吹出風速によりエアコンの運転状況を判定し、メーカー設計風量により測定中の循環風量を推定する。COPの算出は以下の式で行う。

$$COP = (\text{エアコン吹出・吸込空気のエンタルピーの差} \times \text{吹出風量}) \div \text{消費電力量}$$

(2)実測結果

カタログCOPと実使用時におけるCOPの関係

表8に各住宅の測定期間における実使用時の平均COPとメーカーカタログに表示されているCOPを示す。実使用時COPとカタログCOPには相違が見られる。特に、住宅Bの冷房時にはカタログCOPに比べ実使用時COPが約2倍、住宅Cの暖房時にはカタログCOPに比べ実使用時COPが約1/3となり、大きな差がある。

また、住宅A、B、Cでは、カタログCOPは冷房時と暖房時で差が殆ど無いのに対し、実使用時COPは冷房時の場合が暖房時に比較して相対的に高い数値を示している。

表8 実使用時平均COPとカタログCOP

| | 運転状態 | 測定日 | 実使用時平均COP | カタログCOP |
|-----|------|-------------|-----------|---------|
| 住宅A | 冷房 | 8/1～9/30 | 6.61 | 5.00 |
| | 暖房 | 10/1～3/4 | 3.00 | 4.94 |
| 住宅B | 冷房 | 9/11～9/15 | 10.90 | 5.79 |
| | 暖房 | 12/20～12/24 | 6.70 | 5.77 |
| 住宅C | 冷房 | 9/2～9/5 | 5.53 | 5.83 |
| | 暖房 | 12/5～12/8 | 1.82 | 5.97 |
| 住宅D | 冷房 | 8/26～8/31 | 2.89 | 3.06 |
| 住宅E | 暖房 | 11/14～11/17 | 4.00 | 5.88 |

実使用時の冷房時COPと暖房時COPの関係

各住宅における冷房時の測定結果を 表 9 に、暖房時の測定結果を表 10 に示す。住宅 A は、夏季および冬季に連続して測定しているため、ここでは代表日だけの結果を示す。運転時間は、1 回の運転開始から終了までの連続運転時間であり、積算電力消費量、積算エアコン熱出力、平均 COP、および各平均温湿度は、その連続運転時間内における積算値、平均値である。

住宅 A における 8 月 9 日と 12 月 18 日を比較すると、積算エアコン熱出力がどちらも約 8100Wh であるのに対し、積算電力消費量がそれぞれ 1581Wh、2758Wh と大きな相違が見られる。同様に、住宅 A における 8 月 16 日と 12 月 22 日、8 月 24 日と 12 月 21 日を比較すると、同程度のエアコン熱出力に対し、積算電力消費量が大きく異なっている。住宅 B、C においても同様であり、暖房時は冷房時に比べ COP が低い。

図 10 に、各住宅における COP および室内外機の吹出・吸込温度の時間変化を示す。住宅 A では、冷房時は運転開始後約 4 時間までは COP が高く、変動も大きい。その後はほぼ一定の値を示す。暖房時の COP は終始ほぼ一定であり、冷房時より低い値を示す。住宅 B では、冷房時には COP は 10 以上の高い数値を示している。また、室内機吹出温度が運転開始時より大きく下がっていることから、冷房負荷が極めて大きいことが推察される。暖房時も同様に高い COP を示しており、室内吹出温度が非常に高く、暖房負荷が極めて大きいと考えられる。住宅 C では、冷房時、暖房時ともに他の住宅に比べ COP は低く、変動も小さい。住宅 D では、運転開始直後は COP が高く、室内機吹出温度から冷房負荷が大きいと考えられる。他の住宅に比べて全体的に COP は低い。住宅 E では、終始ほぼ一定の COP を示しており、その値は住宅 B に次いで高い。全住宅を通して、冷房時は暖房時に比べて全体的に COP が高く変動が大きい。

表 9 冷房時の COP 測定結果

(1)住宅 A

| 日付 | 時間 | 積算電力消費量 [Wh] | 積算エアコン熱出力 [Wh] | 平均 COP | 平均外気温度 [°C] | 平均外気湿度 [%] | 平均室内温度 [°C] | 平均室内湿度 [%] |
|-------|-------------|--------------|----------------|--------|-------------|------------|-------------|------------|
| 8/16 | 10:00~12:00 | 1581 | 8100 | 5.12 | 25.2 | 55.6 | 27.1 | 76.2 |
| 12/18 | 10:00~12:00 | 2758 | 8157 | 2.96 | 4.5 | 93.8 | 26.4 | 39.0 |

表 10 暖房時の COP 測定結果

(1)住宅 A

| 日付 | 時間 | 積算電力消費量 [Wh] | 積算エアコン熱出力 [Wh] | 平均 COP | 平均外気温度 [°C] | 平均外気湿度 [%] | 平均室内温度 [°C] | 平均室内湿度 [%] |
|-------|-------------|--------------|----------------|--------|-------------|------------|-------------|------------|
| 8/16 | 10:00~12:00 | 1581 | 8100 | 5.12 | 25.2 | 55.6 | 27.1 | 76.2 |
| 12/21 | 13:00~15:00 | 3448 | 10673 | 3.10 | 4.4 | 92.0 | 26.4 | 39.0 |
| 12/22 | 10:00~12:00 | 2515 | 7839 | 3.12 | 10.3 | 86.0 | 26.4 | 41.9 |

(2)住宅 B

| 日付 | 時間 | 積算電力消費量 [Wh] | 積算エアコン熱出力 [Wh] | 平均 COP | 平均外気温度 [°C] | 平均外気湿度 [%] | 平均室内温度 [°C] | 平均室内湿度 [%] |
|---------|--------|--------------|----------------|--------|-------------|------------|-------------|------------|
| 9/11 | 36分 | 271 | 2660 | 9.81 | 25.2 | 55.6 | 27.1 | 76.2 |
| 9/13(1) | 41分 | 247 | 2294 | 9.27 | 29.0 | 44.6 | 27.5 | 73.3 |
| 9/13(2) | 2時間22分 | 787 | 9343 | 11.87 | 25.3 | 47.9 | 28.6 | 63.5 |
| 9/14 | 3時間31分 | 1039 | 13132 | 12.63 | 24.5 | 47.7 | 27.5 | 63.1 |

(2)住宅 B

| 日付 | 時間 | 積算電力消費量 [Wh] | 積算エアコン熱出力 [Wh] | 平均 COP | 平均外気温度 [°C] | 平均外気湿度 [%] | 平均室内温度 [°C] | 平均室内湿度 [%] |
|-------|---------|--------------|----------------|--------|-------------|------------|-------------|------------|
| 12/20 | 12時間59分 | 7114 | 68754 | 9.67 | 0.9 | 98.3 | 23.6 | 40.5 |
| 12/21 | 24時間00分 | 8281 | 70031 | 8.46 | 2.8 | 91.3 | 22.8 | 42.3 |
| 12/22 | 24時間00分 | 5840 | 29609 | 5.07 | 5.8 | 90.5 | 22.2 | 44.2 |
| 12/23 | 24時間00分 | 8290 | 64371 | 7.77 | 7.8 | 99.1 | 24.1 | 45.3 |
| 12/24 | 9時間57分 | 1956 | 4992 | 2.55 | 7.0 | 92.6 | 22.4 | 48.4 |

(3)住宅 C

| 日付 | 時間 | 積算電力消費量 [Wh] | 積算エアコン熱出力 [Wh] | 平均 COP | 平均外気温度 [°C] | 平均外気湿度 [%] | 平均室内温度 [°C] | 平均室内湿度 [%] |
|--------|--------|--------------|----------------|--------|-------------|------------|-------------|------------|
| 9/2 | 58分 | 218 | 2166 | 9.94 | 24.6 | 54.6 | 26.5 | 78.9 |
| 9/3(1) | 2時間07分 | 878 | 3232 | 3.68 | 26.2 | 53.0 | 26.5 | 73.4 |
| 9/3(2) | 2時間32分 | 368 | 2658 | 7.22 | 23.6 | 49.1 | 27.8 | 74.3 |
| 9/3(3) | 8時間33分 | 4230 | 13389 | 3.17 | 23.7 | 49.2 | 25.7 | 61.5 |
| 9/4 | 44分 | 70 | 255 | 3.63 | 20.9 | 52.5 | 27.2 | 67.7 |

(3)住宅 C

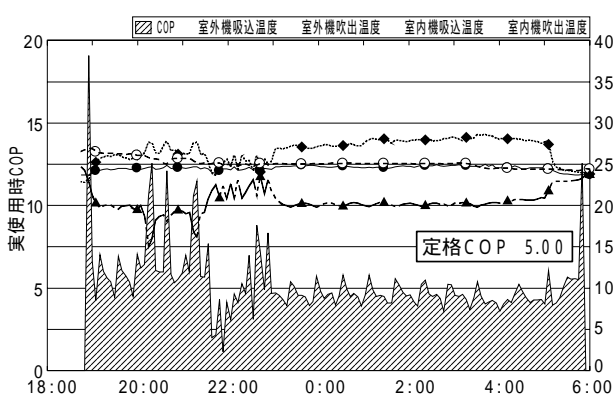
| 日付 | 時間 | 積算電力消費量 [Wh] | 積算エアコン熱出力 [Wh] | 平均 COP | 平均外気温度 [°C] | 平均外気湿度 [%] | 平均室内温度 [°C] | 平均室内湿度 [%] |
|---------|---------|--------------|----------------|--------|-------------|------------|-------------|------------|
| 12/5 | 33時間16分 | 8347 | 12773 | 1.53 | 8.3 | 71.8 | 23.0 | 44.2 |
| 12/7(1) | 2時間34分 | 1646 | 1938 | 1.18 | 4.9 | 69.8 | 23.0 | 45.7 |
| 12/7(2) | 14時間04分 | 5810 | 15107 | 2.60 | 2.6 | 81.2 | 24.3 | 40.4 |
| 12/8 | 7時間05分 | 1690 | 3313 | 1.96 | 5.0 | 87.4 | 22.7 | 42.9 |

(4)住宅 D

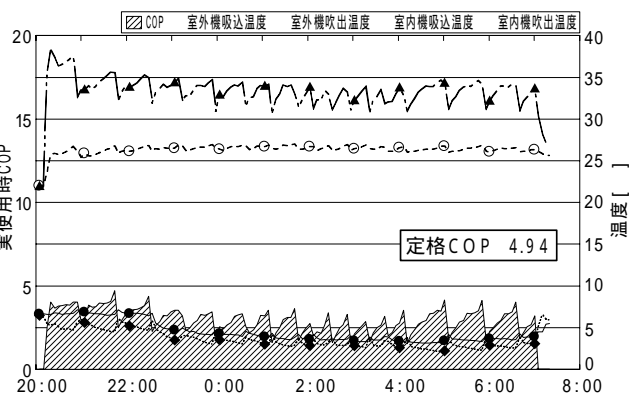
| 日付 | 時間 | 積算電力消費量 [Wh] | 積算エアコン熱出力 [Wh] | 平均 COP | 平均外気温度 [°C] | 平均外気湿度 [%] | 平均室内温度 [°C] | 平均室内湿度 [%] |
|---------|--------|--------------|----------------|--------|-------------|------------|-------------|------------|
| 8/27(1) | 6時間30分 | 4209 | 8601 | 2.04 | 30.7 | 40.6 | 28.0 | 60.2 |
| 8/27(2) | 5時間49分 | 3337 | 6162 | 1.85 | 26.8 | 46.2 | 26.9 | 63.1 |
| 8/28 | 1時間58分 | 1250 | 3416 | 2.73 | 26.1 | 52.4 | 26.9 | 68.7 |
| 8/29(1) | 47分 | 691 | 2612 | 3.78 | 26.6 | 50.1 | 27.9 | 69.1 |
| 8/29(2) | 1時間05分 | 784 | 3192 | 4.07 | 24.9 | 48.0 | 27.6 | 68.4 |

(4)住宅 D

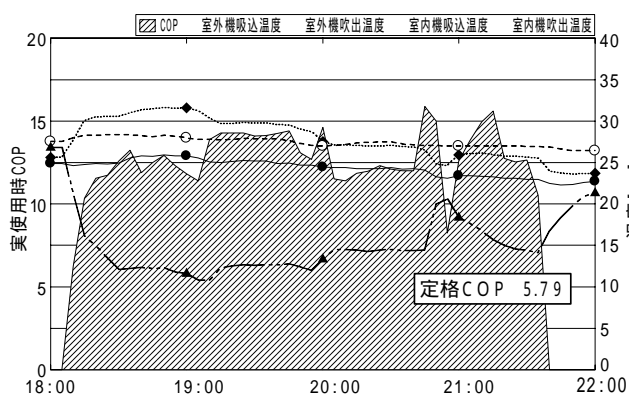
| 日付 | 時間 | 積算電力消費量 [Wh] | 積算エアコン熱出力 [Wh] | 平均 COP | 平均外気温度 [°C] | 平均外気湿度 [%] | 平均室内温度 [°C] | 平均室内湿度 [%] |
|-------|---------|--------------|----------------|--------|-------------|------------|-------------|------------|
| 11/14 | 10時間26分 | 4288 | 17929 | 4.18 | 6.9 | 69.6 | 23.4 | 50.8 |
| 11/15 | 6時間30分 | 3616 | 14058 | 3.89 | 7.4 | 72.3 | 21.9 | 50.1 |
| 11/16 | 7時間04分 | 4084 | 16002 | 3.92 | 7.7 | 79.0 | 22.8 | 51.2 |



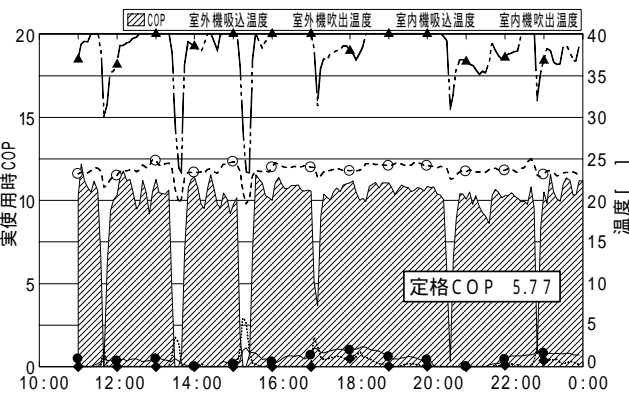
(1) 住宅A 8月9日(冷房)



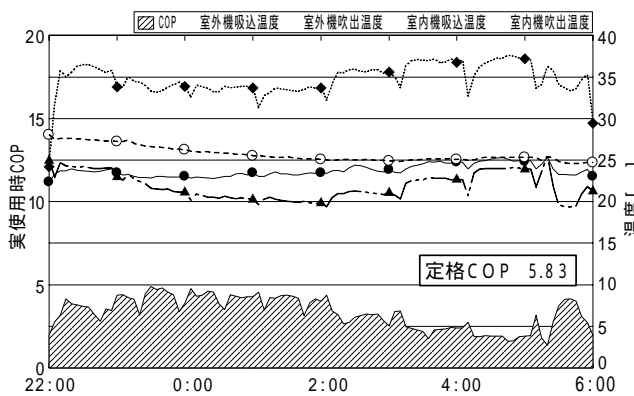
(2) 住宅A 12月18日(暖房)



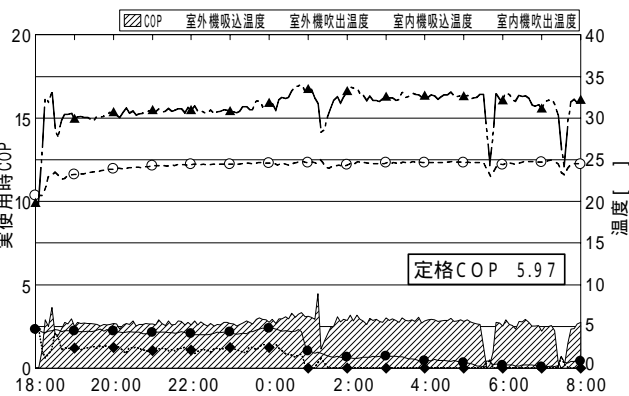
(3) 住宅B 9月14日(冷房)



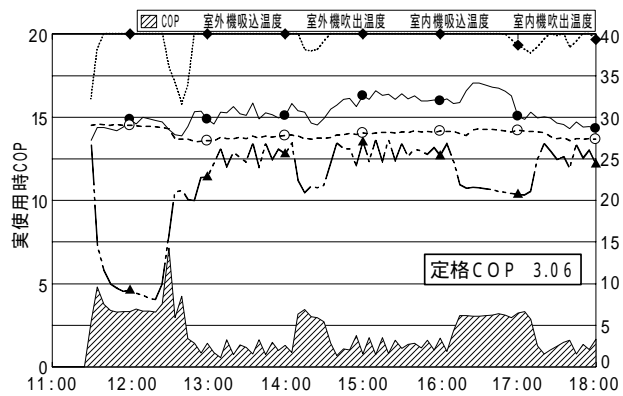
(4) 住宅B 12月20日(暖房)



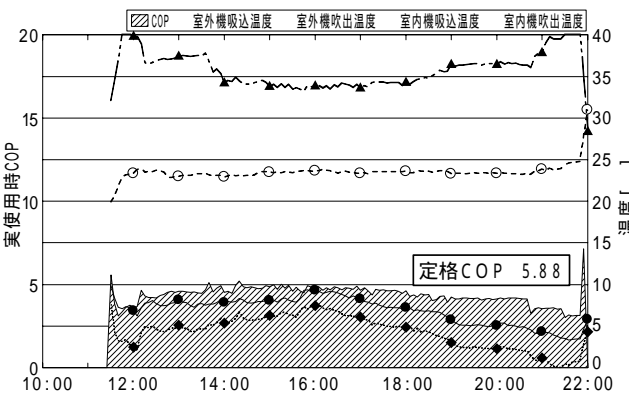
(5) 住宅C 9月3日(冷房)



(6) 住宅C 12月7日(暖房)



(7) 住宅D 8月27日(冷房)



(8) 住宅E 11月14日(暖房)

図10 COPおよび室内外機の吹出・吸込温度の時間変化

室内外温度差と実使用時COPの関係

図 11～図 14 に、室内外温度差と実使用時のCOPの関係を示す。室内外温度差は、室内機吸込温度から室外機吸込温度を引いた値である。住宅AからDの4戸の住宅においては、室内外温度差が大きくなるにつれてCOPが高くなる傾向が見られるが、相関係数は0.0～0.6と低い。また、暖房時と冷房時には明確なCOPの差が見られ、冷房時のCOPが暖房時に比較して高い。

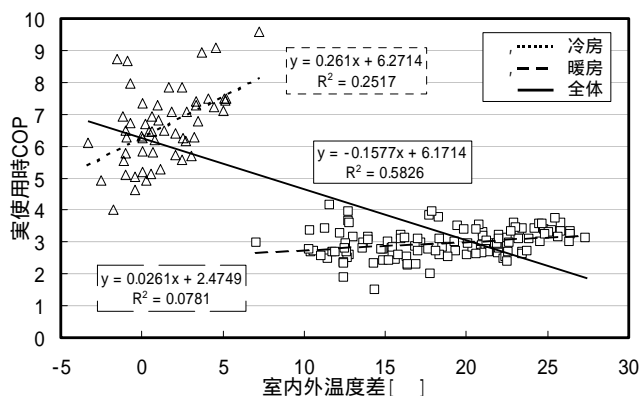


図 11 室内外温度差とCOPの関係(住宅A)

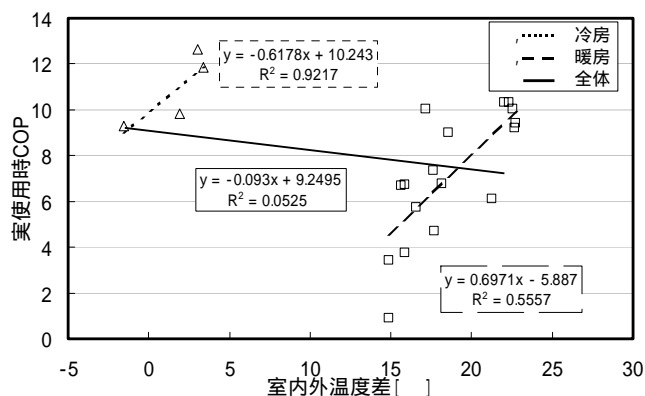


図 12 室内外温度差とCOPの関係(住宅B)

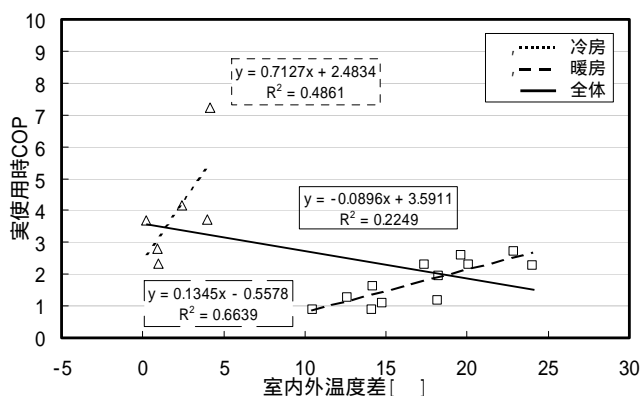


図 13 室内外温度差とCOPの関係(住宅C)

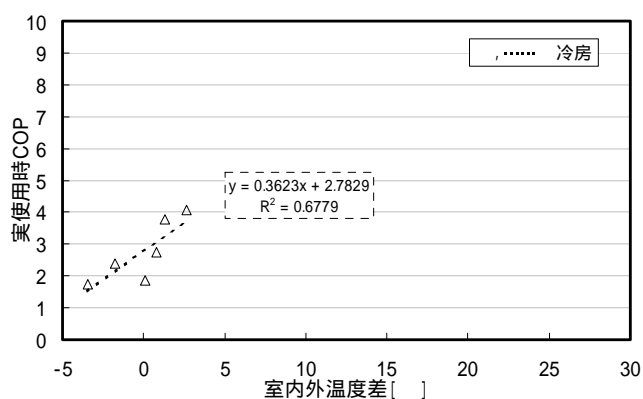


図 14 室内外温度差とCOPの関係(住宅D)

3.2.4 まとめ

本研究では、新たに家庭用エアコンに着脱可能なCOP簡易測定手法を開発し、家庭用エアコンに取り付け、住宅5棟を対象に夏季冷房時および冬季暖房時の実使用時のCOPを測定した。結果を以下にまとめを示す。

家庭用エアコンの吹出・吸込部の温湿度、コンプレッサー周波数、消費電力量等を計測する計測装置を開発し、家庭用エアコン実使用時の性能を測定する簡易測定法を開発した。

カロリーメータによる詳細測定と本研究で開発した簡易測定法の比較実験を行い、両者の結果は良く一致していることを確認した。

メーカーカタログによるCOPと実使用時COPには大きな相違が見られる。対象住宅A、B、Cでは、カタログCOPは冷房時と暖房時で差が殆どないのに対し、実使用時COPは冷房時の場合が暖房時に比較して極めて高くなっている。

冷房時のCOPは暖房時に比較して、変動が大きい。