

エコキュート向けガスクーラーの高性能化

畑中謙作*
高山啓輔*

Performance Improvement of Heat Exchanger for EcoCute

Kensaku Hatanaka, Keisuke Takayama

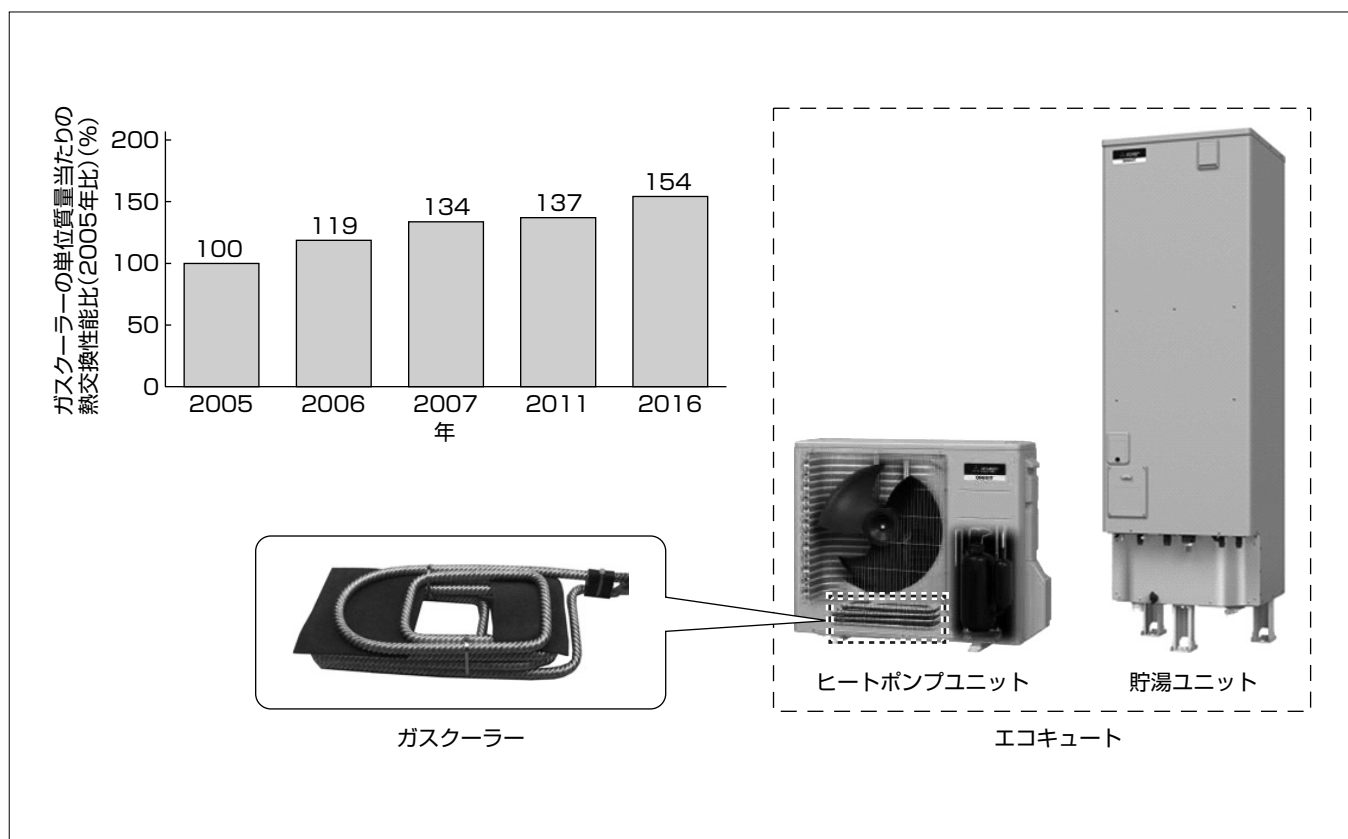
要旨

再生可能エネルギーである大気熱を利用してお湯をわかす自然冷媒CO₂ヒートポンプ給湯機“エコキュート^(注1)”は、2001年に製品化され、2016年3月末時点で国内累計出荷台数が500万台を突破した。また、2013年3月1日施行の省エネ法のトップランナー基準によって、メーカーにはエネルギー消費効率の優れたエコキュートの開発が求められている。

これに対して三菱電機は、高効率なエコキュートを実現する一手段として、ヒートポンプユニット内の水冷熱交換器であるガスクーラーの高性能化を継続検討してきた。エコキュートのヒートポンプユニット内では、圧縮機で高温にした冷媒がガスクーラーで水に熱を与え、高温のお湯

を生成する。エコキュートの消費電力量に対し、生成する湯量が多いほどエコキュートの省エネルギー性は高くなる。そのため、ガスクーラーの高性能化はエコキュートの省エネルギー性に大きく寄与する。そこで、ガスクーラーの高性能化を目的とし、設計パラメータに対する傾向を分析した。分析結果を基に2016年度モデルでは新形態の4条ガスクーラーを導入し、約0.7%の省エネルギー性(年間給湯保温効率)改善を実現した。今後もエコキュートの省エネルギー性向上による家庭のエネルギー消費量の低減を目指し、ガスクーラーの高性能化開発を継続していく。

(注1) エコキュートは、関西電力㈱の登録商標であり、電力会社やメーカーが自然冷媒CO₂ヒートポンプ式給湯機の愛称として使用している。



エコキュート向けガスクーラーの熱交換性能比

エコキュートのヒートポンプユニットは、冷媒で水を加熱するための熱交換器であるガスクーラーを内蔵している。エコキュートのエネルギー消費効率の増大には、ガスクーラーの高性能化が必須である。当社エコキュートの発売開始から2016年度発売の最新モデルにいたるまでに、ガスクーラーの仕様は大きく分けて4回変更し、仕様変更ごとにガスクーラーの単位質量当たりの熱交換性能を向上させてきた。

1. ま え が き

再生可能エネルギーである大気熱を利用してお湯をわかす自然冷媒CO₂ヒートポンプ給湯機“エコキュート”は、2001年に製品化され、2016年3月末時点で国内累計出荷台数が500万台を突破した。これによって、家庭のエネルギー消費量の約3割を占めるといわれる“給湯”のエネルギー消費量の低減に、エコキュートは貢献している。

2013年3月1日施行の省エネ法ではトップランナー基準によって、年間給湯保温効率(単位消費電力量当たりの給湯熱量及び保温熱量)⁽¹⁾という指標で省エネルギー性が評価されており、メーカーはエネルギー消費効率の優れたエコキュートの開発を求められている。

これに対し当社は、エネルギー消費効率の高い製品を実現する一手段として、ヒートポンプユニット内の水冷媒熱交換器であるガスクーラーの高性能化開発を継続してきた。本稿ではガスクーラー高性能化の検討内容について述べる。

2. エコキュートの構成とガスクーラー

2.1 エコキュートの構成

エコキュートの基本的な構成と機能を図1に示す。エコキュートは65~90℃のお湯をわかすヒートポンプユニット

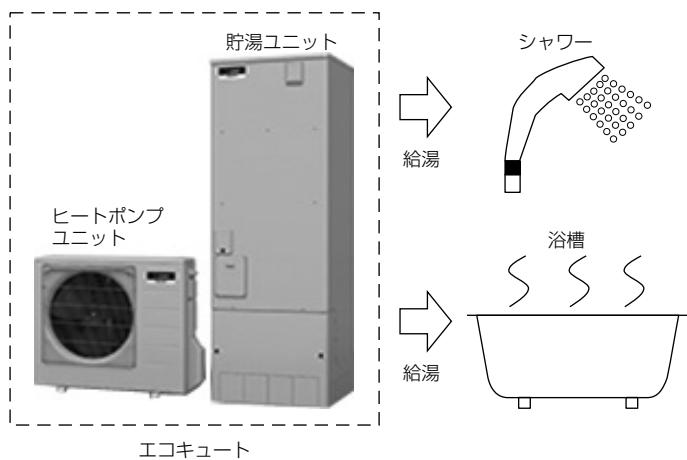


図1. エコキュートの構成と機能

と、わかしたお湯をためるタンクを含む貯湯ユニットから構成される。電力需要の比較的少ない夜間に、給湯負荷を満たすお湯をわかす、タンクに貯湯する。シャワーや浴槽でお湯を利用する際には、夜間にわかしたお湯と水道水とを混合して、給湯設定温度(例えば40℃)で給湯する。

2.2節では“お湯をわかす”というエコキュートの基本的機能に対するヒートポンプユニットの機能について、2.3節ではヒートポンプユニットに搭載されているガスクーラーの構成について述べる。

2.2 ヒートポンプユニットの機能

エコキュートのヒートポンプユニット内では、大気熱と圧縮機で高温にした冷媒がガスクーラーで水に熱を与え、お湯をわかす(図2)。エコキュートでは、タンク内の例えば9℃の水を90℃に高温度差でわかす、再度タンクに戻す。

この運転特性によってガスクーラー内の水流量は小さく、冷媒から水に熱が伝わりにくい特性を持つ。一方で、単位時間当たりにガスクーラーに流入する冷媒に対して、生成する湯が多いほど、エコキュートの省エネルギー性は高くなる。このエコキュートの加熱方法と高性能化のため、ヒートポンプユニットには全体の約9%の質量を占めるほどの大きさのガスクーラーが搭載されており、エコキュートの省エネルギー性に大きく寄与している。

2.3 ガスクーラーの構成

当社ガスクーラーの外観と断面図を図3に示す。ガスクーラーは、水管であるスパイラル管に3本の冷媒管をはんだによって接合した形状の水冷媒熱交換器である。この形状によって、スパイラル管の溝と冷媒管との接触面積が大きくなるため、単位質量当たりの熱交換能力が高くなるというメリットがある。

スパイラル管の設計パラメータは、スパイラル管の条数 N 、径方向で流路が最も狭くなる部分で形成される円の内径 d_i 、最も寸法が大きい部分と内径との差を山と定義して長手方向断面の山と山の間隔であるピッチ p である。3章ではこれらパラメータの中で特徴的な条数 N に対する熱交

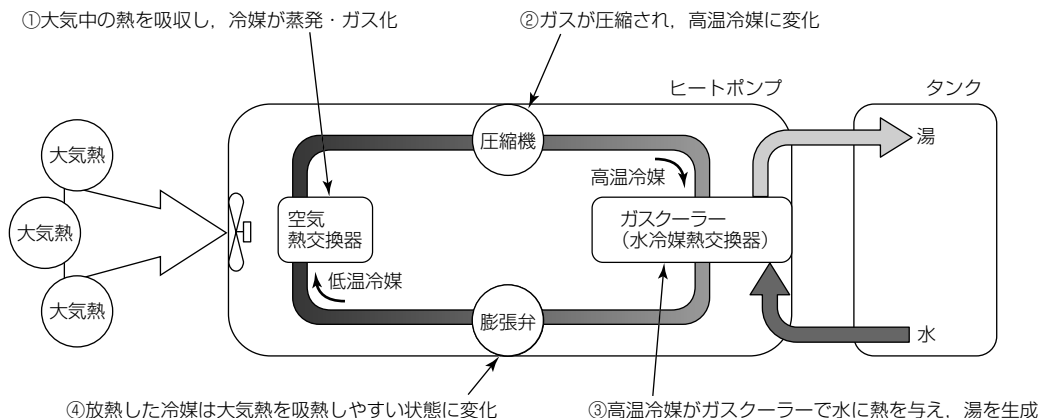


図2. ヒートポンプユニット内の冷媒動作図

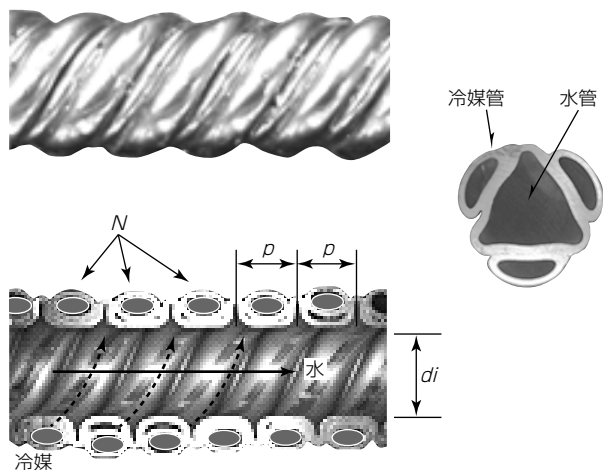


図3. ガスクーラーの外観と断面図

換器性能の傾向を示し、当社最新のエコキュート“B2モデル(2016年度発売)”のガスクーラーのスパイラル管を4条にした経緯を述べる。

3. ガスクーラーの高性能化

3.1 ガスクーラーの性能の変遷

図4にガスクーラーの単位質量当たりの熱交換性能比を示す。発売開始から2016年度発売の最新モデルにいたるまでに、ガスクーラーの仕様を大きく分けて4回変更し、仕様変更ごとにガスクーラーの単位質量当たりの熱交換性能を向上させてきた。最新モデルでは、2005年度仕様に対して+54%の高性能化を実現し、ヒートポンプユニットの質量増加を抑制しつつ、省エネルギー性の改善に大きく寄与した。

3.2 高性能化の考え方

熱交換器であるガスクーラーの熱交換性能は、伝熱面積と熱伝達率の積に依存する。

伝熱面積とは、水管であるスパイラル管と3本の冷媒管が接触し、熱交換する部分であり、伝熱面積が大きいほどガスクーラーの熱交換性能は高くなる。当社ガスクーラーのスパイラル管では、冷媒管との接触部である伝熱面積を大きくとれる溝形状ほど高性能となる(図5)。

熱伝達率とは、スパイラル管内を流れる水や冷媒管内を流れる冷媒の熱の伝わりやすさを表し、熱伝達率が高いほど熱交換性能は高くなる。そして、熱伝達率は、管内流体である水や冷媒の流速が速いほど大きくなる。図6に、スパイラル管内の流速分布を示す。スパイラル管内の流速は、中心部が速く、溝部が遅い傾向にある。よって、高性能化には、溝部の流速を速くする形状が有効である。

3.3 スパイラル管の条数に対する特性

図7にスパイラル管の条数と水流通方向に垂直な断面の流路形状を示す。スパイラル管の条数と断面の多角形の頂点数は一致する。また、管内の流速を一定値以下とし、ス

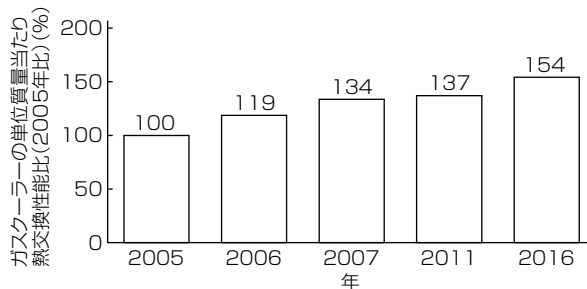


図4. ガスクーラーの性能の変遷

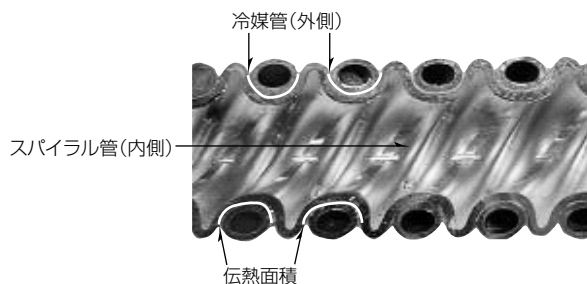


図5. ガスクーラーの冷媒管・スパイラル管・伝熱面積

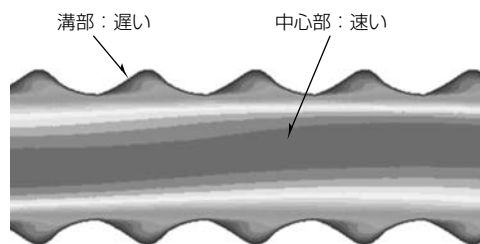


図6. スパイラル管内の流速分布

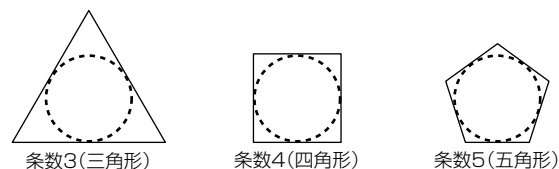


図7. 条数に対するガスクーラーの断面形状

パイラル管の腐食を抑制するため、所定の内径に外接する多角形とする必要がある。

図8に、スパイラル管の条数に対する伝熱面積比を示す。条数の増加にしたがい、伝熱面積は減少傾向にある。この要因は、図7で示したように、条数の増加にしたがい、流路形状の断面は内接する円形に近づき、断面の周長が短くなるためである。よって、伝熱面積の点では、3条のガスクーラーが高性能化に有利である。

図9に、スパイラル管の条数に対する熱伝達率比を示す。条数の増加にしたがい、熱伝達率は増加傾向にある。この要因は、図7で示したように、条数の増加にしたがい、溝部を形成する流路形状の頂角は大きくなり、溝部の流速が増加するためと考えられる。よって、熱伝達率では、条数の多いガスクーラーが高性能化に有利となる。

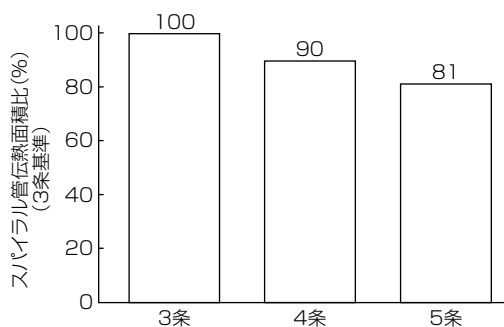


図8. スパイラル管の条数に対する伝熱面積比

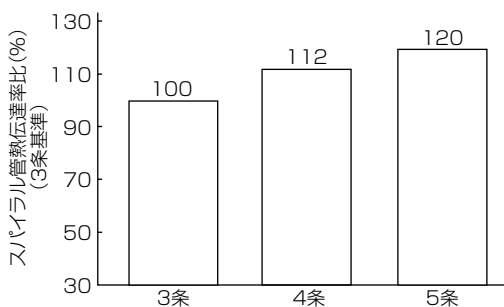


図9. スパイラル管の条数に対する熱伝達率比

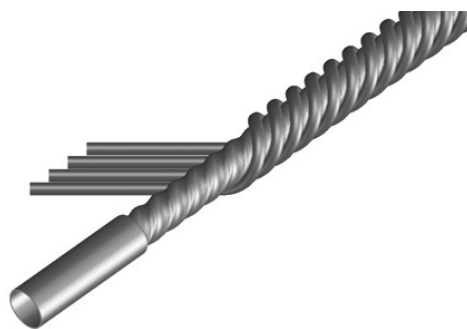


図10. 4条ガスクーラーの外観模式図

不可能であったスパイラル管の4条化を実現できた。4条化と同時に冷媒配管径などのその他の設計パラメータを最適化することで、ガスクーラーの熱交換性能は向上し、年間給湯保温効率を約0.7%改善することに成功した。

4. むすび

エコキュート向けガスクーラーの高性能化を目的に、各種パラメータに対する特性を分析した。分析結果を基に、2016年度モデルでは新形態の4条ガスクーラーを導入し、年間給湯保温効率を約0.7%改善した。今後もエコキュートの省エネルギー性向上を目指し、ガスクーラーの高性能化開発を継続していく。

参考文献

- (1) 日本工業規格, JIS C 9220 : 2011, 家庭用ヒートポンプ給湯機

3.4 ガスクーラーの仕様決定

先に述べた条数に対するスパイラル管の特性を考慮し、2016年度発売の最新モデルでは、スパイラル管を3条から熱交換性能が最大となる4条に変更した。

図10に4条ガスクーラーの外観模式図を示す。従来の加工方法とは異なる転造加工技術を開発することで、従来