

住宅の給湯配管における熱損失に関する研究

HEAT LOSS FROM HOT WATER SUPPLY LINE IN A RESIDENTIAL BUILDING

近藤修平*, 銚井修一**
Shuhei KONDO and Shuichi HOKOI

In order to evaluate heat loss from hot water supply lines in a residential building, hot water demand in a house in Chiba prefecture was measured and analyzed. The following results were obtained.

1. The heat loss of the hot water supply line was about 132kJ for the shower and 110kJ for the bathtub in winter. Since the temperature difference between the inlet and outlet of the hot water supply line is small, the measured heat loss from the hot water supply line sometimes becomes negative.
2. In order to estimate the heat loss under various conditions, a thermal model was proposed.
3. The calculated daily heat loss of the hot water supply line was 122kJ for the shower and 689kJ for the bathtub in winter. The average daily heat loss from the hot water supply line during use and after use was 1774.7KJ in winter. This heat loss amounts to 4.7% of the total daily energy use for hot water supply.
4. For reducing the heat loss, thermal insulation of the hot water supply line and the use of thinner pipes are effective.

Keywords: Hot water Demand, Hot-water supply line, Heat loss, On site measurement, Residential building

給湯需要, 給湯配管, 熱損失, 現場測定, 住宅

1. はじめに

京都議定書の発効に伴い、わが国では1990年比で6%の温室効果ガスの削減が求められている。わが国の分野別温暖化ガス排出量の内訳によれば¹⁾、家庭部門の温室効果ガス排出量の増加率は他の部門に較べて大きく、この部門における省エネルギー対策が求められている。

しかし、家庭部門におけるエネルギー消費は多様であり²⁾、一律の方策はない。そこで、家庭部門のエネルギー消費の実態把握を目指してエネルギー消費実測³⁾、4)やエネルギー消費のモデル化⁵⁾が行われ、住宅の用途別エネルギー消費の実態が明らかになってきた。例えば、関東地区15軒の住宅におけるエネルギー消費実態調査⁶⁾によると、戸建住宅におけるエネルギー消費量の40%が給湯、20%が空調、18%が照明であった。

家庭部門のエネルギー消費抑制策として、空調用途では高効率の暖房機器、照明用途ではLED照明が導入されつつあるが、住宅のエネルギー消費において大きな割合を占める給湯分野のエネルギー消費量の削減も重要な課題である。給湯における省エネルギー策として、自然冷媒式ヒートポンプ給湯機、潜熱回収型給湯機、太陽熱温水器および固体高分子型燃料電池等分散電源型給湯システムなどの高効率給湯機の導入が行われている。

これらのシステムの中で、蓄熱槽を持つ給湯システムにおいては、設置スペースの制約条件から蓄熱槽から浴室までの配管距離が長く

なる可能性があり、配管における熱損失の評価も必要になってくる。例えば王ら⁷⁾は、給湯配管からの熱損失に関して、人工環境室において、JISの給湯使用モードに基づく給湯使用パターンを使用して、配管方法による放熱損の差異について評価を行っている。ただ、実際の住宅において給湯配管からの熱損失について検討したものは見られない。なお、本論文の解析手法は基本的に文献⁸⁾と同じである。

本論文では、既築住宅に多く見られる被覆銅管を使用した先分岐配管方式の給湯配管における熱損失の計測を実住宅で行うとともに、数値モデルにより配管熱損失の評価を行った結果を報告する。

2. 測定の概要

実測の対象としたのは、千葉に建つ戸建住宅A邸である。測定期間は2008年12月17日から2009年6月22日であるが、今回は冬期に着目し、2008年12月17日から2009年1月16日を解析対象とした。居住者は通常4人(父・母・大学生と高校生の子)であるが、測定期間中の一時期(2008年12月30日から2009年1月4日)には、大学生の子が1人帰省したため、その間の居住者は5人となっている。

使用されている給湯機は、ガス瞬間式給湯機であり(表1)、住宅1階の北側の壁に沿って設置されている。浴室は2階に設置されているため、給湯機から浴室内のシャワーや浴槽までは全長約7mの配管に

* 関西電力㈱エネルギー利用技術研究所 工博

** 京都大学大学院工学研究科 教授・工博

Energy Use R&D Center, Kansai Electric Power Co., Inc., Dr. Eng.
Prof., Graduate School of Engineering, Kyoto Univ., Dr. Eng.

より接続されている。なお、台所の給湯は別系統の給湯システムで構成されている。モニターへの聞き取り調査によると、ほとんど使用されていないとのことであり、今回は測定していない。

図1に示すように、配管からの熱損失を測定するために、浴槽配管入口及びシャワー配管入口での給湯温度（配管表面温度）、浴槽配管出口及びシャワー配管出口における給湯温度及び浴室内部温度・外気・地盤温度を計測した。計測点、計測方法及び測定間隔を表2に示す。表中の温度計測方法において、「配管表面」とは被覆銅管の被覆樹脂の温度を、「銅管表面」とは銅管と銅管を接続する黄銅製の接続金具の表面温度を示す。これらは、実住宅において配管内の温度を直接計測するのが困難であるため、これらで配管内の給湯温度に代えようとい意図したものである。

なお、シャワー配管出口温度に関しては、樹脂製シャワーヘッドに穿孔して、T型熱電対を取り付けた。また、浴槽配管出口温度も浴槽出口に熱電対を直接取り付けて計測を行った。外気温度、浴室温度は、小型温湿度計により測定した。また、居住者4人には、入浴のたびに入浴時間、入浴形態（シャワー浴か、浴槽湯張り浴かなど）及び追い焚きの有無について記録してもらった。

表1 給湯機・測定装置の仕様及び配管等の構成

ガス瞬間式給湯機	ノーリツ社製 GT-2410SAR 24号
配管材料	住友軽金属工業 プリゾール・チューブ
	銅管外径 15.88mm
	配管肉厚 0.71mm
	樹脂被覆厚さ 3.5 mm
流量計（電磁流量計）	富士電気社製 FLM21-11PCW
温度	T型熱電対
外気温・浴室温度	T&D社製 TR-72 S

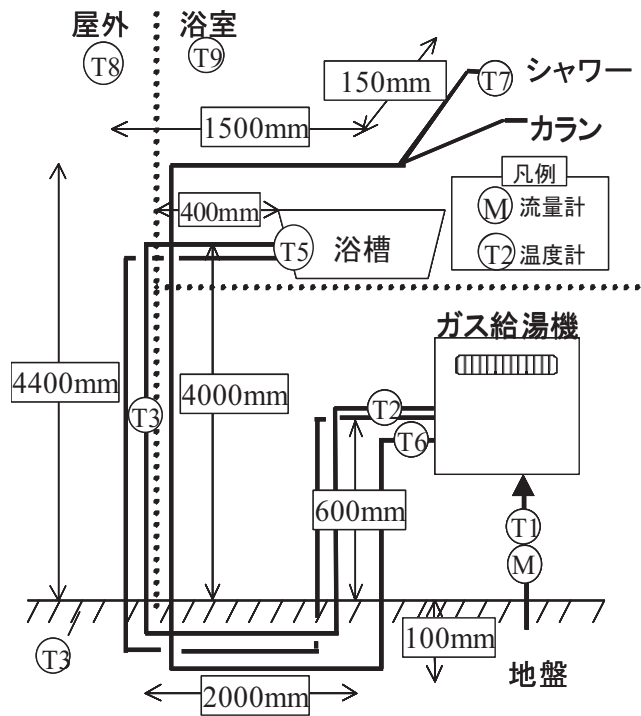


図1 測定システムの概要

表2 測定項目と測定方法

場所	測定箇所	計測方法	測定間隔	単位
T1	給水温度	銅管表面	1分	0.1℃
T2	浴槽配管入口温度	銅管表面	10秒	0.1℃
T3	地盤温度（深さ5cm）	直接	10秒	0.1℃
T4	浴槽配管表面温度	配管表面	10秒	0.1℃
T5	浴槽配管出口温度	直接	10秒	0.1℃
T6	シャワー配管入口温度	銅管表面	10秒	0.1℃
T7	シャワー配管出口温度	直接	10秒	0.1℃
T8	外気温度	直接	15分	0.1℃
T9	浴室温度	直接	15分	0.1℃
M	給水量	流量計	10秒	0.1 L

3. 測定結果

以下に、浴室及び外気の温熱環境、シャワー使用時の各部の温度、浴槽湯張り時の温度の測定結果及び給湯使用状況を示す。

3.1 温熱環境

測定期間中の外気温及び地盤温度を図2に示す。外気温は、2008年12月22日頃に20℃近くまで上昇しているが、平均的には日がたつにつれて低下している。地盤温度は外気温の平均近くで推移している。

図3に浴室温度を外気温とともに示す。浴室温度も外気温に類似した変動をしているが、測定期間中の外気温度は平均で6.8℃であり、浴室温度の平均は11.0℃であった。

日変動の一例として、2008年12月19日における、外気温度・地盤温度・浴室温度の推移を図4に示す。外気温は明け方（午前7時頃）

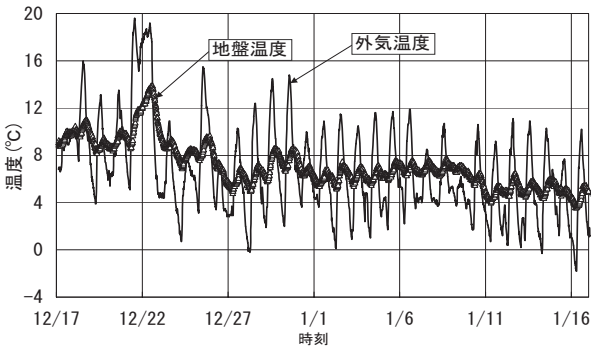


図2 外気温度及び地盤温度

（2008年12月17日～2009年1月16日）

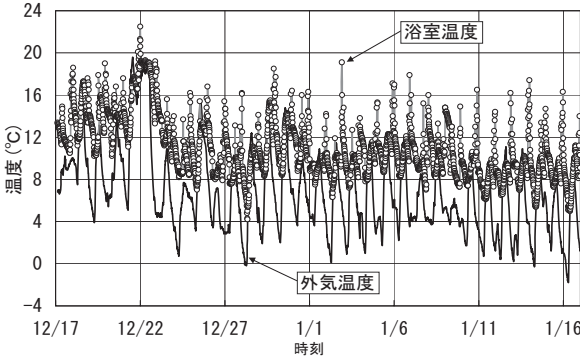


図3 外気温と浴室温度

（2008年12月17日～2009年1月16日）

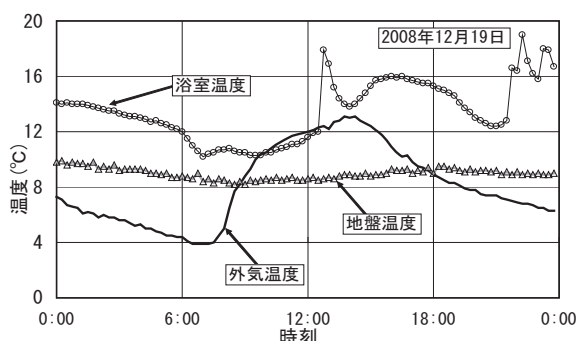


図4 外気温度・地盤温度・浴室温度の日変動の例
(2008年12月19日)

に最低温度3.9℃をとり、午後2時頃に最高温度13.1℃となっている。浴室温度は平均で13.5℃程度であり、昼間(13時頃)及び夜間(21～23時頃)にピークが発生している。これは、入浴行為によるものである。地盤の温度はほとんど変化しておらず、8.9℃程度である。

3.2 湯使用時の配管部の給湯温度分布

図5は、配管が冷えた状態(前日21時から不使用)からシャワーを使用した場合のシャワー配管入口・出口の温度及び給湯量の推移である。シャワーが使用されると、シャワー配管入口側の温度が上昇し始め、10秒ほど遅れてシャワー配管出口温度の上昇が始まる。シャワー使用開始20～40秒間はシャワー配管入口・出口温度には17℃程度の差があるが、1分を経過すると両者はほぼ等しくなり、シャワーの使用が終わると徐々に低下する。

図6は、短時間で断続的にシャワーを使用した場合のシャワー配管入口・出口温度の推移である。20時20分から20時30分までの給湯の使用の際、シャワー配管入口温度は上昇しているが、シャワー配管出口温度は変化していないので、この給湯はシャワー用途ではない。これは湯張りの際、浴槽配管からの熱が給湯機の本体外板を通じてシャワー配管に伝わり、シャワー配管温度が上昇したものと考えられる。湯張り完了後の最初のシャワー使用時(20時45分)には、シャワー配管入口・出口温度は図5と同様の温度上昇を示す。2回目のシャワー使用が開始されると(20時47分)、1回目の使用時とは異なり、入口・出口温度はほぼ同時に上昇する。この直後に続く3回目のシャワー使用時(20時49分)にもほぼ同様の傾向が見られる。

図7は、浴槽に湯を張ったときの浴槽配管入口・出口温度及び浴槽配管の途中における給湯温度の推移を示している。湯張りが始まると、

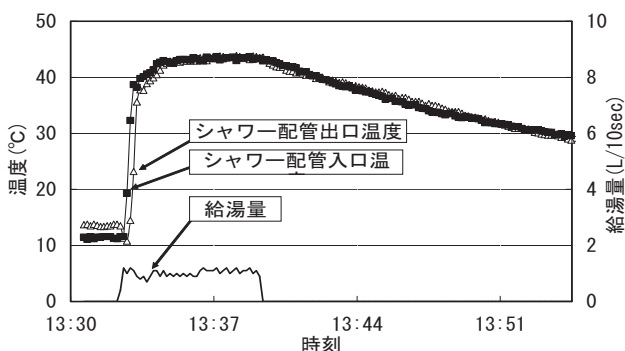


図5 シャワー使用時の配管入口・出口温度
(2008年12月20日)

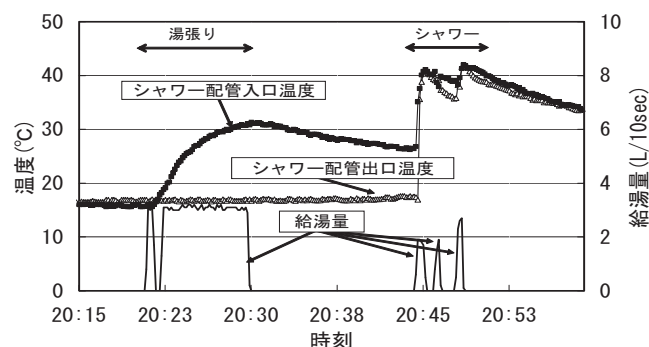


図6 シャワー使用時の配管入口・出口温度(断続的使用時)
(2008年12月21日)

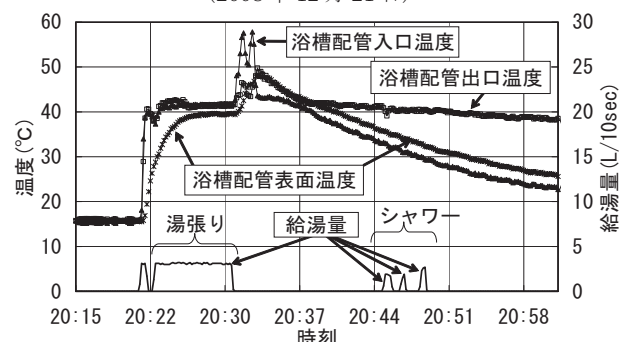


図7 浴槽湯張り時の浴槽配管出入口温度
(2008年12月21日)

シャワー使用時と同様に、数十秒で浴槽配管出口・入口温度はほぼ同じ温度となっている。20時30分過ぎに浴槽配管入口温度が57℃近くまで上昇しているが、これは湯張り終了後に、追い焚き運転が行われたためである。なお、20時22分頃に一度給湯量が0になっているが、これは最初に呼び水を送って配管の空気抜きと浴槽水位を確認し、それから浴槽給湯を行うために一度停止するという給湯機側の制御運転に起因するものである。

一方浴槽配管途中における配管表面温度は、浴槽配管入口・出口温度に較べて低い温度で推移し、浴槽湯張り開始から10分ほど経過してから浴槽配管入口・出口温度に近い温度まで上昇している。浴槽配管表面温度は配管表面の被覆樹脂の温度を測定しているために、給湯温度を直接測定している配管出口温度や、熱伝導の良い銅管表面を測定している配管入口温度よりも緩やかな温度変化をしたものと考えられる。20時38分以降、浴槽配管入口及び浴槽配管表面温度は緩やかに低下しているが、浴槽配管出口温度はそれほど温度低下していない。これは浴槽配管出口温度を測定している熱電対が浴槽内部の温水に浸っているためと考えられる。

3.3 給湯熱量

測定期間中の日積算給湯熱量を図8に示す。図中の「シャワー配管系」とはシャワー配管を通じて消費された給湯熱量を、「浴槽配管系」とは浴槽配管を通じての給湯熱量を意味する。なお、日積算給湯熱量 Q_h [MJ/day]は、時刻 t における給湯機出口温度 $T_h(t)$ [°C]、給水温度 $T_w(t)$ [°C]、給水量 $V_w(t)$ [L/10sec]及び水の比熱を c [kJ/°C] (=MJ/°C m³) として、(1)式により算定した。

$$Q_h = \sum_i (T_h(t) - T_w(t)) V_w(t) t c \quad (1)$$

ただし、 Σ は使用時間についての和である。また、追焚き運転の際

の給水量は測定していないので、便宜的に追焚き運転の際に消費される給湯エネルギーを 2MJ とした。（ここに 2MJ は、追焚き運転の際に浴槽から給湯機に戻る水の温度を 36℃、給湯機で加熱されて浴槽へ戻る水の温度を 55℃とし、1 回の追焚で浴槽内の湯を 4℃上昇させるのに必要な水の量を 25L 程度と想定して算出した。）

また、各日のシャワー・湯張り・追焚使用の回数を図 9 に示す。1 日 1 回の浴槽湯張り、日に数回程度の追い焚き運転がなされている。また、シャワー等の使用頻度は数回/日程度であった。

図 10 に 40℃換算湯量を示す。本モニターにおける 40℃換算湯量の平均は 200L/day であり、近藤⁹⁾らの修正 M1 モード 4 人世帯における平日（小）の 380L/day と較べても少ない。モニターへの聞き取り調査によると、もともと台所で給湯は使用しない、シャワーを使用するのは 1 人で毎日必ずしも在宅しない、他の 3 人はシャワーをあまり使用しないとのことであった。これらの事を考慮すると、修正 M1 モードの洗面および浴室の湯消費量 200L/Day に相当した使い方の住戸に近いといえる。

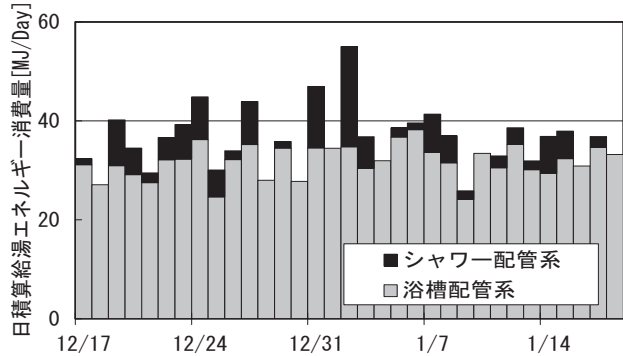


図 8 日積算給湯熱量（2008 年 12 月 17 日～2009 年 1 月 17 日）

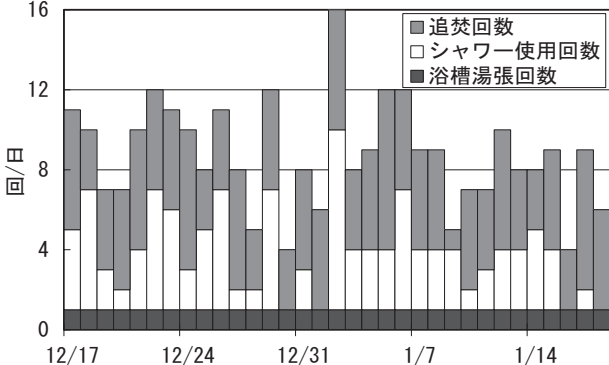


図 9 給湯使用回数（2008 年 12 月 17 日～2009 年 1 月 17 日）

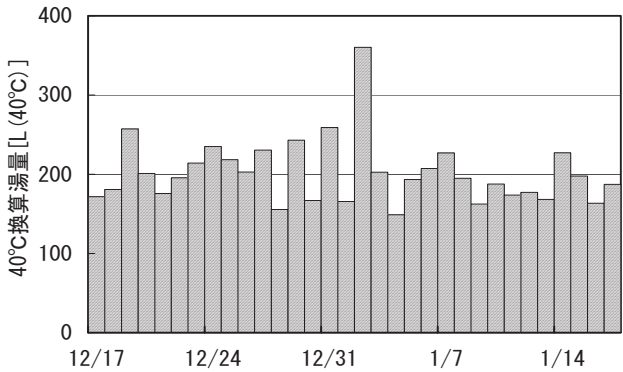


図 10 40℃換算湯量（2008 年 12 月 17 日～2009 年 1 月 17 日）

4. 配管からの熱損失量の概算

4.1 配管熱損失の算定方法

図 11 に示すように、給湯使用中に配管表面から失われた給湯熱量 Qp_sur [kJ] 及び給湯使用直後配管中に残留し、次の使用までに放熱された給湯熱量 Qp_rem [kJ] を、実測データに基づき算定した。熱損失 Qp_sur は湯が給湯配管を流れる間に失う熱量であり、測定データをもとに次式により計算した。

$$Qp_sur = \sum_t (T_{in}(t) - T_{out}(t)) \cdot V_w(t)tc \quad (2)$$

ここに、 $T_{in}(t)$ は時刻 t における配管入口温度 [℃]、 $T_{out}(t)$ は時刻 t における配管出口温度 [℃] を表している。熱損失 Qp_rem は、給湯使用停止後に配管内に残留した湯が周囲に放熱することで失う熱量であり、測定データをもとに、次式により計算した。

$$Qp_rem = (T_{stop} - T_{restart}) V'c \quad (3)$$

ここに、 T_{stop} は給湯停止時の配管入口温度 [℃]、 $T_{restart}$ は次の湯使用開始直前の配管入口温度 [℃]、 V' は給湯配管内に残留した湯量 [L] を表す。なお、配管内部の温度分布は均一で、配管入口温度と等しいと仮定している。

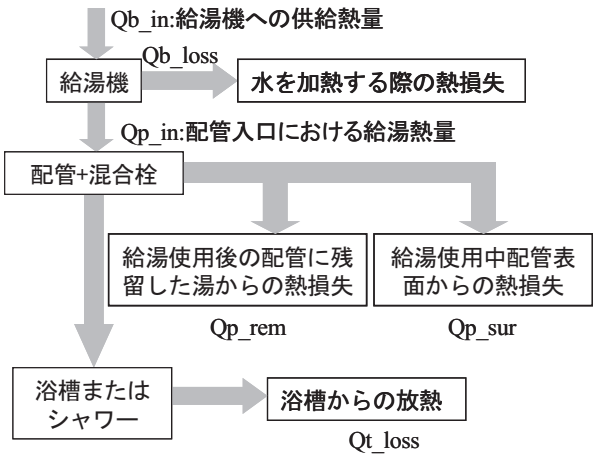


図 11 給湯システムにおける熱損失のモデル化

4.2 損失熱量の算定結果

(1) シャワー配管からの熱損失

図 5 に示すシャワー使用時の合計給水量、給湯熱量、湯使用時熱損失、熱損失率を表 3 に示す。同様に、図 5 のシャワー使用後の温度変動を図 12 に、熱損失率を表 4 に示す。シャワー使用中の熱損失 Qp_sur は、熱損失 245kJ と算定され、熱損失率は 4.7% となった。シャワー使用後の熱損失は 157 kJ と算定され、シャワー使用中の熱損失の大きさに較べて無視できない大きさとなった。

表 3 シャワー使用時の熱損失（12 月 20 日）

合計給水量 [L]	43.5L
配管入口に供給された給湯熱量 Qp_in [kJ]	5240kJ
湯使用時の給湯配管における熱損失 Qp_sur [kJ]	245kJ
熱損失率 [%] = Qp_sur/Qp_in	4.7%

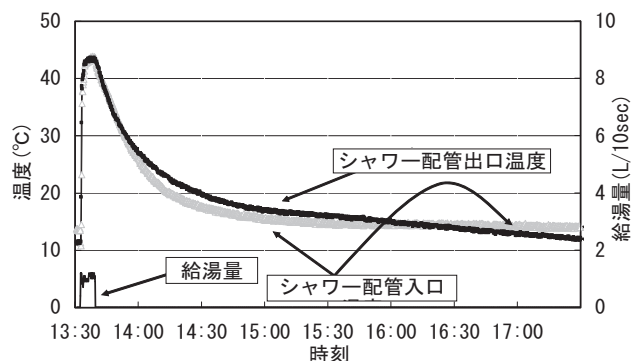


図 12 シャワー使用後の配管の温度変動 (2008 年 12 月 20 日)

表 4 シャワー使用後の熱損失 (12 月 20 日 13:40~17:30)

給湯停止直後の給湯配管入り口温度 θ_{stop} [°C]	43.4°C
給湯停止後の給湯配管入り口温度[定常状態] θ_{stop_stdy} [°C]	15.0°C
給湯配管における湯使用停止後熱損失 Qp_rem [kJ]	157kJ

(2) 浴槽配管の熱損失について

図 7 に示す 12 月 21 日の浴槽湯張り時の合計給水量、配管入口に供給された給湯熱量、湯使用時熱損失、熱損失率を表 5 に示す。浴槽湯張り中の熱損失 Qp_sur は 110kJ となり、熱損失率は 0.9% となった。

次に、図 13 の 12 月 21 日の浴槽湯張り後の熱損失を表 6 に示す。なお、計算対象は、20 時 33 分～21 時 02 分の区間である。浴槽湯張り後の熱損失 Qp_rem は 113kJ となり、湯張り中における熱損失 Qp_sur 110kJ とほぼ同じ大きさであった。また、この後に数回行われた追焚運転後の温度推移もほぼ同様であり、熱損失の値もそれぞれ同程度の大きさとなっている。例えば、21 時 09 分から 21 時 38 分における熱損失は 108kJ であった。

表 5 浴槽湯張り中の熱損失 (12 月 21 日 20 時 21 分～20 時 30 分)

合計給水量[L]	152 L
給湯停止までに供給された給湯熱量 Qp_in [kJ]	17300 kJ
給湯配管における湯使用時の熱損失 Qp_sur [kJ]	110kJ
熱損失率 [%]= Qp_rem / Qp_in	0.62%

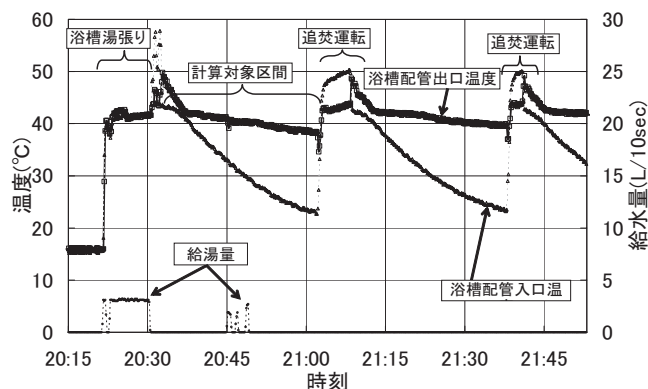


図 13 浴槽湯張り後の浴槽湯配管及び給湯温度の変動 (2008 年 12 月 21 日)

表 6 浴槽湯張り後の熱損失 (12 月 21 日 20 時 33 分～21 時 02 分)

給湯停止時の給湯配管入り口温度 θ_{stop} [°C]	42.8°C
次の給湯開始直前の給湯配管入り口温度 $\theta_{restart}$ [°C]	22.7 °C
給湯配管における湯使用停止後の熱損失 Qp_rem [kJ]	113kJ

5. 数値解析による熱損失の算定

前章では実測結果に基づく熱損失の評価を行った。測定値がある場合に負の値となったことに対する検討、および今後断熱や配管長等の影響を検討するために、本章では給湯配管をモデル化し、非定常熱伝導方程式による解析結果と各測定値との対応よりモデルのパラメータを推定し、その結果を用いた解析により給湯配管部における熱損失を算出した。

5.1 配管熱損失モデルの作成

(1) 給湯配管における熱収支

給湯配管周りは円筒 2 次元の系で扱えるものとした。

$$c\gamma \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda_r \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \lambda_z \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \quad (4)$$

ここで、 z は配管の軸方向、 r は配管の半径方向、 T は温度(K)、 $c\gamma$ は熱容量(J/m³・K)、 λ_r と λ_z は r 方向および z 方向の熱伝導率(W/m・K)である。配管内の水の流れに伴う熱の移動は、(5)式で記述されるものとした。ただし、配管内の r 方向の温度は一様と仮定した。

$$c\gamma \frac{\partial T_w}{\partial t} \pi \left(\frac{D}{2} \right)^2 = h_w (T_{pipe} - T_w) \cdot \pi D - c\gamma \pi \left(\frac{D}{2} \right)^2 v \cdot \frac{\partial T_w}{\partial z} \quad (5)$$

ここに、 v は給湯の流速 [m/s]、 D は配管の直径(=15.6×10⁻³) [m]、 T_{pipe} は配管内側の温度(K)、 h_w は配管内側表面の熱伝達率 [W/m²・K]である。

(2) シャワー配管のモデル化

シャワー配管入口から出口までは直線と近似する。対称性を仮定したモデルを図 14 に示す。銅とポリエチレンからなる配管は、給湯機から 600mm の区間では外気と、600～2600mm の区間では地盤と、2600～7000mm の区間では壁体と接している。なお、給湯機から 125 mm の区間ではポリエチレン被覆がなく、銅管が露出した状態とする。

シャワーホースは長さ 600mm、配管内側半径 6.0mm、肉厚 2.0mm の円筒形、シャワーヘッドは長さ 125mm、配管内側半径 6.0mm、厚さ 2.0mm の円筒形としてモデル化する。また、シャワーホースの材質は軟質塩化ビニル、シャワーヘッドの材質は ABS 樹脂であるとする。地盤に関しては配管表面から 50mm 離れた位置までを解析対象とする。

境界条件として、外気と接する配管表面や地盤表面及び壁体、浴室空気と接するシャワーホース表面やシャワーヘッド表面では第三地境界条件、銅管領域の給湯機側境界面と、シャワーヘッドと銅管の境界及び給湯停止後の水の給湯機側境界面では第二境界条件、地盤領域の遠方境界面では第一境界条件とする。また、シャワー使用時は水の z 方向の熱伝導は、水の流れに伴う熱移動に比べて非常に小さいので無視する。

時間帯に関しては、ガス給湯機の給水量 M が 0 で、浴槽配管入口温度 T_2 が 20°C 以下から急激に 36°C を超えた時間を追い焚き開始時刻とし、 T_2 が 50°C 以上から 42°C を下回った時刻を追い焚き運転終了時とした。

5.3 給湯配管における熱損失の算出方法

給湯配管からの熱損失を湯使用時の熱損失 Q_{p_sur} と湯停止時の熱損失 Q_{p_rem} に分けて算出する。

(1) 給湯使用時の熱損失の算出

次式より水から配管内側表面への伝達熱量を積算して求める。

$$Q_{p_sur} = \sum \sum h_w (T_{water} - T_{pipe}) \cdot \pi D \cdot \Delta z \quad (7)$$
ここで、 Δz は軸方向の微小距離 [m] を表している。

(2) 給湯停止後の熱損失の算出方法

解析で得られる配管内温度分布を用いて、次式により計算する。

$$Q_{p_rem} = \sum_z (T_w^{stop}(z) - T_w^{restart}(z)) V' c \quad (8)$$
ここで、 $T_w^{stop}(z)$ は位置 z における給湯停止時の水の温度 [K]、 $T_w^{restart}(z)$ は次の追い焚きが発生する直前の位置 z における水の温度 [K]、 V' は配管内に残留した湯量 [L] である。

5.4 解析結果

(1) 配管出口における給湯温度の実測値と解析値の比較

実測された周辺環境温度、給水量、給湯機出口温度を入力として配管各部における温度を算出し、その結果を用いて熱損失を算出した。各給湯需要について、給湯開始 1 分前から 3~6 時間の期間を対象に計算を行った。

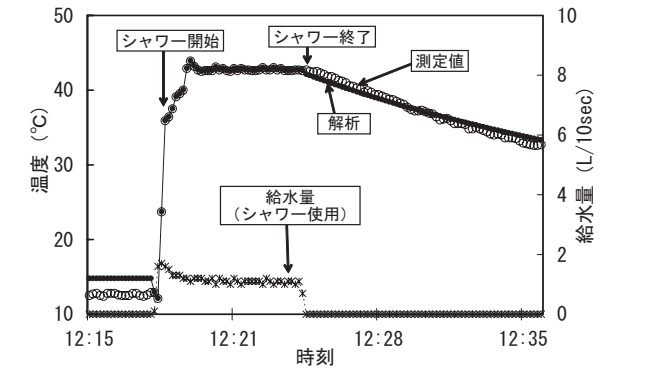


図 16 シャワー配管出口水温の解析結果と測定値の比較 (2008 年 12 月 25 日)

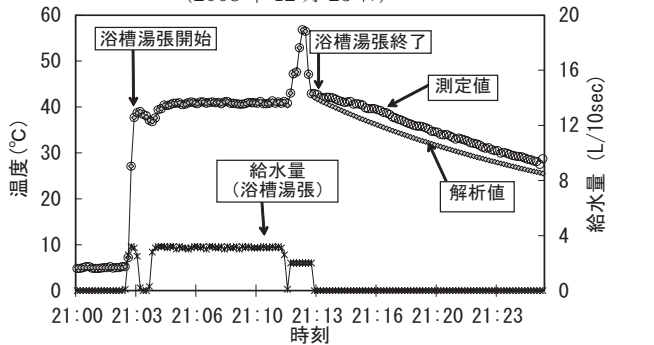


図 17 浴槽湯張時の浴槽配管出口水温の解析結果と測定値の比較 (2008 年 12 月 23 日)

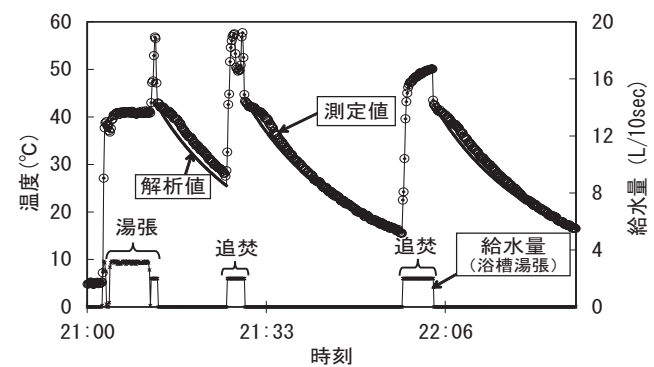


図 18 追焚き時の浴槽配管出口水温の解析結果と測定値の比較 (2008 年 12 月 23 日)

図 16 は、12 月 25 日 12 時 15 分~12 時 35 分におけるシャワー配管出口における給湯温度の結果である。シャワー使用時の解析値は、測定値とほぼ一致している。また、シャワー停止後は解析値のほうが測定値よりも温度低下が遅いが、両者は大略一致しているといえる。同様に、図 17 に 2008 年 12 月 23 日の浴槽湯張りを行ったときの、図 18 にそれに続いて起こる数回の追い焚きに伴う浴槽配管出口における給湯温度を示す。湯張り終了後や追焚運転終了後においては解析値よりも測定値の温度が僅かに高い。これは、解析では湯張り終了後において、浴槽配管出口温度を計算する際、浴槽内の水との熱伝導のみを考慮し、対流による熱の移動を考慮していない。このため、測定値と実測値の差が生じたものと考えられる。また、図 17 の湯張りにおける温度変動の解析値及び図 18 の 1 回目、2 回目追焚き運転時の計算値は、それぞれの実測値と比較的良く一致している。

(2) シャワー配管における熱損失の解析結果

表 8 に、例として図 16 に示したシャワー使用時における給湯熱量とシャワー配管での熱損失の解析及び測定結果を示す。湯使用時における熱損失の測定結果は 170kJ に対して、解析結果は 132kJ となった。また、給湯使用後の熱損失に関しては、測定結果 189kJ に対して解析結果 178kJ となった。結局、シャワー配管での熱損失の合計は、測定値 348kJ に対して解析値 322kJ であり、両者は大略一致しているといえる。

(3) 浴槽配管における熱損失の解析結果

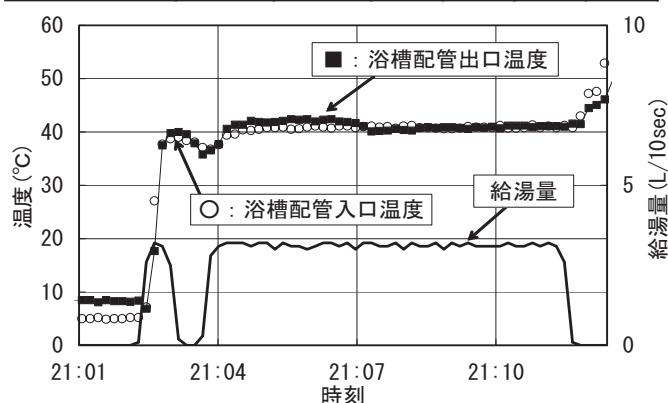
表 9 に、2008 年 12 月 23 日(図 17)における湯張り、追い焚きごとの合計給水量、給湯熱量、湯使用時熱損失、停止後熱損失の解析値と測定値を示す。湯張り時の熱損失の測定値はしばしば負の値となった。図 19 に、負の値となった 21 時 4 分~21 時 12 分における浴槽用配

表 8 シャワー使用時における熱損失 (12 月 25 日)

	解析値	測定値
給水量 (L)	48	48
平均給湯温度 ($^{\circ}\text{C}$)	40	41
給湯熱量 (kJ)	5500	5300
a. 湯使用時熱損失 (kJ)	132	170
b. 湯停止後熱損失 (kJ)	190	178
a+b=熱損失合計 (kJ)	322	348
熱損失率 (%)	5.9%	6.1%

表 9 浴槽使用時の熱損失

湯使用開始時刻 ～ 湯使用終了時刻	給水量 (L)	配管入り口に供給 された給湯熱量(KJ)		湯使用時 熱損失(kJ)		湯停止後 熱損失(kJ)	
		解析値	測定値	解析値	測定値	解析値	測定値
21:02:40 ～ 21:03:30	11.7	1090	1080	46	118		
						6	11
21:04:00 ～ 21:11:40	140	17300	17200	99	-256		
						1	0
21:11:50 ～ 21:13:00	16	835	1090	26	125		
						77	17
21:26:00 ～ 21:29:10	40	2380	2500	79	17		
						139	86
21:58:40 ～ 22:04:20	70	2740	2970	119	-948		
						135	74
22:33:30 ～ 22:37:10	46	1700	1850	94	-523		
						135	100
23:06:10 ～ 21:07:40	20	122	190	52	-108		
						119	54
23:31:10 ～ 23:32:20	16	337	390	50	135		
						213	187
total		26500	27300	565	-1440	825	528

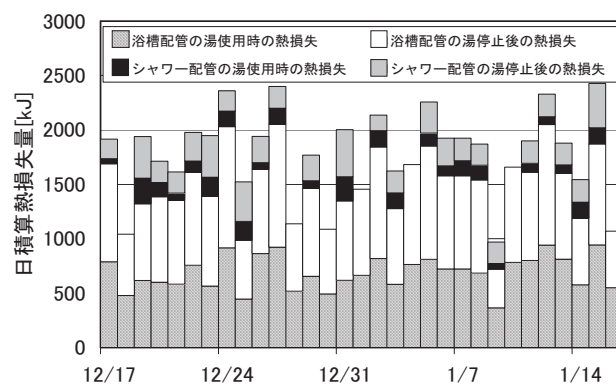
図 19 浴槽配管部における配管入口・出口温度の推移
(2008 年 12 月 23 日:浴槽湯張時)

管入口・出口温度の推移を示す。21 時 3 分から 21 時 7 分にかけて、出口温度が入口温度よりも若干高くなっている。浴槽配管入口温度は、配管の金属部表面から給湯温度を測定しており、管内の水の直接測定ではない。このために、配管金属部が十分に温まるまでの間、給湯温度を直接測定している浴槽配管出口温度よりも浴槽配管入口温度が低く観測されたと考えられる。12 分における浴槽用配管入口・出口温度の推移を示す。21 時 3 分から 21 時 7 分にかけて、出口温度が入口温度よりも若干高くなっている。浴槽配管入口温度は、配管の金属部表面から給湯温度を測定しており、管内の水の直接測定ではない。このために、配管金属部が十分に温まるまでの間、給湯温度を直接測定している浴槽配管出口温度よりも浴槽配管入口温度が低く観測されたと考えられる。

湯停止後の熱損失は、当然湯の使用間隔によって異なっている。21 時 4 分および 21 時 12 分からの湯使用は、いずれも直前の湯使用から 1 分以内に起こっているために少ないが、運転間隔が 20 分となった後の追い焚き時の湯停止後熱損失は 118～212kJ 程度となった。

(4) 給湯配管における熱損失の日積算値の解析結果

測定期間中の熱損失の解析結果を、熱損失率と合わせて図 20 に示す。湯使用時熱損失は、シャワー配管で平均 122kJ/day、浴槽配管で平均 689kJ/day となっており、給湯停止時の熱損失と比べても無視できない値となっている。特に浴槽配管では熱損失合計に占める湯使用時の熱損失の割合は 46%であり、湯使用後の熱損失と同程度となっている。また、測定期間中におけるシャワー配管の熱損失が平均 371kJ/day であるのに対し、浴槽配管のそれは 1490kJ/day と多くなっているが、これは図 9 に示したように、自動運転による追い焚き回数がシャワーの使用回数よりも多く、湯使用後の熱損失が大きくなるためである。全ての熱損失の合計値は期間平均で 1780kJ/day となっている。

図 20 給湯配管部における熱損失の日積算値と熱損失率
(2008 年 12 月 17 日～2009 年 1 月 16 日)

(5) 解析結果全体としての評価

数値モデルによる熱損失の解析モデルについて、シャワー配管の温度変化の解析値と実測値は比較的良く一致した。一方、浴槽配管温度変化の解析値と実測値に一部に差はあるが、温度変化の傾向はそこそことらえている。また、測定値から算出された熱損失値の一部は負となっていることを考えると、熱損失としては解析値の方がより実際に近いものと考えられる。よって実住宅における給湯使用の調査では、今回のように測定装置の取り付け上の制約から測定誤差が生じるが、実測値と数値モデルによる解析を併用することにより、ある程度測定上の問題を補えるといえる。

(6) 給湯熱損失の低減対策について

給湯配管部における熱損失の低減対策として、配管の小口径化や、配管断熱の強化が考えられる。そこで、2009 年 1 月 5 日の測定値をもとに、配管口径を 15.6mm (標準) から 14mm, 12mm および 10mm にした場合の熱損失推定値を図 21 に示す。配管の口径を細くすることにより、使用されずに配管内部より放熱される湯量が減るために、熱損失が減っている。同様に、現在の配管表面皮膜の上に 10mm, 20mm および 30mm 厚さのフォームポリスチレンを巻いた場合の熱損失推定値を図 22 に示す。断熱材の厚みを増すごとに熱損失が小さくなっている。

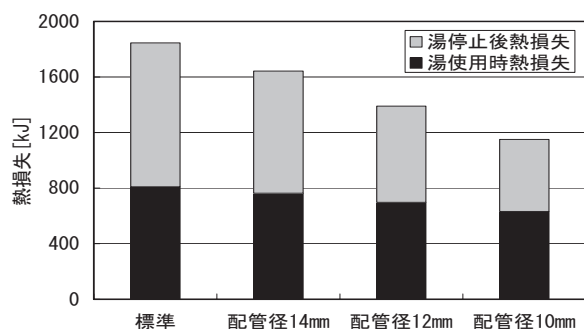


図 21 湯配管部小口径化による熱損失の変化 (2009 年 1 月 5 日)

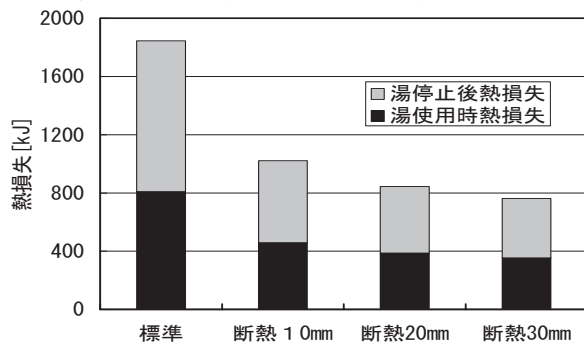


図 22 湯配管部断熱向上による熱損失の変化 (2009 年 1 月 5 日)

6. まとめ

給湯配管部における熱損失の評価を目的として、千葉県の一軒建て住宅を対象として給湯配管における熱損失の実測をおこなった。その結果、シャワー1 回当たり、使用時の熱損失は 245kJ/day 程度、使用後における配管部の湯の熱損失は 156kJ/day 程度であり、浴槽湯張り 1 回あたりの熱損失は 110kJ/day 程度、湯張り後の熱損失は 113kJ/day 程度となった。

しかし、浴槽湯張り時の給湯配管出入口の温度差は、給湯開始の初期を除けば 0.2℃程度であり、表 9 に示したように、本来正であるべき配管部の熱損失は、場合によっては負の値となった。この問題について、更に断熱や配管長等の影響を検討するために、本モニター宅の給湯機をモデル化し、給湯配管部の熱損失の数値解析を行った。その結果、以下のことが分かった。

- ・浴槽配管において、湯停止後熱損失は、湯用時の熱損失とほぼ同程度の熱損失となった。
- ・湯使用時熱損失及び湯停止後熱損失は、湯使用間隔が長くなるほど増加する。
- ・本モニター宅では 1 日の数回の追焚運転が行われており、追焚運転と追焚運転の毎に配管中に残った湯は使用されずに冷めるため、給湯使用後の放熱損の日積算値が大きくなっている。
- ・本モニター宅における冬期測定時の熱損失の日積算値は 1770kJ/day となった。これは熱損失率にして 4.7%である。

以上のことより、本モニター宅のように給湯配管が比較的長い住宅では、配管部における熱損失は大きく、シャワーや追い焚き運転、厨房や洗面における断続的な使用が多い住宅では、熱損失は更に増えることも予想される。よって、住宅におけるエネルギー消費量最小化の観点からも、配管の小口径化や断熱の強化、浴槽部の断熱性能向上や、できるだけ続けて入浴することによる放熱損の低減による追焚回数の削減などの対策が考えられる。

謝辞

本研究の実施には、平成 21 年度修士論文生の麻柄翔太郎氏の多大なる協力を得た。ここに記し感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 環境省：2008 年度の温室効果ガス排出量（速報値）〈概要〉
http://www.env.go.jp/earth/ondanka/ghg/2008sokuho_gaiyo.pdf,
2010. 11. 3 参照
- 2) 長谷川善明, 井上隆: 全国規模アンケートによる住宅内エネルギー消費の実態に関する研究 世帯特性の影響と世帯間のばらつきに関する考察 その 1, 日本建築学会環境系論文集, No. 583, pp. 23-28, 2004. 9
- 3) 村上周三, 坊垣和明, 田中俊彦, 羽山広文, 吉野博, 赤林伸一, 井上隆, 飯尾昭彦, 鈴木修一, 尾崎明仁, 石山洋平: 全国の住宅 80 戸を対象としたエネルギー消費量の長期詳細調査 対象住宅の属性と用途別エネルギー消費量, 日本建築学会環境系論文集, No. 603, pp. 93-100, 2006. 5
- 4) 佐野史典, 鈴木新, 上野剛, 佐伯修, 辻穀一郎: 住宅用途別エネルギー消費日負荷曲線の推定 関西文化学術研究都市における計測調査報告 (その 1), エネルギー・資源, Vol. 24, No. 5, 2003
- 5) 谷本潤, 藤井晴行: エネルギー計算に用いる生活スケジュールに関する研究 第 1 報 確率プロセスに基づく発生法の基礎検討, 空気調和・衛生工学会論文集, No. 89, pp. 29-35, 2003. 4
- 6) 前真之, 飯尾昭彦, 井上隆, 室恵子, 田中俊彦, 平山翔, 岡崎真: 用途別エネルギー消費量の年合計および月変動一関東地域における住宅のエネルギー消費量に関する調査研究, 日本建築学会環境系論文集, No. 610, pp. 91-98, 2006. 12
- 7) 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, 日本建築学会環境系論文集, No. 580, pp. 61-68, 2004. 6
- 8) 岩本静男, 浅野健太, 近藤武士, 王祥武, 前真之, 鎌田元康, 斎藤忠義, 森田哲, 森田哲司, 鬼塚宏: 住宅用給湯設備の設計・評価手法に関する研究 (その 11) 住宅用給湯配管と混合水栓の熱損失に関する研究, 空気調和・衛生工学会学術講演会論文集 (松江), pp. 1601-1604, 2003. 9
- 9) 近藤武士, 岩本静男, 前真之, 鎌田元康: 節水・節湯器具の評価に関する研究 その 9 節水器具による住宅湯消費量削減効果の検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (中国) D-1, pp. 655-656, 2008. 9
- 10) 自然科学研究機構 国立天文台: 理科年表平成 19 年, 丸善株式会社, 平成 18 年 11 月
- 11) 熱物性ハンドブック編集委員会: 熱物性ハンドブック, 養賢堂, 2004. 4
- 12) 社団法人日本機械学会: 伝熱ハンドブック, 社団法人日本機械学会, 1993. 2

(2010年11月5日原稿受理, 2011年7月20日採用決定)