東京近郊における実使用下での ヒートポンプガス瞬間式併用型 給湯機の性能に関する実験的研究

PERFORMANCE EVALUATION OF HYBRID GAS-ELECTRIC WATER HEATER IN GENERAL USE

松本泰輔 ——— * 1 松岡大介 ——— * 2

Taisuke MATSUMOTO — * 1 Daisuke MATSUOKA — * 2

キーワード：
給湯設備, 給湯機, 熱効率, 省エネルギー, 実態調査, 戸建住宅

Keywords:
Hot-water supply system, Water heater, Coefficient of performance,
Energy saving, Field survey, Dwelling house

Sale of hybrid gas-electric water heater was started in April, 2010. In this paper, the field survey was performed in the dwelling house which hybrid gas-electric water heater was installed. COP of hybrid gas-electric water heater on actual usage is 1.10 - 1.45. Compared with conventional water heater, hybrid gas-electric water heater can be expected to reduce 30% of hot water energy consumption.

1. はじめに

住宅分野において、給湯用途に消費されるエネルギーの割合は高く、1世帯あたり、年間に消費される総エネルギーの約 1/4 を占めるとされている¹⁾。住宅分野での省エネルギーを図るうえで、給湯用途に消費されるエネルギーの削減は重要となる。しかし、給湯用消費エネルギーの大きさについては、住まい手に自覚がなく、さらには、入浴の回数を減らす、設定温度を下げるといった省エネルギー行動に積極的に協力しようとする住まい手も少ないとされている²⁾。このため、給湯用消費エネルギーの削減は、給湯機、節湯器具、小口径配管などの設備自体に大きく依存する。

2000 年以降、住宅給湯分野でも、省エネルギー技術の開発速度がはやめられたものと推測する。2000 年には潜熱回収型給湯機の販売が開始し、2001 年にはヒートポンプ給湯機、2003 年には家庭用ガスエンジンコージェネレーションシステム、2009 年には家庭用燃料電池コージェネレーションシステムといった、いわゆる省エネルギー型給湯機といわれる商品の販売開始が相次いでいる。

2010 年には、潜熱回収型給湯機とヒートポンプ給湯機を組み合わせた、ヒートポンプガス瞬間式併用型給湯機(以下、ハイブリッド給湯機)の販売が開始されている。

本論文は、この新たに市場に投入されたハイブリッド給湯機について報告するものである。

2. 既往の研究

仕様書などに記載される給湯機の性能は、一定の条件のもとにおこなった実験によるものとなっている。しかし、実使用下での性能

は、気象条件や給湯機の使い方によって、仕様書などに記載される性能とは異なってくる場合が多い。このため、実使用下での性能評価は、今後の改良、開発あるいは普及にとって重要なものと考えられる。

前、三浦、羽原、堀、桑沢、秋元、宇梶、澤地の研究³⁾では、屋外に設置した従来型ガス給湯機と潜熱回収型給湯機に、現実的な給湯使用形態を再現して性能評価をおこない、従来型ガス給湯機の熱効率は 0.73、潜熱回収型給湯機の熱効率は 0.87、これらのガス瞬間式給湯機の熱効率はばらつきが小さいとしている。久保田、浅野、高村の研究⁴⁾では、長野県に所在する、潜熱回収型給湯機とヒートポンプ給湯機の 2 台の給湯機を設置した実住宅 1 棟について、使用する給湯機を切り替えながら性能評価をおこない、潜熱回収型給湯機の熱効率は 0.89、変動係数は 8%とばらつきが小さいのに対し、ヒートポンプ給湯機の熱効率は 1.83、変動係数は 24%とばらつきが大きいとしている。北山、村川、濱田、高田、鍋島、三村の研究⁵⁾では、北海道から九州に所在する、新旧のヒートポンプ給湯機を設置した実住宅 14 棟について実態調査をおこない、実使用下でのヒートポンプ給湯機の熱効率には、機種の新旧によるヒートポンプの性能ではなく、給湯機の使い方が大きく影響するとしている。

ハイブリッド給湯機は、潜熱回収型給湯機とヒートポンプ給湯機を組み合わせたものである。潜熱回収型給湯機とヒートポンプ給湯機の、それぞれの個別の性能については多くの報告がある。また、ハイブリッド給湯機についても、中尾の報告⁶⁾、前の報告⁷⁾などがある。しかし、これまでのハイブリッド給湯機についての報告は、実使用下での性能評価ではなく、修正 M1 モード³⁾を設定しておこなった実験室実験によるものと推測する。

¹⁾ ㈱ボラス暮らし科学研究所住環境 G 係長・博士 (工学)
(〒343-0826 埼玉県越谷市東町 2-266-1)

²⁾ ㈱ボラス暮らし科学研究所住環境 G 係長・修士 (工学)

³⁾ CC, POLUS Life-Style R&D Center Inc., Dr. Eng.

⁴⁾ Manager, POLUS Life-Style R&D Center Inc., M. Eng.

本論文は、ハイブリッド給湯機を設置した実住宅1棟についておこなった実態調査の結果から、東京近郊における実使用下でのハイブリッド給湯機の性能について報告するものである。

3. 本研究の範囲

- 実使用下でのハイブリッド給湯機の性能について検討するにあたり、実験計画の過程と重要と思われる前提条件を以下に示す。
- 1)本研究の調査対象とした住宅は、埼玉県北葛飾郡松伏町に所在する、2001年に引渡した木造枠組工法分譲戸建住宅とした。
 - 2)ハイブリッド給湯機は、2010年3月に製造され、2010年4月に取得したものを設置した。
 - 3)ヒートポンプの性能は、冷媒によって異なるといわれている⁹⁾が、調査住宅に設置したハイブリッド給湯機のヒートポンプユニットには、R410A冷媒が使用されていた。
 - 4)ヒートポンプユニットに付属する貯湯槽の構造は、給湯機全体の熱効率に影響を及ぼすといわれている⁹⁾が、調査住宅に設置したハイブリッド給湯機には、発泡ポリスチレン成形板で断熱された容量50Lの貯湯槽が使用されていた。
 - 5)給湯使用量は、世帯構成人数によって異なる¹⁰⁾が、調査住宅の世帯構成人数は4人、世帯主(40代・会社員)、妻(40代・専業主婦)、長女(20代・会社員)、母(70代・専業主婦)となっていた。
 - 6)浴槽の構造によって、給湯負荷は異なるといわれている¹¹⁾が、調査住宅の浴槽は、容量282Lの従来型FRP浴槽となっていた。
 - 7)水栓端末器の種類によって、給湯負荷は異なるものと推測する¹²⁾が、調査住宅では、台所・洗面にシングルレバー水栓が使用されており、浴室はサーモスタット付混合栓となっていた。
 - 8)ハイブリッド給湯機に組み合わされている潜熱回収型給湯機の暖房回路には、リビングとダイニングに敷設された11.24m²の床暖房が接続されていた。
 - 9)温水が循環する場合には、配管の被覆の断熱水準によって、給湯、暖房負荷は異なるといわれている¹³⁾が、調査住宅の配管は、追焚、床暖房とも、従来型ポリエチレン製CD管で被覆したものとなっていた。
 - 10)ふろや給湯、床暖房などの設定温度や使用については、特に制限せず、住まい手には普段どおりに生活してもらった。
 - 11)実態調査は、2011年8月1日～2012年7月31日の期間でおこなった。なお、当該期間の夏期平均外気温は平年より1.3℃高く、冬期平均外気温は平年より1.4℃低くなっており、暑夏・寒冬とされていた。

4. 実験概要

実験は、写真1に示す木造枠組工法分譲戸建住宅でおこなった。ハイブリッド給湯機は、潜熱回収型給湯機(以下、ガス熱源機)、貯湯槽、ヒートポンプユニット(以下、HPユニット)で構成されており、調査住宅には、ガス熱源機と貯湯槽が一体となったものを設置した。

貯湯槽一体型ガス熱源機の仕様を、表1に示す。

貯湯槽一体型ガス熱源機の定格熱効率は、給湯で0.95、暖房で0.87となっており、貯湯槽容量は50Lであった。

HPユニットの仕様を、表2に示す。

写真1 調査住宅とハイブリッド給湯機

表1 貯湯槽一体型ガス熱源機の仕様

貯湯槽容量【L】	50
貯湯槽沸上温度【℃】	約45℃(最高 約60℃)
最大ガス消費量【kW】	同時 57.8 給湯 44.2 暖房 13.7
ガス熱源機熱効率【-】	給湯:0.95 暖房:0.87
電源	AC100V 50-60Hz
消費電力【W】	最大:195 待機時:3.1 凍結予防ヒーター:303

表2 HPユニットの仕様

冷媒	冷媒 R410A 冷媒封入量 960g		
電源	単相AC200V 50-60Hz		
消費電力【W】	待機時：2.0 作動時最大：2600		
沸上温度45℃のときの	夏期	中間期	冬期
加熱能力【kW】	3.2	3.9	5.0
消費電力【W】	540	790	1190

図1 給湯系統と測器の設置箇所

HPユニットにはR410A冷媒が使用されており、定格熱効率は、夏期に5.93、中間期に4.94、冬期に4.20となっていた。

給湯系統と測器の設置箇所を、図1に示す。

ハイブリッド給湯機に供給された水は、一度、貯湯槽にためられ、HPユニットによって、45℃に沸き上がるように設定されていた。HPユニットは、貯湯槽の湯の温度が35℃を下回ったときに運転するようになっていた。なお、貯湯槽から送られる湯の温度がふろや給湯の設定温度より低い場合には、ガス熱源機で加熱してから各水栓端末器へと送られるようになっており、また、設定温度より高い場合には、混合配管から送られる水と混ぜて、直接、各水栓端末器へと送られるようになっていた。

表 3 測定項目および測器

測定項目	凡例	測器
給水温度	T1	シーエスT熱電対
HP行き / 戻り温度	T2 / T3	
ガス熱源機給水 / 給湯温度	T4 / T5	
給湯温度	T6	
追焚行き / 戻り温度	T7 / T8	
暖房行き / 戻り温度	T9 / T10	
給水量	W1	液体流量計
HP循環水量	W2	
ガス熱源機給湯量	W3	
給湯量(貯湯槽+ガス熱源機)	W4	
湯張給湯量(追焚行き+戻り)	W5+W6	
追焚循環水量	W5	
暖房循環水量	W7	マスフローメーター
プロパンガス流量	G	
HP貫流電流	A1	小型クランプ式 交流電流センサー
ガス熱源機貫流電流	A2	

測定項目および測器を、表 3 に示す。

熱出力を把握するために、ガス熱源機の給水、給湯温度と水量、HP ユニットと暖房回路および追焚回路の行きと戻りの水温と循環水量、湯張給湯量を測定した。熱効率を把握するために、ガス熱源機の貫流電流、ガス熱源機へ供給するプロパンガスの流量、HP ユニットの貫流電流を測定した。また、混合配管の前でも、給水温度と水量を測定した。なお、測定間隔は、すべての項目について 1 分とした。

5. 結果および考察

5-1. 調査住宅の給湯使用状況

外気温と給水温度の日平均値と給湯使用量の日積算値の年間変動を、図 2 に示す。なお、給湯使用量は、40℃換算流量で示しており、追焚と床暖房については除外している。

調査住宅の日積算給湯使用量は、555L/日～965L/日となっており、日平均給湯使用量は 760L/日となっている。4 人世帯の標準的な日平均給湯使用量は、445±160L/日とされており³⁾¹⁰⁾、調査住宅の給湯使用量は、これよりも多くなっている。

時刻別給湯使用率と、1 分間隔で測定した時刻別給湯負荷の積算値の年間給湯負荷に対する割合を、図 3 に示す。なお、給湯と湯張の負荷は、給湯温度と混合配管の前の給水温度との差と、水量から算出しており、追焚の負荷は、収録した熱出力をそのままちいて

いる。調査住宅では、朝方の 6:30 と、夕方の 18:30 以降の 2 時間～3 時間に給湯使用率が高くなっている。朝方の給湯負荷は、洗面や調理によるもの、夕方の給湯負荷はシャワーの使用によるものと推測する。調査住宅では、朝方の給湯負荷は小さく、湯張とシャワーの使用による給湯負荷が全体の大部分を占めている。

冬期、12 月～3 月の時刻別床暖房使用率と、1 分間隔で測定した時刻別床暖房負荷の積算値の年間床暖房負荷に対する割合を、図 4 に示す。

調査住宅では、朝方に床暖房が予約運転されており、朝方の 6:00 以降の 2 時間に床暖房使用率が約 90%と高くなっている。それ以外の時間帯については、住まい手の判断によって、床暖房が運転されており、使用率は、朝方に比して、低くなっている。

図 2 日積算給湯使用量の年間変動

図 3 時刻別給湯使用率と年間給湯負荷に対する割合

図 4 時刻別暖房使用率と年間床暖房負荷に対する割合

図 5 日積算熱出力の年間変動

5-2. ハイブリッド給湯機の熱出力

HP ユニットの貯湯槽沸上出力、ガス熱源機の給湯出力、湯張出力、追焚出力ならびに床暖房出力の日積算値の年間変動を、図 5 に示す。

HP ユニットの貯湯槽沸上、ガス熱源機の給湯と湯張、追焚は、いずれも 1 年を通して出力している。また、冬期には、床暖房も出

力しており、冬期の熱出力は夏期の熱出力の約5倍となっている。
HPユニットとガス熱源機の熱出力の割合は、HPユニット/ガス熱源機で、非暖房期に47.5/52.5、暖房期39.5/60.5となっている。

5-3. ハイブリッド給湯機の熱効率

各月の熱負荷の日平均値を、図6に示す。なお、図中には、月別の平均外気温、平均給水温度についても示している。

調査住宅の熱負荷は、35MJ/日～180MJ/日となっている。修正M1モードを設定して、給湯機の性能評価をおこなったこれまでの研究³⁾¹⁴⁾では、4人世帯の標準的な熱負荷が、30MJ/日～60MJ/日となっている。調査住宅では、床暖房を除いた場合でも、標準的な熱負荷に比して、中間期に約1.5倍、冬期に約2.0倍と大きくなっている。

各月の2次エネルギー消費量の日平均値と各月の熱効率を、図7に示す。なお、プロパンガスの2次エネルギー消費量は99MJ/m³、電力の2次エネルギー消費量は3.6MJ/kWhをもちいて算出している¹⁵⁾¹⁶⁾。

ハイブリッド給湯機の2次エネルギー消費量は、各月とも熱負荷よりも小さく、30MJ/日～165MJ/日となっている。また、HPユニットの2次エネルギー消費量は、ガス熱源機に比して、小さい。HPユニットとガス熱源機の2次エネルギー消費量の割合は、各月であまり差がなく、HPユニット/ガス熱源機で、13.5/86.5となっている。HPユニットの熱効率は3.10～5.45となっている。HPユニットの冬期の熱効率は、定格熱効率に比して、1.00以上も低い。これは、調査期間が寒冬であったことによるものと考えられる。ガス熱源機の熱効率は0.80～0.83となっている。この熱効率は、潜熱回収型給湯機の性能評価をおこなったこれまでの研究³⁾⁴⁾¹⁷⁾¹⁸⁾が報告するものよりも低い。前、三浦、羽原、堀、桑沢、秋元、宇梶、澤地の研究³⁾では、ガス瞬間式給湯機の熱効率は、熱出力が小さいほど、低くなるとしている。ハイブリッド給湯機では、ガス熱源機への給水温度は、HPユニットの加熱によって、あらかじめ35℃以上になっている。このため、通常よりもガス熱源機の熱出力が小さくなり、熱効率が低下したものと考えられる。なお、ハイブリッド給湯機の総合熱効率は1.10～1.45となっている。

5-4. ハイブリッド給湯機の省エネルギー効果

ハイブリッド給湯機の年間2次エネルギー消費量と、調査住宅の年間給湯負荷をもとに算出した、各給湯機の年間2次エネルギー消費量を、図8に示す。なお、床暖房用2次エネルギー消費量は、調査住宅で収録した床暖房出力から、三浦、澤地、堀、細井の研究¹⁹⁾の推定式をもちいて区別し、また、従来型ガス給湯機と潜熱回収型給湯機の2次エネルギー消費量は、仕様書に記載されている定格熱効率をもちいて算出している。

ハイブリッド給湯機は、従来型ガス給湯機より、給湯で35%、床暖房で3%、全体で30%の2次エネルギー消費量を削減している。従来型ガス給湯機ならびに潜熱回収型給湯機の2次エネルギー消費量は、定格熱効率をもちいて算出しているため、ハイブリッド給湯機の床暖房用2次エネルギー消費量の削減量が小さくなっている。また、給湯用2次エネルギー消費量についても削減量が小さくなっているものと推測する。調査住宅では、ガス熱源機の暖房回路に床暖房が接続されている。しかし、暖房回路の循環経路については、貯湯槽やHPユニットから独立しており、前項の総合熱効率は、給湯用2次エネルギー消費のみの熱効率よりも低いものとなっている。

【計算にもちいた各給湯機の熱効率】
 従来型ガス給湯機熱効率/給湯:0.84 暖房:0.80
 潜熱回収型給湯機熱効率/給湯:0.95 暖房:0.87
 ハイブリッド給湯機の2次エネルギー消費量/実験結果

図8 各給湯機の年間2次エネルギー消費量

本項は、この影響を排除するために計算を試みた結果を示すものであるが、計算にもちいた各給湯機の熱効率は、仕様書に記載されている定格熱効率である。実使用下での熱効率は、定格熱効率よりも低くなることが多い。実際のハイブリッド給湯機の省エネルギー効果は、本項で示すものより、もう少し大きくなるものと考えられる。

5-5. ハイブリッド給湯機の1次エネルギー効率

各月の1次エネルギー消費量の日平均値と各月の1次エネルギー効率を、図9に示す。なお、電力の1次エネルギー消費量は、エネルギーの使用の合理化に関する法律・施行規則・別表第三に準じ、昼間9.97MJ/kWh、夜間9.28MJ/kWhをもちいて算出し、プロパンガスについては、2次エネルギー消費量をそのままもちいている。

1次エネルギー消費量は、35MJ/日～215MJ/日となっており、HPユニットとガス熱源機の1次エネルギー消費量の割合は、各月であまり差がなく、HPユニット/ガス熱源機で、28.5/71.5となっている。

HPユニットの1次エネルギー効率は1.20～2.05、ガス熱源機の1次エネルギー効率は0.73～0.81となっている。ガス熱源機の1次エネルギー効率は、熱効率に比して、ばらつきが大きい。これは、冬期に、凍結防止ヒーターが作動、給湯使用量の増加や床暖房の運転にともなってポンプ稼働時間が延び、ガス熱源機の消費電力が大きくなったことによるものと考えられる。ハイブリッド給湯機の1次エネルギー効率は0.85～1.15となっている。床暖房が運転する12月～3月では、1次エネルギー効率が1.00を下回っているが、年間では1次エネルギー効率が1.02と、1.00を超えている。

5-6. 考察

本論文は、2010年4月に販売開始された、ハイブリッド給湯機の実使用下での性能について報告するものである。

中尾の報告⁹⁾では、IVa地域での、床暖房を含むハイブリッド給湯機の1次エネルギー効率を1.00としている。本研究の調査住宅が所在するのはIVb地域であるが、調査住宅での1次エネルギー効率も1.02と近い値となっている。1次エネルギー効率1.02というのは、APF3.2のヒートポンプ給湯機と同程度の高いものである²⁰⁾。しかし、ヒートポンプ給湯機の場合には、気象条件や給湯機の使い方によって、効率が大きくばらつく。北山、村川、濱田、高田、鍋島、三村の研究⁹⁾では、APF3.5のヒートポンプ給湯機を使用している関東所在の4人世帯で、熱効率が2.29であった事例や、APF3.3のヒートポンプ給湯機を設置した同じく関東所在の4人世帯で、熱効率が1.85であった事例を示している。これは、1次エネルギー効率に換算すると0.70～0.85となり、従来型ガス給湯機や潜熱回収型給湯機とほぼ同程度になる。調査住宅の熱負荷は、標準的な熱負荷²⁰⁾の約1.75倍と大きくなっている。しかし、ハイブリッド給湯機の1次エネルギー効率は、中尾の報告⁹⁾と同程度となっており、修正M1モードを設定して評価した1次エネルギー効率と実使用下で評価した1次エネルギー効率に、あまり差がない。これは、ハイブリッド給湯機の性能が、非常に安定したものであるためと推測する。ヒートポンプ給湯機の場合は、高効率に貯湯しても、貯湯槽での残熱や放熱がある。ハイブリッド給湯機にも貯湯槽が備わっているが、その容量は50Lと小さく、沸上温度も45℃と、ヒートポンプ給湯機の65℃～90℃に比して、低い。また、HPユニットは、マイコンの学習機能により、0:00～6:00はほとんど運転しないため、調査住宅での各月の日平均残熱・放熱量は小さく、0.5MJ/日～5.0MJ/日となっている。ハイブリッド給湯機の貯湯槽には、HPユニットの沸上時間をえるためだけのものという割り切った設計意図があるものと想像する。

本論文では、東京近郊の戸建住宅1棟のみの調査報告となっている。しかし、このような情報は少しでも市場に提供することが重要であると考えられる。元、西尾、岩船の研究²¹⁾では、給湯機市場の特性として、住まい手自身が採用決定に大きく関与する場合の情報不足は、省エネルギー型給湯機の普及障害要因として大きいとしている。また、住まい手が、直接、採用決定に関与しない市場でも、たとえば戸建分譲事業主などへの情報提供は省エネルギー型給湯機の普及に大きく寄与するものと考えられる。本論文をきっかけに、今後、ハイブリッド給湯機についての資料が蓄積され、ハイブリッド給湯機も選択肢の1つとして提案されるようになることを期待したい。

なお、本論文の調査住宅での、ハイブリッド給湯機の熱効率は年

図9 各月の日平均1次エネルギー消費量と1次エネルギー効率

間で1.29、変動係数は9.0%、1次エネルギー効率は年間で1.02、変動係数は11.2%となっている。

6. まとめ

本研究の結果を以下に要約する。

- 1)ハイブリッド給湯機は、投入するエネルギー以上の熱負荷を処理する高い性能をもっている。
- 2)ハイブリッド給湯機の熱効率は1.29、変動係数は9.0%となり、1次エネルギー効率は1.02、変動係数は11.2%となる。
- 3)ハイブリッド給湯機には、従来型ガス給湯機の約30%の、潜熱回収型給湯機の約20%の2次エネルギー消費量の削減が期待できる。
- 4)ハイブリッド給湯機には、1次エネルギー評価で、APF3.2のヒートポンプ給湯機と同程度の省エネルギー効果が、安定して期待できる。

参考文献

- 1)財団法人日本エネルギー経済研究所計量分析ユニット：EDMC/エネルギー・経済統計要覧(2012年版)、財団法人省エネルギーセンター、pp.94～95、2012.3
- 2)井上隆：住宅における給湯用エネルギー消費の実態、IBEC、No.171、Vol.29-6、pp.4～7、2009.3
- 3)前真之、三浦尚志、羽原宏美、堀祐祐、桑沢保夫、秋元孝之、宇梶正明、澤地孝男：日変動と短時間出湯を考慮した実験用給湯消費モード 修正M1の設定とガス瞬間式給湯機の効率評価に関する実験的検討 住宅のための省エネルギー手法の実験的評価に関する研究 その3、日本建築学会環境系論文集、第76巻、第659号、pp.49～57、2011.1
- 4)久保田敏史、浅野良晴、高村秀紀：寒冷地における潜熱回収型ガス給湯器とCO₂ヒートポンプ給湯機の年間効率に関する研究、日本建築学会技術報告集、第16巻、第32号、pp.201～204、2010.2
- 5)北山広樹、村川三郎、濱田靖弘、高田宏、鍋島美奈子、三村拓矢：住宅におけるCO₂ヒートポンプ式給湯機の稼働実態と性能評価に関する研究 第1報 - 実使用に基づくCO₂ヒートポンプ式給湯機の性能評価、空気調和・衛生工学会論文集、No.169、pp.1～11、2011.4
- 6)中尾公厚：世界初 進化し続ける高効率給湯器 ハイブリッド給湯器「ECO ONE」、太陽エネルギー、No.4、Vol.37、pp.31～33、2011.7
- 7)前真之：給湯機もハイブリッド時代の幕開け、建築知識、No.683、p.77、2011.10
- 8)斎川路之：給湯用理想ヒートポンプサイクル及びその成績係数(COP)の導出と各冷媒の上限COPの評価、日本機械学会論文集 B編(流体工学、流体機械、熱工学、内燃機関、動力など)、第74巻、第738号、pp.255～260、2008.2
- 9)土屋静男：ヒートポンプ給湯機における貯湯制御、オペレーションズ・リサーチ、第54巻、第6号、pp.319～324、2009.6
- 10)前真之、高須直子、鍋島美奈子、市川憲良、飯尾昭彦、鎌田元康：住宅における給湯日消費量の季節・短期変動、日本建築学会環境系論文集、第622号、pp.73～80、2007.12

- 11)近藤修平、鉾井修一：住宅の給湯配管における熱損失に関する研究、日本建築学会環境系論文集、第76巻、第669号、pp.981～989、2011.11
- 12)鈴木一聡、大塚雅之：台所用シングルレバー型水栓の節水・節湯化手法に関する調査研究 -食器洗浄におけるレバー操作とその意識の実態-、日本建築学会環境系論文集、第74巻、第637号、pp.353～360、2009.3
- 13)岩本静男：温水配管・貯湯槽の断熱による省エネルギー、IBEC、No.171、Vol.29-6、pp.29～31、2009.3
- 14)濱田靖弘、村川三郎、永廣健太郎、北山広樹、鍋島美奈子、高田宏：実使用を考慮した貯湯式給湯機の性能評価に関する研究 -修正 M1 モードによる CO₂ ヒートポンプ式給湯機の評価-、空気調和・衛生工学会論文集、No.143、pp.31～44、2009.2
- 15)KHKS 0738(2010)：LP ガス設備設置基準及び取扱要領、高圧ガス保安協会、pp.28～30、2012.2
- 16)財団法人日本エネルギー経済研究所計量分析ユニット：前掲同書 1)、pp.377
- 17)王祥武、前真之、岩本静男、鎌田元康：住宅用給湯システムの熱効率および熱損失の検討 住宅用給湯システムの効率評価法に関する研究 第1報、日本建築学会環境系論文集、第580号、pp.61～68、2004.6
- 18)小澤明也、浅野良晴、高村秀紀、久保田敏史、阿部祐樹：寒冷地における住宅用給湯設備の効率性に関する研究、日本建築学会環境系論文集、第76巻、第668号、pp.919～926、2011.10
- 19)三浦尚志、澤地孝男、堀祐治、細井昭憲：定常状態における温水床暖房のエネルギー消費量の推定法、日本建築学会環境系論文集、第73巻、第626号、pp.487～494、2008.4
- 20)前真之：住宅事業建築主の判断の基準におけるエネルギー消費量計算方法の解説 給湯設備のエネルギー消費量に関する評価方法、財団法人建築環境・省エネルギー機構、pp.211～213、2009.3
- 21)元アンナ、西尾健一郎、岩船由美子：家庭部門における省エネルギー型給湯器の導入実態の分析、日本建築学会環境系論文集、第76巻、第663号、pp.529～538、2011.5

[2012年9月15日原稿受理 2013年3月8日採用決定]