

第4回

ヒートポンプの役割と課題 電化の推進 燃焼から電気へ

電力中央研究所「電気と環境のフォーラム」

ヒートポンプによる電気利用は、燃料を直接燃焼させて熱を得る方法に比べて、効率が顕著に高くなる場合が多く、今後の技術進歩も期待できることから、CO₂排出削減のために重要な技術である。本稿では、ヒートポンプがCO₂排出削減に果たす役割やその技術進歩、課題および電力中央研究所（以下、電中研）の取り組みについて、エコキュートの開発経緯・動向を中心に紹介する。

1 ヒートポンプによるCO₂排出削減ポテンシャルと技術進歩

ヒートポンプが普及することにより、日本全体でどの程度CO₂排出

量を削減することができるのか、その潜在的な量を試算した結果を図1に示す。これは、財団法人ヒートポンプ蓄熱センターが試算したもので、家庭では給湯、暖房分野、業務では給湯、空調分野、産業ではボイラーによる工場空調、加温、100℃未満の乾燥分野でのCO₂排出量の削減を想定し、これらの分野においてすべてヒートポンプに置き換わった場合の削減量を試算している。図に示すようにCO₂排出削減ポテンシャルは1.3億tで、これは2005年度の総CO₂排出量12.9億tの10%に相当する。

なお本試算には、発電側のCO₂

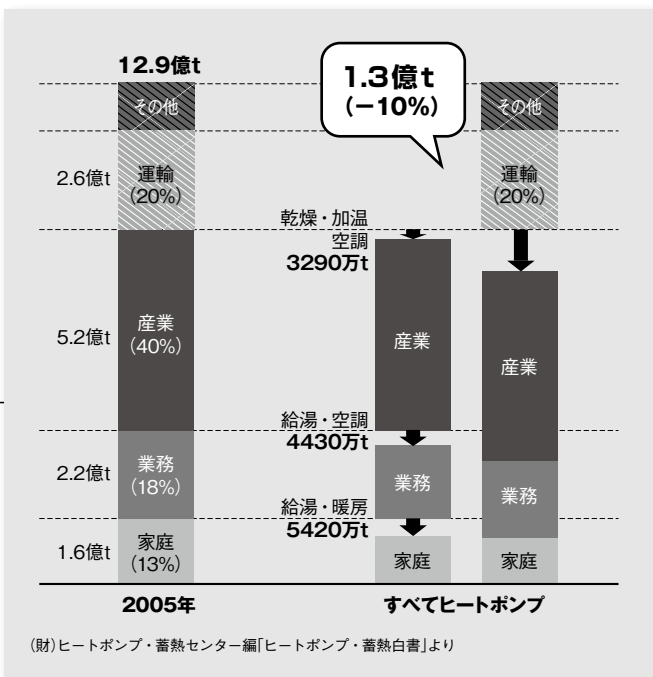


図1 ヒートポンプによるCO₂排出削減ポテンシャル^[1]
ヒートポンプ・蓄熱センターの白書によれば、ヒートポンプによるCO₂削減ポテンシャルは1.3億tでわが国の総排出量の10%に相当する。ヒートポンプがCO₂排出削減に果たす役割は大きい。



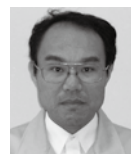
齋川 路之

電力中央研究所 エネルギー技術研究所 上席研究員。圧縮式ヒートポンプの研究開発や需要サイドのエネルギーシステムの評価研究に従事。エコキュートの開発で、省エネ大賞経産大臣賞などの賞を共同受賞。



長谷川 浩巳

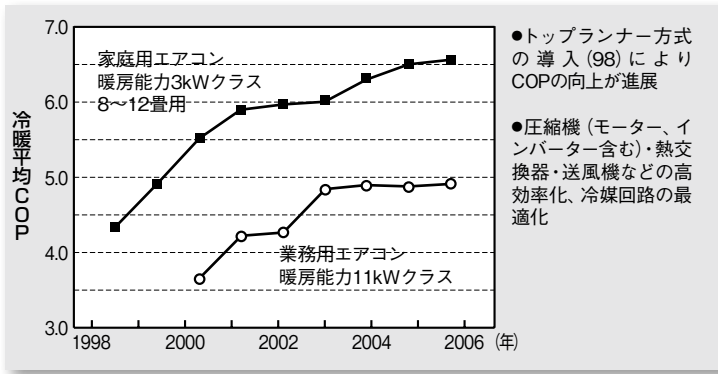
電力中央研究所 エネルギー技術研究所 上席研究員。圧縮式ヒートポンプや蓄熱材・蓄熱システムに関する基礎研究・開発研究・評価研究などに従事。



橋本 克巳

電力中央研究所 エネルギー技術研究所 主任研究員。圧縮式ヒートポンプの挙動や熱交換器の伝熱に関する研究、ヒートポンプの評価手法に関する研究に従事。エコキュートの開発で、省エネ大賞経産大臣賞などの賞を共同受賞。

排出削減による効果や、産業における10.0℃以上の加熱プロセスのヒートポンプによる代替効果は含まれていない。これらを考慮できるとすれば、さらに大きな削減効果が期待



●トップランナー方式の導入(98)によりCOPの向上が進展
●圧縮機(モーター、インバーター含む)・熱交換器・送風機などの高効率化、冷媒回路の最適化

2 家庭用エコキュート開発の経緯と最近の動向

このように、大きなCO₂削減効果が期待されるヒートポンプであるが、最近の技術動向はどのようなものか、家庭用と業務用のエアコンを例に紹介する。図2にこれらの機器の効率向上の変遷を示す。図の縦軸のCOP (Coefficient of Performanceの略、成績係数) はヒートポンプの効率を表す指標で、投入した電力に対し何倍の熱出力が得られるかで定義される。トップランナー方式の導入などにより、ヒートポンプの各要素機器の高効率化や新しいヒートポンプサイクルの採用などの技術開発が進展し、COPが目覚ましく向上してきていることが分かる。さらに、大規模ビルや工場向けの大型空調ヒートポンプについても、技術開発が進展しており、COPの飛躍的な向上が図られている。今後とも、継続的に技術の積み重ねを行うことにより、着実に効率が向上していくものと想定される。

ここでは、ヒートポンプに関するこれまでの電中研の取り組みとして、エコキュート開発の経緯と最近の動向を紹介する。

電中研では20年以上前から、家庭・業務給湯分野の省エネルギーを目指し、給湯ヒートポンプの研究開発を進めてきたが、フロンの問題などにより商品化まで至らなかった。そこで、フロンではない自然冷媒(自然界に古くから存在する物質でヒートポンプの冷媒として利用可能な物質)に焦点を当て、中でもCO₂冷媒に着目して基礎的な研究を行ってきた。エコキュートは、この基礎研究の成果を踏まえ、東京電力、デンソーと共同で開発し、01年5月に世界で初めて商品化したものである。エコキュートは、お湯を作るヒートポンプユニットと貯湯槽から構成され、安価な深夜電力を利用してお湯を作るシステムで、省エネ性や環境性に優れており、従来の燃焼式給湯器に対し、1次エネルギー消費を約3割削減でき、CO₂排出量を半分以上に削減することができる。

このため、国の補助金制度や各メーカーの市場参入、環境問題への意識の高まりやオール電化住宅への関心の高まりなどにより、急速に普及が進展している(図3)。商品化初年度は6千台程度の出荷であったが、07年度には約41万台普及し、08年10月末には、累計で150万台を突破した。筆者らが調べた限りでは、エコキュートのヒートポンプユニットを製造している会社は6社(図3)で、販売している会社は16社である。エコキュートの普及とあわせて、技術開発も進展している。表1にその概要を示す。小型化、寒冷地(マイナス25℃)における加熱能力の確保、多機能化(給湯+浴室乾燥・床暖房機能)、静音化(45dB↓38dB)、高効率化(COP3.5↓5.1)などが進展している。なお、ここで示したCOPは、JRA4050・2001(日本冷凍空調工業会標準規格)の定格条件で得られた値であり、定格条件は、外気温度(乾球/湿球)・16/12℃、給水・17℃、給湯・65℃で、中間期の条件である。エコキュートは、ヒートポンプユニットと貯湯槽から構成される給湯

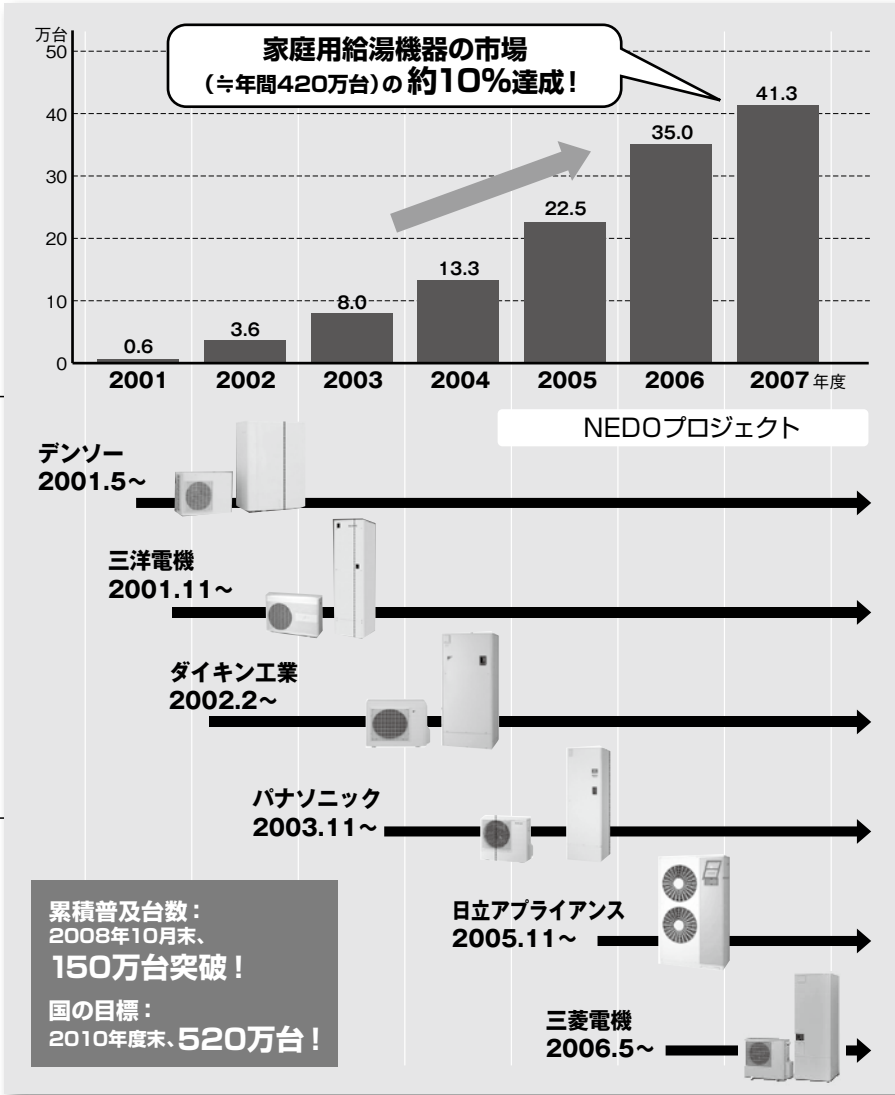


図3 エコキュートの年間出荷台数と開発メーカー

エコキュートの年間出荷台数は順調に伸びており、07年度には約41万台普及し、08年10月末には、累計で150万台を突破した。各メーカーが市場参入し、エコキュートのヒートポンプユニットを開発したメーカーは現在6社であり、販売は16社である。

システムであり、システム全体としての効率が必要である。このため、ヒートポンプ自体の高効率化をはじめとして、貯湯槽の断熱強化技術、

設置先の負荷を学習し必要な湯量のみを沸かす運転制御方式、貯湯槽の中間位置に発生する中温水を積極的に利用する技術などが開発され、こ

れら技術の高度化が進んでいる。以上は、貯湯槽を有するために生じる課題であり、この課題を一挙に解決する方策として、加熱能力を大

- | |
|--|
| ①小型化 (集合住宅、狭地地向け) |
| ②寒冷地仕様 (外気温-25℃で能力確保) |
| ③多機能化 (床暖房、浴室乾燥機能)
(加熱能力: 給湯専用機4.5kW→多機能機6.0kW、9.0kW) |
| ④静音化 (45dB→38dB (セーブモード37dB)) |
| ⑤ヒートポンプユニット効率向上 (COP: 3.5→5.1)
JRA定格条件の値【外気温(乾球/湿球):16/12℃、給水温度:17℃、給湯温度:65℃】 |
| ⑥システムとしての効率向上
(2008年より、APF: 年間給湯効率を表示)
●貯湯槽の断熱強化
●負荷の学習、省エネ運転 (制御)
●中温水利用
●半瞬間式 (加熱能力23kW、45ℓタンク) |

表1 エコキュートの技術的な進展

普及の進展とあわせて、エコキュートの技術開発も進展している。カタログの性能表示もヒートポンプユニット単体の値から貯湯槽も含めたシステム全体の年間給湯効率 (APF) に替わった。実際に利用したときの効率に近い性能表示であり、好ましい改訂である。

大きくして貯湯槽を大幅に小さくした半瞬間式とも呼べるシステムが開発・商品化されている。このようなシステムをうまく使うことができれば、貯湯式が65℃以上のお湯を沸かすのに対し、実際に必要な温度である40℃程度で沸かせるお湯の量を増やすことができるため、ヒートポンプ単

体性能の向上と貯湯ロスの低減が可能になり、システム全体の効率向上が期待できる。技術開発の重要な方向性のひとつである。

なお、これまでのエコキュートの性能表示は、中間期のヒートポンプユニット単体のCOPであった(表1の⑤参照)。エコキュートは、ヒートポンプと貯湯槽から構成されており、システム全体の効率が重要であることは前述のとおりである。このため、性能表示についても、実際に使った場合の効率に近くなるように規格が改訂され、08年からは、システム全体の年間給湯効率(APF: Annual Performance Factor) Ⅱ1年間の給湯負荷の熱量/1年間の消費電力量)で表示されることになった(表1の⑥参照)。この効率は、冬期や着霜条件を含む5条件でのヒートポンプ単体性能試験に加え、設定した1日の標準給湯モード(負荷)に基づいて、3日間にわたる沸き上げと給湯を繰り返す試験を冬期条件で行うことなどにより算出される値であり、貯湯槽の放熱ロスや起動停止によるロスなど、あらゆるロ

スを含んだ性能を表している。今後は、この性能表示に従って、各社の効率向上への努力がなされる。メーカーにとっては、試験の煩雑さも含め厳しい性能表示ともいえるが、省エネ推進・CO₂排出削減の観点からは好ましい改訂である。今後は、エコキュートを実際に使う場合を想定する効率(APF)のさらなる向上に期待したい。

3 ヒートポンプの課題と電中研の取り組み

エコキュートの開発により、ヒートポンプの用途は空調から給湯へ拡大してきたが、その本格的な普及はこれからであり、また機能面でも十分ではない。そこで、ヒートポンプの利用分野と用途の観点から、その普及の現状と使われている冷媒を整理して今後の課題を抽出し、最後に電中研の取り組みを紹介する。表2にヒートポンプの普及の現状と使われている冷媒を示す。

家庭用については、空調としてのエアコンは普及しているが、暖房用としての使用率は低い。また、冷媒

は主に代替フロンが用いられている。また、給湯用にエコキュートが商品化され、最近では給湯機器の出荷台数の約10%を占めるようになってきている。しかし、本格的な普及はこれからである。

表2 ヒートポンプの普及と冷媒の現状
ヒートポンプの普及の現状と使われている冷媒を整理した。例えば、家庭用の空調では、冷房暖房兼用のエアコンが普及しているが、暖房への利用は少ないことや、空調用の冷媒は代替フロンが中心であることが見てとれる。

	空調	給湯	その他
家庭	エアコンは普及 暖房使用率は低い 冷媒: 代替フロン	出荷台数の約10%が エコキュート(2007年度) 本格的普及はこれから 冷媒: CO ₂	ヒートポンプ洗濯乾燥機 (代替フロン)
業務	小型は普及(80%) 中大型は40%程度 (吸収式冷凍機、ガスエンジン ヒートポンプと統合)	エコキュートが開発されているものの台数は小 (50% 石油ボイラ、35% ガスボイラ)	蒸気需要は多いが、ほとんどボイラ(水冷媒 ヒートポンプの可能性) 冷凍冷蔵には ノンフロンが進展中
産業	冷媒: 代替フロン中心 (ノンフロンの開発実績有り)		

業務・産業用の空調としては、小型のヒートポンプは普及しているが中大型のシェアは40%程度である。冷媒は、家庭用と同様、代替フロンである。給湯については、業務用のエコキュートが開発されているもの出荷台数はまだ少ない。また、産業用では多くの蒸気需要があるが、ほとんどが化石燃料を利用するボイラーによって賄われている。

次に、整理した現状を踏まえて抽出した課題を表3に示す。まずは、ヒートポンプのさらなる普及および用途の拡大が挙げられる。家庭用では暖房と給湯、業務用では中大型の空調と給湯、産業用ではプロセス加熱(蒸気ボイラー代替)と乾燥分野への普及拡大が望まれる。

また、代替フロンに代わる新しい冷媒の探索も大きな課題である。カーエアコンについては、欧州では11年から冷媒の地球温暖化係数(GWP: Global Warming Potential、個々の温室効果ガスの地球温暖化に対する効果を、その持続時間も加味した上で、CO₂の効果に対して相対的に表す指標)を150以下にす

表3 ヒートポンプの課題

ヒートポンプの現状を整理し今後の課題を抽出した。さらなる普及拡大と用途の拡大、地球温暖化係数の小さい新しい冷媒の探索が必要になっている。

普及（用途）拡大

- 家庭：暖房・給湯
- 業務：中大型空調・給湯
- 産業：プロセス加熱と乾燥

欧州：2011年からカーエアコンの冷媒の地球温暖化係数（GWP）を150以下に（現在はR134a）
GWP-CO₂=1,R134a=1300,R410A=1700

新冷媒

- 家庭・業務用エアコン（代替フロンR410A→?）
- 大型空調機器（ターボ冷凍機：代替フロンR134a→?）

るといふ規制が始まる。このため、現在使われている代替フロンR134a（GWP・1300）に替わる冷媒として、CO₂や欧米の化学メーカーが開発した新冷媒が候補になっている。現在、一般空調用としては、前述の代替フロンR134aやR410A（GWP・1700）といった冷媒が使われているが、いずれもGWPが大きく、カーエアコンと同様に規制される可能性があり、

新冷媒の探索が必要になっている。なお、表には示していないが、ヒートポンプの熱源としては、利用が容易な空気熱源が一般的であるが、ヒートポンプの普及拡大・高効率化のためには、地中熱や排熱などを安価かつ簡便に利用できる技術の開発も重要である。

こうした課題に対応するため、電中研としては3つの観点から研究に取り組んでいる。その第1は、次世代エコキュートの性能評価・高効率化で、特に冬場での効率向上を目指している。第2に新冷媒技術の評価・開発で、特性の把握や水冷媒による蒸気製造の可能性評価を進めている。最後に、ヒートポンプシステムやこれを含むエネルギーシステム全体の効率向上を図ることで、効率を計算できるシステム解析技術の開発を進めている。

このうち、次世代エコキュートの性能評価研究については、より効率の良いエコキュートが開発され、普及することを目指して、図4に示す性能評価試験設備を電中研の横須賀地区に設置した。本設備の特徴は、

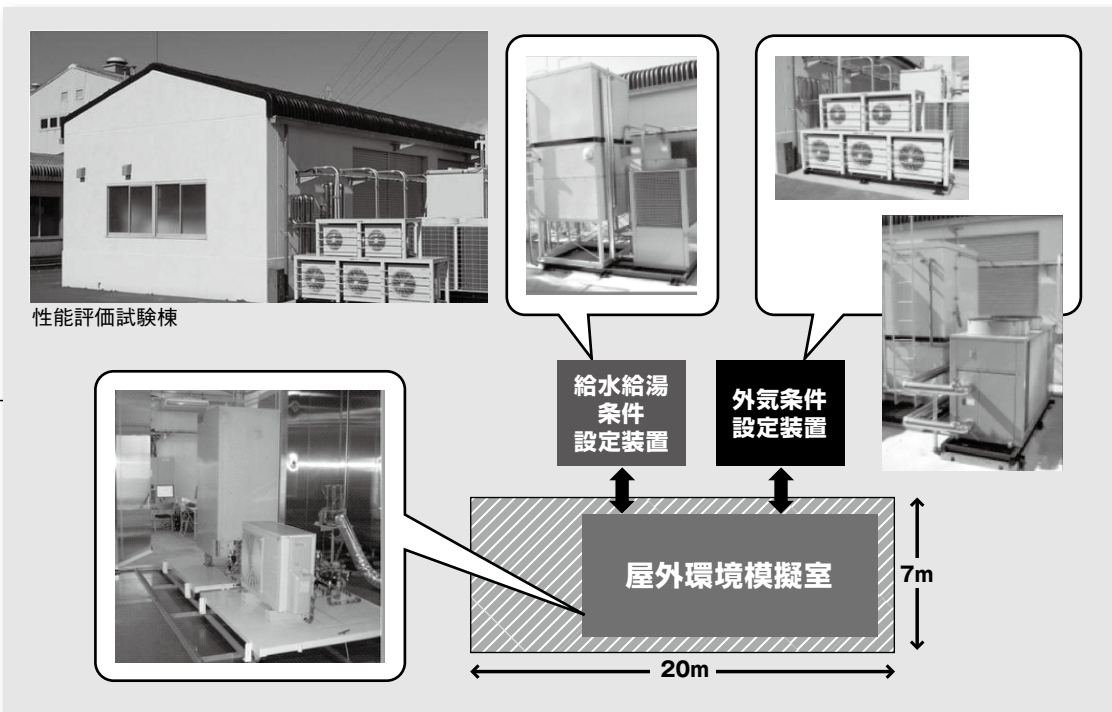


図4 エコキュートの性能評価用環境試験設備

電中研の横須賀地区に07年1月末に設置したエコキュート性能評価用環境試験設備。本設備を活用して、さまざまな条件下でエコキュートの性能評価を行い、より良いエコキュートが普及するように技術的なサポートを進めていく。性能評価研究は、電中研が中核機関として果たすべき大きな役割のひとつと考えている。

①同時に2台のエコキュートの性能評価試験を実施可能

②エコキュート周囲の外気の温度と湿度を、極寒から酷暑までのさまざまな条件（温度マイナス30℃～+50℃、相対湿度30～90%）に設定可能

③エコキュートに流入する水温を各季節の条件（5～40℃）に設定可能

④エコキュートが賄う給湯負荷（お湯の流量・使用時間と温度）をさまざまな条件に設定可能

⑤暖房機能付きエコキュートが賄う暖房負荷をさまざまな条件に設定可能である。電中研は、中立の研究開発機関という立場を生かして、本設備を活用し、今後開発されるさまざまなエコキュートの性能評価研究を進めていく計画である。

一方、新冷媒については、基礎的な調査・検討を始めている。まず、空調用に関しては、前述のカーエアコン用新冷媒の開発動向を調査している。一般空調用については、08年度から、NEDOのプロジェクトにおいて新冷媒によるエアコンの研究が開始された。このような各方面の動向を注視しつつ、電中研としても

検討を進めていく計画である。

また、産業用ヒートポンプに関しては、代替フロンを冷媒として利用し、70℃程度の排熱から100℃以上の蒸気を製造できるヒートポンプが開発・商品化されているが、さらに一歩進めて、新冷媒による蒸気製造ヒートポンプの開発が期待されている。そこで、電中研では、代替フロンではなく水自体を冷媒とした蒸気製造ヒートポンプのシミュレーションによる可能性評価を行っている。例えば、排熱を熱源とし、水を冷媒として50℃で蒸発させ、150℃の飽和蒸気を作った場合のCOPを試算した結果、2・7という値が得られた。この程度のCOPをまず実現できれば、ヒートポンプでボイラーの替わりができるようになり、ヒートポンプによる産業部門のCO₂削減が大きく進展する可能性がある。現在はまだ、シミュレーションによる検討段階であるが、蒸気発生用のヒートポンプはブレイクスルーテクノロジーのひとつと考えており、今後、その実現に向けて鋭意、検討を進めていく予定である。

本稿では、ヒートポンプがCO₂排出削減に果たす役割やその技術進歩、課題、電中研の取り組みなど、国内の動向を中心に述べたが、国外の動向はどうなっているのだろうか。欧州では、石油ショック以降の1980年代から、暖房・給湯ヒートポンプの開発・普及が進んだが、ブームに乗って新規に市場参入した企業も多かったため、技術的な完成度が低い機器も出回った。その結果、ヒートポンプの評価が下がり、一時期その普及は停滞した。しかし2000年以降、地球温暖化対策技術としてのヒートポンプの再評価や石油価格の高騰により、再び開発・普及が進展しつつある。08年1月には、「再生可能エネルギー推進に関するEU指令」案が発表され、その中で、地中熱源のみならず空気熱源のヒートポンプも再生可能エネルギーとして定義されることとなり、その開発・普及が強力に推し進められている状況にある。さらに、米国やそのほかの国でも、ヒートポンプの開発・普及が進展しつつある。

本稿で紹介したエアコンの技術進

歩やエコキュートの開発・普及状況から、日本のヒートポンプに関する技術力は、相対的に高いものであることが分かる。この優れた技術を駆使して、世界の省エネ・省CO₂に貢献することが、わが国の大きな使命ではないだろうか。

地球温暖化防止は待ったなしである。省エネ性・省CO₂性に優れたヒートポンプの今後のますますの進展を期待して本稿の結びとしたい。

参考文献

- [1] 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（2007）
- [2] 斎川、技術探索「家庭用自然冷媒（CO₂）ヒートポンプ給湯機」、エコキュートの技術と将来展望、電気学会誌 Vol.128.No.10.pp.688-691（2008）

エネルギーフォーラム1月号P72の表1と図7のタイトルに誤りがありました。正しくは表1が「火力発電技術のライフサイクルCO₂排出量」、図7が「IGCC実証機の仕様」です。お詫びして訂正いたします。