

# 住宅にかかわる省エネルギー手法の可能性

環境研究グループ 上席研究員 桑沢 保夫

## 目次

- I はじめに
- II 研究の背景
  - 1) 京都議定書
  - 2) 日本における二酸化炭素排出量の推移
  - 3) 京都議定書目標達成計画
- III 住宅におけるエネルギー消費の実態
- IV 給湯エネルギー
  - 1) ガス、灯油を熱源とする給湯器
  - 2) 電気を熱源とする給湯器
  - 3) 太陽熱給湯器
  - 4) コージェネレーションシステム
  - 5) 使い方による影響
  - 6) 節湯器具
  - 7) 給湯エネルギー削減の可能性
- V 暖冷房エネルギー
  - 1) エアコン
  - 2) 床暖房
  - 3) 通風による冷房エネルギー削減効果
  - 4) 暖冷房エネルギー削減の可能性
- VI おわりに
- 参考文献

## I はじめに

我が国は京都議定書遵守のため二酸化炭素排出量削減に向けた取組を実施しているところであるが、家庭部門の2005年排出量は基準年（1990年）比37%の増加を示し、大きな課題となっている。

これに対して、建築研究所では、家庭部門における排出量削減を推進するため、家庭内のどこでどのようにエネルギーが消費されているかを詳細に解明し、その消費を削減する方法について様々な角度から研究を実施している。

本稿では、エネルギー消費に関する現状を示すとともに、家庭内におけるエネルギー消費の中でも大きな部分を占める給湯及び暖冷房に関して、最新型機器等の特徴やライフスタイルとの適合性などの面から省エネルギーの可能性を示す。

## II 研究の背景

### 1) 京都議定書

京都議定書（Kyoto Protocol）は、気候変動枠組条約に基づき、1997年に京都で開かれた会議（第3回気候変動枠組条約締

約国会議)で議決した議定書である。

この議定書によると、一回目の約束期間(2008年から2012年まで)において、温室効果ガスの二酸化炭素に換算した人為的な排出量の合計を、日本の場合1990年における排出量の水準より6%削減することとなっている。

この議定書が発効するためには、55か国以上の国による締結などが条件であったが、2004年に、ロシア連邦が批准したことにより、2005年2月に発効した。

## 2) 日本における二酸化炭素排出量の推移

日本全体における二酸化炭素の排出量は、1990年と比べて2005年には13.1%もの増加となっており、議定書の遵守に向けてまったく予断を許さない状況となっている。これを部門別に示したものが図1である。もっとも排出量の多い部門である産業では-5.5%と削減に貢献しているものの、特に業務その他部門で44.6%、また家庭部門でも36.7%と大幅な伸びを示しており、これらの低減が急務であることは明らかである。

## 3) 京都議定書目標達成計画

このような状況の下、政府が示してきた主な対策を挙げると、まず、1990年に「地球温暖化防止行動計画」を地球環境保全に関する関係閣僚会議において策定し、各種の対策を講じた。その後、1997年の京都議定書の採択を受けて、1998年に「地球温暖化対策推進大綱-2010年に向けた地球温暖化対策について-」を定めた。この中に住宅・建築に関わるものとして、「家電・OA機器等の省エネルギー基準の強化」、「住宅・建築物の省エネルギー基準の強化」が示された。前者は、家電・OA機器等の省エネルギー基準をトップランナー方式の考え方に基づき強化し、エネルギー効率について8%乃至30%程度の向上を目指すとしており、後者では、住宅・建築物の断熱化等に係る省エネルギー基準の強化を行い、現行基準と比して、住宅の冷暖房用エネルギー消費量の約20%削減、建築物のエネルギー消費量の約10%削減を目指すとしている。

さらに、2002年には、地球温暖化対策推進大綱の改定を行い、2010年度における1990年比の二酸化炭素排出量を

産業部門では7%の削減、

民生部門では2%の削減、

運輸部門では17%の増加

とする方針が示された。

2005年には、それまでの経過もふまえて「京都議定書目標達成計画」という形で、部門別の目安としての新たな目標を示し

た。2010年度における1990年比の二酸化炭素排出量を

産業部門では8.6%の削減、

エネルギー転換部門では16.1%の削減、

家庭部門では6.0%の増加、

業務部門では15.0%の増加、

運輸部門では15.1%の増加、

とするものである。2002年には「民生部門では2%の削減」と

していたものが、家庭での削減は難しいと判断され、「家庭部門

では6.0%の増加」と後退してしまった。なお、家庭に係る

具体的な対策としては、「住宅の省エネルギー性能の向上」、

「トップランナー基準による機器の効率向上」、「省エネ機器の

買い替え促進」などが挙げられた。

現在は、2007年10月に「京都議定書目標達成計画の見直しに

向けた基本方針」が示されたところで、この中に家庭部門に関

わる検討課題としては、住宅・建築物の省エネ性能の向上のため

に、「中小規模や既存の住宅・建築物も含めた規制・誘導策」、

「インセンティブの付与方策」が取り上げられている。

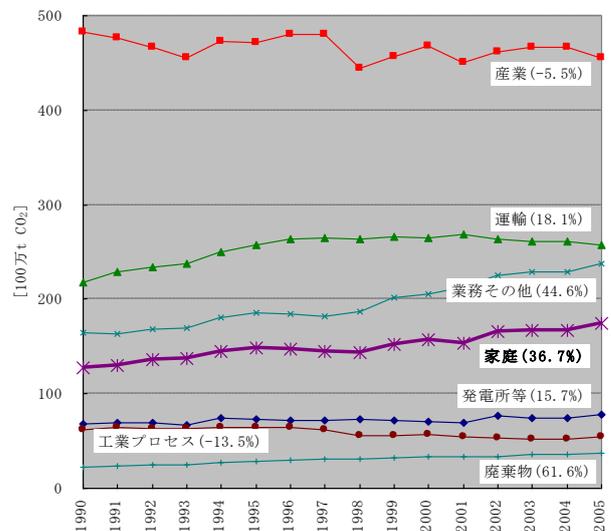


図1 各部門における二酸化炭素排出量の推移

(国立環境研究所のデータ<sup>1</sup>)による)

### III 住宅におけるエネルギー消費の実態

日本の住宅におけるエネルギー消費の概略を図2に示す。気象条件を反映して、北海道や東北では暖房エネルギー消費が多く、本州や九州の温暖地では給湯および照明他電力のエネルギー消費の割合が多くなる傾向が見られる。これに対して、東京などの温暖地域で、居住者に最も大きいエネルギー用途を尋ねると、暖房が40%程度、冷房が30%程度、給湯は16%程度となったという調査もあり、居住者の認識と実際の用途とは大きく乖離している。これは、居住者が省エネルギーに有効であるとしてとった行動が、必ずしも最も効果的なものとはならない可能性を示している。特に冷房に関しては、機器の高効率化などから実際の消費エネルギーは非常に低い比率となっており、居住者の意識との乖離が大きい。

図3には、温暖地における詳細調査による用途別1次エネルギー消費量の例を示す。給湯、暖房ともに負荷が大きくなる冬季にエネルギー消費量が大きくなっている。図4には、同じく、温暖地における詳細調査による電力消費の内訳の例を示す。電力だけで見るとエアコン、冷蔵庫、待機電力、照明などに多くのエネルギーを使用していることがわかる。

これらの機器の中でも給湯器やエアコンは、カタログ値によれば高効率の機種が多く使われているが、通常の使用状態ではかならずしもカタログ値通りの性能を発揮できる条件ばかりではない。外界条件や機器に要求されている能力（負荷）などによって機器効率は、大きく影響を受けている。つまり、カタログによる機器の効率と、外界条件、負荷を基に年間のエネルギー消費量を予測しても大きなずれを生じてしまう。そこで、住宅における省エネルギー対策の効果を明らかにする上で、実効効率を明らかにすることが求められている。

これに対して、建築研究所では国土技術政策総合研究所などと協力して、実際の生活を模擬した住宅におけるエネルギー消費を明らかにする実験を実施してきた。この実験では、建築研究所内の集合住宅型試験体を用いて、実際の居住者の行動を想定したエアコンのON/OFF、水栓の開閉、照度に応じた照明の点灯・消灯、窓・カーテンの開閉、各種家電機器類のON/OFFなどを自動的に行い、そのときのエネルギー消費や外界気象などとの関連を詳しく調べた。

以下では、住宅内で、大きなエネルギー消費を占める給湯設備と暖冷房設備に焦点を当て、上に示した実証実験などから、その消費エネルギーや省エネルギー対策などを示す。

■照明他電力 ■調理 ■給湯 □冷房 ■暖房

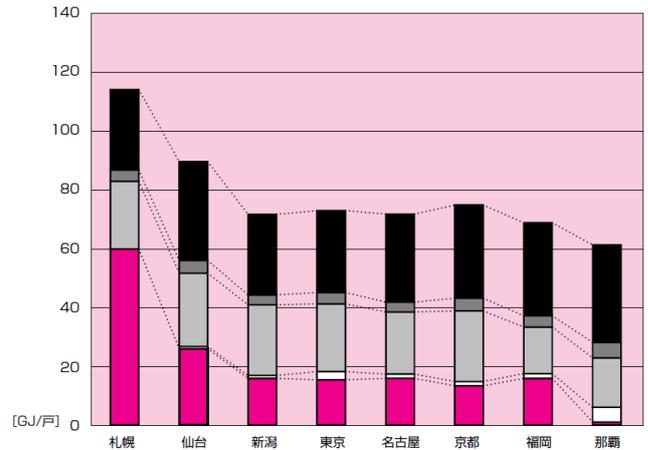


図2 住宅におけるエネルギー消費の現状

—8都市域の戸建て住宅に関する比較—

■照明他電力 ■調理 ■給湯 □冷房 ■暖房

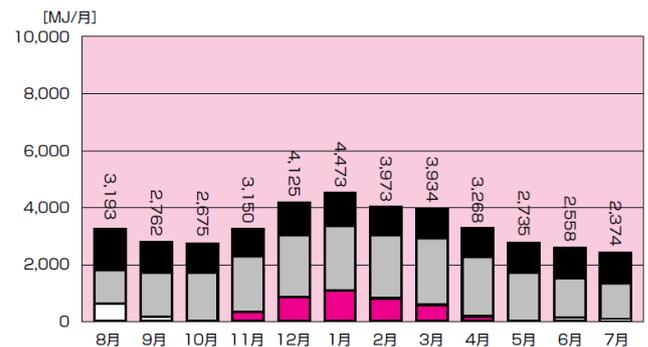


図1 詳細調査事例における用途別1次エネルギー消費量

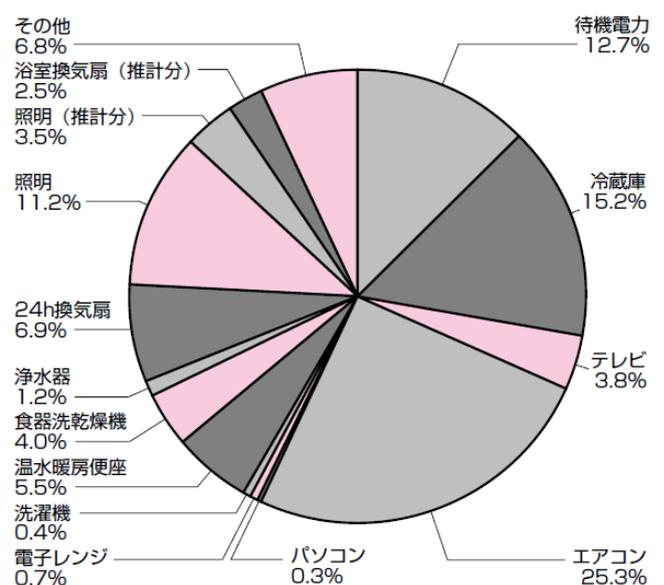


図2 詳細調査事例における電力消費の内訳

#### IV 給湯エネルギー

##### 1) ガス、灯油を熱源とする給湯器

ガス熱源の給湯器は最も普及しているが、高効率タイプの「潜熱回収型ガス給湯器」が近年登場し、徐々に普及し始めている。これは、従来型では排気とともに外気に放出していた熱を二次熱交換機で回収できるようにしたもので、15%程度の効率改善効果を上げている。すでに、サイズは従来型レベルまで小型化、コストも従来型+α程度まで低下しており、新築だけでなく、既築の機器更新時にも積極的に採用出来るものである。ただし、この潜熱回収型では、水蒸気からの熱回収に伴う結露水（ドレン）を発生する点に注意する必要がある。これは、ガスが燃焼した際に発生する水蒸気に含まれる熱も回収するため、水蒸気が結露水となるためである（最大燃焼時に80～100ml/min）。その際に、排気中に含まれている硫酸化物などが結露水中に溶け込むため、結露水は酸性（pH3程度）となっている。そこで排出する際に、中和剤により中性化するが、雨水排水管へのドレンの排水は原則認められていないため、集合住宅での導入にはPS内に排水管を設置するなど注意が必要である。

灯油を熱源とする給湯器のうち、ガスで用いているような瞬間型についてはガスとほぼ同様である。潜熱回収型の機器開発はガスに比べるとやや遅れていたが、現在ではガスとほぼ同様のレベルに近づいている。そのほか灯油の場合には、ガスに比べて熱量の調整が難しかったことから、安定した温度による供給のために貯湯タンクに湯をためておいて利用するタイプの製品もある。後述するが、貯湯タンクを利用するとそこからの放熱ロスを必ず生じて効率が低下するので、これらのタイプは省エネルギー的には問題である。

##### 2) 電気を熱源とする給湯器

電気を熱源とする給湯器としては、旧来からの電気温水器と、近年急速に普及している自然冷媒ヒートポンプ式電気給湯器がある。前者は貯湯タンク内のヒータを電気により加熱することで温水を作るため、温水を作るのに要したエネルギーとそこに投入したエネルギーは同じである。一方、後者の場合には温水を作るための熱として、エアコンと同じようにヒートポンプを使用して大気中の熱を利用するため、ヒートポンプの性能等上げれば高効率化が期待できる。たとえば、ヒートポンプユニットのCOP\*＝4.2の場合には、投入した電力に対して4.2倍もの熱を加熱するために利用することが出来る。貯湯時の放熱ロスがあまり多くならなければ、利用できる熱量は大きく残

されるので、省エネルギー的に大きな期待がかけられている。ただし、ヒートポンプユニットのCOPは外気温度や水温などにも大きな影響を受けるため、使用状況に応じてその性能は大きく変化する。また、各メーカーは、貯湯時の放熱ロスを減らすため、貯湯温度や量、貯湯する時間帯などに工夫を凝らしている。（\* COP：エネルギー消費効率（Coefficient Of Power）のことで、入力したエネルギーに対する出力するエネルギーの比。大きいほど効率が高い。）

なお、二酸化炭素排出量の観点からは、発電や送電の効率を考慮すると電力1に対して2.7倍程度の二酸化炭素を排出したことになるため、注意が必要である。この係数は、発電に用いている燃料（動力源）などによっても異なるため、正確には電力会社や時刻によっても変動している。つまり、その電力会社の原子力や水力、風力などの使用割合が高ければ、この係数は小さくなる。また、原子力などの比率が高い深夜の時間帯もこの係数が小さくなる。海外における状況を見ると、発電に用いている燃料（動力源）の違いにより、この係数には国ごとに大きく異なっている。

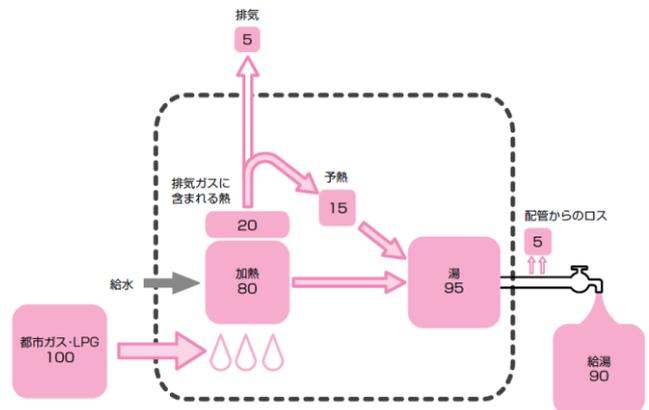


図3 潜熱回収型ガス給湯機のしくみ

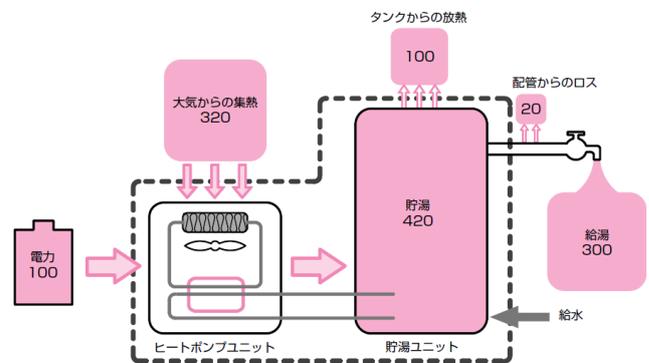


図4 自然冷媒ヒートポンプ式電気給湯機のしくみ  
（ヒートポンプユニットのCOP＝4.2の場合）

ちなみに、ノルウェーなどのように水力発電等の比率が高くこの係数が非常に小さい国であればともかく、我が国において電気温水器を使用してしまうと、それだけで通常の家で消費する一次エネルギーすべて、もしくはそれ以上に相当する量を使ってしまうことになるため、省エネルギーおよび二酸化炭素排出量削減の面からは、最悪の選択肢である。

### 3) 太陽熱給湯器

最後に太陽熱を熱源に用いる給湯器であるが、これは集熱方式や付属する設備などによっていくつかに分類することが出来る。最も単純なものは、旧来より用いられているタイプで、集熱パネルにより水道水を直接昇温して、そのまま風呂給湯などに使用するものである。水道水の送水圧力を使用することでポンプなどを稼働することがなければ、省エネルギー的には究極の選択肢といえる。しかし、湯の温度が成り行きとなり、また使用できる湯量も日射量や外気温に依存して大きく変動するため、使用者が常に注意する必要があり、現代の日本ではあまり採用されていないのが現状である。

しかし、これらの不便さを解消すべく開発された製品もすでに市場には出回っている。湯温を安定させるための混合装置と、湯量・湯温が不足する場合のバックアップボイラーを組み合わせた製品である(図7)。混合措置は、集熱パネルからの湯温が、要求されている水温よりも高ければ、市水と混合して要求されている温度に調整し、バックアップボイラーは着火しない。また、集熱パネルからの湯温が、要求されている水温よりも低い場合には、市水を混合せずにバックアップボイラーで昇温する。ただし、集熱パネルからの湯温が、要求されている水温よりも少しだけ低い場合には、バックアップボイラーの最低出力でも、加熱後には要求されている水温よりも高くなってしまうため、その場合には少しだけ市水を混合して温度を下げる。

効率は当然、天気によって左右されるが、ガス給湯器単体に比べれば非常に高効率といえる(図8)。

このほか、タンクを用いる方式として、集熱パネルからの温水を別置きのタンクにためておく方式や、集熱パネルに熱媒を循環してその熱でタンク内の水を加熱する方式などがある。これらには、ポンプ動力を必要とするため、その動作に必要な電力消費によって一次エネルギーで比較した省エネルギー性を大きく損なってしまっている例もある(図9)。また、凍結防止のヒータも、効率を下げてしまう要因となる場合がある。

なお、これまでは太陽熱給湯器は戸建て住宅に設置するのが

普通であったが、集合住宅のベランダなどに設置できるタイプも現在開発が進められており、早期の実用化が期待されている。

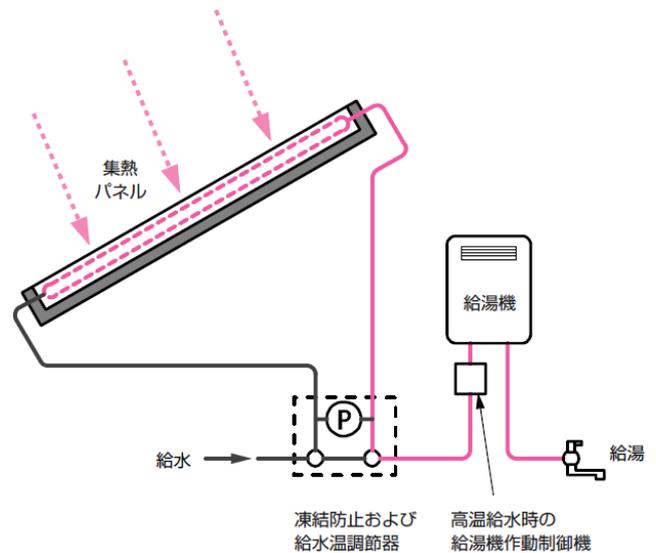


図5 太陽熱給湯器 自然循環式(直接集熱)

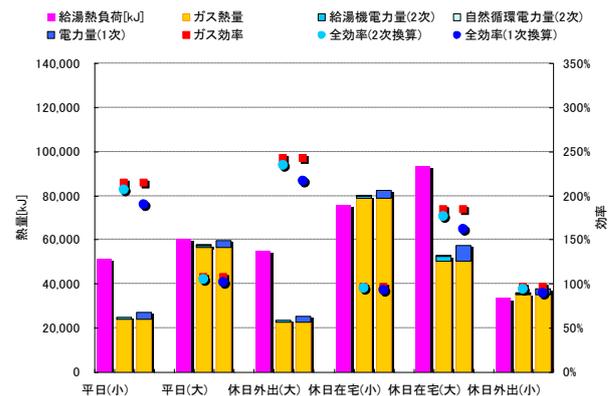


図6 太陽熱給湯システムの効率測定例

自然循環式(直接集熱)

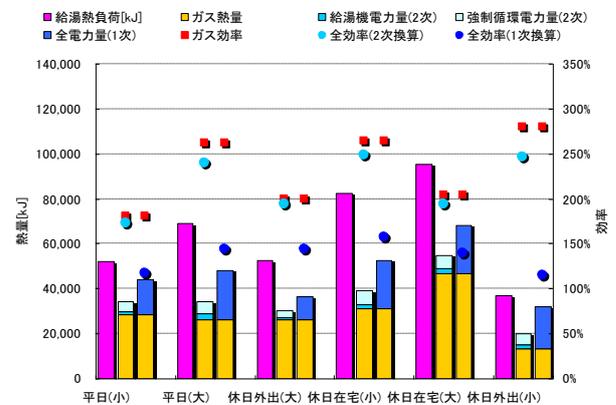


図7 太陽熱給湯システムの効率測定例

強制循環式(間接集熱)

#### 4) コージェネレーションシステム

コージェネレーションシステムとは、熱電併給システムとも呼ばれ、電力と熱を同時に発生させるシステムのことであり、家庭用に用いられているものとしては、燃料電池システムと、ガスエンジンコージェネレーションシステムがある。このうち燃料電池システムは、省エネルギー効果が期待されるとして2004年に市販品として登場してきた。家庭用に用いられている燃料電池は固体高分子形燃料電池（PEFC）と呼ばれるタイプで、常温から100℃程度の比較的低温で作動する。都市ガスもしくは灯油を改質器で改質して水素を取り出して、これと空気を燃料電池に送り、水の電気分解の逆反応で電力を発生する。また、発電時に発生する熱で給湯用の温水も作り出す。発電は、そのときの電力需要に応じて行い、熱は一旦貯湯タンクに集められるが、タンクへの貯湯量が充分な場合などは、発電を行わないこともある。家庭用燃料電池システムは、発電効率が30%程度、熱回収効率が40数%あり、両者を無駄なく使うことが出来れば、電力会社からの電力と従来型の瞬間型ガス給湯器による温水の使用時に比べて、大きな省エネルギー効果があると期待されている。しかし、現時点では建築研究所での実験のほか、NEDOの大規模実証実験<sup>3</sup>で一般家庭等に導入するなどしてその効果を確認している段階でもあり、実働効率や耐久性などについて、今しばらく注視していく必要がある。なお、風力発電や太陽光発電など不安定な電力供給の余剰分等を用いて、水の電気分解により水素を貯蔵し、これを家庭用燃料電池のほか車の燃料などに用いる水素社会についても盛んに研究が行われているところである。

また、家庭用に使われ始めているもう一つのコージェネレーションシステムのガスエンジンコージェネレーションシステムは、燃料電池システムの改質器と燃料電池部分をガスエンジンに置き換えたものである。発電効率が20%程度、熱回収効率が60数%であり、燃料電池に比べると戸建て住宅など熱需要が大きい場合に適している。

これらのシステムは、家庭用の場合いずれも約1kWの発電能力を有しており、この発電量で不足する場合は電力会社からの電力で補う。なお、家庭内で消費している電力が1kWに満たない場合、燃料電池システムの場合には0.3kW程度まではその電力需要に合わせて発電量を調整できる。一方、ガスエンジンコージェネレーションシステムの場合には発電量を調整すると効率が下がることから、余った電力は貯湯タンク内のヒータ加熱に用いる。また、別に貯湯タンクとバックアップボイラーを有

しており、温水の量や温度が不足する際にはバックアップボイラーにより貯湯タンクからの温水を加熱して供給するが、自然冷媒ヒートポンプタイプ電気給湯器と同様に、貯湯時の放熱ロスを減らすため、各メーカーは貯湯温度や量、貯湯する時間帯などに工夫を凝らしている。

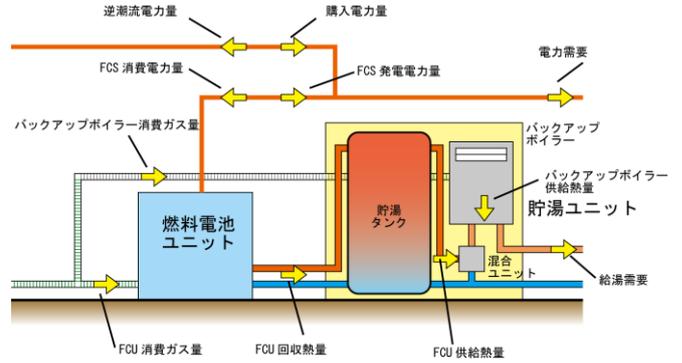


図8 燃料電池システムのしくみ

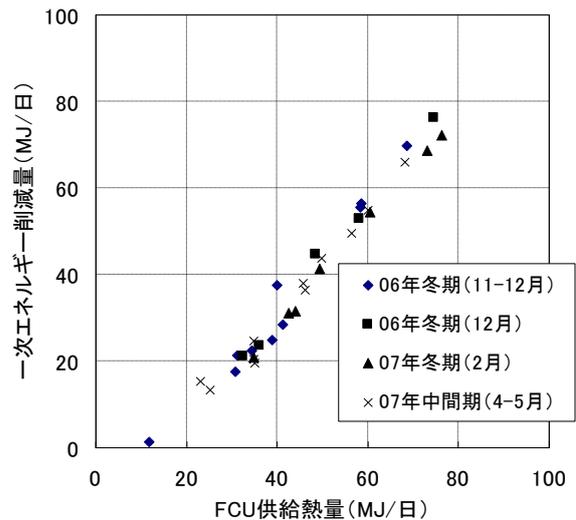


図9 燃料電池ユニット (FCU) 供給熱量に対する一次エネルギー消費削減量の測定例

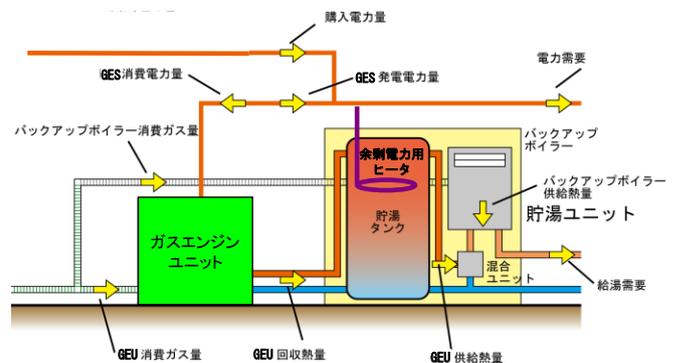


図10 ガスエンジンコージェネレーションシステムのしくみ

## 5) 使い方による影響

給湯器の効率は、一般にカタログ性能だけでは推し量れない面を持っている。それは、外界条件や給水の温度、それと居住者の給湯消費パターンによってその性能が大きく変わる場合があるからである。

ガスや灯油による瞬間型の給湯器の場合には、給湯消費量による影響は比較的小さいが、短時間出湯を繰り返すと、缶体を燃料により暖めたかと思うと、すぐに外気で冷やすということを繰り返していることになり、効率は低下してしまう。省エネルギー化のためには、後述する水栓の工夫などで不要な短時間出湯をやめるようにするのも一つの方法である。

自然冷媒ヒートポンプ式電気給湯器や、コジェネレーションシステムなど、貯湯タンクを有するシステムの場合には、通常、学習制御が組み込まれている。これは、居住者が使用する以上の熱をためておいても、放熱ロスによって効率を下げってしまうことになるので、その放熱ロスを出るだけ小さくするために、ある一定期間に亘って居住者の給湯消費パターン等を記憶しておき、そこからその日に貯湯する量や温度、時刻を決める制御である。予測通りに使用されれば良いが、予測よりも少ない使用量となった場合には残湯分が無駄になってしまうため効率が低下してしまう。予測よりも多かった場合には、バックアップボイラーを有するコジェネレーションシステムなどでは温水の不足をカバーできる。しかし、自然冷媒ヒートポンプ式電気給湯器の場合には、対応できなくなってしまうため、湯切れを起こさないようにシビアな制御が要求されている。また、自然冷媒ヒートポンプ式電気給湯器には安価な深夜電力料金に対応した運転モードも用意されているが、深夜時間帯に蓄熱しても実際に多く使用されるのは夜になってからという場合が多いので、この場合には放熱時間が長くなることで放熱ロスが増えるとともに、通常は深夜時間帯の方が昼間よりも気温が低いので温水を作る際のヒートポンプの効率も低くなるなど、省コストではあっても省エネルギーではない使い方となる可能性がある。さらに、使用湯量が多い場合に対応するため蓄熱量を増やすときに、貯湯温度を上げると放熱ロスが大きくなり、また一方、貯湯量を増やそうとあまりやり過ぎるとヒートポンプユニットの効率が大幅に下がる傾向があるなど、制御により効率が大きく左右される。

次に、風呂の追い焚きや自動保温についてであるが、これは瞬間型、貯湯型いずれのシステムにおいても効率を低下させる。追い焚きをするよりも高温の差し湯を行った方が、効率が上昇

するとともに短時間で温度を上げることが出来る。翌日に再加熱（沸かし直し）して使用する場合も同様であるが、浴室の気温が高かったり、浴槽の断熱が十分な場合で、浴槽内の水温があまり低下していなければ、効率としては低下してもエネルギー消費量としては削減になる場合もあり、判断の難しいところである。ただし、浴槽内の水は雑菌によりかなり汚染された状態となっているので、この点には注意が必要である。

以上のように、給湯器は居住者の使い方により効率が大きく影響されるので、こういった点を一般に広めていくことが重要といえる。

表 1 給湯器の効率変化のイメージ

	短時間出湯		給湯総量	
	少	多	少	多
瞬間式給湯器				
貯湯式給湯器			(次表)	

表 2 貯湯式給湯器の湯量による効率変化のイメージ

湯量		実際の使用湯量		
		小	中	大
予想湯量	小	○	◎	◎
	中	△	○	◎
	大	×	△	△

コジェネレーションシステムでは電力消費が充分にある場合、電力消費が少ない場合には、不足する湯をバックアップボイラーで賄うため、効率はバックアップボイラーの性能による。

また、自然冷媒ヒートポンプ式電気給湯器の場合には◎で湯切れを起こす可能性がある。

## 6) 節湯器具

給湯エネルギーを削減するには、給湯量自体を削減するのが最も効率的である。居住者は気づかないうちに、もしくは気づいても面倒なために必要でない湯を消費している場合があるので、これらを減らすための器具がすでに市販されている。

まずは、湯温調節が容易なサーモスタット式混合栓やシング

ルレバー混合栓を用いることで、給湯開始ごとの湯温調節、他の場所での給湯使用の影響による湯温再調節などの際における、調整時の捨て水が削減できる。ただし、このシングルレバー混合栓はくせ者でもある。寒くはないシーズンにおけるちょっとした手洗いなど、特段温水を必要としない場合でも、通常のシングルレバー混合栓では、右端の位置で使用しない限り、温水を有る程度混ぜて使っていることになるからである。これは瞬間給湯器の項で示した、効率を低下させる短時間出湯に他ならない。アンケートなどによる調査<sup>4</sup>でも40%程度の人が湯と水が混合されていることを明確に理解しないままレバーを中央の位置で使用しているとしている。実は、このような短時間出湯を避けるため、右端から中央の位置までは湯が混合されない様になっている製品もすでにある。

次に、止水機構付きの各種器具であるが、これには、手元に止水機構を有する節湯型シャワーヘッドや、足元止水スイッチ、自動水栓などが挙げられる。手元に止水機構を有する節湯型シャワーヘッドの場合には、シャワーヘッドを持ったまま容易に止水することが出来るため、必要がない時間帯にも温水を出したままにする無駄を防ぎ易い(図13)。足元止水スイッチや自動水栓は台所や洗面所での使用が効果的で、洗剤などが付いた手で水栓にふれることなく止水できることから、止水する際の心理的な抵抗が減り無駄な湯の使用を低減できる。

### 7) 給湯エネルギー削減の可能性

基準となるエネルギー消費を従来型のガス瞬間式給湯式とした場合には、図14のようになる。ここから、以下のようなことがいえる。

- ・太陽熱の有効利用を進めるべき。

自然エネルギーを利用していることから、削減の割合は高く、積極的に採用することが望まれる。ただし、集合住宅用の開発や、強制循環型ではポンプ動力の低減など、メーカーサイドでの努力も期待される。

- ・自然冷媒ヒートポンプ式電気給湯器は、省エネルギー的な使用法に関する情報をユーザに与えるべき。

省エネルギーへの期待は大きいですが、使い方によってその効率が大きく変化してしまうため、省エネルギー的な使用法に関するわかりやすいユーザ向け情報が必要である。

- ・居住者が特定されていないなど、使い方が想定できない場合や、スペース・費用に問題がある場合は潜熱回収型ガス瞬間式給湯器の採用

従来型とあまり変わらないスペース・費用で設置でき、使い方にはあまり影響されずに、それなりの省エネルギー効果が期待できる。

- ・節湯機器の積極的な採用

コスト的にも負担があまり大きくなく、また、給湯器の種類にかかわらず、10~20%程度の省エネルギー効果を期待できる。

なお、コジェネレーションシステムは、現状ではどの程度の能力を実働状態で発揮できるかは未知数だが、使い方によっては期待大である。電力消費との関連もあり、今後の調査・研究・開発などに注視する必要がある。

ちなみに二酸化炭素排出量削減の点からは、電気温水器は論外である。

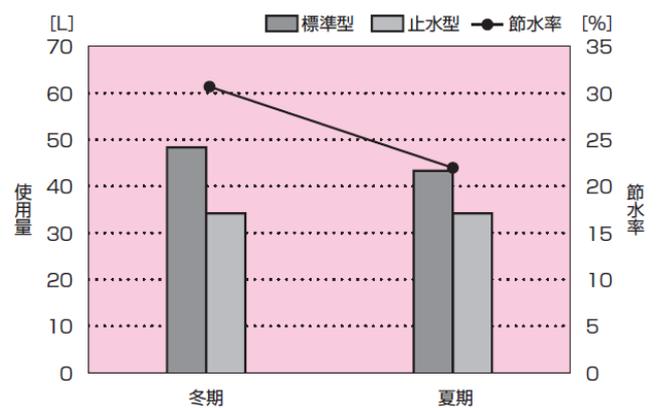


図11 シャワーヘッドの種類による湯水使用量の比較

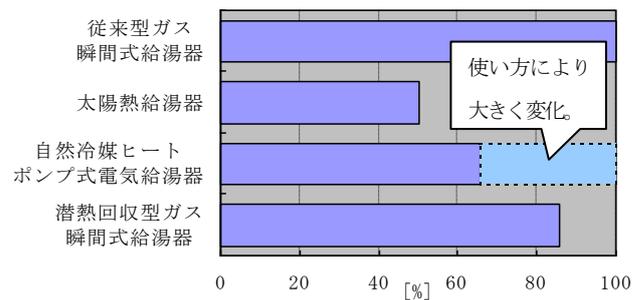


図12 給湯器の種類による削減率(東京の場合)

従来型のガス瞬間式給湯式を基準とした場合。

太陽熱給湯器は潜熱回収型ガス給湯器をバックアップボイラーとした場合。

## V 暖冷房エネルギー

### 1) エアコン

エアコンは、年間に 700 万台を超える国内出荷数があり、多くの家庭で使用されている暖冷房機器である。出荷台数も多いことから各メーカーの技術開発にも力が入っており、効率は年々上昇している。最新の機種では、COPが、暖房で7、冷房で6といった、性能のものも出ている。しかし、このCOP表記は、室内外が特定の条件における値であるため、様々に変化する通常の使用状況を反映していないとの考えから、最近はAPF（Annual Performance Factor）という表記も併用されるようになった。これは、年間を通じてエアコンを使用したとき、1年間に必要な冷暖房能力を、1年間でエアコンが消費する電力量（期間消費電力量）で除した数値で、これまでよりも実使用に近い評価が出来るようになったとしている。しかし、試験で1年間かけて実際に測定するわけにもいかないので、いくつかの条件で測定した結果をもとに使用状況や外界条件も想定した上で、年間の値を予測しているため、その精度には自ずと限界がある。

建築研究所では、実験室で条件がコントロールされた実験の他、実際の外界条件の下で居住者の生活を再現する実験等を実施して、その実効効率を明らかにする実験を多数実施してきた。図 15、16 には測定例を示す。図 15 は、エアコンの性能による違いを見たものである。カタログ性能で冷房時にはCOPが6程度の省エネ型の機種と、3程度の機種を比較しており、外気条件によって効率は変化するものの、全体を平均的に見れば概ねカタログ性能程度の値を実測によっても確認することが出来た。一方、図 16 は、同じ程度の性能の機種（どちらもカタログ性能でCOPが6程度）を違う部屋で使用した場合の結果である。居間で測定した結果は、カタログ性能程度と見ることが出来るが、寝室で測定した結果は、平均的にはカタログ性能の半分も出ていないと言うことがわかった。これは、エアコンの性能が、外気温だけではなく、そのときの負荷にも影響されているためである。寝室は居間に比べて面積も小さく、また使用時間帯は外気温の低い夜間が多いため、冷房負荷が小さかったのに対して、設置されたエアコンの能力が大き過ぎたために、その能力を十分に発揮できるような領域ではなく、より小さい負荷で動く時間が長くなり、結果的に低い効率しか出せなかったのである（図 17）。この例から明らかなように、エアコンによる暖冷房を省エネルギー化するためには、

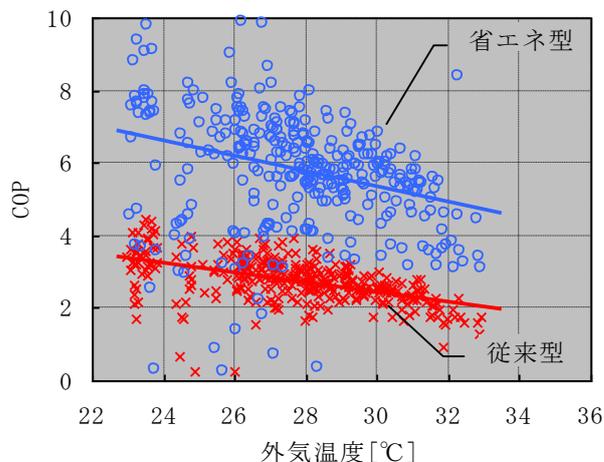


図 13 従来型機器と省エネ型機器の効率の比較（冷房時）

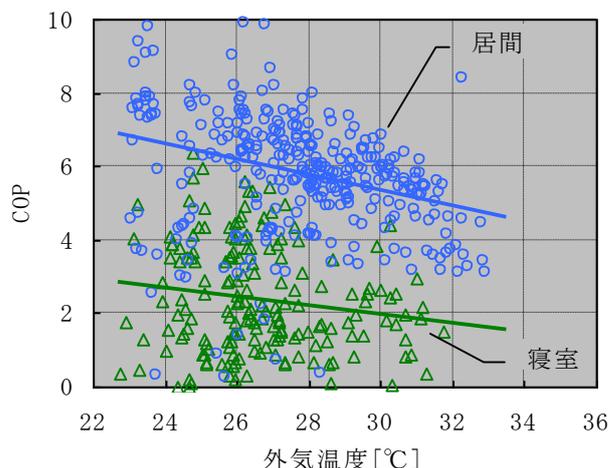


図 14 居間と寝室の効率の比較（冷房時）

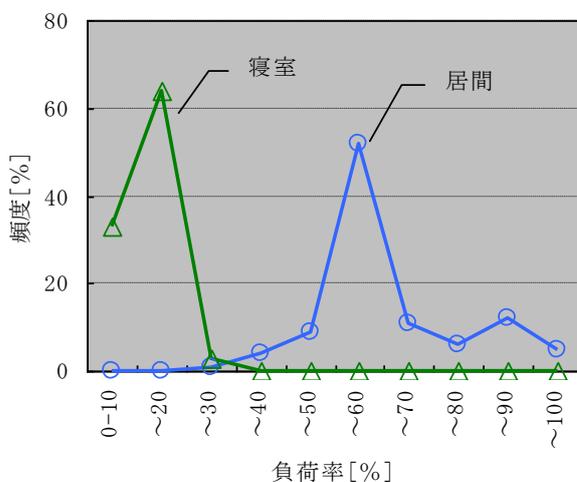


図 15 負荷率の頻度分布

- ・できるだけCOPの高いものを選定する。
- ・「部屋の負荷に適した出力を持つ機器」を選定する。

という2点が重要である。後者に関しては、暖冷房が充分に効かないというクレームを恐れて、大きめの機種を選択してしまう場合も多いが、「部屋の負荷に適した出力を持つ機器」を選定することで、ごく限られた極端に暑い日や極端に寒い日にはやや能力が不足するとしても、その場合には扇風機など補助的な暖冷房機器の活用、もしくは着衣の調整などで対処すれば、年間を通して見たときに省エネルギー効果が得られる点をユーザに説明することが望まれる。また、広めのリビングなどで、なおかつどうしても能力不足になることが許されないような場合には、小さめのエアコンを複数台用意する方法もある。負荷に応じて、なるべく少ない台数のエアコンにより暖冷房を行うように使えば、低負荷での運転が減り、全体として効率が上昇するとともに、「極端に暑い日や極端に寒い日」にも対応できる。

ただし、最近の高気密高断熱住宅（特に集合住宅）では部屋の負荷自体が小さくなってきていることから、市販されているエアコンでは、最も小さい機種（通常2.2kW程度）を選んだとしても、まだ大き過ぎる場合も多くあり、メーカーには能力の小さな機器や、低負荷でも効率の高い機種の開発を期待する。

## 2) 床暖房

空気を暖めるエアコンの暖房の場合には、暖かい空気が上方に集まり上下温度分布が大きくなりがちなのに対して、床暖房は床表面を暖めるため、室内の温度分布が付きにくい（図18）。そのため快適性が高いとされており、また、既存フローリングの上に温水パネルを乗せて、さらにその上から別のフローリングで仕上げる比較的簡易な後付けの工法も出てきたことから、採用する住宅も増えている。

この床暖房の場合、加熱方式で大きく2つに分類できる。1つは温水によるもので、もう1つは電熱線で直接床面を加熱するものである。後者に関しては、電気温水器のところでも述べたように二酸化炭素排出量削減および省エネルギーの面からは、論外と言っていい。前者に関しては、温水の熱源として通常はガスや灯油が使用されてきたが、近年ヒートポンプのタイプも登場してきた。（なお、電気ヒータで水を直接加熱して床暖パネルに流すタイプもあるが、これも電気温水器と同様、二酸化炭素排出量削減および省エネルギーの面からは論外である。）ヒートポンプのタイプの場合には、ガスや灯油の場合と同様に給湯も兼ねるタイプと、暖（冷）房専用のタイプがある。さらに暖

（冷）房専用のタイプには同じ室外機が、エアコンの暖冷房と床暖の両方の熱源として働くものもある。このように、ヒートポンプによる方法が加わってきたために、種類が豊富になり、状況に応じた選択肢の幅が広がってきた。ヒートポンプタイプは、外気温度や負荷の程度で性能が大きく変わってしまうなど難点もあるが、技術開発により高効率化する可能性があるため、期待される場所である。

温水の熱源に関しては、基本的には給湯エネルギーの項で見てきたものと同様なので、それ以外の部分の省エネルギーについて以下で述べていきたい。

図19、20には計算例を示すが、省エネルギーのために重要な点は配管からの放熱ロスと、床パネルからの下面への放熱ロスである。配管からの放熱ロスは、配管の断熱と長さにより影響される。配管の断熱に関してはペアチューブと呼ばれている、往管と還管をさらに大きな径の一つの管の中に入れてしまったものがよく使用されるようになってきた。これは、別々のままよりも放熱ロスが小さく、また施工上も有利とされている。計算例では、別々の管の場合の例1に対して、ペアチューブの例2の方が8%の放熱ロス減少となった。床パネルからの下面への放熱ロスについては、床パネルおよびその下の断熱材等の下が外気相当となっている場合に問題となるわけで、床下も断熱区画内となる基礎断熱の場合や、直下にも断熱区画内となる部屋がある2階以上の部屋に用いる場合は、結果的に家のどこかを暖めていることになるので、あまり問題ではない。しかし、床面で断熱した場合の1階リビングなど、よくある床暖房の場合には注意を要する。床面を暖めれば当然その下面にも熱は逃げるので、この量を減らすために床下の断熱を充分に施す必要がある。計算例では、ポリエチレンフォームA種25mmを用いた例1に対して、グラスウール16K50mmと断熱を強化した例2の方が3%の放熱ロス減少となった。

また、よく使用されているガスを熱源とした床暖房の場合、最近の高断熱・高気密化した住宅では熱負荷が小さくなっていることから、制御の問題もあってこれまでの送水温度60℃では、オーバーヒートしてしまう（室温が設定した温度以上になってしまう）ことがある。そこで、最新の機種ではこれを少しでも防ぐため、40℃の送水温度に対応した機種がある。

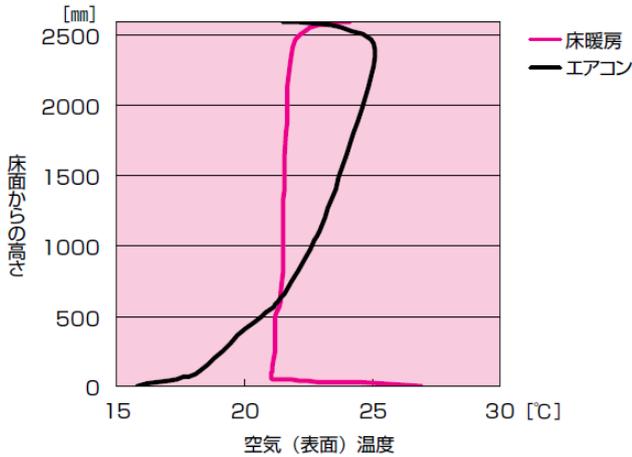


図 16 床暖房とエアコン使用時の室内上下温度分布の例

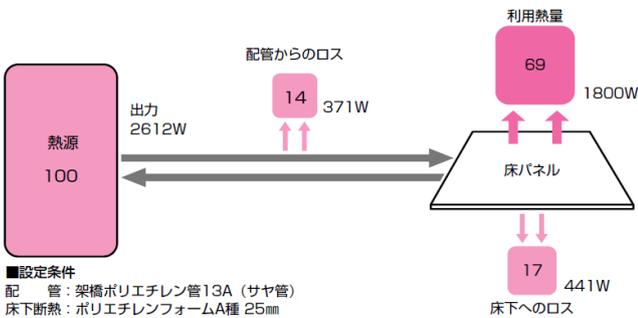


図 17 床下断熱・配管保温による熱損失 (例 1)

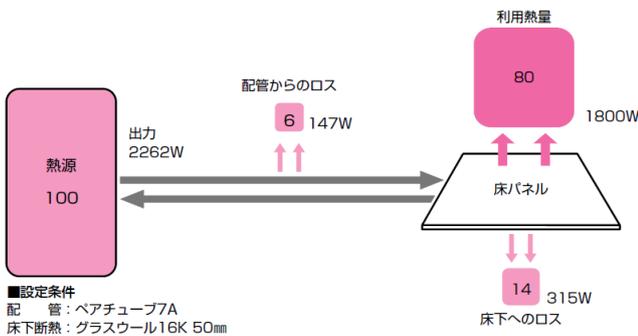


図 18 床下断熱・配管保温による熱損失 (例 2)

■計算条件

- ・床暖房の設置箇所：戸建て住宅の1F部分の居間・食事室(床面積22)
- ・床暖房の敷設率：70% (床暖房面積15)
- ・配管長：7.8m (床下を通す)
- ・室温：20°C、外気温：0°C、配管の通る床下気温：10°C
- ・行き水温：サヤ管55°C・ヘアチューブ60°C、還り水温：50°C

3) 通風による冷房エネルギー削減効果

室内には、各種の家電機器や人体など発熱源があるため、外気よりは高めの気温となりやすい。そこで、外気がそれほど暑くはない夏季の夜間や中間期における少しの暑さであれば、通風を利用することで、冷房エネルギーの削減を期待できる。

図21は、茨城県つくば市における実験結果を元にした、省エネルギー効果の試算例である。101号室では、南北面の開口および室内ドア類を開放してなるべく多くの通風がとれるようにした場合(南北面通風)、室内ドア類は閉鎖して各部屋の窓開口だけで通風を利用した場合(片面通風)、窓を閉め切りにして26°Cに設定したエアコンを運転した場合の3種類の実験結果、103号室では窓を閉め切りにして24、26、28°Cに設定したエアコンを運転した場合の3種類の実験結果から、7~9月におけるエアコンの期間積算消費電力量を算定した。ただし、窓を開放するのは在室が想定される時で屋外の風が強すぎないなどの制限を設けており、また窓を開放しても28°Cを上回ってしまうようなときには窓を閉めて、26°Cに設定したエアコンを運転した。なお、エアコンを運転するのも在室が想定される時間のみである。この例では、26°Cで運転する場合に比べて南北面通風の場合には、約6割の消費電力量削減、片面通風の場合でも3割強の消費電力量削減となった。

エアコンの設定温度を変えた103号室の実験結果も併せてみると、28°Cに設定した場合と南北面通風がほぼ同様の消費電力量となっている。しかし、通風を利用した場合には、28°Cを超えた場合に26°Cのエアコン運転を行っているため、快適性からは通風を利用したほうが有利と考えられる。

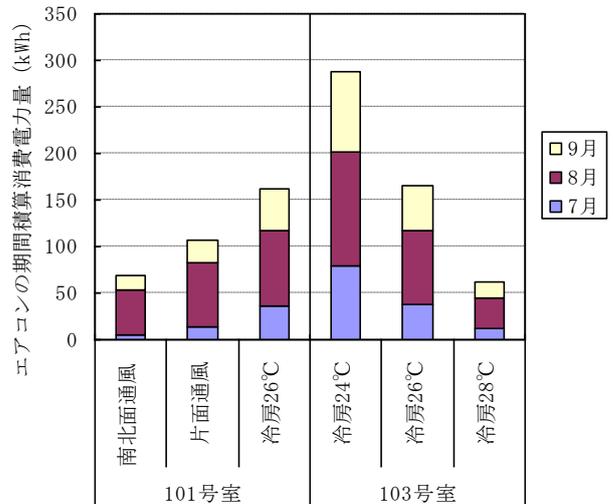


図 19 通風、冷房の設定温度による省エネルギー効果

ただし、通風の利用にあたっては付随的な効果として、開放感を得られるなどの点が上げられる反面、防犯上の問題や外部騒音の問題もあることから、立地上の制約も考慮しなければならない。さらに、地域や周辺の通風に影響する状況が異なれば外気温度や外部風速の条件が異なるため、当然今回の試算例とは違ってくることがある。

#### 4) 暖冷房エネルギー削減の可能性

今回は、特に対象としていないが、暖冷房エネルギー削減には、当然のことながら建築側における断熱・気密強化による負荷の低減が最重要である。ただし、中間期などにおける冷房負荷削減の点からは、気密化と同時に通風なども配慮するべきである。

エアコンについては、高効率で部屋の負荷に応じた適切な能力の機種を選択することが重要である。しかし、効率についてはカタログ値で有る程度判別できるが、「負荷に応じた適切な能力」かどうかを判断することは難しい。カタログにも、部屋の広さのほか、木造かRC造かの区別があるくらいで、断熱性・気密性の度合いにまでは言及されていないからである。せっかく、高气密・高断熱の住宅に住んでいても、カタログに示されるような能力のエアコンを入れてしまえば、低い負荷率で運転する時間が増えてエアコンのカタログ効率を發揮できずにいることがあり得る。メーカーや販売店も大型で値段の高いものを売った方が、利益も上がり、また暖冷房能力が不足するとのクレームも少ないかもしれないが、適切なサイズを選択出来るような工夫が必要であろう。また、集合住宅などの低負荷な場合にも対応できるような、ラインナップをメーカーには希望する。

温水式床暖房の場合は、高効率な熱源の選択と放熱ロスの低減が重要といえる。

なお、あまり一般的ではないが、二酸化炭素排出量削減の点からは、薪やペレットによる暖房も効果的である。

## VI おわりに

建築研究所における、住宅の省エネルギーに関する研究の中から、給湯設備および暖冷房設備に関していくつか重要な点を示してきた。ここでは示していないが、建物自体の性能を上げることや、照明設備、換気設備についても当然各種の省エネルギー手法がある。また、住宅内では、いわゆる家電機器類による消費エネルギーも大きく、これらを省エネルギータイプのものに変更していくことも効果的である。これらを網羅的に取り

上げた「自立循環型住宅への設計ガイドライン」を建築研究所、国土技術総合研究所の監修で発行しており、これをテキストとした、実務家向けの講習会を各地で実施し、研究成果の普及に努めているところである。また、上記ガイドラインでは温暖地に地域が限られていたため、その改訂版作成とともに、より地域を広めたバージョンも現在作成中で、最新の研究成果が盛り込まれていく予定である。

---

#### 参考文献等

<sup>1</sup> <http://www.gio.nies.go.jp/aboutghg/nir/nir-j.html>

<sup>2</sup> 森原ほか、「アンケートによる住宅内エネルギー消費の実態に関する研究—地域別エネルギー消費量と居住者の認識—」、日本建築学会大会学術講演梗概集、環境工学Ⅱ、p.175-176、2007年8月

<sup>3</sup> <http://www.nedo.go.jp/activities/portal/p05013.html>

<sup>4</sup> 鈴木ほか、「台所用シングルレバー型水栓の節水・節湯化手法に関する実験研究 被験者を用いた短時間出湯行為の現状把握 その1」、空気調和・衛生工学会大会講演梗概集、p.1657-1660、2007年9月