

インバータと高効率ロータリコンプレッサを用いた ヒートポンプ給湯機

Heat Pump Hot-Water Supply System Applying High-Efficiency Rotary Compressor and Inverter

奥田 健志 田邊 智明 角田 和久

■ OKUDA Kenji ■ TANABE Tomoaki ■ SUMIDA Kazuhisa

ヒートポンプは、再生可能エネルギーである空気の熱を用い、高効率であることから、従来のガス燃焼式給湯機と比較して、エネルギー消費に伴う二酸化炭素 (CO₂) 排出量を大幅に削減できる。そのため家庭用、業務用ともにヒートポンプ給湯機のニーズが高まりつつある。

東芝キャリア(株)はこれに応えるため、エアコンで培ったインバータ技術と高効率ロータリコンプレッサを採用したヒートポンプ給湯機を開発した。家庭用、業務用いずれもトップレベルの省エネ性能と使い勝手の良さを備えており、幅広いニーズに対応することができる。

Demand is increasing in both the household and industrial sectors for heat pump hot-water supply systems incorporating a high-efficiency heat pump. Such systems are considered to be renewable energy systems due to their dramatic reduction of carbon dioxide (CO₂) emissions compared with conventional gas-fired hot-water supply systems.

In response to a broad range of market needs, Toshiba Carrier Corporation has developed a heat pump hot-water supply system featuring energy-saving performance and user-friendly functions utilizing our core technologies including inverter technology, which we have cultivated through the development of air conditioners, and a high-efficiency rotary compressor.

1 まえがき

わが国では、家庭及び業務で使用されるエネルギーの、それぞれ約1/3及び約1/5が給湯に使われ、冷暖房と並んで大きな比率を占めている。更に、業務用では、そのほとんどが化石燃料である石油などを使ったボイラーで賄われている。しかし、COP3(気候変動枠組条約第3回締約国会議)による京都議定書をはじめとする環境政策や省エネへの意識の高まりなどにより、再生可能エネルギーである空気の熱を用いたヒートポンプ給湯機の需要が高まりつつある。

そこで東芝キャリア(株)は、当社のコア技術であるインバータとロータリコンプレッサを採用して、自然冷媒であるCO₂を用いた家庭用給湯機と、HFC(ハイドロフルオロカーボン)冷媒R410Aを用いた業務用のヒートポンプ給湯機を開発した。

ここでは、それぞれの概要と特長について述べる。

2 家庭用自然冷媒CO₂ヒートポンプ給湯機

家庭用のヒートポンプ給湯機は、夜間電力を利用した貯湯式で、毎分約1Lのペースで市水を65℃以上の湯に沸き上げる、低水量で高温度差のシステムである。また、安価な夜間電力が利用できるためにユーザーメリットもあり、熱源として着実に普及してきた。なかでも、エコキュート^(注1)は低水量で高温度差のシステムに向き、かつ温暖化係数が、冷媒として一

般に用いられているR410Aに対し1/1,700と低い、CO₂冷媒を採用している。更に、高効率なヒートポンプ用機器であることから国の補助金の対象となり、2001年に登場して以来急速に伸長している。

当社が2009年に開発した給湯機では、CO₂冷媒の採用をはじめ、水熱交換器の高効率化、低騒音・高効率ファンの採用、貯湯タンクの断熱性能改善など業界トップレベルの性能を達成するとともに、小形エアコンをはじめとした当社製品の共通コンセプトである“省エネ見える化”を実現した。

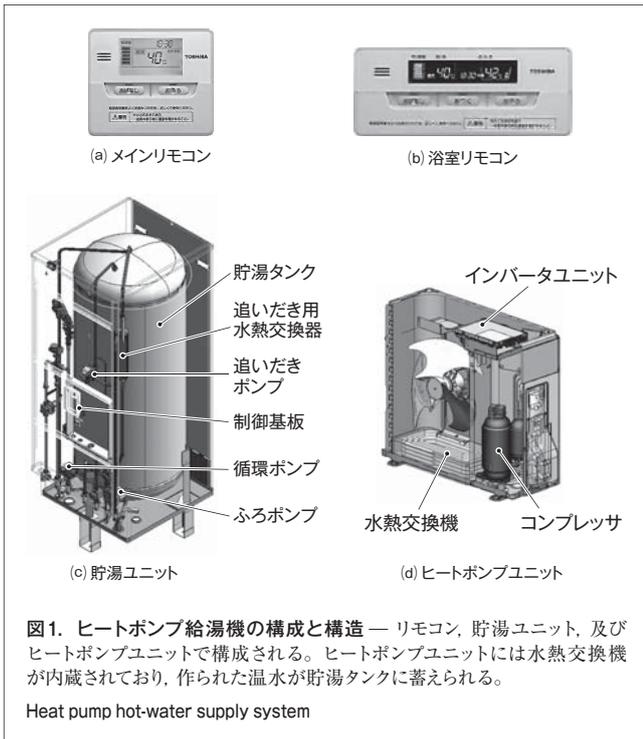
2.1 構造

開発したヒートポンプ給湯機の構成と構造を図1に、冷媒回路及び水配管系統を図2に示す。

今回開発した製品は、給湯用途以外に浴槽の自動湯張りや自動保温ができるフルオートタイプで、ヒートポンプユニットの出力は4.5kW及び6kW、貯湯タンクの容量は370L、460L、及び560Lをラインアップし、用途に応じて組み合わせることができる。

一例として、出力4.5kWで貯湯タンク容量370Lの機種の主な仕様を表1に示す。

(注1) CO₂冷媒を使用したヒートポンプ貯湯式給湯機で、APF(年間給湯効率:日本冷凍空調工業会標準規格JRA4050-2007で規定され、1年を通じてある一定条件で運転したときの加熱能力を消費電力で割った値)が2.7以上、中間期騒音が45dB以下の給湯機の総称(APFと中間期騒音の値は2009年4月現在)。エコキュートは、関西電力(株)の登録商標。



2.2 特長

ここでは、この製品に採用した当社独自の技術とその特長について述べる。

2.2.1 高効率CO₂コンプレッサ 搭載したCO₂コンプレッサの構造を図3に示す。

表1. ヒートポンプ給湯機の仕様例 (出力4.5 kW, 貯湯タンク容量370 Lタイプ)

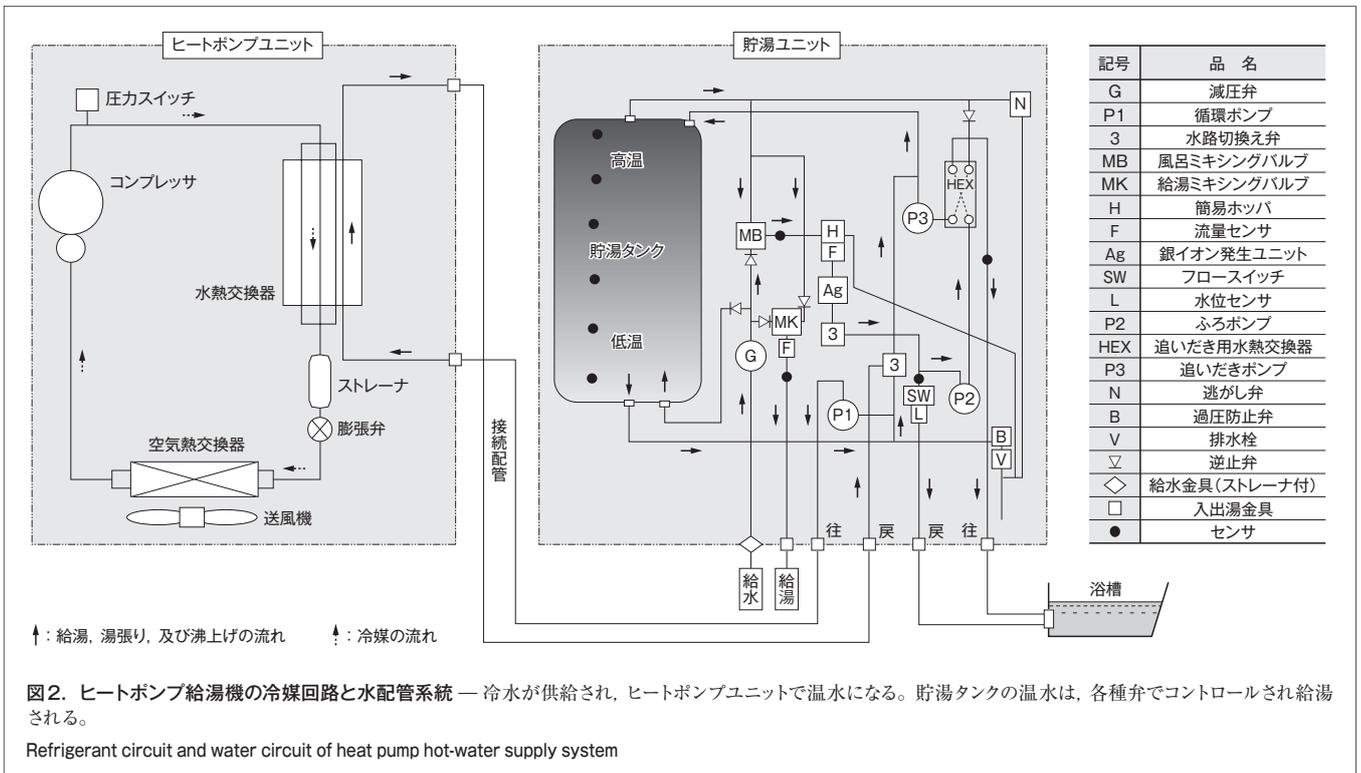
Specifications of heat pump hot-water supply system

項目		仕様	
貯湯ユニット	機種名	HWH-FB370C	
	タンク容量	370 L	
	外形寸法	630 (幅) × 1,800 (高さ) × 730 (奥行き) mm	
	質量	69 kg	
ヒートポンプユニット	機種名	HWH-450CU	
	外形寸法	820 (幅) × 720 (高さ) × 320 (奥行き) mm	
	質量	58 kg	
給湯性能	中間期 室外16℃ 水溫17℃	能力	4.5 kW
		消費電力	0.98 kW
		COP	4.6
	騒音	中間期	38 dB
使用冷媒 (冷媒封入量)		CO ₂ (0.9 kg)	
APF		3.3	

CO₂冷媒を用いるときの最大の課題は、空調用の冷媒(R410A)に対して、動作圧力が4 MPaから12 MPaへと3倍にも高くなることである。

高圧部と低圧部の圧力差が大きい環境では、しゅう動部の摩耗と高圧冷媒の漏れが問題となる。これらを防止するため、以下の新技術を採用している。

- (1) しゅう動部の摩耗防止 圧縮機構部の主要部分を図4に示す。低圧室と高圧室を仕切るため、ベーンに背圧と差圧を作用させ、回転ピストン外周とシリンダ溝の側



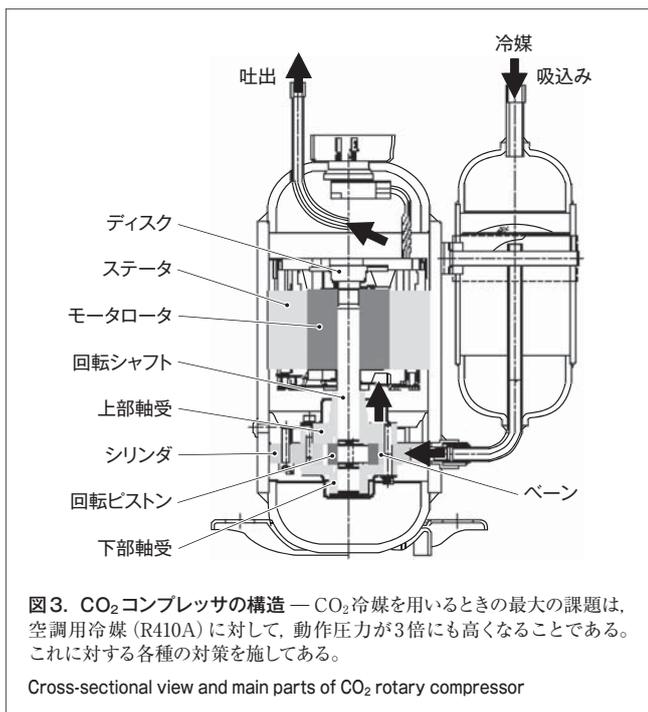


図3. CO₂コンプレッサの構造 — CO₂冷媒を用いるときの最大の課題は、空調用冷媒 (R410A) に対して、動作圧力が3倍にも高くなることである。これに対する各種の対策を施してある。

Cross-sectional view and main parts of CO₂ rotary compressor

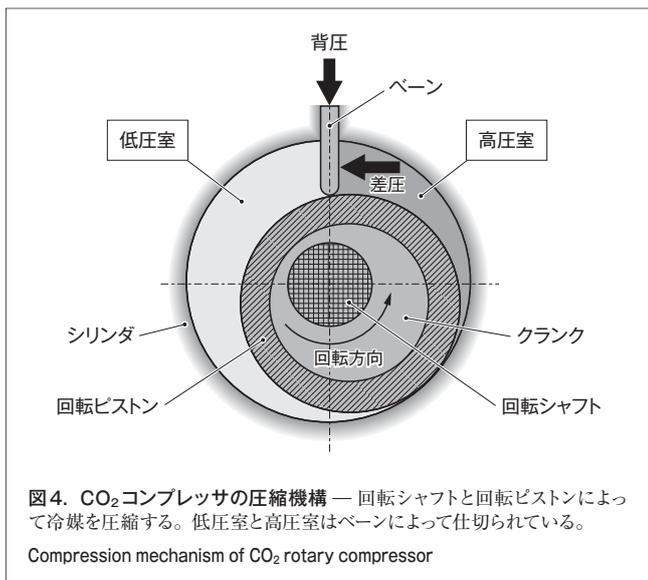


図4. CO₂コンプレッサの圧縮機構 — 回転シャフトと回転ピストンによって冷媒を圧縮する。低圧室と高圧室はベーンによって仕切られている。

Compression mechanism of CO₂ rotary compressor

面に押しつける構造となっている。このベーン先端と回転ピストンの接触面、及びベーン側面とシリンダ溝の接触面の2か所が非常に厳しいしゅう動部になる。ここでの摩擦を防ぐため、CO₂コンプレッサのベーン用として、当社独自のDLC (Diamond Like Carbon) コーティング処理を開発した。コーティング層を多層から成る構造とし、DLCの下層部分には複数の硬度傾斜層を設けることで密着性を向上させている。

(2) 高圧冷媒の漏れ防止 CO₂冷媒を用いる場合、圧縮部のクリアランス寸法が従来冷媒の場合と同じ値では

高圧冷媒の漏れが増加し、性能が低下する。そこでシール部回りの給油量やクリアランスを最適化し、圧縮室のシール性を維持している。

また、次の特長を持つモータを新規に開発して適用した。

- (1) ガス通路穴の設置
- (2) オイル分離用ディスクの設置
- (3) 樹脂材料及びマグネット材料の耐熱性向上

(1)と(2)により、サイクル内の流体循環量に占める油循環率を低減させ、ヒートポンプユニットとして高い熱交換特性を実現した。

今回開発したCO₂コンプレッサでは、これらの技術によって業界トップクラスの成績係数COP 4.6を達成した。

2.2.2 水ポンプ及び水熱交換器の高効率化 水配管システムには水を循環させるために3台のポンプが設置されるが、すべてのポンプに効率の良いDC (直流) ポンプを採用した。

室外ユニットの冷媒と水の間で熱を交換するための水熱交換器として、水管の外周を複数の冷媒配管でらせん状に取り巻くことによって、コンパクトで効率の良い構造を開発した(図5)。

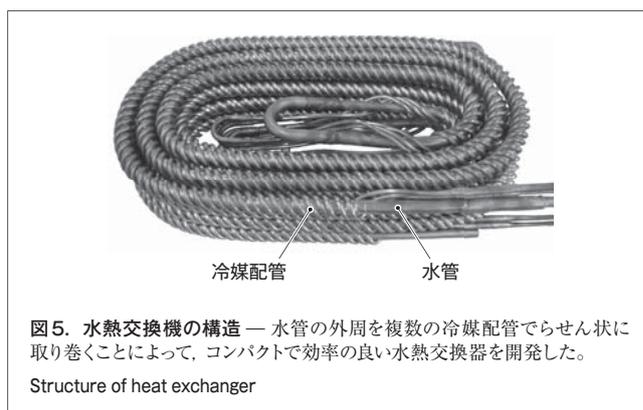


図5. 水熱交換機の構造 — 水管の外周を複数の冷媒配管でらせん状に取り巻くことによって、コンパクトで効率の良い水熱交換器を開発した。

Structure of heat exchanger

また、ヒートポンプ給湯機は夜間電力を利用して湯を沸かすため、当社は、ユーザーの湯の使用量を検知、予測して効率良く湯を沸き上げる独自の学習モードを従来から採用している。これに加えて今回の開発機種には、水温や外気温度を考慮して、コンプレッサをもっとも効率の良い回転数で運転する機能を持たせて、沸上げに必要な電力量を抑えている。

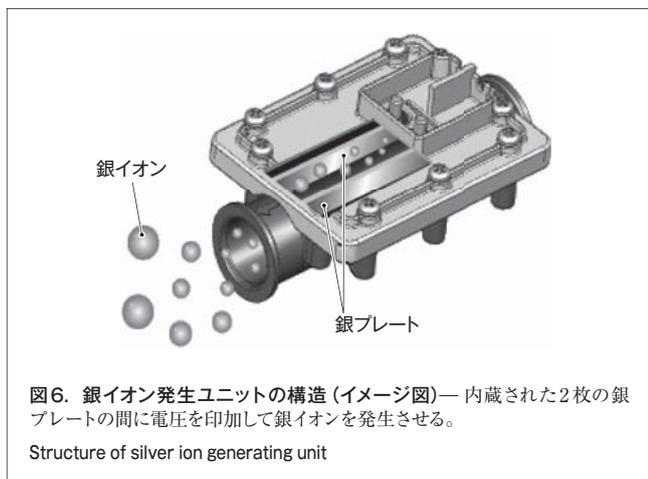
一方、貯湯タンクからの放熱損失を抑えるため、断熱構造も見直した。

以上の施策などによって年間給湯効率APF 3.3を達成した。

2.2.3 低騒音化と省エネ見える化 ヒートポンプ給湯機は、通常、深夜から未明にかけて稼働するため、運転音の低減が要求される。この機種では、新開発の大口径プロペラファンによる特定周波数の共振抑制と、室外ユニットの遮音構造により、従来機種と比べて3 dBの騒音低減を図った。

また、浴室リモコンには追いだき中の浴槽湯温や使用湯量をリアルタイムで表示し、ユーザーの省エネ意識の向上を図っている。

2.2.4 銀イオン発生装置 浴槽への湯張り回路には、家庭用給湯機では業界初^(注2)となる銀イオン発生ユニット(図6)を搭載し、浴槽水の水質を保持している。銀イオンの発生には、対向する2枚の銀プレート間に電圧を印加する方式を採用している。電源回路には、酸化銀が生成されて黒色の粒子が多量に発生するのを抑えるために極性を定期的に変更する回路及び、銀イオンの濃度と銀プレートの寿命を制御するための定電流回路を備えた。



3 業務用ヒートポンプ給湯機

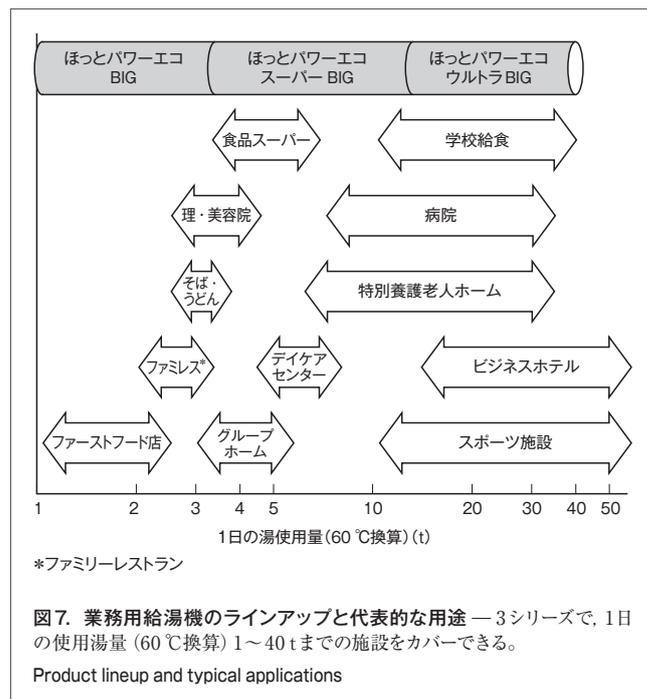
前述のとおり、業務用に使用するエネルギーのうち、給湯が約1/5を占め、そのほとんどが石油などの化石燃料を用いた燃焼式給湯機によるものである。燃焼式給湯機は燃焼効率が1以下のため、これをヒートポンプ給湯機に置き換えることで、大幅なCO₂排出量の削減と省エネが可能となる。

当社はこのような背景を踏まえ、業務用のヒートポンプ給湯機を開発し、2004年から製品化している。当社のシステムでは、貯湯タンク保温と給湯循環保温にも再加熱用ヒートポンプユニットを用いることで、システムとしての効率向上を図っている。再加熱用ヒートポンプユニットは、貯湯タンク保温回路で60℃の湯を64℃に、循環回路では55℃の湯を60℃に加熱する低温度差のシステムであり、冷媒にはR410Aを採用した。

3.1 製品ラインアップ

当社の業務用給湯機のラインアップを図7に示す。当社の業務用給湯機は“ほっとパワーエコ BIG”、“ほっとパワーエコ スーパーBIG”、“ほっとパワーエコ ウルトラBIG”の3シリーズで商品展開しており、1日の給湯量が1t程度のファース

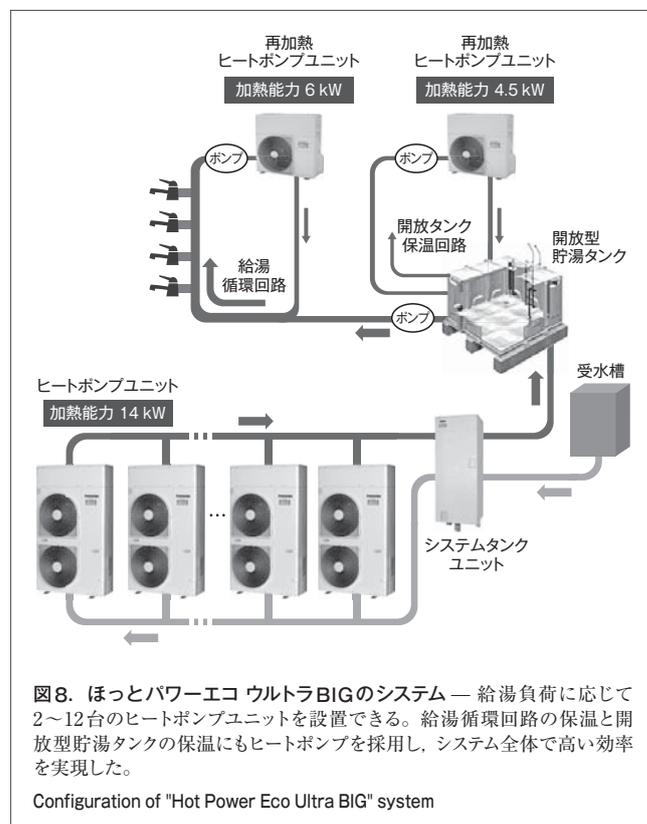
(注2) 2009年11月現在、当社調べ。



トフード店から、1日に40tという大量の湯を使用する学校給食や、ビジネスホテル、スポーツ施設などまでをカバーできる。

3.2 構造

業務用ヒートポンプ給湯機は、業務用空調機で培った高効率化技術を応用して開発した。ヒートポンプユニットは、業務



用空調機の室外機の上に水熱交換器、DCポンプ、制御ユニットなどを設置した構造となっている。

3.3 ほっとパワーエコ ウルトラBIG

ここでは、1日最大40tの給湯能力を持つ、ほっとパワーエコ ウルトラBIGの特長について述べる。

ほっとパワーエコ ウルトラBIGは、ヒートポンプユニット、開放型貯湯タンク、及び再加熱ユニットから構成される(図8)。このシステムの特長は以下のとおりである。

- (1) 給湯負荷に応じて、2～12台のヒートポンプユニットを選択できる。
- (2) 設置自由度が高く、瞬間出湯が可能な開放型貯湯タンクを採用した。
- (3) 開放型貯湯タンクと二次側配管用の再加熱ユニットにもヒートポンプを採用した。

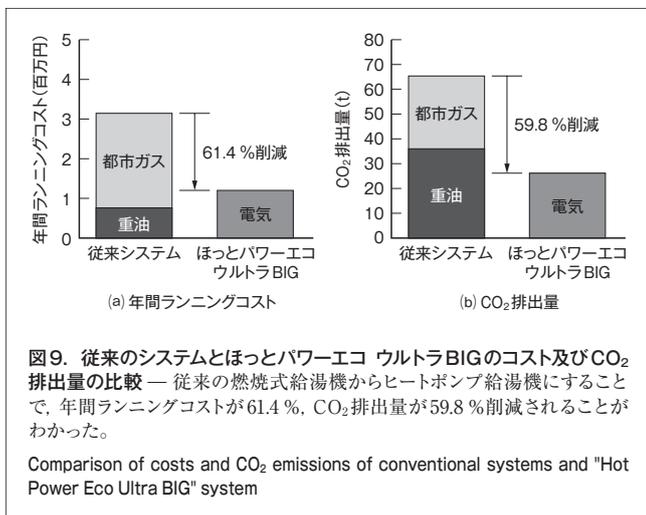


表2. コスト及びCO₂排出量の計算原単位

Units of cost and CO₂ emission of each energy source

項目		原単位		
電気*1	コスト	夜間	9.20円/kWh	
		昼間	夏期	15.92円/kWh
			夏期以外	14.56円/kWh
	基本料金	46,511円/月		
CO ₂ 排出量		0.332 kgCO ₂ /kWh		
重油	コスト*2		56.50円/L	
	燃焼エネルギー		9,341 kcal/L	
	燃焼効率		80%	
	CO ₂ 排出量		2.710 kgCO ₂ /L	
都市ガス*3	コスト		184.48円/m ³	
	基本料金		1,228.50円/月	
	燃焼エネルギー		10,750 kcal/m ³	
	燃焼効率		85%	
	CO ₂ 排出量		2.290 kgCO ₂ /m ³	

*1: 電気の前単位は、東京電力(株)2008年度実績値による

*2: 重油のコストは、(財)日本エネルギー経済研究所 石油情報センターの2009年度平均値による

*3: 都市ガスの前単位は、静岡ガス(株)2008年度実績値による

この給湯システムを当社の独身寮に設置して、2008年8月から2009年7月にかけてフィールドテストを行った。従来、ふろへの給湯は重油ボイラーで、シャワーへの給湯はガス給湯機で行っていた。従来のシステムとほっとパワーエコ ウルトラBIGのコスト及びCO₂排出量の比較を図9に、コスト及びCO₂排出量の試算に用いた原単位を表2に示す。燃焼式給湯機からヒートポンプ給湯機にすることで、年間ランニングコストが61.4%、CO₂排出量が59.8%削減される試算結果が得られ、実使用でも高い効率が検証できた。

4 あとがき

当社で開発した家庭用CO₂ヒートポンプ給湯機と業務用ヒートポンプ給湯機は、高効率ロータリコンプレッサとインバータ技術により高い省エネ性能を実現している。

家庭用ヒートポンプ給湯機の更なる普及のためには、搬入と設置の自由度が高くなる貯湯ユニットのコンパクト化や、それに伴う瞬間沸上げの技術及び断熱技術が必要になる。また、ゼロエミッションコンセプトに従ったヒートポンプ、排熱回収、蓄熱、蓄冷などの技術を融合し、未来型キッチンシステムへの展開を図っていく。

業務用ヒートポンプ給湯機では、浴槽の保温・加温システムや、太陽熱などの他熱源とのハイブリッドシステム機器の開発が今後の課題である。

今回当社が開発したヒートポンプ給湯機のよりいっそうの普及を図り、CO₂排出量の削減に貢献していく。



奥田 健志 OKUDA Kenji

東芝キャリア(株)技術本部 給湯・温水設計部グループ長。国内向け給湯・温水機器の設計に従事。日本冷凍空調学会会員。

Toshiba Carrier Corp.



田邊 智明 TANABE Tomoaki

東芝キャリア(株)技術本部 給湯・温水設計部主務。国内向け業務用給湯機の設計に従事。日本冷凍空調学会会員。

Toshiba Carrier Corp.



角田 和久 SUMIDA Kazuhisa

東芝キャリア(株)技術本部 コンプレッサ設計部グループ長。密閉型コンプレッサの開発に従事。日本機械学会、日本トライボロジー学会、日本冷凍空調学会会員。

Toshiba Carrier Corp.