3．省エネルギーと住宅機器―冷蔵庫とエアコン

佐藤春樹（慶應義塾大学）

冷蔵庫もエアコンも作動原理は同じヒートポンプである。両者ともに「目的とする空間」から「周囲環境」へ熱エネルギーを移動させて、「目的とする空間」の温度を調整する機械である。「目的とする空間」を暖めることも冷やすことも可能である。ところで、熱エネルギーと電気エネルギーは１対１に対応しない質が異なるエネルギーである。熱を移動させる機械の理論効率は、「目的とする空間」の温度（ケルビンで表示される熱力学温度、摂氏温度＋273.15）を、「周囲環境」との温度差で割った値となる。すなわち、温度差が小さければ機械が消費する電気エネルギーの数十倍の大量の熱エネルギーを移動させることが可能である。これが省エネルギーを考える上での基礎となる。一方で、ヒートポンプは、温度に敏感に反応して効率が数倍も変わり得る扱いに注意が必要な機械でもある。

この機械の作動流体を冷媒と呼ぶ。冷媒が蒸発する際に熱を吸収し、蒸発した冷媒が凝縮する（液体になる）際に高温の熱を放出する。この吸収あるいは放出される熱の量を圧縮機の消費電力で割った値が冷蔵庫およびエアコンの機器効率である。上述したようにヒートポンプの熱効率は１より大きい値であることから成績係数 COP（Coefficient Of Performance）と呼んでいる。混乱を防ぐ意味でも効率とは異なり，パーセントで表すことはない。ＣＯＰが５程度であることは普通であり、何かの要因で温度が変化するとすぐにＣＯＰが２．５になってしまいエネルギー消費量が２倍になることも特別なことではない。

上述のとおり蒸発と凝縮の温度差が機器効率を支配する重要なパラメータであるが、実機では、さらに蒸発および凝縮する冷媒の温度とそれを伝える空気との伝熱の過程に必要な温度差も重要である。この温度差は、１０℃から５℃程度と推定されることが多い。この温度差を「目的とする空間」と環境との温度差に加えた総温度差が機器効率に影響を及ぼすパラメータとなる。小型化や薄型化により熱交換器は複雑な形状であり、冷媒および空気の温度が時々刻々と変わり、空間的にも複雑な温度分布となっており、室内機および室外機の数箇所の温度測定と風量から機器効率を正確に推定することは極めて難しいと考えられる。以上の詳しい解説は前回のシンポジウムで行った。

成層圏オゾン層破壊や地球温暖化の全地球的な環境問題への対応を含む社会環境の大きな変化の中で、効率的にも機能的にも著しい発展を遂げつつある冷蔵庫およびエアコンの変遷を今回は紹介し、カタログに示されている効率がどのような条件で測定されたものであるかを解説し、本プロジェクトの研究で得られた実機試験結果を紹介して、実際の住宅に設置されたこれらの機器の効率がカタログ値とどれ程違う可能性があるかを調べ、それらの結果から省エネルギーのためのアドバイスを試みる。

冷蔵庫やエアコンに関するカタログ値と実際の効率について考えるときに、下記の前提を知っておくことは有用である。

(i) カタログ値は、機器の性能を保証するための情報である。この場合は再現性が重要である。そこで、カタログ値は、高価な設備により定格負荷を与えた場合の効率を定常状態で厳密に測定して決めている。一方で実際の住宅では、任意の大きさの負荷が機器に与えられ、機器環境はほとんどの場合非定常となる。

(ii) 冷蔵庫に関しては、(社) 日本電機工業会が JIS C9801 に基づいて年間消費電力量を推定して表示している。この値は消費者がわかりやすいように性能の差を消費電力量（電気代）の差で示したカタログ値であると解釈できるだろう。住宅における冷蔵庫の実際のエネルギー消費量というよりはむしろ機器の性能を示している。

(iii) エアコンに関しては、ＪＩＳ　Ｃ９６１２-1994 年版ルームエアコンディショナの参考２（期間エネルギー消費効率の算定のための試験及び算出方法）を基礎として 1995 年から代表機種につい

て年間電気代の表示をしている。また、(社) 日本冷凍空調工業会が長年の蓄積から、ＪＲＡ４０４６を設けて 1999 年からはインバータエアコン全機種に期間消費電力量の表示をしている。冷蔵庫の場合と似て、機器効率の厳密な測定値を用いている。一方では、需要条件を統計的に整理して、部分負荷時の効率を用いて、現実的な期間消費電力量に近づける工夫をしている。エアコンの場合は、より現実的な数値である一方で、扱いが複雑過ぎて専門家でないと期間消費電力量の計算方法が理解できないという問題があるだろう。

1. 冷蔵庫およびエアコンの機器および効率の変遷

1. 1　冷蔵庫に関する変遷

冷蔵庫の出荷数量を表 1.1.1 に、エネルギー消費に関する変遷を図 1.1.1 にまとめた。これらの図表に示すとおり、時代とともに大きな容量の冷蔵庫の占める割合が大きくなり、製造年毎に機器効率も大きく変化してきている。1998 年の不連続は JIS 規格の変更による。図 1.1.2 および図 1.1.3 からわかるように、成層圏オゾン層破壊の元凶であるということで塩素を含むフロン類である冷媒ＣＦＣ－１２については１９８８年から、冷蔵庫の断熱材の発泡に使われていたＣＦＣ－１１については１９９３年から代替フロンへの移行が始まっている。平均すると１台の冷蔵庫に冷媒は約１００ｇ程度、発泡剤としては６００ｇ程度が使われている。

表 1.1.1　電気冷蔵庫国内製品内容積別出荷数量の推移　　(単位:千台)

	1978	1980	1982	1984	1986	1988	1990	1992	1994	1996	1998	2000	2002
小型	818	847	881	994	1,090	1,377	1,596	1,464	1,434	1,550	1,561	1,432	1,372
中型	2,941	2,661	2,494	2,040	1,404	1,163	1,018	828	763	572	591	553	543
大型	207	234	213	678	1,229	1,597	2,018	1,939	1,354	1,643	1,122	1,026	929
超大型	-	-	-	-	-	-	-	-	1,061	1,270	1224	1,531	1,440
合計	3,966	3,742	3,588	3,712	3,723	4,137	4,632	4,231	4,612	5,035	4,498	4,542	4,284

(注)120 L 以下は小型、121-300 L は中型、301-400 L は大型、401 L 以上を超大型に区分。ただし、1993 年度以前は 301 L 以上を大型とした。

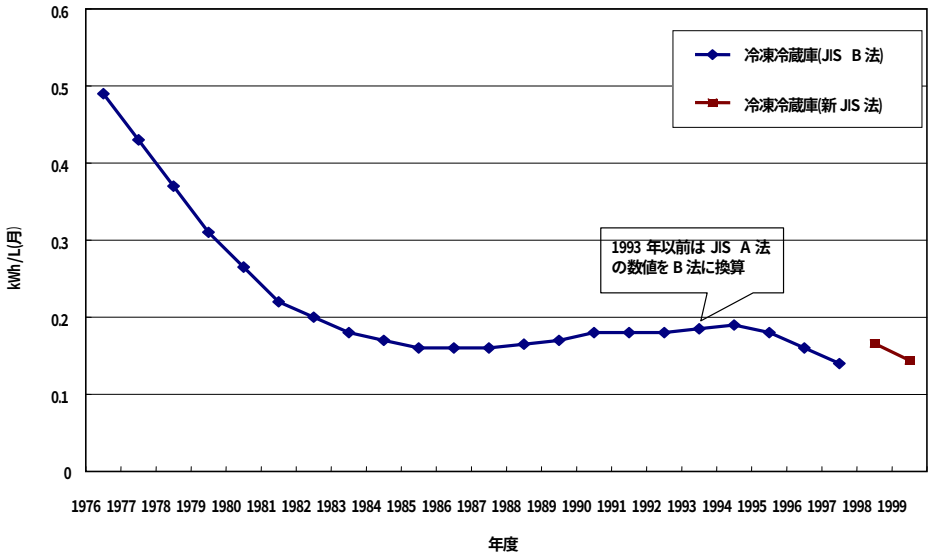


図 1.1.1　冷凍冷蔵庫の単位容積あたりの消費電力量の推移

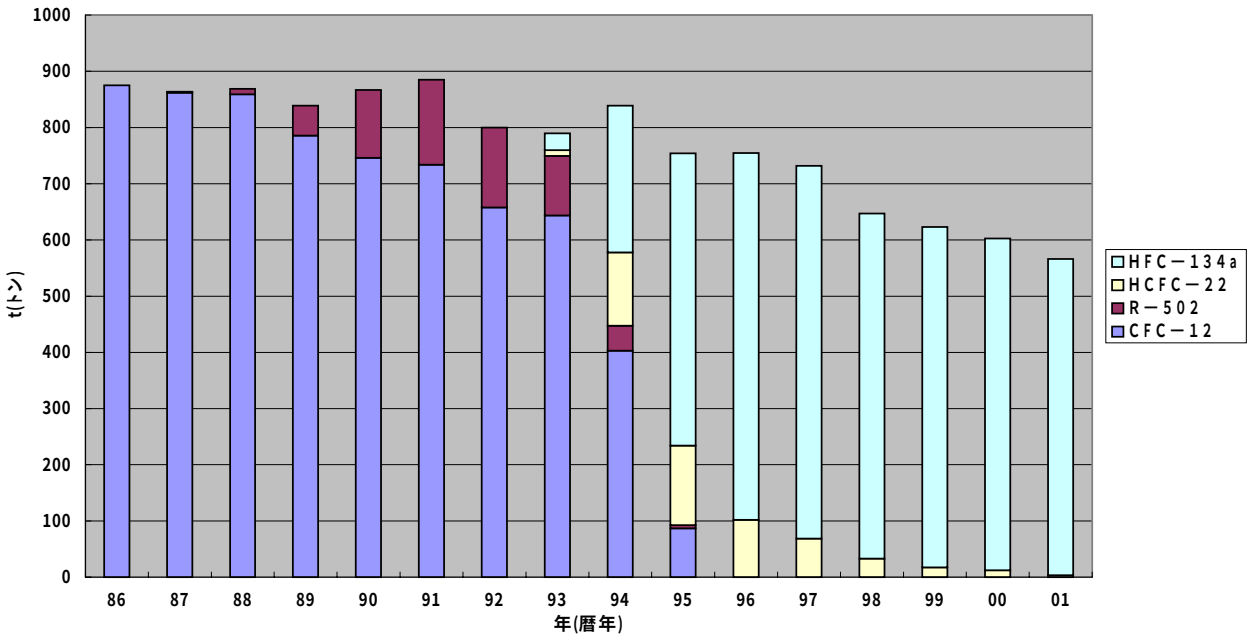


図1.1.2　家庭用冷蔵庫の冷媒の推移

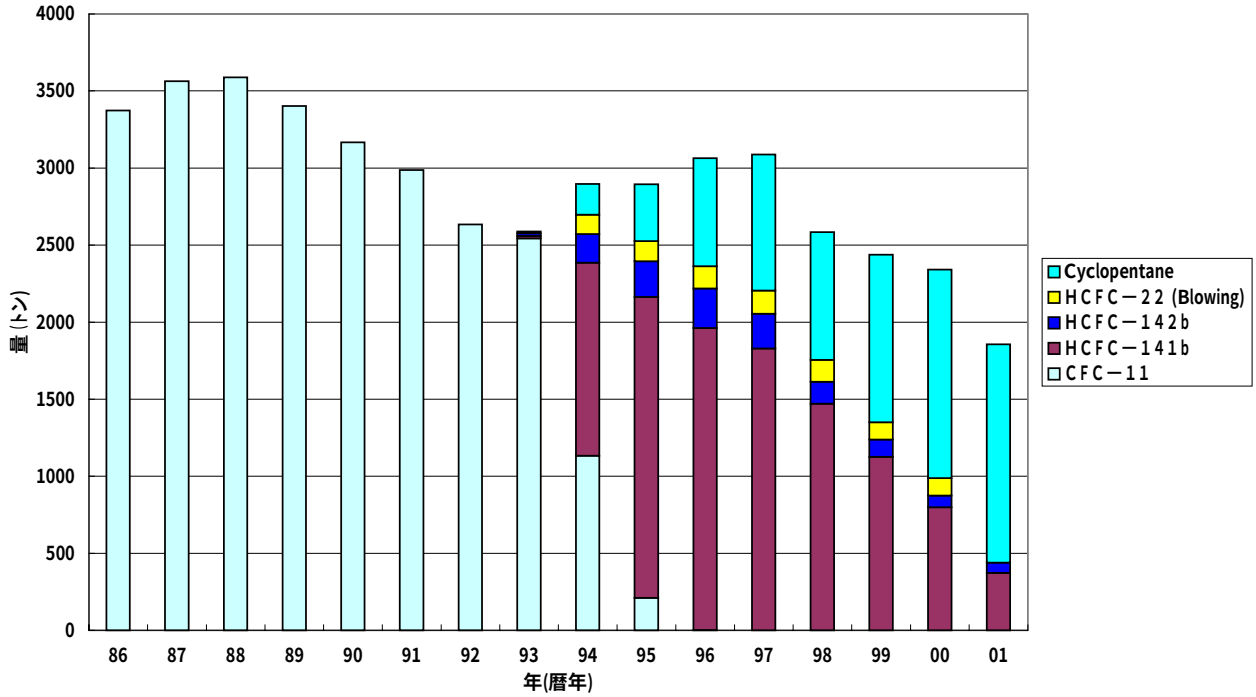


図1.1.3　家庭用冷蔵庫の断熱材の推移

表1.1.2に、冷蔵庫に関する変遷を示した。冷蔵庫の省エネルギー化を図るための３つの基本技術として、冷却技術、断熱技術、そして、制御技術が挙げられている。冷却技術および断熱技術では、代替フロンへの移行があり、制御技術には１９９５年からインバーターコンプレッサ搭載型の冷蔵庫が発売されて大幅な省エネルギー化が図られている。最近では可燃性の炭化水素であるイソブタン（R600a）を冷媒として用い、真空断熱技術を駆使した年間 200 kWh （0.05 kWh/L(月)）を切る省エネルギー型の製品が販売され始めている。

表1.1.2　冷蔵庫に関する変遷

年	1970	1980～1989	1990～1999	2000
圧縮機	▽1980 ﾛｰﾀﾘｰｺﾝﾌﾟﾚｯｻ搭載		▽1995 ｲﾝﾊﾞｰﾀｺﾝﾌﾟﾚｯｻ搭載	
凝縮機	▽1979 背面ｺﾝﾃﾞﾝｻ内蔵型 発売			
断熱材発泡剤		▽1983 HCFC-141b採用	▽1993 HCFC-141b採用 ▽1994 ｼｸﾛﾍﾟﾝﾀﾝ採用	
ドア枚数 （主力ゾーン）	▽1978 引出式野菜室付縦型3ﾄﾞｱ	▽1984 新温度帯付縦型4ﾄﾞｱ	▽1997 切替室、独立式ｱｲｽﾙｰﾑ付5ﾄﾞｱ	
レイアウト			▽1990 引出式冷凍室搭載 ▽1991 独立式ｱｲｽﾙｰﾑ ▽1996 野菜室真ん中ﾀｲﾌﾟ 発売 ▽1997 切替引出しﾙｰﾑ5ﾄﾞｱ	
付加機能		▽1983 特定低温室搭載 ▽1988 脱臭機能搭載 ▽1989 自動製氷機搭載		
冷媒			▽1993 HFC-134a 採用 ▽1995 特定ﾌﾛﾝ全廃	2002▽ R-600a 採用
断熱材			▽1992 真空断熱材採用 ▽1993 HCFC-141b 採用 ▽1994 ｼｸﾛﾍﾟﾝﾀﾝ採用	
ＪＩＳ規格		▽1986 JIS C9607 改定 国際単位系に改定	▽1993 JIS C9607 改定 IEC、ISO などの 国際規格と整合 ▽1999 JIS C9801 制定 性能規格として 制定	
省エネ法、他	▽1979 省ｴﾈ法 指定	▽1984 省ｴﾈ法指定解除 ▽1988 ｵｿﾞﾝ層保護法公布	▽1998 ﾍﾟﾙﾁｪ式冷蔵庫発売 1999▽ 省ｴﾈ法（ﾄｯﾌﾟﾗﾝﾅｰ方式）施行	2002▽ ﾉﾝﾌﾛﾝ冷蔵庫発売

1．2 エアコンに関する変遷

エアコンが対象とする空間は、冷蔵庫に比べてはるかに大きく、冷蔵庫のような気密性はもちろん期待できない ―それどころか人が住むためには換気が必要である。こうしたことから、冷蔵庫に比べると数倍の大きさの冷却能力が要求される。エアコンの冷却のための作動流体（冷媒）は、小型化が可能なＲ２２が長く使用されてきた。家庭用のエアコン１台には５００g から８００ｇ程度の冷媒が入っている。Ｒ２２はオゾン層破壊への影響が小さいＨＣＦＣに分類され、一時は代替フロンとして位置付けられた。しかしながら、オゾン層破壊への影響がゼロではないため、１９９６年から使用量の上限を設けるなどの規制が始まっている。このため、オゾン層破壊への影響の全くない冷媒としてＨＦＣ系冷媒の採用が始まり、ＨＦＣ系冷媒の混合物であるＲ４１０Ａ（Ｒ３２とＲ１２５の混合物）への転換を進めている。２００４年には先進国ではＨＣＦＣの削減が始まるが、この時までに基本的に転換を完了するとの方針のもとに、各社が取り組んでいるところである。

表 1.2.1 から表 1.2.3 には、形態別の出荷統計を示す。２０００年には１００世帯のうち８６．２%がエアコンを持ち，保有台数を割り算すると１世帯当り平均２．４台のエアコンを持っていることとなる。エアコンの効率に関しては、表 1.2.4 に示すように、２００４年までに冷暖平均 COP 値で５．２７を目標として開発している。これは１９８５年の COP 値の約２倍である。

表 1.2.1　家庭用エアコンの形態別出荷の推移（単位：万台）

年度	ウインド形	セパレート形	合　　計
１９６５	１０	-	１０
１９７０	３２	４４	７６
１９７５	５３	１４５	１９８
１９８０	４６	２００	２４６
１９８５	３８	３０３	３４１

表 1.2.2　家庭用エアコンの機能別出荷の推移（単位：万台）

年度	冷房専用	冷暖兼用	合　　計	（内インバーター）
１９７５	１６３	３５	１９８	－
１９８０	１９５	５１	２４６	－
１９８５	１２４	２１７	３４１	（約５０）
１９９０	１６９	４２４	５９３	（２７７）
１９９５	９３	６７６	７７０	(５２６)
２０００	２５	６７７	７０２	（６５７）

表 1.2.3　家庭でのエアコンの保有状況の推移（１００世帯あたり）

年	保有世帯	保有台数	（内冷専）	（内冷暖兼）
１９６５	2.0	2.6		
１９７０	5.9	6.8		
１９７５	１７.2	２３.3		
１９８０	３９.2	５１.8		
１９８５	５２.3	８２.0	５８.3	２３.8
１９９０	６３.7	１１４.0	６８.0	４６.0
１９９５	７７.2	１６０.3	６６.1	９４.2
２０００	８６.2	２０７.6	５５.0	１５２.6

表 1.2.4　冷暖房兼用形のＣＯＰの推移

年	冷房ＣＯＰ	暖房ＣＯＰ	冷暖房平均ＣＯＰ
１９７３	１.８０	１.４９	（１.６４）
１９８０	２.０５	２.００	（２.０２）
１９８５	２.４１	２.８８	（２.６４）
１９９０	２.５２	２.９４	（２.７３）
１９９７			２.９６
２００４			５.２７

１９９７年と２００４年は冷房能力２．５ｋＷまでの機種; ２００４年は省エネルギー法による目標値。

2. 冷蔵庫:日本工業規格JISによる消費電力量試験法の紹介

1999 年 3 月から JIS　C9801 の消費電力量試験方法による効率がカタログに表示されている。それまでは JIS　C9607 の消費電力量試験法(B 法)によっていた。B 法は、ドアを開閉しない方法である。試験方法を表２．１に示す。

表　２．１　冷蔵庫のＪＩＳによる消費電力量試験法

	JIS C9607 消費電力量試験法(B 法)				JIS C9801 消費電力量試験法			
種類	冷凍冷蔵庫		冷蔵庫	冷凍庫	冷凍冷蔵庫		冷蔵庫	冷凍庫
庫内温度	冷凍室	冷蔵室	冷蔵室	冷凍室	冷凍室	冷蔵室	冷蔵室	冷凍室
	–18℃以下	5℃以下	5℃以下	–18℃以下	–18℃以下	5℃以下	5℃以下	–18℃以下
扉開閉回数	扉開閉なし				8 回/日	25 回/日	25 回/日	8 回/日
周囲温度	25 ℃				25 ℃			
周囲湿度	45 ～ 85%				70 ± 5%			
消費電力の表示	月間消費電力量 (kWh/月) （W_{25} × 365 日）÷ 12 ヶ月				年間消費電力量 (kWh/年) (W_{25} × 365 日)			

W_{25}：周囲温度 25 ℃ での一日当りの消費電力量（kWh/日）

3. 住宅に置かれた冷蔵庫の実際の効率

表３．１に示す３種類の冷蔵庫について、住宅での性能を調べたので報告する。

表３．１　調査に用いた３種類の冷蔵庫のカタログ情報

機種番号	容量 L	製造年	年間消費電力量 kWh/年	電動機の定格 消費電力 [W]	電熱装置の定格 消費電力 [W]	日本工業規格 JIS
1	415	2002	310	180	153	C 9801
2	345	1998	480	119	151	C 9607
3	250	1999	570	105	130	C 9801

3.1 未使用条件下の冷蔵庫の消費電力量 (機器 1)

JIS 規格では冷蔵庫の周囲全てが２５℃で恒温となった環境に約１週間おいて十分熱平衡が達成された条

件で、表２．１に示した JIS にしたがって消費電力量を測定している。住宅内に置かれた冷蔵庫の消費電力量は冷蔵庫自身からの排熱や棚や壁との間の空間の大きさなどによる設置環境、置かれた環境の温度の変動や温度分布などの要因が影響して、JIS 規格に基づいて表示されたカタログ値とは異なる値をとる可能性が大きい。それが、どの程度の違いであるかを慶応義塾大学構内の戸建住宅に置いた冷蔵庫（機器１）に中身を詰めず、かつ扉開閉のない未使用条件下での消費電力量を測定してみた。

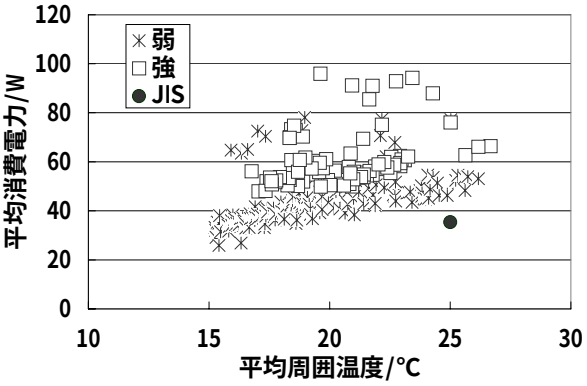


図 3.1.1　平均周囲温度と平均消費電力の関係
（２時間毎の平均値、１５分毎の測定）

設置環境は、冷蔵庫の左右及び後ろに 30cm 以上の十分な空間を取った。そして庫内設定温度を「強」および「弱」にして測定を行った。測定値から求めた平均周囲温度と平均消費電力の関係を図 3.1.1 に示す。なお同じ平均周囲温度において消費電力が高い場合があるが、これは平均したデータの計測時間内に霜取り機能が働いた場合でありヒーターの消費電力が含まれている。カタログに記載された年間消費電力量から周囲温度が 25 ℃の平均消費電力を求めると約 35.3W となる（霜取り分の消費電力を含んだ平均値）。冷蔵室および冷凍室の温度は設定が「強」で、それぞれ 0.9 ℃ および –24.2 ℃、「弱」で 5.8 ℃ および –19.6 ℃ であった。そして実測値とカタログ値の消費電力の比率は、庫内設定が「強」では平均約 1.9 倍、「弱」では平均約 1.4 倍となった。

3.2 使用条件下の冷蔵庫の消費電力量（機器 2,3）

実際の家庭で使用されている２台の冷蔵庫の消費電力量測定を実施した。利用人数は実機 2 が４人、実機 3 が１人、どちらも東京都豊島区の住宅で測定した。２台の冷蔵庫の設置環境を図 3.2.1 に示す。

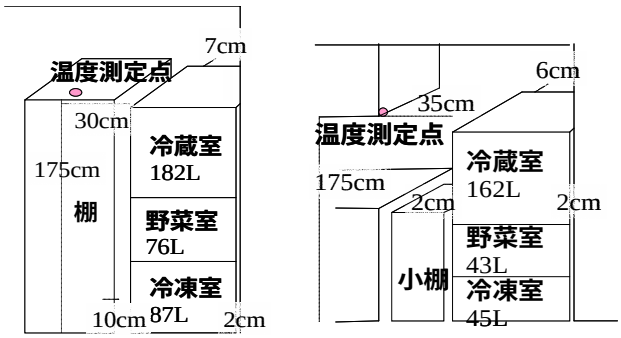


図 3.2.1 設置環境

測定１　　平均周囲温度と消費電力量の測定

１時間当りの平均周囲温度と平均消費電力の関係を図 3.2.2 に示す。25 ℃における測定結果の平均値を 365 日分にした値とカタログ値との相違を調べた。

機器２：　（1051 kWh/年）/（480 kWh/年）　＝2.2
機器３：　（649 kWh/年）/（570 kWh/年）　＝1.1

このように機器 2 と 3 の間に差が生じた理由は使用条件および設置環境の差による影響が大きいと考えられる。使用条件としては、機器 2 の場合、利用者が 4 人の一般世帯であるのに対し、機器 3 の場合は、利用者が高齢者１人で利用頻度も低いことが影響していると考えられる。また、設置環境に関しては、機器２は冷蔵庫周囲に十分な空間がないのに対し、機器３では左上半分の空間が大きく存在して、熱の排出が効率的に行われているのではないかと考

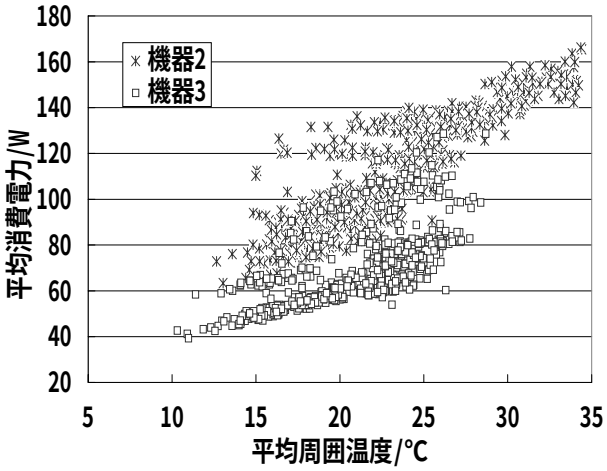


図 3.2.2　　機器２および３の平均消費電力と平均周囲温度の関係
（測定期間　2002/9/15～2003/1/10）

えられる。JIS C 9607 では測定時に扉の開閉がなされていないこともあり、カタログの年間消費電力量は機器２の方が小さいが、実際の測定結果においては、機器２は機器３よりも大きな消費電力量を示している。

測定２　実機２の一日の変動

実機２に関して平均消費電力と周囲温度との関係を検討する。周囲温度は 15 分間の平均値を、そして 15 分間の積算消費電力から平均消費電力を求めた。8 月から 12 月の代表日における結果を図 3.2.3 の a)～c)に示した。図 3.2.3 から、周囲温度が高いほど 120 W 以上での稼働時間が長いことがわかる。また夏季の稼動時は、電動機の定格消費電力量である 119 W よりも大きい値（約 140 W）を常時示した。この測定結果からは、食事や買い物などの特定な時間による顕著な消費電力量の増加はみられなかった。扉開閉時や新たな内容物を入れることの影響よりも周囲温度の方が、消費電力量に与える影響が大きかったと思われる。

＜参考文献＞　日本工業標準調査会、JIS C 9801、JIS C 9607(1999)

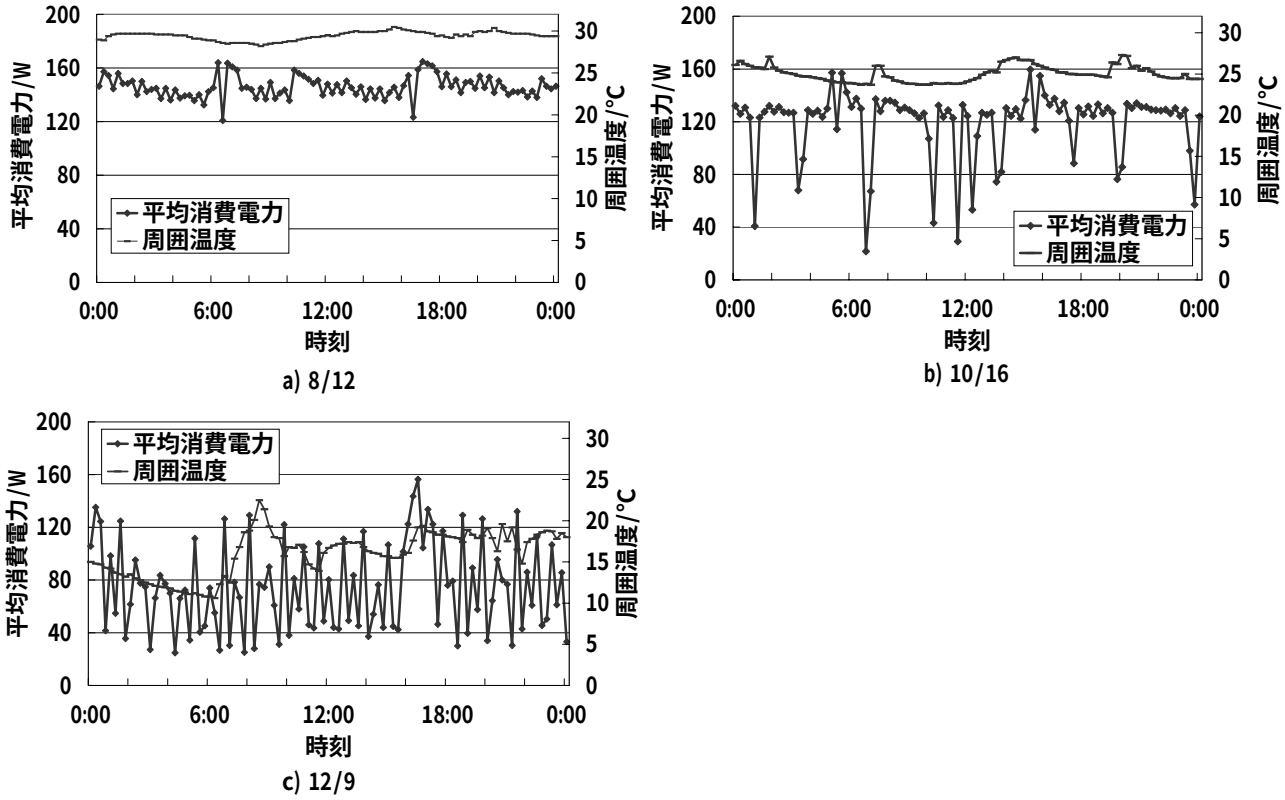


図 3.2.3　機器２の１日の消費電力の変化の様子、a）８月１２日、b) １０月１６日、c) １２月９日

4. 冷蔵庫の省エネルギー対策

① 冷蔵庫は、室内に熱を排出して冷蔵庫の中を冷やす機械である。したがって、熱を抵抗なく排出できる設置環境が重要である。最近は冷蔵庫の下から空気を吸い込むものもあるが、この方式の冷蔵庫も一部の熱の排出に下からの空気を用いているにすぎない。冷蔵庫の周囲を触ってみて高温になっている部分があれば置き場所を変えるか、周囲の空間を広げるなどの対策が望まれる。今回の３台の冷蔵庫の試験においてもカタログから予想される２倍程度の電力消費が計測されている。

② 今回の実験で「強」と「弱」の設定で消費電力量を比べてみたところ「強」で約１．９倍、「弱」で約１．４倍となった。機種および設置環境の問題もあるが、必要以上に冷蔵庫の設定温度を下げないようにすることも省エネルギーに役立つ。　今回の実験では「強」で冷蔵室が０．９℃、冷凍室が－２４℃、「弱」で冷蔵室が５．８℃、冷凍室が－２０℃であった。一般の使用では「弱」で十分

であるだろう。

③ 今回の実験では、実際の家庭で使われている冷蔵庫の扉の開閉による消費電力への影響は思っていたよりも小さかった。冷蔵庫の内容物の持っている熱容量が大きければ、扉の開閉が短時間であれば消費電力に与える影響は大きくないと考えられる。しかしながら、扉を長時間空けたままにしておくことや熱いものを入れることは、冷蔵庫にとっては大きな負荷となり消費電力の増大の原因となることは明らかである。

5. エアコン：日本冷凍空調工業会（JRA）による期間消費電力算出基準の紹介

以下にＪＲＡ期間エネルギー消費効率算出法の概要として、暖房運転を例に期間消費電力量の算出方法を説明する。

図 5.1 に示す暖房の外気温度に対する特性を用いて、消費電力を算出している。図 5.1 における暖房負荷線ＢＬはＪＩＳ　Ｃ９６１２に示す建物負荷にて算出する。室内温度を２０℃に保つために必要な暖房能力を示す線である。また冷房負荷線は室内温度を２７℃に保つために必要な冷房能力を示す。

図 5.1 中の３つの●印が暖房の代表評価点である。そのうち、Φhr2、Φhrm は外気温度７℃の暖房定格能力及び中間能力を示す。また Φdef は外気２℃で運転したときの、霜取り運転を含む暖房低温サイクル能力を示す。また外気温度－８．５℃における３つの○印は、表 5.1 に示す実験式により算出する。

以下に順を追って説明を試みる。

①評価代表点における能力特性線と建物負荷とが釣り合う外気温度の算出

Φhr2 は外気温度７℃の暖房定格能力を示し、Φhr2 と表 5.1 の算出式より求まる定格運転と同一の圧縮機回転数における外気温特性が、図中の定格の線で表される。これにより、定格運転と暖房負荷の両線の交点Ａ１の暖房能力が算出できる。同様に中間と暖房負荷の交点Ｃ１の能力が算出できる。また、ルームエアコンの暖房運転では、外気温度５．５℃以下、－８．５℃以上の外気温度領域では、除霜運転のために無着霜時に比べて暖房能力が低下する。図 5.1 中の上記温度範囲で、線図の折れているのがこの現象を示したもので、この能力低下率は外気温度２℃時で１．１２で除した値と定めた。この影響は定格及び中間にも適用され、その低下分を加味した能力特性の線と、暖房負荷の線の交点Ａ２、Ｃ２が実際に室内温度を２０℃に保つためのバランス点となる。

②建物負荷と釣り合う交点における消費電力を算出

①に示す同様の考えかたを用いて、Ａ１、Ａ２、Ｂ２、Ｃ１、Ｃ２の各交点での消費電力量を算出する。但し除霜運転のとき無着霜時に比べての消費電力の低下は外気温度２℃で１．０６で除した値と定めた。

表 5.1　低温試験で得られた実験式

	能力(W)	消費電力 (W)
冷房低温試験	Φcr2(29)=1.077×Φcr2 Φcrm(29)=1.077×Φcrm ここでΦcr2：冷房定格能力 Φcrm：冷房中間能力	Pc2(29)=0.914×Pc2 Pcm(29)=0.914×Pcm ここでPh2：冷房定格消費電力 Phm：冷房中間消費電力
暖房低温試験 (外気-8.5℃)	Φhr2(-8.5)=0.601×Φhr2 Φhrm(-8.5)=0.601×Φhrm ここでΦhr2：暖房定格能力 Φhrm：暖房中間能力	Ph2(-8.5)=0.801×Ph2 Phm(-8.5)=0.801×Phm ここでPh2：暖房定格消費電力 Phm：暖房中間消費電力

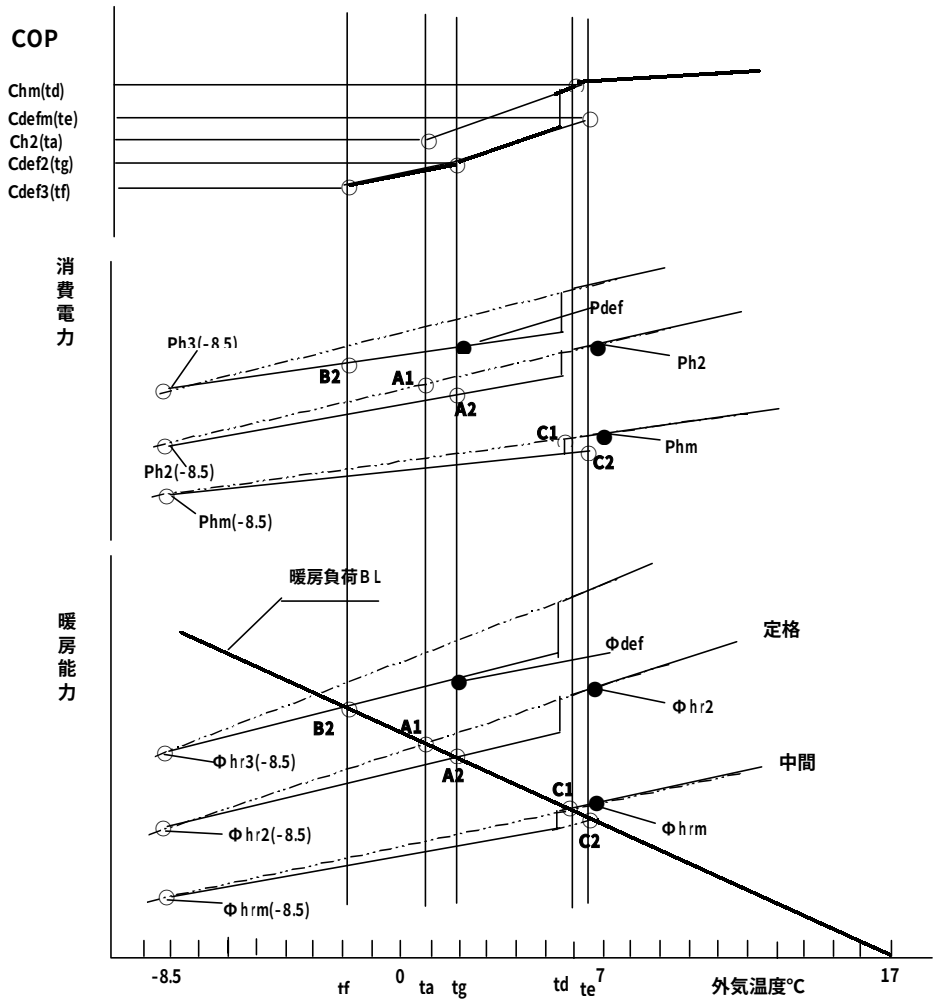


図 5.1 暖房の外気温度特性

③各外気温度における消費電力を算出

着霜時の特性はＢ２～Ａ２、Ａ２～Ｃ２間により、無着霜時の特性はＡ１～Ｃ１間、及びＣ１特性により、３点の能力と消費電力から求まるＣＯＰをベースに、一旦各外気温のＣＯＰ特性を直線近似で求め、このＣＯＰと各外気温で必要とする暖房負荷（＝バランス暖房能力）から、外気温度ｔｊ℃時のバランス消費電力ｐ(ｔｊ)を外気温度１℃刻みで算出する。

また中間能力での能力線と建物負荷とが交差するＣ１点以上の外気温度は、中間能力における圧縮機特性で連続運転するものと仮定して、ＣＯＰ特性を算出する。但し、最小能力が暖房定格能力の１／２以上の機種は、最小能力で断続運転を行うものとして算出する。

④期間消費電力量の算出

以上より外気温度ｔｊにおける消費電力ｐ（ｔｊ）に、ＪＩＳ　Ｃ９６１２に記載の東京の発生時間とを積算することにより、暖房期間消費電力量ＨＳＰＥ(Heating Seasonal Performance Energy)が算出できる。但し、暖房運転の場合、最大能力が暖房負荷を下回る外気温度では、能力不足分を電熱装置で補ったものとして、これを消費電力量に加える。

同様に各外気温度における暖房負荷の発生時間を積算することにより、暖房期間総合負荷ＨＳＴＬ（Heating Seasonal Total Load）が算出できる。

また、暖房期間エネルギー消費効率ＨＳＰＦ(Heating Seasonal Performance Factor) は下記の式より算出される。

ＨＳＰＦ＝ＨＳＴＬ／ＨＳＰＥ

以上，暖房の場合を説明したが、同様の考えで冷房の場合も算出している。冷房運転時は除霜運転が生じない分だけ計算が簡単である。

参考のために、米国冷凍空調工業会 ARI、日本工業規格 JIS および日本冷凍空調工業会 JRA の期間エネルギー消費効率の評価項目の比較を以下にまとめておく。数字は乾球／湿球温度（℃）の計測条件である。

参考：各種期間エネルギー消費効率の評価項目の比較

ARI210／240 評価ポイント

冷房	最大	中間	最小
内26.7/19.4、外35/23.9	●		
内26.7/19.4、外27.8/18.3	●		●
内26.7/19.4、外19.4/11.9			●
内26.7/19.4、外30.6/20.6		●	

暖房	最大	中間	最小
内21.1/15.6、外8.3/6.1	●		●
内21.1/15.6、外1.7/0.6		●	
内21.1/15.6、外-8.3/-9.4	●		
内21.1/15.6、外16.7/13.6			●

JISC9612-1994参考2 評価ポイント

	冷房	最大(定格)	中間	最小
ISO準拠	内27/19、外35/24	●	●	●
	内27/19、外29/19	●	●	●

	暖房	最大(MAXHz)サイクル	最大(定格)	中間	最小
ISO準拠	内20/ー、外7/6		●	●	●
ISO準拠	内20/ー、外2/1	●			
	内20/ー、外-8.5/-9.5		●	●	●

JRA4046-1999 評価ポイント

最大(定格)	中間	最小
●	●	—
○	○	—

最大(MAXHz)サイクル	最大(定格)	中間	最小
	●	●	—
●			
	○	○	—

*Cd値の測定条件は省略
*●は測定点を示し、○は計算点を示す。

6．住宅に据え付けられたエアコンの実際の効率

住宅に据え付けられたエアコンの実際の性能を測定する目的から、2003 年 3 月 31 日から 4 月 14 日の約 2 週間に図 6．1 に示す全く同じ仕様で全く同じ設備、家具を持つ 2 軒の住宅を用いた予備実験を実施した。この期間は本来空調を必要としない季節であるが、室温を高く設定して暖房実験を実施した。実際には夏のように暑い日と冬に戻ったような寒い日があった。

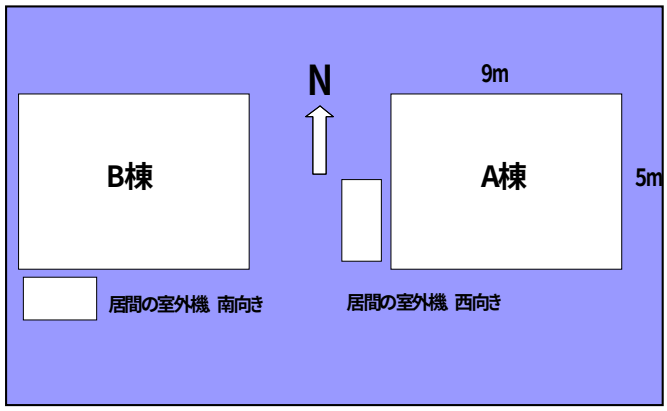


図 6.1　川崎市の試験住宅

一軒の住宅の仕様は下記のとおりである。

延べ床面積 30 坪
建築面積 15 坪
木造軸組、外張断熱工法
１階：ダイニング＋居間（南面はガラス面積が大きく、一部屋根までの吹き抜けとなっている）
２階：寝室（8 畳１室）＋子供室（5.5 畳 2 室）

この２軒は居間の空調機の室外機の設置場所が図 6．1 に示すとおり異なるが、その他の使用はほぼ同じである。

温度測定は、子供部屋では部屋の真中で高さ方向に６箇所、居間では図 6.2 に示すように平面で１８箇所、高さ方向に各６箇所と吹き抜け部の 4 箇所を加えて、合計１１２箇所のデータを用いている。0.5℃の感度で 5 分おき、一部は 0.1℃の感度で 1 分おきに測定した。

試験条件は、全ての測定において、①各部屋の扉を閉めて、②各部屋のエアコンの設定温度を等しくして運転し、③換気なし、④扇風機による攪拌なし、⑤全てのエアコンともに自動運転で付加機能のスイッチはオフとしている。

試験項目は下記の３項目である。

① 25℃設定とし、全く同じ条件で測定を行い、それぞれの家に設置されたエアコンの能力差を把握する。

② Ａ棟に電球による加熱を加え、電球を灯さないＢ棟の消費電力量と比較する。負荷の違いによる消費電力量の差を明らかにする。

③ 設定温度を変えたときの消費電力量の差を測定する。

以下に各項目ごとの結果を紹介する。

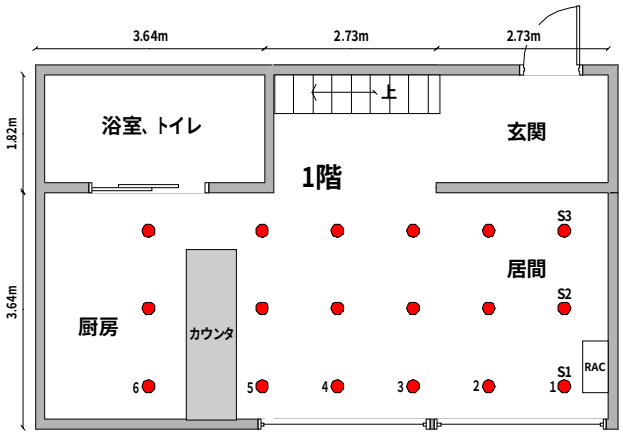


図 6.2　居間における温度測定位置

6.1　A棟およびB棟を室温２５℃で全く同じ条件で測定した場合

同じ設定温度２５℃で各棟にあるエアコン４台を運転した場合の消費電力量を測定した。前日は１日同じ設定で運転し、室温などが十分安定した状態で図 6.1.1 に示すデータを得た。僅かにＢ棟の平均室温が高くなっているものの、１０％程度Ｂ棟の消費電力が大きい理由は現在のところわかっていない。したがって、消費電力量に関する測定不確かさを１０％程度と見積もることとする。

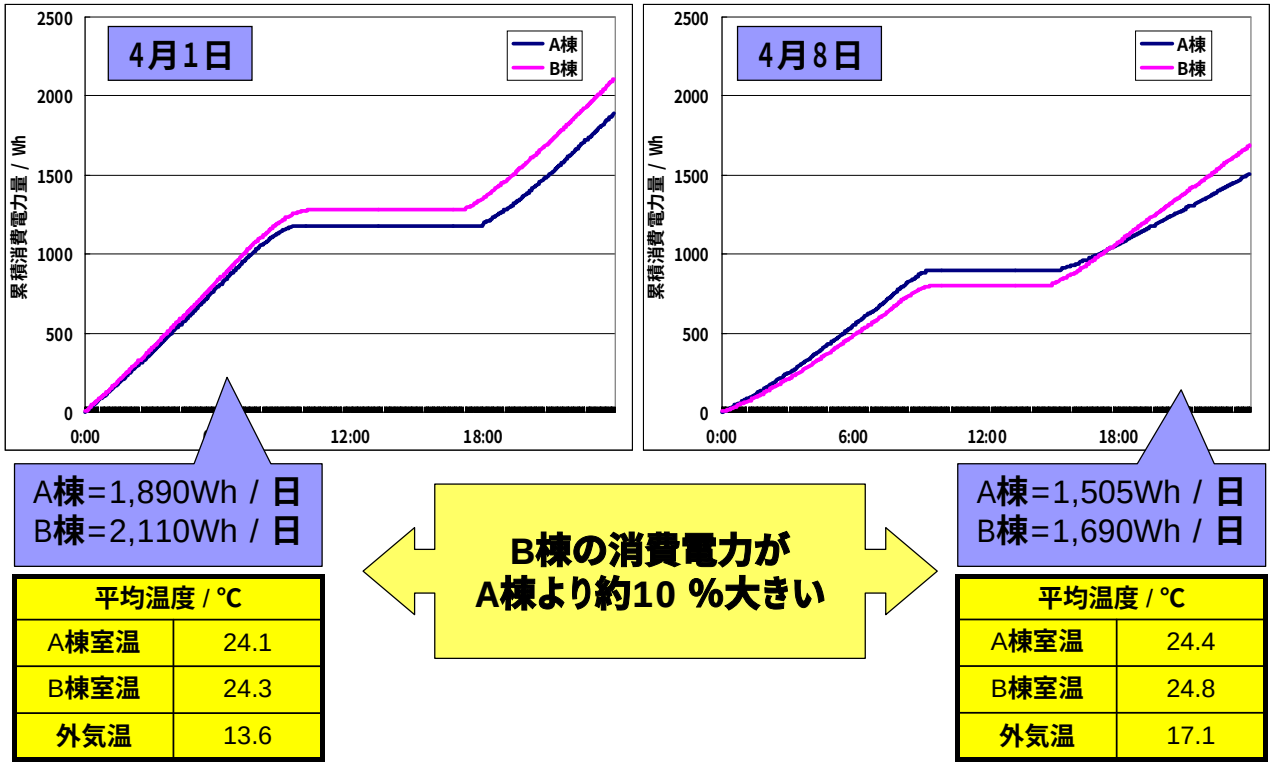


図 6.1.1　Ａ棟およびＢ棟を室温２５℃で全く同じ条件で測定した場合の積算消費電力量の比較

6.2　A棟に電球による加熱を加えて暖房負荷に差をつけた場合

子供部屋に関しては、電球２個（115 W）をＡ棟にのみ灯して４月３日から６日までの４日間、居間については電球 3 個（161 W）をＡ棟にのみ灯して４月５日から６日までの２日間の定常状態のデータを得た。この期間の平均消費電力と平均温度を表 6.2.1 に比較した。表 6.2.1 に示すとおり室外機吹出口温度をみてもＡ棟とＢ棟は非常に近い温度であり、負荷の差はあるもののエアコンはかなり近い条件で運転できたと判断している。定格消費電力は居間のエアコンが 1,560 W（ＣＯＰ＝3.85)、子供部屋のエアコンが 615 W（ＣＯＰ＝5.20）であり、実際の平均消費電力から暖房負荷を見積もると、定格能力値と比べて居間で 22％、子供部屋で 30％ の負荷になっている。同じ暖房負荷を供給するために、居間ではＡ棟が電球とエアコンの和４７２W、Ｂ棟では３５０Wを消費し、子供部屋では、Ａ棟が２４２W、Ｂ棟が１８０Wを消費している。一方で、電球の電力消費分が加熱入力としてエアコンの負荷低減になっていると考えると子供部屋では１１５Wの低減分がエアコンでは５３Wの消費電力の差になって現れており、この分のＣＯＰは２．２となる。同様の計算を居間についても行うとその分のＣＯＰは４．０となっている。住宅の断熱性能が向上して、暖房負荷が低減したときのエアコンの消費電力の差を予想するためのひとつの事例として参考になれば幸である。この負荷低減分のＣＯＰと定格ＣＯＰとの関係については、これからデータを蓄積して検討してゆきたい。

表 6.2.1　Ａ棟に電球による加熱を加えて暖房負荷に差をつけた場合の消費電力の比較

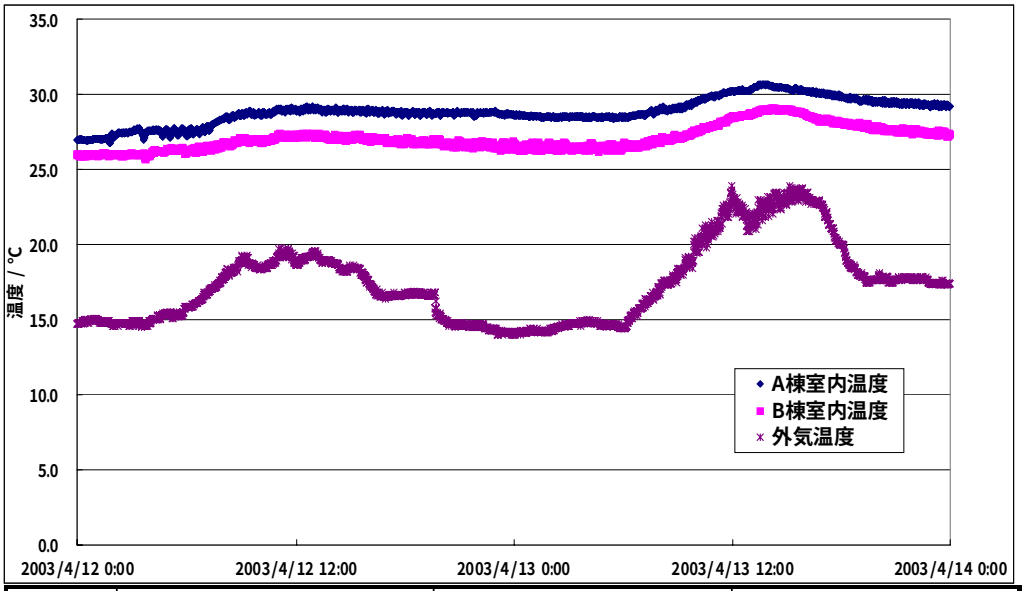
子供部屋A			
平均入力熱量 / W		A棟	115
平均消費電力 / W		A棟	126.8
		B棟	179.9
平均消費電力の差 / W		B-A	53.1
平均温度 / ℃	A棟	室温	25.8
		室外機吹出口	10.4
	B棟	室温	26.1
		室外機吹出口	10.2

居間			
平均入力熱量 / W		A棟	161
平均消費電力 / W		A棟	311.3
		B棟	350.7
平均消費電力の差 / W		B-A	39.4
平均温度 / ℃	A棟	室温	26.3
		室外機吹出口	9.6
	B棟	室温	26.7
		室外機吹出口	9.9

	子供部屋A	居間
測定期間	2003年4月3日0：00～2003年4月6日24：00	2003年4月5日0：00～2003年4月6日24：00
測定点数	6点の平均	112点の平均

6.3　設定温度の差による消費電力量の差

次頁に示す図 6.3.1 に示すとおり、Ａ棟およびＢ棟のそれぞれ 4 台のエアコンの室内設定温度を、30℃と28℃に設定して、消費電力量の差を測定してみた。4 月 12 日と 13 日の 2 日間の測定結果である。外気温は15℃から24℃であり、日中の室温は高くなるが平均室温はＡ棟が30℃に設定していたにもかかわらず28.9℃、Ｂ棟は 27.1℃であり、Ａ棟とＢ棟の平均温度差は 1.8℃であった。消費電力量は 2 日間でＡ棟は 9,440 Wh であり、Ｂ棟は 6,885 Wh であった。48 時間で割って平均消費電力を求めるとＡ棟が約 197 W、Ｂ棟が約 143 W となる。温度設定が２℃異なると、３７％も消費電力量が増加する一例となっている。



	平均室温 / ℃	消費電力量 / Wh	消費電力量の比
A棟	28.9 (2日間平均)	9,440 (2日間総計)	**1.37**
B棟	27.1 (2日間平均)	6,885 (2日間総計)	1

図 6.3.1　設定温度の差による消費電力量の差

7. エアコンの省エネルギー対策

エアコンの電力消費に関して、今回の試験から次の定量的な結果を得ることができた。

① 実際の住宅に設置されたエアコンでも１０％程度の消費電力量の再現性が認められること。

② 居間における電球による１６１Wの加熱試験から、同じ加熱をエアコンであれば約４０Wの電力消費で供給できる。電気ヒータをエアコンと併用しないことが大きな省エネルギーとなることを示している。

③ 温度設定を２℃変えることで、約３７％の消費電力量の差となった。

エアコンも冷蔵庫と同じヒートポンプであり、室温と外気温の差および室内および室外の空気と冷媒の温度差を合わせた合計の温度差により効率が大きく変化する。空気と冷媒の熱交換がスムーズに行われるように室内機および室外機の周囲には気流の邪魔になるものを置かないこと、フィルターの掃除をまめに行うことなどが、省エネルギー対策として最も大切であることは明らかである。

8. まとめ

今回は、冷蔵庫およびエアコンについて、効率および機能面で著しい発展を遂げつつあることを紹介し、カタログに示されている機器効率がどのように決定されたものであるかを解説し、本プロジェクトの研究で得られた実機試験結果の紹介から、実際の住宅で使用する場合にその設置環境と使われ方に応じて電力消費がかなり大きく変わる可能性のあることを明らかにした。そして、今回得た結果に基づいて省エネルギーのためのアドバイスを試みた。今後は、電力消費量が格段に小さくなっている最新機器の特性を調べるとともに、多くの事例を解析して機器効率を統計的に評価する一般化の方法を探って行きたいと考えている。

以上の報告は、「住宅内のエネルギー消費に関する全国的調査研究」の機器効率ワーキング WG2 の委員の皆さんから戴いた資料をまとめたものである。委員各位ならびに（財）省エネルギーセンター、（社）日本電機工業会、（社）日本冷凍空調工業会、そして、実験施設を提供していただいた東京電力㈱および実験でお世話になりました東京電力㈱ 佐藤 芳幸 氏、慶應義塾大学理工学部大学院学生 韓 相牧 君、森 祐美子 君に感謝の意を表します。