

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 13 日現在

機関番号：32702

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2014

課題番号：23560705

研究課題名(和文)多様な使用実態に対応可能な住戸セントラル給湯システム効率評価手法の確立

研究課題名(英文) Establishment of evaluation methods for a domestic central hot water supply system efficiency corresponding to a variety of actual use

研究代表者

岩本 静男 (Iwamoto, Shizuo)

神奈川大学・工学部・教授

研究者番号：20213316

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、日本各地の水道水温の標準年予測値推定ソフトウェア、追焚き・自動保温を含む多様な利用実態に応じた住宅用給湯消費エネルギーの予測ソフトウェア、の2つを開発することである。

当初本研究は3年計画であったが、2013年8月に空気調和・衛生工学会主催「ZEBの動向と定義」が開催されるなどZEBに対する関心が高まったことから、ZEBの観点から研究内容を見直し、1年間の計画延長を申請した。2014年度の欧州ZEB視察から、ZEBにおいて給湯熱源は、太陽熱、バイオ燃料によるコジェネレーションが主流であることを確認できた。これらの設備においても本研究の成果を活用することができると思われる。

研究成果の概要(英文)：This study aims to develop (1) software of standard annual tap water temperature in various parts of Japan and (2) prediction software of residential hot water supply energy consumption in response to a variety of actual use.

Initially this study was a three-year plan, from the fact that the growing interest in ZEB such as SHASE sponsored symposium "The trends and the definition of ZEB" will be held in August 2013, it was reviewed from the point of view of ZEB and applied for extension of one year. From the European ZEB inspection in 2014, it was found that hot water supply heat source in ZEB was mainly the solar heat, the boiler and the cogeneration by bio-fuel. In these facilities are considered to be able to utilize the results of this study.

研究分野：建築環境工学

キーワード：住戸セントラル給湯設備 追焚き 自動保温 入浴パターン 被験者実験 水道水温予測

## 1. 研究開始当初の背景

住宅における用途別エネルギー消費（2次エネルギーベース）において、給湯によるエネルギー消費量は、1975年に冷暖房用を抜き、その後一貫して冷暖房用を上回り、現在、エネルギー消費全体に比して3割強を占めている。集合住宅を含めて住宅では、住戸セントラル給湯システムが主流となっているが、そのエネルギー消費の実態や省エネルギー対策の効果の把握が求められている。これまで、これらの観点から主に実験・実測による検討がなされてきたが、多様なシステムおよび多様な使用実態に対応し、設計段階で消費エネルギーや給湯システムの効率を予測・評価し、熱源の工夫や節湯機器による省エネルギー対策を把握するためには、実験・実測では限界があり、数値シミュレーションによる評価が望まれている。

そのためには、①水道からの給水、②給水より湯を作る熱源、③給湯箇所まで湯を運ぶための配管システム、④台所や浴室など湯を使う給湯箇所における湯水混合栓、⑤居住者が求める流量、湯温、湯量の湯、⑥浴槽における湯張り・自動保温・追焚、の6つの観点からの検討が必要である。

研究代表者は、既往研究によりこれら6項目について検討し、給水温予測、熱源、配管システム、湯水混合水栓に関する計算法を開発し、実測結果や実験室実験等による検証を進めてきた。さらに多様なシステムや使用実態に対応するためにはいくつかの課題が残されている。

## 2. 研究の目的

### (1) 水道水の水温予測

水道水の水温は、給湯設備の消費エネルギー算定上重要な入力条件であり、住宅建設地における給水温、主として水道水温を設定することは容易ではない。その予測手法として岩本ら<sup>1)</sup>による水道水温算定法があるが、日本全国の水道水温を用意するには至っていない。この算定法ではAMeDASによる気象データを利用するが、現在web閲覧室により公開されている。そこで、このwebサイトから自動的に必要なデータを取得して任意の住宅所在地の水道水温を予測できるようなソフトウェアの開発を本研究の第一の研究目的とする。

### (2) 熱源

住戸セントラル給湯システムの熱源は瞬間式と貯湯式に大別される。ガス・石油の瞬間式給湯機については年間誤差5%以下で消費エネルギーを予測できる計算モデルを提案した。貯湯式では、貯湯槽内の湯温分布を簡易計算モデルで予測し、主として自然冷媒CO<sub>2</sub>ヒートポンプ(以下HP)給湯機のCOP、消費電力、供給熱量の計算式を提案した。実測結果との比較では年間10%程度の誤差で予測できることを示したが、瞬間式給湯機に比して予測精度は十分ではない。本研究では給湯時と同程度の

計算精度で追焚・自動保温による熱利用の消費エネルギーを求められる計算モデルを用意することを第二の研究目的とする。

### (3) 浴槽における自動保温・追焚利用

多様な使用実態に応じて自動保温や翌日の残り湯の追焚などに対応することが望まれる。自動保温時の浴槽内湯温降下は浴室の仕様に応じて変化するが、熱源の加熱方法なども多様であるため、実測でも消費熱量の詳細な把握は困難である。翌日の浴槽残り湯の追焚利用や浴槽湯の自動保温機能は概ね半数の世帯で用いられ、その消費エネルギーは小さくない。浴槽湯温降下については前ら(空衛学会学術講演論文集2009.9)により浴槽のふたを閉めた状態と開けた状態の調査結果があり、入浴していない場合は比較的簡易にモデル化できるものと思われる。しかし入浴中の湯温降下が不明瞭であることから、本研究は被験者実験により①入浴パターン的一般化、②入浴における浴槽湯温低下の2つを適切にモデル化し、追焚・自動保温機能による要求エネルギーを予測できる計算法を開発することを第三の研究目的とする。

### (4) 本研究の最終目的

本研究の最終目的は、上記の課題を解決した上で統合し、住戸セントラル給湯システムでの消費エネルギー量、システムとしての効率を予測するソフトウェアを提供することである。より具体的には、住宅用給湯システムに関して、給湯と追焚等の熱利用を考慮した、住戸セントラル給湯システムでの消費エネルギー量とシステム全体の効率を予測するソフトウェアと日本各地の標準水道水温を推定するソフトウェアの2つを提供することが最終目的となる。

## 3. 研究の方法

本研究は4年計画となり、①日本各地の水道水温の標準年予測値推定ソフトウェア、②追焚・自動保温を含む多様な利用実態に応じた住宅用給湯消費エネルギーの予測ソフトウェア、の2つのソフトウェアを開発する。このために下記6段階の研究計画とする。

### (1) 自動保温・追焚による熱供給の計算法の構築

(2) 本学給湯実験室等による被験者実験による入浴パターンと浴槽湯温降下のモデル化

(3) ソフトウェアとして各種計算方法の組み込み

(4) 水道水温の予測値推定ソフトウェアの開発

(5) 既往の実験室実験との照合と検証

(6) 実務設計者による使用感アンケートの実施と分析結果によるソフトウェアの洗練

## 4. 研究成果

### (1) 自動保温・追焚による熱供給の計算法の構築

給湯栓に湯を供給する計算方法を、浴槽湯の自動保温や追焚に応用する方法とした。浴槽から給湯機に入る湯温から15°C昇温させ

て浴槽に送るよう想定し、計算モデルを組み立てたところ、問題なく計算できた。

課題としては、計算上の給湯機の効率カタログにおける定格効率よりかなり低下することがあり、十分な検証が必要である。また、湯張り後に自動的に浴槽湯温を検知させて必要があれば点火して昇温できるように自動運転制御を組み込むことである。

(2) 本学給湯実験室等による被験者実験による入浴パターンと浴槽湯温降下のモデル化

2011～2013年度の被験者実験により入浴パターンと浴槽湯温降下に関する検討を行った。入浴パターンについては、多様な使用実態ではあるが、無秩序ではなく、被験者実験を通して次の5点を見出した。

①入浴パターンは髪・顔・体洗い、シャワー入浴、浴槽入浴の3通りに類別できる。これらの順番や時間等が異なることから多様な使用実態となる。

②シャワー入浴の実験結果から、皮膚温や鼓膜温の上昇よりもある一定時間シャワーを浴びると満足する傾向が見られた。よってシミュレーションにおいてはシャワーを一定時間浴びることを条件とすればよい。本研究の一部を記した学会発表②では、5分間としてシャワー用途のエネルギー評価に用いている。

③浴槽入浴の条件は、鼓膜温が0.5～1.0℃上昇すると満足する傾向が見られた。学会発表①ではこれを0.7℃と設定してエネルギー評価を行っている。

④浴槽入浴の実験結果と人体熱モデルと比較するため、浴室内の浴槽とシャワーとの熱収支を計算モデル化し、無人条件でよく一致することを確認した。

⑤人体熱モデルの65MNモデル<sup>3)</sup>やJOSモデル<sup>4)</sup>の結果と比較し、鼓膜温や平均皮膚温上昇はよく一致していることがわかった。学会発表②に成果の一部を示している。いずれのモデルでも浴槽入浴の条件を再現可能であり、この上昇温を条件とすればシミュレーション可能であることがわかった。

浴槽湯温降下に関しては本学給湯実験室による検討から次の簡易な湯温降下式で再現できることがわかった。

$$\theta - \theta_0 = (\theta - \theta_0)e^{-at}$$

ここで、 $\theta$ : 浴槽湯温[℃]、 $\theta_0$ : 外気温[℃]、 $\theta_s$ : 初期浴槽湯温[℃]、 $t$ : 経過時間[h]、 $a$ : 係数[-]である。係数 $a$ を調整することで多様な住宅について計算可能となる。

(3) ソフトウェアとして各種計算方法の組み込み

上記の結果から、多様な使用状況を扱うには浴槽湯温降下のみならず、浴室内の温湿度も計算条件となる。これは研究計画時には想定していなかったため、既存の給湯消費エネルギーシミュレーションでは扱えないことがわかった。

住宅においては浴室が独立した室となるはずもなく、他の居室や廊下等による統合的

なシミュレーションによって浴室の温湿度を予測することになる。

また、入浴前の周囲環境、具体的には入浴前にいた居室の温湿度環境に左右されることになるため、入浴のみを切りとってシミュレーションすることは妥当とはいえない。本研究は、入浴行為を髪・顔・体洗い、シャワー入浴、浴槽入浴の3つから構成されるとした。髪・顔・体洗い中は湯使用なし、シャワー入浴は一定時間で終了、浴槽入浴は深部体温の上昇で終了と仮定した。本研究では、人体熱モデルを用いて浴槽入浴時の深部体温の上昇を予測して入浴終了と判断している。これらの計算方法を確立できた。

一方、既存の計算コードでは給湯システムの消費エネルギーを求めるのみで、住宅全体のシミュレーションができないことから、本研究ではこのシミュレーションに多室解析を得意とし、別途購入済みのTRNSYSというシミュレーションソフトを用いることとした。商用ソフトウェアを用いたことで、計算方法の統合はソフトウェアに依存するかたちになっている。

(4) 水道水温の予測値推定ソフトウェアの開発

水道水温の予測法は岩本ら<sup>1)</sup>により提案されており、計算法は確立されている。AMeDASデータを気象庁のwebサイトから読み込んでこの計算法で自動計算できるよう汎用性の高いコードを作成した。本研究では、商用表計算ソフトではあるがユーザーの多いExcelのVBAを用いた。

水道水温の予測値として、年間平均水温が年間平均気温と等しくなるように河川水深 $h$ と経過時間 $\tau$ の2つのパラメータを自動調整して求めることとした。推定値としては、ユーザーが指定する地域において、特定の1年もしくは標準的な年間水温の2種を求められるようにした。標準的な年間水温は標準気象データと同様の手順で求めることとした。本研究では、最近10年間の水温を求め、365日の10年分の平均値を求め、その平均値ともっとも偏差が小さくなる年を月別に求めて1～12月分をつなげて作成する。

研究室のwebサイトで公開する予定である。使用マニュアルと海老名市を例にしたチュートリアルを用意している。本コードも公開予定であり、例えば特定の地域のAMeDASデータを読み込むなどの他の用途にも応用できる。

(5) 既往の実験室実験との照合と検証

時間的な制約から十分には行えなかった。既往の文献との照合による検証のみを行っている。

(6) 実務設計者による使用感アンケートの実施と分析結果によるソフトウェアの洗練

時間的な制約から十分に行うことはできなかった。(4)のソフトウェアについては公開後に利用者からの質問や要望にこたえることで洗練できると考えている。

## (7) 欧州 ZEB 視察

本研究は当初3年計画であったが、最終年の2013年8月に空気調和・衛生工学会主催のシンポジウム「ZEBの動向と定義」が開催されるなど ZEB の観点から研究内容を見直す必要があると考え、1年間の計画延長を申請した。ZEB において給湯設備がどう扱われているかについて、2014年度の建築設備技術者協会主催の欧州 ZEB 視察(団長・川瀬貴晴 千葉大教授)により確認することとした。

表-1 に主な視察日程を示す。

表-1 視察日程

日付	行程・視察先
6月1日	成田空港からアムステルダムへ
6月2日	WWF 視察。その後ユトレヒトからチューリッヒへ空路で移動。
6月3日	Eawag、Self、Marche Int. 視察
6月4日	チューリッヒからパリへ。空路で移動し、直後に Green Office Rueil Malmaison 視察。
6月5日	Green Office Meudon 視察 Woopa 視察
6月6日	リヨンからディジョンへ。直後に Elithis タワー視察。その後パリに戻る。
6月7日	パリから羽田国際空港へ
6月8日	羽田国際空港到着

視察したのは表-1にある7つの建物である。参加者募集のパンフレットに掲載された視察先概要と視察結果として給湯設備に関する扱いをあわせて記す。

### ① WWF (World Wide Fund for Nature) (所在地: オランダ、ザイスト)



写真-1 WWF 正面

1954年竣工の建物を2006年に改修した、延床面積3,800㎡、地上3階のオフィスビル。木製水平ルーバーによる日射遮蔽と自然採光、自然換気、太陽熱集熱、地熱利用等により、一次エネルギー換算にてエネルギー消費量247kWh/㎡年。41kWのPV及び菜種油燃料コージェネレーションシステムにより、326 kWh/㎡年のエネルギーを創出し、ZEBを達成した。

実際に視察すると、菜種油の価格高騰のためコージェネレーションは停止しており、ZEBとは言えない状態であった。給湯設備としてはガスボイラーに加えて太陽熱が利用されていた。

### ② EAWAG Forum Chriesbach (所在地: スイス、デューベンドルフ)



写真-2 EAWAG 外観

2006年に竣工した延床面積8,533㎡、6階建てのオフィスビル。屋根にPVパネルや真空式の太陽熱集熱器が設置され、建物中央に設けられたアトリウムによる自然換気と地中ダクトによる外気取入れにより、オフィス部分の冷房を不要とし、サーバーームの冷房負荷を大幅に削減している。外壁に用いられている青の可動ガラスパネルが夏の日射遮へい・冬の日射取得に有効であり、意匠上の特徴にもなっている。

給湯設備は建物内にある社員食堂に設置されており、熱源は太陽熱と隣接する地域冷暖房プラントから供給される温水であった。

### ③ Marche International Support Office (所在地: スイス、チューリッヒの近郊)



写真-3 Marche International

2007年に建設された、延床面積1,550㎡、3階建の小規模なオフィスビル。南面に深いバルコニーを設け、夏は日射を抑制、冬期は日射を最大限利用、プリズムガラスとPCM蓄熱材、外部遮光スクリーンなどで構成される独自のファサードを採用、エネルギー消費を一次エネルギーで97kW/㎡年まで削減させ、屋根に設置した約45kWのPVや地熱HPの再生可能エネルギーにより消費エネルギーをすべてまかなうZEBを実現している。

給湯利用はほとんどなく、出張で訪れた職員のための宿泊室でガスボイラーによるものであった。

### ④ Autarkic Space Cell "Self"

EMPA (Swiss Federal Laboratories for Material Sciences and Technology: 材料科学研究を主導するスイスの公的研究機関) 内に2009年に設置された実験的な自立住宅。7.7m×3.5m×3.2m 平屋の可搬型住宅であり、

場所を移動させながら実績値を蓄積している。真空断熱、Aerogel断熱、可変ガラス（透明・不透明）、潜熱蓄熱を用いたパッシブクーリング、パッシブヒーティング、PV、リチウムイオン蓄電池、水素発電、水の自立化を採用し、ZEBを達成している。

Self 自体が特別な建物であり、給湯設備は空気熱源の熱回収型電気 HP 給湯機であった。太陽光発電による電力を利用している。



写真-4 Self の外観

⑤ Green Office Meudon (所在地：フランス、パリ近郊)



写真-5 Green Office Meudon

2011年に建設された、延床面積 23,300 m<sup>2</sup>、地下 3 階地上 8 階のオフィスビル。東西軸に配置された奥行き 13.5m の執務空間に対し、ガラリ付き木製サッシから自然採光と自然換気を最大限に取り入れ、天候と人に合わせた各種設備制御を行い、一次消費エネルギーを 62kW/m<sup>2</sup>年まで削減。屋根や外壁に設置した PV と植物油コージェネによる再生可能エネルギーにより 64kW/m<sup>2</sup>年をまかなう、フランス最初の ZEB を超えるポジティブエネルギービルである。近郊にある建設中の Green Office Rueil Malmaison も視察できた。

この Green Office Meudon では、給湯設備はコージェネレーションによる温水供給を利用している。

⑥ Woopa (所在地：フランス、リヨン)



写真-6 Woopa

2012年6月に竣工した延床面積 20,500 m<sup>2</sup>、地下 2 階、地上 7 階の事務所、店舗等の複合用途ビル。換気機能付三重ガラスと木製カーテンウォールにより建物の断熱性を高め、地下水利用のアクティブ冷暖房床スラブ、最適制御を組み合わせたタスク&アンビエント照明等によりエネルギー消費量を 114kWh/m<sup>2</sup>年まで削減。給湯機能付きハイブリッド PV を含む PV 及び木質ペレットボイラー、植物精製油コージェネレーションシステムによる電気と熱の生成により 118kWh/m<sup>2</sup>年のエネルギーを創出し、ZEB を超えるポジティブエネルギービルを目指している。

給湯設備としては、Woopa 近郊の集合住宅に温水を供給しており、太陽熱利用とペレットボイラー、バイオ燃料によるコージェネレーションの 3 種の熱源を用いている。化石燃料を使わない熱源である。

⑦ Elithis Tower (所在地：フランス、ディジョン)



写真-7 Elithis Tower 鳥瞰

2009年に建設された延床面積約 5,000 m<sup>2</sup>、10 階建のオフィスビル（1 階に店舗、最上階は機械室）。木質系材料を用いたダブルスキン外装により日射負荷低減と自然採光を両立し、自然換気、チルドビーム、タスクアンビエント照明などを採用。2009年実績値で、一次エネルギー換算にて消費量 97kWh/m<sup>2</sup>年、屋上太陽光発電パネルの発電量 40kWh/m<sup>2</sup>年、ZEB ではないが EU 標準の 57 kW/m<sup>2</sup>年を達成している。

木焚きボイラーを使って暖房・外気加熱をまかなっており、給湯設備の熱源にもなっている。

⑧ ZEB 視察のまとめ

2014年度の欧州 ZEB 視察から、ZEB において給湯熱源は、太陽熱、バイオ燃料によるボイラーやコージェネレーションが主流であることを確認できた。これらの設備においても本研究の成果を活用することができると考えられる。

(参考文献)

- 1) 岩本静男・他、配水管・給水管内水温の予測法に関する研究(第 3 報)浄水場水温の計算モデル、空気調和・衛生工学会論文集、No.120、pp.1-8、2007年3月。
- 2) 芹川真緒、前真之、岩本静男、倉渕隆、佐藤誠、清野新、佐藤智之、広沢翔太、能上真

衣、森勇樹：被験者実験による省エネルギーな入浴方法の検討と人体モデルによる入浴時間の予測に関する研究、日本建築学会環境系論文集、2012.12、第 77 巻、第 682 号、p987-996

3)田辺新一、中野淳太、小林弘造：温熱環境評価のための 65 分割体温調節モデルに関する研究、日本建築学会計画系論文集、第 541 号、2001.3、pp9-16

4) 徐莉、佐藤孝広、小川一晃、田辺新一：人間-熱環境系快適性シミュレータ(その 22)、(その 23)、日本建築学会大会学術講演梗概集、D-2、2002.8、pp361-362、pp363-364.

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計 2 件)

①岩本静男・趙旺熙 他、温熱快適性を考慮した戸建住宅における入浴消費エネルギー、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、B-19、pp.73-76、2013 年 9 月.

②岩本静男 他、水回り空間を中心とした省エネルギー性と快適性に関する研究 (第 14 報) 65MN モデルと Zhang モデルを用いた生理量・心理量の予測、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、A-26、pp.101-104、2012 年 9 月.

[その他]

ホームページ等

<http://www.arch.kanagawa-u.ac.jp/~iwamoto/>  
研究成果のプログラムなどを公開予定.

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

岩本静男 (IWAMOTO Shizuo)  
神奈川大学工学部建築学科・教授  
研究者番号：20213316

### (2)研究分担者

趙旺熙 (CHO Wanghee)  
神奈川大学工学部建築学科・特別助教  
研究者番号：80583731