

サマリー

我が国における再生可能エネルギーとしてのヒートポンプによる空気熱利用

計量分析ユニット 需給分析・予測グループ 兼
戦略・産業ユニット 新エネルギーグループ
柴田 善朗

本稿では、再生可能エネルギーと見なし得る、ヒートポンプが利用する空気熱の熱量の簡易推計を行った。推計には様々な想定をおこななければならないが、定格 COP 値を採用した場合、我が国では既に現在の新エネルギー導入量の約 60%に相当する 800 万 kL の空気熱が民生部門における空調用温熱供給に利用され、1 次エネルギー代替効果は約 300 万 kL あるものと推察される。

空気熱は、ヒートポンプ技術を内蔵したエアコンという非常に身近な機器を使用することで、消費者に全く認識・認知されずに活用されている再生可能エネルギーとすることができる。我が国の場合、温熱供給時の年間平均 COP が約 3.7 を超えると、ヒートポンプに投入した 1 次エネルギー供給量を上回る空気熱を環境から取得できることになる。ただし、ヒートポンプは環境に存在する熱という再生可能エネルギーを供給できるが同時に電力の投入も必要となることから、ヒートポンプ取得熱量を再生可能エネルギーとして取り扱う場合には、誤解を避けるためにヒートポンプ取得熱量と並んで投入される電力量を併記するなどの工夫が必要である。また、熱量推計の精緻化に関しては、ヒートポンプは定格時の性能と実際の性能に乖離があると考えられることから、実稼動 COP の把握も重要な課題である。

ヒートポンプの高効率化は“省エネ”（投入電力の削減）と“新エネ”（環境からの取得熱量の増加）の二つの要素を併せ持つ。このような他の再生可能エネルギーと大きく異なる特徴を有することから、再生可能エネルギーとしてのヒートポンプ取得熱量の推計に関しては、対象とする用途、COP の最低基準値の設定などが非常に重要な課題となる。現在、欧州においては各国の事情を背景にこれらの課題について議論が交わされており、今後も注視していくことが必要である。同時に、我が国特有の気候、エネルギー消費実態、ヒートポンプ市場の状況などを勘案した対象範囲の決定や基準作りの検討も必要と考えられる。

我が国における再生可能エネルギーとしてのヒートポンプによる空気熱利用

計量分析ユニット 需給分析・予測グループ 兼
戦略・産業ユニット 新エネルギーグループ
柴田 善朗

はじめに

昨年（2009年4月）EUの再生可能エネルギー利用促進指令で地中熱（geothermal）に加えて、新たに空気熱（aerothermal）および水熱（hydrothermal）が再生可能エネルギーとして追加された。自然の状態で存在するこれらの熱は、直接利用の他にヒートポンプによってより有効に利用ができることから再生可能エネルギーとしてカウントされ得るという背景があり、ヒートポンプが欧州を中心に近年注目されている。EUでは2020年までに最終エネルギー需要に占める再生可能エネルギーの割合を20%とする目標が掲げられており、各国が提出する導入計画の中でこれらの熱の目標値も定められている。我が国でも、エネルギー供給構造高度化法（エネルギー供給事業者による非化石エネルギー源の利用及び化石エネルギー原料の有効な利用の促進に関する法律：2009年7月）においてエネルギー供給事業者が利用する熱（地中熱、空気熱、水熱）を再生可能エネルギー源としている。

我が国のヒートポンプ技術水準は世界トップクラスであり、従前から高効率機器として省エネルギー分野に位置づけられている。ヒートポンプが「省エネルギー技術」か「再生可能エネルギー有効活用技術」か、という認識や背景の違いが我が国と欧州ではあるものの、化石燃料消費量削減のポテンシャルが高く今後の普及拡大が期待される。

我が国ではヒートポンプによる空気熱利用が非常に大きいと推察されるものの、定量化された事例があまり見られない。したがって、本稿ではヒートポンプ取得熱量を再生可能エネルギーとして計上する際の考え方を整理し、空気熱源ヒートポンプの取得熱量の簡易推計を行うことで他の再生可能エネルギーの導入量と比較する。また、詳細推計に向けた課題を整理する。

1. なぜ空気熱が再生可能エネルギーと見なせるのか

1.1 ヒートポンプの原理

地中熱や河川熱等の未利用熱はそれらが持つ温度と外気温に差があるが、空気熱の温度は外気温そのものであるため、本来ならば全く利用価値がない。ヒートポンプ利用によって空気熱が再生可能エネルギーとして利用可能となる仕組みを見る。

暖房や給湯等の熱需要に対する供給形態として、化石燃料燃焼、地中熱直接利用、電動ヒートポンプによる地中熱利用、電動ヒートポンプによる空気熱利用の4パターンを比較する（図1.1）。熱需要として $QH=4.0$ の熱量（温度を 40°C と仮定）が必要な場合、化石燃

料燃焼型の場合は図 1.1 の右端に示すように 5.0 (効率 80%を仮定) の化石燃料が必要となる。冬期に外気温よりも高い地中熱 (15℃と想定) を直接利用する場合は空気熱からの場合と比較して 40℃までの昇温幅が $(40-15) / (40-5)$ に減少し必要な化石燃料は $3.6 (=4.0 \times 25/35/0.8)$ に削減される。

一方、ヒートポンプは、膨張弁によって冷媒の温度を周囲の温度より低くすることで周囲から熱を吸収し、その熱をさらに圧縮機によって熱需要温度よりも高温にすることで利用可能な熱を作り出し供給するシステムである。空気熱利用のヒートポンプの場合、図 1.1 の左端に示すように、冷媒を環境温度よりも低い温度まで下げることで QL_1 の熱量を吸収し、圧縮機に EL_1 の電力を投入して $QH (=QL_1+EL_1)$ の熱量を供給する。地中熱ヒートポンプの場合は、地中熱が比較的高温であるため、空気熱ヒートポンプに比べて容易に熱を吸収しやすくより多くの熱量 (QL_2) を得ることができ、投入電力 (EL_2) を減少することができる。

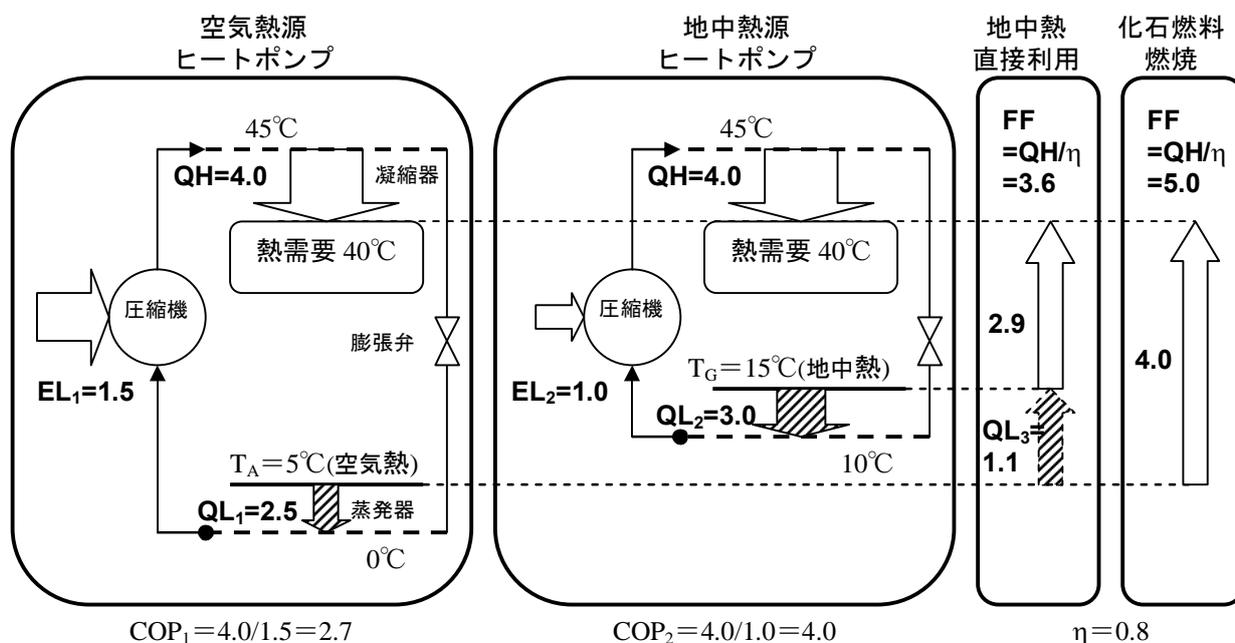


図 1.1 空気熱源ヒートポンプ、地中熱源ヒートポンプ、地中熱直接利用、従来型の比較

注：従来型とは化石燃料燃焼型の熱供給機器を指す。

注：FF は化石燃料、 η は化石燃料燃焼機器の効率、COP はヒートポンプの成績係数を指す。

注：数値はあくまで例であり、実際の温度と熱量との整合性はとっていない。

地中熱の温度は外気温と異なることで自然の状態での利用価値があることから、地中熱直接利用およびヒートポンプによる地中熱利用の QL_3 、 QL_2 が未利用熱として再生可能エネルギーとして位置づけられることは非常に明快である。一方、ヒートポンプによる空気熱利用の最大の特徴は、ヒートポンプサイクルを用いることによって、冷媒温度を外気温 (= 空気熱の温度) よりも低温にすることで自然状態では起こらない熱の移動を促し (QL_1)、

本来ならば全く利用価値のない空気熱を利用可能なものにできることにある。したがって、空気熱はヒートポンプを介在することで初めて再生可能エネルギーと見なすことができる。

なお、効率指標である成績係数 COP (Coefficient of Performance) は温熱供給の場合、[ヒートポンプからの供給熱量]/[ヒートポンプへの投入エネルギー量](=QH/EL)で表される。地中熱利用の場合 (COP₂) は、空気熱利用 (COP₁) と比較して COP が 30~50%程度向上すると言われている。

上述のように温熱供給の場合はヒートポンプに投入される電力量に環境から取得する熱量を合わせた量の熱を供給することから、エネルギーフローや収支は化石燃料にバイオマスを部分的に投入して燃焼させるバイオマス混焼と類似している。

1.2 ヒートポンプの種類

空気熱に限らず、あらゆる熱源のヒートポンプで使用される熱力学サイクルは、主に蒸気圧縮サイクルと吸収式サイクルの2つに分類される。1.1 で述べたヒートポンプは蒸気圧縮式であり、冷媒を圧縮、凝縮、膨張、蒸発させることで環境から熱を取得・放出する。吸収式サイクルは、温度によって冷媒蒸気の溶液への溶解度が異なる特性を利用しており、駆動源は熱 (ガスの燃焼熱、排熱、太陽熱等) である。蒸気圧縮式のヒートポンプに出入りするエネルギーは、ヒートポンプを駆動させるために投入しなければならないエネルギー (駆動源: EL)、低温熱源から取得する熱量 (QL)、ヒートポンプが供給する熱量 (QH) である。駆動源である動力は電力が主流であるが、ガスエンジンを用いるものも存在する。

なお、厳密に言うと、ヒートポンプは昇温を目的としたものであり、冷却目的の場合は冷凍機と呼ばれる。家庭用のエアコンは暖房時のサイクルを逆回転させることで冷房にも利用できる仕組みになっている。

ヒートポンプを2つのサイクル別に見ると (表 1.1)、蒸気圧縮式で最も身近に利用されているものは、家庭用エアコン、業務用エアコンである。蒸気圧縮式の熱源は、業務施設等で地中熱や河川熱が利用されている例があるが、我が国ではほとんどが空気熱である。

一方、吸収式サイクルは吸収式冷凍機、吸収式冷温水発生器等ほぼ全て業務用空調に利用され、駆動源は都市ガス等化石燃料の燃焼熱が主流であるが、コージェネレーションの排熱を利用するタイプ (ジェネリンク) も普及している。

また、冷凍・冷蔵庫、除湿機、自動販売機、カーエアコン、最近では洗濯乾燥機にもヒートポンプ技術が使用されている。

表 1.1 ヒートポンプの種類

サイクル	機器例
蒸気圧縮式	空調：家庭用エアコン、業務用エアコン (セントラル、ビルマルチ、パッケージ)、ターボ冷凍機、ガスエンジンヒートポンプエアコン等 給湯：家庭用/業務用ヒートポンプ給湯機 冷凍・冷蔵：冷蔵庫、冷凍庫、自動販売機
吸収式	空調：吸収式冷温水発生器、吸収式冷凍機等

図 1.2 にヒートポンプの分類を示す。なお、後段では我が国でヒートポンプの大半を占める空気熱源を利用した民生部門における空調用途を対象に空気熱量の推計を行う(図 1.2)。

		蒸気圧縮式		吸収式
		空気熱	水熱 地中熱 等	
空調用	家庭用	熱量推計対象		
	業務用			
給湯用	家庭用			
	業務用			

図 1.2 ヒートポンプの分類と本稿の熱量推計対象(斜線部)

1.3 熱量算定に関する様々な考え方

このように多種多様な用途に利用されているヒートポンプの熱量算定に関して、どの用途を対象とするか、ヒートポンプの COP の最低基準値(ヒートポンプを導入することによって正味のエネルギー消費削減が有意になる COP の基準値)をどうするかなどの課題がある。ここでは、市場占有率の高い蒸気圧縮式ヒートポンプの原理に基づき課題を整理する。なお、全ての熱源を対象としている。

(1) 駆動源

駆動源は、電力に限る理由は全くなく、ガスエンジン駆動でも問題ない。ただし、普及率が非常に小さいため、現在のところ議論の対象外とする。

(2) 対象用途(温熱供給のみか、冷熱供給も含めるか)

空気熱源に限らず、温熱供給のヒートポンプの場合(図 1.3 左側)は低温熱源の熱を再生可能エネルギーとして取り入れ、投入されるエネルギー(図では電力)と合わせて需要に熱を供給していることから、QLを再生可能エネルギーとして計上することができる。一方、冷熱供給の場合は熱の流れが逆になることから、どの熱を再生可能エネルギーと見なすかが問題となる。高温熱源(地中、河川、空気等)に廃棄する熱量(図 1.3 右側の QH)は、投入電力量を含んでいることから再生可能エネルギーとみなすことはできないが、例えば、冷房されている部屋から取り出す熱量(図 1.3 右側の QL)を空気熱と見なすことができるかどうかは議論の余地がある。

2009 年の EU 再生可能エネルギー指令では温熱供給と冷熱供給の両方を対象としているものの、後述のヒートポンプ熱量計算式は温熱供給のみを対象としたものになっている。

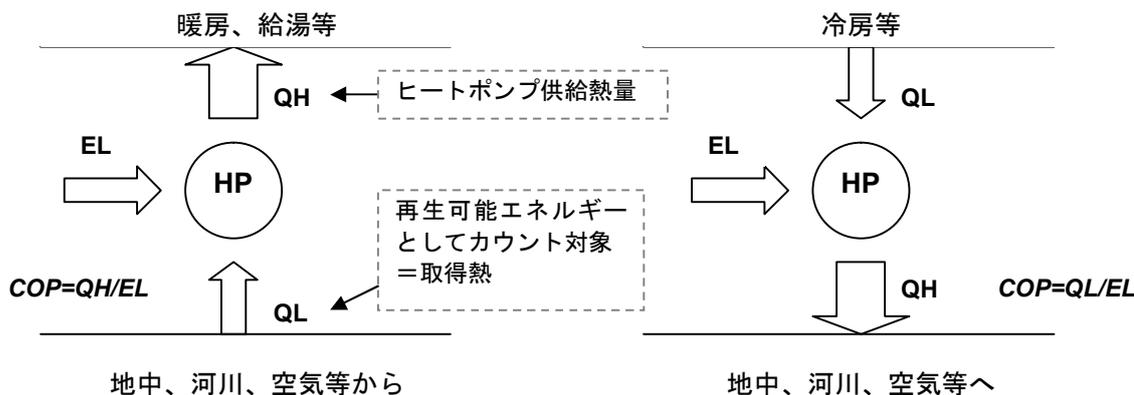


図 1.3 ヒートポンプのエネルギーフロー

また、冷熱供給を対象とすれば、冷房のみならず、冷凍・冷蔵庫（設備）や自動販売機等も含めなければならない。

再生可能エネルギーは化石燃料等従来型エネルギーの代替とならなければならないという概念に基づくと、冷熱供給機器は直接代替できる機器やエネルギー源が事実上無いことから、冷熱供給型（または冷熱供給時）のヒートポンプは対象外にすべきという考え方もある。

(3) COP の最低基準値

ここでは議論を単純化するために、電力駆動の温熱供給ヒートポンプのみを対象とする。ヒートポンプにはかならず駆動源となるエネルギーの投入が必要になる。従って、低温熱源から吸収する熱量とヒートポンプに投入されるエネルギー量の大小関係によって、ヒートポンプの1次エネルギー削減効果が左右される。

図 1.3（左側）において、エネルギー収支、COP は以下のように表され、温熱供給の COP は必ず 1.0 を超える。

$$QH = EL + QL \quad (1)$$

$$COP = \frac{QH}{EL} \quad (\text{温熱供給時}) \quad (2)$$

以下では、COP の最低基準値に関していくつかの設定方法を説明する。

① 投入電力量（2次換算）< 取得熱量

[$EL < QL$: $COP > 2$] (図 1.4 参照)

2次エネルギーベースで、投入した電力量 (EL) よりも取得した熱量 (QL) が上回らなければならない条件である。この場合、式 (1) および (2) より、 $COP > 2$ でなければならない。この条件は最低条件と見なせる。

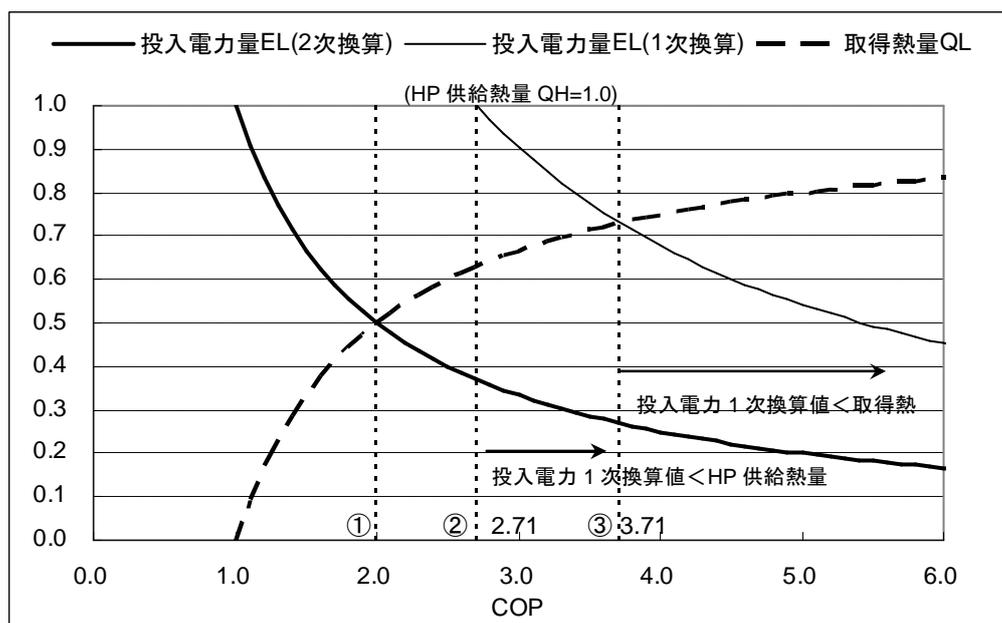


図 1.4 温熱供給時のヒートポンプの COP と投入電力量、取得熱量の関係

注：HP 供給熱量 Q_H を 1.0 としている。また、電力の 1 次換算値を我が国の 9.76kJ/kWh ($\eta_g=3.6/9.76=0.369$) としている。

② 電力 1 次換算 $COP > 1$

[$COP \times \eta_g > 1$] (図 1.4 参照)

COP の 1 次換算値が 1.0 を上回らなければならない条件である (η_g は系統電力の発電効率であり我が国の場合、電力の 1 次換算値 9.76kJ/kWh から 0.369 となる)。この条件を満たせば化石燃料燃焼タイプの機器を代替することによる 1 次エネルギー削減効果が確実にプラスになる。ただし、取得熱量が投入電力量の 1 次換算値を上回るとは限らない。我が国の場合、 $COP > 2.71$ となる。

③ 投入電力量 (1 次換算) < 取得熱量

[$EL/\eta_g < QL : COP > 1 + 1/\eta_g$] (図 1.4 参照)

取得熱量が投入電力量の 1 次換算値を上回らなければならない最も厳しい条件である。我が国の場合 $COP > 3.71$ となる。この場合、エネルギー収支がプラスになる。

④ 欧州での考え方

2009 年の EU 指令では以下のようにヒートポンプの年間性能指数 (COP の年間平均値) の最低基準値を定めている。

$$E_{RES} = Q_{usable} \times (1 - 1/SPF)$$

E_{RES} は本稿の Q_L 、 Q_{usable} は Q_H と同義であり、式 (1) および (2) から $COP=SPF$ とすれば上式が得られる。この式は温熱供給時のみに当てはめることができるということに注意しなければならない (冷熱供給時は $Q_H=(1+1/COP)\times Q_L$ となる)。

- Q_{usable} はヒートポンプが供給する利用可能熱の推定合計値。ただし SPF が $1.15\times 1/$ 以上のものしか対象にならない。は発電効率で、欧州委員会統計局のデータに基づき欧州連合の平均値を算出。
- SPF (Seasonal performance Factor) はヒートポンプの推定平均季節性能係数 (我が国でエアコンに対して使用される APF [Annual performance Factor] は冷暖房合計の年間性能係数)。

これは上述の②の条件を 15%厳しくしたものと解釈できる。 $SPF>=1.15\times 1/$ という条件を我が国にあてはめると、年間平均 $COP>3.12$ となり、③よりは緩い条件である。

なお、2013 年の 1 月までに各国の気象条件 (特に寒冷地域) を考慮して Q_{usable} と SPF の推計方法に関するガイドラインが欧州委員会において構築される予定である。

このように、 COP の最低基準の設定方法には様々な考え方があがる。また、エクセルギー¹の観点から、質の異なる熱と電力のエネルギー量を同列に扱う (加算・減算する) べきではないという見方もある。なお、 COP が 1.0 を超える限り必ず低温熱源から熱は取得されており、取得熱量は再生可能エネルギーと見なすことができる。

2. ヒートポンプ普及状況

2.1 市場規模

我が国は比較的温暖な気候であることから空気熱源ヒートポンプでも十分に温熱供給が可能であり、地中熱を利用する必要があまりない。また、地中熱ヒートポンプ設置工事時のボーリングやメンテナンス等による高い費用を回収できるだけの多量の熱需要がない。従って、安価な空気熱ヒートポンプの普及がヒートポンプ市場を成熟化に導いたという経緯がある。

図 2.1 に我が国と欧州におけるヒートポンプの市場規模 (出荷台数) を示す。我が国ではほぼ空気熱ヒートポンプが市場を独占しており (我が国の地中熱利用施設はストックで

¹エクセルギー (Exergy) とは、ある系から力学的エネルギーとして取り出すことのできる最大仕事量を意味し、有効エネルギー (Available Energy) とも呼ばれる。エネルギーが含有するエクセルギーの割合はエクセルギー係数と呼ばれ、エネルギーの質を表す尺度として使われる。エクセルギー係数は、電力は 1.0、化石燃料は約 0.95 であるが、熱の場合は温度によって異なり、温度が高いほどエクセルギー係数は高い。

1,000 箇所程度と非常に少ない)、家庭用、業務用を合わせると空気熱ヒートポンプ (エアコン、ヒートポンプ給湯機等) の販売台数は約 800 万台/年と欧州全体の市場の約 2 倍の規模である。ただし、欧州には、地中熱ヒートポンプ、地下水ヒートポンプ等の空気熱以外のヒートポンプ (図中の「その他熱 HP」) の割合が比較的多い。

我が国では主に冷房用にエアコンが普及してきたが、欧州では冷房需要が少ないこと、今まで冬期に高性能を発揮できる空気熱ヒートポンプ技術がなく地中熱を利用するしかなかったことなどが原因でエアコンの普及は限られている。ただし、近年の夏期の猛暑という気候変化、寒冷地対応の空気熱ヒートポンプの開発・商品化の実現という技術進歩によって、今後欧州でもエアコンの市場が拡大していくものと考えられる。

ただし、EUにおいてエアコンのような小型の空気熱ヒートポンプの取得熱を再生可能エネルギーに含めるかどうかの見解は国によって異なっており、まだ合意形成されていない。

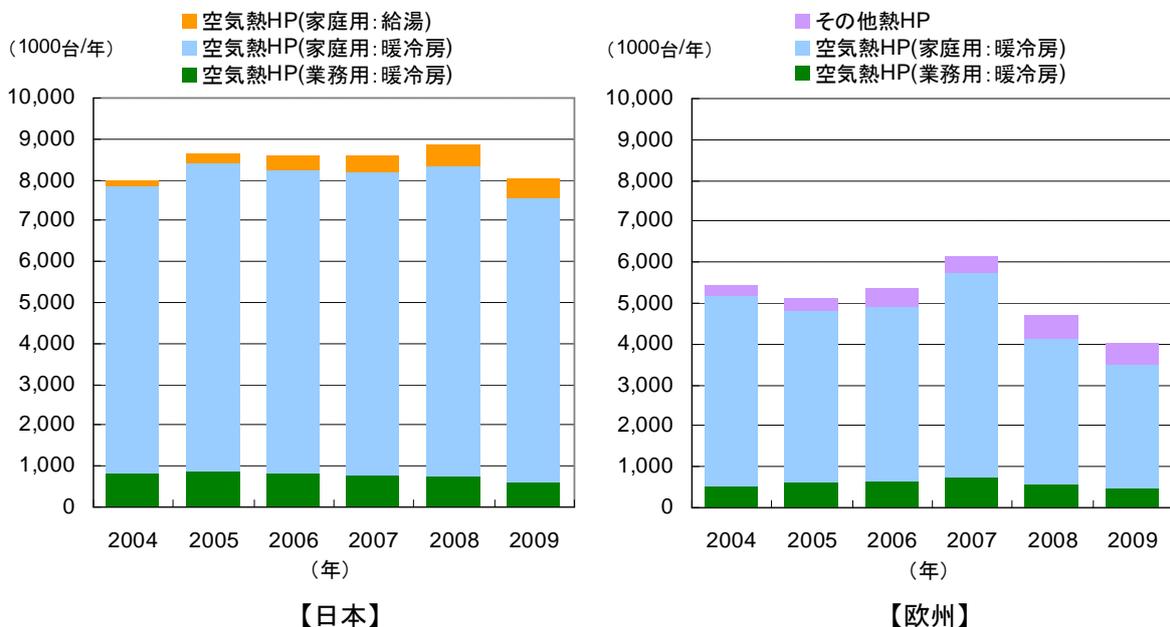


図 2.1 空調用ヒートポンプの出荷台数の推移

出所、参考：社団法人日本冷凍空調工業会資料、EHPA (European Heat Pump Association) 資料等から推計。
 注：空気熱 HP とは、エアコンを指す。業務用空気熱 HP にはパッケージエアコン、チリングユニット、ターボ冷凍機、ガスエンジンヒートポンプを含む。欧州のその他熱 HP には地熱 HP、水熱 HP に加えて、ルームエアコンやパッケージエアコン以外の空気熱 HP が含まれる。
 注：欧州は欧州全域を指すが、欧州のその他熱 HP は、オーストリア、フィンランド、フランス、ドイツ、イギリス、イタリア、ノルウェー、スウェーデン、スイスのみの合算である。

2.2 我が国における空気熱ヒートポンプの普及状況

我が国における空気熱ヒートポンプのストック台数を図 2.2 に示す。給湯用ヒートポンプは近年導入が拡大しているが、ストックの大半を占める空調用のみを対象としている。家庭用は世帯あたりの保有台数に世帯数を乗じてストック台数を求める。また 1 台あたりの出力は 2.8kW を想定した。業務用空調機は機種によって出力が大きく異なるが、平均する

と1台あたり約12kWを想定している。2008年において、我が国全体で1億4000万台が導入されており、総出力は4億5000万kWとなっている。家庭用が台数ベースで95%、出力ベースでも83%と大きなシェアを占める。

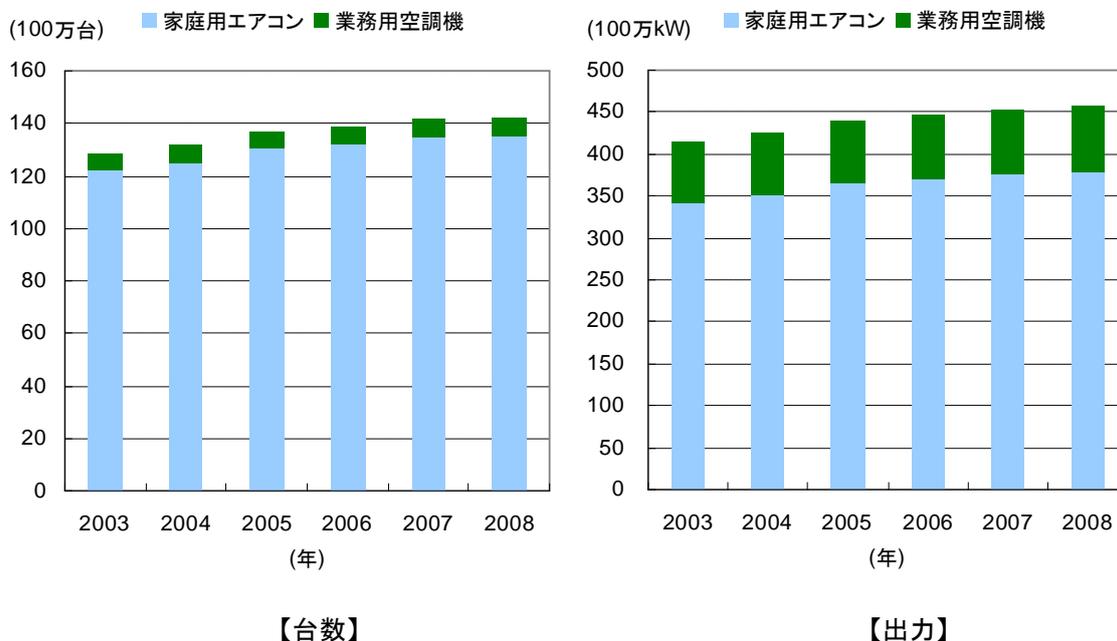


図 2.2 我が国における空気熱ヒートポンプのストック

出所、参考：家庭用は「家計消費の動向（内閣府）」、業務用は「ヒートポンプ・蓄熱白書（財団法人ヒートポンプ・蓄熱センター編）」等から推計。業務用空調機はパッケージエアコン、チリングユニットである。なお、電動ヒートポンプのみを対象としている。

3. 空気熱源ヒートポンプ熱量の簡易推計

3.1 推計方法（暖房用途のみ）

式（1）、（2）に示すように投入電力量（EL）とCOPが与えられれば、以下の式のように温熱供給時の環境からの取得熱（QL=空気熱）およびヒートポンプからの供給熱量が計算できる。

$$QL = EL(COP - 1) = QH \left(1 - \frac{1}{COP} \right) \quad (\text{温熱供給時}) \quad (3)$$

ただし、ストックの性能（COP）別台数割合が不明なため、1.3で述べたCOPの最低基準を越えるヒートポンプのみの熱量推計ができないことからストック全体での熱量を計算する。図 2.2 に示すストック全体の出力に稼働時間を乗じヒートポンプ供給熱量（QH）を求め、年間平均COPで除する方法（ボトムアップ方式）も考えられるが、稼働時間の想定が難しいことから、全国の投入電力量に年間平均COPを乗じる方法（トップダウン方式）を

採用する。計算条件を表 3.1 に示す。なお、暖房用途のみを対象とする。また、暖房用の電力は全てヒートポンプに投入されているものと仮定する。

表 3.1 空気熱ヒートポンプ熱量推計のための計算条件 (2007 年度)

	暖房用 電力消費原単位	世帯数 業務用床面積	暖房用 投入電力量	年間平均 暖房 COP (ストック)
家庭用	1,595MJ/世帯	5,232 万世帯	83,452TJ	4.0
業務用	13MJ/m ²	17.9 億 m ²	24,031TJ	3.5

出所、参考：電力消費原単位は「エネルギー・経済統計要覧 2010」。暖房用電力は電気カーペットやこたつも含まれるが、ここでは全量がエアコンに投入されるものと仮定している。家庭用のストック COP は「家庭用エネルギーハンドブック 2009 (住環境計画研究所)」を参考に設定。業務用 COP は各種カタログ等から設定した。

3.2 推計結果

2007 年度の我が国における、温熱供給時の空気熱ヒートポンプの熱量推計結果を表 3.2 に示す。空気熱量は家庭用では 25 万 TJ、業務用では 6 万 TJ、合計 31 万 TJ (802 万 kL) となり、黒液・廃材を大きく上回り最も導入量の多い新エネルギーとなる。空気熱を新エネルギーに含めると新エネルギー導入量は 1,293kL から 2,094kL へと 1.6 倍になる (図 3.1)。

表 3.2 推計結果 (2007 年度)

	家庭用[TJ]	業務用[TJ]
HP からの供給熱量 : QH	333,809	84,109
投入電力量 : EL	83,452	24,031
環境からの取得熱量 (= 空気熱量) : QL	250,356	60,078

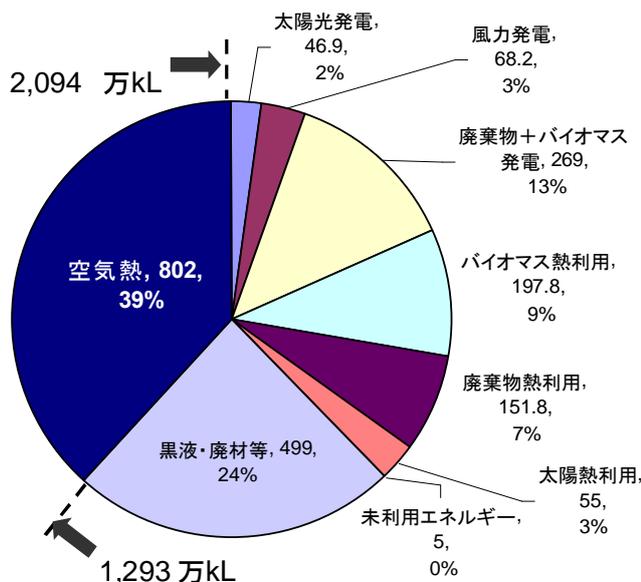


図 3.1 空調温熱供給用空気熱を含めた場合の新エネルギー導入量シェア (2007 年度)

注：空気熱以外は経済産業省、新エネルギー部会資料等から作成

なお、年間平均 COP を家庭用は 4.0、業務用は 3.5 と想定していることから、必然的にストックベースで「1.3」で述べた最低基準②を越えており、1 次エネルギー削減に貢献していることがわかる。COP の想定次第で、投入電力量（1 次換算値）と空気熱量の大小関係が決定されることに注意しなければならない。

図 3.2 には、空気熱ヒートポンプのエネルギー収支とともに再生可能熱の導入量の比較を示す。空気熱ヒートポンプでは、空気熱 802 万 kL と投入電力量 278 万 kL とを合わせて 1,079 万 kL の熱が供給されている。ただし、電力の投入に伴い 1 次エネルギーが 753 万 kL 消費されている。この差にあたる 327 万 kL が 1 次エネルギー代替効果となる。

高い COP を持つヒートポンプが化石燃料燃焼型機器を代替することによって初めて化石燃料の削減が実現されるということに注意しなければならない。つまり、ヒートポンプが取得する空気熱量のみを他の再生可能熱と比較することはできない。これは、生産時に必要とされる化石燃料の投入量によってバイオ燃料を再生可能エネルギーとすべきかどうかという議論と類似している点でもある。電力や化石燃料の投入を伴わない他の再生可能熱の導入が無条件に化石燃料削減に貢献することとは性質が異なる。

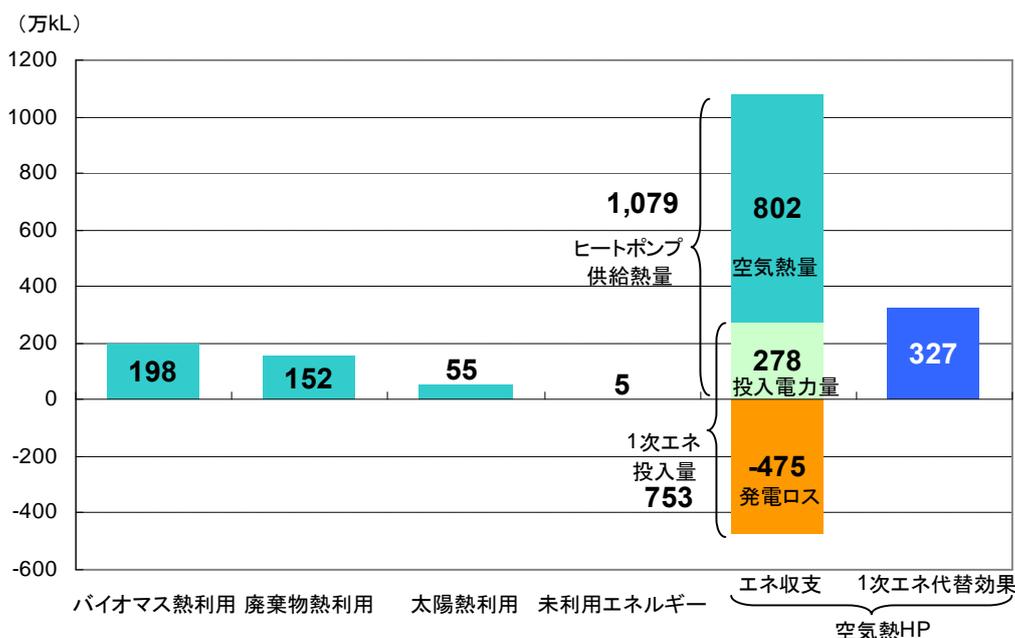


図 3.2 再生可能熱導入量の比較 (2007 年度)

3.3 推計の精緻化に向けた課題

簡易推計結果に基づくと、非常に大量の空気熱が温熱供給に使用されていることになるが、詳細な推計方法に向けた様々な課題が残る。以下に課題を示す。

- ・ 本来 COP は設定温度や環境条件（外気温）等によって変化する。定格の COP と実稼動 COP には差があると考えられることから、実稼動 COP の把握・推計方法を構築する必要がある。

- ・ 家庭用において、ジュール熱ヒーター（電気ヒーター、電気カーペット、こたつ等）の割合は小さいと考えられるものの、電力消費量のうちヒートポンプのみが占める割合を特定しなければならない。
- ・ COP の最低基準を設定する場合には、ストックの COP 別シェアのデータの作成が必要となる。
- ・ 用途別エネルギー源別エネルギー消費量のデータが無い場合には、ボトムアップ方式での熱量推計が必要になる。その際、家庭用においてはエアコンごとの稼働時間の差を考慮しなければならない（居間等に設置してあるエアコンと寝室のエアコンでは稼働時間が異なる）。また、ストックのエアコン出力のデータ作成も必要となる。業務用においては、業種別のヒートポンプの規模（出力）、COP、稼働時間の把握のために、既存統計や既往調査研究に併せて新たな調査が必要と考えられる。
- ・ 本稿では取り扱わなかったが産業用の加熱、乾燥用などのヒートポンプ、家庭用・業務用のヒートポンプ給湯機も検討の余地がある。
- ・ 本稿では暖房用のみを対象として熱量推計を行ったが、冷房・冷熱供給の取り扱いに関する詳細な検討が必要である。

4. まとめ

空気熱は、ヒートポンプ技術を内蔵したエアコンという非常に身近な機器を使用することで、消費者に全く認識・認知されずに活用されている再生可能エネルギーとすることができる。熱量推計には様々な想定をおこななければならないが、定格 COP 値を採用した場合、我が国では既に現在の新エネルギー導入量の約 60%に相当する 800 万 kL の空気熱が民生部門における空調用温熱供給に利用され、1 次エネルギー代替効果は約 300 万 kL あるものと推察される。

我が国の場合、温熱供給時の年間平均 COP が約 3.7 を超えると、ヒートポンプに投入した 1 次エネルギー供給量を上回る空気熱を環境から取得できることになる。ただし、ヒートポンプは環境に存在する熱という再生可能エネルギーを供給できるが同時に電力の投入も必要となることから、ヒートポンプ取得熱量を再生可能エネルギーとして取り扱う場合には、誤解を避けるためにヒートポンプ取得熱量と並んで投入される電力量を併記するなどの工夫が必要である。また、熱量推計の精緻化に関しては、ヒートポンプは定格時の性能と実際の性能に乖離があると考えられることから、実稼動 COP の把握も重要な課題である。

ヒートポンプの高効率化は“省エネ”（投入電力の削減）と“新エネ”（環境からの取得熱量の増加）の二つの要素を併せ持つ。このような他の再生可能エネルギーと大きく異なる特徴を有することから、再生可能エネルギーとしてのヒートポンプ取得熱量の推計に関しては、対象とする用途、COP の最低基準値の設定、などが非常に重要な課題となる。現在、欧州においては各国の事情を背景にこれらの課題について議論が交わされており、今

後も注視していくことが必要である。同時に、我が国特有の気候、エネルギー消費実態、ヒートポンプ市場の状況などを勘案した対象範囲の決定や基準作りの検討も必要と考えられる。