特集論文

家庭用エコキュートの実用省エネルギー技術

赤木　智*
畑中謙作**

Actual Energy-Saving Technology of Eco Cute for Household Use

Satoshi Akagi, Kensaku Hatanaka

要　旨

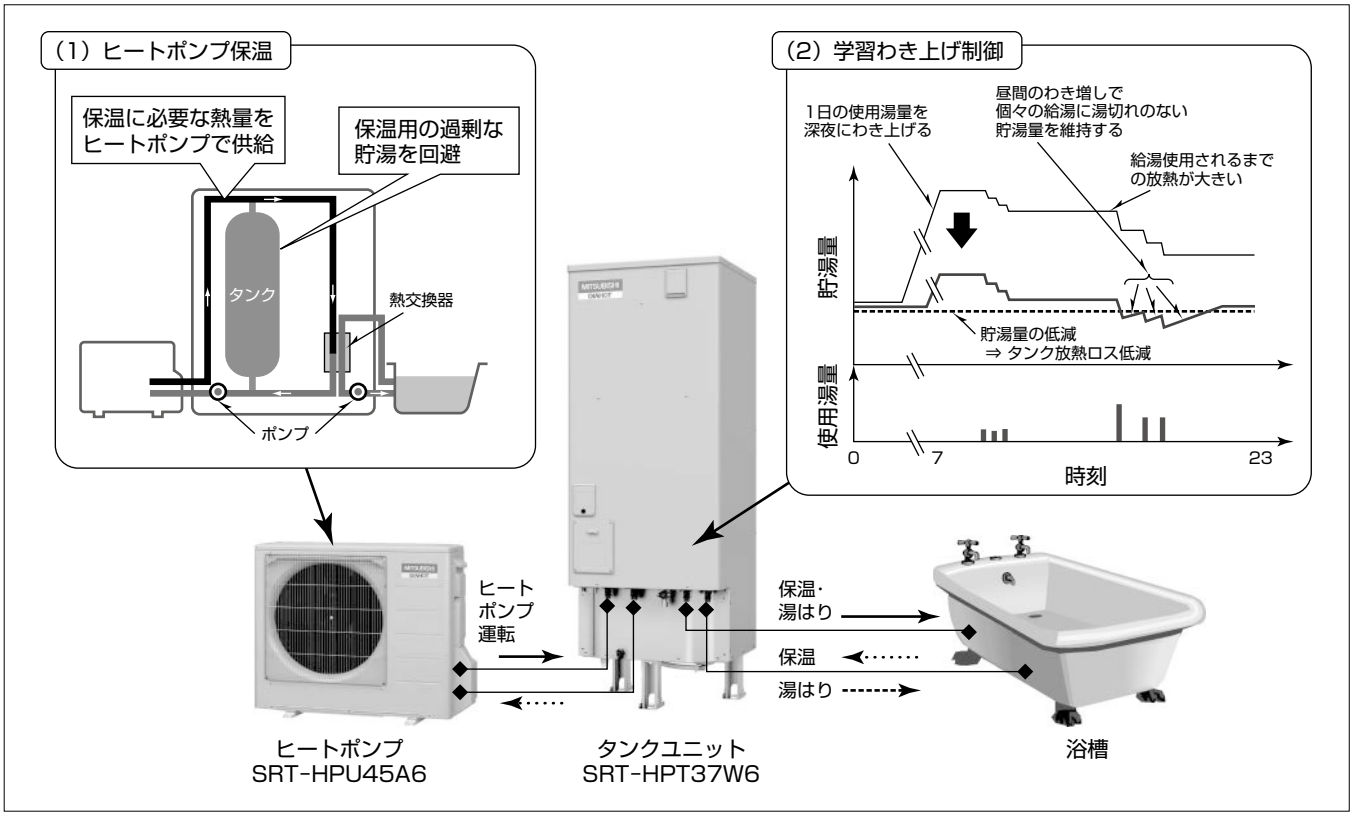
給湯に使用するエネルギーは家庭のエネルギー消費の約３割を占める[1]ため高効率給湯機の開発が活性化しており，改正省エネ法やトップランナ規制等の行政主導の省エネルギー機運も高まっている。本稿では三菱電機エコキュート搭載の実用条件で省エネルギーを実現する２つの技術について述べる。

(1)　ヒートポンプ保温

従来の浴槽保温はタンク上部の熱湯で浴槽の湯を加熱した後，有効な熱の残る中温水をタンク下部の低温域に戻して無効な温度にしてしまうため，浴槽保温に必要な熱量よりも過剰な熱量をタンクから消費していた。当社エコキュートはタンクを介さずにヒートポンプから浴槽の湯へ必要な熱量だけを供給するので，タンクへの余分な貯湯を回避し，保温に対するCOP（Coefficient Of Performance：加熱能力と消費電力の比）を46％向上，年間給湯保温効率[2]を8.7％向上させた。

(2)　学習わき上げ制御

使用湯量が変動する実用条件で湯切れを回避しながら省エネルギーとなるわき上げ制御を開発した。湯切れ回避には過去の１日の使用湯量の最大値を学習し，学習湯量を深夜にわき上げる方法が簡便であるが，使用湯量が少ない場合に，タンクに多量の湯が残存し，放熱ロスが増大する。当社エコキュートでは個々の給湯の使用湯量に必要な貯湯量を学習し，学習した必要貯湯量を維持することで湯切れを回避する。深夜のわき上げ量は過去の使用湯量の平均値まで低減し，貯湯量を低く抑えて放熱ロスを低減した。開発したわき上げ制御は，深夜全量わき上げに対し，消費電力量を47％低減した。



当社家庭用エコキュートの実用省エネルギー技術

当社エコキュートは，タンクを介さずにヒートポンプと浴槽の湯を熱交換可能な回路を設け，保温時にはヒートポンプによって必要最小限の熱を供給することでヒートポンプの加熱量を低減する。また，個々の給湯に対して必要な貯湯量を学習し，学習した必要貯湯量を維持することで湯切れを回避する。タンクの貯湯量を低減し，放熱ロスを低減することで，エコキュートの運転効率を向上させる。

　*住環境研究開発センター（環境学博士）　**同センター

1. まえがき

給湯に使用するエネルギーは家庭用のエネルギー消費の約3割を占める[1]ため，高効率給湯機の開発が活性化しており，改正省エネ法やトップランナ規制によって年間給湯保温効率[2]という指標で省エネルギー性が評価され，行政主導の省エネルギー機運も高まっている。

当社のエコキュートは，実用条件で高い省エネルギー性能を実現するため，浴槽の湯の保温をタンクの湯を用いずヒートポンプで行う技術，及び，ユーザーの使用湯量を学習してわき上げ量を低く抑える技術を搭載している。

本稿では2つの省エネルギー技術であるヒートポンプ保温，学習わき上げ制御の原理と効果を述べる。

2. エコキュートの基本的な構成・動作

エコキュートの基本的な構成・動作を**図1**に示す。エコキュートは水を加熱するヒートポンプ，高温の湯を貯めるタンクからなり，事前にタンクに貯めた湯を用いて浴槽，シャワー等の負荷を賄う。

湯は，深夜の安価な電気料金を活用して，一日の給湯に必要な量の大半を深夜に貯める。またヒートポンプの低い加熱能力(当社最大8kW)だけではシャワーなどの高い給湯負荷(例えば市水9℃，シャワー40℃，10L/minで21kW)を供給できないため，急な給湯に対応するために最低限の貯湯量を維持する。

貯湯温度については，理想的には給湯負荷を賄う温度(例えば給湯温度40℃)で貯湯すれば問題ないが，レジオネラ菌対策のために貯湯温度は65℃以上としている。

3. ヒートポンプ保温

3.1 従来の保温方法と課題

エコキュートは温度の低下した浴槽の湯を温めなおす保温機能を搭載している(**図2**)。従来はタンクの湯と浴槽の湯とを追いだき熱交換器で熱交換させて浴槽の湯を加熱していたが(タンク温水保温)，次の課題があった。

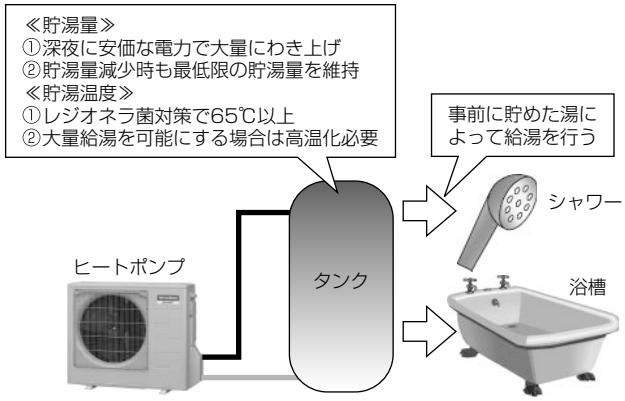


図1．エコキュートの基本的な構成動作

タンク温水保温で追いだき熱交換器通過後の浴槽に戻る湯は48℃まで温度上昇し，タンクに戻る湯は40℃まで温度低下する。タンクに戻る湯はタンク下部の冷水(9℃)と混合し，9～40℃の無効な温度の湯(中温水)を生成する。

ヒートポンプによるわき上げでは，ヒートポンプへの入水温度が高いほどCOPは低下する。タンク温水保温の後のわき上げ運転でCOPが低下する。

3.2 ヒートポンプ保温の特長

ヒートポンプ保温回路と動作を**図3**に示す。ヒートポンプ保温は，タンクを介さずにヒートポンプで加熱した湯で浴槽の湯を保温する。タンクの湯を用いないため，貯湯量を低減でき，タンク内の中温水も減らせる(**図4**)。

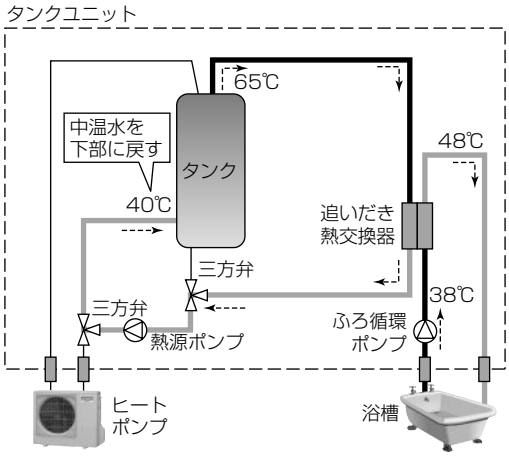


図2．従来の保温回路と動作

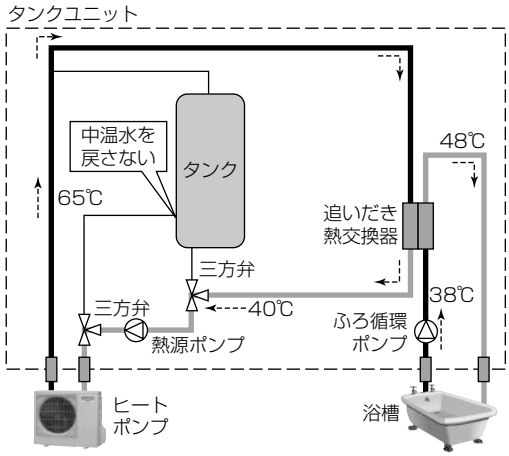


図3．ヒートポンプ保温回路と動作

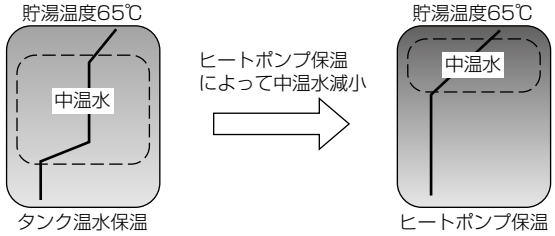


図4．保温方法変更によるタンク温度分布の変化

3.3　ヒートポンプ保温の効果

ヒートポンプへの入水温度に対するCOP比を**図5**に示す。ここでは，タンク温水保温の貯湯COPを基準とした。従来のタンク温水保温では，貯湯運転時の入水温度は20℃であった。ヒートポンプ保温では中温水を生成しないため，貯湯運転時の入水温度は9℃となり，タンク温水保温に対してヒートポンプ保温の貯湯COPは14%高くなる。

さらに，ヒートポンプ保温は，タンク温水保温に比べて，保温に必要な熱量を効率良く使うことができる。**図6**にヒートポンプ保温とタンク温水保温の熱量比率を示す。

タンク温水保温では貯湯時に20℃を65℃まで加熱する。保温時に，65℃の湯は40℃に低下するため，ヒートポンプで加熱した熱量に対して保温に使用した有効熱量の比率は56%となる。

ヒートポンプ保温では，ヒートポンプで加熱した65℃の湯は40℃まで低下し，ヒートポンプで40℃から65℃まで加熱する。ヒートポンプで加熱した熱量はすべて保温に使用されるため，有効熱量の比率は100%となる。保温COPは次のように定義する。

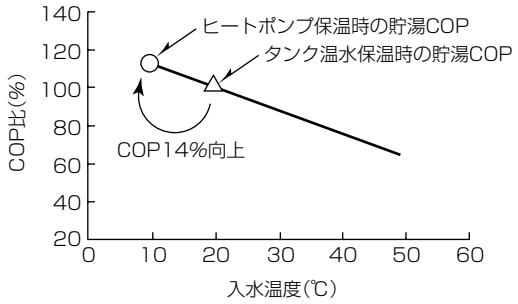
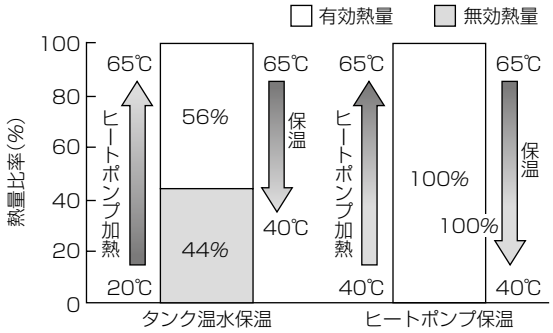


図5．ヒートポンプ入水温度に対するCOP（タンク温水保温時の貯湯COPを基準，出湯温度65℃）



有効熱量：ヒートポンプ加熱量に対する保温に使用する熱量
無効熱量：ヒートポンプ加熱量に対する保温に使用しない熱量

図6．ヒートポンプ保温とタンク温水保温の熱量比率

表1．ヒートポンプ保温とタンク温水保温の保温COP比（タンク温水保温基準）

	タンク温水保温	ヒートポンプ保温
ヒートポンプCOP比	100%	66%
有効熱量比率	56%	100%
保温COP比	100%	146%

保温COP＝ヒートポンプCOP×有効熱量比率 ……(1)

有効熱量比率：ヒートポンプ加熱量に対する保温に使用する熱量の割合

タンク温水保温，ヒートポンプ保温の保温COPを**表1**に示す。ここでは，タンク温水保温を基準とした相対値で示した。タンク温水保温に対してヒートポンプ保温は，入水温度が高いため，ヒートポンプCOPは34%低下するが，ヒートポンプでの加熱量がすべて保温に使用されるため，保温COPが46%向上する。

このように，ヒートポンプ保温は従来の保温に比べて貯湯COPや保温COPが向上し，年間給湯保温効率が8.7%向上する。

4.　学習わき上げ制御

4.1　深夜貯湯量学習制御

エコキュートのわき上げ運転には**図7**に示す2種類があり，1つは安価な深夜電力を活用して一日の給湯に必要な量の大部分を深夜に貯める“深夜わき上げ”である。もう1つは，シャワーなどの高い給湯負荷に備えて最低限の貯湯量（最低貯湯量）を維持する“昼間わき増し”である。昼間わき増しでは貯湯量が最低貯湯量を下回るたびにヒートポンプを起動してわき上げを行う。

日々の使用湯量が変動する実用条件に対して，湯切れを回避するため，給湯負荷を学習してわき上げ制御を修正するが，その際，1日の使用湯量を学習し，学習した最大の使用湯量を深夜にわき上げる制御（深夜貯湯量学習制御）が，学習，制御ともに容易である。

しかし，実用条件での1日の使用湯量の変動は大きく，当社実施のフィールド試験では，250～650Lの範囲で変動する。使用湯量の変動が大きい中で深夜貯湯量学習制御を適用すると，**図8**に示すように，使用湯量が少ない場合に，

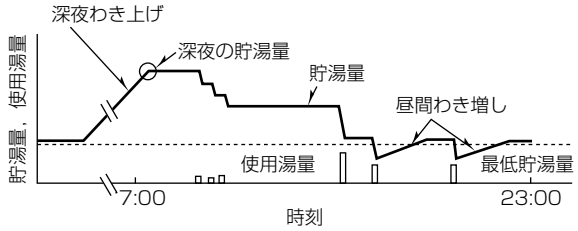


図7．エコキュートのわき上げ制御

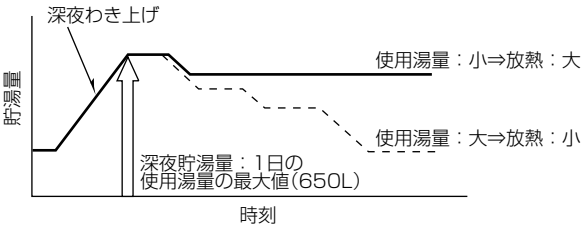


図8．深夜貯湯量学習制御

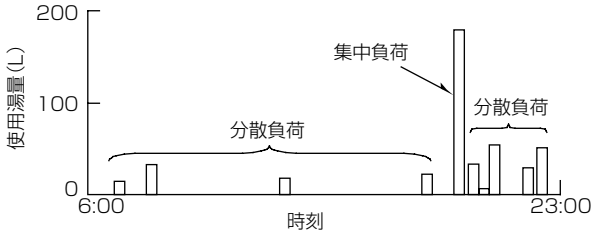


図９．日本工業規格の給湯負荷分析[2]

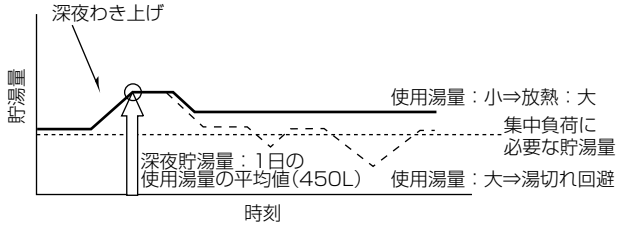


図10．最低貯湯量学習制御

深夜にわき上げた湯が使用されずタンクに貯留されたままとなり，タンクからの放熱による熱ロスが増大し，運転効率が低下する課題が生じる。

4.2　最低貯湯量学習制御

放熱による熱ロスを低減し，省エネルギーを実現するには深夜の貯湯量を少なくする必要があるが，貯湯量を減少させると使用湯量の多い日に湯切れが発生する。そこで使用湯量の多い日であっても，昼間のわき増しで湯切れを回避できるように，使用湯量の状況を学習して最低貯湯量を調整する制御(最低貯湯量学習制御)を開発した。

制御開発にあたり，代表的な給湯負荷である日本工業規格[2]の給湯負荷を分析した。給湯負荷は**図９**のとおりで，浴槽への湯はりを中心とした１回の使用湯量が大きく湯切れの可能性が高い“集中負荷”と，一つ一つは使用湯量が小さく湯切れの可能性が低い“分散負荷”に分類される。

集中負荷は湯はりを行う浴槽サイズに依存し日々の変動は小さく，１日の使用湯量の変動は湯切れの可能性の低い分散負荷の大小によって生じる。そこで集中負荷に必要な貯湯量を最低貯湯量として学習し，昼間わき増しで維持することで湯切れを回避する制御とした。一般的な浴槽サイズは180L程度であり，最低貯湯量は同程度に設定され，１日の使用湯量の最大値(650L)よりも少ない。深夜貯湯量は，１日の使用湯量の平均値とするなど適宜少なくし，湯量がある程度使用された後は，最低貯湯量を維持する運転を行うことで，タンク内の貯湯量を少なくでき，放熱ロスを低減し，高効率の運転が実現できる。

図10に最低貯湯量学習制御での貯湯量の変動を示す。深夜のわき上げ量が少ないため，１日の使用湯量が少ない日にも，タンク内の貯湯量を少なく抑えることができる。また集中負荷に必要な貯湯量も維持するので１日の使用湯量が大きい日にも湯切れを回避できる。

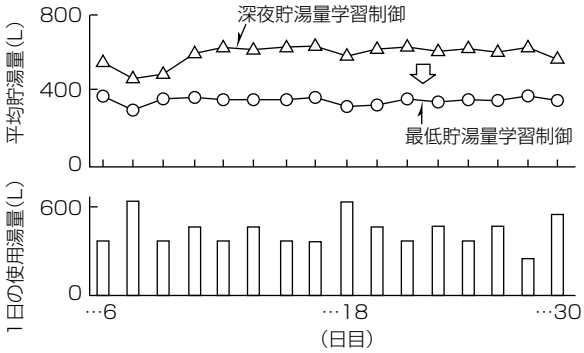


図11．わき上げ制御の効果(修正M1モード)

4.3　開発制御の効果

開発制御の省エネルギー効果を検証するため，㈶ベターリビングがフィールド試験を基に開発した４人家族の実用負荷パターン“修正M1モード”[3]（平均使用湯量450L/日，標準偏差100L/日）を例に，深夜貯湯量学習制御と最低貯湯量学習制御を適用した場合の効果を試算した。

平均貯湯量は**図11**のとおりで，深夜貯湯量学習制御では１日の使用湯量が大きい7日目の学習を行った後に平均貯湯量が増大する。一方，最低貯湯量学習制御では平均貯湯量はおおむね一定値で推移し，深夜貯湯量学習制御と比べて260L少なくなる。貯湯量低減分，タンクからの放熱ロスが減少し，深夜貯湯量学習制御に対して消費電力量は47%削減できた。

5. む　す　び

当社エコキュートが実用条件で省エネルギーを実現するために搭載した，２つの技術について，その手段，省エネルギー原理，及び定量的効果を述べた。省エネルギーへの要求はますます高まっているため，今後とも実用条件での更なる省エネルギー向上に向けた技術開発を行っていく。

参 考 文 献

(1)　資源エネルギー庁：エネルギー白書2011(第2部エネルギー動向，第1章国内エネルギー動向)
(2)　日本工業規格 JIS C 9220：2011，家庭用ヒートポンプ給湯機
(3)　国土交通省国土技術政策総合研究所・(独)建築研究所監修：自立循環型住宅への設計ガイドライン，㈶建築環境・省エネルギー機構（2005）