

第3章 高効率暖冷房・給湯システム（A2）

3.1 はじめに

3.1.1 研究計画

一般の住宅における消費エネルギーのうち冷暖房と給湯でおよそ 60～70%を占めるため、両システムによる省エネルギーが自立循環型住宅開発の鍵を握ると考えられる。

これまで機器単体の高効率化は図られており、本章では冷暖房・給湯システム全体の効率を向上させることとなる。消費エネルギーの評価に必要な入力条件を定めて、実測や計算によって求めることが可能であり、既往のシステムから開発中のものまで含めて評価の対象とすることができる。

まず入力条件であるが、全ての場合を設定することは到底不可能であるから、いくつかの代表的な設定を行うこととする。冷暖房でも給湯でも世帯人数と使用スケジュールが課題となる。特に都市部では世帯人数や世帯構成が多様化しており、単身世帯から2・3世代の世帯まであり、また2人世帯でも高齢者夫婦の場合と若年夫婦の場合とがある。これらを含めて、従来の4人世帯の設定だけで評価するには無理がある。本研究ではこの点に注目して、世帯人数ごとの代表的な設定を行って、消費エネルギーを評価することを主目的とした。

評価方法では、既往の多くの研究から実測データを収集しても、世帯人数別の代表的な設定を満足させることは困難であり、実測・実験によって評価することは現実的ではないため、シミュレーションによる検討が必要となる。代表的な設定条件を絞れば、年間消費エネルギーの計算結果より、省エネルギーとなるシステムを提案することができるだろう。

この評価法ではシミュレーションによる消費エネルギー計算結果の精度に依存してしまうため、シミュレーションの計算精度を丁寧に把握しておく必要がある。ケース・スタディを始める前に実測結果・実験結果と十分に検証せねばならない。

シミュレーション方法としては、冷暖房・給湯ともにいくつかの方法が提案されており、主要な計算アルゴリズムは確立されつつある。消費エネルギーのみならず、快適性や利便性の評価のために必要な改良も含めて、シミュレーション方法を開発する。

以上より、研究方針は、

第1段階：準備期間 シミュレーション方法の同定、計算モデルの構築、既存のソフトの検査、実態調査などを含む。

第2段階：比較・照合 [B1][B2]による実測結果を活用して、同一条件下にてシミュレーションを行い、計算精度を確認する。

第3段階：ケース・スタディ シミュレーションによる。計算条件の設定、計算上の仮定条件の妥当性、計算結果の整理法などの検討を含む。最も省エネルギーとなる設備システムの提案と[B1][B2]に実測比較を依頼できる。

第4段階：まとめ 自立循環型住宅の設備計画の立案。最終年度の主要作業。

の4段階とした。上記研究方針に当てはまらない研究テーマもあり、別途考慮する。また、準備期間の段階で、見送る研究テーマ、派生する研究テーマもあり得る。その取舍選択はA2部会で審議の上決定する。

両者が同一のシステムとなることは住宅では稀であるので、冷暖房と給湯とを分離して研究計画を立案した。

3.1.2 研究成果

2002年度に立てた研究計画に基づいて、暖冷房システム、給湯システムの研究項目と成果を、それぞれ表3.1.1、表3.1.2に示す。

1) 冷暖房システム

住宅全体の暖冷房方式については、検討を重ねたが、あまりに多岐にわたるため、時間的制約を考慮して、もっとも一般的に用いられるエアコンによる部分暖冷房・間欠運転とそれに温水床暖房を併用するシステムと全館連続運転システムの3つを取り上げることとした。

また、消費エネルギーの評価とともに室内の快適性を評価する必要がある。そのため、2002

年度と2003年度には、特に窓面のコールド・ドラフトの影響について被験者実験を行って、その影響を確認した。この知見をシミュレーションに反映することを考慮したが、十分な方法を見できなかった。室内温熱環境の評価方法として、一例に過ぎないが、1時間ごとの室内の温冷感指標を求め、その頻度分布を評価することを提案した。

表 3.1.1 暖冷房システムの研究項目と成果の概要

研究対象	研究内容・方法等	研究成果
暖冷房スケジュール	暖冷房のスケジュール設定。[B1][B2]の実測で採用されるものを参考にする。部分暖冷房と全館暖冷房、24時間空調と間欠運転の比較がテーマとなる。	基本的に[B1][B2]の実測で採用された暖冷房スケジュールを活用した。 部分暖冷房・間欠運転と全館暖冷房24時間運転を比較した。
暖冷房方式	省エネ効果の調査。標準となり得る方式と省エネ方式の選定	エアコン、エアコンと温水式床暖房、全館暖冷房方式の3通りを検討対象とした。
部分負荷運転	[B1][B2]の実測で概略は把握できる。住宅用のエネルギーシミュレーションの検討、実測と計算の比較・照合。	[C3]で提案された戸建住宅モデルを対象に、SMASHによる暖冷房負荷計算、JRA4046規格によるCOP算定をもとにシミュレーションを行い、限定された条件ながら、エアコンによる暖冷房消費エネルギーを比較した。
地域性	基本的にはIV地域を対象。できるだけ対象地域を広げる。	時間的制約から対象地域はIV地域に限定し、代表として東京について検討を行った。
快適性と省エネルギーの関連	定常時の不均一な室内環境と熱的快適の評価を被験者実験にて調査、過渡状態の室内気温分布を実験によって評価、過渡状態の快適性の指標、どの程度不快かを示す指標等の検討。	窓面のコールド・ドラフトの影響に関する被験者実験を行った。暖房開始時と終了時の温熱環境を被験者実験により確認した。 自然給気口からの侵入外気の影響は[A3]で詳細に検討している。 間欠暖冷房運転時の快適性を温冷感指標の頻度分布で評価した。
システムの最適化	暖冷房方式の最適化を図る。ケース・スタディ全体のまとめ。	時間的制約から成果なし。

また、換気設備の一つである自然給気口からの外気が室内温熱環境に与える影響を、実験室実験で検証することとし、詳細は第4章の換気・通風システム(A3)で報告されている。合わせて参照されたい。

部分負荷に関する検討では、エアコンによる消費エネルギーに注目し、その推定方法として日本冷凍機工業会の規格 JRA4046 に基づく、外気温から COP を算出する方法を用いた。部分負荷運転の場合を限定された条件ながら検討を行った。

2) 給湯システム

給湯システムにおける入力条件の給水温については、東京都水道局から頂戴した浄水場の出口水温を平均化することでシミュレーションに用いた。

また、使用湯量、使用スケジュールは、世帯人数別に、既往の調査研究から30日間モードを作成して、シミュレーションに用いた。

給湯熱源としては、主として用いられるガス瞬間式給湯機と電気ヒーター加熱の貯湯槽利用システムを採用した。計算モデルは、既往の

文献からさらに改良を加えたものを採用している。

太陽熱利用に関連して、特に貯湯槽における衛生性が話題となった。実住宅の太陽熱利用システムの貯湯槽から検査水をいくつか取り上げ、レジオネラ属菌の検査を行い、その結果は第7章資源循環システム(A9)にまとめられている。合わせて参照されたい。

また、浴槽の断熱程度と保温蓋の影響について文献を基に紹介された。世帯人数やライフ

表 3.1.2 給湯システムの研究項目と成果の概要

研究対象	研究内容・方法等	研究成果
給湯量	1人～4人世帯のスケジュール設定について検討する。戸建と集合住宅とでスケジュールは変わらないことを仮定している。	2～4人世帯の30日間給湯スケジュールを作成した。1人世帯では平均化が困難であるので、実測データをそのまま活用する。
給湯栓	湯節約器具の検討・実測等による省エネルギー効果の把握を被験者実験にて確認した。	手元止水機構付シャワーヘッド、サーモスタット付湯水混合栓及び台所湯水混合栓の吐水形態と止水形態の相違による節湯効果について、被験者実験により明らかにした。
配管システム	デベロッパーやゼネコンのヒアリングより、主要な配管方式について検討する。	計算方法は既往の研究による方式であり、湯水混合栓の計算モデルをも採用した。ケース・スタディではサヤ管ヘッダ方式のみにとどまった。
追焚	これまでの給湯量スケジュールでは注し湯。追炊きの研究例は乏しい。自動設定とユーザー要求、浴槽湯温の維持と翌日の追焚き、浴槽・浴室の保温などを調査して、妥当な条件設定のもとで消費エネルギーを検討する。	追焚利用に関する簡易なアンケートを行い、使用状態を確認した。 追焚の制御について、各メーカーから情報提供をいただいた。 浴槽の保温に関して、既往の研究成果を活用し、上記アンケート結果から条件設定を行って、戸建住宅・集合住宅について追い焚き・自動保温における消費エネルギーの簡易シミュレーションを行った。
熱源	[B1][B2]の実測では、ガス給湯機(通常品)を標準として、潜熱回収型ガス給湯機、自然冷媒ヒートポンプ給湯機、太陽熱利用給湯システム(貯湯槽ありとなしの2通り)、燃料電池を対象としている。熱源システムごとにシミュレーション用の計算モデルの開発が必要であり、戸建住宅・集合住宅別に検討する。	通常のガス瞬間式給湯機・潜熱回収型ガス瞬間式給湯機、深夜電力利用型電機温水器(ヒータ利用)について、戸建住宅・集合住宅別に消費エネルギーを年間シミュレーションによって算定した。消費エネルギーに対する機器出力エネルギー、給湯栓で得たエネルギーの割合として、機器効率・システム効率を示した。

スタイルによって異なるが、一般に浴槽に湯を張ってから世帯全員の入浴が終了するまで数時間を要する場合が多い。浴槽の湯温降下を補うために追焚や自動保温、さし湯が必要となる。

浴槽を十分断熱するもしくは保温蓋を用いて、湯温降下を抑えるとこれらの消費エネルギーを低減できる。

断熱・保温の程度と湯温降下の関係を、実験室実験によって示した。詳細は3.3.3で検討しているが、追焚や自動保温による消費エネルギーのシミュレーション構築には至らなかった。

また、ある戸建住宅に太陽熱給湯システムを設置し、居住した状態で1年間にわたって実測を行い、その結果からガス消費量と使用湯量(熱量)を算出した結果が紹介された。

同等の湯使用をガス瞬間式給湯機で行う場合については、ガス給湯機の計算モデルを用いてガス消費量を求め、両者を比較して太陽熱給湯システムの省エネルギー効果を検証している。特定の一住戸に過ぎないこと、比較的使用湯量の少ない世帯であったこと、集熱効率の高い太陽熱システムであること、太陽熱を有効に使おうと居住者が十分意識していることなどの特異性はあるが、給湯のみで67%、追焚・自動保温を含めて53%の省エネルギーとなった。

(岩本静男)

参考文献

- 1:清水則夫・他、住宅の省エネルギー化に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、2002.9.
- 2:(財)ベターリビング、住宅用給湯設備の設計・評価手法に関する総合研究、2002.9.

3.2 高効率暖房システム

3.2.1 隣室空調条件による消費エネルギー

1) はじめに

近年、暖冷房負荷の低減を目的として、外壁の高断熱・高气密化の研究が盛んに行われており、設備機器の高効率化と共に、建物全体の省エネルギー化が進んでいる。一方、集合住宅の住戸間における熱の流れについては、従来あまり注目されておらず、十分に把握されていないのが現状である。

日本の人口構成が大きく変化し、価値観やライフスタイルの多様化が進んだ今日、空調の使用法にも様々なパターンが見られるようになった。特に都心部では、日中、不在になりがちな単身者の割合が多く、戸境壁に断熱材が施

されていない現在の集合住宅においては、暖冷房負荷や室温が隣接住戸の空調状況に左右されるケースも増えているものと考えられる。

また、従来の集合住宅の熱負荷シミュレーション評価では、隣接住戸を単に等温変動室として扱っていることが多く、戸境壁を通して出入りする熱流の影響を考慮していない。この隣接住戸からの貫流熱が大きいとすると、熱負荷シミュレーションは実態とかけ離れた値を出力していることになり、空調設備容量や断熱仕様の選定に大きな誤差を含んでいる可能性がある。

2) 研究の目的

本研究は、集合住宅での住戸間における空調条件の影響を把握することを目的とする。研究の流れは、以下のとおりである。

(1)隣接住戸の空調状況が空調負荷に与える

影響を、シミュレーションにより予備検証

(2)実大の集合住宅試験棟での実証実験で、実際の影響を把握

(3)対策として、戸境壁の断熱を検討し、その効果をシミュレーションにより検証

3) シミュレーションによる予備検討

(1) シミュレーションの共通条件

一般的な3LDK集合住宅を対象に、表3.2.1を共通条件として、空調パターンと設定温度をそれぞれ変化させて、熱負荷プログラムSMA-SHにより中央住戸の年間暖冷房負荷を計算した。

(2) 5つの空調パターン

空調スケジュールは、中央住戸と隣接住戸

表 3.2.1 共通の設定条件

地域	東京都心
暖房期間	11月5日～4月18日
冷房期間	4月19日～11月4日
家族構成	勤め人(男)、主婦、小・中学生
構造	RC造(断熱なし、一重サッシ)
住戸位置	中間階、中間住戸、LDK南面
床面積	80.21㎡/戸
外壁窓面積率	北:15.9%、南:44.4%
戸境の躯体	床スラブ180mm、戸境壁150mm
その他	中央住戸は、3居室+LDKのみ空調する
	隣接住戸のさらに外側は、等温隣接条件とする

(3) 標準モード

(4) 略語の説明

(5) シミュレーション結果

設定温度では、標準モードに比べて「隣戸2℃浪費」の負荷は約1/2となり、負荷を左右する強い因子といえる。

また、住戸間に熱移動のない全戸モードでは、負荷の変動は中央住戸単体での浪費や節約によるものとなる。この全戸モードより隣戸

P1												
P2												
P3												
P4												
P5												
時刻	2時	4時	6時	8時	10時	12時	14時	16時	18時	20時	22時	24時

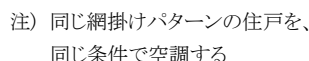


図 3.2.1 略語の説明

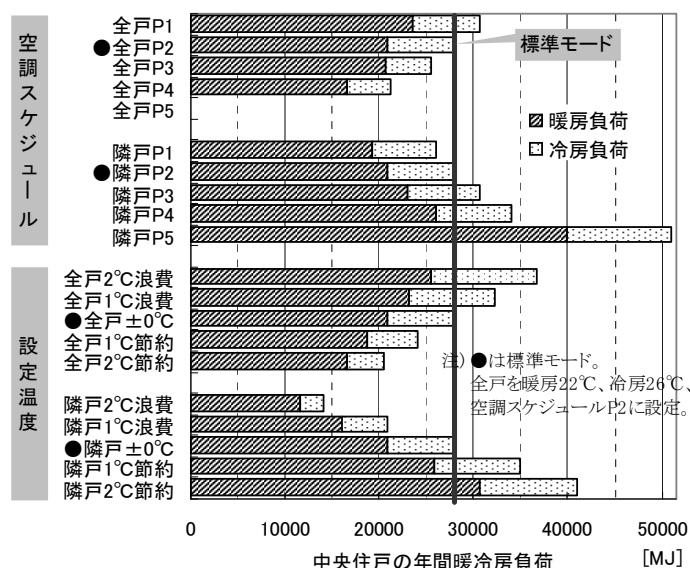


図 3.2.2 SMASH計算結果

モードでの変化が顕著なため、中央住戸の設定温度より、隣接住戸の設定温度の方が負荷に影響を与えることがわかる。

4) 実験による実態把握

(1) 実験棟

実験用に建てられた片廊下型 3LDK の一般的な RC 造集合住宅において夏期実験を行った。温・湿度と気圧を自由に制御できるチャンバーが、中央住戸の南北外壁を完全に覆っている点が特徴である。建物の概要を図 3.2.3、表 3.2.3 に示す。

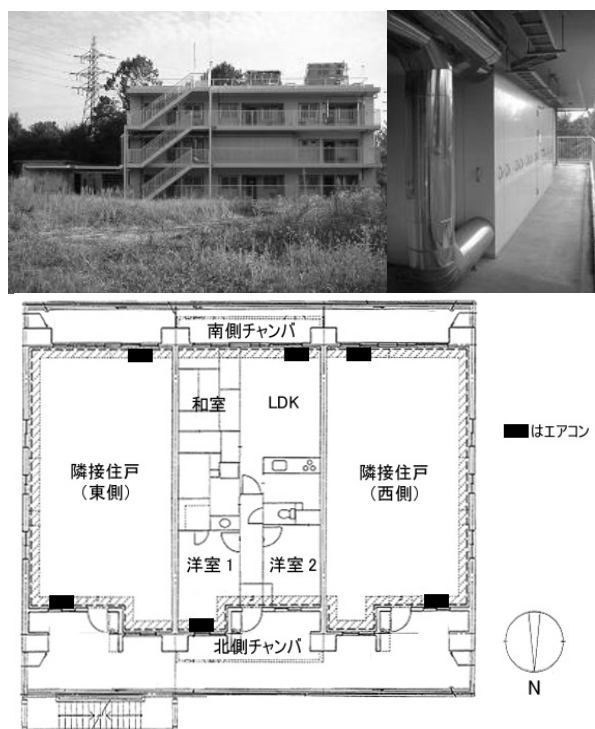


図 3.2.3 建物の概要

表 3.2.3 建物の概要

所在地	つくば市・(独)建築研究所
基本断熱性能	1999年省エネ基準(III地域)
構造	RC造(二重サッシ)
住戸数	全9戸、3階建て
建物高さ	9.6m
延べ床面積	956.16㎡(72.65㎡/戸)
外壁窓面積率	北:18.6%、南:45.9%
戸境の躯体	床スラブ、戸境壁とも250mm
その他	中央住戸のみ3LDK内装あり。 上下左右の住戸内は間仕切りなし。

(2) 測定条件

表 3.2.4 に測定条件を示す。中央住戸の外界条件は、南北のチャンバーで完全に制御し、日射は一切入らない。間仕切りがあるため、

室温分布が均一になるよう、エアコンのある LDK と洋室 1 で扇風機を回し、室内のドアは全て開放した。換気口や排水口等の穴は全て断熱材や粘着テープで密封した。

(3) 除去熱量の求め方

中央住戸の LDK と洋室 1 のエアコン吹出口にスチレンボード製のダクトを装着し、吹出口風量、出入口温・湿度を測定した。除去熱量は、エアコン入口空気の比エンタルピーから、出口空気の比エンタルピーを引いて求めた。



図 3.2.4 測定風景

$$h = 1.005t + (2501 + 1.846t)x \quad (1)$$

$$q = \frac{V}{v}(h_i - h_o) \quad (2)$$

q : エアコン除去熱量[kJ/10 sec]

V : 出口風量[m³/10 sec]

v : 出口空気の比体積[m³/kg(DA)]

h_i : 入口空気の比エンタルピー[kJ/kg(DA)]

h_o : 出口空気の比エンタルピー[kJ/kg(DA)]

t : 湿り空気の温度[℃]

x : 湿り空気の絶対湿度[kg/kg(DA)]

表 3.2.4 測定条件

測定期間	2003年8月7日～10月11日
実験モード数	7種類
機械換気回数	0[回/h]
空調機器	各戸でパッケージエアコン2台を稼働し、扇風機2台で攪拌する
測定項目	壁面・天井面・床面温度、室温、外気温、エアコン出入口温・湿度、出口風量、ドレン水量
その他	エアコン周りの測定は中央住戸のみ 中央住戸の外界条件は、温・湿度、気圧を自由に制御できるチャンバ(南北)で操作する 冷房25℃、暖房30℃とする

(4) 実験モード

図 3.2.5 に、実施した 7 つの実験モードを示す。30℃は、夏期に全ての隣接住戸が通風や扇風機だけで暑さをしのぐ非空調住戸もしくは空室の場合を想定している。モード 5,6,7 では、中央住戸に対する外気温が 30℃であることを想定して、南北チャンバーを 30℃に設定した。

モード 6 の間欠空調は、起床時 2 時間と就寝時 4 時間だけ 25℃で冷房を行うという、表 3.2.2 の P4 の空調スケジュールである。

モード 7 は、断熱材として押出し法ポリスチレンフォーム 30mm を用い、隣接住戸側にのみ貼り付けた。尚、戸境部位と断熱材の熱伝導抵抗値を表 3.2.5 に示す。

表 3.2.5 熱伝導抵抗値

部位名	熱抵抗[K・m ² /W]	面積[m ²]
天井	0.469	72.75
戸境壁	0.522	27.10
床スラブ	0.950	72.75
外壁(南)	0.405	15.99
外壁(北)	0.560	15.99
断熱材30mm	0.750	27.10

(5) 実験結果

a 除去熱量について

モード 1 からモード 7 までは連続的に実施した。各モードとも、一つ前のモードの安定状態から空調条件を変化させて再び安定するまでに、約 1 週間を要した。図 3.2.6 に、モード 2 の除去熱量の推移を例示する。また、図 3.2.7 に、各モードの最終日における除去熱量を 24 時間に渡って積算した値を示す。

図 3.2.7 より、等温のモード 1 に比べてモード 2 では、約 3,200W の冷熱が戸境壁に吸収されていることがわかる。又、モード 2 の潜熱量が非常に大きくなったのは、室内に湿気が残留していた実験

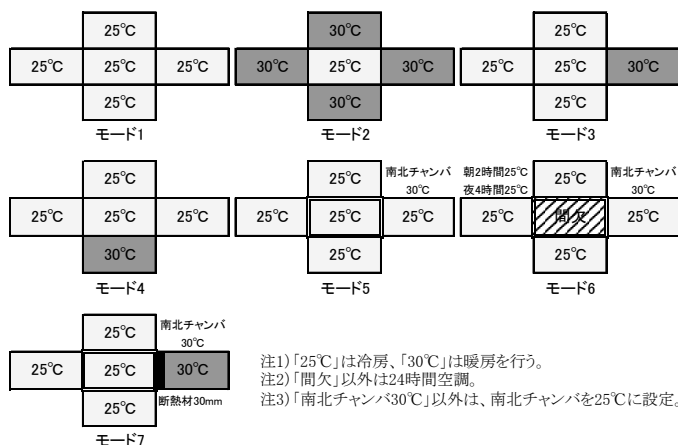


図 3.2.5 実験モード

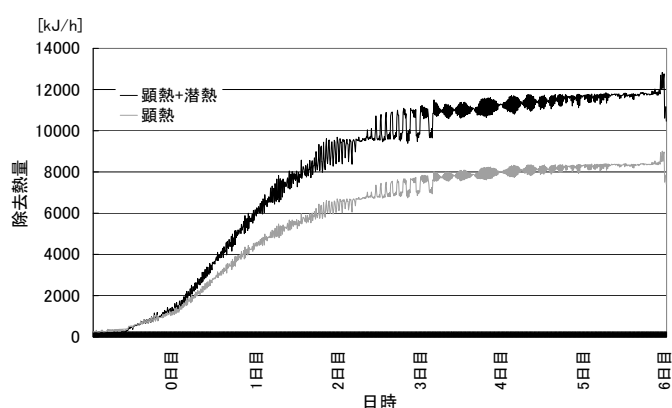


図 3.2.6 実験結果-除去熱量 (mode2)

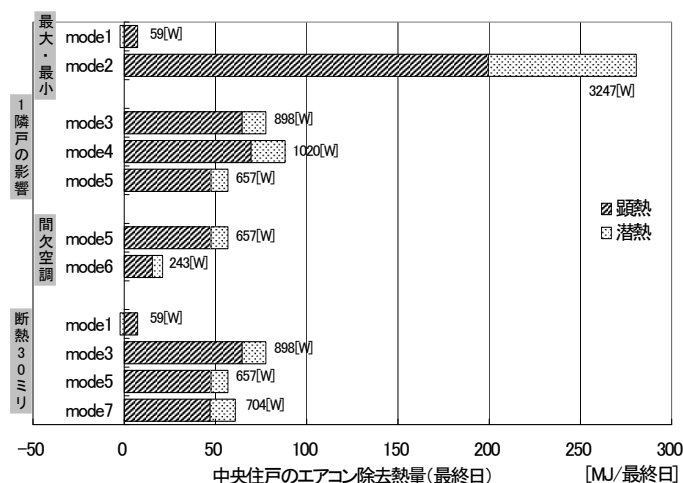


図 3.2.7 実験結果-最終日除去熱量

の初期段階だからと思われる。

尚、モード 1 で潜熱がマイナスとなっているが、これは温度・湿度の計測誤差によるものである。

モード 3 とモード 4 は、顕熱ではモード 2 の 1/4 よりかなり大きく、上下左右のうち 1 隣戸でも非空調室の場合は、除去熱量が大きな影響を受けることがわかる。

モード5は、モード3やモード4に比べて除去熱量が小さく、南北の外界条件よりも、隣戸の状態の影響が大きい結果となっている。これは、外壁を断熱材と複層ガラスが覆い、コンクリート厚 820mm の柱が広い部分を占めており、熱伝導抵抗が大きくなっていること、中央住戸と外界との接触面積があまり大きくないことが主な要因と考えられ、都心に多く見られる南北に長いタイプの集合住戸においては、必然的に隣接住戸による影響が大きくなるものと思われる。

モード6は、中央住戸を24時間空調した場合のモード5より、除去熱量がかなり小さくなった。図 3.2.8 に、モード6における中央住戸の室温を示す。南北チャンバーは 30℃を維持しているが、中央住戸の室温は、非空調時でも、24.5℃程度までしか上がっていない。これは、間欠運転の非空調時においても、空調されている隣接住戸からの冷熱流により室温や壁面温度が維持されるためと思われる。

モード7はモード5とほぼ同等の除去熱量となっており、30℃に設定された隣接1住戸からの貫流熱は、断熱材 30mm により抑制され、除去熱量はチャンバーからの貫流熱だけにほぼ抑えられた形になっている。エアコンの制御精度の関係から、設定冷房温度 25℃の中央住戸と、設定暖房温度 30℃の隣接住戸との実際の室温差は、最終日の安定時 9.1℃になっていたことを考慮すると、

5) シミュレーションによる戸境壁断熱の評価

(1) シミュレーション1

前述の室温・壁面温度の変動の考察から、戸境壁への吸収を防止するために、各住戸の内壁を十分に断熱することで、エアコンからの冷熱を室の空気に集中させることができ、特に間欠空調時には、必要な時に必要なだけのエ

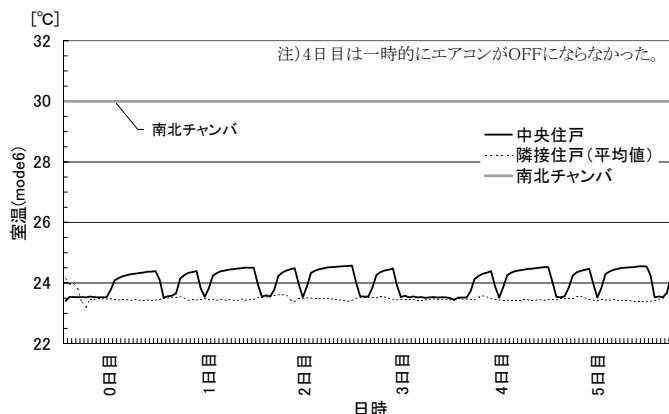


図 3.2.8 実験結果-室温(mode6)

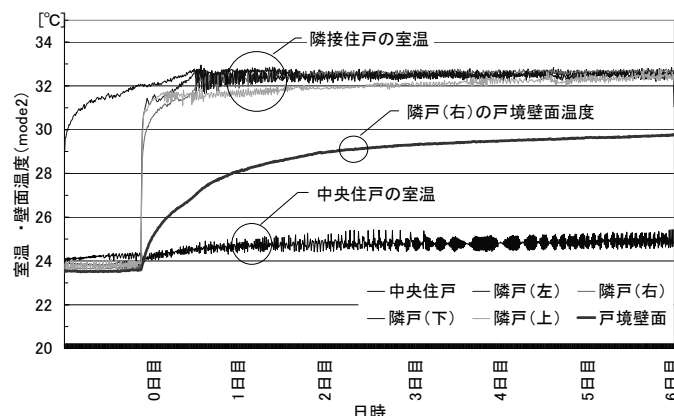


図 3.2.9 実験結果-室温・壁面温度(mode2)

断熱材 30mm の断熱効果は非常に大きいと言える。

b 室温・壁面温度について

図 3.2.9 に、モード2の室温と、右の隣接住戸における戸境壁の表面温度を示す。これより、エアコンの設定温度を変えると、室温はすぐに上昇するが、熱容量の大きい戸境壁は、およそ一週間かけて冷熱を吸収しながらゆっくり上昇することがわかる。

エネルギーで素早く設定温度に達し、維持できることが期待される。

実験では、断熱材の効果を片側断熱 30mm の1パターンでのみ検証したが、次いでシミュレーションにより、モード7の条件を拡張し、実験棟の戸境壁における断熱材厚の違いや、片側断熱と両側断熱の違い、中央住戸の空調スケ

ジュールの違いによる断熱効果を検討した。熱容量の大きな RC 造集合住宅においては、簡易な壁体モデルを採用する SMASH では誤差が大きいと考えられるため、ここでは、熱的に厚い部位に適する伝熱算法として応答係数法を採用する BRIMAP を用いた^[2]。

(2) 計算結果1

図 3.2.10 に、シミュレーション 1 の計算結果を示す。左の片側断熱のグラフのうち、断熱 30mm で P1 のケースが、実験のモード 7 に相当する。尚、片側断熱では、隣戸側の戸境壁に断熱材を貼り付けた。

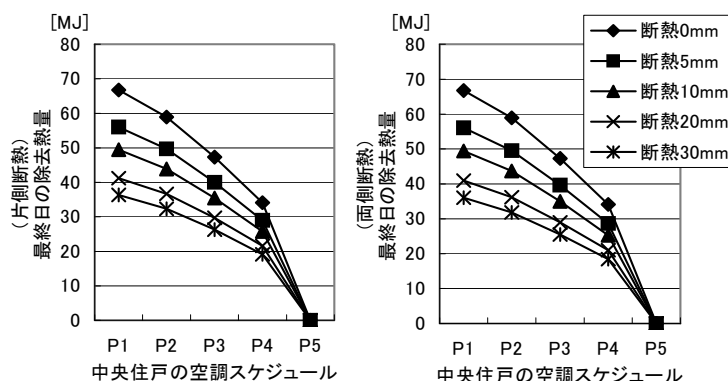
片側断熱より両側断熱の方がわずかに除去熱量は小さいが、その違いは殆ど見られなかった。これは、約 1 週間のシミュレーション期間のうち、定常状態となった最終日での除去熱量であるため、片側断熱ではコンクリートが十分に冷え、冷熱を吸収しなくなっていることが原因と思われる。

また、いずれの空調スケジュールでも、断熱材を厚くするほど省エネ効果の伸びは鈍化した。すなわち、簡易にでも戸境壁を断熱するか否かの違いで、除去熱量に大きな差が出るのがわかる。

(3) シミュレーション2

次に、先の実験棟から南北チャンバーを取り外した建物を対象に、戸境部位を断熱することで建物全体の年間暖冷房負荷にどのような変化が現れるのか、熱負荷計算プログラム SMASH を用いて検証した。

図 3.2.11 に設定条件を示す。地域は土浦市、暖房温度は 22℃、冷房温度は 26℃とし、中央住戸および四隅の住戸の空調スケジュールを P1～P5 に変化させ、他の住戸については P5 に固定した。断熱材には押出し法ポリスチレンフォーム 1 種を用い、戸境部位の両側断熱として 0、10、30mm の計算を行った。



注1) 上記3つの条件以外は、すべて実験モード7と同じとした
 注2) 空調スケジュールは、表2を参照
 注3) 片側断熱では、隣戸側の戸境壁に断熱材を貼り付けた
 -片側断熱(左) 両側断熱(右)

図 3.2.10 計算結果1

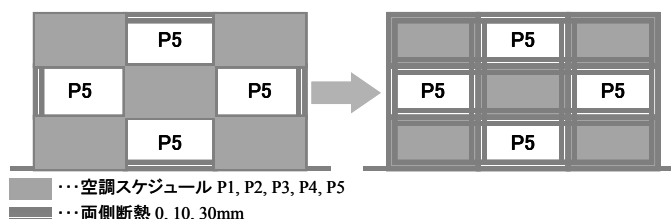


図 3.2.11 設定条件

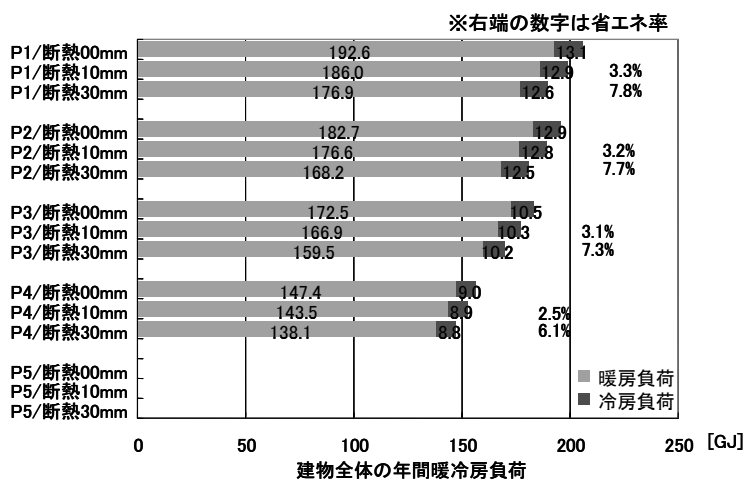


図 3.2.12 計算結果2

(4) 計算結果2

図 3.2.12 にシミュレーション 2 の計算結果を示す。どの空調スケジュールにおいても建物全体の年間暖冷房負荷に省エネ効果が現れており、戸境部位の断熱は有効であることがわかる。

6) まとめ

集合住宅の暖冷房負荷における隣接住戸の影響について、まず SMASH で予備を行い、以下の知見を得た。

- a) 全隣接住戸が非空調室の場合には、同じ空調条件の場合より、年間暖冷房負荷が 2 倍近くに達した。
- b) 全隣接住戸がエアコンの設定温度を 2℃節約すると、中央住戸では約 2 倍の年間暖冷房負荷が生じた。

そこで、実態を把握するために、実大の集合住宅試験棟において夏期の実証実験を行い、以下の知見を得た。

- c) 外壁が断熱され、外界との接触面積も小さい縦長タイプの集合住宅では、外界条件よりも隣接する一住戸の空調条件に、より大きな影響を受けることがわかった。
- d) 戸境壁を 30mm 断熱すると、室温差で約 9℃の貫流熱を抑制することができた。
- e) 室温はすぐに安定するが、コンクリート躯体は一週間を要した。冷熱の吸収を抑制するために戸境壁を断熱すれば、間欠空調時に省エネ効果を期待できることがわかった。

さらに、実験では十分に検討できなかった断熱材の有効性について、実験モード 7 の条件を拡張する形で BRIMAP と SMASH によりシミュレーションを行い、以下の知見を得た。

- f) 断熱材を厚くするほど、省エネ効果の伸びは鈍化したため、戸境壁を断熱するか否かが特に大切であることがわかった。
- g) 戸境壁を断熱した場合、建物全体の年間暖冷房負荷も低下し、省エネ効果を確認できた。

(諸田健太郎)

参考文献

- 1: 集合住宅における消費エネルギー原単位に関する研究(第 8 報)冷房使用パターンの類型化、鍋島美奈子ほか 7 名、空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集、2000 年 9 月、P449-452
- 2: 建設省総合技術開発プロジェクト 省エネルギー住宅システムの開発 報告書、(財)住宅・建築省エネルギー機構、1983 年 3 月、P259-321

3.2.2 温水式床暖房における温水パネル下と配管の断熱効果

1) はじめに

近年、住宅に床暖房が採用される場合が少なくない。床暖房においては温水床パネル下の断熱が重要であり、温水式床暖房にあっては、熱源とパネルをつなぐ温水循環配管の保温が重要である。これらの断熱仕様と熱損失量を試算し、断熱・保温の程度を確認することが本節の目的である。

集合住宅では、中間階では階下に隣接する住戸があるため、配管の通る床下（もしくは天井裏）の気温は比較的高く、外気温よりは室温に近い。戸建住宅では床下の気温が低くなることが多いので、戸建住宅を計算対象とする。

2) 計算条件

対象とする戸建住宅として、〔C3〕で提案されている郊外型住宅モデルプランを採用する。1階の居間（ $5.9 \times 3.6 = 21.2 \text{ m}^2$ ）に温水式床暖

房を敷設するとし、図 3.2.13 に示すように熱源を配置し、循環配管を仮定した。

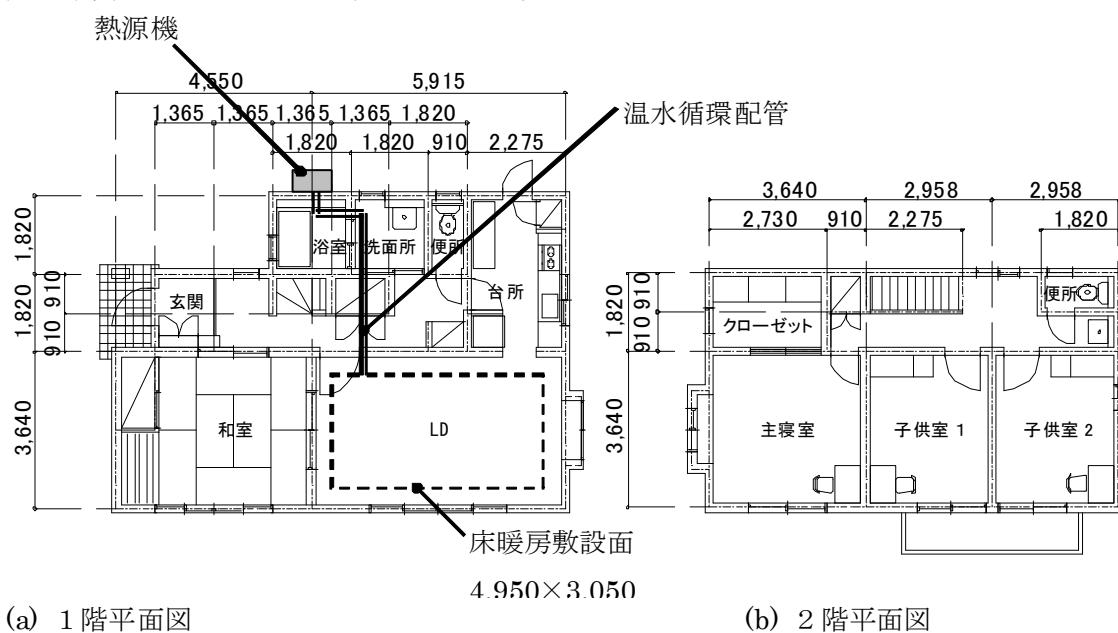


図 3.2.13 〔C3〕郊外型戸建住宅モデルプランと熱源・配管・床暖房面配置

(1) 床暖房の設計条件

主な設計条件として次の5点を仮定する。

- (i)敷設率を70%とし、約 15 m^2 (4.95×3.05) とする。
- (ii)熱源を特定せず、熱源の出力熱量を基準とする。どんな熱源であっても温水配管から床パネルまでは共通とみなす。

(iii)循環配管の長さは直線で約 6.5 m で、余裕率として1.2を乗じて 7.8 m と仮定する。

(iv)室温 20°C 、外気温 0°C 、循環配管が通る床下の気温は室温と外気温の平均として 10°C と設定する。

(v)循環配管は行き管、還り管ともに温水パネルの出入口湯温で満たされているものと仮定する。温水式床暖房はONとなる時間制御と

し、温水流量は一定とする。

(2) 温水パネル下の断熱仕様

標準的な断熱仕様として、床下にグラスウール 16K・50mm 断熱を行った場合 (以下 GW50 と呼ぶ) を取り上げる。このとき熱抵抗は $0.95 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ となる。さらに第 2 章の [A1] 断熱外皮に関する調査・研究において、最小限の床断熱である高発泡ポリエチレン 25mm 断熱の場合 (以下 PE25 と呼ぶ) を想定する。このとき熱抵抗は $0.65 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ となる。

(3) 循環配管の仕様

給湯配管に用いられるサヤ管と架橋ポリエチレン管 13A (以下サヤ管) と、熱伝導率 0.04 W/mK の保温材 10mm を巻いた架橋ポリエチレン管 13A (以下保温管) を想定する。さらに、温水式床暖房で標準的に用いられる 7A ペアチューブ (以下ペアチューブ) を検討する。これは、10A の架橋ポリエチレン管を 2 本 CD 管に収めたものである。

3) 計算方法と計算結果

(1) GW50 と保温管の場合

$\theta_{\text{in}} = 55^\circ\text{C}$ 、 $\theta_{\text{out}} = 50^\circ\text{C}$ として流量 v [L/分] を求める。

$2,115 = 4.186 \times (55 - 50) \times v \times 1000 / 60$
より $v \approx 6.1$ L/分となる。

配管からの熱損失量 q は、
 $q = 7.8 \times 0.26 \times \{(55 - 10) + (50 - 10)\}$
 $= 172 \text{ W}$ となる。

熱源の出力 W は、パネルへの全供給熱量 2,115 W に q を加えたものになるので、 $W = 2,115 + 172 = 2,287 \text{ W}$ となる。配管からの損失は、供給熱量の約 8% に相当する。また、このときの給湯機出入口水温差 $\Delta \theta$ は、 $2,287 \div 1000 \div 4.186 \times 60 \div 6.1 = 5.4^\circ\text{C}$ となって、7.8 m の配管で循環湯温は熱損失によりおよそ 0.5°C 程度低下することが分かる。

(2) PE25 とサヤ管の場合

配管からの熱損失量 q は (1) と同様に計算し、

これらの配管の線熱通過率 UL は既往の研究およびメーカーの技術資料より、それぞれ 0.56、0.26、0.21 W/m K となる。

(4) 温水床パネルの出入口温度

上記管種によって設定が異なる。さや管と保温管では入口湯温 $\theta_{\text{in}} = 55^\circ\text{C}$ 、出口湯温 $\theta_{\text{out}} = 50^\circ\text{C}$ とし、湯温差 5°C とする。ペアチューブでは流量を小さくして湯温差を 10°C として、入口湯温 $\theta_{\text{in}} = 60^\circ\text{C}$ 、出口湯温 $\theta_{\text{out}} = 50^\circ\text{C}$ とそれぞれ設定する。

(5) 温水床パネルからの放熱量

上記設計条件のうち、GW50 の場合はパネルからの放熱量を室内側 85%、床下側 15% の放熱と仮定し、室内側にはパネルの単位面積あたり 120 W/m^2 とする。このときパネル全体に供給される熱量は 141 W/m^2 となる。PE25 では床下への放熱が大きくなるが、室内側には同量の 120 W/m^2 で放熱されると仮定する。

$q = 7.8 \times 0.56 \times \{(55 - 10) + (50 - 10)\} = 371 \text{ W}$ となる。床下への放熱は、次のように仮定する。

- ・床下の総合熱伝達率を $9 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ として熱コンダクタンスを求める。
- ・温水パネル内の温水を戻り湯温の 50°C とし、GW50 を基準とすると、温水配管の形状係数を η として、床下への放熱について、次式が成り立つ。

$$315W = \eta \times \frac{1}{\frac{1}{9} + 0.95} \times 15m^2 \times (50 - 10)$$

η を逆算すると $\eta \approx 0.56$ となる。PE25 の場合を計算すると、

$$0.56 \times \frac{1}{\frac{1}{9} + 0.65} \times 15m^2 \times (50 - 10) = 441W$$

となる。

このとき、熱源の出力は、 $1,800+441+371=2,612$ W である。配管からの損失熱量は 14% に該当する。また、循環配管において、 $2,612 \div 1,000 \div 4.186 \times 60 \div 6.1 \div 6.1^{\circ}\text{C}$ より、 1°C 程度循環湯温が低下する。

(3) GW50とペアチューブの場合

$\theta_{\text{in}}=60^{\circ}\text{C}$ 、 $\theta_{\text{out}}=50^{\circ}\text{C}$ として流量 v [L/分]を求める。

$$2,115 = 4.186 \times (60 - 50) \times v \times 1000 / 60$$

より、 $v \div 3.0$ L/分となる。

配管からの熱損失量 q は、

$$q = 7.8 \times 0.21 \times \{ (60 - 10) + (50 - 10) \} = 147 \text{ W である。}$$

熱源出力は $W = 2,115 + 147 = 2,264$ W となる。放熱損失は供給熱量の約 6%に相当する。また、このときの給湯機出入口水温差 $\Delta \theta$ は、 $2,264 \div 1000 \div 4.186 \times 60 \div 3.0 = 10.8^{\circ}\text{C}$ となって、この循環配管では湯温は熱損失により 1°C 程度低下する。

ペアチューブの場合は流量を抑えるために、熱源の出入口温度差を 10°C とするため、管内の湯温が高くなって、他のケースより不利であるが、それでも省エネルギーになることが示されている。

4) まとめ

以上の計算結果を図 3.2.14 に示す。戸建住宅の場合は床下気温は基礎断熱を行わないと、かなり低温となるのでより大きな熱損失となるものと想定できる。また、循環配管の設計では、流量や出入口温度差にも留意せねばならない。

熱源の消費エネルギーは、熱源出力を熱源効率で除した値となる。Ⅲ編の第 8 章の自立循環住宅システムの計画・実証実験手法の開発と実施において、温水式床暖房の消費エネルギーが検討されているので、あわせて参照されたい。

(岩本静男)

計算ケース	熱源出力	配管からの損失	床下への損失	居住者利用熱量
GW50+保温管13A	2,287 W	172W・8%	315W・14%	1,800W・79%
PE25+サヤ管13A	2,612 W	371W・14%	441W・17%	1,800W・69%
GW50+ペアチューブ7A	2,262 W	147W・6%	315W・14%	1,800W・80%



図 3.2.14 床下断熱と配管保温による熱損失の計算結果

タ」により建物の計算モデルを構築し、気象データを用いて最大暖冷房負荷計算、期間暖冷房負荷の毎時計算が可能であり、各室の気温、相対湿度も同時に算出される。

(2) 計算対象住宅

計算対象とした住宅は、第 12 章教育・情報提供システム[C3]で提案された戸建住宅のモデルプランを採用する。図 3.2.15 に計算に用いた都市型および郊外型のモデルプランを示す。暖冷房対象室はいずれも LD と個室とする。

(3) 入力条件

2003 年の検討では、表 3.2.6 に示す設定値を用いた。断熱仕様の違いによる比較のために、普通ガラス、複層ガラスと外壁断熱材の厚さ 40mm、100mm を組み合わせて、表 3.2.7 に示すような計 4case を SMASH により計算した。

在室者、照明、機器等のスケジュールは、建築学会の標準問題に従った。2004 年の検討では、表 3.2.8 に示す入力条件・設定条件を用いた。断熱仕様は、第 2 章断熱外皮に関する調査・研究[A1]で提案された外壁仕様を参考に、新省エネルギー基準相当と次世代省エネルギー相当の 2 種類を設定した。仕様の詳細を表 3.2.9 に示す。暖冷房スケジュール等は、2004 年検討で

表 3.2.6 2003年入力条件と設定値

入力条件	設定値
地域区分	IV地域
気象データ	SMASH for Windows 気象データ (東京)
暖冷房期間	暖房期間 : 11月 2日 ~ 4月22日 冷房期間 : 4月23日 ~ 11月 1日
暖冷房温湿度	暖房時 : 20℃以上、湿度はなりゆきとする 冷房時 : 27℃以下、相対湿度60%以下
暖冷房設定室	各居室とLDK (計5室)
断熱仕様 (外壁断熱以外)	2階屋根 : 吹込用ロックウール 200mm
	下屋屋根 : 押出法ポリスチレンフォーム3種 50mm
	1階床 : 住宅用グラスウール16kg相当 100mm
	基礎 : 押出法ポリスチレンフォーム3種 50mm

表 3.2.7 2003年検討の計算ケース

case	窓の断熱性能 (熱貫流率[W/m ² K])	外壁断熱仕様(厚さ) 住宅用グラスウール16kg相当
1	普通ガラス カーテンあり(夜間): 6.51 カーテンなし(昼間): 5.17	40mm
2		100mm
3	複層ガラス カーテンあり(夜間): 3.89 カーテンなし(昼間): 4.65	40mm
4		100mm

表 3.2.8 2004年の計算ケース

case	暖冷房スケジュール	断熱仕様
1	間欠運転	新省エネ
2		次世代省エネ
3	常時運転	新省エネ
4		次世代省エネ

表 3.2.9 外壁断熱仕様の詳細

		新省エネ			次世代省エネ		
部位		材料	熱伝導率 (W/mK)	厚さ (mm)	材料	熱伝導率 (W/mK)	厚さ (mm)
断熱部位	屋根天井	吹込用ロックウール断熱材 25K相当	0.047	200	高性能グラスウール断熱材 16K相当	0.038	200
	1F床	住宅用グラスウール断熱材 16K相当	0.045	100	硬質ウレタンフォーム保温版 2種3号	0.024	60
					押出法ポリスチレンフォーム 3種	0.028	40
	外壁	住宅用グラスウール断熱材 16K相当	0.045	100	高性能グラスウール断熱材 16K相当	0.038	100
基礎	押出法ポリスチレンフォーム 2種	0.034	50	押出法ポリスチレンフォーム 3種	0.028	100	

は、[B1・B2]の実測で用いられたスケジュールを、1時間単位にまとめて採用した。

3) エアコン実測による COP の推定

(1) 実測概要

JRA 規格のように COP が直線的に増減するかを把握するため、実際の暖冷房運転時における実測を行った。神奈川大学 12-23 室内の給湯実験ブースに設置されている天井埋込式ルームエアコンを使用して、冬季の暖房運転における室内への供給熱量とエアコンの消費電力を 1 分間隔で計測した。実測の概要を図 3.

2.16 および表 3.2.10 に、用いたエアコンの性能値を表 3.2.11 に示す。

(2) 実測結果

毎時の暖冷房負荷計算を行うことから、実測結果を 1 時間平均して使用する。実測により得られた暖房時の COP と外気温の関係を図 3.2.17 に示す。

COP は JRA 規格で求めたような直線的な増



図 3.2.16 吹出・吸込気温の測定

表 3.2.10 エアコン実測の概要

測定期間	2003年12月12日～15日 2004年1月5日～10日
設定室温	20℃
風量設定	強 (626m ³ /h : 風量測定より)
測定項目	・ 外気温度 [℃] ・ エアコン吹出温度 [℃] ・ エアコン吸込温度 [℃] ・ 消費電流 [A]

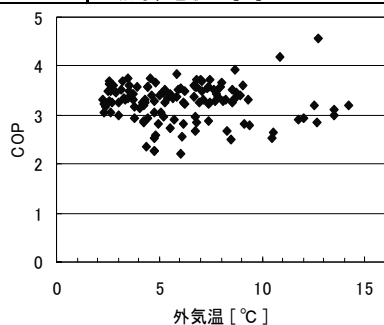


図 3.2.17 外気温とCOP実測結果

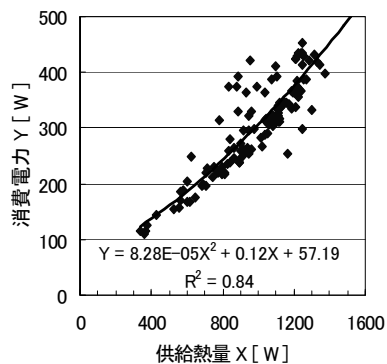


図 3.2.18 供給熱量とCOPの実測結果

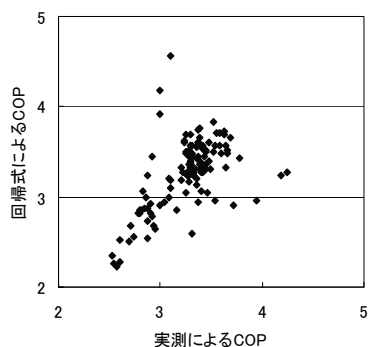


図 3.2.19 実測COPと回帰式によるCOP

表 3.2.11 エアコン性能値

	能力		消費電力		COP
暖房	定格暖房標準能力	4.0kW	定格暖房標準消費電力	900W	4.44
	定格中間暖房標準能力	2.0kW	定格中間暖房標準消費電力	335W	
	定格暖房低温能力	4.2kW	定格暖房低温消費電力	1,680W	
冷房	定格冷房能力	2.8kW	定格冷房消費電力	785W	3.57
	定格中間冷房能力	1.4kW	定格中間冷房消費電力	320W	

表 3.2.12 消費電力の回帰式

$$W = -524.81 + (-6.21) \times ta + (-41.36) \times t_R + 64.96 \times t_S$$

$$W: \text{消費電力 [W]} \quad ta: \text{外気温 [℃]}$$

$$t_R: \text{吸込温度 [℃]} \quad t_S: \text{吹出温度 [℃]}$$

$$\text{寄与率 : 0.90}$$

減はせず、3付近に分布する結果となった。

エアコンが定格運転ではなく、部分負荷に対する運転となり、定格COPの4.44には達しなかった。ただし、ある限られた期間による実測結果であること、エアコンの定格出力に対して暖房時の消費電力の算出には、外気温や吹出、吸込温度から得られた室内への供給熱量が大きく影響している結果となった。

実測により得られた消費電力を目的変数に設定し、外気温、吹出温度、吸込温度を説明変数に設定して重回帰分析を行い、回帰式を算出した。表 3.2.12 に回帰式と寄与率を示す。

室内負荷が半分以下であること、風量を強設定に固定して運転していること、などエアコンにとっては不利な実験条件が重なっていることに注意する。

図 3.2.18 に示すようにルームエアコンの消費電力と供給熱量には相関関係があることが確認できた。回帰式の外気温と SMASH による暖冷房負荷計算で利用した気象データの外気温、吸込温度と室温を対応させ、吹出温度は暖房負荷と室温から求め、実際にルームエアコンが消費すると推測されるエネルギーを算出した。図 3.2.19 に実測 COP と回帰式より得られた消費電力から求めた COP の分布を示す。

4) COP と暖冷房消費エネルギー

(1) 2003年の検討

暖冷房負荷に対してルームエアコンが必要とする暖冷房消費エネルギーと COP の関係は次式とする。

$$\text{暖冷房消費エネルギー} = \frac{\text{暖冷房負荷}}{\text{COP}} \cdot$$

..(1)

JRA 規格では、外気温とルームエアコンの性能値を使用して暖冷房時の COP と期間暖冷房消費エネルギーの算出方法を示している。表 3.2.11 に示す実測で使したエアコンの性能値での COP 算出結果を図 3.2.20 に示す。

JRA 規格では図 3.2.20 のように、冷房時には外気温が低くなる際、暖房時には外気温が高くなる際に COP が直線的に上昇する。

SMASH による暖冷房負荷計算結果の各室の暖冷房負荷と JRA 規格で算出した COP より、暖冷房消費エネルギーを算出し、図 3.2.21 に示す。消費エネルギーの実態調査結果と比較すると、暖房負荷・冷房負荷ともに大きい。計算で設定されている暖冷房の使い方が現実と一致していないことが原因と考えられる。

各 case の暖冷房の負荷削減の割合と暖冷房消費エネルギー減少の割合は同等となった。

さらに、4case における暖房負荷から JRA 規格と実測から得られた回帰式を用いて算出した暖房消費エネルギーの結果を図 3.2.22 に示す。各 case とも 20% 程度、暖房消費エネルギーが増加した。JRA 規格のように COP の上昇傾向がある計算とは異なり、エアコンが部分負荷のなかで定格能力での運転ができないことが原因とみられる。

(2) 2004年の検討

(1)の予備検討から、

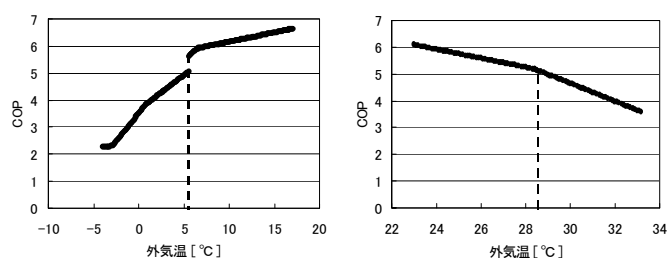


図 3.2.20 実測エアコンのCOP算出結果

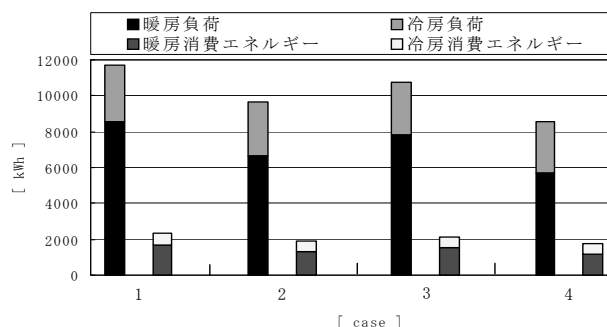


図 3.2.21 暖冷房負荷と消費エネルギーの計算結果 (2003年)

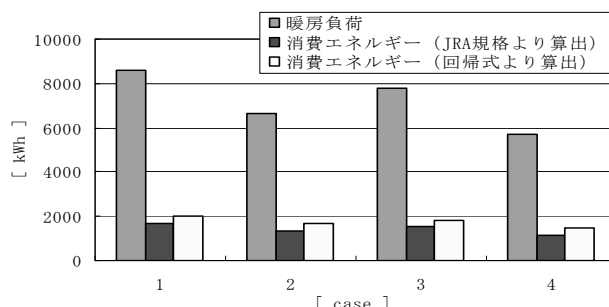


図 3.2.22 暖房消費エネルギーの比較

・断熱性能が劣ることから暖冷房負荷が大きくなり、自立循環型住宅の断熱仕様とは異なること。

・実測に用いたエアコンの定格出力と、計算対象室の暖房負荷が必ずしも対応していないため、現実的とはいえないこと。

・実測による COP は JRA 規格と対応はしていないが、消費エネルギーの算出結果は大きく変わらないこと。

・SMASH による暖冷房負荷計算結果では、負荷が大変小さい場合がある。この際に消費エネルギーを(1)式から求めると、極めて小さい電力となり、実情に合わない。

などの知見を得た。2004 年ではこれらを改善して、前述のように、

- ・断熱性能を自立循環型住宅の仕様に合わせて設定した。
 - ・暖冷房スケジュールを実証実験のスケジュールとした。
 - ・暖冷房負荷計算結果から、妥当なエアコン機器を選択し、COP は JRA 規格から求めることとした。
 - ・暖冷房消費エネルギーの算出方法として、(1)式に加えて、最小消費電力を設定した。
- の改善を行った。

(3) エアコンの性能値

表 3.2.8 に示す計算ケースについて、SMASH で求めた暖冷房負荷を図 3.2.23 に示す。

計算結果より暖冷房最大負荷を用いて改めてエアコンを選定した。2002 年標準と思われるエアコン α (以下在来型)と2004 年最新型エアコン β (以下最新型)と、2通りを設定し、その性能値を表 3.2.13 に示す。なお、居間のエアコンとして、在来型では個室と同機種を2台設置しているが、最新型では個室($\beta-2$)とは別の1台のエアコン

($\beta-1$)としている。また JRA 規格を用いて算出された COP と外気温の関係を図 3.2.24 に示す。

a 消費エネルギーの算出

暖冷房スケジュール中で、室を使うときは常時エアコンが ON となると仮定する。室の状態によっては、ヒートポンプが稼動する場合と送風のみで室温を監視する場合とに分かれるものとする。この境界となる負荷として、エアコンの定格出力の 40%を仮定した。また送風のみ

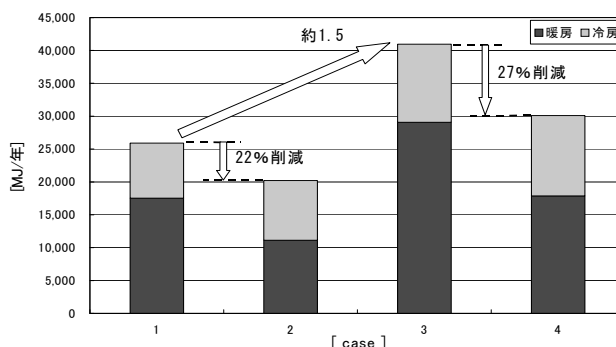
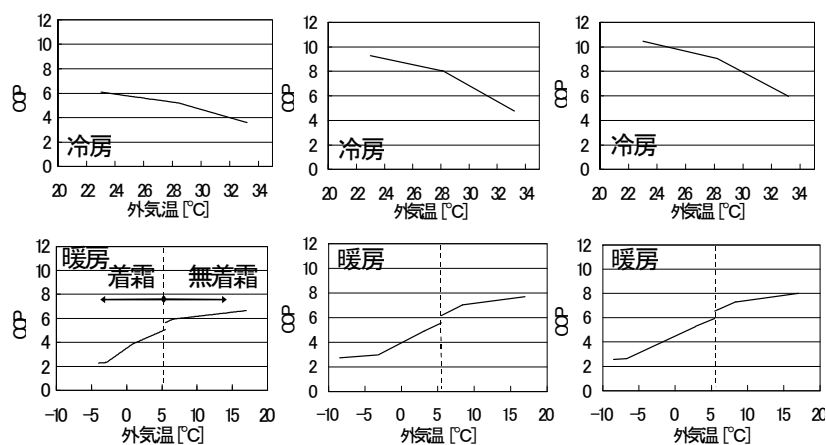


図 3.2.23 暖冷房負荷 (2004年)

表 3.2.13 エアコンの性能値 (2004年)

	α		$\beta-1$		$\beta-2$	
(定格)	暖房	冷房	暖房	冷房	暖房	冷房
能力 (W)	4,000	2,800	4,200	3,600	3,000	2,500
中間能力 (W)	2,000	1,400	2,000	1,700	1,400	1,200
低温能力 (W)	4,200		5,500		4,900	
消費電力 (W)	900	785	765	795	505	440
中間消費電力 (W)	355	320	290	255	195	160
低温消費電力 (W)	1,680		1,720		1,630	
COP	4.44	3.57	5.49	4.53	5.94	5.68



(a) エアコン α (b) エアコン $\beta-1$ (c) エアコン $\beta-2$

図 3.2.24 エアコンのCOPと外気温の関係 (2004年)

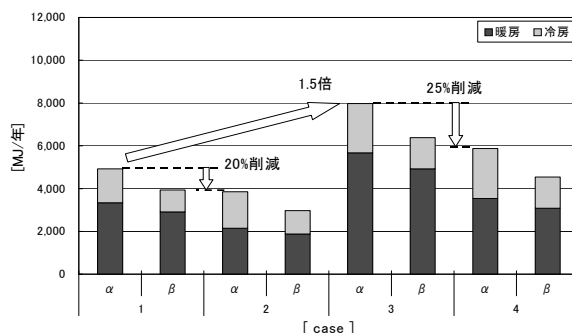


図 3.2.25 (1)式における暖冷房消費エネルギー (2004年)

の場合が最小消費エネルギーとなる。これを 50 W と仮定し、消費エネルギーがこれに満たないときは 50W に置き換えることにした。

1 時間中にヒートポンプが ON となる時間 t と、OFF のときにファンと制御系だけが稼動するときのエネルギー $E (=50W)$ を用いて、次式(2)で消費エネルギー C_2 を算出する。ここで C_1 は(1)式による消費エネルギーである。

$$C_2 = (1-t) \times E + C_1 \cdots (2)$$

b 消費エネルギーの計算結果

(1)式を用いた場合と(2)式及び最小消費電力を用いた場合の計算結果を図 3.2.25 と図 3.2.26 に示す。エアコンの在来型・最新型の違いによる比較では、高効率の機種を用いた場合 10～20%消費エネルギーを削減できる。断熱強化による比較では、およそ 20%削減することができる。

5) 室内快適性の評価

まず、前節 4)の 2004 年の計算結果を用いて、温冷感指標 PMV により、各時刻の室内快適性を評価する。PMV を計算するための設定値を表 3.2.14 に示す。

表 3.2.14 PMV計算のための設定値

要素	代謝量 (met)	気流 (m/s)	着衣量 (clo)		気温 (℃)	放射温度 (℃)	湿度 (%)
			夏期	冬季			
設定値	1.1	0.1	0.6	1.0	SMASHの出力値を用いる		

代謝量は、居住者の活動に応じて異なり、就寝時は 1.0met 以下となるが、計算設定のための妥当な資料が見つからないため、一意に 1.1met で扱った。

室内気流は SMASH でも計算は行っていない。エアコンによる気流は実際には 0.2m/s 程度あるものと想定できるが、ここでは少なくとも 0.1 m/s を下回ることはないとして、0.1m/s と設定した。

住宅において、居住者は適宜着衣で温冷感を修正しており、重要な生活上の対応と考えられる。しかし、その効果を計算に取り入れる方法が見つからなかったため、ここでは夏期・冬期でもっとも頻繁に用いられる値を用いた。

連続運転した場合には(1)式ではおよそ 1.5 倍、(2)式では 2 倍になる。負荷と(1)式で計算したエネルギー量を比較すると 4case とほぼ同じ割合で変化しているため、図 3.2.25 と図 3.2.26 におけるエネルギー量の差が、部分負荷運転した際のエネルギー量である。その割合をそれぞれ図内に示す。

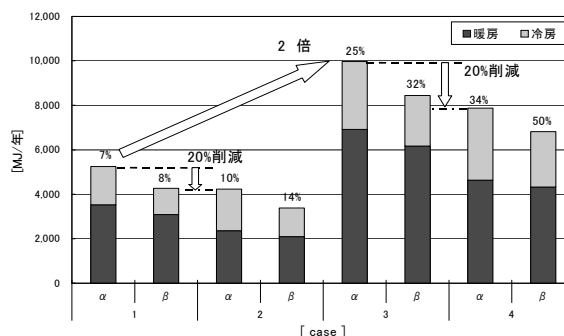


図 3.2.26 (2)式における暖冷房消費エネルギー (2004年)

暖冷房する室としない室において運転方法による温冷感の違いを調べるために、子供室 2 と 2F 廊下の PMV の頻度分布を図 3.2.27 に示す。2F 廊下については個室の在室状況に合わせて 20～24 時までを対象とする。快適範囲(±0.5)内に分布している割合を調べると、子供室 2 の場合、case2 では 69%、case4 では 79%となり連続運転した方が 10%程快適である。2F 廊下の場合、case2 では 27%、case4 では 33%となり著しい違いは見られない。

PMV を ±1.0 以内とすると case4 の方が 20% 程頻度多くなる。

また、図 3.2.27 は連続運転時であっても、PMV = ±2 程度の時刻があることを示している。これは、子供室外部の廊下の気温が必ずしも高くないため、子供室壁面温度が室温と離れてしまうため、PMV 計算上の放射温度が気温より冬期では低く、夏期では高くなってしまふことが原因である。

6) まとめ

ルームエアコン暖房運転時の実測により、エアコンが部分負荷に応じた運転で定格よりも低い COP で運転することがわかった。外気温の変動に COP が直線的に増減する JRA 規格から算出した消費エネルギーより、実測から得られた回帰式により算出した消費エネルギーの方が 20%程度の増加がみられた。

ヒートポンプが OFF の場合を考慮した部分負

荷運転を想定しての消費エネルギー算出と、快適性の評価を室使用時間内での頻度分布で行った。間欠運転と連続運転とを比較すると、連続運転では消費エネルギーは 2 倍程度となるが、温冷感指標の頻度分布では快適範囲になる割合は 69%から 79%と 10%向上することがわかった。

ただし、今回の実測及び計算は、限られた期間の実測であること、特定の一機種であり定格出力に対して半分以下の暖房負荷であったこと、風量は強設定に固定して実測したこと、などの不利な条件が重なっていることに注意が必要である。今回の結果は一例に過ぎないが、

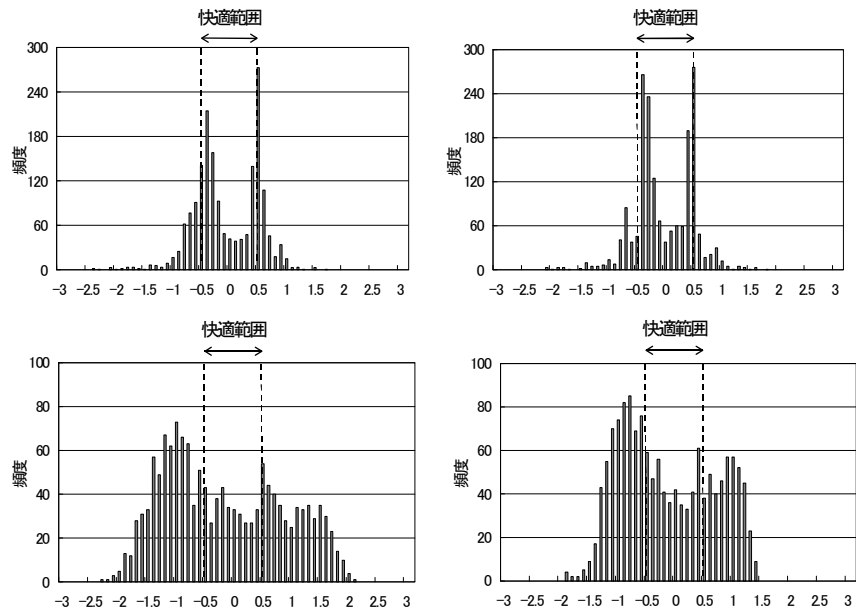


図 3.2.27 子供室2と2階廊下のPMV頻度分布

部分負荷運転時のエアコンの COP は定格能力や中間能力の性能値に比較して 1/2 程度まで小さくなる場合もある。

今後の課題として、他の暖房設備を用いた場合の消費エネルギーの検討、省エネルギーと快適性の更なる検討が挙げられる。

(岩本静男)

参考文献

- 1: JRA4046:1999、ルームエアコンディショナの期間消費電力量算出基準、1999.
- 2: 澤地孝男・他、日本建築学会大会学術講演梗概集(東海)2003年9月.

3.2.4 冬期の窓面によるコールド・ドラフトの影響

1) はじめに

冬季、住宅では窓面からの不均一放射やコールド・ドラフトが不快の原因となることがある。暖冷房システムのシミュレーションにおいては室温を一樣と仮定して解くことが多いため、この影響を別途評価する必要があり、

被験者実験による評価が重要となる。

また、住宅においては常時換気設備が義務付けられたことから、換気による影響が懸念される。例えば、住宅において、第 3 種換気方式が採用される場合は、外壁に自然給気口が設置される。

窓面によるコールド・ドラフトに加えて、自然給気口からの外気が室内温熱環境にどのような影響を与えるか、必ずしも明確ではない。居住者の中には、この外気による影響を嫌って、給気口を家具等でふさいでしまうことがあり得る。

そこで、本研究は、まず窓面のコールド・ドラフトの影響について検討する。集合住宅を模した実験室を用いて、居間等に設置されるテラス窓を用意し、室気温を制御して全身

の温冷感が中立の場合について、被験者実験を計画した。2002 年度は準備実験として、障子・カーテン・窓ガラスのみによるコールド・ドラフトの程度と温冷感への影響について、検討した。2003 年度にはシングルガラスとペアガラス、カーテンを設置した場合について検討した。

なお、自然給気口による影響は、第4章換気・通風システムにおいて扱われており、あわせて参照いただきたい。

2) 実験室概要

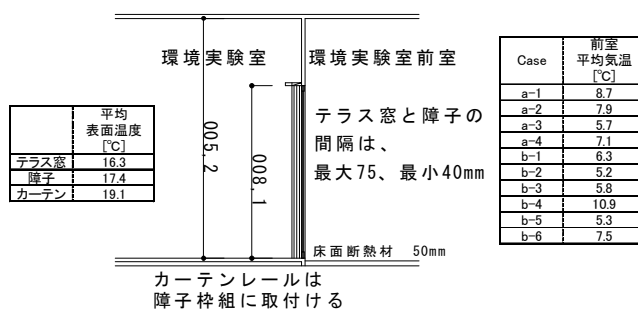
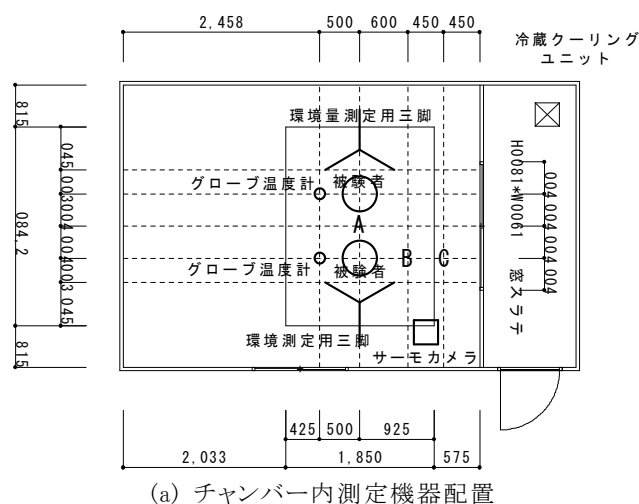
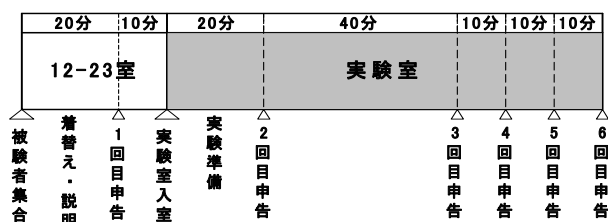


図 3.2.28 実験室内詳細図



実験室として、神奈川大学 12-23 室内に設置された室内環境実験用チャンバーを使用した。2002 年度はアネモ型、2003 年度は側壁のグリル吹出口により空調を行い、室気温を制御している。床暖房を模擬できるように、床中央付近に電気カーペットを配置して、空調のみの温風暖房と比較する。

チャンバー室内とテラス窓を隔てて隣接する前室に冷蔵ユニットを設置して、外気に近い環境を形成した。各測定器の測定位置と窓周辺詳細図を図 3.2.28 に示す。また被験者による実験スケジュールを図 3.2.29 に示す。次節より、年度ごとに分けて実験結果を記述する。

3) 2002 年度実験

(1) 実験概要

実験は、冬季に被験者実験と環境量把握実験を、窓周辺条件別・暖房方式別に行った。被験者姿勢は床座と椅座の2種類とし、実験パターンとチャンバー内環境の設定を表 3.2.15 に示す。

被験者皮膚表面温度や被験者を取り巻く環境量の測定は CC 熱電対と多点風速計を使用し、1分間隔で測定した。被験者皮膚表面温度の測定は米木ら¹⁾と同様とした。

各 Case の平均環境量は表 3.2.16 に示す。

窓周辺気温や風速の測定は CC 熱電対と多点風速計を使用した。窓表面付近風速の測定は超音波風速計を、表面温度はサーモカメラを用いて測定を行った。測定は1分間隔で行った。窓周辺環境量の測定点 A・B・C の位置と平均表面温度は測定機器配置図と併せて図 3.2.28 に示す。

(2) 被験者実験結果

a) 被験者概要

本研究の被験者は、合計 90 人で行った。実験日程の都合や被験者の欠席により Case 毎の人数は異なった。被験者概要の詳細については平均環境量と併せて表 3.2.16 に示す。被験者の体型は平均等をみて、おおよそ大学生の平均値と思われる。Case a-3は積雪のための皮膚表面温度低下を考慮する必要がある。

b) 被験者付近環境量の測定結果

被験者付近環境量を図 3.2.30 に示す。Case a-1・a-2 での床面付近の気温はチャンパー内気温と比べて 0.5℃低い。Case a-3・a-4 では 1.5～2℃低い。Case b-1～b-3 では 0.5℃～2℃高い。Case b-4～b-6 では 0.5℃～2℃低い。窓条件ではテラス窓のみとカーテンに比べて障子の上下気温分布は緩やかである。

c) 窓周辺環境量の測定結果

Case b-4～b-6 までの窓周辺測定気温を図 3.2.31 に示す。Case b-4～b-6 では、測定点 C の床上 100mm 以下で大きな差が表れた。Case b-4 はチャンパー内気温に比べて 2℃、b-5 では 1.2℃、b-6 では 3.5℃低い。測定点 A では 3Case の差は殆どない。テラス窓に障子を設置する時とカーテンを設置する時での気温差は窓近傍で表れた。

表 3.2.15 2002年度実験パターン

姿勢	Case	実験日	熱源	窓条件	室内設定	備考
被験者実験	床座	a-1	12/6 空調 電気カーペット	テラス窓のみ	20℃・50%	【使用機器】 ・電気カーペット 本体寸法 1850×2480 表布 ポリエステル100% ・空調機 送風機 風量750CMH 冷水コイル 4KW(7～12℃) 電気ヒーター 2.5KW 【被験者着席時使用物】 床座では座布団を使用 椅子ではワイプ丸椅子を使用 Case b-4～b-6はサンダル着用 【障子】 種別 水浸荒組無地 縦割 2000mm割 2801mm割 【カーテン】 サイズは1000×1780を2枚使用 丈は床より1cm上げた 【グローブ温度計高さ】 床座 床上300mm 椅子 床上600mm
		a-2	12/7 空調 電気カーペット	テラス窓 +障子	20℃・50%	
		a-3	12/9 空調	テラス窓 +障子	22℃・50%	
		a-4	12/10 空調	テラス窓 +カーテン	22℃・50%	
	椅座	b-1	12/17 空調 電気カーペット	テラス窓のみ	20℃・50%	
		b-2	12/19 空調 電気カーペット	テラス窓 +障子	20℃・50%	
		b-3	12/18 空調 電気カーペット	テラス窓 +カーテン	20℃・50%	
		b-4	12/12 空調	テラス窓のみ	22℃・50%	
		b-5	12/14 空調	テラス窓 +障子	22℃・50%	
		b-6	12/13 空調	テラス窓 +カーテン	22℃・50%	

表 3.2.16 各Case平均環境量と被験者概要

Case	気温 [℃]	相対湿度 [%]	気流 [m/s]	グローブ 温度 [℃]	被験者 [人]	身長 [m]	体重 [kg]
a-1	20.8	49.4	0.15	21.7	10	1.71	61.9
a-2	21.0	49.2	0.12	21.7	10	1.73	60.8
a-3	22.4	49.3	0.11	22.6	10	1.72	61.8
a-4	22.5	49.3	<0.1	22.7	9	1.70	57.0
b-1	19.5	50.6	0.12	20.7	10	1.72	61.6
b-2	19.4	50.7	0.13	20.5	10	1.74	62.5
b-3	19.4	50.7	0.13	20.6	10	1.70	60.1
b-4	22.2	51.3	<0.1	22.3	4	1.71	63.5
b-5	22.1	50.2	<0.1	22.3	8	1.71	59.5
b-6	22.1	51.6	<0.1	22.3	9	1.76	66.6

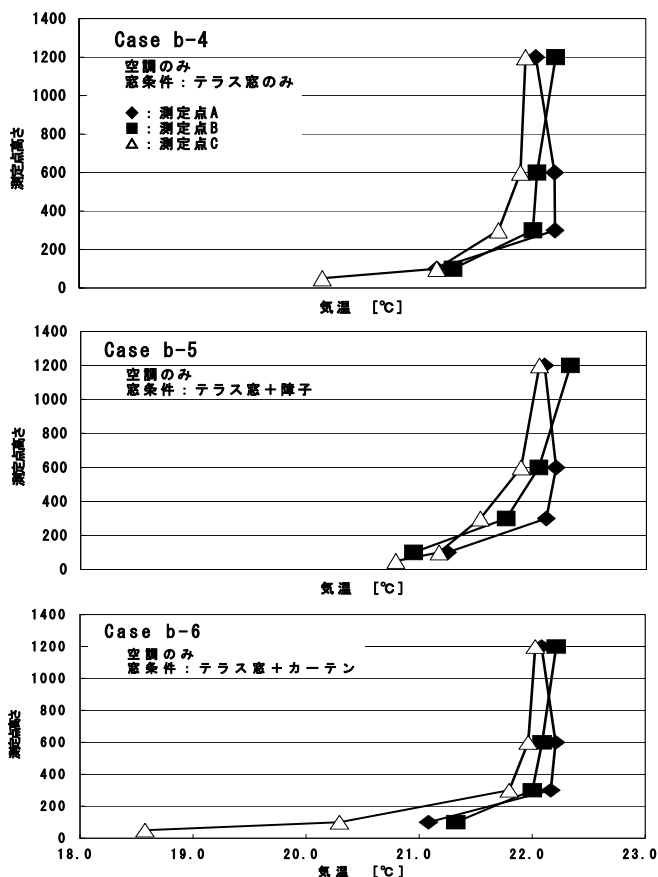


図 3.2.30 被験者付近気温

d 温熱感覚申告結果

温熱感覚申告結果は実験終了前3回分を使用した。申告結果と PMV・SET* の関係を図 3.2.32 に示す。PMV と SET* は表 3.2.16 の平均環境量より算出した。全ての Case で SET* は快適範囲内となったが Case b-1・b-2・b-3 は他と比べて低い。PMV は電気カーペットを使用した時に低い。これは既往の実験結果と一致する。全身の平均申告結果から b-1～b-3 以外はチャンバー内の環境は中立付近である。足元での平均申告値は、個人差があったため、標準偏差が大きくなっている。床座時での平均申告値は障子とカーテンでの差は顕著でない。

椅座時の平均申告値は PMV が 0 に近い Case b-4～b-6 で比較する。足元平均申告値を比較すると障子とカーテンの差は顕著でない。テラス窓のみについては、前室のクーリングユニットの容量不足から前室の気温が上昇してしまったため、障子・カーテンと異なる条件となった。厳密な比較はできないが、コールド・ドラフトによる影響は小さいと見られる。窓面付近でコールド・ドラフトは計測からも確認できるが、窓面から 1,500mm 以上離れると温冷感中立の被験者に対しては大きな影響を持たないことがわかる。

4) 2003 年度実験

(1) 実験概要

表 3.2.17 に示す暖房方式、窓条件の異なる各 Case で実験を行った。実験方法は基本的に 2002 年度と同様である。

(2) 実験結果

a) 被験者・窓周辺環境量

実験室内気温を室内中央 D の床上 600、1200mm の平均値として表 3.2.18 に示す。

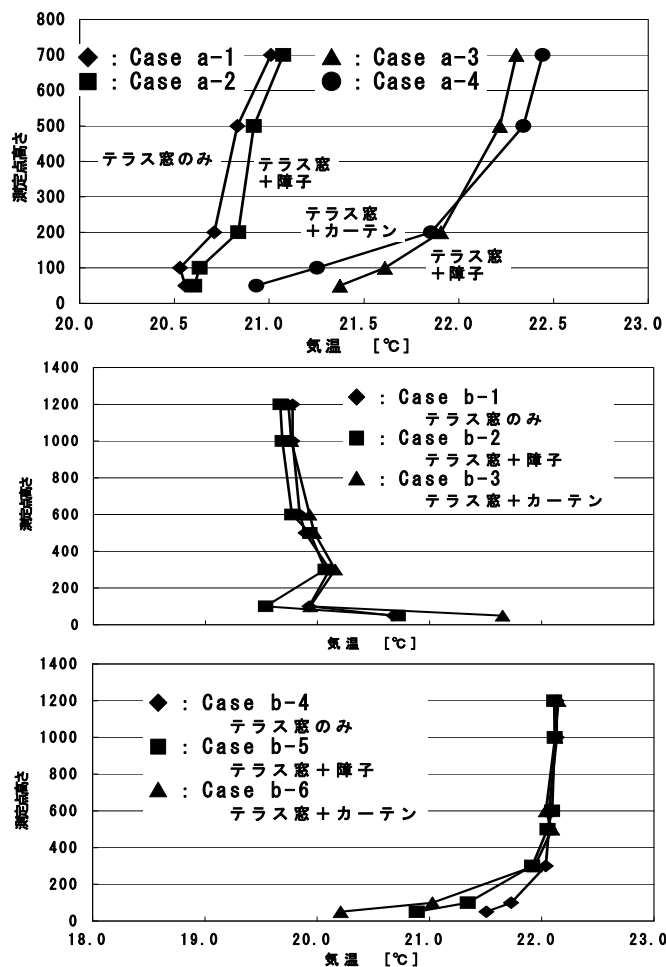
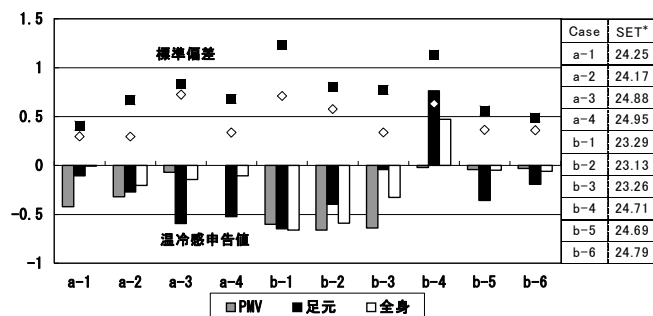
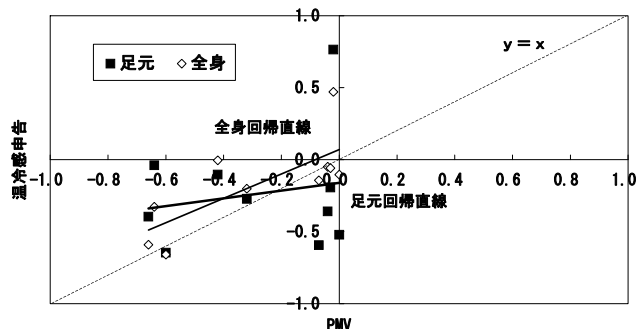


図 3.2.31 椅座時窓周辺気温



(a) 申告結果・標準偏差とPMV・SET*



(b) 申告値とPMVの関係

図 3.2.32 申告結果と温冷感指標

被験者周辺気温は 4 回目申告から 5 回目申告の間の 10 分間を平均値として図 3.2.33 に示す。室内気温と床面付近気温差は、空調のみの Case1～Case3 で 1.4～2.0℃、床暖房を併用した Case4～Case6 で 1～1.5℃であった。

窓周辺測定点での上下温度分布平均値を図 3.2.35 に示す。すべての Case で床面付近以外顕著な分布はみられない。被験者 B の足元は窓周辺 C 付近である。窓周辺 C と被験者付近 D の床面付近を比較するとすべての Case で 1～2℃の差があるため、被験者の足元はコールド・ドラフトの影響により気温が低いことがわかる。

床暖房の床面付近気温の特性として、床上 100～200mm の間で気温が上昇する。窓条件を変え窓面温度上昇させることにより全体的な室内気温は高くなるが空調のみの場合の足元気温は高くなっていない。Case3、6 の窓周辺 A の測定点は窓前面とカーテンの間にあるために気温が低く、窓周辺 B、C の床面付近気温はカーテンと床の間に 10mm～20mm の隙間があり、そこから冷気流が流出するため低くなる。

a 温冷感申告・皮膚表面温度

温冷感申告結果は安定した 4～6 回目の平均値を使用した。申告結果とその標準偏差および PMV・SET* の関係を

図 3.2.34 に示す。PMV と SET* は表 3.2.18 の値より算出した。PMV は床暖房を併用した Case4～6 では快適範囲であった。

全身の申告結果と足元の申告結果を比較すると、Case1～3 の空調のみの場合、全身の申告結果は窓条件がシングルガラス、ペアガラス、ペアガラス+カーテンの順で中立に近づくが足元の申告結果の差は顕著でない。Case4～6 の床暖房の場合も、全身の申告結果は窓条件がシングルガラス、ペアガラスと中立に近づき、ペアガラス+カーテンでは中立申告となる。足

表 3.2.17 2003年度実験条件

Case	暖房方式	窓条件	吹出し温度 [℃]	前室温度 [℃]
Case1	空調	シングルガラス	20.1	-0.5
Case2	空調	ペアガラス	20.0	0.7
Case3	空調	ペアガラス+カーテン	20.1	-1.6
Case4	空調+床暖房	シングルガラス	20.1	-0.7
Case5	空調+床暖房	ペアガラス	20.0	0.3
Case6	空調+床暖房	ペアガラス+カーテン	20.0	-0.9

表 3.2.18 各Case平均環境量

Case	気温 [℃]	相対湿度 [%]	グローブ温度 [℃]	風速 [m/s]	床表面温度 [℃]
Case1	20.8	44.8	20.9	0.17	20.2
Case2	21.7	43.6	21.4	0.20	22.1
Case3	22.1	42.0	22.1	0.19	20.9
Case4	22.5	43.3	22.9	0.18	25.9
Case5	22.8	41.9	23.3	0.20	26.3
Case6	23.3	44.7	23.8	0.11	26.5

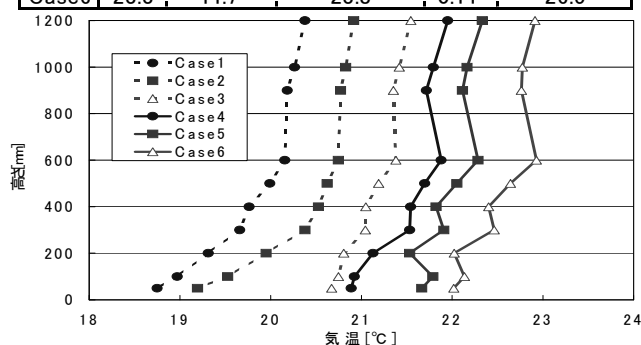


図 3.2.33 被験者周辺気温

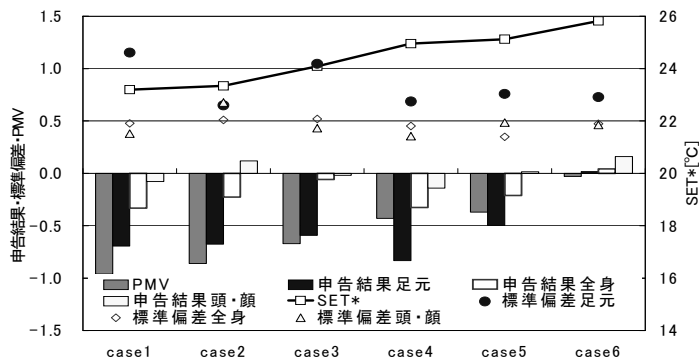


図 3.2.34 PMV・SET*と申告結果

元の申告結果も同じ窓条件で中立に近づきペアガラス+カーテンでは中立申告となった。標準偏差をみると足元の申告結果は、全身と比較して大きくなったが、床暖房を併用することによって小さくなった。

皮膚表面温度を図 3.2.36 に示す。Case1～3 をみるとほぼ同等となった。Case4～6 をみると、足の皮膚表面温度が高くなった。また、足元付近に与えるコールド・ドラフトの影響は床暖房を併用することによって改善することができた。

5) まとめ

温熱感覚が中立付近の環境において、室内気候を制御できる実験室において、コールド・ドラフトに着目した計測実験、被験者実験を行った。

2002 年度の実験結果では、

- ・椅座・空調暖房での足元温冷感ではテラス窓に障子・カーテンを設置した場合、窓から 1,500mm 以上離れた場所での差は顕著でない。
- ・今回の実験条件では、足元と被験者中央付近の気温差は 1~2℃程度であり、この範囲では全身の温冷感に対するコールド・ドラフトの影響は顕著ではないことがわかった。

2003 年度の実験結果では、

- ・被験者実験の全身と足元の申告結果よりペアガラス、カーテンによるコールド・ドラフトの低減効果、暖房方式との関係を把握した。
- ・床暖房により足元の温熱環境が改善され、コールド・ドラフトによる影響が緩和されることがわかった。

本実験室内では温風暖房ではアネモ型もしくはグリル型の吹出口を用いており、通常の住宅とは異なる可能性がある。家庭用エアコン等による暖房方式では別途検討が必要と思われる。

(岩本静男)

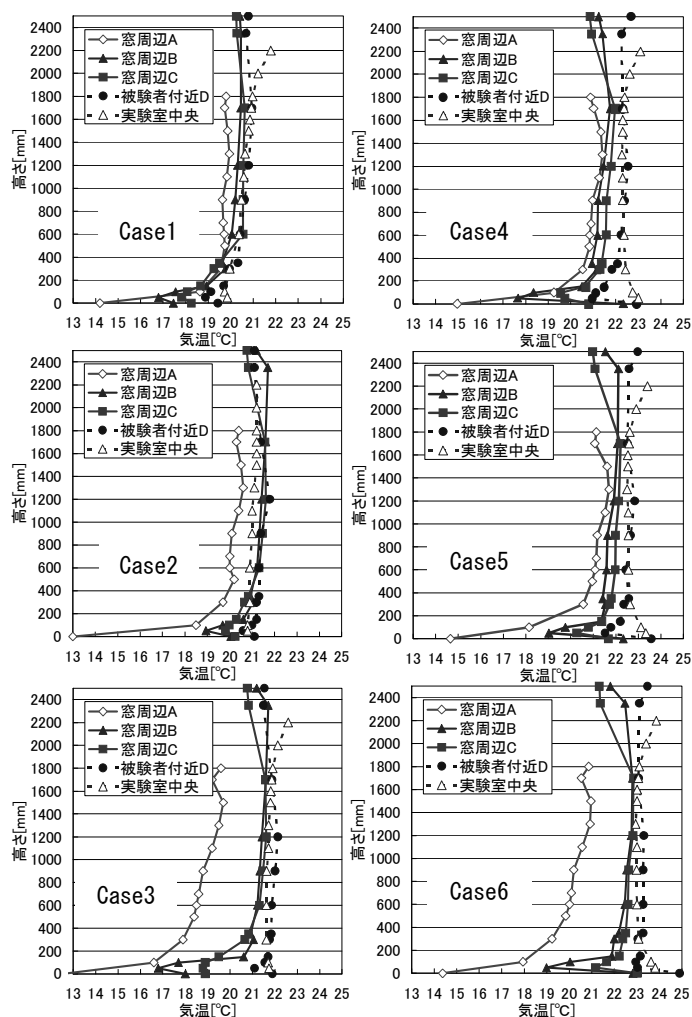


図 3.2.35 窓周辺気温の鉛直分布

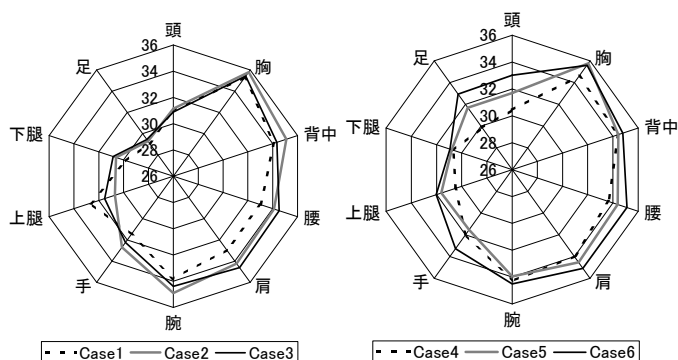


図 3.2.36 平均皮膚表面温度

【謝辞】被験者として神奈川大学学生に多く参加して頂いた。実験者として、当時神奈川大学工学部建築学科卒研生の鴨井周・鈴木健吾・細尾雅史・井浦学に多大な協力を頂いた。記して敬意を表す。

参考文献

- 1: 米木ら、空気調和・衛生工学会学術講演論文集、2001。
- 2: 自立循環型住宅開発委員会 平成 14 年度報告書、(財)IBEC、2002。
- 3: 快適な温熱環境のメカニズム、空気調和・衛生工学会

3.3 高効率給湯システム

3.3.1 給湯消費モードの設定

1) 給湯モードの必要性

住宅全体の消費エネルギーに占める給湯の割合は非常に大きく、自立循環住宅の実現において給湯用途の省エネは極めて重要である。給湯の省エネ技術としては、従来から太陽熱温水器などが開発・普及してきたが、近年になって潜熱回収型ガス瞬間式給湯機（以下、潜熱回収型）や CO₂ ヒートポンプ給湯機（以下、CO₂HP）など新しい高効率機器が相次いで開発され、その選択肢が広がりつつある。

従来の給湯機の効率測定は、日本工業規格 (JIS) や日本冷凍空調工業会標準規格 (JRA) などにより規定されているが、それらは仮想的な条件での定常的な効率（定格効率）の把握にとどまっている。

一方で、住宅での湯使用は、日々の住民生活によりランダムな様相を呈しながら発生しており、定格効率のみの把握では、実使用時の効率を誤って判断する危険がある。

ここでは、給湯機器の実使用下での性能評価に不可欠となる湯消費について、実測データを元に試験モードを決定した。

試験モード策定においては、昨年度に B1B2 実証実験における成果の一つとして、4 人世帯を想定した「修正M1モード」をすでに提案済である。修正M1モードにおいては、特に貯湯槽を有する給湯機の性能評価を可能とするため、湯消費の平均と日変動などのマクロ特性について検討を行い、連続 1 ヶ月を想定したモードになっている。

しかしながら、わが国における世帯構成は少子高齢化の影響から今後大きく変化することが予想されており、より家族人数の少ない 2・3 人世帯への対応が不可欠となっている（表 3.3.1、図 3.3.1）。そこで、本年度は修正M1モードを拡張し、

表 3.3.1 世帯人数の将来予想

		世帯人数の将来予想		
		単身	夫婦のみ	夫婦＋子
2000年	若年	5302	1152	2314
	中年	4577	3829	11149
	高齢	3032	3854	1456
2025年予測	若年	3784	639	1062
	中年	6573	3560	8865
	高齢	6801	6092	2070

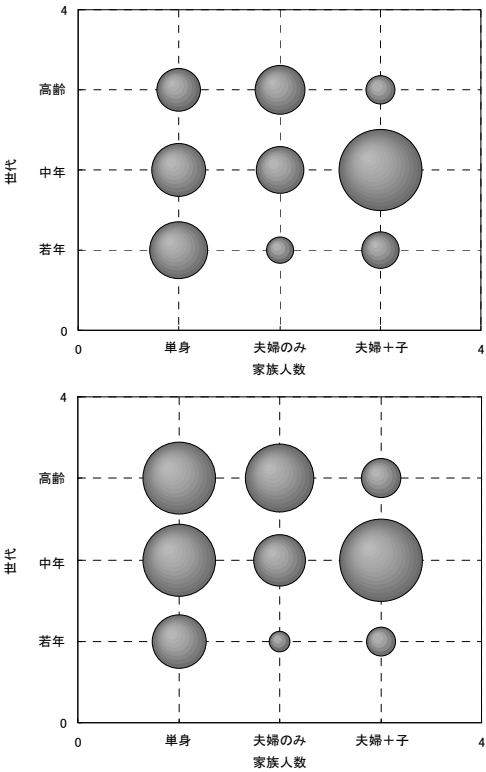


図 3.3.1 世帯構成変化（上段00年、下段25年）

2・3 人世帯に対応したバージョンを用意することで、より幅広い湯消費の評価を目指すこととした。

2) 4 人家族における湯消費モードの設定

はじめに、昨年度に作成した、4 人家族を対象とする修正 M1 モードの作成過程について記述する。

(1) スケジュール設定の方針

住宅における湯消費は、図 3.3.2 に示すようにミクロ・マクロの両面を有する複雑な特性を有する。本検討では、給湯スケジュール作成の方針を次のように定めた。

- ・対象家族構成は、生活スケジュール設定時の 4 人家族とする。
- ・住戸ごとで湯使用の差異を考慮するため、複数のモードを設定する。
- ・貯湯槽を有する給湯機の効率評価を行うため、従来の評価用給湯モードとは異なり、1 モードの中に複数日分の異なった消費パターンを設定する。
- ・B1B2 実証実験における空調・家電と共通の設定生活スケジュール(15 分間隔)の平日・休日外出・休日不在に対して、それぞれ「大」「小」の 2 タイプを設定し、計 6 日をセットとして 1 つのモードとする。消費の時刻(5 分間隔)は先に設定した生活行動にあわせる。
- ・6 日間の消費量は、1 ヶ月 30 日に展開した際に、設定した平均・変動になるように設定する。

(2) S/M1/M2/Lモードの設定

本モードの策定にあたっては、集合住宅 O 等における給湯給水消費の実測結果^{1),2)}を基に検討を行った。全住戸数は 71 住戸で、1 人から 5 人世帯までを含んでいる。世帯人数別の給湯消費量(40℃換算)の平均を

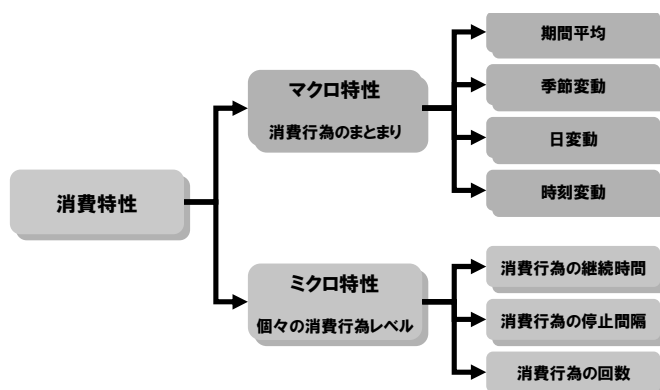


図 3.3.2 給湯消費の特性

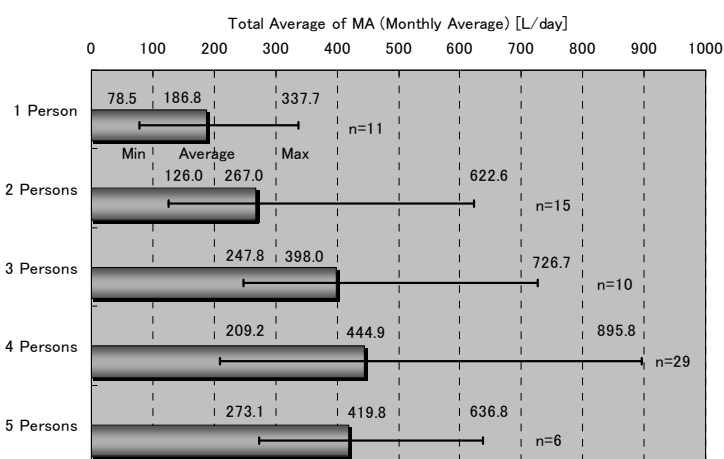


図 3.3.3 湯消費量の世帯人数別平均

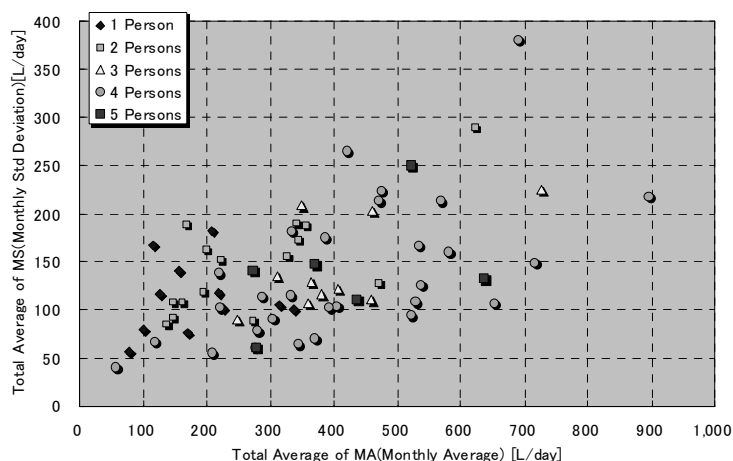


図 3.3.4 湯消費の平均と変動

図 3.3.3 に、平均と標準偏差(日変動を表す)との関係を図 3.3.4 に示す。家族構成が近い住戸でも、湯使用の平均量・変動は住戸差が大きい。この結果に基づき 4 人世帯について、平均・標準偏差の代表的な組み合わせとして、S/M1/M2/L の 4 モードを図 3.3.5、表 3.3.2 のように決定した。

なお、M1 モードについては、本検討において基本となるものであるが、分析対象となった住戸では洗濯への湯使用が行われているものも多く、湯使用量が従来の試験モードとくらべてかなり多い。そのため、本実験においては M1 モードから洗濯分を除き、平均 450[L/(日・戸)]、標準偏差 100 [L/(日・戸)]としたものを修正 M1 モードとした。以下の検討は、修正 M1 モードについてのみ行っている。

(3) 修正M1モードの詳細

修正 M1 モードについて、設定された平均・分散となるように、次の手順でモードの詳細を決定した。

- ・平日・休日在宅・休日不在のそれぞれ大・小 2 日、計 6 日の代表日について、消費量を設定する。(表 3.3.3)
- ・消費の平均・変動は 1 ヶ月に展開した際、平均・標準偏差が設定値に近づくように調整(表 3.3.4)。
- ・用途の内訳を設定。前述の実測結果の水栓別計測結果を参考にした。
- ・時刻分布について、B1B2 実証実験で設定した生活スケジュールに合わせて調整(表 3.3.5)。

なお、本実験では給湯の設定をデータ 5 分間隔で行っているため、実住宅における細かい時間間隔での出湯・停止は再現できていない。

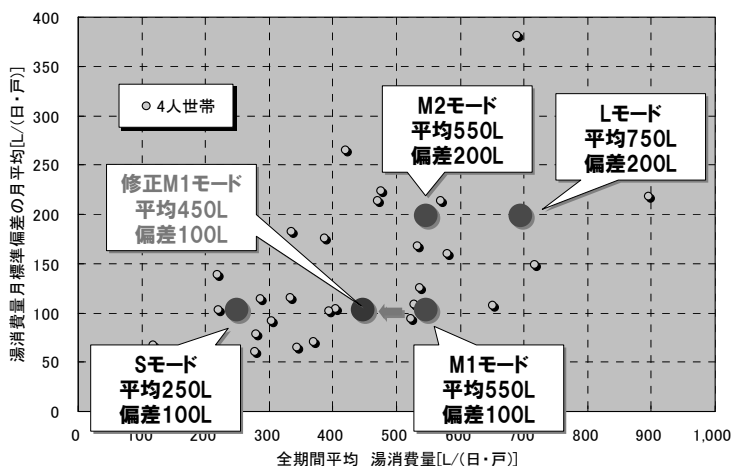


図 3.3.5 4人家族の消費設定

表 3.3.2 S/M1/M2/Lモード

モード	平均	標準偏差
S	250	100
M1(修正前)	(550)	(120)
M1(修正後)	450	100
M2	550	250
L	700	250

※単位:[L/(日・戸)]

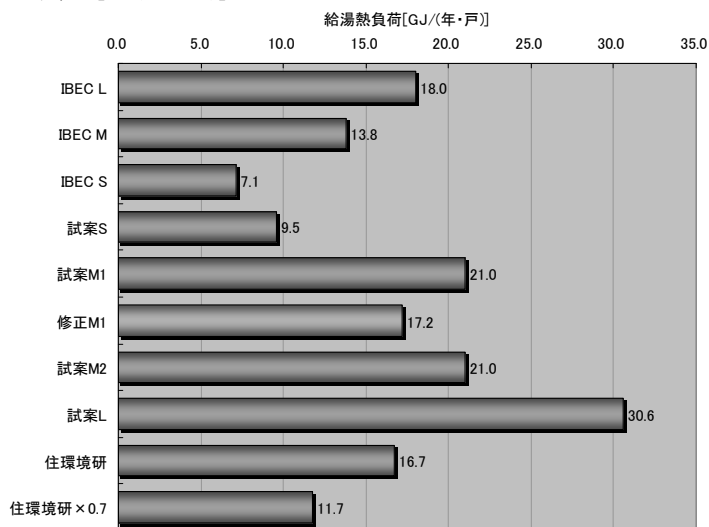


図 3.3.6 既存給湯モードとの比較

一般的な傾向として、貯湯槽を有する給湯機の効率はマクロ特性(総消費量の平均や日変動)に強く影響される一方で、瞬間式の給湯機においてはミクロ特性(行為の継続時間や停止間隔)の影響が大きいことが知られており、詳細な時間間隔での再現性については今後の検討課題である。

(4) 既往給湯モードとの比較

既存の IBEC L/M/S モードと先に設定した S/M1/M2/L モード、本実験で用いている修正 M1 の比較を図 3.3.6 に示す。ただし、給水温度は年平均 15℃固定である。

S/M1/M2/L モード策定に用いた実測データが比較的グレードの高い住宅におけるものであったこともあり、M1/M2/L モードは全体的に消費量が大きい結果となっている。しかし、洗濯に湯を用いないこととした修正 M1 モードについては、IBEC L モードなどとほぼ近い値に

なっている。

なお、ここでの比較では S/M1/M2/L/修正 M1 について給湯温度 40℃で用いたが、実験条件としては給湯機の出湯温度変動を見込んで 42℃としても差し支えない。エネルギー調査例として従来一般的な住環境計画研究所の値と比較すると、燃料熱量ベースであることから効率 70%を過程すると、修正 M1 よりかなり少ない値となる。これは住環境研のデータが家族人数別に整理されていないことから、特に問題ないと思われる。

表 3.3.3 修正M1モードの代表6日における湯消費

	台所	浴室(湯はり)	浴室(シャワー)	洗面	洗濯		合計
平日(小)	11日	100	150	80	50		380
平日(大)	11日	120	150	140	60		470
休日在宅(小)	2日	160	150	140	100		550
休日在宅(大)	4日	200	150	200	100		650
休日不在(小)	1日	10		200	30		240
休日不在(大)	1日	10	150	200	20		380

表 3.3.4 1ヶ月に展開した修正M1モード（この時の平均・変動が所定の値になるように修正）

	台所	浴室(湯はり)	浴室(シャワー)	洗面	洗濯	浴室合計	合計
1日 平日(大)	120	150	140	60		290	470
2日 平日(小)	100	150	80	50		230	380
3日 平日(大)	120	150	140	60		290	470
4日 平日(小)	100	150	80	50		230	380
5日 平日(大)	120	150	140	60		290	470
6日 休日在宅(小)	160	150	140	100		290	550
7日 休日在宅(大)	200	150	200	100		350	650
8日 平日(小)	100	150	80	50		230	380
9日 平日(大)	120	150	140	60		290	470
10日 平日(小)	100	150	80	50		230	380
11日 平日(大)	120	150	140	60		290	470
12日 平日(小)	100	150	80	50		230	380
13日 休日不在(小)	10	0	200	30		200	240
14日 休日在宅(大)	160	150	140	100		290	550
15日 平日(大)	120	150	140	60		290	470
16日 平日(小)	100	150	80	50		230	380
17日 平日(大)	120	150	140	60		290	470
18日 平日(小)	100	150	80	50		230	380
19日 平日(大)	120	150	140	60		290	470
20日 休日在宅(小)	200	150	200	100		350	650
21日 休日在宅(大)	200	150	200	100		350	650
22日 平日(小)	100	150	80	50		230	380
23日 平日(大)	120	150	140	60		290	470
24日 平日(小)	100	150	80	50		230	380
25日 平日(大)	120	150	140	60		290	470
26日 平日(小)	100	150	80	50		230	380
27日 休日不在(大)	10	150	200	20		350	380
28日 休日在宅(大)	200	150	200	100		350	650
29日 平日大	120	150	140	60		290	470
30日 平日小	100	150	80	50		230	380
1ヶ月モード 平均	119	145	130	62		275	456
標準偏差	44	27	45	21		45	99
M1実測値 平均	121			62	39	322	544
標準偏差	41			20	52	127	165

表 3.3.5 代表6日における湯消費の時刻分布

平日(小)	平日(大)	休日外出(大)	休日在宅(小)	休日在宅(大)	休日外出(小)
時刻 量[L] 水栓	時刻 量[L] 水栓	時刻 量[L] 水栓	時刻 量[L] 水栓	時刻 量[L] 水栓	時刻 量[L] 水栓
06:30 3 洗面	06:30 3 洗面	06:30 2 洗面	07:15 10 洗面	07:15 10 洗面	06:30 3 洗面
06:35 3 洗面	06:35 3 洗面	07:45 2 洗面	07:55 10 洗面	07:55 10 洗面	07:45 3 洗面
07:15 5 台所	07:15 5 台所	08:00 2 洗面	08:10 10 洗面	08:10 10 洗面	08:00 3 洗面
07:20 10 台所	07:20 10 台所	08:15 2 洗面	08:30 10 台所	08:30 10 台所	08:15 3 洗面
07:25 3 洗面	07:25 3 洗面	08:45 10 台所	08:35 10 台所	08:35 10 台所	08:45 10 台所
07:30 3 洗面	07:30 3 洗面	20:00 6 洗面	08:40 10 洗面	08:40 10 洗面	20:00 9 洗面
08:30 3 洗面	08:30 3 洗面	20:30 150 浴槽	11:55 12 洗面	11:55 12 洗面	21:00 25 シャワー
09:30 2 洗面	09:30 3 洗面	21:00 25 シャワー	12:45 15 台所	12:45 20 台所	21:05 25 シャワー
10:15 2 洗面	10:15 3 洗面	21:05 25 シャワー	12:50 15 台所	12:50 20 台所	21:15 25 シャワー
12:45 5 台所	12:45 5 台所	21:15 25 シャワー	12:55 20 台所	12:55 20 台所	21:20 25 シャワー
12:50 10 台所	12:50 10 台所	21:20 25 シャワー	16:00 9 洗面	16:00 9 洗面	21:45 3 洗面
13:45 2 洗面	13:45 3 洗面	21:45 2 洗面	18:00 3 洗面	18:00 3 洗面	22:15 25 シャワー
16:00 2 洗面	16:00 3 洗面	22:15 25 シャワー	18:05 25 シャワー	18:05 25 シャワー	22:20 25 シャワー
17:15 2 洗面	17:15 3 洗面	22:20 25 シャワー	18:10 25 シャワー	18:10 25 シャワー	22:25 3 洗面
18:00 2 洗面	18:00 3 洗面	22:25 2 洗面	18:15 3 洗面	18:15 3 洗面	22:30 25 シャワー
18:15 2 洗面	18:15 3 洗面	22:30 25 シャワー	18:25 12 洗面	18:25 12 洗面	22:35 25 シャワー
19:15 2 洗面	19:15 3 洗面	22:35 25 シャワー	19:30 15 台所	19:30 20 台所	22:45 3 洗面
19:20 2 洗面	19:20 3 洗面	22:45 2 洗面	19:35 15 台所	19:35 20 台所	
19:25 2 洗面	19:25 3 洗面		19:40 15 台所	19:40 20 台所	
20:15 10 台所	20:15 15 台所		19:45 15 台所	19:45 20 台所	
20:20 10 台所	20:20 15 台所		19:50 15 台所	19:50 20 台所	
20:25 10 台所	20:25 15 台所		19:55 15 台所	19:55 20 台所	
20:30 10 台所	20:30 15 台所		20:45 150 浴槽	20:45 150 浴槽	
20:35 15 台所	20:35 15 台所		21:15 25 シャワー	21:15 25 シャワー	
20:40 15 台所	20:40 15 台所		21:20 25 シャワー	21:20 25 シャワー	
20:45 150 浴槽	20:45 150 浴槽		21:45 5 洗面	21:45 5 洗面	
21:10 20 シャワー	21:10 20 シャワー		22:15 10 シャワー	22:15 25 シャワー	
21:15 3 洗面	21:15 3 洗面		22:20 10 シャワー	22:20 25 シャワー	
21:25 10 シャワー	21:25 25 シャワー		22:25 5 洗面	22:25 5 洗面	
21:30 10 シャワー	21:30 25 シャワー		22:30 10 シャワー	22:30 25 シャワー	
21:45 3 洗面	21:45 3 洗面		22:35 10 シャワー	22:35 25 シャワー	
22:00 10 シャワー	22:00 10 シャワー		22:45 11 洗面	22:45 11 洗面	
22:05 10 シャワー	22:05 10 シャワー				
22:15 3 洗面	22:15 3 洗面				
22:30 10 シャワー	22:30 25 シャワー				
22:35 10 シャワー	22:35 25 シャワー				
23:15 3 洗面	23:15 3 洗面				
23:20 3 洗面	23:20 3 洗面				
合計 380 L	合計 470 L	合計 380 L	合計 550 L	合計 650 L	合計 240 L
行為数 38 回	行為数 38 回	行為数 18 回	行為数 32 回	行為数 32 回	行為数 17 回

※消費量は、42℃給湯量換算。

3) 2・3人世帯の給湯消費モード設定

2・3人世帯については、修正 M1 モードで設定された4人世帯から、構成員を1人もしくは2人減らし、その分の消費を差し引いて作成する(図 3.3.7)。

なお、1人世帯については、入浴形態などのばらつきが大きく、ライフスタイルのさらなる検討が必要として、今回は標準的なモードとしては設定していない。

前述の実測データを元に、2/3人世帯の平均・標準偏差を表 3.3.6 のように設定し、できるだけ近づくように代表6日の湯消費を設定した。

設定した2/3人世帯の平均湯消

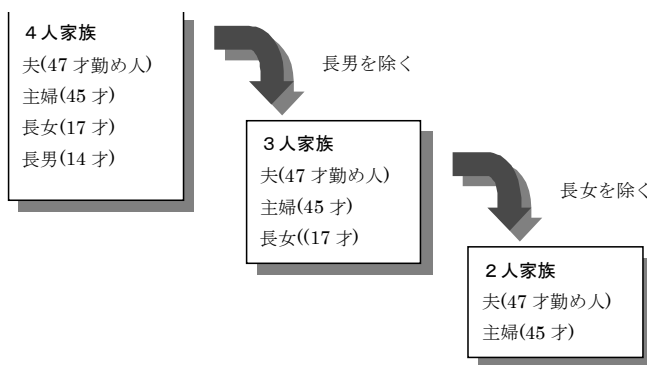


図 3.3.7 2/3人世帯の湯消費設定

費量を図 3.3.8 に示す。

2人世帯における湯消費の設定詳細を、表 3.3.7、表 3.3.9 に、3人世帯における詳細を表 3.3.8、表 3.3.10 に示す。また、2/3/4人の各世帯人数における代表6日の湯消費内訳を図 3.3.9 に、1ヶ月の消費変動を図 3.3.10 に、時刻変動を図 3.3.11 に示す。

表 3.3.6 2/3人世帯における湯消費の平均・標準偏差の設定

	平均[L/日]		標準偏差[L/日]		備考
	目標値	実設定値	目標値	実設定値	
2人世帯	270	273	100	96	新規
3人世帯	400	399	100	102	新規
4人世帯	450	456	100	99	修正M1モード

■ 台所 ■ 浴室(湯はり) □ 浴室(シャワー) □ 洗面

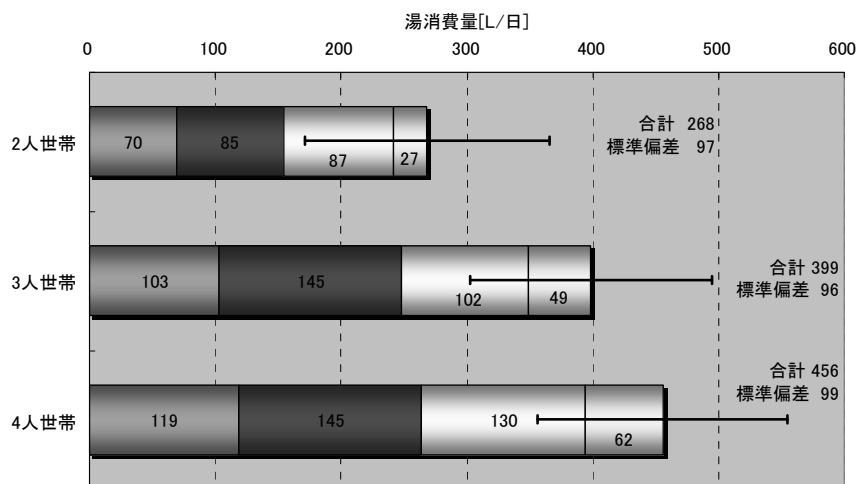


図 3.3.8 2/3/4人世帯の平均湯消費量内訳

表 3.3.7 2人世帯の代表6日における日合計消費量

		台所	浴室(湯はり)	浴室(シャワー)	洗面	洗濯	合計
平日(小)	11日	55	0	100	19	0	174
平日(大)	11日	75	150	70	21	0	316
休日在宅(小)	2日	100	150	70	59	0	379
休日在宅(大)	4日	110	150	100	54	0	414
休日不在(小)	1日	10	0	100	12	0	122
休日不在(大)	1日	10	0	100	18	0	128

表 3.3.8 3人世帯の代表6日における日合計消費量

		台所	浴室(湯はり)	浴室(シャワー)	洗面	洗濯	合計
平日(小)	11日	80	150	60	40	0	330
平日(大)	11日	100	150	120	48	0	418
休日在宅(小)	2日	140	150	120	78	0	488
休日在宅(大)	4日	200	150	150	78	0	578
休日不在(小)	1日	10	0	150	27	0	187
休日不在(大)	1日	10	150	75	18	0	253

表 3.3.9 2人世帯の代表6日における湯消費の時刻分布

2人家族 給湯消費モード

平日(小) 時刻 給湯量 水栓	平日(大) 時刻 給湯量 水栓	休日在宅(小) 時刻 給湯量 水栓	休日在宅(大) 時刻 給湯量 水栓	休日外出(小) 時刻 給湯量 水栓	休日外出(大) 時刻 給湯量 水栓
06:30 3 洗面	06:30 3 洗面	07:15 10 洗面	07:15 10 洗面	06:30 2 洗面	06:30 3 洗面
06:35 3 洗面	06:35 3 洗面	07:55 10 洗面	07:55 10 洗面	07:45 2 洗面	07:45 3 洗面
18:15 2 洗面	18:15 3 洗面	08:30 10 台所	08:30 10 台所	08:45 10 台所	08:45 10 台所
19:25 2 洗面	19:25 3 洗面	11:55 6 洗面	11:55 6 洗面	20:00 4 洗面	20:00 6 洗面
20:15 10 台所	20:15 15 台所	12:45 15 台所	12:45 20 台所	22:15 25 シャワー	22:15 25 シャワー
20:20 10 台所	20:20 15 台所	12:55 20 台所	12:50 20 台所	22:20 25 シャワー	22:20 25 シャワー
20:25 10 台所	20:25 15 台所	16:00 6 洗面	16:00 6 洗面	22:25 2 洗面	22:25 3 洗面
20:30 10 台所	20:30 15 台所	18:25 6 洗面	18:25 6 洗面	22:30 25 シャワー	22:30 25 シャワー
20:35 15 台所	20:35 15 台所	19:30 10 台所	19:30 20 台所	22:35 25 シャワー	22:35 25 シャワー
22:00 25 シャワー	20:45 150 浴槽	19:35 15 台所	19:35 20 台所	22:45 2 洗面	22:45 3 洗面
22:05 25 シャワー	22:00 10 シャワー	19:40 15 台所	19:40 20 台所		
22:15 3 洗面	22:05 10 シャワー	19:45 15 台所	20:45 150 浴槽		
22:30 25 シャワー	22:15 3 洗面	20:45 150 浴槽	22:15 25 シャワー		
22:35 25 シャワー	22:30 25 シャワー	21:45 5 洗面	22:20 25 シャワー		
23:15 3 洗面	22:35 25 シャワー	22:15 10 シャワー	22:25 5 洗面		
23:20 3 洗面	23:15 3 洗面	22:20 10 シャワー	22:30 25 シャワー		
	23:20 3 洗面	22:25 5 洗面	22:35 25 シャワー		
		22:30 25 シャワー	22:45 11 洗面		
		22:35 25 シャワー			
		22:45 11 洗面			
合計 174 L 行為数 16 回	合計 316 L 行為数 17 回	合計 379 L 行為数 20 回	合計 414 L 行為数 18 回	合計 122 L 行為数 10 回	合計 128 L 行為数 10 回

表 3.3.10 3人世帯の代表6日における湯消費の時刻分布

3人家族 給湯消費モード

平日(小) 時刻 給湯量 水栓	平日(大) 時刻 給湯量 水栓	休日在宅(小) 時刻 給湯量 水栓	休日在宅(大) 時刻 給湯量 水栓	休日外出(小) 時刻 給湯量 水栓	休日外出(大) 時刻 給湯量 水栓
06:30 3 洗面	06:30 3 洗面	07:15 10 洗面	07:15 10 洗面	06:30 3 洗面	06:30 2 洗面
06:35 3 洗面	06:35 3 洗面	07:55 10 洗面	07:55 10 洗面	07:45 3 洗面	07:45 2 洗面
07:20 10 台所	07:20 10 台所	08:30 10 台所	08:30 10 台所	08:00 3 洗面	08:00 2 洗面
07:25 3 洗面	07:25 3 洗面	08:35 10 台所	08:35 10 台所	08:45 10 台所	08:45 10 台所
08:30 3 洗面	08:30 3 洗面	08:40 10 洗面	08:40 10 洗面	20:00 9 洗面	20:00 6 洗面
09:30 2 洗面	09:30 3 洗面	11:55 9 洗面	11:55 9 洗面	21:15 25 シャワー	20:30 150 浴槽
10:15 2 洗面	10:15 3 洗面	12:45 15 台所	12:45 20 台所	21:20 25 シャワー	21:15 25 シャワー
12:45 5 台所	12:45 5 台所	12:50 15 台所	12:50 20 台所	21:45 3 洗面	21:20 10 シャワー
12:50 10 台所	12:50 10 台所	12:55 20 台所	12:55 20 台所	22:15 25 シャワー	21:45 2 洗面
13:45 2 洗面	13:45 3 洗面	16:00 9 洗面	16:00 9 洗面	22:20 25 シャワー	22:15 10 シャワー
16:00 2 洗面	16:00 3 洗面	18:25 9 洗面	18:25 9 洗面	22:25 3 洗面	22:20 10 シャワー
18:00 2 洗面	18:00 3 洗面	19:30 10 台所	19:30 20 台所	22:30 25 シャワー	22:25 2 洗面
18:15 2 洗面	18:15 3 洗面	19:35 15 台所	19:35 20 台所	22:35 25 シャワー	22:30 10 シャワー
19:20 2 洗面	19:20 3 洗面	19:40 15 台所	19:40 20 台所	22:45 3 洗面	22:35 10 シャワー
19:25 2 洗面	19:25 3 洗面	19:45 15 台所	19:45 20 台所		22:45 2 洗面
20:15 10 台所	20:15 15 台所	19:50 15 台所	19:50 20 台所		
20:20 10 台所	20:20 15 台所	20:45 150 浴槽	19:55 20 台所		
20:25 10 台所	20:25 15 台所	21:15 25 シャワー	20:45 150 浴槽		
20:30 10 台所	20:30 15 台所	21:20 25 シャワー	21:15 25 シャワー		
20:35 15 台所	20:35 15 台所	21:45 5 洗面	21:20 25 シャワー		
20:45 150 浴槽	20:45 150 浴槽	22:15 10 シャワー	21:45 5 洗面		
21:25 10 シャワー	21:25 25 シャワー	22:20 10 シャワー	22:15 25 シャワー		
21:30 10 シャワー	21:30 25 シャワー	22:25 5 洗面	22:20 25 シャワー		
21:45 3 洗面	21:45 3 洗面	22:30 25 シャワー	22:25 5 洗面		
22:00 10 シャワー	22:00 10 シャワー	22:35 25 シャワー	22:30 25 シャワー		
22:05 10 シャワー	22:05 10 シャワー	22:45 11 洗面	22:35 25 シャワー		
22:15 3 洗面	22:15 3 洗面		22:45 11 洗面		
22:30 10 シャワー	22:30 25 シャワー				
22:35 10 シャワー	22:35 25 シャワー				
23:15 3 洗面	23:15 3 洗面				
23:20 3 洗面	23:20 3 洗面				
合計 330 L 行為数 31 回	合計 418 L 行為数 31 回	合計 488 L 行為数 26 回	合計 578 L 行為数 27 回	合計 187 L 行為数 14 回	合計 253 L 行為数 15 回

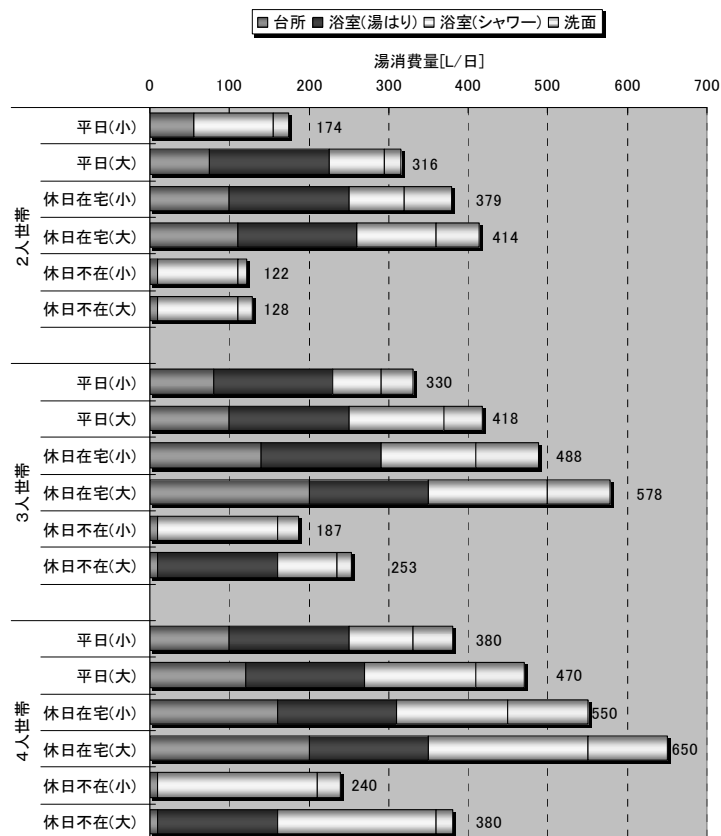
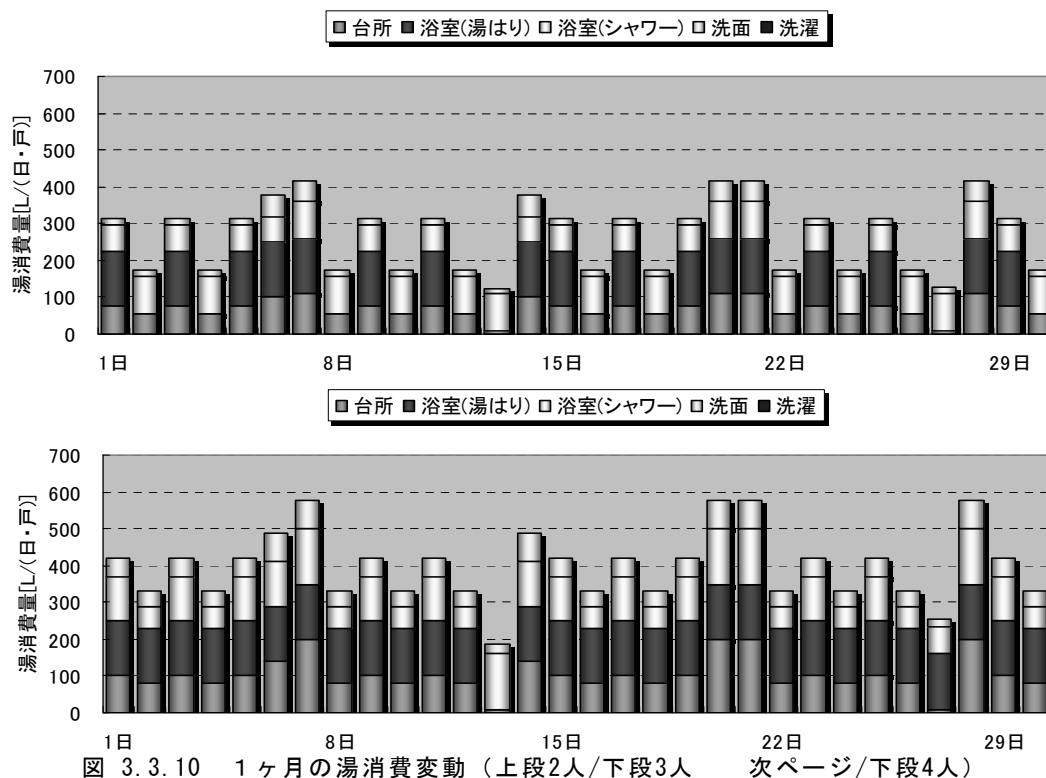


図 3.3.9 2/3/4人世帯の代表6日における日合計消費量



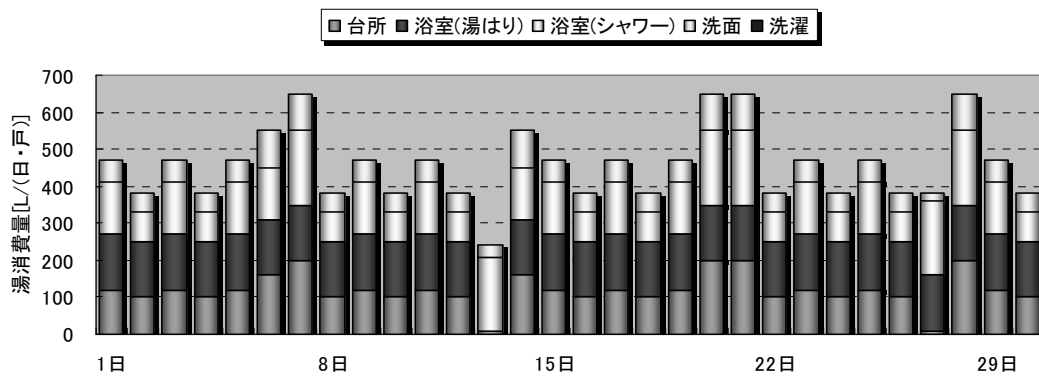


図 3.3.10 (続) 1ヶ月の湯消費変動(4人)

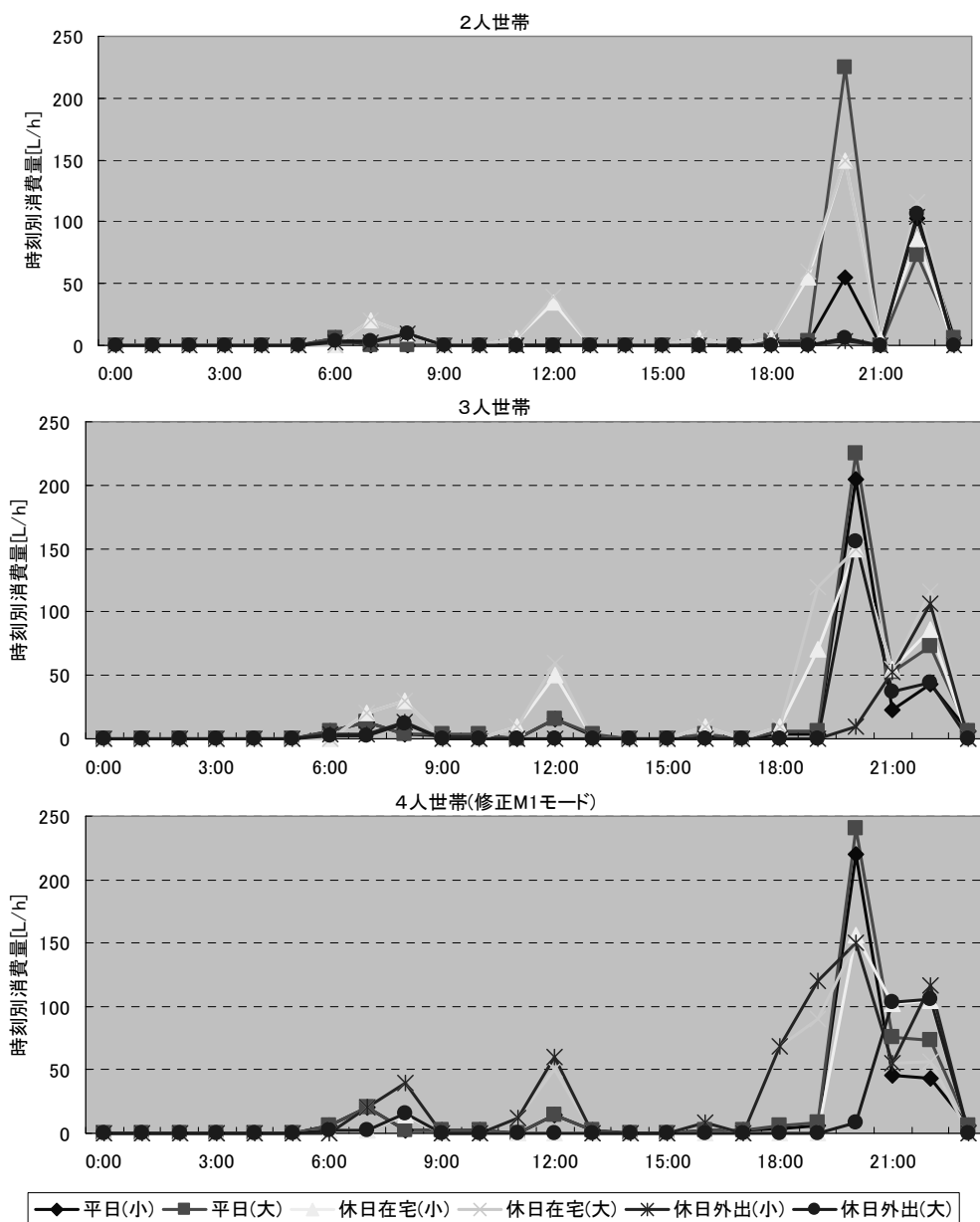


図 3.3.11 2/3/4人世帯における代表6日の湯消費時刻分布

4) 季節変動について

本モードは、年間を通した給湯データを元に作成されており、基本的に中間期を想定している。通常の評価ではこの設定を夏期・冬期に拡張しても差し支えないと考えられるが、CO₂H P 給湯機のように性能の季節変化が大きい機器評価においては、季節変動を考慮したモードが必要になる場合がある。

なお、ここでの値は湯量 40℃換算であるため、給水温度の変動の影響は取り除かれている。湯量換算でも季節変動は比較的大きくなっているが、これらの変動は長期不在など特殊な事情によるものもあることから、一般的に季節変動を再現する際には触れ幅±15%程度として、2月を+15%、8月を-15%とするサイン波で湯消費量を補正するのが適当と考える。

図 3.3.12 に、実測調査における月平均の期間最大・最小および年平均±標準偏差の分布例を示す。

回帰式の係数から、期間最大は年平均に対し+30%、期間最小は-19%程度となってい

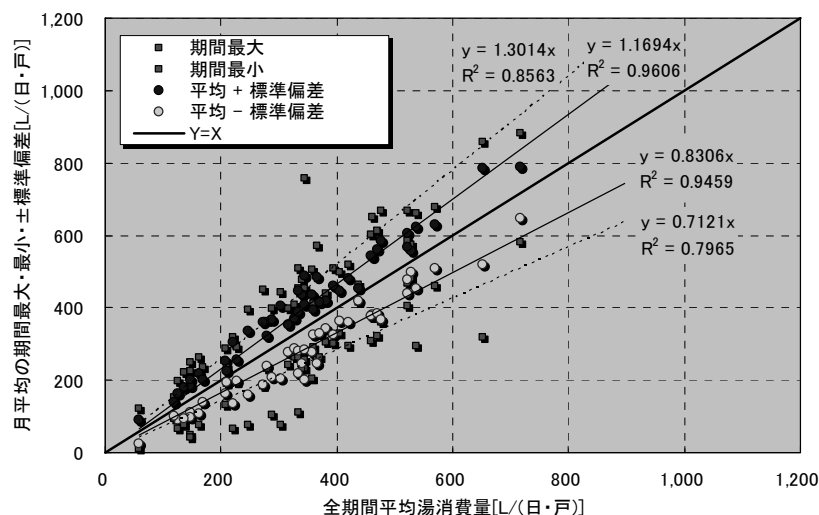


図 3.3.12 湯消費量の季節変動（湯量40℃換算）

5) その他の実験条件

流量については、特に瞬間式給湯機において効率への影響が大きい。しかしながら本モードでは、給湯の消費行為に関するマクロ的な側面は簡略化されていること、流量の精緻な制御は困難であることから、厳密には流量を定義しない。

既往モードの整合から、浴槽落とし込み 8～15[L/min]、シャワー 8～12[L/min]、台所・洗面 4～8[L/min]の値を適宜用いればよい。

給湯温度については、本モードでは様々な用途における平均的な使用温度を想定して、基本的に 40℃相当としている。ただし、実験に

においては給湯機の出口温度が機器設定温度と異なる場合があるので、設定温度は 42℃程度にしてさしつかえない。

なお、給湯温度としては、給湯器出口温度だけでなく水栓での出口温度を採用する方法もあり、水栓での使用温度・最低使用温度などを規定しているモードも存在する。しかしながら、本モード作成に用いたバックデータが給湯機出口温度計測によるものであること、水栓温度での実験は困難であることから、特に特にした条件は設定していない。

6) 単身世帯について

本ここで述べたモードは 2～4 人世帯を対象としたものであり、単身世帯については住戸差

が大きいにも関わらずサンプル数が十分でないことから、ここでは特にモードを設定しなかつ

た。なお、以下で単身世帯について検証する際には、独身社宅において計測された実測結

果を消費行為ごとに整理してそのまま用いている(平均湯消費量 約 150~200[L/日])。

7) まとめ

本節においては、住宅における湯消費を標準化した試験用給湯モードについて、昨年度の検討に引き続き検討を行った。その結果、昨年度作成した4人世帯を想定した修正 M1 モードに、2・3 人世帯のバージョンを追加し、より幅広い性能評価が可能となった。

一方で、家族人数が少ないほど個人の消費に住戸全体の消費が強く影響されることから、今回検討したような少人数の住戸における給湯消費の標準化はより難しい面があることは注意する必要がある、今後も継続した調査・研究が必要であると考え。

(前 真之)

参考文献

- 1) 都心型集合住宅における給湯・給水消費構造の分析と評価手法に関する研究(その1) 湯水消費の季節変動要因に関する研究
前 真之他 日本建築学会計画系論文集(2003年4月掲載)
- 2) 給排水設備研究会研究会誌「給排水設備研究」第21巻・第2号(2004年7月)最近の給湯消費実態調査 前真之

3.3.2 湯節約器具による節水・節湯・省エネルギー効果の検証

入浴・食器洗浄行為に関して、水栓器具による使用水量の違いを把握し、節水・節湯、省エネルギー効果の検討を行うことを目的とする。本研究ではシャワー実験として、サーモスタット混合水栓の湯温・流量調整に要する捨て水量削減効果把握実験と、手元止水機能付シャワーヘッドの節湯効果の把握をした。

食器洗い実験では足元止水機能付水栓、センサー式自動水栓の節水効果把握実験、シャワー吐水、泡沫吐水の形態の違いによる節水効果の把握実験を行なった。

併せて食器洗い乾燥機による使用湯量、消費エネルギー量の測定を行い、被験者実験による手洗いとの比較を行った。

1) シャワー水栓による節湯効果把握

(1) 実験概要

温度流量調整に要する捨て水量に対するサーモスタット付混合栓(以下サーモ付)の節水効果を把握する湯温流量調整実験、および手元止水機能付シャワーヘッド(以下止水型)の節水効果を把握するシャワー入浴実験を行った。

実験は冬期と夏期に行った。また、シャワー水栓、シャワーヘッドの種類を変えて2003年と2004年に実験を行った。実験期間を表3.3.11、被験者人数、平均年齢を表3.3.12に示す。

表 3.3.11 実験期間

	冬期実験	夏期実験
2003年	2003/2/8～3/8	2003/8/15～9/8
2004年	2004/3/1～3/17	2004/7/20～8/11

注) 被験者のうち13名は冬期・夏期共通

表 3.3.12 被験者概要

		冬期		夏期	
		人数	平均年齢	人数	平均年齢
2003年	男性	17名	23.8歳	10名	22.7歳
	女性	15名	22.2歳	10名	22.7歳
	全体	32名	23.1歳	20名	22.7歳
2004年	男性	12名	21.8歳	15名	21.3歳
	女性	12名	22.3歳	15名	21.3歳
	全体	24名	22.1歳	30名	21.3歳

また、被験者の自宅で使用しているシャワー水栓の種類による差を把握するため、自宅の水栓別の被験者数を表3.3.13に示す。全ての被験者が温度流量調整実験・シャワー入浴実験の両方を行った。被験者はまず温度流量調整実験を行い、次にシャワー入浴実験を行った。使用したシャワーヘッド散水板の仕様を表3.3.14に示す。測定項目を表3.3.15に示す。

表 3.3.13 自宅の水栓別被験者数

	2バルブ	サーモ付	その他
2003冬期	19名	12名	1名
2003夏期	13名	6名	1名
2004冬期	19名	3名	2名
2004夏期	26名	3名	1名

表 3.3.14 シャワーヘッド仕様

	穴径[mm]	列数	穴数	総開口面積[mm ²]
2003年度	0.9、0.7	4列	69	32.6
2004年度	0.7	5列	96	36.9

表 3.3.15 測定項目

項目	測定箇所	測定機器
湯温	給水	φ1.6mmT型 シース熱電対
	給湯 混合後	
流量	給水 給湯	愛知時計電機 ND10-NATAAA ND10-PATAAA
気温・湿度	外気温 控え室 脱衣室	江藤電気 温度・湿度センサ (2119A)

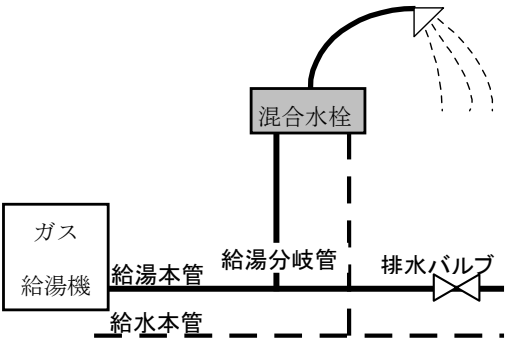


図 3.3.13 2003年度実験施設系統図



図 3.3.14 2003年度実験施設

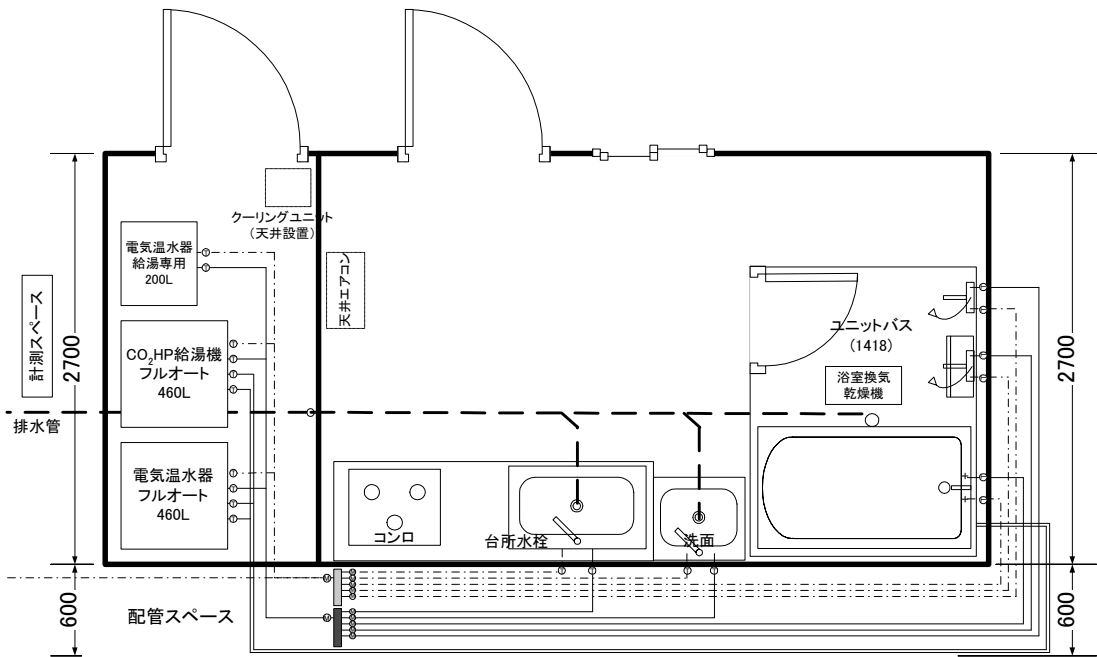


図 3.3.15 2004年度実験施設平面図

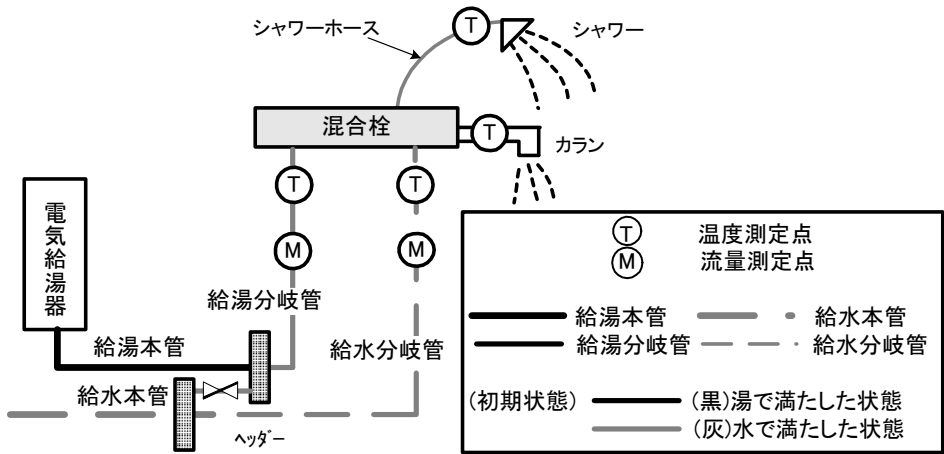


図 3.3.16 2004年度実験施設系統図



図 3.3.17 2004年度実験施設

実験場所、給湯設備は2003年と2004年の実験で異なるが、両実験室とも給湯機出湯温度は60℃に設定した。給湯設備は、2003年は24号ガス瞬間湯沸機を用い配管は鋼管の先分岐方式、2004年は460L電気温水器を用い、塩ビ管および架橋ポリエチレン管のサヤ管ヘッダ方式であった。2003年の実験設備系統図および概要を図3.3.13、図3.3.14に、2004年の実験設備平面図、系統図および概要を図3.3.15～図3.3.17に示す。

(2) サーモスタット付水栓による効果把握

a 湯温流量調整実験 実験方法

図3.3.18に示す2バルブ・サーモ付の2種類の混合水栓を用いて湯温・流量調整を行い、調整に有する水量を捨て水量とし、比較を行った。被験者は裸体でシャワーを手などに浴びながら湯温・流量を調整し、適温・適流量と

なった時点で調整終了を申告した。その後10秒程度体に浴びさせ、温度・流量に変更が必要ないか確認した。調整終了の申告までに要した給湯・給水量を捨て水量とした。

実験開始時の状態は、シャワー系統への分岐部または給湯ヘッダ以降の配管を給水で満たし、給湯本管は給湯で満たした。分岐部以降の配管は2003年の実験設備では管径13A、長さ約1200mm、2004年の実験設備では、管径13A、長さ約7500mmである。実験は2バルブ・サーモ付の順で行い、各被験者がそれぞれの水栓について1日1回ずつ2日間実験を行った。

b 捨て水量

被験者別の捨て水量および平均値を表3.3.16に示す。捨て水量は両水栓ともに夏期に多い傾向にあった。また、2004年度は捨て水量が多くなったが、給湯配管系統の違いによる影響が大きいものと思われる。サーモ付による平均の節水量は、調整1回につき約0.9Lであった。

c 自宅の水栓による捨て水量比較

自宅の混合水栓別に分類を行い2003年の結果を図3.3.19、表3.3.17、2004年の結果を図3.3.20、表3.3.18に示す。2バルブで調整を行う場合は自宅で2バルブを用いている人の方が捨て水量が少なく、サーモ付を用いて調整を行う場合は自宅でサーモ付を用いている被験者の方が捨て水量が少なかった。節水量は自宅が2バルブの人は平均0.7L、自宅

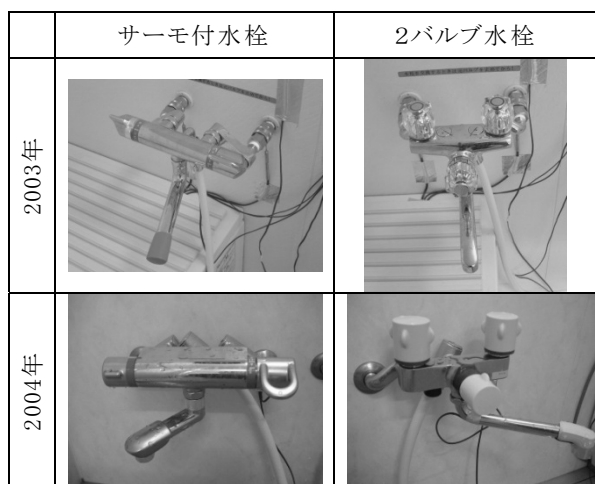


図 3.3.18 シャワー水栓

表 3.3.16 捨て水量

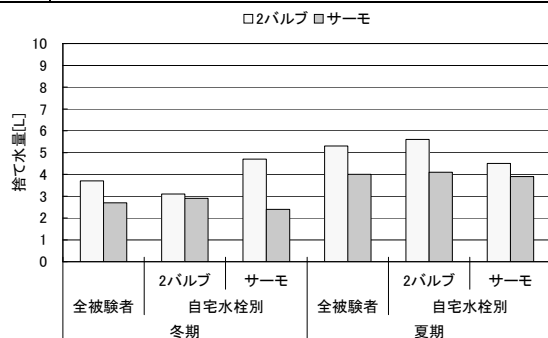
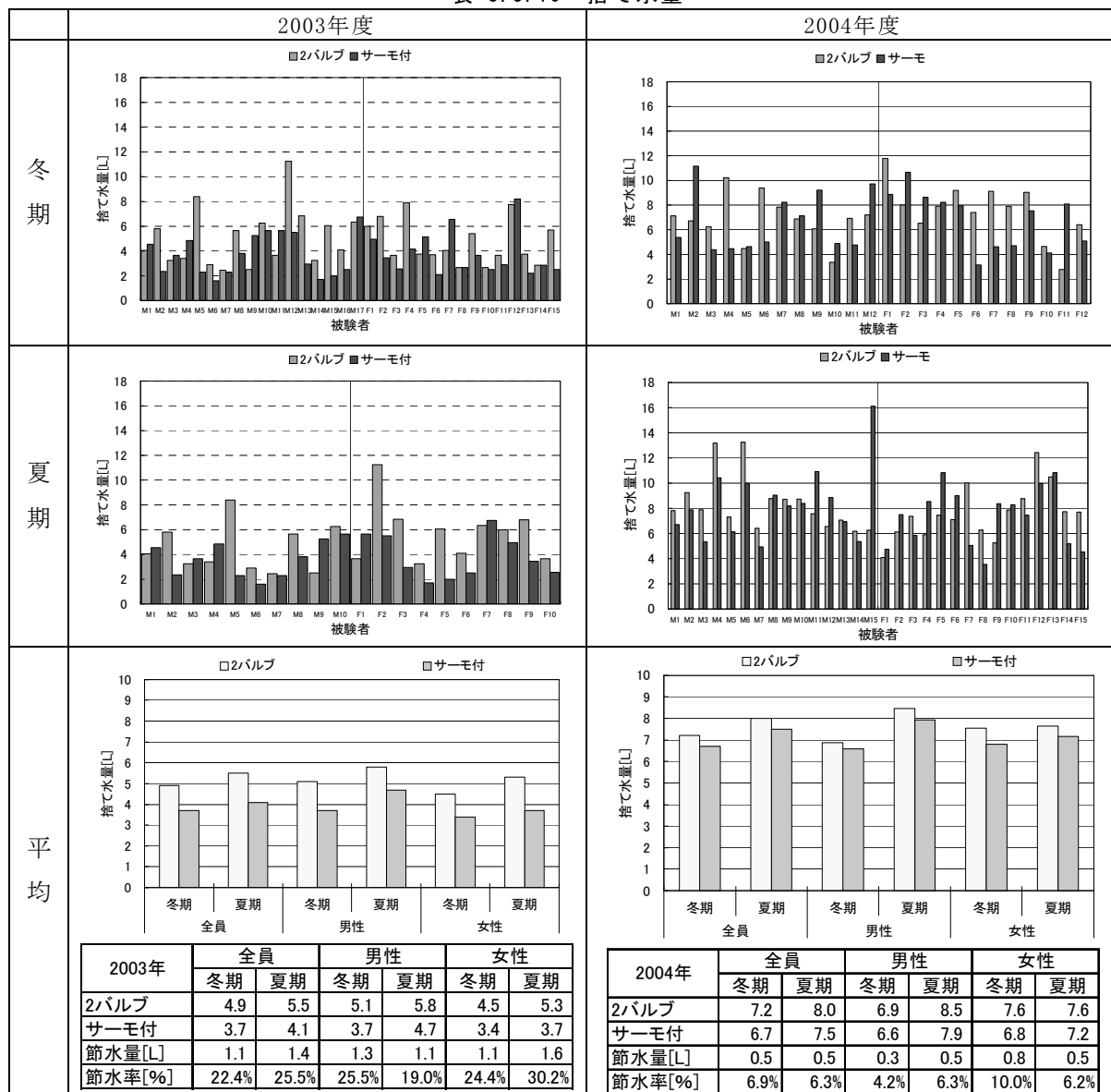


図 3.3.19 自宅の水栓別捨て水量(2003年)

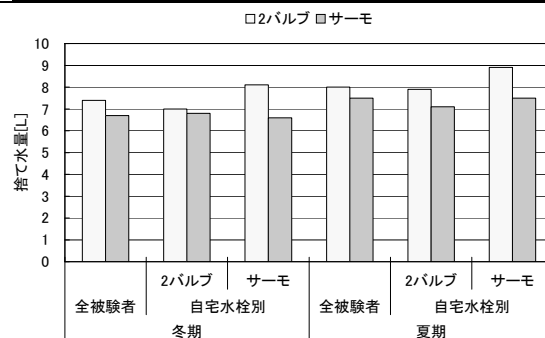


図 3.3.20 自宅の水栓別捨て水量(2004年)

表 3.3.17 自宅の水栓別捨て水量(2003年)

2003年	冬期			夏期		
	全被験者	自宅水栓別		全被験者	自宅水栓別	
		2バルブ	サーモ		2バルブ	サーモ
2バルブ[L]	3.7	3.1	4.7	5.3	5.6	4.5
サーモ付[L]	2.7	2.9	2.4	4.0	4.1	3.9
節水量[L]	1.0	0.2	2.3	1.3	1.5	0.6
節水率[%]	27.0%	6.5%	48.9%	24.5%	26.8%	13.3%

表 3.3.18 自宅の水栓別捨て水量(2004年)

2004年	冬期			夏期		
	全被験者	自宅水栓別		全被験者	自宅水栓別	
		2バルブ	サーモ		2バルブ	サーモ
2バルブ[L]	7.4	7.0	8.1	8.0	7.9	8.9
サーモ付[L]	6.7	6.8	6.6	7.5	7.1	7.5
節水量[L]	0.7	0.2	1.5	0.5	0.8	1.4
節水率[%]	9.5%	2.9%	18.5%	6.3%	10.1%	15.7%

がサーモ付の人は平均 1.5L であり、自宅でサーモ付を使用している人の方が、節水量が多かった。しかし、自宅で 2 バルブを用いている人でもサーモ付を用いることによって節水効果を得られることが分かった。

(3) 手元止水付きシャワーヘッドによる効果把握

a シャワー入浴実験 実験方法



図 3.3.21 シャワーヘッド
(左:2003年, 右:2004年)

図 3.3.21 に示す止水型(写真左)、標準型(写真右)の 2 種類のシャワーヘッドを用い、浴槽入浴は行わないシャワー入浴のみを行い、使用湯量の比較を行った。被験者は洗顔・洗髪・体洗い全ての行為を行い、行為を随時インターホンにて申告した。標準型においては、出来る限り日常通りの入浴を行わせた。止水型に関しては使い慣れていない被験者が多かったため、慣れていない被験者に対しては、湯不要時には出湯を停止するように指示した。シャ-

ワーヘッド散水板は、止水型と標準型で同じものを使用した。

実験は異なる 2 日間に行い、標準型を先に行う被験者と止水型を先に行う被験者が同数となるようにした。混合水栓はサーモ付を用い、入浴開始時は捨て水がない状態とした。なお、使用量が極端に多い、または少ない被験者による影響を避けるため、解析には標準での使用量の値が平均値 $\pm 2\sigma$ 以内(σ :標準偏差)の被験者のデータについてのみ使用した。2003 年は冬期 30 名、夏期 20 名、2004 年は冬期 24 名、夏期 29 名による解析である。

b 湯使用状況

標準的な被験者の各シャワーヘッドによる湯使用状況の一例を図 3.3.22 に示す。

止水型を用いる場合、止水回数が多くなっていることが分かる。また止水型の場合には最初に混合栓の操作を行い 2 回目以降は手元

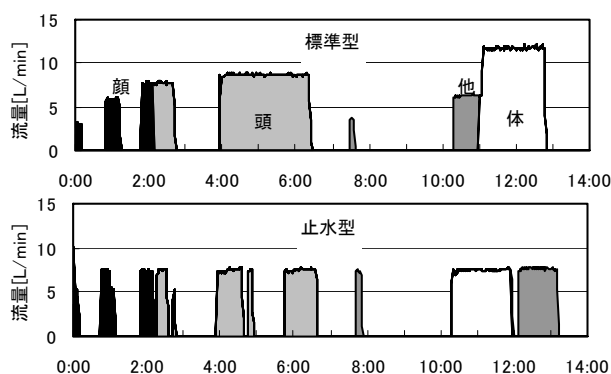


図 3.3.22 湯使用状況の例

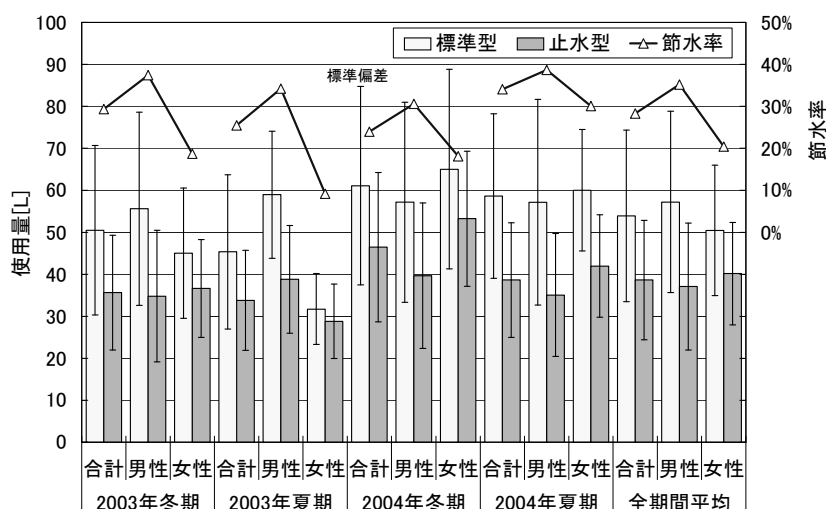


図 3.3.23 平均使用湯量、節水率

のボタンで止水するため、混合栓による温度・流量調整をあまり行わない。このため入浴中の流量が一定になっていると推測される。

c 合計使用量

各シャワーヘッドを用いてシャワー入浴を行った被験者別の使用量を表 3.3.19 に、平均使用量および節水率を、図 3.3.23、に示す。平均節水率は、[(全被験者合計の

表 3.3.19 被験者別使用湯量

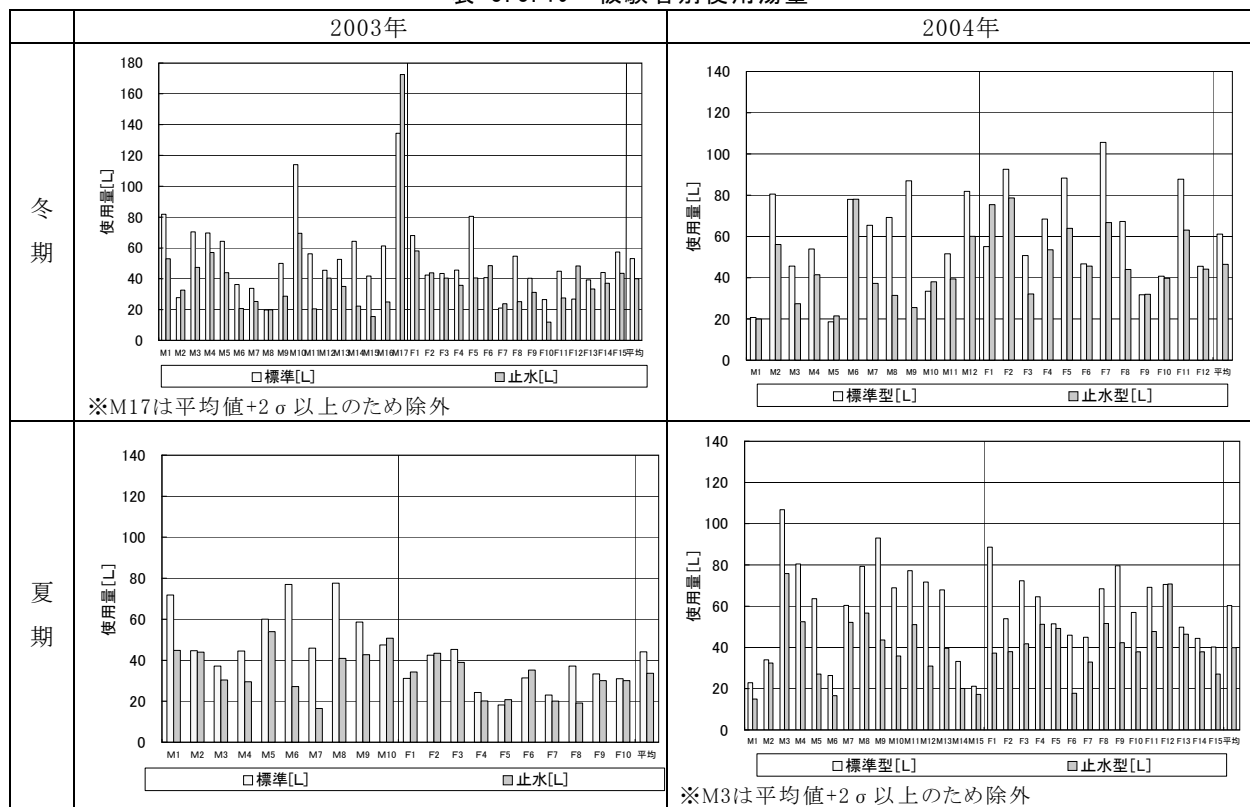
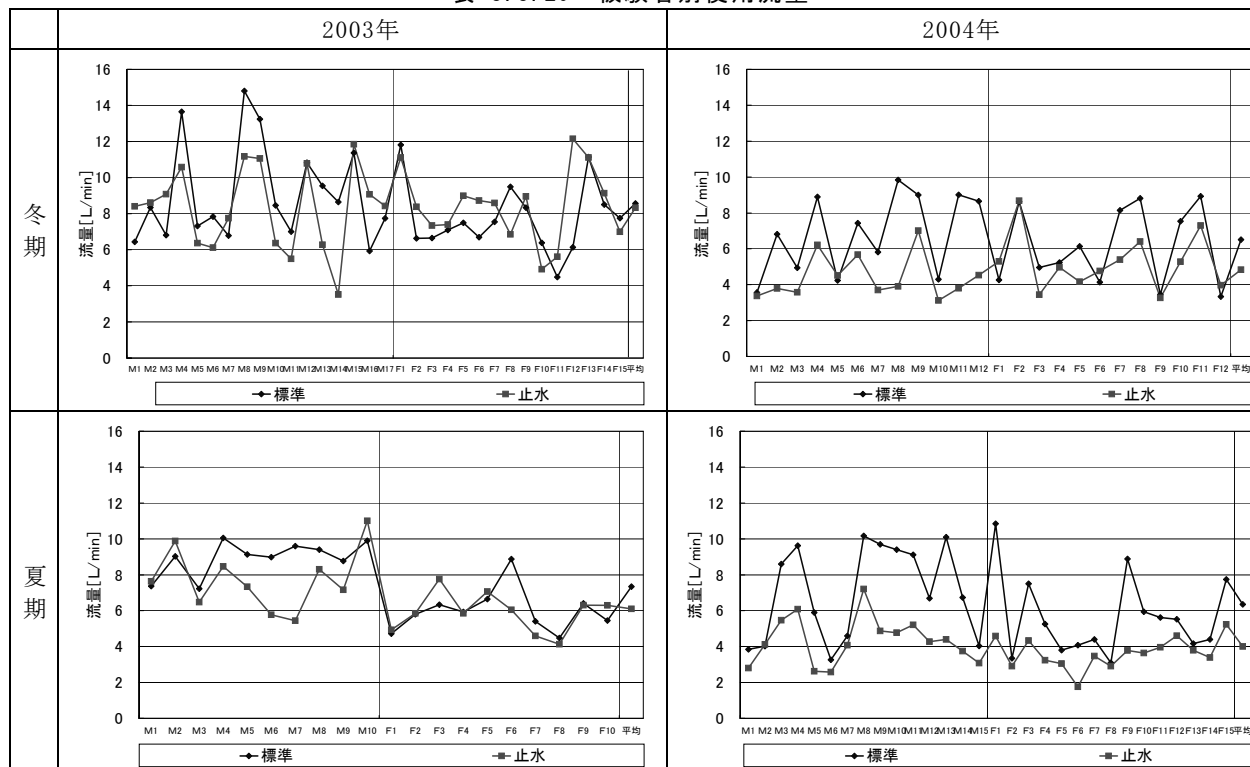


表 3.3.20 被験者別使用流量



節水量/全被験者合計の標準型使用量) × 100]として求めた。

シャワーヘッドの種類によって多少異なるが、平均で標準型使用量が 53.9L、止水型使用量が 38.6L となり、節水量 15.3L、節水率 28.3%の節水効果が確認された。

標準型での使用量が多い被験者の方が節水率が高くなり、本実験では女性より男性の方が使用量が多くなり、節水率も高い結果となった。

表 3.3.21 平均使用湯量、節水率

		標準型		止水型		節水量 [L]	節水率
		使用量[L]	標準偏差	使用量[L]	標準偏差		
2003年 冬期	合計	50.5	20.2	35.7	13.7	14.8	29.4%
	男性	55.6	23.0	34.8	15.7	20.8	37.5%
	女性	45.0	15.5	36.6	11.6	8.4	18.7%
2003年 夏期	合計	45.3	18.4	33.8	11.9	11.5	25.4%
	男性	59.0	15.2	38.8	12.8	20.2	34.2%
	女性	31.7	8.5	28.8	8.9	2.9	9.2%
2004年 冬期	合計	61.1	23.6	46.5	17.8	14.6	24.0%
	男性	57.2	23.8	39.7	17.3	17.5	30.6%
	女性	65.0	23.8	53.2	16.1	11.8	18.1%
2004年 夏期	合計	58.6	19.6	38.6	13.6	20.0	34.1%
	男性	57.2	24.5	35.1	14.6	22.1	38.7%
	女性	60.0	14.5	42.0	12.2	18.1	30.1%
全期間 平均	合計	53.9	20.4	38.6	14.2	15.3	28.3%
	男性	57.2	21.6	37.1	15.1	20.2	35.2%
	女性	50.5	15.6	40.2	12.2	10.3	20.4%

d 使用流量

被験者別使用流量および平均値を表 3.3.20 に示す。流量は個人差が大きい、平均値は標準と止水型で概ね同等となった。

e 部位別使用量

実験中の申告記録を基に

(髪/顔/体/その他)の分類を行った。ただし 2 回の入浴で、申告内容が異なっているが同一行為であると認められる場合は(体⇔全身など)、どちらかの行為に統一するよう修正を行った。

表 3.3.22 に部位別平均使用量、節水量、節水率を示す。節水量は使用量が多い髪・体が多くなっている。

(4) 開口面積と適流量の関係

シャワーの使用湯量に影響する要因として、使用時の流量の影響が大きい。著者を含めた本委員会委員の既往の研究成果^{1),2)}として、使用時の適流量には、シャワー散水板の開口面積が関係していることを明らかにしている。

表 3.3.23 に示す特徴の異なる 3 種類の市販シャワーヘッドを用いて、適流量把握の被験者実験を行った。実験は 2000 年 10 月 24 日～11 月 9 日に被験者実験を行った。被験者概要

表 3.3.24 に示す。全被験者が 3 種類のシャワーヘッドで実験を行うが、順番は被験者ごとランダムとした。シャワーヘッドは壁掛けのみとし、散水板と被験者胸部の距離は概ね 60cm であった。

各シャワーヘッドでの適流量、適温の平均、最大、最小値を図 3.3.24 に、適流量と総開口面積の関係を試作散水板での実験結果と併せて図 3.3.25 に示す。

これらの結果より、適流量 Q_T [L/min] は穴径・穴数などから決まる総開口面積 A [mm²] で概ね推定可能であり、 $Q_T = CA^n$ (C, n : 実験係数) の関係が概ね成立し、 n は 0.5 に近い値となる。総開口面積を標準型の約 50mm² から節水型の約 30mm² にすることで約 75%、低水圧型の約 18mm² にすることで 55% の使用適流量削減効果を確認できた。しかし、穴径の小さい低水圧型は、流量を増やしたときに水はねが気になるなどの意見もあった。

表 3.3.22 部位別使用湯量

		2003 年												2004 年											
		標準型[L]						止水型[L]						標準型[L]						止水型[L]					
		平均	男性	女性	平均	男性	女性	平均	男性	女性	平均	男性	女性	平均	男性	女性	平均	男性	女性	平均	男性	女性	平均	男性	女性
		髪	顔	体	全身	その他	髪	顔	体	全身	その他	髪	顔	体	全身	その他	髪	顔	体	全身	その他	髪	顔	体	全身
冬期	2003 年	22.1	23.2	21.6	13.0	8.2	15.2	9.1	15.0	6.4	41.0%	64.7%	29.7%	22.5	16.6	28.5	17.6	14.0	21.1	5.0	2.6	7.3	22.1%	15.9%	25.7%
	2004 年	8.5	8.0	8.7	6.3	2.8	7.9	2.2	5.2	0.8	25.6%	64.8%	9.7%	11.4	9.7	13.0	8.0	6.1	9.8	3.4	3.5	3.2	29.6%	36.6%	24.4%
夏期	2003 年	14.7	17.9	13.3	8.1	7.3	8.4	6.6	10.6	4.8	44.9%	59.1%	36.4%	20.9	22.7	19.2	13.6	11.9	15.4	7.3	10.8	3.9	34.9%	47.5%	20.1%
	2004 年	3.5	8.8	1.2	4.1	8.4	2.2	-0.6	0.4	-1.0	-15.9%	4.8%	-85.2%	4.2	5.9	2.5	5.7	6.1	5.4	-1.5	-0.2	-2.9	-36.3%	-3.4%	-114.1%
冬期	2003 年	2.0	1.6	2.2	2.7	3.1	2.5	-0.7	-1.5	-0.3	-34.3%	-94.9%	-14.7%	2.0	0.8	0.6	0.5	0.6	0.5	1.5	0.2	0.1	25.7%	27.1%	16.4%
	2004 年	50.8	59.5	47.0	34.2	29.8	36.2	16.6	29.7	10.8	32.6%	49.9%	23.0%	61.1	55.7	63.8	45.4	38.7	52.2	15.6	17.0	11.6	23.9%	30.5%	18.2%
夏期	2003 年	17.9	21.7	14.0	13.2	14.0	12.5	4.6	7.7	1.5	25.9%	35.6%	10.8%	24.8	22.7	26.9	17.3	15.2	19.4	7.5	7.5	7.5	30.1%	33.0%	27.8%
	2004 年	7.1	9.7	4.5	6.0	6.8	5.3	1.1	2.9	-0.9	15.6%	29.9%	-18.9%	11.7	11.7	11.7	7.9	7.6	8.2	3.8	4.1	3.5	32.5%	34.9%	30.2%
冬期	2003 年	15.5	21.2	9.9	11.2	14.5	7.9	4.4	6.7	2.0	28.0%	31.6%	20.5%	21.8	24.0	19.5	13.9	14.3	13.5	7.9	9.7	6.0	36.2%	40.5%	30.9%
	2004 年	6.0	8.1	4.6	5.2	5.6	4.9	0.8	2.6	-0.3	13.2%	31.5%	-5.8%	1.6	1.7	1.5	0.7	0.5	0.8	0.9	1.1	0.7	58.0%	67.6%	47.6%
夏期	2003 年	3.8	4.4	3.3	4.6	5.0	4.3	-0.8	-0.6	-1.0	-21.8%	-13.3%	-29.4%	0.3	0.3	0.3	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	77.2%	77.9%	76.5%
	2004 年	50.3	65.2	36.3	40.3	45.8	34.8	10.1	19.3	1.4	20.0%	29.6%	4.0%	60.2	60.5	60.0	39.9	37.8	42.0	20.3	22.7	18.0	33.8%	37.5%	30.0%

表 3.3.23 シャワーヘッド総開口面積

	穴径 [mm]	穴数	最外周散水角	総開口面積 [mm ²]
標準型	□0.9	63	9°	51.0
節水型	0.7	80	9°	30.8
低圧型	0.7*24,0.5*45	69	7°	18.1

表 3.3.24 被験者概要

	適流量把握		行為別使用湯量把握	
	被験者数	平均年齢	被験者数	平均年齢
全体	31	29.7 (5.2)	10	23.4 (2.7)
男性	21	31.2 (4.8)	5	24.4 (2.0)
女性	10	26.4 (4.7)	5	22.4 (3.0)

()内は標準偏差

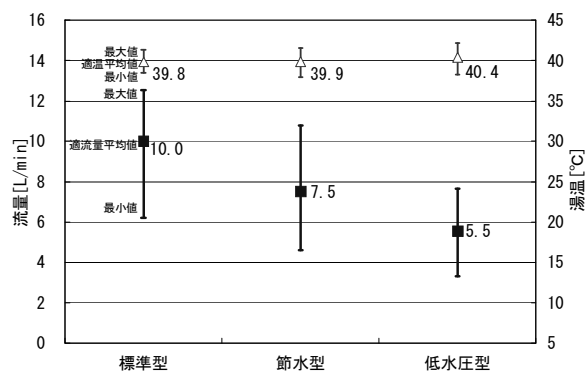


図 3.3.24 適温、適流量

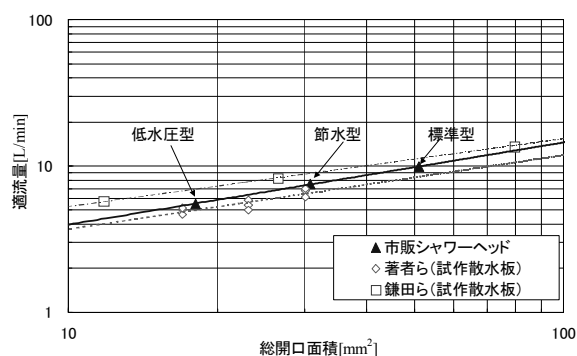


図 3.3.25 適流量と総開口面積の関係

2) 食器洗浄実験

(1) 実験概要

台所水栓による節水機器の効果を把握することを目的に被験者実験を行った。吐水形状を変化させる節水器具として図 3.3.26 に示す器具を使用した。ストレート吐水を標準として、シャワー吐水、泡沫吐水を用いた。

止水方法を変化させる器具として図 3.3.26 に示すものを使用した。シングルレバーを標準として、センサー止水、足踏み止水を使用して評価を行った。

実験は、2004 年のシャワー実験同様の図 3.3.15 に示す神奈川大学給湯実験室で、2004 年に夏期実験、2003 年に冬期実験を行った。被験者概要を表 3.3.25 に示す。2004 年夏期は吐水形態実験 25 名、止水栓実験 26 名(内共通被験者 22 名)を対象に、2003 年冬期は被験者各実験 23 名(内共通被験者 11 名)を対象に行った。

実験は 2004 年 8 月 23 日～9 月 10 日、および 2003 年 12 月 16 日～28 日に行った。

実験室内は夏期 26℃、冬期 23.5℃の設定

でエアコンにて冷暖房して実験を行った。実験開始時は捨て水がない状態とし、湯温(給水・給湯・混合後)・流量(給水・給湯)を 2 秒間隔で測定した。実験前に自宅の機器等に関するアンケート調査を行い、実験の様子はビデオによ



(左:標準, 中:シャワー, 右:泡沫)

図 3.3.26 吐水形状

表 3.3.25 被験者概要

実験種別		被験者数	共通被験者数	平均年齢
2003冬期	吐水形態	23名	11名	49.5歳 (38～62歳)
	止水方法	23名		
2004夏期	吐水形態	25名	23名	51.4歳 (40～60歳)
	止水方法	26名		
2005冬期 併用・6人分		10名	10名	51.9歳 (42～60歳)



図 3.3.26 止水栓(左:シングルレバー・センサー, 右:足踏み)

って記録した。吐水実験、止水実験共に洗浄する食器は、表 3.3.26、図 3.3.27に示す4人家族を想定した4セット(44点)で(財)ベターリビング食洗機性能指標に基づき汚した。被験者は各機器を用いて1回ずつ食器洗浄を行った。3種類の機器による実験を同日に行い、機器の順序は被験者によって異なるようにした。実験時はスポンジ・タワシ・洗剤・洗い桶(容量5L)・ペーパータオル・ゴム手袋を用意し、必要に応じて使用させた。また、実験後に使い勝手に関するアンケートを行った。実験状況を図 3.3.28に示す。

また、2005年冬期実験とし、2005年1月11日～14日に2004年夏期実験の被験者10名を対象として、吐水形状と止水方法の組み合わせによる実験、6人分(66点)の食器洗浄に実験を行なった。

実験後にビデオによる記録を参考にして行程による分類を行った。以下では食器洗い・すすぎによる結果のみを示し、桶洗い・流しの掃除は含まないものとする。

表 3.3.26 食器の種類・汚染物質

食器種類	食器(汚染物質)
グラス類	グラス(牛乳・トマトジュース) 湯のみ(緑茶)
皿類	大皿(カレーライス) 中皿(トンカツ) 小皿(ハムエッグ)
茶碗類	茶碗(ご飯) 味噌椀(味噌汁)
箸類	箸(ご飯) スプーン(カレー) ナイフ・フォーク (トンカツ・ハムエッグ)



図 3.3.27 4人分(44点)の食器



図 3.3.28 実験状況

表 3.3.27 吐水形状実験 実験結果平均値

	2003年冬期			2004年夏期		
	標準	シャワー	泡沫	標準	シャワー	泡沫
使用量[L]	32.2	27.0	32.4	34.4	20.5	31.9
流量[L/min]	6.1	4.9	5.8	5.9	3.2	5.2
温度[°C]	28.7	28.9	28.5	36.2	36.3	36.9
節水量[L]	-	5.2	-0.2	-	13.9	2.5
節水率	-	16.2%	-0.6%	-	40.4%	7.4%

(2) 吐水形状による比較

吐水形状実験ではシャワー水栓・泡沫水栓の評価を行った。表 3.3.28 に被験者別の使用量、図 3.3.32 に使用量平均値を示す。表 3.3.29 に被験者別の使用流量、図 3.3.33 に使用流量平均値を示す。表 3.3.30 に被験者別の使用湯温、図 3.3.34 に使用湯温平均値を示す。表 3.3.27 に平均値をまとめて示す。

使用量は全てにおいてすすぎの使用量が多い。シャワーにおいては使用量が少なく、これと同様に流量も小さくなっている。しかし実験終了後のヒアリングにおいて使い勝手が悪いと

答えた被験者もあり、理由として水がはねることが挙げられた。温度においては2003年度より、2004年度の方が8℃ほど高くなっていた。

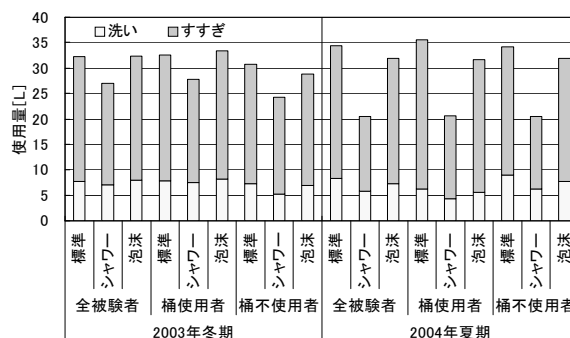


図 3.3.29 平均使用量

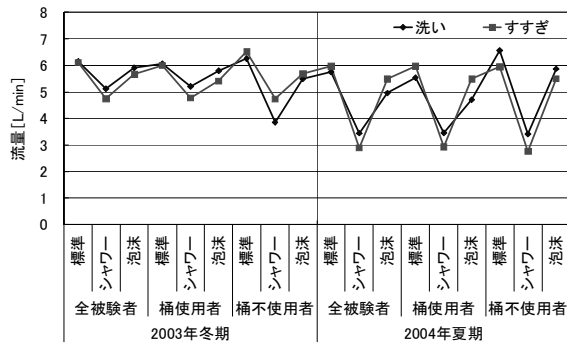


図 3.3.30 平均流量

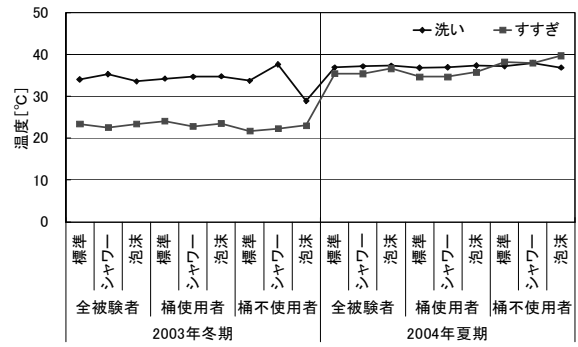


図 3.3.31 平均湯温

a 使用量

表 3.3.28 被験者別使用湯量

	2003年冬期	2004年夏期
標準		
シャワー		
泡沫		

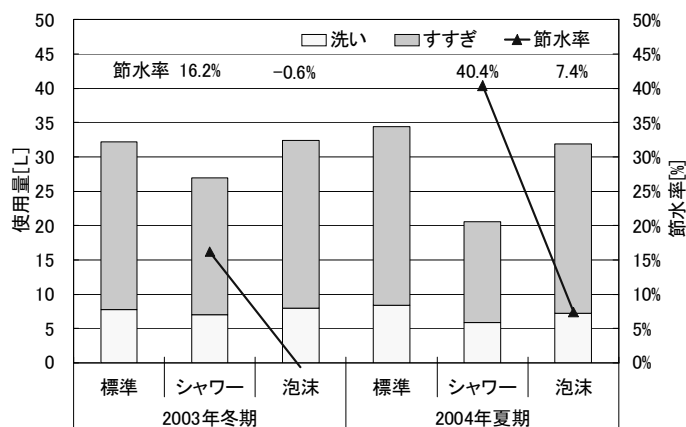


図 3.3.32 平均使用量

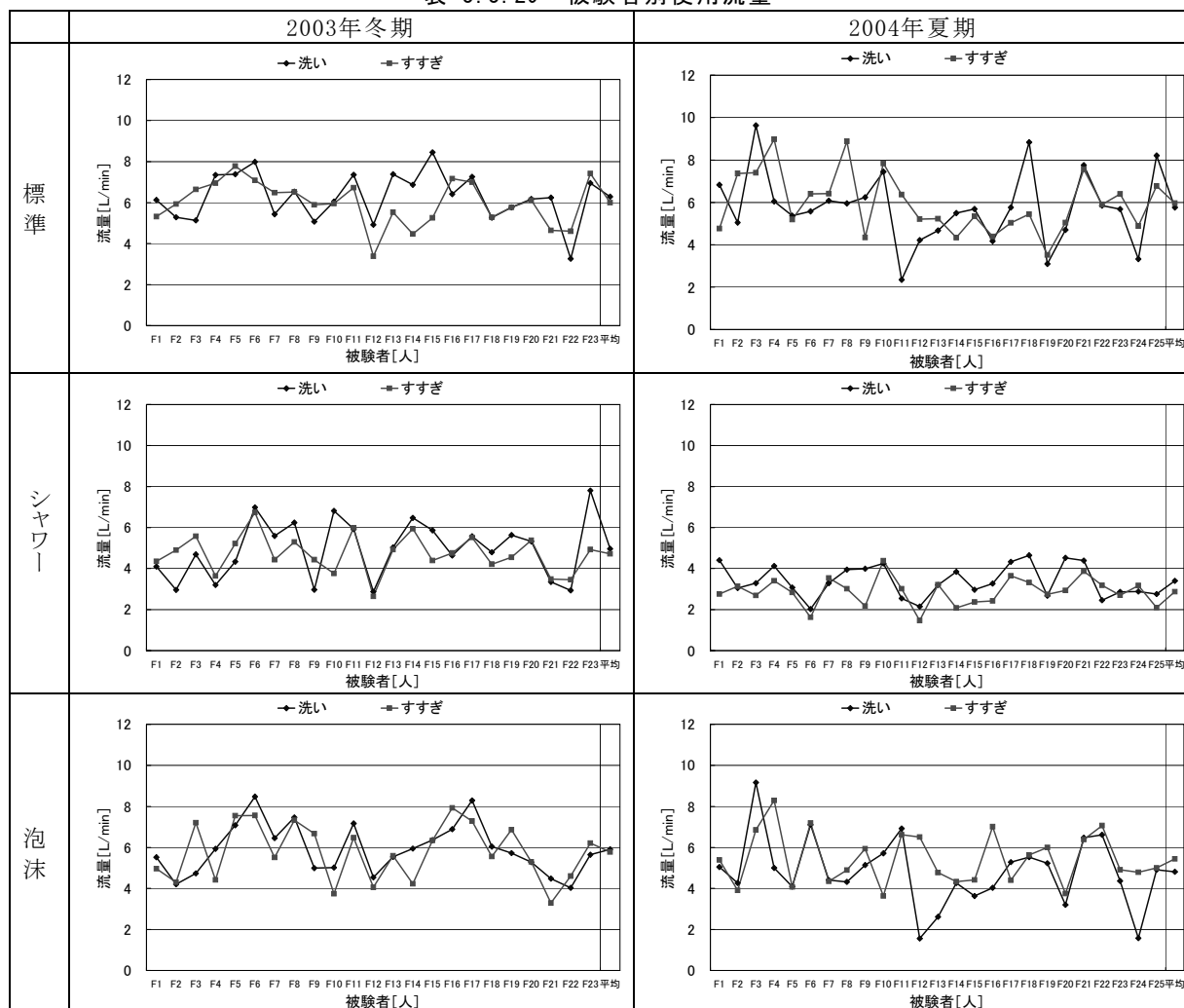
(3) 洗い桶の使用・不使用による比較

洗い桶による影響を検討するため、洗い桶の使用、不使用の被験者毎に平均値を算出した。図 3.3.29 に平均使用量、図 3.3.30 に平均流量、図 3.3.31 に平均湯温を示す。

また、平均値をまとめて表 3.3.31 に示す。使用量に大きな違いはないが、桶使用者の方が僅かに使用量が増加している。これは、桶に溜める湯量の比率が大きいためと思われる。

a 使用流量

表 3.3.29 被験者別使用流量



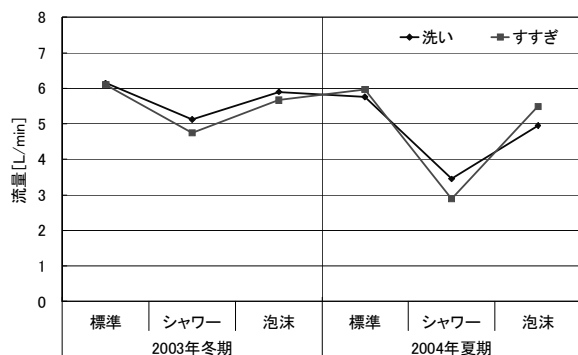


図 3.3.33 平均流量

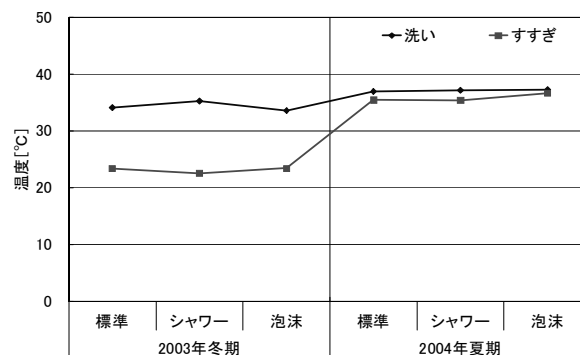


図 3.3.34 平均湯温

b 使用湯温

表 3.3.30 被験者別使用湯温

	2003年冬期	2004年夏期
標準	温度[°C] 被験者[人]	温度[°C] 被験者[人]
シャワー	温度[°C] 被験者[人]	温度[°C] 被験者[人]
泡沫	温度[°C] 被験者[人]	温度[°C] 被験者[人]

表 3.3.31 実験結果平均値

2003年冬期	桶使用者			桶不使用者		
	標準	シャワー	泡沫	標準	シャワー	泡沫
使用量[L]	32.6	27.7	33.4	30.7	24.2	28.8
流量[L/min]	5.8	3.2	5.1	6.3	3.1	5.7
温度[°C]	35.7	35.8	36.6	37.7	38.0	38.3
節水量[L]	-	4.8	-0.8	-	6.5	1.9
節水率	-	14.9%	-2.4%	-	21.1%	6.2%

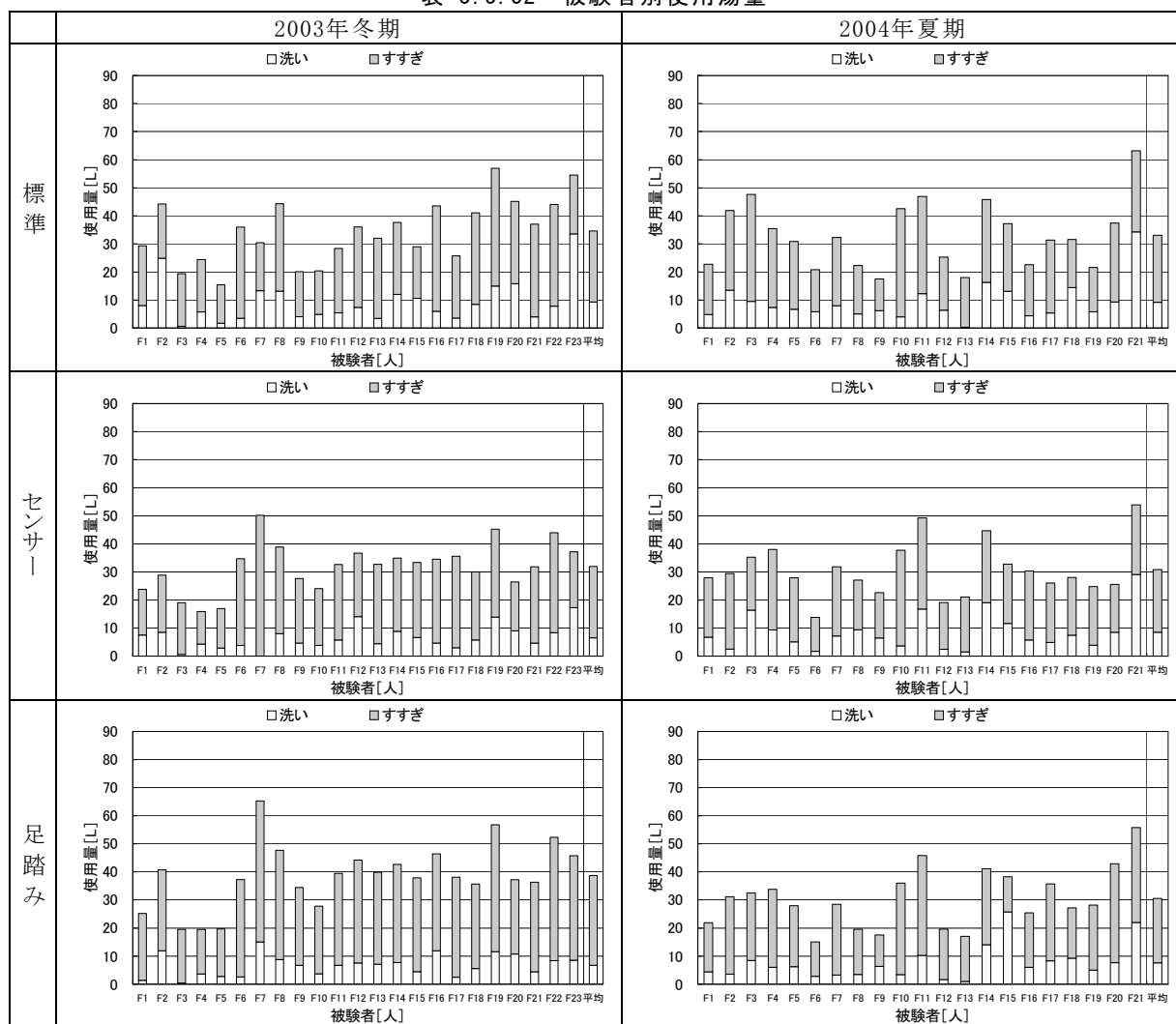
2004年夏期	桶使用者			桶不使用者		
	標準	シャワー	泡沫	標準	シャワー	泡沫
使用量[L]	35.5	20.7	31.7	34.1	20.5	31.9
流量[L/min]	6.0	5.0	5.6	6.4	4.3	5.6
温度[°C]	29.1	28.8	29.2	27.7	30.0	26.0
節水量[L]	-	14.9	3.8	-	13.6	2.2
節水率	-	41.8%	10.7%	-	39.9%	6.4%

(4) 止水方法による比較

止水方法ではセンサー式・足踏み式の評価を行った。被験者全員が機器を使い慣れていなかったため、不要時には出湯を停止するよう指示した。表 3.3.32 に被験者別の使用量、図 3.3.35 に使用量平均値を示す。

a 使用湯量

表 3.3.32 被験者別使用湯量



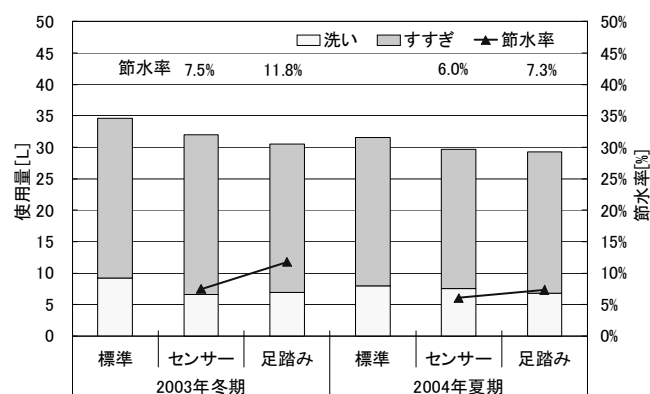
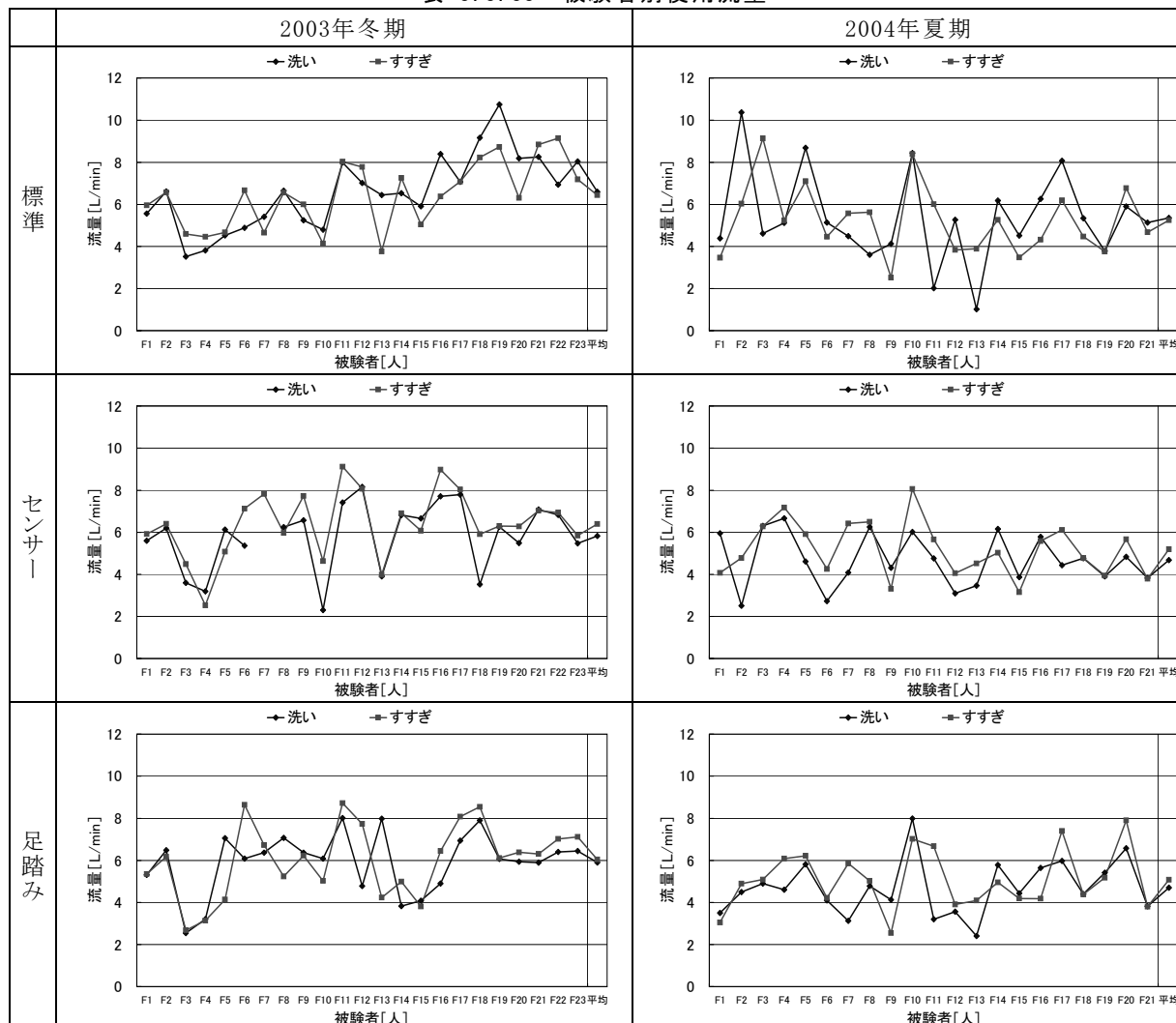


図 3.3.35 平均使用量

表 3.3.33 に被験者別の使用流量、図 3.3.36 に使用流量平均値を示す。表 3.3.34 に被験者別の使用湯温、図 3.3.37 に使用湯温平均値を示す。表 3.3.35 に平均値をまとめて示す。使用量ではすべてにおいてすすぎの使用量が多い。センサー、足踏みとも 5% 程度の節水効果が確認できた。

b 使用流量

表 3.3.33 被験者別使用流量



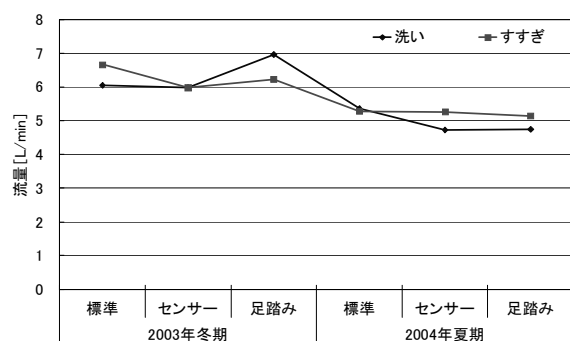


図 3.3.36 平均使用流量

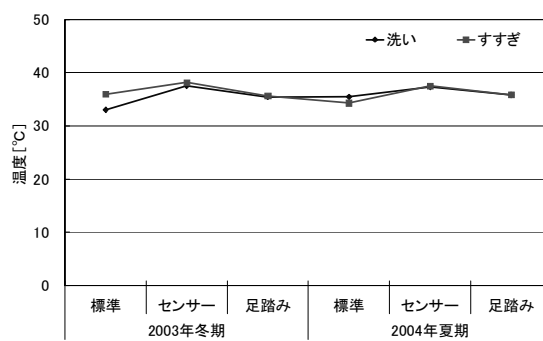


図 3.3.37 平均使用湯温

c 使用湯温

表 3.3.34 被験者別使用湯温

	2003年冬期	2004年夏期
標準		
センサー		
足踏み		

表 3.3.35 実験結果平均値

	2003年冬期			2004年夏期		
	標準	センサー	足踏み	標準	センサー	足踏み
使用量[L]	34.6	32.0	30.5	31.6	29.7	29.3
流量[L/min]	6.4	6.0	6.6	5.3	5.0	4.9
温度[°C]	34.5	37.9	35.5	34.9	37.4	35.9
節水量[L]	-	2.6	4.1	-	1.9	2.3
節水率	-	7.5%	11.8%	-	6.0%	7.3%

(5) 洗い桶の使用・不使用による比較

洗い桶による影響を検討するため、洗い桶の使用、不使用の被験者毎に平均値を算出した。図 3.3.38 に平均使用量、図 3.3.39 に平均流量、図 3.3.40 に平均湯温を示す。また、平均値をまとめて表 3.3.36 に示す。

吐水形状実験の場合と同様の傾向で、使用量に大きな違いはないが、桶使用者の方が僅かに使用量が増加している。桶使用者よりも、不使用者の方が節水器具による節水率が高い、特に足踏み止水での節水率が高くなっている。

(6) 節水器具の併用による効果

吐水形態実験と止水方法実験での節水率が良かったシャワー水栓、足踏み止水を併用し(以降、節水)、4 人分(44 点)の食器洗浄時の使用量、流量、温度について比較する。解析には平均±2σ 内のデータから解析を行なう。使用した水栓は夏期実験と同様である。

実験前、吐水からの湯温を 40℃に設定して被験者に洗浄を行なってもらった。冬期実験ということで、設定温度を 26℃から 24℃と変更した。

洗いとすすぎの平均使用量を図 3.3.41、平均流量を図 3.3.42、平均温度を図 3.3.43 に示す。実験結果をまとめて表 3.3.37 に示す。節水量は 14.4L、節水率は 46.1%という結果となり、前項で節水効果があった器具を組み合わせることによって、より大きい節水効果が得られることが確認できた。

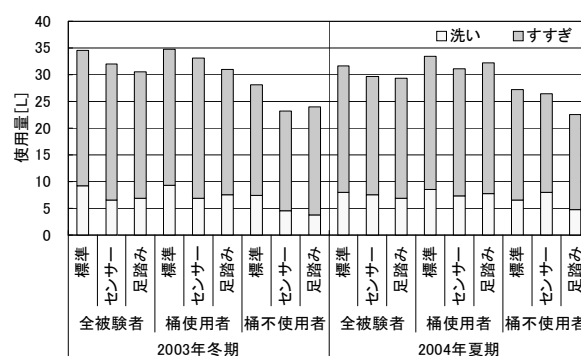


図 3.3.38 平均使用量

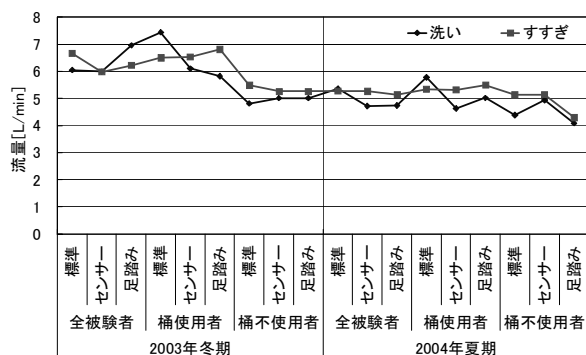


図 3.3.39 平均使用流量

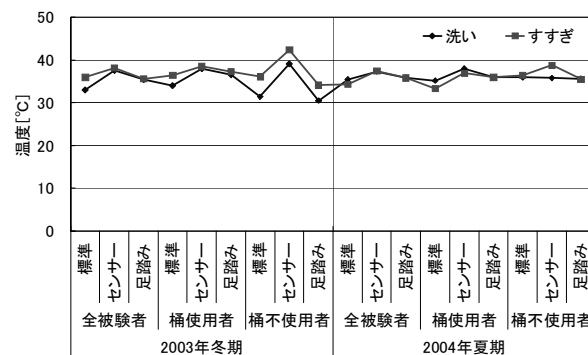


図 3.3.40 平均使用湯温

表 3.3.36 実験結果平均値

2003年冬期	桶使用者			桶不使用者		
	標準	センサー	足踏み	標準	センサー	足踏み
使用量[L]	34.8	33.1	31.0	28.1	23.2	24.0
流量[L/min]	7.0	6.3	6.3	5.2	5.1	5.1
温度[°C]	35.3	38.2	37.0	33.8	40.8	32.3
節水量[L]	-	1.7	3.8	-	4.9	4.1
節水率	-	4.8%	11.0%	-	17.4%	14.7%

2004年夏期	桶使用者			桶不使用者		
	標準	センサー	足踏み	標準	センサー	足踏み
使用量[L]	33.4	31.1	32.2	27.2	26.4	22.5
流量[L/min]	5.6	5.0	5.3	4.8	5.0	4.2
温度[°C]	34.3	37.5	36.0	36.3	37.3	35.6
節水量[L]	-	2.4	1.3	-	0.8	4.7
節水率	-	7.1%	3.8%	-	2.9%	17.2%

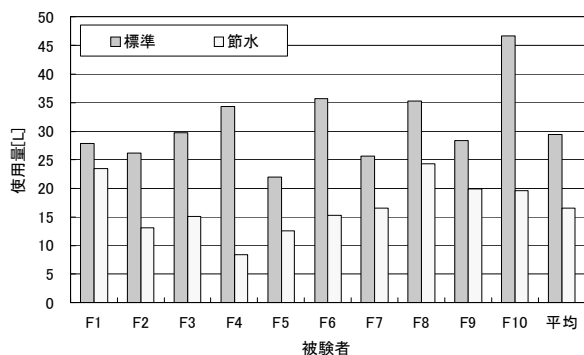


図 3.3.41 被験者別使用量

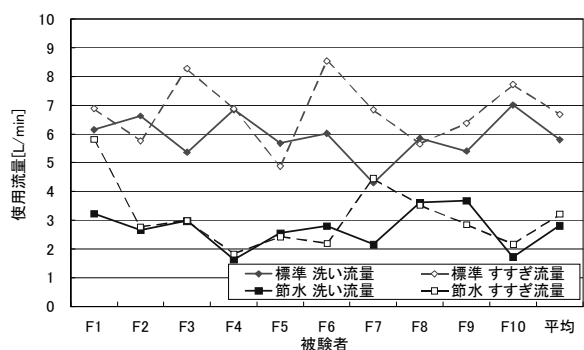


図 3.3.42 被験者別使用流量

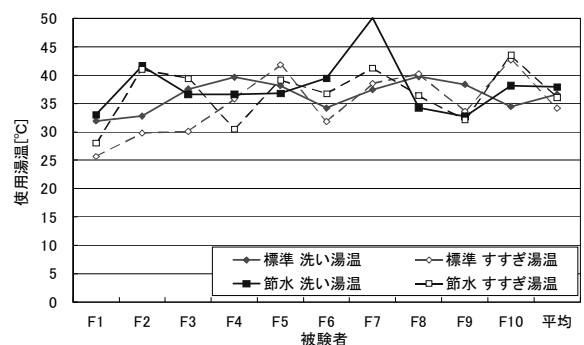


図 3.3.43 被験者別使用湯温

(7) 洗浄食器数による比較

洗浄を行う食器数による使用量の変化を確認した。洗浄した食器数は前項と同様の 4 人分(44 点)と、6 人分(66 点)である。使用した水栓は、ストレート吐水とシングルレバー止水で、洗浄する食器数以外は同じ条件で実験を行った。

被験者別の使用量を図 3.3.44、使用流量を図 3.3.45、使用湯温を図 3.3.46 に示す。実験結果をまとめて表 3.3.38 に示す。

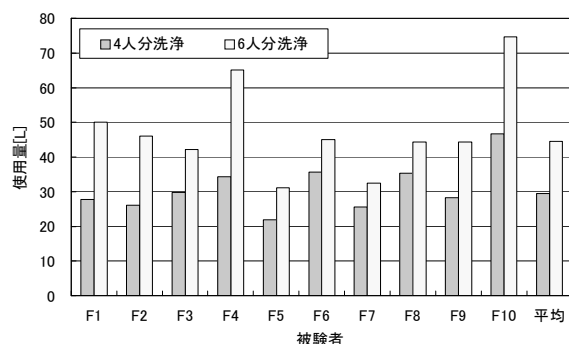


図 3.3.44 被験者別使用量

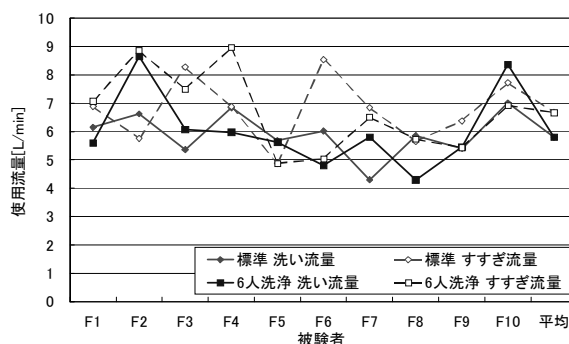


図 3.3.45 被験者別使用流量

表 3.3.37 実験結果平均値

2005冬期実験		使用水量[L]			流量[L/min]			湯温[°C]		
		洗い	すすぎ	平均	洗い	すすぎ	平均	洗い	すすぎ	平均
標準	平均	5.5	23.9	29.5	5.8	6.7	6.5	36.7	34.2	34.6
	標準偏差	2.9	5.0	4.8	0.8	1.2	1.0	2.9	5.4	4.7
節水	平均	4.5	12.0	16.5	2.8	3.2	3.1	37.9	36.1	36.4
	標準偏差	2.7	5.0	5.2	0.7	1.2	1.0	5.4	4.8	4.7
節水率		18.1%	50.0%	44.0%	51.6%	52.0%	52.7%	—	—	—

表 3.3.38 実験結果平均値

2005冬期実験		使用水量[L]			流量[L/min]			湯温[°C]		
		洗い	すすぎ	平均	洗い	すすぎ	平均	洗い	すすぎ	平均
標準4人分	平均	5.5	23.9	29.5	5.8	6.7	6.5	36.7	34.2	34.6
	標準偏差	2.9	5.0	4.8	0.8	1.2	1.0	2.9	5.4	4.7
6人分	平均	9.5	35.1	44.6	5.8	6.7	6.5	35.3	33.7	34.0
	標準偏差	4.9	10.5	9.9	1.2	1.5	1.5	5.2	6.0	5.8
4人分に対する比率		171.1%	146.6%	151.2%	100.1%	99.8%	98.6%	—	—	—

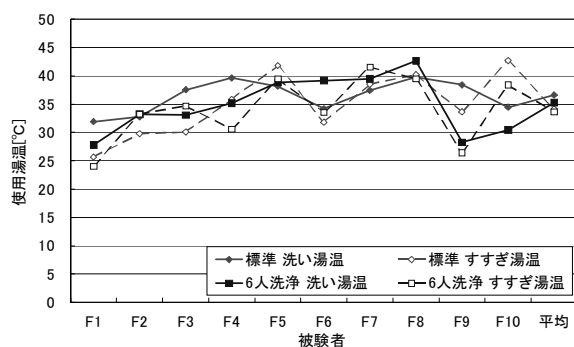


図 3.3.46 被験者別使用湯温

4人分と6人分では、食器数に比例して、使用量も約1.5倍の結果となった。使用流量、湯温に関しては、被験者により個人差があるが、大きな傾向は見られなかった。

(8) アンケート結果

全被験者に、実験前に自宅での台所水栓、給湯機の種類、および食器洗浄時の食洗機の使用、付け置き洗い、洗い桶の使用などに関するアンケートを行った。アンケート結果を表3.3.39に示す。止水方法は、2003年はシングルレバーと2バルブ水栓が同数であったが、2004年はほとんどが、シングルレバーであった。吐水形態はほとんどがストレート吐水であるが、シャワー吐水の被験者も多く見られた。

表 3.3.39 自宅での状況

		2003年	2004年
台所水栓	シングルレバー	26	22
	2バルブ	26	3
	その他	3	4
吐水形状	ストレート	23	19
	シャワー	9	4
	泡沫	1	3
食洗機	使用	2	3
	不使用	31	26
給湯器	ガス給湯機	32	22
	ガス瞬間湯沸器	1	3
	電気温水器	1	1
付け置き洗い	行なう	16	17
	行なわない	18	12
洗い桶	使用	22	23
	不使用	12	6

実験後に、実験で使用した水栓器具の使い勝手に関するアンケートを行った。アンケート結果を表3.3.40に示す。アンケート結果より、泡沫吐水、足踏み止水が使い勝手が良いとの申告が多かった。一方、節水効果の大きかったシャワー吐水は、使い勝手に関しては、良い評価が少なかった。シャワー吐水では、流量を大きくすると水はねが気になるためだと思われる。

表 3.3.40 使い勝手が良い申告数

実験名	水栓種類	2003年	2004年
吐水形状	標準型	22	8
	シャワー	14	3
	泡沫	20	15
止水方法	標準型	21	3
	センサー	22	9
	足踏み	22	11

3) 食器洗い乾燥機の効果把握

(1) 実験概要

食器洗い乾燥機を用いて食器洗浄を行ったときの使用水量・電力の評価を行った。評価対象とした食器洗い乾燥機には数種類のモードが用意されており、洗い行程に標準モード・節水モードが、乾燥行程に乾燥・送風などのモードがあるが、「標準」のモードで運転を行い、使用水量・使用電力・給湯温度などを測定した。「標準」のモードに乾燥時間が連動して設定されない機種は、乾燥時間を他の機種を同じ30分とした。

機器は3機種を使い実験を行なった。比較したケースとしては、4人分(44点)、または6人

分(66点)の洗浄である。食器の設置状況を4人分を図3.3.47、6人分を図3.3.48に示す。

食器の汚し方は食器洗浄実験同様、ベターリビング食洗機性能指標に基づき汚した。実験は、神奈川大学給湯実験室において行なった。初期設定としては、給湯機の設定温度を60℃とし、湯だけ出湯し、捨て水のない状態にしてから行なう。実験室内は、エアコンにて22℃設定で暖房を行なった。

(2) 実験結果

a 動作状況

実験を行った3機種の使用流量・湯温、消費電力量変動を表3.3.41に示す。機種により

洗浄速度の違いがありA社に比べ、B社は約1/2の時間で洗浄、乾燥が終了した。食器数の違いによる使用流量・湯温、消費電力量変動の明らかな違いは見られなかった。

b 使用湯量、消費熱量

水温を中間期の15℃と仮定し、使用温度との差から給湯機の効率を1とした場合の熱量として、出湯熱量を求め、これに積算電力量と足したものを消費熱量とした。使用湯量を図3.3.49、消費熱量を図3.3.50に示す、また表3.3.42にまとめて結果を示す。本実験では、標準



図 3.3.47 食器設置状況(4人分)



図 3.3.48 食器設置状況(6人分)

c 手洗いとの比較

比較対象とする被験者の手洗いによる食器洗浄実験結果も同様に、水温を中間期の15℃、給湯機の効率を1と仮定し、出湯熱量を算出した。手洗い実験は、冬期と夏期に行なったが、使用量、湯温などに季節による差異がほとんどなかったため、食洗機

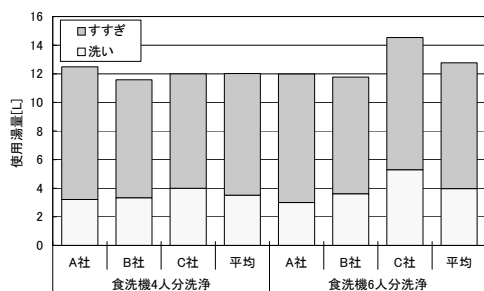


図 3.3.49 食洗機使用湯量

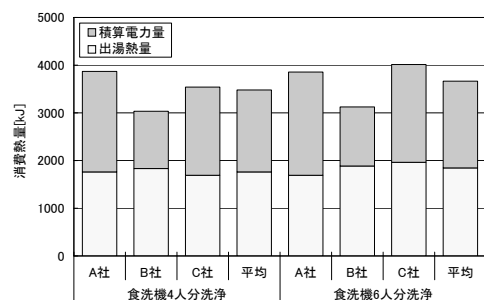


図 3.3.50 食洗機消費熱量

の実験を行った時期に近い2005年冬期実験の結果を使用した。食洗機実験と手洗い実験での、4人分洗浄における使用湯量を図3.3.51、6人分洗浄の結果を図3.3.52に示す。

また、手洗い(標準)に対する使用湯量の割合も併せて示す。各実験での4人分洗浄における消費熱量を図3.3.53、6人分洗浄の結果を図3.3.54に示す。表3.3.43に結果をまとめて示す。

手洗い(標準)に対する食洗器の使用湯量は4人分洗浄で36%、6人分洗浄で27%であった。手洗い(4名分)に対する食洗機の消費熱量は129%、乾燥を除くと116%であるのに対し、手洗い(6名分)に対する食洗機の消費熱量は95%、乾燥を除くと87%、機種によっては、70%以下の消費熱量となった。

食洗機には、洗浄モード(節水、スピーディ)、乾燥時間の調整などがあり、使用方法によっては、更なる節水、消費熱量削減が可能である。適正な食器数、

表 3.3.41 給湯流量・消費電力

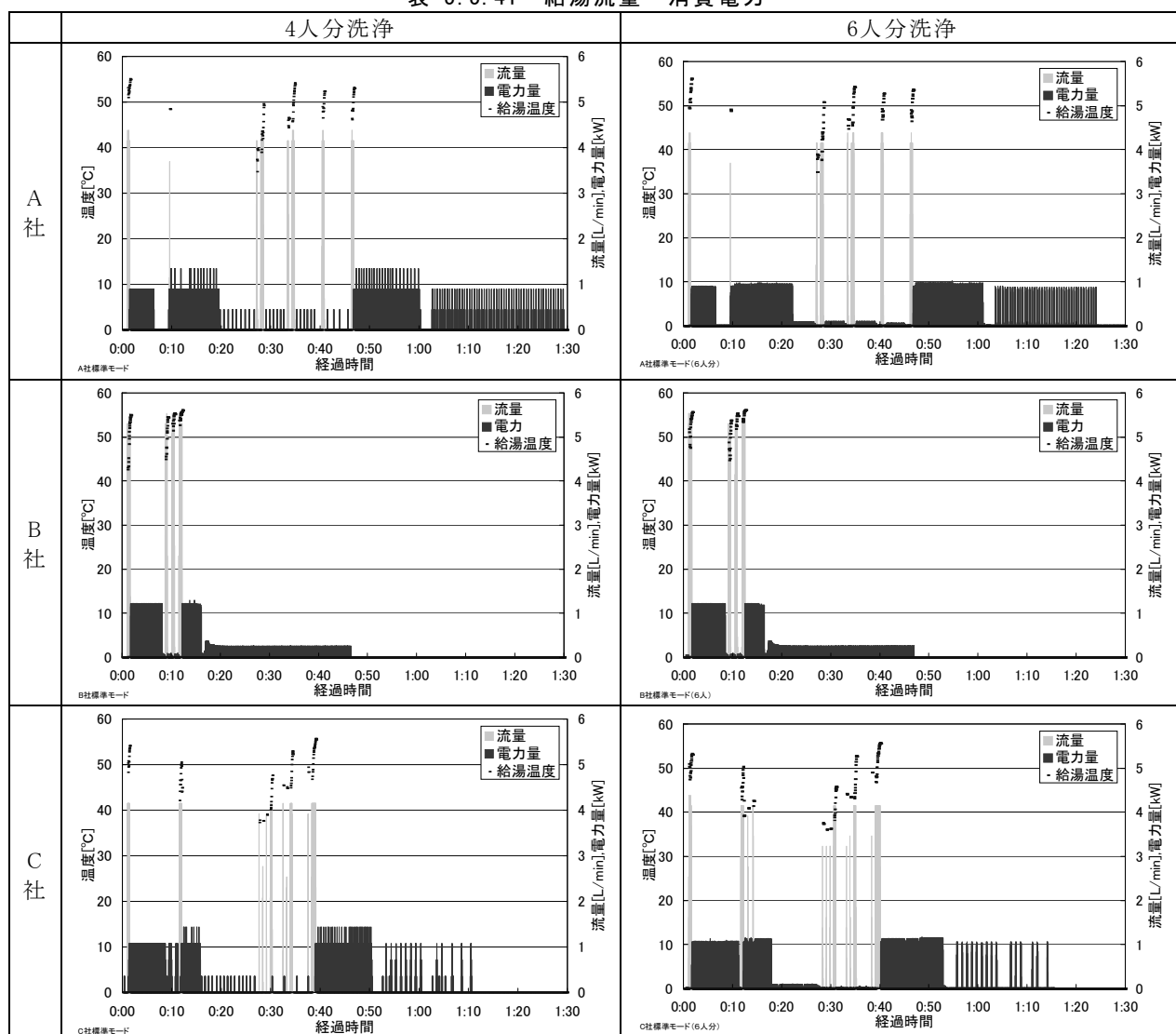


表 3.3.42 食洗機実験結果

		食洗機4人分洗浄				食洗機6人分洗浄			
		A社	B社	C社	平均	A社	B社	C社	平均
平均周囲気温	[°C]	25.2	25.9	26.0	25.7	24.5	23.8	22.6	23.6
平均周囲湿度	[%]	33.0	33.1	34.6	33.6	17.6	17.7	16.2	17.2
使用湯量	[L]	12.5	11.6	12.0	12.0	12.0	11.8	14.5	12.8
平均給湯温度	[°C]	48.7	52.8	48.7	50.1	48.7	53.3	47.3	49.7
積算電力量	[kWh]	0.59	0.33	0.51	0.5	0.60	0.34	0.58	0.5
	[kJ]	2110	1202	1847	1720	2164	1237	2051	1817
出湯熱量	[kJ]	1760	1832	1692	1761	1691	1885	1964	1847
合計消費熱量	[kJ]	3870	3034	3539	3481	3855	3122	4015	3664
合計消費熱量(乾燥なし)	[kJ]	3456	2590	3348	3131	3525	2668	3843	3345

洗浄モードで食洗機を使用することによって、手洗いよりも消費熱量削減が可能である。今回の検討では、給湯機の効率、節水による省資源・CO₂ 排出量削減などは考慮していなが、食洗機による使用湯量の削減効果は大きい。

また、高温洗浄による殺菌、洗浄・乾燥の手間、時間節約効果も考慮すべきである。

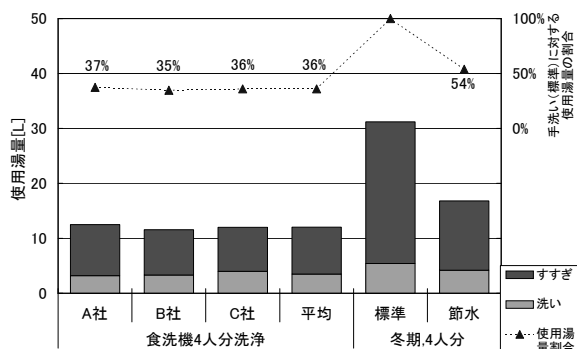


図 3.3.51 4人分洗浄時使用湯量

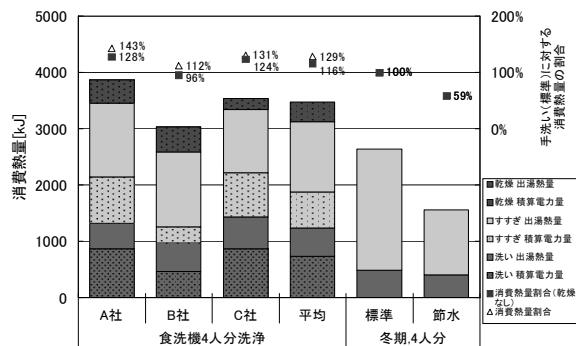


図 3.3.53 4人分洗浄時食洗機と手洗いの消費熱量比較

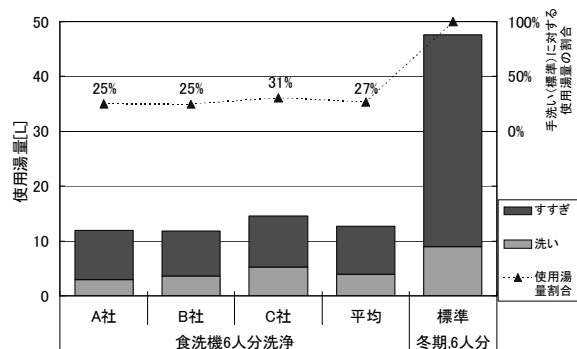


図 3.3.52 6人分洗浄時使用湯量

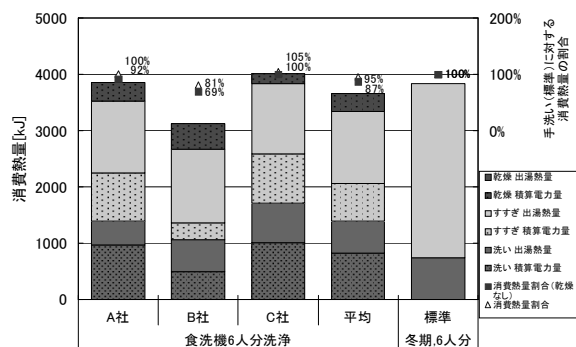


図 3.3.54 6人分洗浄時食洗機と手洗いの消費熱量比較

表 3.3.43 食洗機と手洗いの比較

2005冬期実験		4人分洗浄			6人分洗浄		
		手洗い標準	食洗機平均	手洗いに 対する 食洗機の割合	手洗い標準	食洗機平均	手洗いに 対する 食洗機の割合
使用湯量	[L]	31.2	12.0	39%	47.6	12.8	27%
平均給湯温度	[°C]	34.6	50.1	—	35.7	49.7	—
積算電力量	[kWh]	—	0.48	—	—	0.51	—
	[kJ]	—	1720	—	—	1817	—
出湯熱量	[kJ]	2647	1761	—	3840	1847	—
消費熱量	[kJ]	2647	3481	132%	3840	3664	95%
消費熱量(乾燥なし)	[kJ]	2647	3131	118%	3840	3345	87%

(3) まとめ

本研究ではシャワー実験として、サーモスタット混合水栓の湯温・流量調整に要する捨て水量削減効果把握実験と、手元止水機能付シャワーヘッドの節湯効果の把握をした。食器洗い実験では足元止水機能付水栓、センサー式自動水栓の節湯効果把握実験、シャワー吐水、泡沫吐水の形態の違いによる節湯効果の把握実験を行なった。併せて食器洗い乾燥機による使用湯量、消費エネルギー量の測定を行い、被験者実験による手洗いとの比較を行った。

サーモスタット付きシャワー混合水栓による捨て水削減効果把握実験では、2003 年は捨て水量は2バルブで5.1L、サーモ付で3.9Lであった。節水量は1.2Lで23.9%の節湯効果が得られた。2004 年は捨て水量は2バルブで7.7L、サーモ付で7.1Lであった。節水量は0.5Lで節湯率は6.6%であった。2004 年、2003 年共に男女差は見られなかった。実験室の給湯設備の違いから、捨て水量の違いはあるが、何れの場合もサーモ付きを使用することによって、湯温・流量調節1回当たり1L程度の節湯効果が得られることが分かった。

手元止水機能付きシャワーヘッドによる節水効果比較実験では、2003 年の平均使用量は冬期標準型 50.5L、夏期 45.3L、止水型は冬期 35.7L、夏期 33.8L であった。節水量としては冬期 14.8L(29.4%)、夏期 11.5L(25.4%)となった。2004 年の平均使用量は冬期標準型 61.1L、夏期 58.6L、止水型では冬期 46.5L、夏期 38.6L であった。節水量としては冬期 14.6L(24.0%)、夏期 20.0L(34.1%)となった。全期間平均では、標準型使用量 53.9L、止水型使用量 38.6L で、節水量 15.3、節水率 28.3%であった。季節、シャワーヘッドの種類による節水効果への影響は見られなかったが、男女別で見ると使用量の多い男性の方が、節水効果が 15%程度大きかった。行為別でみると髪と体の使用量が多く、節水効果も大きい結果であった。

台所水栓での食器洗浄手洗い実験では、センサー、足踏み止水によって約 8%の節水、泡沫吐水で約 6%、シャワー吐水で、約 40%の節水となった。節水器具の組み合わせ(足踏み止水+シャワー吐水)では、約 50%の節水となった。また、夏期と冬期では、使用湯量にほとんど差がない。4 人分洗浄に対して、6 人分では約 1.5 倍の使用湯量となった。

食洗機における 4 人分の食器洗浄においては、使用湯量、消費熱量ともに B 社が省エネルギーであった。しかし、手洗いに比較すると使用湯量は低いものの、消費エネルギー量に換算するとどの食洗機もエネルギーがかかっている。食洗機における 6 人分の食器洗浄においては、使用湯量は A 社、B 社、消費熱量は B 社が省エネルギーであった。手洗いとの比較では手洗いの消費熱量は増加しているのに対して、食洗機にはあまり差が出ていなかった。この結果、食洗機の省エネルギーが望める結果となった。食洗機において、4 人分では、手洗いのほうが省エネルギーであり、大家族(6 人分)の食器数以上であれば省エネルギーになることが分かった。

今後は、鍋などの調理器具の洗浄において、手洗いと食器洗浄機の効果はどのようなものか

検討が必要と思われる。また今回の手洗いの使用湯量は、日本電気工業会基準に比べると 1/4 程度であり、手洗い実験の被験者は、実験に協力してもらえたということから、節水に意識がある被験者が多いことも予想されるため、手洗いの平均的な使用量については、今後も検討する必要がある。

(近藤武士)

※日本電気工業会基準:45点(6人分)で予洗い5L、洗い桶5Lで洗い、すすぎ6.5L/minで16.1分とされており、合計115Lとなる。

参考文献

- 1)鎌田元康ほか 5 名:住宅用給湯設備の使用感に関する実験的研究(第 3 報)シャワーヘッド散水板・洗髪に関する検討および湯使用時の生理反応,空気調和・衛生工学会論文集 No.48,pp.59~72,1992.2
- 2)近藤武士,鎌田元康ほか 3 名:シャワーヘッド散水板の設計法に関する研究 穴径・散水角が適流量、快適感に及ぼす影響,日本建築学会計画系論文集, No.563,pp61-67, 2003.1

本委員会に関係する論文

- 1)近藤武士,岩本静男,他 4 名,節水・節湯器具の評価に関する研究(その 1)サーモスタット付混合栓による効果,日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1 分冊, P467-468,2003.9
- 2)布野裕子,近藤武士,岩本静男,他 2 名,節水・節湯器具の評価に関する研究(その 2)手元止水機能付シャワーヘッドによる効果,日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1 分冊,P469-470,2003.9
- 3)近藤武士, 布野裕子,岩本静男,市川憲良,鎌田元康,節水・節湯器具の評価に関する研究(その 3)節水シャワー水栓による夏期・冬期被験者実験,日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1 分冊,P571-572, 2004.8
- 4)布野裕子,近藤武士,岩本静男,鎌田元康,節水・節湯器具の評価に関する研究(その 4)食器洗浄における冬期被験者実験,日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1 分冊,P573-574,2004.8

3.3.3 追焚・自動保温による消費エネルギー

1) はじめに

これまで住宅の給湯システムに関するアンケート調査でも、浴槽の残り湯の追焚利用は一般に用いられており、需要も多い。給水を加熱して給湯栓まで配管で運ぶ通常の給湯と異なり、追焚では浴槽からの湯を循環して温めるため、給湯系統とは別系統となる。残り湯利用だけでなく、浴槽に湯を張った後の湯保温にも用いられるため、区別して扱わなければならない。

実験室実験に用いられる給湯スケジュールには追焚は含まれずに差し湯のみが扱われている。追焚機能を有しない深夜電力を利用して電気ヒーターで加熱する電気温水器を熱源とする場合は高温差し湯となる場合が多い。

研究計画立案の際に給湯スケジュールにこの追焚機能をどう取り入れるかが課題となった。まずは、「浴槽の残り湯利用を翌日利用して入浴する」場合と「浴槽に湯を張った後の湯保温」の場合とに分離して扱うことが重要である。さらに後者は「居住者が自らボタンを押して追焚する」場合と「給湯システムが自動的に浴槽の湯温を調整する」場合とに分けられる。

これらの追焚に要するエネルギーを算定するには、前者では前日の残り湯が入浴準備時刻で何度に降下するか、湯張りは何リになるのか等が入力条件として必要であり、後者では自動湯温保持機能の制御特性が入力条件となり得る。しかし、既往の研究では追焚のエネルギー消費を扱った例は皆無に等しく、その実態も

明らかではない。

そこで、そこで手始めとして、この A2 小委員会に参加されている委員に自身の追焚利用と自社製品の追焚機能についてアンケートを行った。その結果より、シミュレーションで追焚・自動保温による消費エネルギーを算出するための基本的な設定条件が得られた。

次いで、熱源から浴槽に至る配管の熱損失を試算した。3.2.2 と同様に考察することにした。その結果、配管からの熱損失は、追焚・自動保温による熱源出力に比較して極めて小さいことがわかった。この消費エネルギーは、熱源の消費エネルギー特性が支配的であることが示された。

浴槽における湯温の降下についても、資料¹⁾があるものの、実際の住宅における実測データ等は見つからない。また、上記の熱源の消費エネルギー特性については、計算モデルとしてガス給湯機の計算モデルを応用できると思われるが、計算結果の検証に用いることのできる実験・実測データが極めて乏しいために計算モデルの改良すら困難である。

以上のような状況から、追焚・自動保温による消費エネルギーの妥当なシミュレーションを構築するまでには至らなかった。本節では、2002 年度のアンケートによる検討と 2004 年度の配管からの熱損失の検討を示すにとどめることとする。

2) アンケート調査

本 A2 小委員会に参加されている各委員に自身の追焚利用と自社製品の追焚機能についてアンケートを行った。特にシミュレーションの入力条件として重要な項目を吟味して選び、記述方式で自由回答をお願いした。追焚利用

実態についての結果を表 3.3.44 に、追焚機能に関する結果を表 3.3.45 にそれぞれ示す。

省エネルギーに関心の高い回答者による限定されたアンケートではあるが、前者の追焚利

用実態調査から、

- ・単身世帯ではほとんど利用されていない。
- ・自動湯張り機能のある場合は常時利用されていると見てよい。
- ・冬期の給湯温、自動湯張りの浴槽湯温、保温設定とも 41～42℃で世帯差は小さい。
- ・給湯温は季節によって変更する世帯が半分であった。
- ・入浴後、浴槽のふたは閉める、浴室内は換気する世帯がおよそ半分である。

後者の追焚機能については、利用頻度の高いガス機器に関する回答はないが、

- ・追焚用配管は銅管と樹脂管の両方使われている。

- ・湯温検査の頻度は10～30分に一回で、継続時間は3～12時間である。
- ・追焚開始条件は上記の頻度が30分の場合は設定温度のみで判断しており、10分程度の場合は設定温度より0.6～2℃低下で判断している。
- ・供給湯温は最大で60℃程度。
- ・加熱時の湯量と湯温は配管とポンプの条件に依存し、制御されていないことが多い。

などがわかる。機器によって追焚をスケジュールに設定する場合に考慮する必要のある項目が明らかになった。

表 3.3.44 風呂利用と追焚についての実態調査アンケート結果の概要

実施日:2002年11月20日 対象:A2部会委員全員 有効回答数22	
世帯人数等	平均人数3.0人、2人世帯4、単身世帯4
住戸形態	戸建8名、集合住宅9名、無回答5名
浴槽の方位	方位N7、中央3、東西4(2+2)、無回答8
給湯の熱源	ガス13+太陽熱併用2、電気2、石油2
給湯温度の設定値	平均41.7℃
給湯温度の変更	無回答5 ほぼ同時期に必ず変更する0/気がついたとき変更する11/ほとんど3/まったく変更しない1
自動湯張り機能の有無	ある 12名 / ない 9名 無回答1
ある場合の設定湯温	平均41.5℃
自動湯温調整機能の有無	ある 11名 / ない 10名 無回答1
ある場合の設定湯温	平均41.6℃
残り湯を追い炊きする頻度	週に平均2.8回 追い炊きしない10名、不定期1名、毎回1名
湯張りしてから家族全員の入浴が終るまでの時刻	
世帯人数	
・浴室の換気扇の運転	無回答8名、基本的に入浴後に換気ON、全員入浴終了後に10～15分、1～2時間、朝まで換気、インターバルもON1名、換気無し2名、常時1名、バス乾燥ユニット+5時間のタイマー設定1名
浴槽のふたをどう使うか。	11名は入浴後にふたを閉める。アルミシート使用1名。無回答11名。

表 3.3.45 追焚機能についての製品アンケート結果の概要

項目	A社	B社	C社	D社	E社
熱源	石油	電力	深夜電力	電力	深夜電力
残り湯の追い炊き					
残り湯量の検査方式	半導体式圧力センサー(フルオートタイプ)	水位センサー	水位センサー	水位(圧力センサー)	循環ポンプにて風呂循環回路を循環。
差し湯と追焚の順序	湯をさしてから追焚(フルオートタイプ)	給水／給湯後に追焚	追焚してから差し湯	追焚してから差し湯	設定温度まで追焚
追焚停止条件	ふろ湯温が沸き上げ設定温度になった時点で停止	風呂自動運転では風呂設定温度／単独時ではその時点の風呂温度の最大+2℃	設定温度になったとき	設定湯温に達したとき	設定温度+1℃に循環温度が到達した場合
追焚用配管種	パッキューブ(φ12.7銅管)または15A樹脂製ペアホース、PE管	樹脂管内径10mmまたは、銅管外形12.7mm	樹脂管、銅管	配管は工事業者により異なる。(機器本体内は銅管)	施工業者による。樹脂管又は銅管15A相当。
自動湯温調整について					
湯温検査の頻度	瞬間式は20分に1回、瞬間貯湯式は30分に1回	自動湯張り時は完了まで随時／保温運転時は30分に1回	およそ10分に1回	およそ10分に1回	およそ10～20分に1回
湯温を検査する時間帯	沸き上げ後4時間程度／ONの間連続	風呂自動運転時の湯張り完了後、最大3時間	湯張り後最大12時間程度／ONの間連続	湯張り後4時間程度	自動保温モード設定の間中(0～6時間)
湯温検査方法	ポンプでふろの湯を循環して温度センサーで検知	風呂湯を循環し、その温度を風呂温度と認識	温度センサー	本体内の浴槽湯循環配管に設けた湯温センサ	温度サーミスターで風呂循環温度を検知
追焚開始の限界温度	ふろ湯温が沸き上げ設定温度未満のとき、自動保温を実行	保温運転時風呂設定温度に達しているか否かで判断	0.6℃	設定湯温より1～2℃降下した時	設定湯温の-2～-1℃で追焚開始
湯温上昇の加熱における供給湯温の温度	ふろ湯温により約20℃～50℃の範囲	風呂温度に対して約16～20℃上昇分	60℃	追焚熱交換器一次側60～70℃。	通常60℃程度
湯温上昇の加熱における循環湯量と供給湯温の制御方法	制御なし。機器と浴槽の配管、浴槽の設置状況により成り行き	循環湯量は配管長と循環ポンプに依存、供給温度は熱交換器能力に依存	循環湯量は配管長とポンプ能力に依存、供給湯温は保温ヒーターのON-OFF時間に依存	急速追焚では最大流量／マイルド追焚では最大後熱交換機温度で制御	タンク内の熱交換器との循環湯量を可変、60℃前後の湯温に制御

※E社のみ高温差し湯があり、定量の差し湯であった。

3) 追焚・自動保温による消費エネルギーの試算

まずは 3.2.2 と同様に配管による熱損失の試算を行う。保温性の低さや管+13A 架橋ポリエチレン管について検討する。線熱通過率は 0.56W/mK である。

自動保温の場合を想定すると、行き管は浴槽内水温、戻り管は表 3.3.45 より浴槽内水温より 15℃以上高い湯温となる。流量はおよそ 5～7L/分と想定される。そこで、浴槽内水温を 38℃、戻り湯温を 15℃高い 53℃と想定する。配管は 10℃の床下空間を通るものとして、配管からの熱損失 q は、配管長さを 3.0m と想定して、 $q = 3.0 \times 0.56 \times \{(53 - 10) + (38 - 10)\} = 119 \text{ W}$

となる。一方、熱源の出力は、15℃差で流量 6.0L/分とすると、 $W = 4.186 \times 15 \times 6.0 \times 1000 / 60 = 6,279 \text{ W}$ となる。配管からの熱損失はわずかに 2%程度である。

追焚の場合は浴槽内の水温は浴室気温程度までに低下しており、配管内の湯温は往復とも上記より低下することになり、熱損失も低下する。よって、消費エネルギーにおける配管の熱損失は決して大きくはないことがわかる。

すなわち、追焚や自動保温による消費エネルギーは主として熱源の消費エネルギーに依存することがわかった。

4) まとめ

追焚・自動保温の利用状況は概ね捉えることができたと思われる。給湯のスケジュール等に組み込むことは可能である。また、熱源の制御状況も概ね把握することができた。しかし、消費熱量を算定する計算モデルを構築するには、

- ・浴槽の熱損失から槽内湯温降下を計算できるが、熱損失に関する資料が必要である。
- ・熱源の計算モデル構築のためには、検証も含めて、十分な計測・実験結果が必要である。

の 2 点が不足しており、十分妥当な計算モデルを構築するには至らなかった。今後の課題としたい。

(岩本静男)

参考文献

- 1) 清水則夫・他、住宅の省エネルギー化に関する研究 浴槽蓋の保温性能について、日本建築学会大会講演梗概集、2002 年、D-2 分冊、pp.187-188.

3.3.4 給湯消費エネルギー年間シミュレーション

1) はじめに

住宅全体の消費エネルギーの1/3以上を占める給湯による消費エネルギーをシミュレーションによって算定する方法を構築し、年間にわたって、世帯人数別と戸建・集合住宅別について計算を行い、その結果について考察することで、給湯消費エネルギーの削減方法を調査することが目的である。

住宅の給湯システムは、単純には熱源、配管システムで構成される。また居住者による給湯要求に応じてシステムが稼動するため、給湯スケジュールを妥当に設定する必要がある。

熱源としては、ガス瞬間式給湯機の通常型と潜熱回収型及びヒーター利用の貯湯槽を用いる。ガス瞬間式給湯機については王¹⁾による

計算モデルを基に、年間の多様な水温条件に応じるように改良した計算モデルを用いた。貯湯槽については浅野²⁾による計算モデルを基に、実験結果と一致するように改良した計算モデルを用いた。

管システムの計算モデルは、岩本³⁾によるものを採用し、浴槽を除いて給湯栓計算モデルを組み込んだものである。

年間に及ぶ給湯スケジュールの設定は、3.3.1で示される、30日間の給湯モードに基づき、年間±15%の季節変動を考慮したスケジュールとした。本資料は、A2給湯システムの消費エネルギーを考慮する重要な資料となることを目的としている。

2) 計算条件

(1) 給水温

給湯設備の消費エネルギーを計算する上で重要な入力条件である。ここでは、東京都水道局から頂いた、1990～2003年の全浄水場の浄水温の実測値(月～金の9:00に目視で計測された水温)を活用し、浄水量が比較的多い三郷浄水場の13年間の単純平均を用いた。

(2) 外気温、配管周囲気温、給湯栓周囲気温

室外に設置される熱源機の周囲気温として外気温が必要となる。簡便にSMASHの東京の毎時気象データを用いて設定した。また、配管周囲気温、給湯栓周囲気温が必要となる。例えばSMASHによる室温や床下空間の気温計算結果と関係するのが望ましいが、ここではまず室温は表3.3.46に示すように、四季を想定して20、23、26℃の3段階で月日によって設定するのみとし、時刻変動は省略した。配管

周囲気温は床下気温とするが、簡便に外気温と前述の室温の平均値を用いた。

(3) 配管システム

戸建住宅については、第12章[C3]で提案された郊外型モデルプランを用いた。省エネルギー的とされるさや管ヘッダ方式とし、給湯用途のシャワーと浴槽は13A、洗面と台所は10Aとした。給湯機とヘッダを結ぶ連結管は1.5mの被服銅管を想定した。周囲気温は、給湯機および給湯機とヘッダの連結管は外気温、さや管は配管周囲気温、給湯栓は室温とそれぞれ設定する。配管系統の概略を図3.3.55に示す。

集合住宅では既往文献で用いられている、公団住宅標準プランに基づく配管設計とした。各系統の管径、管種、配管長、配管の周囲気温は、表3.3.47に示すように設定した。

表 3.3.46 各気温の設定

外気温	SMASHの東京の毎時気象データ		途中の時刻では近隣の外気温の線形補間
室気温	通日1～75	20℃:冬	時刻変動は省略 一日中同気温
	76～165	23℃:春	
	166～255	26℃:夏	
	256～315	23℃:秋	
	316～356	20℃:冬	
床下気温	戸建:外気温と室気温の平均 集合:室気温に等しい		配管周囲気温に採用する

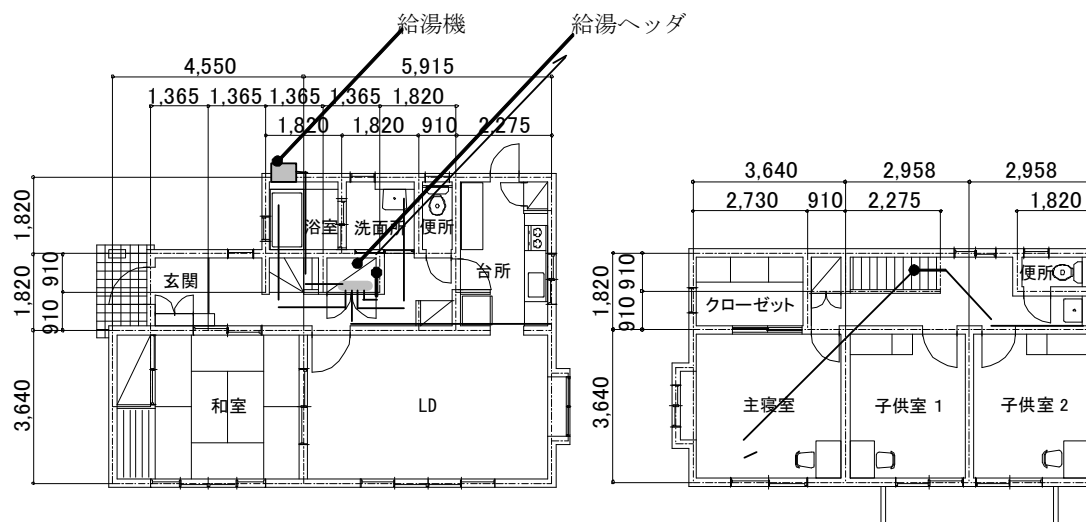


図 3.3.55 郊外型戸建住宅モデルプランにおける配管概略

表 3.3.47 各配管設定

系 統	管径・管種	管長[m]	管周囲気温の設定
主管	20mmGW保温の銅管・20A	戸建4.0/集合1.7	給湯機から1mは外気、その先は床下気温(戸建と集合で同じ設定)
浴槽	さや管・13A	戸建1.0/集合13.5	戸建は全部外気温、集合では床下気温
シャワー・カラン	さや管・13A	戸建6.4/集合13.7	床下気温
台所	さや管・10A	戸建8.0/集合13.4	床下気温
1階洗面	さや管・10A	戸建4.8/集合12.0	床下気温
2階洗面	さや管・10A	戸建のみ12.6	ヘッダーから5.7mは床下気温、その先は室気温

表 3.3.48 各世帯用給湯モード

(2人世帯は子供のいない共稼ぎ夫婦を想定しており、戸建住宅は想定しない)

モード番号	日合計給湯量(40℃換算)			設 定
	2人世帯	3人世帯	4人世帯	
1	* 174 L	330 L	380 L	平日(小)
2	316 L	418 L	470 L	平日(大)
3	379 L	488 L	550 L	休日在宅(小)
4	414 L	578 L	650 L	休日在宅(大)
5	* 122 L	* 187 L	* 240 L	休日外出(小)
6	* 128 L	253 L	380 L	休日外出(大)

* 浴槽に湯張りしない設定を示す。

表 3.3.49 各給湯システムの湯使用に関わる設定条件

条件項目	浴槽	シャワー・カラン	台所	1階洗面所	2階洗面所
使用最低湯温[℃]	0	38	35	35	35
使用湯温[℃]	41	41	41	41	41
規定流量[L/分]	10	10	5	5	5

(4) 給湯モード

表 3.3.48 に示す 2～4 人世帯用の 6 種の給湯モードとした。詳細は 3.3.1 を参照されたい。これらを通日によって割り当てて採用する。なお季節差を考慮することが望ましいことから、通日 n を用いて設定する(1)式の r を乗じて、表 3 の給湯量を修正して年間で最大±15%の季節差を考慮した。さらに、浴槽の湯張りは季節によらず一定の 150L と想定し、この季節補正は浴槽以外の給湯量に反映させる。シャワー・台所・洗面に乗じる係数 R は、(1)式の r と日給湯量に占める浴槽給湯(150L)の比率 Br を用いて(2)式で与えられる。湯張りを行わない設定では、 $R = r$ となる。

$$r = 1.0 + 0.15 \times \cos \frac{2\pi(n-34)}{365} \quad \dots(1) \text{式}$$

$$R = \frac{r - Br}{1.0 - Br} \quad \dots(2) \text{式}$$

(5) 給湯運転の発停

給湯機の出口の湯温を元に、これらのモードが作成されているので、その日の給水温と使用湯温 40℃の温度差にモードで設定された給湯量を乗じて熱量とし、この熱量が給湯機出口で得られるまで給湯を続けるよう設定した。

3) 計算結果

以下に計算結果を示す。ここでの効率は今二次エネルギーによるものであることに注意されたい。

(1) ガス瞬間式給湯機の場合

ガス瞬間式給湯機の計算結果として、年間運転時間、消費エネルギー、システム効率などを表 3.3.49～表 3.3.51 に示す。

- ・運転時間は、1 日平均 1 時間とすると年間で $3,600 \times 365 = 1,314,000$ 秒となる。
- ・消費熱量はガス給湯機が消費したガス燃焼

配管システムやその周囲の状況により、給湯栓で得られる熱量は一意にはならないことに注意する。

給湯機の出湯温度を 60℃とし、年間の実働効率、システム効率を算定する。各給湯栓で捨て湯の判断に用いる使用最低湯温などは、表 3.3.49 に示すように設定した。給湯流量は、給湯行為中で変化しないものとして表 3.3.49 に示す一定値を用いた。

A2 委員に対するアンケート調査から出湯温度設定は 40～42℃であったことから、給湯機の出湯温度の設定に 43℃を加えた。

給湯栓の使用湯温は上記アンケート結果の出湯温度設定の中間値を採用した。使用最低湯温は特別な根拠がないため適宜設定した。

(6) 計算ケース

ガス給湯機では表 3.3.50 に示す通常型 G と潜熱回収型 L の 2 通り、貯湯槽利用では沸上温度 90℃一定 C と湯切れなしの最低沸上温度設定 D の 2 通りを想定した。計算対象は戸建の 3・4 人世帯と集合住宅の 2～4 人世帯の 5 ケースを表 3.3.51 の通りに設定した。

表 3.3.50 ガス瞬間式給湯機の計算ケース

呼称	出湯温度	給湯機設定
G	60℃	通常型・定格効率 81.5 %
L	60℃	潜熱回収型・定格効率 94.8 %

熱量であり、標準状態の 13A1 m³で 45.98 MJ 発熱するとした。

- ・出湯熱量は給湯機出口で求めた熱量の合計である。
- ・給湯栓熱量は給湯栓出口で求めた熱量の合計である。
- ・有効熱量は、表 3.3.49 に示す使用最低湯温を上回ったときのみ求めた熱量の合計である。
- ・湯待ち時間は、表 3.3.49 に示す使用最低湯温に達するまでの時間を合計した値であ

表 3.3.51 計算ケース

ケース	Case1	Case2	Case3	Case4	Case5
住戸形式	戸建住宅		集合住宅		
世帯人数	3人	4人	3人	3人	4人

表 3.3.52 4人世帯の計算結果

	Case2G	Case2L	Case5G	Case5L
運転時間[s]	1,179,258	1,181,037	1,148,895	1,150,743
消費熱量[GJ]	5.390	4.614	5.392	4.616
出湯熱量[GJ]	4.076	4.076	4.076	4.076
給湯栓熱量[GJ]	3.451	3.453	3.310	3.312
有効熱量[GJ]	3.302	3.302	3.132	3.133
湯待ち時間[s]	171,775	172,802	188,908	189,945
実働効率[%]	75.6	88.3	75.6	88.3
システム効率*[%]	64.0	74.8	61.4	71.8
システム効率[%]	61.3	71.6	58.3	67.9

表 3.3.53 3人世帯の計算結果

	Case1G	Case1L	Case4G	Case4L
運転時間[s]	1,025,951	1,027,229	998,704	999,991
消費熱量[GJ]	4.716	4.037	4.717	4.038
出湯熱量[GJ]	3.564	3.564	3.564	3.564
給湯栓熱量[GJ]	3.009	3.010	2.882	2.883
有効熱量[GJ]	2.875	2.875	2.725	2.725
湯待ち時間[s]	161,960	162,874	175,242	176,119
実働効率[%]	75.6	88.3	75.6	88.3
システム効率*[%]	63.8	74.6	61.1	71.4
システム効率[%]	61.0	71.2	57.8	67.5

る。1日の湯待ち時間の合計を10分とすると
 $600 \times 365 = 219,000$ 秒となる。

- ・実働効率は、消費熱量に対する出湯熱量の比である。システム効率*は消費熱量に対する給湯栓熱量の比、システム効率は有効熱量の比である。給湯システムの優劣はこのシステム効率で評価可能である。

これらの計算結果より、以下の知見が得られた。

- ・世帯人数によって給湯量が異なるが、住戸形式によらず出湯熱量はほぼ同等であり、計算による出湯条件が妥当に機能していることが確認できる。また、住戸形式も同一の場合は、GでもLでも有効熱量もおおよそ等しくなっており、居住者の使った熱量は同等とみてよい。
- ・集合住宅と戸建住宅を比較すると、同一のガス瞬間式給湯機であれば、消費熱量はおおよそ同等であるが、有効熱量は戸建住宅の方

が大きい。また実働効率は同等であるが、システム効率*、システム効率は戸建住宅の方が高い。戸建住宅の方が上手にエネルギーを使っていることになる。配管周囲気温は集合住宅の方が高い設定になっているが配管長は2倍程度であり、配管長を短くすることでシステム効率が2～4%向上することがわかる。

- ・世帯人数の影響を見ると、実働効率・システム効率ともに2人世帯が高い。平日に朝と夜に集中的に給湯利用するためではないかと思われる。また世帯人数が増加するにつれて、当然給湯量も増加し、消費エネルギーも大きくなり、さらに実働効率・システム効率は低下する傾向にある。
- ・給湯利用が頻繁になるにつれて湯待ちによる損失が増大する。集合住宅では配管長が大きいことから、その影響も大きく現れたと思われる。
- ・戸建住宅で3・4人世帯を比較すると、各効

率はほぼ同等であることがわかる。

- ・潜熱回収型給湯機は定格効率で 13.3% 通常型より高い機種を用いている。実働効率は世帯人数・住戸形式に関わらずおよそ 13% 向上しているが、システム効率の向上は 10% 程度である。

表 3.3.54 2人世帯（集合住宅）計算結果

	Case3G	Case3L
運転時間[s]	673,246	673,819
消費熱量[GJ]	3.222	2.761
出湯熱量[GJ]	2.478	2.478
給湯栓熱量[GJ]	2.088	2.089
有効熱量[GJ]	2.016	2.015
湯待ち時間[s]	85,666	86,071
実働効率[%]	76.9	89.7
システム効率*[%]	64.8	75.6
システム効率[%]	62.6	73.0

(2) 貯湯槽利用の場合

電気ヒーターを用いて深夜電力時間帯に加熱することとする。加熱量の決定は、給湯がすべて終了した 23:00 に行う。沸上温度 90℃一定のCでは貯湯槽内平均湯温と 90℃の温度差に貯湯槽容量 460Lを乗じて計算する。沸上温度最低設定のDでは、23:00 の時点で翌日の日給湯量、日平均気温、水温を読み取って、給湯熱量、24 時間の貯湯槽からの損失熱量、貯湯槽内の湯水混合損失の各熱量を計算する。配管損失分として給湯熱量の 0.2 倍を仮定し、全必要熱量を求めて 1.05 倍する。この熱量が得られる最低の沸上温度を推定する。

さらに計算を簡略化するために、以下の条件を付加している。

- ・湯切れは一切考慮しない。湯切れを起こさない計算条件とする。
- ・今回採用された給湯モードは深夜電力時間帯で 23:00～6:30 に給湯利用がない。沸き上げは前日の 23:00～当日 6:20 までのみとし、昼間電力時間帯の「沸き増し」は考慮しない。
- ・出湯温度は 60℃である。給湯栓を開いたと同時に貯湯槽からは 60℃の湯が出るとする。
- ・タンク内湯温分布から平均値を求め、沸き上

げ温度との温度差と容積 460L から沸き上げに必要な熱量を求める。試験計算ではこれの 5%増の熱量を用いて、5.4kW の電熱ヒータにより、沸き上げ開始時刻と加熱時間を求める。この時刻設定は前日の 23:00 に 1 回のみ行うことにする。

(1)と同様に計算結果を表 3.3.55～表 3.3.57 に示す。これらの計算結果より、以下の知見が得られた。

- ・世帯人数による出湯熱量は、(1)と同等であり、計算条件が妥当に再現されていることが確認できる。
- ・今回は貯湯槽容積の検討には至らなかったが、給湯量が大きくなるに伴って各効率は上昇していることがわかる。2人世帯では今回検討した 460Lの容量はかなり大きいことがわかる。
- ・沸上温度を工夫することでシステム効率をおよそ 10%向上させることができる。今回の計算ではもっとも理想的な湯利用を想定したものであるから、実際ではC設定とD設定の間になるであろう。機器の省エネルギー設定を上手に利用することで、最大 10%の効率向上が期待できることになる。
- ・4 人世帯では 52.2～62.3%のシステム効率となる。
- ・3 人世帯では 49.2～59.8%のシステム効率となる。

4) まとめ

本資料は、ガス瞬間式給湯システムおよび電気ヒーター加熱の貯湯槽利用システムによる年間給湯消費エネルギーを、世帯人数・住戸形式別に年間シミュレーションによって予測した。その結果得られた知見は以下の通りである。

- ・給湯モード作成に用いられた実測データが給湯機出湯温度に基づくため、給湯の発停条件は、給湯機出湯熱量で行なわざるを得な

表 3.3.55 4人世帯の計算結果

	Case2C	Case2D	Case5C	Case5D
運転時間[s]	1,132,612	1,132,612	1,101,597	1,101,597
消費熱量[GJ]	6.017	5.312	6.018	5.313
出湯熱量[GJ]	4.076	4.076	4.076	4.076
給湯栓熱量[GJ]	3.413	3.413	3.271	3.271
有効熱量[GJ]	3.309	3.309	3.141	3.141
湯待ち時間[s]	126,066	126,067	140,922	140,922
実働効率[%]	67.7	76.7	67.7	76.7
システム効率*[%]	56.7	64.2	54.4	61.6
システム効率[%]	55.0	62.3	52.2	59.1

表 3.3.56 3人世帯の計算結果

	Case1C	Case1D	Case4C	Case4D
運転時間[s]	982,405	982,405	954,522	954,522
消費熱量[GJ]	5.549	4.818	5.550	4.818
出湯熱量[GJ]	3.564	3.564	3.564	3.564
給湯栓熱量[GJ]	2.977	2.977	2.849	2.849
有効熱量[GJ]	2.881	2.881	2.731	2.731
湯待ち時間[s]	118,389	118,389	129,822	129,822
実働効率[%]	64.2	74.0	64.2	74.0
システム効率*[%]	53.6	61.8	51.3	59.1
システム効率[%]	51.9	59.8	49.2	56.7

表 3.3.57 2人世帯（集合住宅）計算結果

	Case1C	Case1D
運転時間[s]	651,219	651,219
消費熱量[GJ]	4.570	3.793
出湯熱量[GJ]	2.478	2.478
給湯栓熱量[GJ]	2.074	2.074
有効熱量[GJ]	2.019	2.019
湯待ち時間[s]	62,691	62,691
実働効率[%]	54.2	65.3
システム効率*[%]	45.4	54.7
システム効率[%]	44.2	53.2

い。使用最低湯温を考慮した居住者利用熱量はケースごとに異なる結果となるが、実用上ほぼ同等とみてよい。

- ・世帯人数が同じ場合は戸建住宅の方が集合住宅よりもシステム効率は 2～3%高い結果となった。集合住宅の給湯配管周囲気温は高いものの配管長が 2 倍程度大きいためであり、最短配管計画が重要であることが確認できた。
- ・ガス瞬間式給湯機では、定格効率で 13%程度高い潜熱回収型を用いると、実働効率は同程度の 13%向上し、システム効率は 10%向上した。また世帯人数による影響を見ると、子供のいない共稼ぎ夫婦の場合では平日に

朝と夜に給湯利用が集中するため、2 人世帯がもっとも高いシステム効率を示し、4 人世帯に比較して 5%程度高くなっている。

- ・電気ヒーター加熱の貯湯槽利用システムでは、沸上湯温の設定を最適化することで最大 10%システム効率を向上させることができる。ヒーターの加熱制御が省エネルギーの鍵を握ることになる。また今回は検討できなかったが、適切な貯湯槽容量を採用することで、より高い効率を得ることができると思われる。

(岩本 静男)

参考文献

- 王他、住宅用給湯設備の設計・評価手法に関する研究(その 12)給湯システムの効率予測に関する研究、空気調和・衛生工学会学術講演論文集、pp.65-68、2004.9.
- 浅野他、住宅用給湯設備の設計・評価手法に関する研究(その 10)住戸セントラル給湯システムの貯湯槽の熱効率に関する研究、空気調和・衛生工学会学術講演論文集、pp.1597-1600、2003.9.
- 岩本他、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論文集、pp.1601-1604、2003.9.