

給湯コスト低減機能搭載の業務用エコキュート

Commercial Heat Pump Water Heaters with Cost-Reduction Function

澤田 慎也* ・ 山脇 信二* ・ 松平 将雄* ・ 戸田 亘彦* ・ 永田 訓* ・ 新保 秀人**
Shinya Sawada Shinji Yamawaki Masao Matsudaira Nobuhiko Toda Satoshi Nagata Hidehito Shimbo

業務用エコキュートにおいて、1槽2温度貯湯方式の採用による中温沸上げ・利用機能と循環式高温即湯機能、貯湯タンク増設機能、およびキュービクルとの通信による電力ピーク更新抑制機能を付加することによって、給湯コストの低減を実現した。1槽2温度貯湯方式は、90℃程度の高温水にくわえて沸上効率の高い65℃程度の中温水を一つの貯湯タンクに温度成層を形成させて貯湯するものであり、この中温水の積極的な利用によって、当社従来品に比べて約20%の給湯コストの低減が可能である。

The operating cost of a heat-pump type commercial water heater has been reduced by adopting a dual-temperature storage tank and adding a mid-temperature dispensing/use function, high-temperature circulation for immediate response, tank expansion function, and peak-power suppression function through communication with the power reception cubicle. The dual-temperature storage tank system forms a temperature layer of near-90℃ high-temperature water and more efficient near-65℃ mid-temperature water in a single tank for dispensing water at each temperature. The active use of the mid-temperature water can reduce the operating costs by approx 20% from the previous model.

1. ま え が き

近年エネルギーコストの高騰、環境意識の高揚を背景とし、高効率で湯を沸かすことができるCO₂冷媒を利用したヒートポンプ式給湯機エコキュート*¹⁾が家庭用を中心に急速に普及しており、業務用においても徐々に普及し始めてきている。なお、この業務用部門でのエネルギー消費量に占める給湯の割合は16.7%である¹⁾。したがって給湯に掛るエネルギー消費を低減することは、環境問題への対策と飲食店舗における給湯コストの低減につながるため、今後エコキュートの普及がさらに進むと考えられる。

業務用給湯は1日の必要湯量、使用パターン、および使用目的などが家庭用とは大きく異なる。また当社の主な顧客である飲食店舗に限っても、その業種、営業時間、および客数などによっても必要湯量に大きな差がある。つまり、店舗ごとの異なる使用パターンに対して適切なシステムを選択できることが望まれており、普及のためには必要不可欠な機能である。この要望に対応するため、当社はヒートポンプ台数を1～4台の範囲で設定可能な業務用エコキュートを発売している²⁾。

ヒートポンプは高い沸上効率を有するが、湯を効率的に

利用できなければその利点を十分活かすことができない。したがって、湯の使い方や頻度、目的に合わせて効率良く湯を利用し、店舗における給湯コストを低減する機能が望まれている。

飲食店舗における湯の使用は、大きく以下の2種類に分類される。

- (1) 食器洗浄機やゆで麺機などの高温水利用機器への90℃近い湯の給湯（以下、高温給湯と記す）
- (2) 手洗いなどの40℃前後の給湯（以下、混合給湯と記す）

高温給湯においては、食器洗浄機などの高温水利用機器に備わる低効率熱源であるヒータの稼働を抑制することで、店舗全体での給湯コストを低減できる。

また、ヒートポンプは沸上温度により沸上効率が変わるため、高水温が必要でない手洗いなどにおいては、もっとも効率の良い温度で沸上げた湯をできる限り多く利用すれば、その給湯コストを低減できる。

本稿では、各ユーザに対応した給湯コスト低減機能を中心に述べる。くわえて給湯コスト低減効果の試算を行い、その結果についても報告する。

* 情報機器事業本部 配管機材事業部 Electrical Conduits and Wiring Materials Division, Information Equipment & Wiring Products Manufacturing Business Unit

** 情報機器事業本部 情報機器R & Dセンター Research & Development Center, Information Equipment & Wiring Products Manufacturing Business Unit

2. 給湯コストの低減

主な顧客である飲食店舗における湯の使い方に対し、エコキュートのもつ特徴を活かして機器としての効率だけでなく店舗全体での給湯コストを低減するため、以下の機能を開発した。

- (1) 中温沸上げ・利用機能
- (2) 循環式高温即湯機能
- (3) 電力ピーク更新抑制機能

また給湯負荷の大きい店舗用として、これらの機能が利用可能な貯湯タンク増設機能を開発した。それぞれの機能について以下に述べる。

2.1 中温沸上げ・利用機能

CO₂を冷媒とするヒートポンプ式給湯機であるエコキュートは、90℃程度の高温に沸上げができる一方で、その沸上効率を表す成績係数（以下、COPと記す）は低い温度で沸上げるほうが良くなる特性を有する。

前述のとおり、給湯には高温給湯と混合給湯の二つがあるが、混合給湯は湯水混合弁で湯と水を混合して出湯するものである。その給湯温度は一般的には40℃前後で使用されるため、湯水混合弁の高温側に供給する湯は45℃以上あれば十分である。細菌類の増殖を防止することを考慮しても、沸上温度は65℃程度で十分であり、沸上温度を下げることで高いCOPでの沸上運転が可能となる。

高温給湯に必要な高温水のほかに、65℃程度の中温水を貯湯し、この中温水を混合給湯に利用することでシステム効率を向上させることができ、給湯コストの低減が図れる。

2.2 循環式高温即湯機能

循環式高温即湯機能とは、高温給湯配管を給湯端末近傍から分岐して貯湯タンクに返す戻り配管を設け、貯湯タンクに内蔵のポンプで高温水を循環させることで高温給湯配管内の湯温を一定温度以上に確保する機能である。

このため、配管内の湯冷めした湯を貯湯タンクに戻すことになるが、前節で述べた中温水利用により無駄なく利用できる。

図1に即湯運転を行った際の高温給湯配管内湯温の推移結果を示す。また、その際の実験条件を表1に示す。図1中の即湯運転なしの温度推移は、即湯運転ありの場合の温度低下速度からの予測値である。

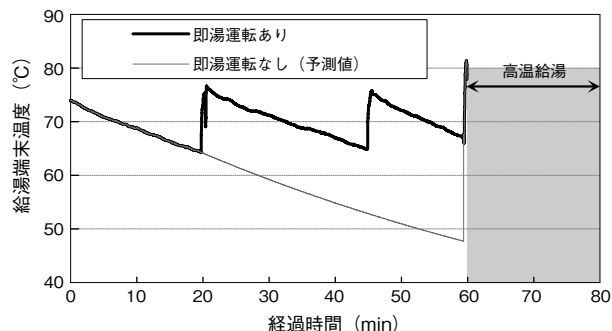


図1 高温給湯配管内温度推移

表1 実験条件

項目	値	
外気温	20℃	
水温	20℃	
即湯運転設定温度	65℃	
配管保温材	材質	ロックウール
	厚み	20 mm

高温給湯の多くは食器洗浄機などの高温水利用機器に接続されることが多く、図1に示すように、閑散時など高温水利用機器を間欠運転している場合には、給湯機と高温水利用機器間を接続する配管で湯冷めが生じる。

そのため食器洗浄機では内蔵ヒータを稼動し、所定の温度まで加熱することになる。内蔵ヒータのCOPは、熱ロスを考慮しない場合でも1であり、実際の加熱効率は熱ロスを考慮するとさらに低下する。一方、エコキュートは前述のとおり高効率の沸上げが可能であることから、沸上温度が90℃でもCOPは3程度である。

したがって、高温給湯配管にエコキュートの高温水を循環させることで高温を維持し、食器洗浄機の内蔵ヒータの稼動を抑制することでCOPの差により給湯コストを削減できる。

2.3 電力ピーク更新抑制機能

飲食店舗等における割安な電力契約として店舗で受電設備を設置する高圧契約がある。この契約では、過去1年間における30分単位の平均電力の最大値を最大需用電力として基本料金が設定される。すなわち、一度でもこの値を超えて更新すると、そこから1年間はその最大需用電力に応じた基本料金となる。

最大需用電力を更新しないための方策として、電力使用ピークをシフトさせることが有効な手段である。このようなヒートポンプの運転制御を行うためには、店舗の最大需用電力のデータが必要である。

パナソニック電工電路(株)は高圧受電設備(キュービクル)を販売しており、このキュービクルとの通信機能を付加することで、店舗の電力データを取得しヒートポンプ

の運転制御を可能としている。

業務用エコキュートは貯湯式の給湯機であるため、一時的に沸上げを停止しても貯湯してある湯を利用できる。したがって、沸上運転中に店舗の最大需用電力を更新するおそれがある場合には、一時的に沸上げを停止してヒートポンプに起因する最大需用電力の更新を避けることができる。すなわち、エコキュート導入による基本料金の増加を抑制することができる。

2.4 貯湯タンク増設機能

当社が実施した調査結果から、飲食店舗での湯の使用量は図2に示すように、業種、営業時間、および客数などによって大きく変動し、また時間当りの最大使用量も異なることがわかっている。

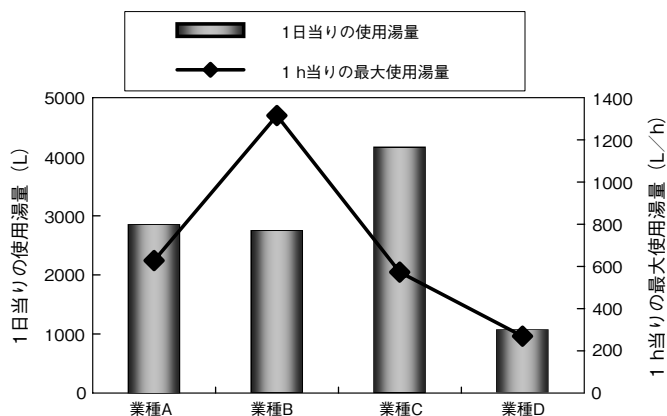


図2 業種別使用湯量

業務用エコキュートのシステム設計にあたっては、1日に使用する総湯量から適切なヒートポンプ台数（加熱能力）を設定し、時間当りの最大使用量から貯湯タンクの台数（貯湯量）を設定する。当社従来品では店舗の使用湯量に合わせてヒートポンプ台数を1～4台の範囲で設定できたが、開発品ではさらに時間当りの最大使用量にも柔軟に対応できるように、貯湯タンク台数も1～4台の範囲で設定できる貯湯タンク増設機能を付加している。

3. 業務用エコキュートシステムの概要

3.1 システム構成

ヒートポンプおよび貯湯タンクのシステム構成の一例を図3に示す。開発品は、当社の業務用エコキュートの特徴であるヒートポンプ増設機能、高温出湯と混合出湯のダブル出湯にくわえ、貯湯タンクの増設機能、給湯コスト低減機能を追加している。

これらの追加機能実現のため、貯湯タンクは高温水と中温水を同時に貯湯できるメインタンクと、サブタンクから構成され、メインタンクとサブタンクは並列に、サブタンク間は直列に接続する仕様としている。また、貯湯タンク内の温度状態により沸上げや出湯の切替を五つの三方弁で行っている。

3.2 貯湯方式

3.2.1 1槽2温度貯湯方式

本方式では湯温の密度差によりメインタンクに形成される温度成層を利用して1槽2温度貯湯を実現している。しかし、この温度成層は沸上手順や中温水のタンク供給位置、

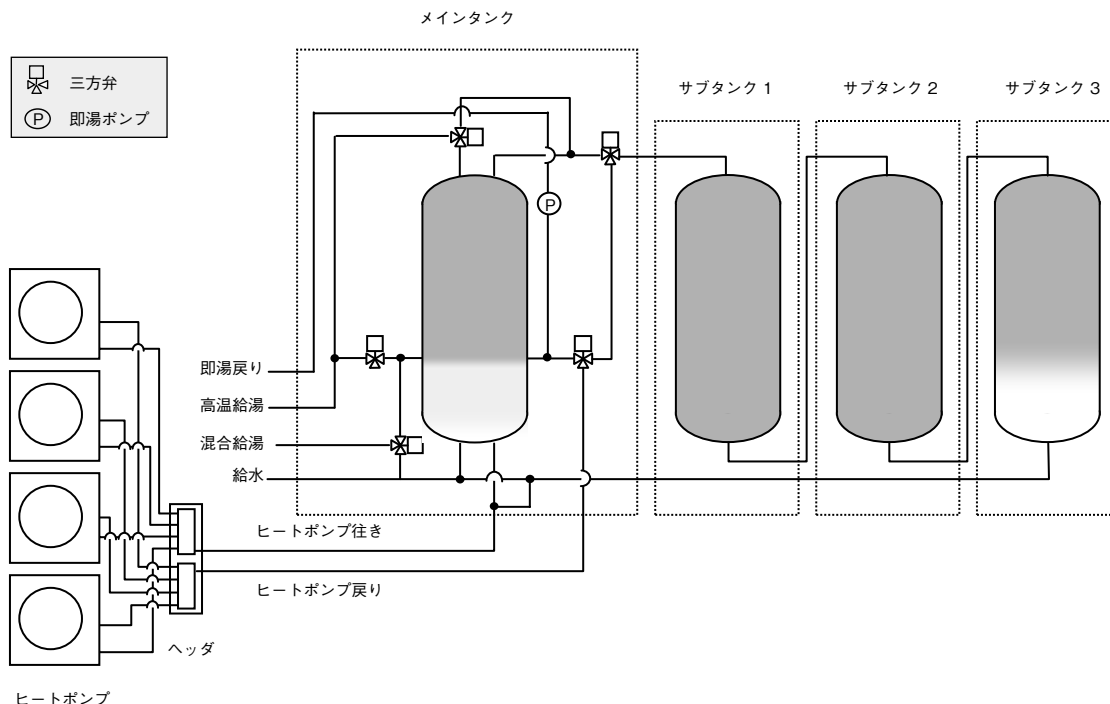


図3 業務用エコキュートシステム構成

沸上流量により容易に破壊されてしまう。したがって、メインタンク内の温度成層を壊すことなく2温度貯湯ができるような制御が必要である。

そこで、沸上手順、中温水のタンク供給位置、沸上流量を変えた沸上実験を行い、メインタンク内の温度分布を測定し、温度成層の形成条件を見いだした。図4に実験結果の一例を示す。なおタンク高さは、メインタンクの最下部を0mとしたときの位置を示している。また、そのときの試験条件を表2に示す。

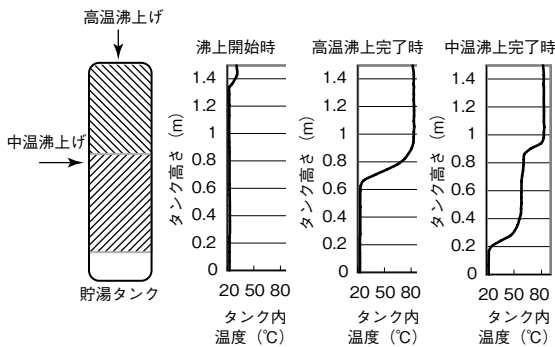


図4 メインタンク内温度分布

表2 実験条件

項目	値	
高温沸上げ	温度	87℃
	湯量	150 L
	流量	4 L/min
	位置	メインタンク上部
中温沸上げ	温度	57℃
	湯量	100 L
	流量	10 L/min
	位置	メインタンク側部 (上部から200 Lの位置)
水温	20℃	
メインタンク容量	370 L	

図4から、メインタンク内に二つの温度成層が形成されていることがわかる。このような温度成層を形成させるため、高温沸上げでメインタンク上部に一定量の高温水を貯湯し、その際にできる中温層の位置に中温水をメインタンク側部より供給する方式を採用する。

また温度成層の維持に比べ、システム効率を向上させるためにはCOPの高い中温沸上げの比率を高める必要がある。

形成された温度成層の高温層に中温水を供給すると高温層は崩壊する。また高温層と離れた位置から中温水を供給すると、中温水の温度が沸上温度に対して低くなり有効な温度を保った中温層が形成できないことから中温沸上時間が短くなり、結果として中温沸上比率を下げることになる。

どの位置から中温水を供給すれば中温沸上比率を最大にできるかを確認するため、高温層と中温水供給位置を変化させて実験を行い、その結果を図5に示す。

この実験結果から、高温層の下端から下方へ15cm程度の位置から中温水を供給することにより沸上熱量を最小化できることを見いだした。

この中温水の供給位置と沸上熱量の関係は、メインタンクの容量や沸上流量により変化する。したがって、仕様変更などで諸条件が変更となる際には、同様の実験により適切な位置関係の導出が必要である。

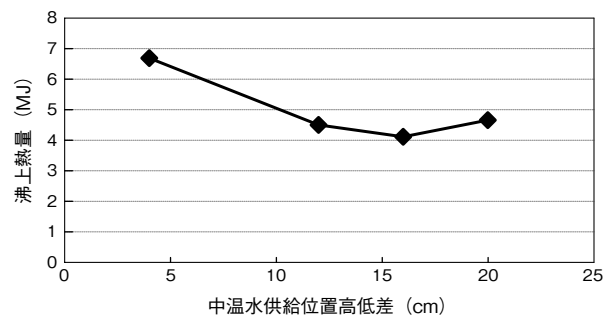


図5 沸上げ必要熱量

3.2.2 中温水貯湯・出湯方式

2.1節で述べた給湯コスト低減機能の一つである中温沸上げ・利用機能を実施するためには、1槽2温度貯湯方式により形成される中温水の効率的な利用が不可欠である。

そこで筆者らは、メインタンクとサブタンクを並列に接続してサブタンク間は直列に接続する直列・並列併用方式を採用している。この方式には以下の特徴がある。

(1) メインタンクにおける中温層位置の固定

中温沸上げ・利用機能を効率的に行うためには、中温水を常時取出し可能である必要がある。そのためには、中温層の位置が固定されていることが望ましい。また、メインタンクとサブタンクを並列接続とすると、湯をどちらのタンクから利用するかが選択可能となる。

その結果、高温水はサブタンクに貯湯したものを優先的に使用することでメインタンク内の中温層の位置を変えることなく、つねに中温水の利用が可能となる。

(2) 中温水貯湯量の可変性

中温水は中温沸上げと即湯運転の戻り湯により発生し、即湯運転は高温給湯配管内の湯温によって不定期に行われる。

これに対し本方式では、メインタンク内を物理的に仕切ったり、別のタンクを設置したりすることなく、メインタンク内に温度成層を形成することで、高温水と中温水の貯湯とその比率の変化にも対応することができる。これによってタンク内に高温水がある限り、高温水循環による即湯運転の継続を可能としている。

4. 給湯コスト低減の試算と最適台数の設定

給湯コスト低減機能のアルゴリズムを盛り込んだシミュレーションモデルを構築し、各機能の効果を試算する。試算はメインタンクを単位容量に分割し、高温沸上げ、中温沸上げ、高温給湯、混合給湯、および即湯運転によるタンク内の熱収支を差分法により行う。

また、高温給湯配管内の湯温も同様にモデル化を行って即湯運転状態を再現できるため、実機の動作に即したシミュレーションが可能である。

4.1 シミュレーションモデル

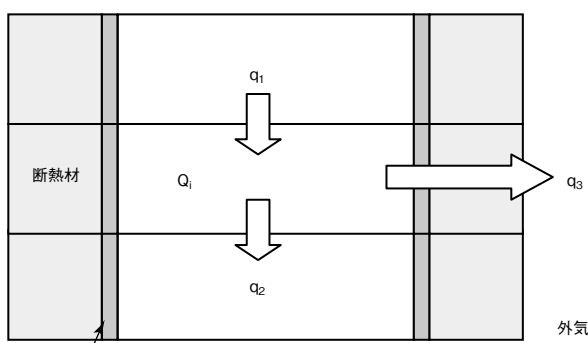
メインタンク内の温度状態をモデル化するには、沸上げや出湯による湯の流入と流出の流れ計算と、メインタンク内の湯からの熱伝導や外気への放熱という熱収支計算の2種類の計算をする必要がある。そこでメインタンクを垂直方向に約40個の要素に分割し、沸上げや出湯による分割要素の上下移動と分割要素間の熱伝導をそれぞれ計算する。

このモデルでは、沸上げによりメインタンクに流入する湯量に相当する要素数をメインタンク下方に移動させる。

同様に出湯の場合には、メインタンクから流出する湯量に相当する要素数をメインタンク上方に移動させる。

メインタンク内の湯からの熱伝導および外気への放熱は、隣接要素との間の熱伝導および外気との間の熱伝導から計算する。

図6に示すように*i*番目の分割要素の熱収支は隣接する上位分割要素からの流入熱量、下位分割要素への流出熱量、外気への流出熱量の総和により計算され、式(1)で表される。



缶体 (ステンレス)

図6 分割要素での熱収支

$$\frac{dQ_i}{dt} = q_1 - q_2 - q_3 \quad (1)$$

ここで、 Q_i : *i*番目の分割要素の熱量 (J)

q_1 : *i* - 1番目の分割要素からの流入熱量 (J/s)

q_2 : *i* + 1番目の分割要素への流出熱量 (J/s)

q_3 : 外気への流出熱量 (J/s)

4.2 試算精度検証

このシミュレーションモデルの精度を確認するため、実機での沸上げおよび出湯試験結果と試算結果との一致度を評価する。表3に示す試験条件において実機試験を行い、同様の条件で試算を行った結果と貯湯タンク内の熱量を比較する。

試験における沸上げと給湯パターンは、貯湯タンクが満杯になるまで沸上げを行い、その後流量15 L/minで30分間混合給湯を行う。さらに、高温流量15 L/minで貯湯タンクの湯がなくなるまで高温給湯を行うものである。

実機での試験と試算によるタンク内熱量の推移を図7に示す。この図からシミュレーション結果と実機におけるタンク内の熱量推移がほぼ一致していることがわかり、十分な精度を有している。

表3 実験/試算条件

項目	値
ヒートポンプ台数	4台
貯湯タンク台数	3台
高温沸上温度	90℃
中温沸上温度	65℃
即湯設定温度	65℃
混合給湯温度	42℃
給水温度	19℃
外気温度	20℃

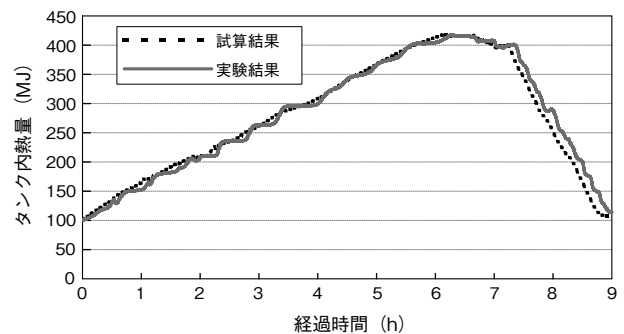


図7 タンク内熱量推移

4.3 給湯コスト低減機能の効果

給湯コスト低減機能の効果を確認するため、筆者らが行った飲食店舗における使用湯量調査結果をもとに1日の標準使用湯量データを作成して試算を行う。

試算には、高温給湯:混合給湯 = 1:1、使用湯量3500 L/日(90℃換算値)のデータを利用し、その試算条件を表4に示す。なお、試算に用いる外気温および水温は、日本冷凍空調工業会標準規格の家庭用ヒートポンプ給湯機JRA4050における中間期温度を参考に設定している。

表4 試算条件

項目	値
外気温	17℃
水温	16℃
貯湯タンク台数	1台
ヒートポンプ台数	4台

開発した業務用エコキュートの給湯コストは、東京電力(株)の業務用・高圧電力Aの電化厨房契約における料金(2008年)に基づき試算している。また、プロパンガスの給湯コストは250円/m³、都市ガスの給湯コストは東京ガス(株)の産業用A契約の料金(2008年)としている。なお、ガス給湯機の沸上効率は85%で試算している³⁾。

図8に示す試算結果から、給湯コスト低減機能によりプロパンガスに対して66%、都市ガスに対して43%、当社従来品の業務用エコキュートに対して22%の給湯コスト

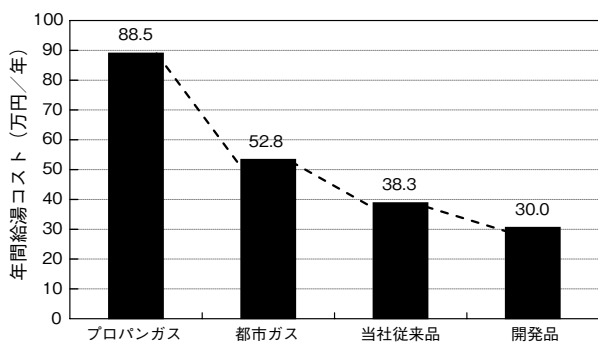


図8 年間ランニングコストの比較

●注

* 1) エコキュート：関西電力株式会社の登録商標で、電力会社と給湯器メーカーが自然冷媒CO₂ヒートポンプ給湯器を総称する愛称として使用している名称

*参考文献

- 1) (財)省エネルギーセンター：エネルギー・経済統計要覧(2007)
- 2) 業務用エコキュート、「住まいと電化」別冊号、電化住宅のための電機給湯機マニュアル2005 -計画・設計・施工-, P.180-181(2005)
- 3) 前 真之, 福澤 清, 佐藤 誠, 鎌田 元康, 岩本 静男, 近藤 武士：給湯使用モードによる家庭用ガス・石油給湯機の熱効率測定法の標準化調査研究(第1報) 研究の概要とガス瞬間式給湯機の効率基礎実験, 空気・調和衛生工学会大会学術講演論文集(2006)

◆執筆者紹介



の低減が期待できる。

開発品は、店舗ごとにその使用湯量や設置環境に応じて適切なシステムになるよう、ヒートポンプ台数、タンク台数、およびランニングコスト低減機能の可否などを選定できる。今回作成したシミュレーションにより、貯湯タンク内の温度分布が精度良く試算できるため、システム台数の提案ツールへの応用が可能である。

5. あとがき

業務用エコキュートにおいて、1槽2温度貯湯方式の採用による中温沸上げ・利用機能と循環式高温即湯機能、貯湯タンク増設機能、およびキュービクルとの通信による電力ピーク更新抑制機能を付加することによって、給湯コストの低減を実現した。1槽2温度貯湯方式は、90℃程度の高温水にくわえて沸上効率の高い65℃程度の中温水を一つの貯湯タンクに温度成層を形成させて貯湯するものであり、この中温水の積極的な利用によって、当社従来品に比べて約20%の給湯コストの低減を実現した。

本技術を利用した業務用エコキュートは、ヒートポンプ台数、貯湯タンク台数、給湯コスト低減機能の利用設定を自由にカスタマイズ可能なシステムとなっており、主な顧客である飲食店舗だけではなく、老人健康施設や理美容などの分野にも利用可能なシステムである。