空調・給湯の省エネルギー技術の今後

鹿園 直毅*

Journal of Japan Institute of Light Metals, Vol. 60, No. 11 (2010), pp. 559-564

Future trends of air conditioning and hot water supply technology

Naoki SHIKAZONO*

Keywords: air conditioner, heat pump, heat exchanger, energy efficiency

1. はじめに

空調や給湯は、わが国の最終エネルギー消費の約 1/7 を占め、その省エネルギーは今後とも非常に重要な課題である。理論的には大幅な省エネルギーが十分可能ではあるものの、現実にはコストや利便性の壁に阻まれ、なかなか削減が進んでいない。歴史的にみると、第一次および第二次オイルショックを受けて、わが国でもサンシャイン計画¹⁾やムーンライト計画²⁾等に代表される大型プロジェクトによって新エネルギーや省エネルギーに関する技術開発が強力に進められた。しかしながら、1980 年代を通じて石油価格が低位安定に推移したため、熱にかかわる技術は「価格面でペイしない過去の技術」と刷込まれてしまった感がある。一方で、地球温暖化問題や資源価格高騰など、近年エネルギー環境技術を取巻く状況はドラスティックに変化している。化石燃料や素材等の資源価格が非常に安いことを前提とした 20 世紀の技術が、将来においても最適かどうかと問われれば、その答えは明らかに否であろう。本稿では、筆者が専門とする熱エネルギー利用技術を例に、新しい技術を普及させるためのポイントは何か、その方向性や可能性について独断と偏見を交えて考えてみたい。

2. エコキュートの教訓

エコキュートに関してはすでに述べたが³⁾、その導入から学ぶべきことは多い。ここにあらためて紹介させて頂く。筆者は、2002 年までメーカーにて冷凍空調機器の設計開発に携わっていた。今となると自身の見通しの甘さを恥じるばかりであるが、当時エコキュートの開発の話が持上がった際、正直なところモノになるとはとても思えなかった。理由を述べる前に、エコキュートと従来技術である燃焼式給湯器を比較してみたい。図 1 に、家庭用の標準的な給湯能力 (24 号) のガス給湯器とエコキュートを示す。このように、標準的なガス給湯器のスペックは、最大ガス消費量 61kW 相当 (追焚き同時使用時) で、エネルギー効率 82% である⁴⁾。つまり、最大給湯能力は約 $Q=50\text{kW}$ である。火炎と水との温度差を概算として $\Delta T=1500\text{K}$ とすると、熱交換器の KA 値

図 1 燃焼式給湯器⁴⁾とヒートポンプ式給湯器⁵⁾

($=Q/\Delta T$) は約 33 W/K である。ここで、 K は熱通過率 ($\text{W/m}^2\text{K}$)、 A は伝熱面積 (m^2) であり、それらの積の KA 値とは、熱交換器が単位温度差、単位面積、単位時間あたりに伝えることのできる熱量のことである。ほぼ同じ技術水準であれば熱通過率 K はほぼ同じ値なので、 KA 値は伝熱面積 ($\propto$ 材料費)、すなわちコストの目安となる。また、温度差が大きいといっても機器側は水で冷やされているので高温ではない。火炎だけが高温である。一方のヒートポンプ給湯器は、給湯能力 4.5kW で、水と冷媒の温度差は約 $\Delta T=10\text{K}$ のオーダーであり、 KA 値 ($=Q/\Delta T$) は約 450 W/K となる⁵⁾。 KA 値がガス給湯器の 10 倍以上も大きいということは、それだけ熱交換器のコストが高いということである。また、熱交換器が大きくなれば、必然的に筐体寸法も大きくなり、全体コストを押し上げる。その証拠に、給湯能力 50kW の燃焼式給湯器の価格は、4.5kW のヒートポンプ給湯器の半分以下である。つまり、燃焼式のコスト競争力が圧倒的に高いため、これと競合する技術は非常に不利な立場となってしまうのである。ちなみに重量は、ガス給湯器が約 30kg なのに対し、ヒートポンプ給湯器は貯湯槽を含めて約 140kg とかなり重い。見方を変えると、重量差ほどには価格差はなく、後述するように実はヒートポンプ給湯器はエアコンの量産技術の恩恵を受け

* 東京大学生産技術研究所エネルギー工学連携研究センター (〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1)。Institute of Industrial Science, The University of Tokyo (4-6-1 Komaba, Meguro-ku, Tokyo 153-8505). E-mail: shika@iis.u-tokyo.ac.jp
 受付日: 平成 22 年 7 月 29 日 受理日: 平成 22 年 9 月 13 日

た非常に低コストな技術なのである。

筆者がエコキュートの将来性に否定的だったのは、上記のようなコストの課題が最大の理由である。CO₂冷媒を用いることで家電品なのに100気圧以上の超高压システムになることと、製品原価の半分近くを占めると言われる貯湯槽が別途必要になるなど、価格面でとても燃焼式の給湯器とは競合できないと思えたのである。ただし、その後の顛末はというと、読者各位が御存知のように、エコキュートは2009年10月には累積出荷台数が200万台を突破し⁶⁾、驚くほど普及が進んでいる。なぜ、こううまくいったのであろうか？ エコキュートの成功は、新しいエネルギー機器の導入を考える際に非常に示唆に富んでいる。超臨界サイクルとすることで熱力学的に熱源との温度差を小さくできるというCO₂特有の利点に加えて、筆者はエネルギー機器を導入する際に大いに参考にすべき教訓として、以下の3つが重要ではないかと考えている。

先に紹介した24号ガス給湯器の定価は約36万円であるが、インターネットによれば実売価格は13万円程度である。一方、エコキュートの定価は70~80万円であるが、実売価格はその約半額と言われており、さらに補助金が4万円つく(2010年6月現在)。確かにエコキュートは高価に見えるが、後述するようにエコキュートのこの価格は、実は驚異的な低価格である。その鍵はエアコンの量産技術の転用にある。最近のルームエアコンのCOP(=冷暖房能力/電気入力)は5や6はあるので、冷房能力2800Wのルームエアコンの場合、電気入力は500W程度である。エアコンの基本サイクルである冷凍サイクルと蒸気発電のランキンサイクルとは、原理はほとんど同じなので、エアコンのサイクルを逆に回す設計をすれば、発電することも可能である。つまり、わずか数10°Cの温度差で発電する500Wの超小型発電機が、なんとエアコンと同じ価格で買えることになる。これは発電容量あたりの製造原価で言えば100~150k¥/kWほどに過ぎず、スケールメリットが働く上に熱源温度差が1000°Cのオーダの大型の発電所と比較しても、それほど見劣りする数字ではない。太陽電池や燃料電池の価格を想像して頂ければ、いかに安いかがわかり頂けるかと思う。このように、エコキュートの成功の第一の要因として、エアコンの低コスト量産技術の恩恵を十分に活かしている点が挙げられる。そう考えていくと、CO₂ではなくエアコンで現在用いられているR410aという冷媒をそのまま用いた方がもっと安くできて、結果として低所得層も含めて普及も進むのではないだろうかと思われるかもしれない。実はその通りで、理論効率は若干劣るものの、低圧でしかもエアコン部品がほぼそのまま使えるため、CO₂を用いたエコキュートよりもかなり安く作ることができる。では、なぜそのようなならなかったのであろうか？

よく知られているように、R410aは京都議定書の対象ガスであるHFCであり、温暖化係数がCO₂の2000倍近くある。地球温暖化防止に貢献する環境イメージを広めたい電力会社と、京都議定書目標達成に向けて成果が欲しい省庁とが強力なタッグを組み、格安な深夜電力料金と補助金をバックに、多少高くても良いものを買う富裕消費者層を掘起こした、というのが第2の要因である。エアコンの場合は安全性と性能面でHFCに代わるよい代替冷媒がまだ見つかっておらず、きちんと回収することを前提にHFCを使い続けざるを得ない状

図2 給湯ヒートポンプと燃料電池(PEFC)給湯システム

況にある。また、低所得層や発展途上国等への普及を考えると、安いものを広く導入した方が全体としては効果的ではないかとの考え方もある。そのような状況の中で、日本でいち早くこのような高額な商品が受入れられたことは驚くべきことである。

第3の要因を述べる前に図2をご覧頂きたい。図2はエコキュートと固体高分子形燃料電池(PEFC)システムの比較である⁷⁾。いずれも家庭用の給湯市場をターゲットとする競合技術である。標準的なエコキュートの熱出力は4.5kWで、貯湯槽は300~460リットルとなっている。それに対し、PEFCの熱出力は1.4kW、貯湯槽は200リットルである。容量が小さいので、お湯切れに備えてバックアップ用の燃焼式ボイラーがついている。これは、PEFCの場合は燃料電池の投資費用を回収するために、なるべく容量の小さな燃料電池を、お湯を余らせないようにできるだけ長く運転するという設計になっているためである。湯切れしたら安い燃焼式ボイラーで追焚きすると割切っている。「発電もする給湯器」と言われる所以である。一方、エコキュートも本体は決して安いとは言えないので、消費者の財布を考えたらPEFCと同様の設計をしてもよさそうなものであるが、熱出力も貯湯槽もかなりオーバースペックである。給湯需要をこれだけで賄うという思想であり、基本的にお湯切れしないようにお湯を必要最大量貯められるように設計されている。つまり、これはヒートポンプの蓄エネルギー機能を優先した結果であり、深夜電力需要の掘起こしを狙ったものと理解できる。「給湯もする蓄エネルギー装置」である。冷凍サイクルや熱機関は、熱源にバッファがあれば蓄エネルギー機能と需給変動調整機能があり、これが電力会社のニーズにフィットしたことがエコキュート成功の第3の要因と考えられる。エコキュートはすでに累積出荷台数が200万台を超えているので、電気入力を1台約1kWとして、大型の揚水発電所2基程度、小型であれば数基程度分のボトムアップ効果をすでに担っていることになる。エネルギーを貯めるという単一機能しかない揚水ダムやバッテリーを高いお金をかけてまで設置することからもわかるように、エネルギーを貯められることのメリットは電力会社にとって非常に大きいのである。消費者には安い深夜電力料金の形で還元されている。

このように、エコキュートの成功は、空気でお湯を沸かすから地球に優しいというような単純な図式では説明が難しい。

各ステークホルダの思惑、量産効果、蓄エネルギー機能といった、これまで小型のエネルギー機械ではあまり考慮されてこなかったような複数の効果を戦略的に取揃えたことが成功の大きな要因といえる。エコキュートから学び、新たな視点を導入した第2のエコキュートが出現することを期待したい。

3. 次世代技術導入と量産効果

エコキュートに限らず、新しい技術の導入は大きな困難が伴う。表1は、自民党政権時代の中期目標検討委員会に提出された資料⁸⁾で、少し時間が経ってしまったものであるが、広く公開されていて透明性の高いデータであるので使用させて頂く。本表は、数ある省エネルギー対策技術の費用対効果を検討した結果である。イニシャルコストの増加をランニングコストの低下で回収できれば右端2列の数字がマイナス(表では括弧付きの数字)に、回収できなければプラスで表示してある。この表によれば、ヒートポンプ給湯器に代表される家庭用高効率給湯器のCO₂1トンあたりの削減コストは18,427円となっており、次世代自動車の21,507円に次いで高コスト技術の下から第2位と試算されている。業務用給湯器も太陽光発電に次ぐ下から第4位にランクインしている。これでは排出権取引で海外から排出権を買ってきた方が安いのではないか、という議論が出てくるのも仕方ない。これらの製品は高コストではあるものの、低炭素社会に向けたわが国の競争力を担う基幹製品として、補助金や税優遇等の政策誘導により普及を図るべき技術として位置付けられよう。しかしながら、省エネルギーを大義名分に国民に大きな経済的負担をかけることに変わりはない。一方で、本当にこんなにコストは高いのだろうか、もっと安くならないのだろうか、という疑問も湧く。お金持ちだけではなく誰でも使えるようなものにならない限り、本当の意味での省エネルギー技術には成り得ない。

興味深いことに、上述の省エネルギー対策項目の検討結果の低コスト技術の第3位に高効率空調機がランクインしている。CO₂1トンあたりの削減コストはマイナス21,467円である(マイナスというのは、導入することでCO₂が削減できる上に、儲かるということである)。空調機とヒートポンプ給湯器は、冷凍サイクルを利用しており、冷媒は異なるものの技術的にはほとんど共通である。同じ技術なのに超優等生と超劣等生に大きく分かれてしまうのはなぜだろうか？これは、ヒートポンプ給湯器が燃焼式給湯器の代替技術なのに対し、高効率空調機は同じ冷凍サイクルを用いた効率の悪い空調機の代替だからである。すでに述べたことだが、燃焼に基づいた技術を置換えるということは、かくも難しいのである。一方で、これも繰返しになるが、エコキュートはエアコンの量産技術を使っているため、すでに非常に低コストな技術となっている。しかし、これをもっと安くしなければならない。以下、更なる低コスト化の可能性について考えてみよう。

図3は、各種量産製品の重量と1台あたりの出荷金額である。このように、多くの大量生産製品は重さあたりで価格がほぼ決まっていて、比例に近い関係にあることがわかる。つまり、第一次近似的には「量産品のコスト≒材料費」となっている。素材メーカーへの購買力が高い重量物の方が重さあたりの価格は安い、乗用車で平均約1,500円/kg、他の白物家

電で2,000円/kg程度である。素材価格とそれほど大差ない価格で、消費者は様々な機能を持った製品を買えるということであり、あらためて量産効果の偉大さがわかる。この量産技術を使うことが次世代省エネルギー技術のコストの壁を乗り越えるための必須条件である。その上で軽く小さくすることである。単価が下がるのは売る側には嫌な話ではあるが、広く省エネルギー技術を広めるためには、これは仕方がない。それでは、このことをエアコンを例に考えてみよう。図4に、代表的なエアコンメーカー3社のカタログデータから調べた性能(冷暖平均COP)と製品重量、およびインターネットで調べた最低実売価格の関係を示す。塗りつぶし記号が高級機種、白抜き記号が普及機種である。普及機種でも低容量であればかなり性能が高いことがわかる。例えば、普及機種の2.5kW機は、高級機種の4.0kW機とほぼ同じCOPである。一方、それぞれの実売価格には3倍ほどの開きがある。つまり、高級機種の4.0kWを1台買うのと、普及機種の2.5kW機を3台買うのは金額的には同じであるが、合計した冷房能力は2倍近く普及機種の方が大きいということになる。もちろん、調湿やフィルタ掃除等の追加機能には差があるが、最も重要な基本機能だけで考えると普及機種はかなりお買い得と言える。図4(c)は、冷房能力あたりの製品重量である。製品重量は売価や性能とは異なり、冷房能力に対してあまり変わらない。これは、ハードとしては高級機種と普及機種の基本的に2種類しかないということを意味している。重量からわかるように、高級機種と普及機種は大型機種と小型機種と言換えることもできる。同じハードを小容量から大容量まで展開すると、小容量では能力に対して相対的に熱交換器や風量が大きくなり、図4(a)のように小容量ほど高性能になるのである。つまり、大容量で設計されたものを小容量に展開するのは安くできない。はじめからきちんと容量ごとに適切な設計をすることが、安さと高性能を両立させるための鍵となる。メーカーにとっては、利幅の小さな小型機をよくしてしまうと、儲かる大型機が売れなくなって困るという声もあるだろうが、それでは自動車のビッグスリーと同じ道である。空調や給湯は能力が測りにくいので消費者が判断しにくい面はあるが、ピックアップトラックのような製品の市場はいずれ縮小し、代わりにタタ自動車のような市場が成長するのである。そうだとすれば、メーカーが先頭を切ってそのような製品を開発するしかない。政府のエコポイント制度も、現状は大型になるほど基準が甘くなっているが、本当は小型でよいものを普及させるようにすべきである。また、近年エアコンやヒートポンプの実使用下での性能がカタログ値と解離している可能性が指摘されているが⁹⁾、能力が負荷に対して過大となっていることが大きな要因の一つとして挙げられる。エアコンの稼働時間のほとんどは定格能力の半分以下で動いているという報告もある¹⁰⁾。せっかく高くて大きいものを買っても、負荷とマッチしていなければ性能は逆に落ちてしまう。先に述べたヒートポンプ給湯器とPEFCの比較にも同じようなことが言える。ヒートポンプも給湯能力を1kW程度にした方が4.5kWよりも本当は安くなるはずである。エアコンがたまたま4.5kW程度の暖房能力で数多く出回っているからそれを流用しただけの話である。能力が1kW程度の専用設計機種が出てくれば、エアコンや給湯器も俄然面白くなってくる。給湯や空調分野も、相対的に高価な技術は可能な限り容

表 1 技術項目の費用対効果⁸⁾

最大導入ケース対策項目の検討 (2020 年)

(ただし、すべての対策項目についてではなく、建築物省エネ等、一部の対策項目については除外した項目についての検討)

※これまでに各機関より提出されたデータ等を基に、最大導入ケースに含まれる一部の対策について、対策設備の使用年数を前提として省エネメリット (燃料の削減等によるコスト削減額)、税負担、金利を考慮したネットコスト^{*1}を試算した。※使用年数を前提とし、2020 年の CO₂ 削減量とネットコストより CO₂ 削減コスト^{*2}を試算した。

※下記の表中、かっこ内赤字のコストは対策導入による「メリット」(燃料の削減等による省エネメリット)である。

	部門		対策項目	技術導入		CO ₂ 削減量 (2020 年)	CO ₂ 削減量 (項目ごと 加算)	CO ₂ 削減 コスト*2 円/CO ₂ トン	使用 年数 ベースの ネット コスト*1 億円
				使用 年数	初期 投資				
				年	億円	万トン CO ₂	万トン CO ₂		
1	産業	製鉄	電力需要設備効率の改善	15	1,600	42	42	(49,973)	(3,148)
2	産業	製鉄	省エネ設備の増強	30	1,500	74	116	(26,425)	(5,866)
3	産業	業種横断	高効率空調	15	116	61	177	(21,467)	(1,965)
4	産業	紙パ	高効率古紙パルプ製造技術	30	55	15	192	(18,180)	(818)
5	産業	化学	バイオマス資源を活用したプロピレン製造技術	30	213	58	250	(17,756)	(3,100)
6	産業	化学	内部熱交換型蒸留塔	50	669	52	302	(16,254)	(4,185)
7	産業	化学	膜分離による蒸留プロセスの省エネ化技術	30	814	94	396	(15,948)	(4,497)
8	転換	電力	風力発電	20	2,640	155	551	(15,916)	(4,934)
9	産業	業種横断	高性能工業炉	15	150	154	704	(15,792)	(3,636)
10	産業	化学	熱併給発電技術（CHP）	30	400	42	746	(15,101)	(1,907)
11	産業	業種横断	産業 HP（加温乾燥）	15	293	29	775	(14,738)	(640)
12	産業	業種横断	高性能ボイラ	15	300	124	899	(14,493)	(2,687)
13	産業	化学	低温排熱の回収システム構築	30	427	34	933	(14,305)	(1,476)
14	産業	化学	ガスタービンの普及	30	500	38	972	(14,070)	(1,621)
15	民生	高効率照明	LED 照明、有機 EL 照明	10	13,000	288	1,260	(13,837)	(3,988)
16	産業	紙パ	廃材等利用技術	30	920	108	1,368	(13,452)	(4,358)
17	民生	省エネ型ネットワーク デバイス、情報機器	ネットワーク・情報通信機器 （ルータ、サーバ、ストレージ）	5	44,900	1,488	2,856	(13,128)	(9,768)
18	民生	高効率空調	高効率セントラル空調、 高効率マルチ空調	15	3,330	382	3,238	(9,795)	(5,613)
19	産業	紙パ	高温高压型黒液回収ボイラ	30	600	23	3,261	(8,460)	(584)
20	民生	省エネ型ディスプレイ	低電力液晶ディスプレイ、プラズマ ディスプレイ、有機 EL ディスプレイ	10	26,200	401	3,662	(7,431)	(2,981)
21	産業	化学	ナフサ接触分解技術	30	717	23	3,685	(7,350)	(514)
22	産業	製鉄	廃プラスチックの製鉄所でのケミカル リサイクル拡大	30	280	163	3,848	(6,693)	(3,273)
23	産業	化学	熱併給発電技術（CHP）の効率化	30	3,327	105	3,954	(5,439)	(1,718)
24	民生	高効率給湯器	太陽熱利用	15	2,473	107	4,061	(3,377)	(544)
25	産業	セメント	省エネ設備導入	30	193	18	4,079	(972)	(52)
26	産業	セメント	燃料代替廃棄物（廃プラ等）利用技術	30	73	21	4,100	(523)	(33)
27	産業	製鉄	SCOPE21 型コークス炉	50	3,300	120	4,220	(23)	(14)
28	民生	トップランナー家電	トップランナー家電	10	28,300	1,048	5,269	3,561	3,734
29	産業	製鉄	自家発・共同火力発電設備の高効率 化更新	30	6,000	105	5,374	4,524	1,425
30	民生	建築物の省エネ空調等	BEMS	15	14,300	624	5,997	5,079	4,753
31	民生	省エネ住宅	住宅の省エネ性能向上	30	46,600	728	6,726	13,274	28,994
32	民生	業務用給湯等	業務用 HP、コージェネ、FC	15	11,700	258	6,984	13,773	5,330
33	転換	電力	太陽光発電	30	67,100	372	7,356	14,708	16,414
34	民生	高効率給湯器	家庭用 HP、潜熱回収式給湯器、コージェ ネ、FC	15	41,900	799	8,154	18,427	22,079
35	運輸	次世代自動車・燃費向上	ハイブリッド自動車、電気自動車、 プラグインハイブリッド自動車、 燃料電池自動車、クリーンディー ゼル自動車、天然ガス自動車	15	119,000	2,100	10,254	21,507	67,748
		総計			443,888	10,254			76,556

^{*1} ネットコスト = 省エネメリットを含めたコスト = (初期投資) + (税負担) + (金利 (法定耐用年数)) - (省エネメリット) × (使用年数)

税負担: 償却資産に係る固定資産税として算出

税負担 = $\sum ((\text{前年評価額}) \times (1 - \text{減価率}) \times 1.4\%)$ 1.4% は標準税率、減価率は法定耐用年数に応じて決定

金利: 初期投資費用を年間定額ずつ支払う場合に発生する金利

金利 = (初期投資額) × ($\eta - 1$)初期投資費用に対して実際に支払う金額の比率を η とする。金利を年率 3% とし、支払い年数 (法定耐用年数) に応じた比率 η を使用

省エネメリット: 対策導入の結果としての燃料削減等によるコスト削減額

^{*2} CO₂ 削減コスト = (ネットコスト) / ((対策別 2020 年 CO₂ 削減量) × (使用年数))

図3 量産品の出荷額と重量

量を下げて稼働率を上げ、安価な技術はごくまれに発生するピーク対応として備えておく「過給ダウンサイジング」という設計に到着するのは時間の問題であろう。先に述べたように燃焼式は能力あたりでは極めて低コストなので、多少効率が低くても積分した消費量が多くなければ、これを瞬間的に使うことには経済合理性がある。ベースロードをきちんと設計して、ピークは安く補うべきである。安く誰でも買える本当のユビキタスヒートポンプ市場を日本に立上げなければいけない。海外メーカが攻めてくる前に、国産メーカにこのような製品を是非仕掛けてもらいたい。

4. 熱交換器の材料転換

わが国のエアコンの省エネルギー技術は客観的に見ても圧倒的に進んでいる。エアコンでやったことを他の製品でも実行すれば、社会全体の省エネルギーもきっと大きく進むはずである。それでは、エアコンの省エネルギー技術とは、具体的には何であろうか。もちろん、圧縮機やモータ等の効率向上の貢献もあるが、総合資源エネルギー調査会の報告書¹¹⁾にもあるように、実は「熱交換器の大型化による省エネルギー改善が大きな要素」となっている。大型化が最も確実な省エネルギー技術であり、それに伴うコストアップを抑えることが、すなわち省エネルギー技術開発だったのである。しかしながら、昨今の素材価格の高騰や新興国の需要増加を考えると、これまでのエアコンと同じようなアプローチを使ってこれからの省エネルギーを進めることはかなり難しいと言える。エネルギー効率向上のためには性能の高い熱交換器が不可欠である。しかも安くなければ意味がない。地味だが大変重要なテーマである。熱交換器の機能はまさに熱を交換することであり、その開発の歴史は長く高機能化の余地はあまり大きくない。となると、同じ機能をありふれた安い材料で実現することが今後の開発の方向となろう。以下は先に報告した内容³⁾であるが、銅などの熱伝導率も高い素材から、熱伝導率の低い素材への代替可能性についてあらためて紹介する。

熱伝導率の高い素材を使う主な理由は、フィン（拡大伝熱

図4 ルームエアコンの (a) 冷房能力対 COP, (b) 冷房能力対販売価格, (c) 冷房能力対重量

面)があるためである。なぜフィンを用いるかというと、熱伝導率の小さい空気のような流体に熱を伝えるためには、伝熱面積を増やして熱伝達率の低下を補う必要があるためである。ただし、これはチューブ径が太い場合の話で、改めて考えてみると極めて細いチューブを多数並べれば、それだけでチューブ表面積も増えることになるので、最終的にはフィンがなくても伝熱面積が確保できるようになるはずである。しかも、チューブ自体が細いのでコンパクトにもなる。図5に、扁平管を用いたフィンレス熱交換器と従来型の熱交換器の同一性能 (KA 値) あたりの体積を比較した例を示す¹²⁾。扁平管自体の厚みを 0.5mm 以下にすれば、従来熱交換器よりもコンパクト化が可能との結果が得られた。フィンがないので熱伝導率によらず任意の素材を用いることもできる。薄肉化できれば、軽く安くもなる。このような考えで、図6に示す

図5 熱交換器の比較

図6 SUS フィンレス熱交換器

ような SUS 製のフィンレス熱交換器を試作した。SUS の熱伝導率は銅の約 1/25 であるが、それでも高性能でコンパクトになる。母材の熱伝導率はほとんど性能に効かないので、これを樹脂で作ったとしても性能はほとんど変わらない。いくつかの用途で実際にサンプル評価中であるが、熱機関や燃料電池の排熱や機器冷却などで、可能性があるのではないかと感触を持っている。この SUS フィンレス熱交換器は、現在は耐圧の課題があるため、そのままエアコンやヒートポンプ給湯器に用いるのは難しいが、このような考え方で熱交換器の

材料が変わっていく可能性はある。熱交換器の素材転換はドラスティックな変化をもたらすが、先んずれば大きな果実が得られるチャンスでもある。

5. おわりに

21 世紀になり、従来の技術体系ではこの繁栄を持続できないとの認識が国民全体に共有されつつある。エネルギーに関しても、わが国の省エネルギーはもはや乾いた雑巾を絞るようだとよく言われるが、果たして本当にそうなのであろうか。エネルギーを取巻く環境が大きく変化している中、もう一工夫すれば新しい技術や製品が出現する可能性は十分にあると思われる。空調・給湯分野でも、ヒートポンプ技術を真の意味で有効な省エネルギー技術として普及させるためには、とにかく大幅な低コスト化を達成して、発展途上国の人々でも買える製品としなければならない。従来の枠組みを超えた大胆な視点と、低価格を実現する地道な技術開発が必要である。

参考文献

- 1) 通産省工業技術院, 新エネルギー技術研究開発計画 (サンシャイン計画), 日本産業技術振興協会, (1974).
- 2) 通産省工業技術院ムーンライト計画推進室, ムーンライト計画 10 年の歩み, 日本産業技術振興協会, (1988).
- 3) 鹿園直毅: 小温度差熱利用技術の可能性, 季刊すまいろん, 住宅総合研究財団, 2008 年夏号, (2008), 54-58.
- 4) リンナイ株式会社デジタルカタログ, http://rinnai.jp/catalog_download/.
- 5) 株式会社コロナカタログ, http://www.corona.co.jp/question/index_catalog_dl.html.
- 6) 財団法人ヒートポンプ・蓄熱センター HP より, 2009, http://www.hptcj.or.jp/information/whatsnew_bn/topics097.html.
- 7) 東京ガス株式会社ホームページ, <http://www.tokyo-gas.co.jp/pefc/index.html>.
- 8) 中期目標検討委員会第 7 回資料 (2009) より <http://www.kantei.go.jp/jp/singi/tikyuu/kaisai/dai07tyuuki/07gijisidai.html>.
- 9) 朝日新聞 2010 年 6 月 24 日夕刊
- 10) 井上常俊: 家電機器のトップランナー技術の現状とエネルギー使用実態, 主要個別機器の効率改善状況, 2) エアコン, エネルギー・資源, 25-5 (2004) 321-324.
- 11) 総合資源エネルギー調査会, 省エネルギー基準部会エアコンディショナー判断基準小委員会最終取りまとめ, (2006).
- 12) N. Shikazono, D. Okawa, M. Kobayashi, N. Kasagi, T. Waki, I. Kandori and S. Hataya: Research and Development of High-Performance Compact Finless Heat Exchanger, Proc. 6th Int. Conf. on Enhanced, Compact and Ultra-Compact Heat Exchangers: Science, Engineering and Technology, (2007), CHE2007-0017.