

## 第7章 集合住宅向けの機器の評価実験および解析

### 7.1 通風に関する実測調査

#### 7.1.1 夏期～中間期における窓開閉と冷房使用に関する調査

住宅における冷房消費エネルギーは、立地や住宅の性能(断熱性能、気密性能)、冷房機器(エアコン)の性能の他に、冷房の使い方(冷房時の室温等)や窓開け行為(通風利用)などの居住者の暮らし方によって大きく影響を受ける。これは建築研究所内の集合住宅実験棟で実施された居住者の生活行為に伴う発熱発湿を機械的に再現した状態下での通風／冷房使用時のエネルギー消費量を計測する実証実験により明らかになっている。実証実験では、窓開閉の可否と窓開放上限室温、冷房時の室温をパラメータとして条件設定を行い、冷房一次エネルギー消費量の期間推計値が大きく変化することを確認している<sup>1)</sup>。また、数値シミュレーションにおいても、冷房設定温度や通風利用が冷房消費エネルギーに影響を及ぼすことは確認されており、「住宅事業建築主の判断基準<sup>2)</sup>」では負荷計算結果をもとに、通風利用時の冷房一次エネルギー消費量削減効果を算定できるようになっている。

しかし、窓開け行為や冷房の使い方には不明な点が多く、規基準において冷房開始温度や冷房時の室温、窓開け上限温度などを合理的に決定するための知見は不足している状況にある。現時点では、「住宅事業建築主の判断基準<sup>2)</sup>」では冷房開始温度＝冷房時の室温＝窓開け上限温度としており、起居時に27℃、就寝時に28℃の設定としている。一方、「自立循環型住宅への設計ガイドライン<sup>3)</sup>」では、終日にわたり、冷房開始温度＝冷房時の室温＝窓開け上限温度＝28℃としている。また、実証実験においては、冷房開始温度＝冷房時の室温＝窓開け上限温度とする実験条件の他に、冷房開始温度＝窓開け上限温度＝冷房時の室温+2℃等と、温度条件を違える条件も設定している。この条件設定は羽原らが実施した調査を参考に設定しており、冷房開始時の温度は冷房時の室温と同等より高い温度帯になるとの知見による。

これら設定の違いには、法に基づいて制定される基準、省エネを目指す自主的な設計ガイドライン、実験条件等それぞれ異なる目的のために設定しているという点の違いもあるが、合理的な決定に足る知見の不足という面も否めないであろう。

そこで、冷房一次エネルギー消費量算定に大きく影響を及ぼす冷房開始温度、冷房時の室温、窓開け上限温度等の冷房の使い方や窓の開け方についての知見を得るために、窓開け行為や冷房の使い方に関する実態調査を実施した。本節は、調査結果をとりまとめ、窓開け行為や冷房の使い方に関する資料とするものである。

#### 【参考文献】

- 1) Hiromi Habara et al, "Verification of the Effect of Cross-Ventilation on Energy Conservation by Simulating Occupant Behavior", International Journal of Ventilation Vol.8 No.3, pp.265-276 (2009)
- 2) 住宅事業建築主の判断の基準におけるエネルギー消費量計算方法の解説 3.3 通風の負荷削減効果評価に係るモデル, 建築環境・省エネルギー機構, pp.49-56 (2009)
- 3) 蒸暑地版 自立循環型住宅への設計ガイドライン 3.1 自然風の利用・制御, 建築環境・省エネルギー機構, pp.40-65 (2010)

### 7.1.2 窓開閉／冷房使用に影響する要因の整理と本調査の位置づけ

今回の調査にあたり、窓開け行為や冷房の使い方に影響を及ぼす要因を整理した(表 7.1.2.1)。窓開け行為や冷房の使い方に関する項目を環境調整行為と位置づけ、環境調整行為に影響を及ぼすと考えられる要因を、住戸・居室の特性、居住者の指向・行動、時間進行の程度、環境条件についてピックアップした。

表 7.1.2.1 窓開閉／冷房使用に影響する要因

住戸・居室の特性	躯体(断熱、気密等)、開口部(方位、面積、周辺部材等)	
居住者の指向・行動	環境調整に対する意向	窓開けに積極的←→消極的 冷房利用に積極的←→消極的
	在不在	在室、在宅(室不在)、不在
	活動	掃除、調理、食事、就寝、団らん、TV視聴、読書など
	服装	着衣量の変更
時間進行	時間進行	就寝時、朝、午前、昼、午後、夕方、夜
	日進行	曜日
	季節変化	晩春、初夏、梅雨、盛夏、晩夏、初秋
環境条件	室外	天候 過去、現時点、未来(天気予報等) 外気温 外気湿度(相対湿度) 外部風速 外部風向 日射 長波長放射
	室内	室温 室内湿度(相対湿度) 室内風速 日射取得 壁面温度

環境調整行為	窓	開、閉
	冷房	On、Off 設定温度 モード設定(冷房、弱冷房、除湿など)
	日射遮蔽	カーテン、ブラインド、すだれなど

表 7.1.2.1であげた項目には、互いに影響を及ぼしあうものもあるため、各項目間の関係を整理するために表 7.1.2.2を作成した。左側表記の項目が上側表記の項目に影響する度合いを色の濃さで表したものである。影響の度合いは定性的に判断して見積もっているが、環境調整行為に多くの要素が影響を及ぼし、また、環境調整行為により室内環境が影響する度合いを確認できる。

今回の調査は、冷房開始温度、冷房時の室温、窓開け上限温度等の冷房の使い方や窓の開け方についての知見を得るという目的のため実施するものであり、どのような要因が影響を及ぼすかを検討するため、温度や窓の開閉、冷房使用の経時的な推移を記録する計測機器を使用することとした。表 7.1.2.1のうち◎で示した部分が、計測データを用いた検討を行う部分にあたる。実現される室温と、窓の開閉状況、冷房の使用状況の経時的な推移が記録データから直接的に検討可能な部分である。また、外気温等の外部の気象データは近傍のアメダス気象データを使用するこ

ととした。また、同時に調査票を配布したアンケート調査を行うこととした。居住者や住戸などの特徴について記入を依頼し、居住者の冷房の使い方や窓の開け方に対する意向や、在不在・行動の記録、冷房設定(温度とモードの設定)などを回答してもらっている。これらの回答にもとづいて検討可能な部分を表 7.1.2.1に○、△で示したが、回答者による回答内容の粗密が避けられないため、分析にあたっては計測データの補完に使用することとどめた。

表 7.1.2.2 窓開閉／冷房使用に影響する要因間の関係

		影響される項目																環境調整行為						
		住戸・居室の特性	居住者の指向・行動				時間進行		環境条件								窓		冷房		日射遮蔽			
			意向	在不在	活動	服装	時間進行	日進行	室外				室内				開・閉	On・Off	設定温度	モード設定				
									天候	外気温	外気湿度	外部風速	外部風向	日射	長波長放射	室温						室内湿度	室内風速	日射取得
影響する項目	住戸・居室の特性		△																△				影響される項目	
	居住者の指向・行動	意向	○																○					
		在不在	○																○					
		活動	○																○					
		服装	○																○					
	時間進行	時間進行	○				○		○								◎		◎					
		日進行	○				○		○								◎		◎					
		季節変化	○																◎					
	環境条件	室外	天候	◎																◎				
			外気温	◎																◎				
			外気湿度	◎																◎				
			外部風速	◎																◎				
			外部風向	◎																◎				
			日射	◎																◎				
		長波長放射	◎																◎					
		室内	室温	◎																◎				
			室内湿度	◎																◎				
			室内風速	◎																◎				
	日射取得		◎																◎					
	壁面温度	◎																◎						
環境調整行為	窓	開・閉	◎																◎					
		On, Off	◎																◎					
	冷房	設定温度	◎																◎					
		モード設定	◎																◎					
		日射遮蔽	◎																◎					

凡例：  
 影響大  
 影響あり  
 影響微少かなし  
◎ 本調査で計測データと併せて分析する部分  
○ 本調査で調査票による定性的に確認する部分  
△ 本調査で調査票により一部について確認する部分

### 7.1.3 調査概要

調査は計測器による計測と調査票による確認をあわせて行った。計測器および調査票を送付し、調査対象者自身が調査要領『「窓の開け方とエアコンの使い方に関する調査」のお願い』を確認しながら、機器を設置する形で実施した(一部については設置を本調査担当者が実施した)。調査の流れは図 7.1.3.1. に示す通りである。

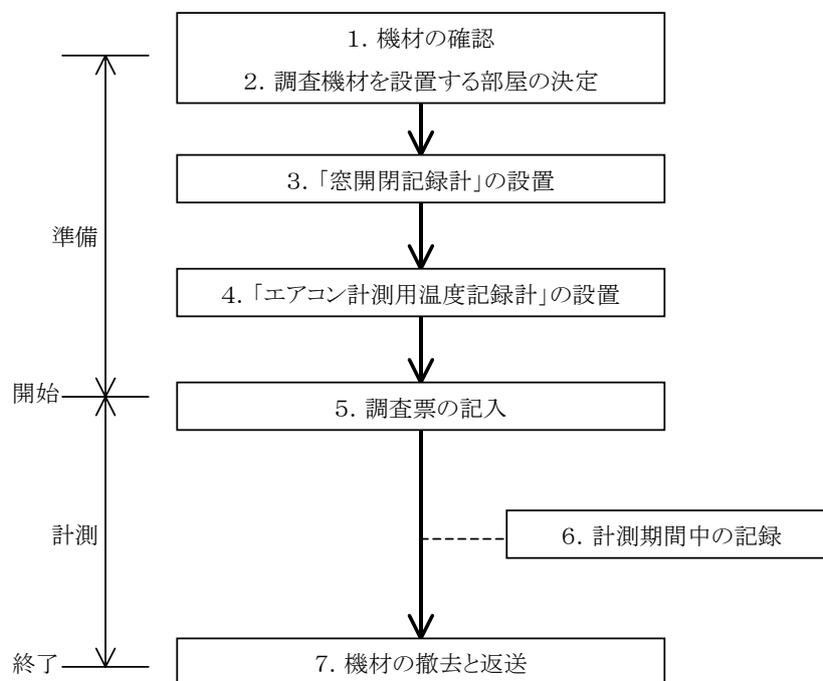


図 7.1.3.1 調査の流れ

調査の流れは以下の通りである。調査対象者は、まず、調査対象となる部屋(およびエアコン、窓)を以下を考慮して決定する(図 7.1.3.1 2)。

- ・長時間にわたり在室している部屋
- ・良く開ける窓がある部屋
- ・エアコンが設置してある部屋

続けて、窓開閉記録計およびエアコン計測用温度記録計の設置を行う(図 7.1.3.1. 3および4)。

窓開閉記録計は、電圧ロガー(T&D VR-71)および磁石センサー2組、電力供給用電池からなり、サッシ枠とガラス障子に貼り付けた磁石センサーから開閉に応じて出力される電圧(閉鎖時に約1.5V、開放時に約0V)を記録する。ここで、電力ロガーでは開口部の2箇所の開閉状況が記録される(引違窓については左右のガラス障子の開閉状況を記録するように設置要領を作成している)。

エアコン計測用温度記録計には2点記録可能な温度記録計(T&D TR-71Ui)を使用し、エアコンの吹出近傍および吸込近傍に温度センサーを設置する。

窓開閉記録計およびエアコン計測用温度記録計の記録は10分間隔で行った。

窓開閉記録計およびエアコン計測用温度記録計の設置状況を図 7.1.3.2に示す。図中の「温度ch.1」が吸込側温度センサー、フラップ内側に設置し、図では表から見えない「温度ch.2」が吹出

側温度センサーである。



図 7.1.3.2 設置状況 (調査要領記載の例)

その後、調査票に居住者、住宅、居室、設置した開口部とエアコンの特徴、ならびに居住者の指向等を回答し(図 7.1.3.1. 5)、計測期間中の記録を行う(図 7.1.3.1 6)。調査が終了した後、計測器を撤去し、調査票と併せて返送して(図 7.1.3.1. 7)、調査は終了となる。

## 7.1.4 分析対象およびデータ処理方法

### 7.1.4.1 分析対象

前述の調査方法で調査した結果を確認し、計測の不備、調査票の回答、回収の不備等を除外した10件について分析を行った。分析対象とした10件の概要を表 7.1.4.1に示す。

分析にあたり参照する外気温には、近傍で計測されたアメダス気象データ (<http://www.jma.go.jp/jma/menu/report.html>) を使用した。住戸①～⑤には山形県金山、住戸⑥には東京、住戸⑦には千葉県船橋、住戸⑧には東京都江戸川臨海、住戸⑨には茨城県水戸、住戸⑩には大阪府豊中のアメダス気象データを使用している。

表 7.1.4.1 分析対象

	所在地	戸建/集合	階数	延床面積[m <sup>2</sup> ]	世帯人数	設置した部屋	設置した窓			エアコン	
							床面積[m <sup>2</sup> ]	種別	サイズ		方位
住戸①	山形県金山町	戸建	不明(未記入)	不明(未記入)	6	リビング・ダイニング	26.5	引違窓	W1.8m×H2.1m	南	日立
住戸②	山形県金山町	戸建	2階建	不明(未記入)	5	リビング・ダイニング	20.7	引違窓	W1.7m×H2.2m	南西	National CS-MG40N2-W
住戸③	山形県金山町	戸建	2階建	200	5	リビング・ダイニング	13.2	引違窓	W1.4m×H0.85m	北東	Panasonic CS-259TB
住戸④	山形県金山町	戸建	2階建	300	4	リビング・ダイニング	16.6	引違窓	W2.6m×H1.7m	不明(未記入)	Panasonic CS-400CF2
住戸⑤	山形県金山町	戸建	2階建	150	4	廊下・ホール	8.3	引違窓	W2.7m×H0.3m	南	富士通 A0228P
住戸⑥	東京都墨田区	集合	5階建の4階	33	2	寝室	13.2	引違窓	W1.5m×H2m	南東	ダイキン
住戸⑦	千葉県習志野市	集合	8階建の3階	60	4	子供室	6.6	引違窓	W0.7m×H0.9m	北	National CS-22PGH
住戸⑧	東京都江戸川区	戸建	3階建	105	3	リビング・ダイニング	33.1	引違窓	不明(未記入)	不明(未記入)	シャープ
住戸⑨	茨城県大洗町	戸建	2階建	120	3	リビング・ダイニング	26.5	引違窓	W3m×H2.2m	南	National A75C197
住戸⑩	大阪府箕面市	集合	2階建の1階	23	1	リビング・ダイニング	14.9	引違窓	W0.8m×H1m	東	ダイキン F226TGY-W

#### 7.1.4.2 データ処理方法

窓開閉記録計およびエアコン計測用温度記録計により得られた時系列データを以下の方法により処理した。

窓開閉記録計に記録される電圧は、基本的にガラス障子の閉鎖に対応した+1.5V程度、開放に対応した0V程度に二分される。時系列データを確認し、センサー設置位置2箇所のそれぞれについて、開放もしくは閉鎖を判断した。また、磁石センサーが脱落する状況が確認されることがあり、その場合は、計測中の記録や室温データの経時変化、後述のエアコンの稼働状況から適宜判断し、判断不可能な部分は分析対象期間から除外した。また、結果として、開閉状況を記録した開口部はすべて引違窓であったことから、センサー2箇所(左右の障子枠)のそれぞれの記録から、開口部全体の開閉としてまとめている(左側と右側が両方閉鎖しているときに「閉鎖」と判断し、どちらかが開放されている場合に「開放」とした)。

エアコン計測用温度記録計で計測された温度データからは、吸込側温度を室温を代表する温度として取り扱う。また、エアコンの稼働状況は、吸込側と吹出側の温度に差があることを以て判断することを基本とする(閾値2℃を基本とした)。ただし、吸込側と吹出側に温度差がつかない場合(吹出側設置位置が適切でない場合)や、逆に温度差がつきすぎる場合(吸込側設置位置が上層の高い空気温度位置にあると思われる場合や天井からの温輻射や日射の影響を受けていると思われる場合)には、閾値を適宜変更して判断を行うとともに、閾値のみでは稼働開始直後や終了直後を適切に判断できないため、温度の経時変化を適宜確認して、冷房開始および終了時点の調整を行っている。

また、エアコンがオンオフ運転になっている場合は、温度データのみでは適切に判断することができない。ここでは、計測中の記録がある場合は記録から判断し、ない場合には1時間以内の停止をエアコン稼働中(オンオフ運転中)と判断することを基本とし、経時データを確認して適宜調整した。

#### 7.1.5 分析結果

図 7.1.5.1 ～図 7.1.5.9に、住戸①～⑩の「窓開放時」「冷房時」「窓閉鎖・冷房停止時」の各モードでの室温の推移を経時的に示す。住戸別に窓開け行為や冷房の使い方に関する特徴を以下にまとめた。

##### 7.1.5.1 住戸①

住戸①は山形県金山町の戸建住宅である。調査した部屋はリビング・ダイニングであり、窓の開閉記録は、南面した引違の掃出窓のものである。

エアコンの使用は9月上旬までの、11～16時頃、18～21時頃の時間帯が中心で、冷房時の室温は26～30℃の温度帯の中でばらつきが大きくなっている。特に、18～21時頃の夕食の時間帯は、窓を開けることがなく、冷房の使用が中心となる。調査票の回答では冷房設定温度が22℃とのことであり、設定温度との乖離が大きく、ばらつきが大きいこと、経時的に下がる傾向が見られることから、躯体の断熱・気密性がそれほど高くないものと考えられる。

窓を開けるのは、8月下旬までの4時～12時頃の時間帯が中心であり室温は30℃以下である。25℃以上で窓開けが発生し、室温が高くなるにつれ、窓を開ける比率が高まる傾向にある。12時時以

降で32℃を上回っても窓を開けている日があるが、これは、不在時に窓を開けている状況と思われる(調査票では、不在時に窓を開けることがあり、閉めるべき理由がないとの回答を得ている)。また、就寝時には基本的に窓を開けない。

以上から、住戸①のリビング・ダイニングでは、窓開け時の温度帯、冷房時の温度帯に幅があり、時間帯による窓開け／冷房の使い分けがはっきりしていることから、室温より時間帯での選択を強く意識していると考えられる。

#### 7.1.5.2 住戸②

住戸②は山形県金山町の戸建住宅である。調査した部屋はリビング・ダイニングであり、窓の開閉記録は、南西に面した引違の掃出窓のものである。

窓を開けるのは6時～12時頃の時間帯が中心であるが、9時以降の時間帯は、25～28℃の範囲で冷房利用の出現と拮抗する。午後以降の窓開けは、9月以降を中心に出現しており28℃以下の室温で推移するが、8月中旬の不在時に窓開放していると思われる日(8/22、27)には、30℃以上の室温となっている。夜から朝にかけての窓開けはまれである。

冷房の使用は9時～22時頃の時間帯が中心であり、25～28℃の室温範囲に集中している。出現のピークは26～27℃である。調査票の回答では冷房設定温度が22℃とのことであり、設定温度との乖離が大きいが、住戸①に比べて冷房時の室温が安定して推移している。夜から朝にかけての冷房使用はまれである。

窓閉鎖／冷房停止時の室温は、8月下旬の不在と推測される日中の時間帯の昇温を除き、28℃以下で推移し、低い室温範囲で多く出現する。

以上から、住戸②のリビング・ダイニングでは、住戸①より冷房時の温度帯が安定しているところがあるが、比較的、室温より時間帯での環境調整方法の選択を強く意識していると考えられる。

#### 7.1.5.3 住戸③

住戸③は山形県金山町の戸建住宅である。調査した部屋はリビング・ダイニングであり、窓の開閉記録は、北東に面した引違の腰窓のものである。

窓を開けるのは、6時から12時頃まで及び23時以降の時間帯が中心であり、室温は28℃以下で推移している。午前中の窓開けは、9時～10時以降に26℃以上に室温がなると冷房使用に移行する傾向にある。夜間の窓開けは8月下旬に冷房停止後の移行が中心である。また、8月上旬や9月以降は、午後から夜にかけて窓を開けている日もあり、ほぼ28℃以下で室温が推移している。夜から朝にかけての窓開けはまれである。

冷房の使用は9時から24時の時間帯であり、9時以降に窓開けから移行するケースが多い。冷房時の室温は26～28℃の範囲で安定している(出現のピークは27～28℃)。夜から朝9時にかけての冷房使用はほとんどない。

窓閉鎖／冷房停止時の室温は、8月下旬の不在と推測される日を除き、28℃以下で推移し、低い室温範囲で多く出現する。

以上から、住戸③のリビング・ダイニングでは、住戸①②より温度を意識した環境調整方法の選択が行われていると言える。

#### 7.1.5.4 住戸④

住戸④は山形県金山町の戸建住宅である。調査した部屋はリビング・ダイニングであり、窓の開閉記録は、引違の掃き出し窓のものである。方位は未回答のため不明である。

窓を開けるのは午前中が中心であり、経時的に室温が上昇する傾向にある(30℃を超える室温も出現している)。しかし、10時～14時頃にかけて26℃以上の室温で冷房使用に移行することが多い。9月を中心に午後の窓開けも散見されるが、28℃以上の室温で推移することも多い(不在時の窓開けとも考えられる)。夜から朝にかけての窓開けはまれである。

冷房の使用は昼～夜の時間帯が中心であり、冷房使用中の室温は26～30度の範囲にほぼ収まる(27～28℃の室温範囲でピーク)。午前中も窓開けから移行して冷房を使用している日があるが、それほど多いわけではない。

22時以降翌朝までを中心に、窓閉鎖／冷房停止が多く出現し、22時～24時の室温で30℃以下、早朝の室温で28℃以下で推移している。日中の出現は、9月中下旬が多く、ほぼ28℃以下で推移している。低い室温範囲で出現が多くなる。

以上から、住戸④のリビング・ダイニングでは、冷房時の温度帯は比較的安定して出現するが、窓開け時の温度帯に幅があり、時間帯による窓開け／冷房の使い分けが比較的是っきりしていることから、室温より時間帯を意識した環境調整方法の選択が行われていると考えられる。

#### 7.1.5.5 住戸⑤

住戸⑤は山形県金山町の戸建住宅である。調査した部屋は廊下・ホールであり、窓の開閉記録は、南面した引違窓だが幅2.7m、高さ0.3mであるため、地窓もしくは高窓だと思われる。

6時～18時にかけては、窓を開ける対応が多くとられ、冷房の使用はほぼない。窓開け時の室温は広範に出現し、時間とともに上昇し外気温に追従する傾向が見られる。窓開け時に34℃を超える室温が記録されることもあった。

冷房の使用はほぼ18時以降に限られ、冷房使用時の室温は27～30℃の範囲となる。23時頃には冷房を使用しなくなる。

23時以降翌朝まではほとんど窓閉鎖／冷房停止となるが、8月中旬、9月上旬には日中であっても窓を開けず冷房を使用しないことがある(不在である可能性もある)。窓を閉鎖し、冷房を使用しない状況では、室温はほぼ30℃以下で推移している。

以上から、住戸⑤の廊下・ホールでは、冷房時の温度帯は比較的安定して出現するが使用時が限定的である。日中は基本的に窓が開けられ、冷房を使用する時間と明確に分かれていることから、時間帯を強く意識した環境調整方法の選択が行われていると言える。

#### 7.1.5.6 住戸⑥

住戸⑥は東京都墨田区の5階建集合住宅の4階に位置する。調査した部屋は寝室であり、窓の開閉記録は、南東に面した引違の掃出窓のものである。

窓を開ける機会は多くなく、9月中旬以降に若干多くなる傾向は見られるが、はっきりはしていない。開放時の室温は26～32℃と広範囲に出現している。また、冷房使用時に同時に窓を開けている状況が数時間にわたり出現することがあるが、これは、経時的な推移を確認するとセンサーの脱落とは考えづらく、窓を大きく開けているか小幅で開けているかは不明ながら、また、意図的に開けているか窓を閉め忘れていないか不明ながら、実際に窓開けと冷房使用を同時に行っているものと推測される。

冷房は夕方から朝にかけての使用が多く、冷房使用時の室温は27～29℃の範囲が中心である。9時頃から18時頃の冷房使用は土日に限られる。

また、平日日中の不在(と思われる)時間帯を中心に室温が30℃を超えても窓閉鎖/冷房停止となる状況が確認されるが、短時間で極端に昇温することはなく、比較的断熱性が高くRC造の熱容量が効いているものと思われる。

#### 7.1.5.7 住戸⑦

住戸⑦は千葉県習志野市の8階建集合住宅の3階に位置する。調査した部屋は20歳代男性の個室であり、窓の開閉記録は、北面した引違の腰窓のものである。

窓は、基本的に、冷房時と9月以降の涼しい時期を除いて開けている状況が確認できる。対象室が集合住宅3階の北側部屋であり、防犯性をそれほど気にせずともよい構造になっていると思われる。窓を開けているときの在不在ははっきりとしないが、在室していることが多いと思われる夜間では、8月下旬に28～29℃程度で窓を開けており、同時期の冷房時の室温に比べて1～2℃程度高い室温範囲で窓を開けている状況が確認できる。

冷房は、在室していると思われる夕方から朝にかけての使用が多く、冷房使用時の室温はほぼ26～28℃の範囲に収まっている。

また、早朝から9時過ぎにかけて、室温27～29℃の範囲で、窓閉鎖/冷房停止となる状況が確認されるが、この時間帯の冷房時室温より若干高く推移していることから、一部はエアコンのアイドリングを冷房停止として処理しているところがあると思われるが、すべてがそうであるとは考えづらく、実際に朝方に窓を閉め、冷房を使用しない状況が出現しているものと思われる(朝食などで他室に移動している可能性もある)。

#### 7.1.5.8 住戸⑧

住戸⑧は東京都江戸川区の3階建戸建住宅である。調査した部屋はリビング・ダイニングであり、窓の開閉記録は引違窓のものである(方位とサイズは未記入のため不明)。

住戸⑧のリビング・ダイニングでは、基本的に、窓を開けない状況が確認できる。

冷房は、深夜から早朝にかけての使用は少ないものの比較的多く使用されていることがわかるが、24℃～32℃まで広範囲にわたっており、かつ室温変動が大きいため、センサー取付位置の不備が疑われる状況である。吹出側温度との差は明瞭なため、冷房の稼働状況の把握に問題はないと

考えられるが、吸込側センサーの設置位置が冷房の吹出気流の影響を受ける場所にあったものと推測され、実際の室温が記録されていると判断できない。

#### 7.1.5.9 住戸⑨

住戸⑨は茨城県大洗町の2階建戸建住宅である。調査した部屋はリビング・ダイニングであり、窓の開閉記録は東に面した引違の腰窓のものである。

住戸⑨のリビング・ダイニングでは、住戸⑧と同様に、夏期の環境調整として窓開けを行わない状況であった。

冷房は、深夜から早朝にかけての使用は少ないものの比較的多く使用されていることがわかるが、24℃～32℃まで広範にわたっており、大きな日変動が現れてしまっている。住戸⑧同様、センサー取付位置の不備が疑われる状況である。こちらも吹出側温度との差は明瞭なため、冷房の稼働状況の把握に問題はないと考えられるが、住戸⑨では、吸込側センサーの設置位置が日射の影響を受けているものと推測される。

#### 7.1.5.10 住戸⑩

住戸⑩は大阪府箕面市の2階建集合住宅の1階に位置する。調査した部屋はリビング・ダイニングであり、窓の開閉記録は東に面した引違の腰窓のものである。

住戸⑩のリビング・ダイニングでは、終日にわたり広範な温度帯で窓を開けていることが分かる。窓開け時の室温は26℃から36℃以上までの範囲で推移しているが、調査票の回答では、日中には窓を「全く開けない」、不在時には「開けない」とされているなど、窓開閉記録との整合がとれていない点に懸念が残る。ただし、窓開閉記録の推移には、磁石センサーの落下などが歌がられる状況は見られなかった。

一方で、冷房については、夕方から午前中にかけての使用が中心であり、日中午後の使用は少ない状況が確認される。室温は28℃を中心に、26～30℃程度の範囲となっている。

#### 7.1.5.11 窓開閉と冷房使用の温度閾値に関する考察

これまでに確認した各住戸の記録をもとに、温度計測に不備が考えられる住戸⑧～⑩を除いて、窓開閉と冷房使用に関する閾値となる温度(冷房開始温度、冷房時の室温(実現温度)、窓開け上限温度等)について考察した。

住戸①のリビング・ダイニングでは、通風から冷房に切り替わる正午前後の温度を考えると、冷房時の室温設定は28℃±2℃、窓開け上限温度は30℃±2℃程度と設定できる。冷房開始温度は、冷房開始時の推移からみると冷房時の室温+1～2℃程度と思われる。ただし、住戸①では、冷房時の室温が時間とともに下がる傾向が見られるため、冷房時に室温が維持される場合とは異なることに注意する必要がある。

住戸②のリビング・ダイニングでは、窓開け時の室温の上限が、不在と思われる日を除くと、28～30℃程度であり、この温度を窓開け上限温度ととらえることができる。また、冷房時の室温は25～28℃の室温範囲に集中し、出現のピークは26～27℃となっている。この温度を冷房時の室

温設定ととらえると、窓開け上限温度は、冷房時の室温+2~3℃程度ととらえることができる。

住戸③のリビング・ダイニングでは、窓開け時、冷房時の温度帯の違いが、住戸①②よりもはっきりと出ている。冷房時の室温を27~28℃、窓開け上限温度を28℃ととらえることができる。冷房開始温度と冷房時の室温の差はほぼなく、あつて1℃程度ととらえられる。

住戸④のリビング・ダイニングでは、冷房時の温度を27~28℃程度ととらえることができる。一方、窓開け上限温度に関しては、午前中を中心に窓が開けられているが、経時的に窓開け時の室温が上昇する傾向にあり、その室温もある程度の幅をもって現れている。そのため在室時の窓開け上限温度を住戸③ほど明確にとらえることはできないが、28℃±2℃程度になると考えられる。また、午後は、窓開け時の室温が34℃になる場合もあり、同等の室温は、窓を閉鎖したときには現れていないため、不在時には温度の上限に関わらず窓を開放している状況にあると推測される。

住戸⑤のホール・廊下では、冷房は18時以降の使用にほぼ限られ、冷房時の室温は28℃程度と設定されうるが、窓開け時の室温には大きな幅が生じている。住戸⑤の廊下・ホールでは、窓開け上限温度を規定するより、時間帯により環境調整方法の選択を行う方が実態に即しているといえる。

住戸⑥の寝室では、窓を開けている状況がそれほど多くなく、温度範囲もばらついている。冷房時の室温は28℃±1℃程度ととらえられる。

住戸⑦の個室では、不在時も含めて窓を開けている状況が多く、在室していることが多いと思われる夜間で、窓開け上限温度をとらえると、28~29℃程度となる。これは、冷房時の室温27℃前後より1~2℃程度高い室温範囲となっている。

以上の窓開閉と冷房使用に関する考察から、閾値となる温度をまとめたものを表II.5.1.4に示す。

表 7.1.5.1窓開閉と冷房使用に関する温度閾値

住戸	対象室	冷房開始温度	冷房時の室温 (実現温度)	窓開け上限温度
住戸①	リビング・ダイニング	29~32℃	28℃±2℃	30℃±2℃
住戸②	リビング・ダイニング	26~27℃	26~27℃	28~30℃
住戸③	リビング・ダイニング	27~29℃	27~28℃	28℃
住戸④	リビング・ダイニング	27~28℃	27~28℃	28℃±2℃ (不在時:上限なし)
住戸⑤	廊下・ホール	28℃	28℃	— (時間帯指定可)
住戸⑥	寝室	28℃±1℃	28℃±1℃	—
住戸⑦	子供室	27℃	27℃	28~29℃ (不在時:上限なし)

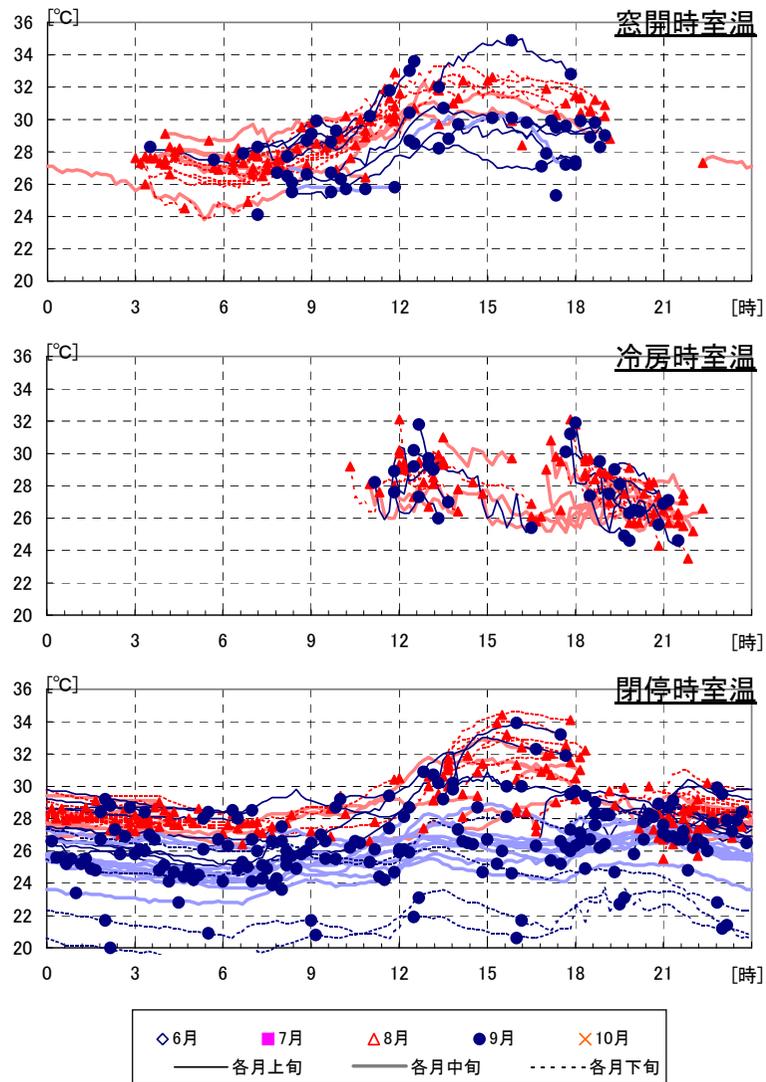


図 7.1.5.1 【住戸①】 各モードでの室温の推移 (8/12~9/24)

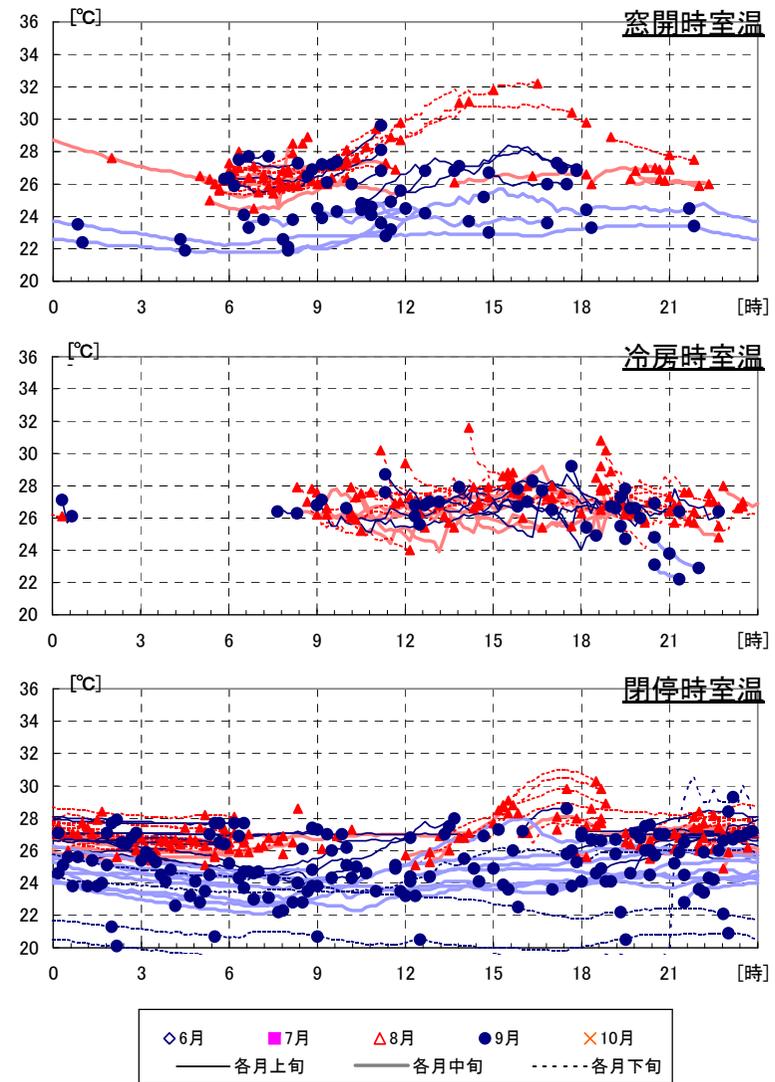


図 7.1.5.2 【住戸②】 各モードでの室温の推移 (8/12~9/24)

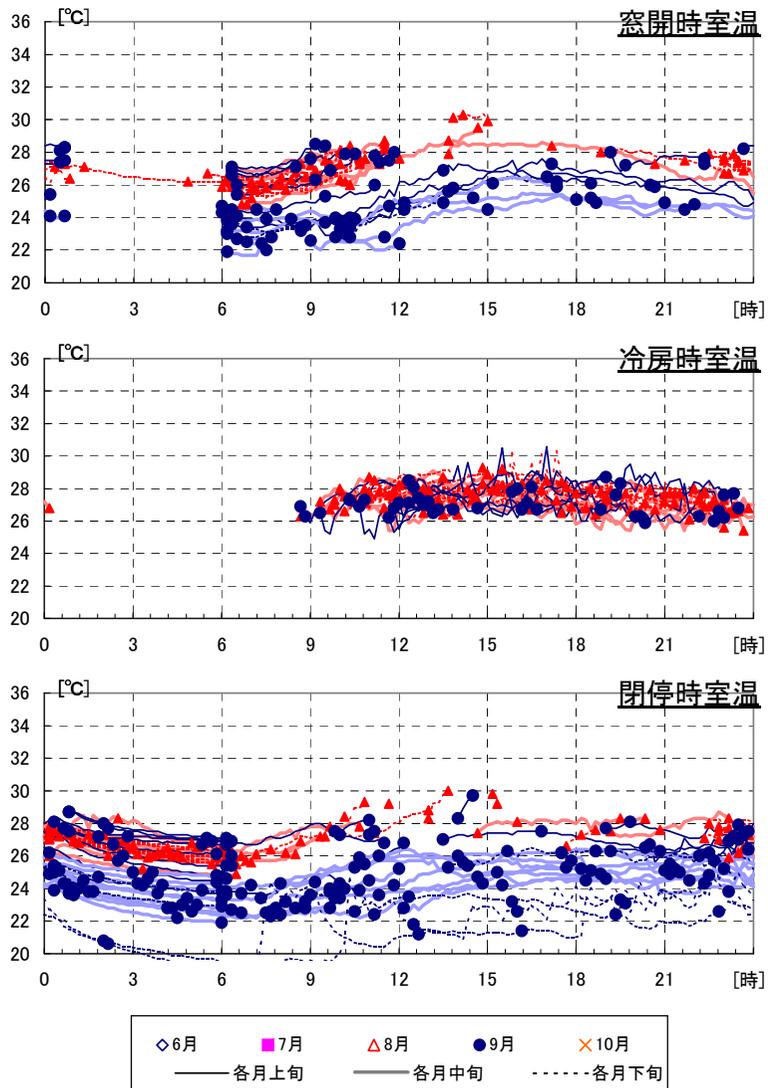


図 7.1.5.3. 【住戸③】 各モードでの室温の推移 (8/12~9/24)

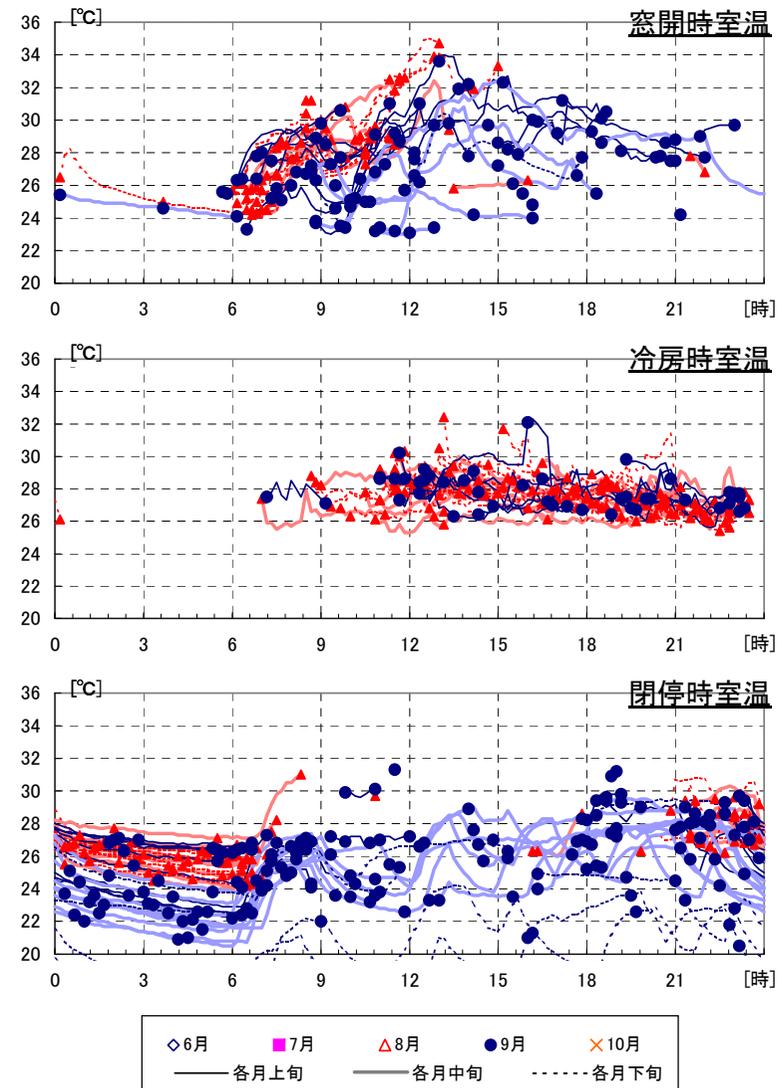


図 7.1.5.4. 【住戸④】 各モードでの室温の推移 (8/12~9/24)

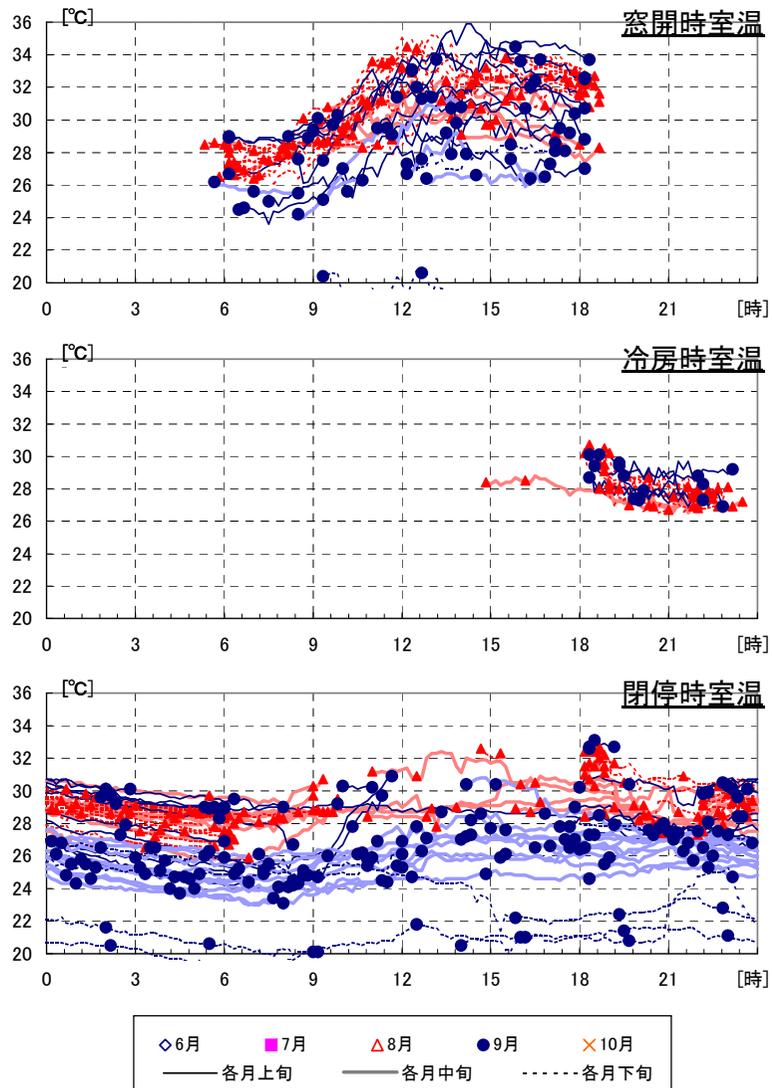


図 7.1.5.5. 【住戸⑤】 各モードでの室温の推移 (8/12~9/24)

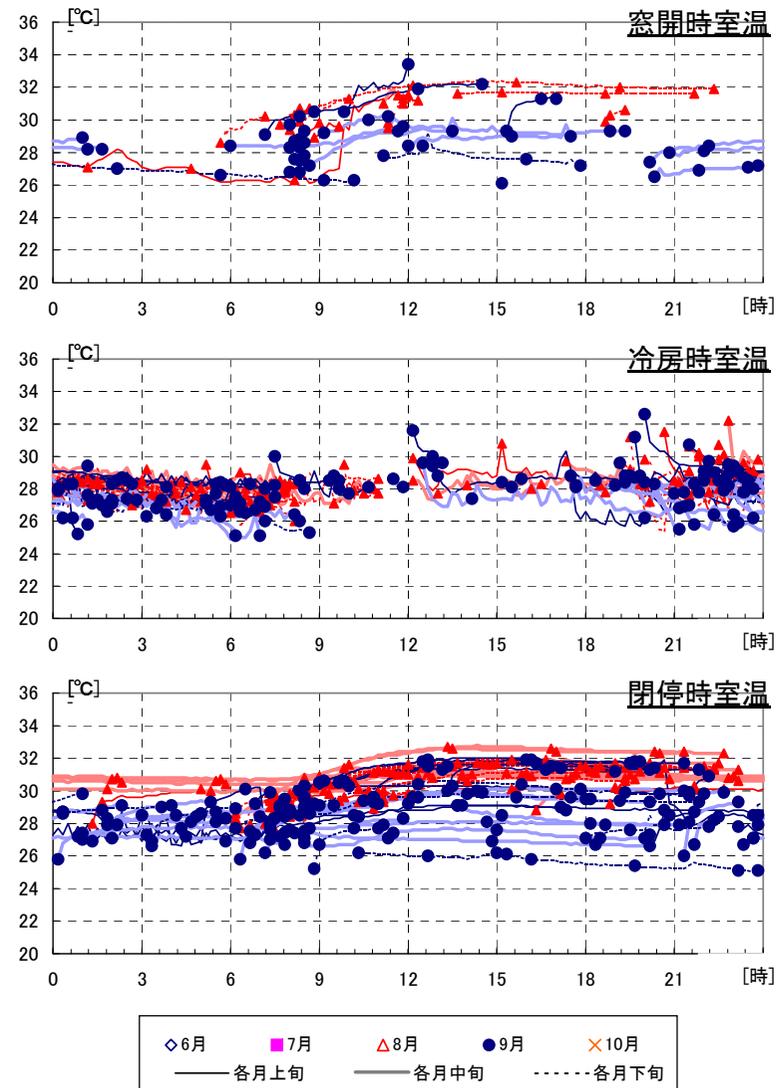


図 7.1.5.6. 【住戸⑥】 各モードでの室温の推移 (8/7~9/24)

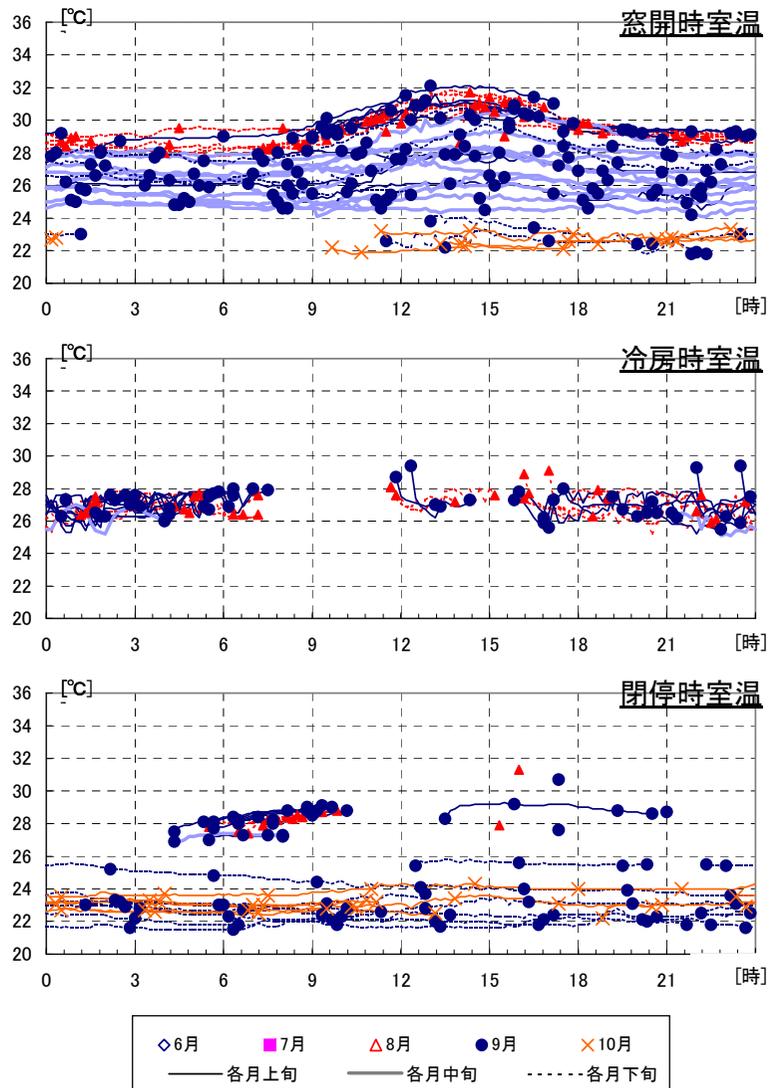


図 7.1.5.7. 【住戸⑦】 各モードでの室温の推移 (8/23~10/5)

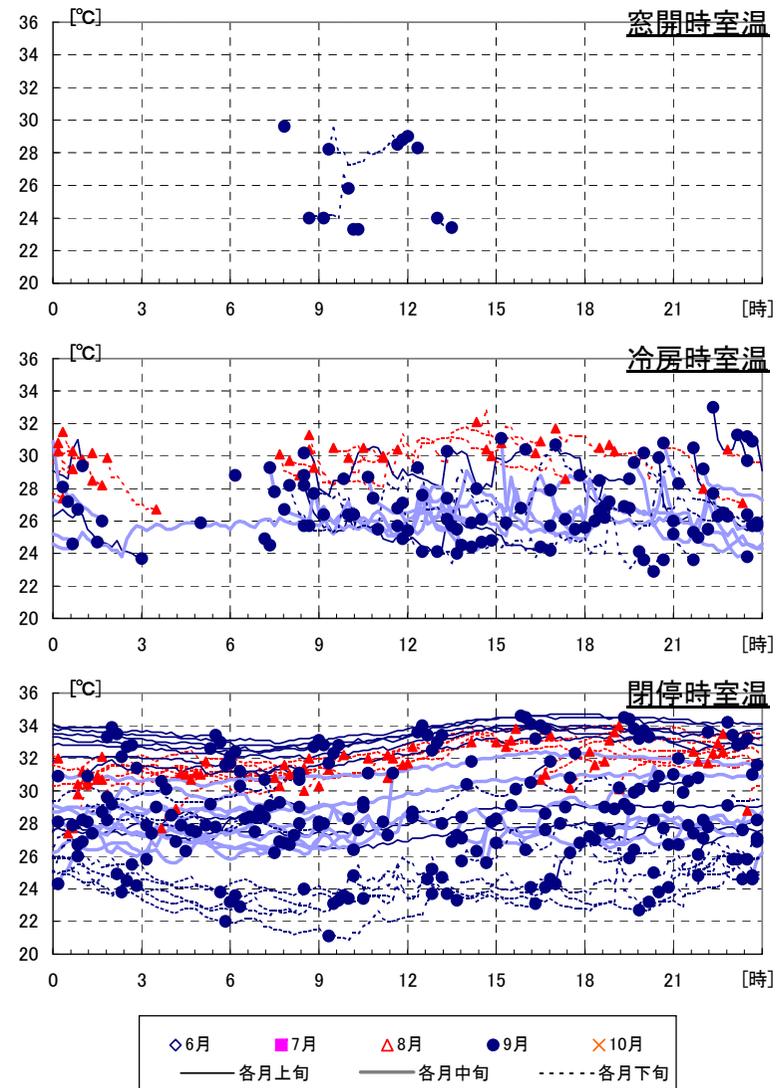


図 7.1.5.8 【住戸⑧】 各モードでの室温の推移 (8/25~9/29)

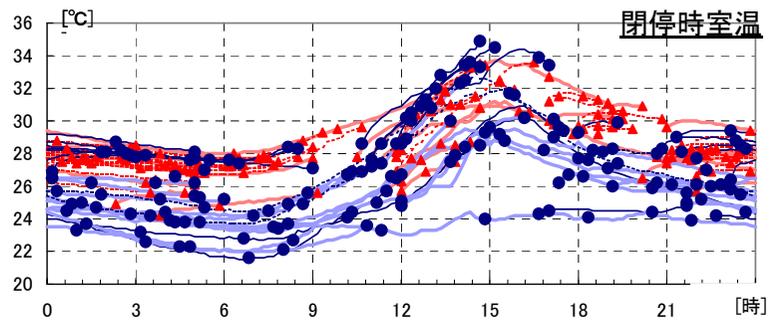
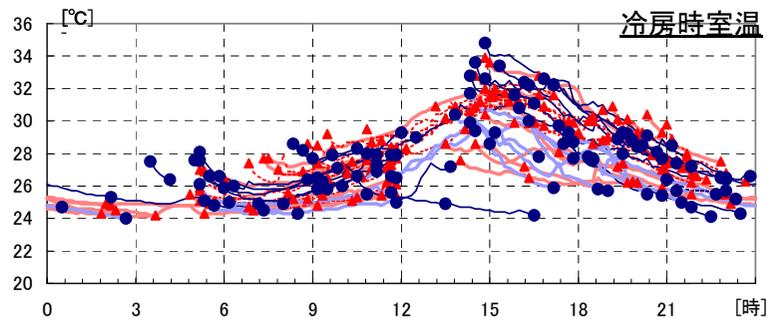
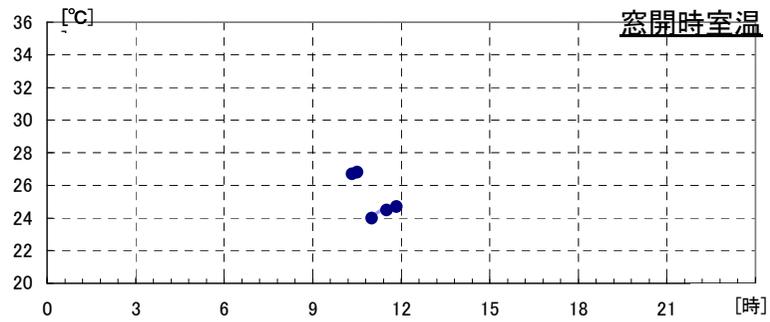


図 7.1.5.9. 【住戸⑨】 各モードでの室温の推移 (8/11～9/22)

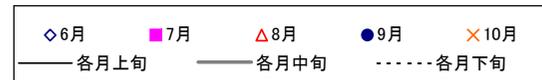
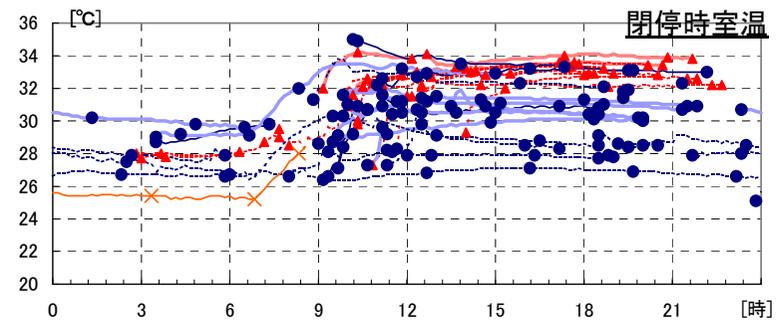
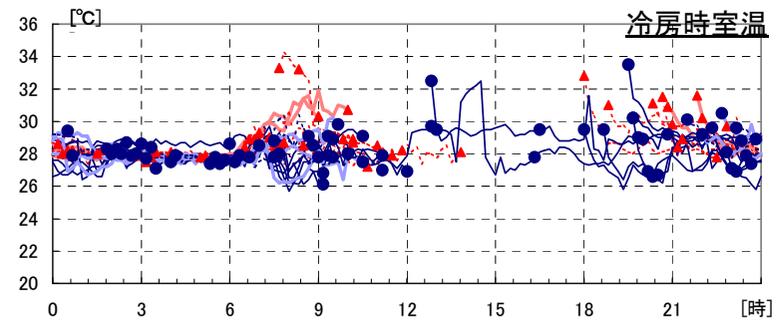
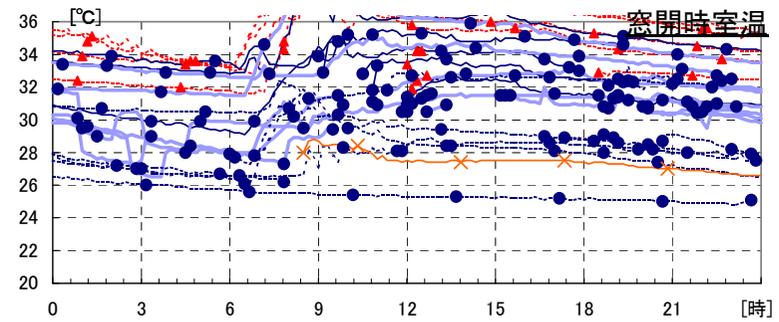


図 7.1.5.10. 【住戸⑩】 各モードでの室温の推移 (8/19～10/1)

#### 7.1.6 まとめ

冷房開始温度、冷房時の室温、窓開け上限温度等の冷房の使い方や窓の開け方についての知見を得るために、窓開け行為と冷房の使い方に関する実態調査を実施した。

窓開け行為や冷房の使い方に影響を及ぼす要因を整理して本調査の検討範囲を明確にし、窓の開閉、冷房の稼働非稼働と室温の関係を経時的に検討できるように調査手法を構築し、調査を実施した。窓開け行為・冷房の使い方と室温の関係から各住戸の特徴を分析し、冷房開始温度、冷房時の室温、窓開け上限温度といった閾値となる温度をまとめた。

## 7.2 家庭用マルチエアコンの省エネルギー性能に関する評価実験

### 7.2.1 実験目的

家庭用マルチエアコンの省エネルギー性能に、負荷や外気気候条件、運転設定等が与える影響について把握し、運転性能を予測する計算モデルを開発するのに十分なデータを取得することを目的とする。

### 7.2.2 実験概要

建築研究所内の環境試験室内に室内機2台を設置した。室外機は試験室の外に設置し、その周囲温湿度条件は成り行きとした。測定した試験機の概要を下表に示す。詳細な仕様は次ページに示す。

表 7.2.2.1 測定した機器の仕様

計測対象機種：	室外ユニット（ダイキン製 2M45GV）
	冷房： 定格能力 4.5kW， 定格消費電力 1.09kW
	暖房： 定格能力 6.0kW， 定格消費電力 1.46kW
	室内ユニット 室A（ダイキン製 C40HTV-W：4.0kWクラス）
	室B（ダイキン製 C22HTV-W：2.2kWクラス）



## 2室用 室内機を2台まで接続できます。

(室内機は、必ず2台以上接続してください。)



カラー：ホワイト (5Y 7.5/1)



## ~6.2 kW 室内機の合計能力

### 133 2M45GV 室外電源タイプ 単200V 直結 15A

希望小売価格 **273,000** 円(税抜 260,000円) 配管 長さ ¥4.5X2  
 室外 高さ735・幅826(+73)・奥行300(+50)mm/質量49kg  
 3階建住宅におすすめ 長尺配管50m(2室合計) 最大高低差15m

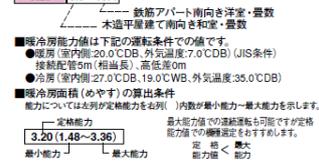
室内機	暖房	5.8 (1.78~7.68)
最大接続時	冷房	4.4 (1.98~4.94)

目標年度 2012年	省エネ基準 達成率	98%	通年エネルギー消費効率	5.3	消費電力量 期間合計(年間)	1,701 kWh
------------	-----------	-----	-------------	-----	----------------	-----------

室外機を屋上に設置する場合は、室内機間の高低差を7.5m以下にしてください。

### ■表の見方

左列の数値は暖房能力(又は冷房能力)kW  
 右列は空間面積のめやす(畳数)をあわらわします。



●暖房能力値は下記の運転条件での値です。  
 ●冷房(室内側)20.0℃DB、外気温度7.0℃DB (JIS条件)  
 ●冷房(室内側)27.0℃DB、外気温度19.0℃WB、外気湿度35.0℃DB

■暖房能力値(めやす)の算出条件  
 能力については左列の数値を名入れ、右列の数値が最小能力・最大能力を示します。  
 最大能力値での運転運転も可能ですが定格能力値での運転をすすめます。

JISの1㎡当りの冷暖房負荷(めやす)(W/㎡)  
 上記数値を畳数換算のため1.65倍した負荷

一戸建木造平屋建南向き和室	暖房	275	冷房	220
鉄筋アパート中間階南向き洋室	暖房	220	冷房	145

室内機の組合せは能力値で表示しています。  
 2.2 → C22HTV 3.2 → C32HTV 5.0 → C50HTV  
 2.8 → C28HTV 4.0 → C40HTV 5.6 → C56JCV  
 その他すべての室内機について同じ要領で読み替えてください。

掲載頁	機種	要目	電源	室内機接続		暖房		冷房		運転音	始動電流	圧縮機出力	ファン電機出力	電源プラグ	接続電線	質量	冷媒配管接続性 (φ Cut)	消費電力量		消費電力量	消費電力量	消費電力量	消費電力量
				相V	kW	総合能力 kW	総合消費電力 W	総合能力 kW	消費電力 W									期間合計(年間) kWh	期間合計(年間) kWh				
2室用	133 2M45GV	単/200	2.2+2.8	6.0 (1.98~2.73)	1,460 (410~2,510)	46	4.5 (1.98~6.93)	1,090 (370~1,950)	45	7.4	1,100	53	15	室外直結	各室に3	49	※ 6.4×2	※ 9.5×2	1,264	437	1,701	5.3	L
				5.80 (1.78~2.68)	1,450 (410~2,540)	44	4.40 (1.98~6.40)	1,040 (370~1,950)	45	7.4	1,100	53	15	室外直結	各室に3	49	※ 6.4×2	※ 9.5×2	1,264	437	1,701	5.3	L
	133 2M53GV	単/200	2.2+3.2	6.8 (1.98~2.90)	1,635 (410~2,340)	47	5.3 (2.10~6.40)	1,395 (400~2,250)	45	8.3	1,100	53	20	室外直結	各室に3	49	※ 6.4×2	※ 9.5×2	1,572	552	2,124	5.0	L
				6.80 (1.98~2.90)	1,635 (410~2,340)	47	5.30 (2.10~6.40)	1,395 (400~2,250)	45	8.3	1,100	53	20	室外直結	各室に3	49	※ 6.4×2	※ 9.5×2	1,572	552	2,124	5.0	L
	133 2M60GV	単/200	2.8+3.2	7.8 (2.40~3.20)	1,860 (440~3,260)	48	6.0 (2.20~7.90)	1,735 (400~2,750)	48	9.4	1,100	53	20	室外直結	各室に3	49	※ 6.4×2	※ 9.5×2	1,845	660	2,505	4.8	L
7.80 (2.40~3.20)				1,860 (440~3,260)	48	6.00 (2.20~7.90)	1,735 (400~2,750)	48	9.4	1,100	53	20	室外直結	各室に3	49	※ 6.4×2	※ 9.5×2	1,845	660	2,505	4.8	L	
133 2M68HV	単/200	2.8+4.0	8.6 (2.40~3.48)	2,140 (410~3,260)	49	6.8 (2.20~7.10)	1,890 (380~2,750)	48	10.8	1,380	53	20	室外直結	各室に3	55	※ 6.4×2	※ 9.5×2	2,427	697	3,124	4.3	L	
			8.60 (2.40~3.48)	2,140 (410~3,260)	49	6.80 (2.20~7.10)	1,890 (380~2,750)	48	10.8	1,380	53	20	室外直結	各室に3	55	※ 6.4×2	※ 9.5×2	2,427	697	3,124	4.3	L	
3室用	133 3M68HV	単/200	2.2+2.2+2.8	8.6 (2.20~3.52)	1,950 (510~2,440)	49	6.8 (2.20~8.10)	1,510 (380~2,150)	48	9.8	1,380	53	20	室外直結	各室に3	56	※ 6.4×3	※ 9.5×3	2,220	593	2,813	4.8	L
				8.58 (2.20~3.52)	1,940 (510~2,440)	49	6.60 (2.20~7.60)	1,470 (380~2,150)	48	9.8	1,380	53	20	室外直結	各室に3	56	※ 6.4×3	※ 9.5×3	2,220	593	2,813	4.8	L
4室用	133 4M80CV	単/200	2.2+2.2+2.2+2.2	9.4 (2.20~3.52)	2,080 (510~3,140)	49	8.0 (2.20~3.80)	2,150 (400~2,840)	48	10.9	1,380	51	20	室外直結	各室に3	73	※ 6.4×4	※ 9.5×4	2,698	864	3,562	4.5	M
				9.40 (2.20~3.52)	2,080 (510~3,140)	49	8.00 (2.20~3.80)	2,150 (400~2,840)	48	10.9	1,380	51	20	室外直結	各室に3	73	※ 6.4×4	※ 9.5×4	2,698	864	3,562	4.5	M

注●システムマルチ室外機の総合能力・総合消費電力は、上段は(社)日本冷凍空調工業会による室内機組合せ、下段は省エネルギー法による室内機組合せ接続時の数値、また始動電流は最大値を表示しています。  
 ●室外機の配管長は出荷のもの。●冷媒の冷媒配管には断熱が必要。●電源プラグ容量の「良結」は、室外機の電源端子数容量を表示しています。ブレーカー容量については、電気設備技術基準および内線規定に従い選定してください。また、必ず単相200Vは専用回路としてください。  
 改良のため仕様などを予告なしに変更することがありますので、ご了承ください。

### ■2M45GV

室内機組合せ	室内暖房能力(外気7℃)(kW)			室内暖房能力(外気2℃)(kW)			電気特性	
	A室	B室	合計能力	A室	B室	合計能力	運転音(A)	消費電力(W)
1	2.2	3.20	7.1~8.8	2.80	2.80	4.9(14.0)	960(350~1180)	2.20(1.88~2.67)
	2.8	4.00	8.8~11.0	3.46	3.46	6.9(14.0)	1370(350~1680)	2.6
	3.2	4.50	9.9~12.4	3.86	3.86	7.4(14.0)	1470(350~1760)	3.0
2	2.2+2.2	2.90	6.4~8.0	2.78	2.78	5.57	7.3(14.0)	1450(410~2340)
	2.2+2.8	2.64	5.9~7.3	2.46	3.14	5.60	7.4(14.0)	1460(410~2310)
	2.2+3.2	2.44	5.4~6.7	2.36	3.44	5.80	6.9(14.0)	1360(410~2340)
3	2.2+4.0	2.13	4.7~5.9	2.08	3.78	5.86	6.9(14.0)	1360(410~2340)
	2.8+2.8	3.00	6.8~8.3	2.90	2.90	5.80	7.4(14.0)	1460(410~2390)
	2.8+3.2	2.80	6.2~7.7	2.72	3.11	5.83	6.9(14.0)	1360(410~2340)

室内機組合せ	室内冷房能力(kW)			電気特性	
	A室	B室	合計能力	運転音(A)	消費電力(W)
1	2.2	2.20	6.1~6.2	2.20	2.20(1.88~2.67)
	2.8	2.80	7.7~11.7	2.6	2.6(1.88~3.34)
	3.2	3.20	8.8~13.4	3.0	3.0(1.88~3.89)
2	2.2+2.2	2.20	6.1~8.2	2.20	2.20(1.88~2.67)
	2.2+2.8	1.98	5.5~8.3	2.52	2.52(1.88~3.02)
	2.2+3.2	1.83	5.0~7.7	2.67	2.67(1.88~3.41)
3	2.2+4.0	1.60	4.4~6.7	2.20	2.20(1.88~2.67)
	2.8+2.8	2.25	6.2~9.4	2.25	2.25(1.88~2.67)
	2.8+3.2	2.10	5.8~8.8	2.40	2.40(1.88~2.67)

### 7.2.3 実験概要

建築研究所内の環境試験室の3階の1区画をパーティションで2部屋（室A・室B：両部屋とも概ね床面積30m<sup>2</sup>）に区切り、それぞれの部屋に室内機を設置した。室外機は1階屋上に1台設置した。そのため、室内機と室外機は1フロア以上の高低差が生じている。これらの位置関係および部屋の状況、室内機、室外機の設置状況を下図に示す。



図 7.2.3.1 室内機および室外機の位置関係



図 7.2.3.2 室外機



図 7.2.3.3 室内機



図 7.2.3.4 室内機 (室A)



図 7.2.3.5 室内機 (室B)



図 7.2.3.6 室Aの様子



図 7.2.3.7 室Bの様子

#### 7.2.4 測定点

室内機および室外機まわりの温湿度の測定点を下図に示す。住宅事業建築主の判断の基準において、ルームエアコンディショナーの部分負荷効率曲線は冷媒温度から計算した結果を用いており、今回計測している住宅用マルチエアコンについてもヒートポンプ機器としてのメカニズムは同じであることが予想されるため、蒸発器・凝縮器、圧縮機前後等の冷媒の温度を計測した。室内機で処理された熱負荷を計算するために、吹き出しと吸込の温湿度を計測した。吹き出し風は水平方向に温度分布があることが予想されたため、温度のみ水平方向に3点計測した。その他、

室内機からの吹き出し風量を予測するために、吹き出しファンの回転数を計測した。後述するように、吹き出しファンの回転数と吹き出し風量との関係を別途実験により求めておき、本実験ではファンの回転数のみを計測することにより、吹き出し風量を求めた。その他、システム全体の消費電力を計測した。

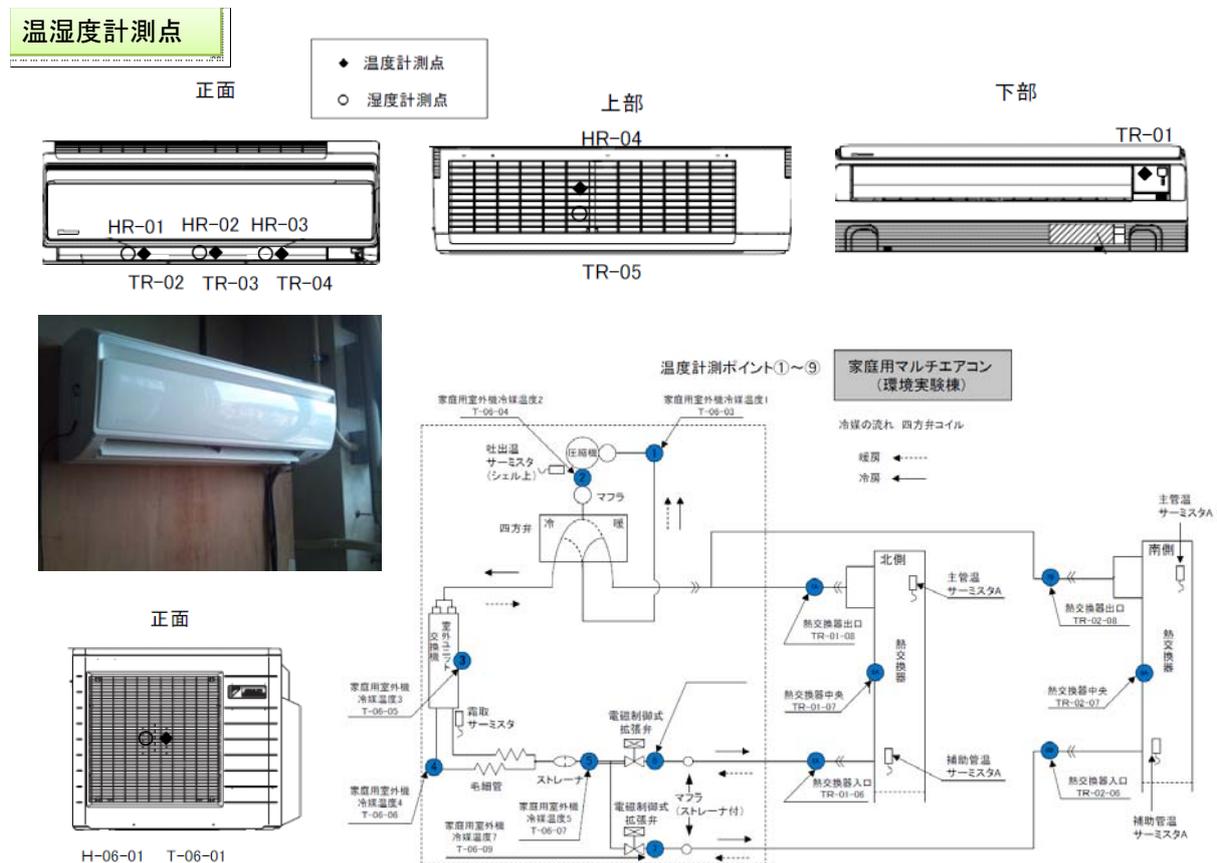


図 7.2.4.1 室内機・室外機における温湿度測定点

### 7.2.5 計測期間

運転は24時間暖冷房運転を行い、設定の変更は行わなかった。測定データは下記の期間取得した。

夏期：平成22年8月15日～平成22年9月25日

冬期：平成22年12月1日～平成23年2月20日

### 7.2.6 室内機の吹き出しファンの回転数と風量の関係

室内機で処理される熱量を計算するには、吸込と吹き出しのエンタルピー差に加えて吹き出し風量を精度良く求めることが不可欠である。このために、風量計を取り付けることが考えられるが、風量計を取り付けることで圧力損失が生じ、吹き出し風量が減少してしまい、能力および効

率が実際の運転よりも低下してしまう。そこで、吹き出しファンの回転数を計測し、別途室内機の吹き出しファンの回転数と吹き出し風量との関係を計測することとした。

#### 7.2.6.1 測定方法

吹き出し風量は下図に示すようなボックスを吹き出し口に取り付け、吹き出し風量を計測した。吹き出し風量の計測には住宅用気密測定器の風量測定部分を使用した。風量測定方式はピトー管である。吹き出し風量を収集するボックスおよび気密測定器に圧損が生じ風量が低下するため、この圧損をキャンセルするために収集ボックス内外の差圧が0になるように、気密測定器のファンを用いて吹き出し空気を強制的に収集ボックスから排気するようにした。



図 7.2.6.1 風量測定ボックスを吹き出し口に取り付けたところ



図 7.2.6.2 風量測定ボックスを吹き出し口に取り付けたところ



図 7.2.6.3 風量測定ボックスを取り付けたところ



図 7.2.6.4 風量測定ボックスを吹き出し口に取り付け気密測定器により風量測定を実施しているところ



図 7.2.6.5 風量測定ボックスを吹き出し口に取り付け気密測定器により風量測定を実施しているところ

### 7.2.6.2 測定結果

測定結果を下表、下図に示す。回転数と風量の関係式は一次関数で近似した。本実験で風量を求める際にはここで作成した関係式を用いる。

表 7.2.6.1 測定結果（北側RAC1）

	運転モード	室温設定	風量設定	回転数 [rpm]	風量 [m <sup>3</sup> /h]		フード圧損 [Pa]	備考
					圧力補償なし	圧力補償あり		
10:20	送風		極微(1)	888	圧力補償なし	183	-4.7	
					圧力補償あり	358	0	
10:25	送風		微(2)	996	圧力補償なし	204	-5.8	
					圧力補償あり	410	0	
10:30	送風		弱(3)	1092	圧力補償なし	240	-7.9	
					圧力補償あり	460	0	
10:35	送風		中(4)	1188	圧力補償なし	285	-9.1	
					圧力補償あり	512	0	
10:40	送風		強(5)	1296	圧力補償なし	316	-11.3	
					圧力補償あり	569	0	
10:55	暖房	30℃	強(5)	1332	圧力補償なし	302	-12.6	参考値
					圧力補償あり	572	0	

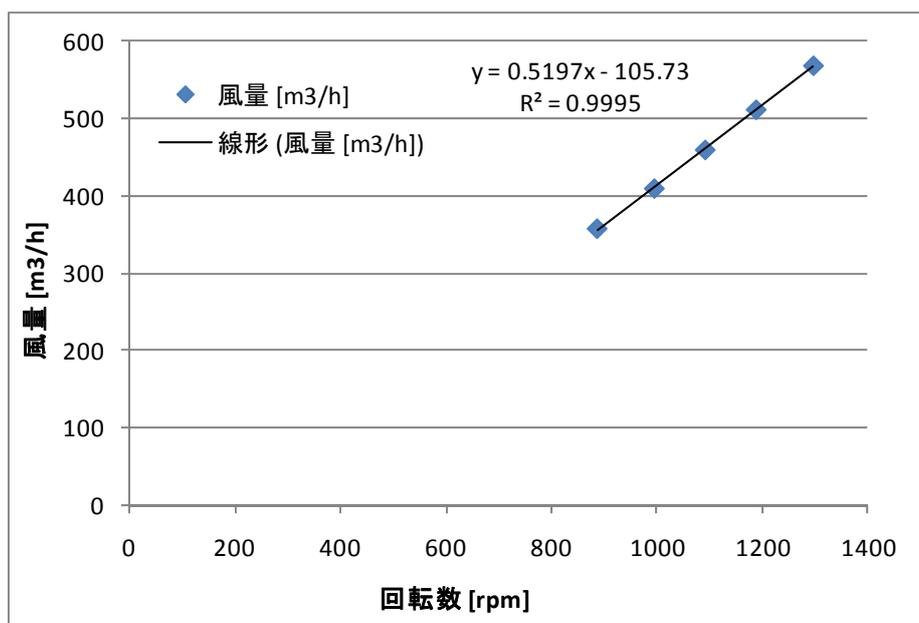


図 7.2.6.6 測定結果（北側RAC1）

表 7.2.6.2 測定結果（北側RAC1）

	運転モード	室温設定	風量設定	回転数 [rpm]	風量 [m³/h]		フード圧損 [Pa]	備考
					圧力補償なし	圧力補償あり		
11:43	送風		極微(1)	876	152	327	-4.3	
							0	
11:46	送風		微(2)	948	196	359	-5.5	
							0	
11:48	送風		弱(3)	1032	241	389	-6.3	
							0	
11:50	送風		中(4)	1104	265	442	-7.3	
							0	
11:52	送風		強(5)	1188	285	477	-9.1	
							0	

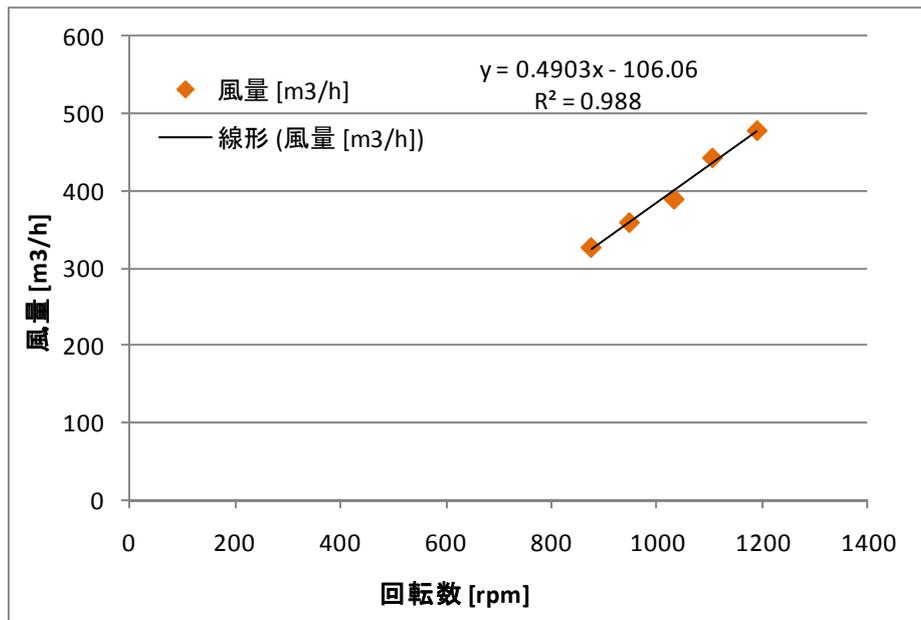


図 7.2.6.7 測定結果（北側RAC1）

### 7.2.7 試験結果

試験結果を収集し、1日ごとのデータとして取り纏めた。例を以下に示す。

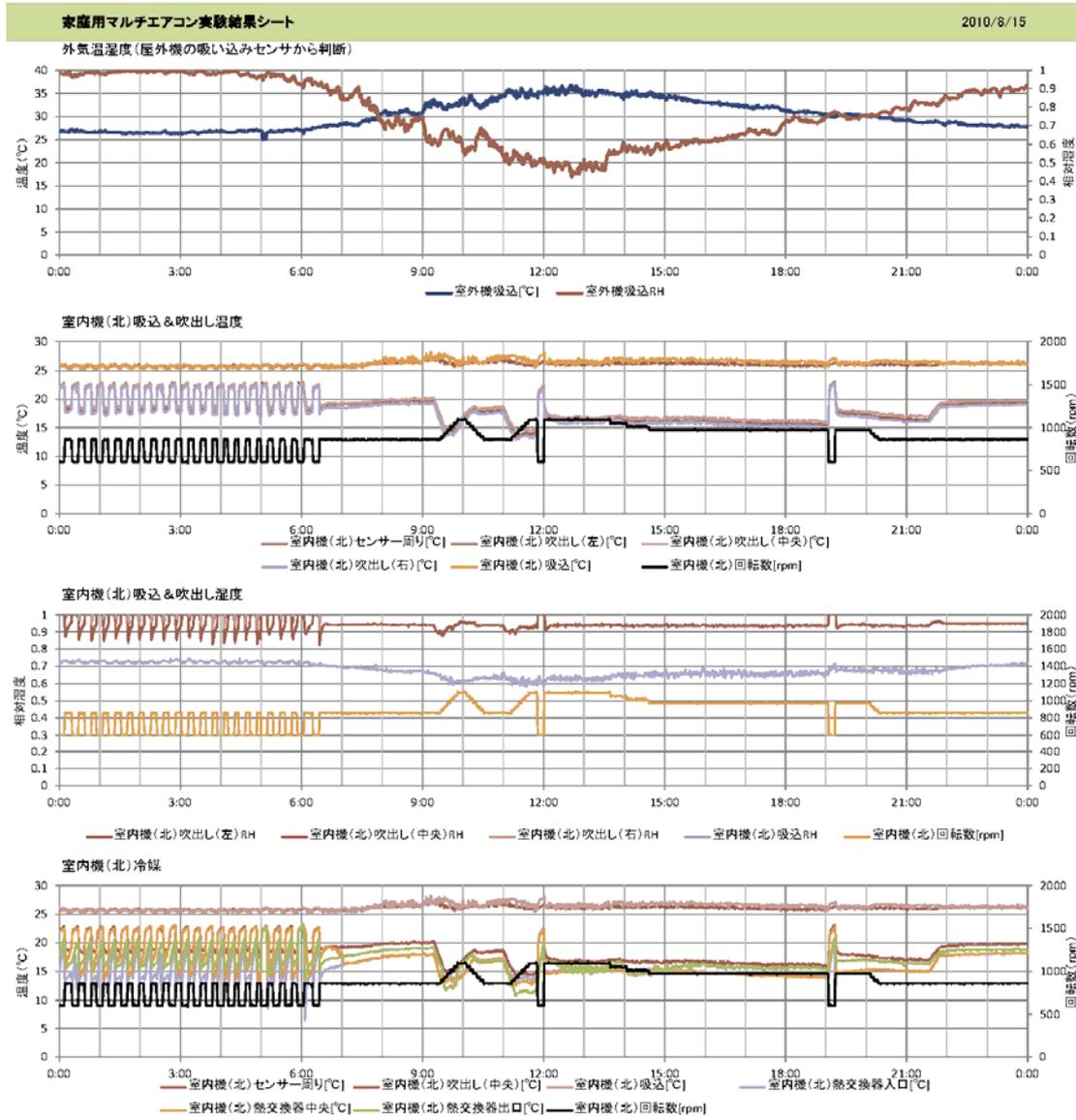


図 7.2.7.1 測定結果例 (2110/8/15(1))

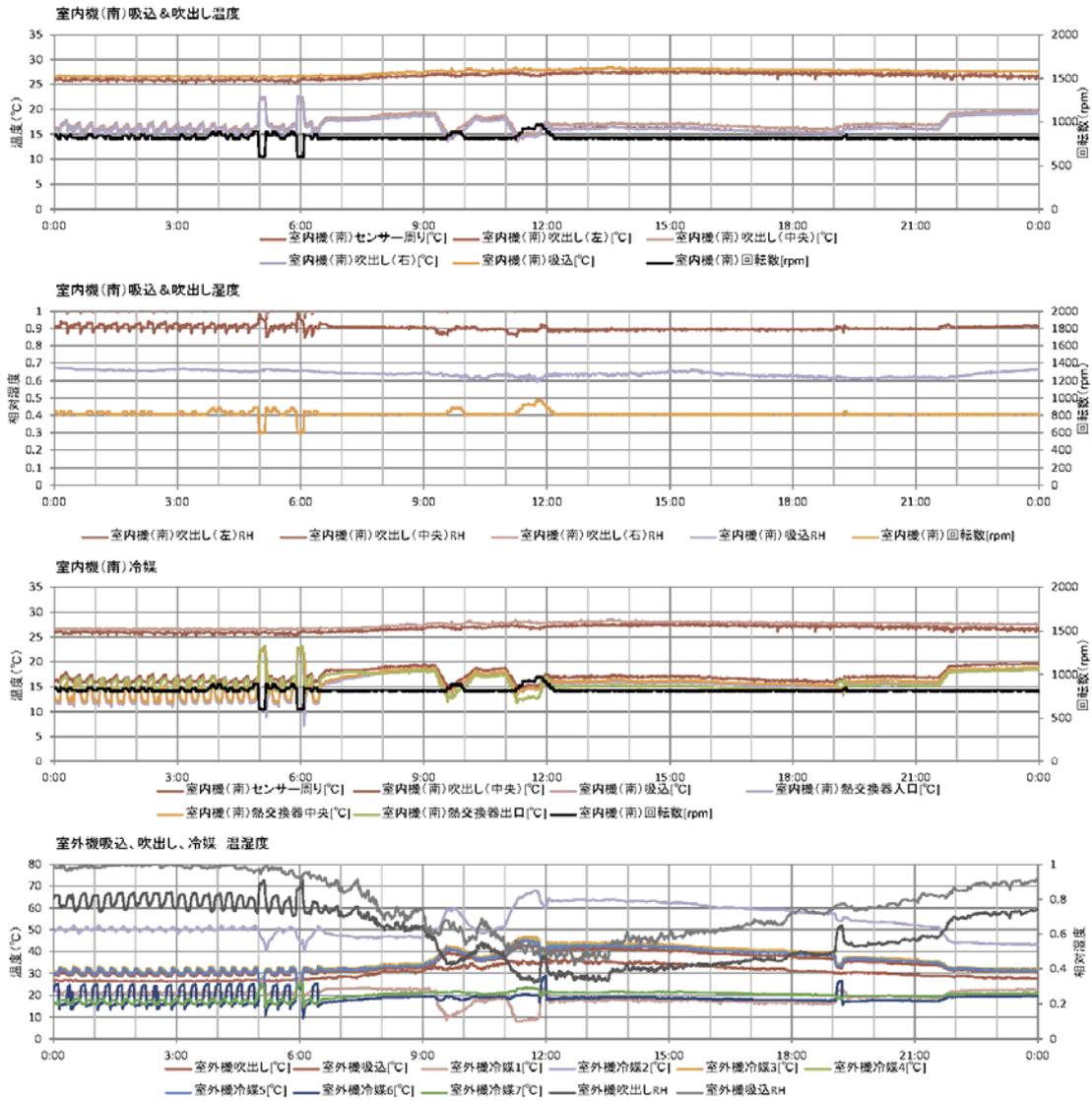


図 7.2.7.2 測定結果例 ( 2 1 1 0 / 8 / 1 5 ( 2 ) )

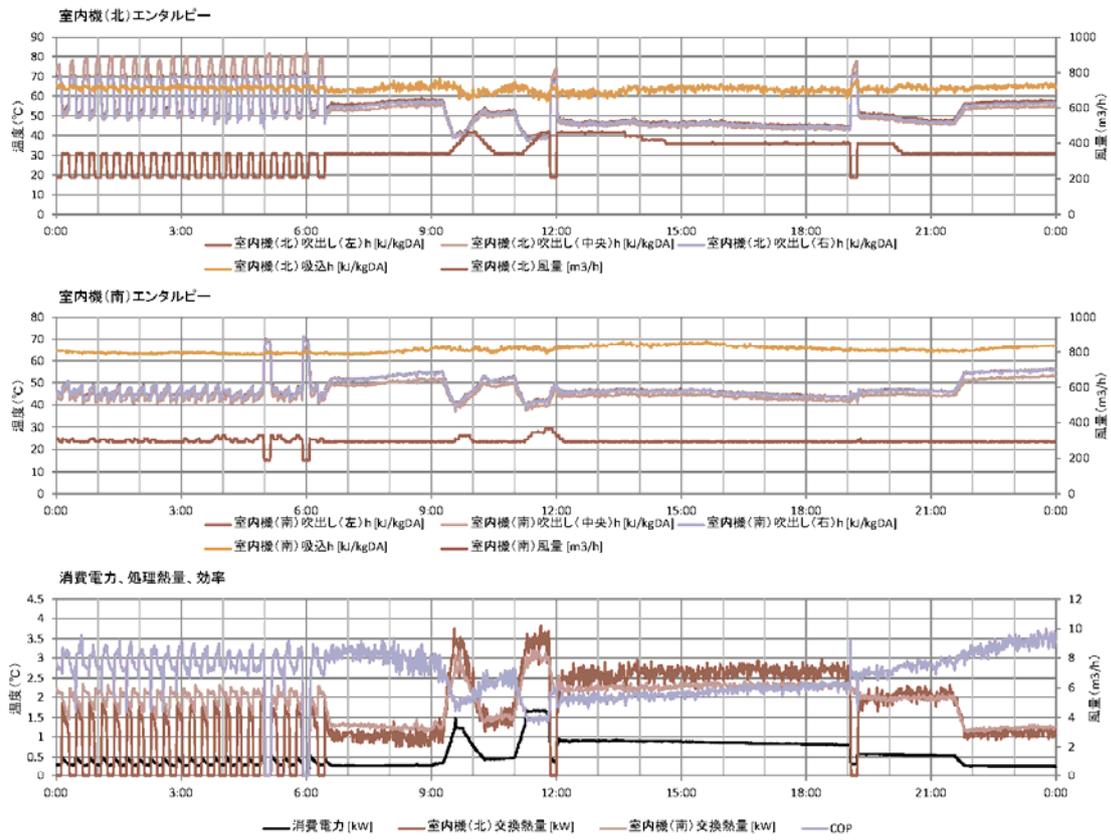


図 7.2.7.3 測定結果例 (2110/8/15 (3))

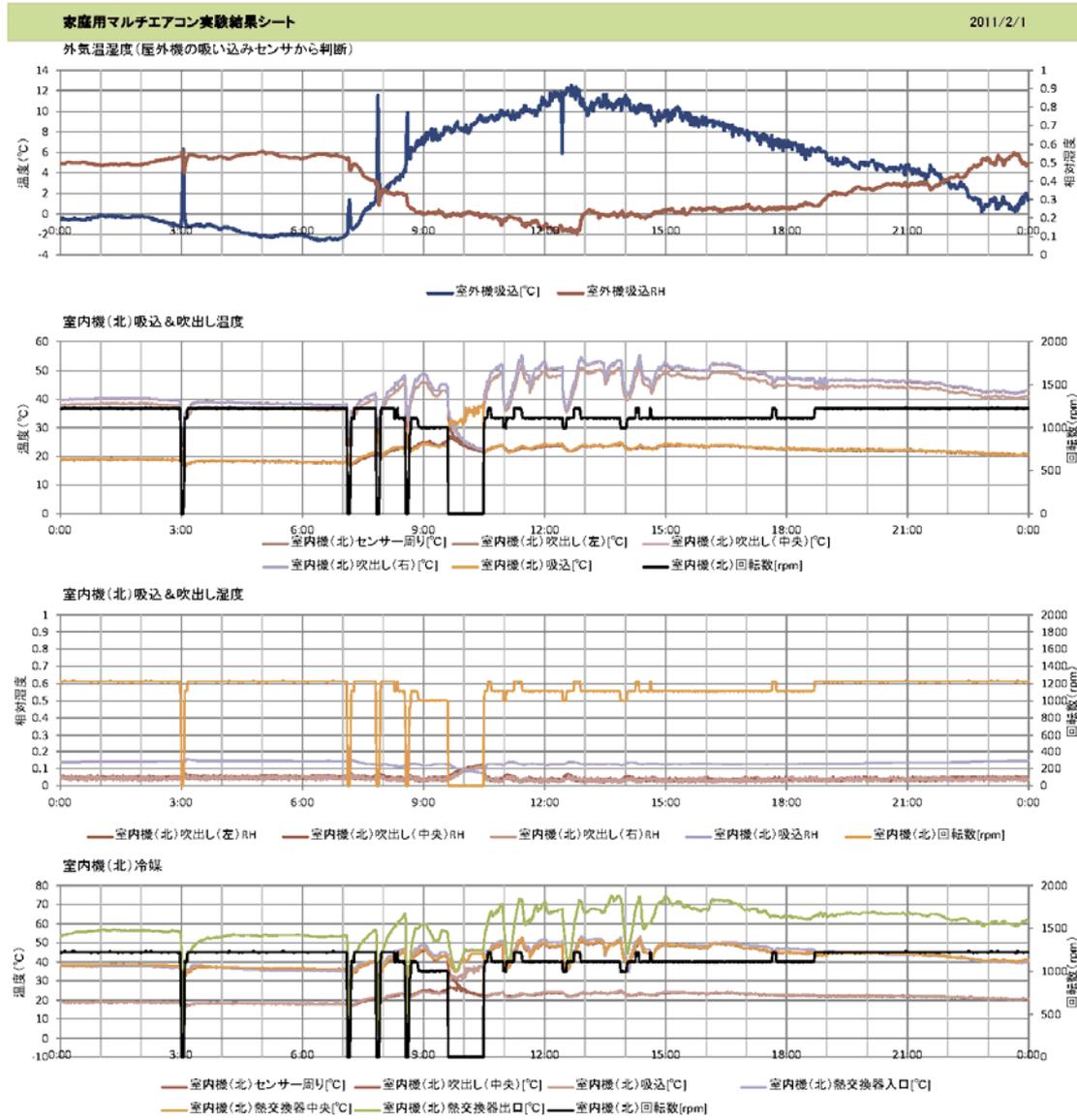


図 7.2.7.4 測定結果例 (2111/2/1 (1))

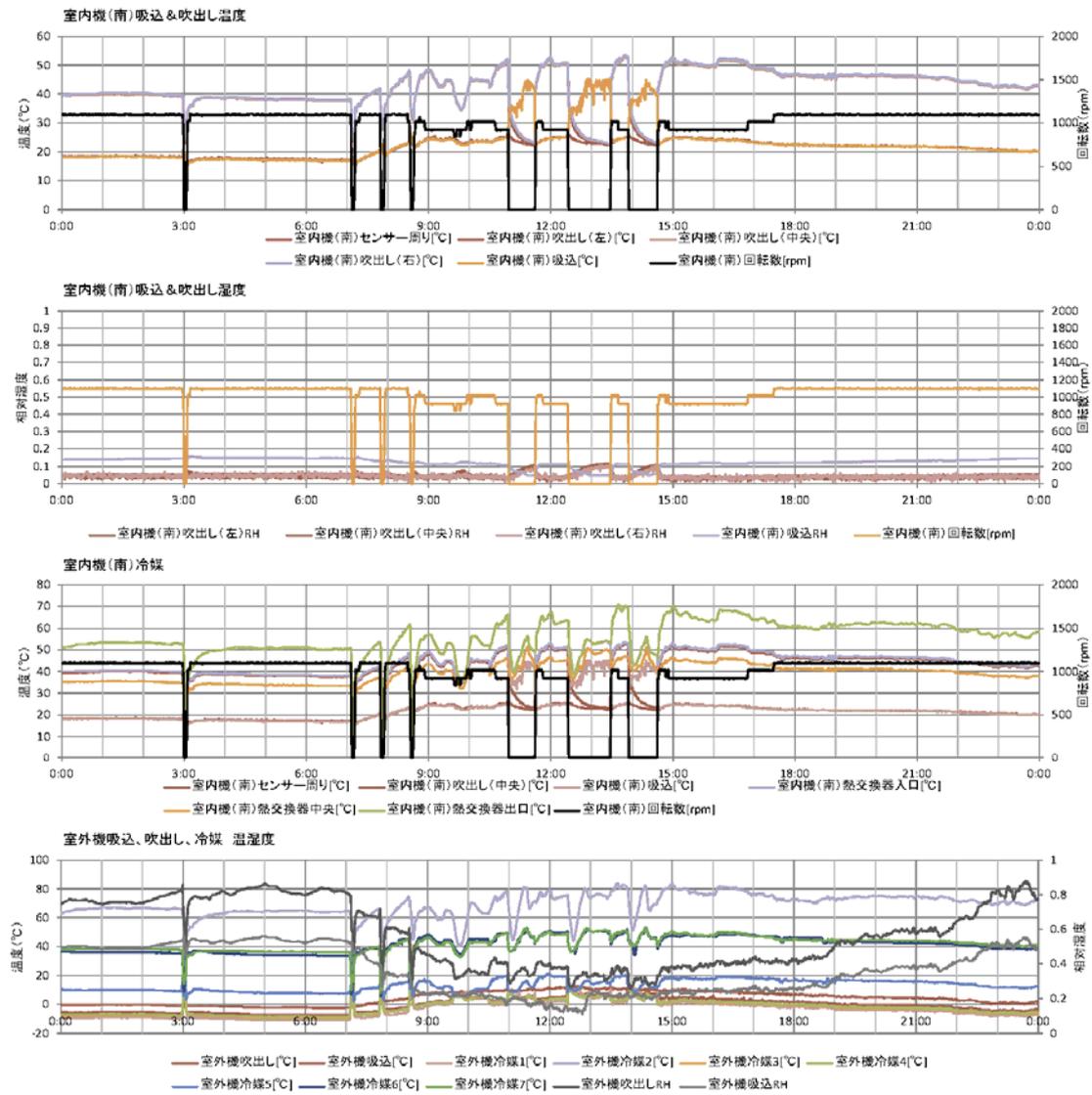


図 7.2.7.5 測定結果例 (2 1 1 1 / 2 / 1 (2))

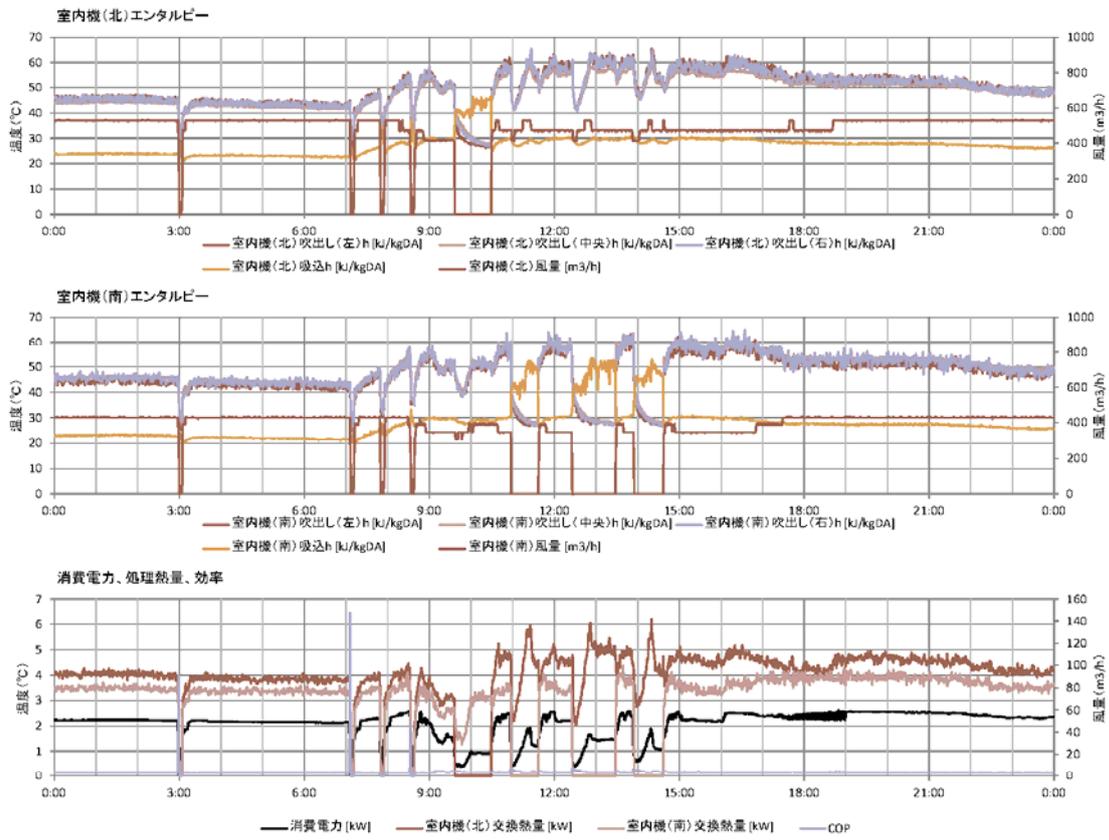


図 7.2.7.6 測定結果例 (2 1 1 1 / 2 / 1 (3))

### 7.3 床下放熱に関する調査

#### 7.3.1 目的

集合住宅における床暖房システムの熱収支について、2次元非定常熱伝導解析を行い、以下の2点を把握することを目的とする。

- ・ 床暖房からの供給熱量が、対象室、下階、屋外へどの程度の割合で熱伝達するのかを把握する。
- ・ 実際の運転スケジュールを想定した場合に、床暖房開始からの床スラブへの吸熱量の推移を把握する。

#### 7.3.2 解析の概要

##### 7.3.2.1 床暖房システムの熱収支

本解析では、図 7.3.2.1に示す床暖房システムの熱収支を取り扱う。床暖房から供給された熱量は、まず躯体に蓄熱され、暖房対象室である上面、下階室である下面、および外気へ放熱される。

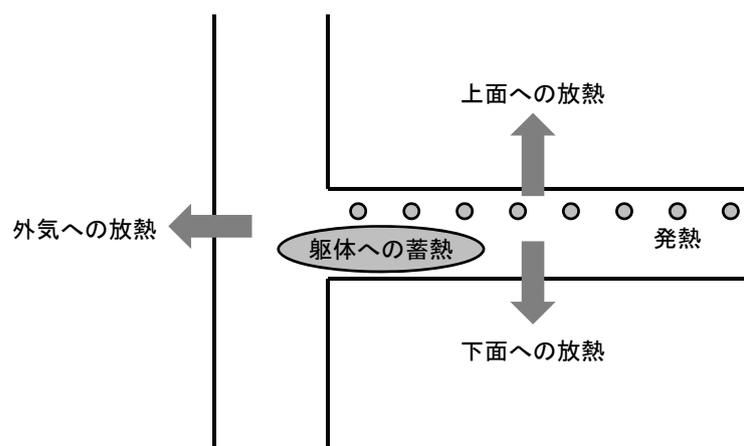


図 7.3.2.1 床暖房システムの熱収支

##### 7.3.2.2 床暖房システムの性能に影響する因子

床暖房システムの性能に影響する因子として表 7.3.2.1に示す項目を取り上げ、熱収支にどのように影響するのかについて感度解析を行った。システム側条件である送水温度・発熱量や制御方法については、床暖房方式ごとに定めている。

表 7.3.2.1 床暖房システムの性能に影響する因子

分類	影響因子
システム側条件	送水温度・発熱量 制御方法（ON-OFF時間・ホットダッシュなど） 床暖房パネル下の断熱材厚さ
気象条件	外気温

### 7.3.3 解析方法

#### 7.3.3.1 基礎方程式

解析は以下の基礎方程式に後退差分を適用して行う。

基礎方程式：

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) + \frac{Q}{\rho c} \quad \text{数式 7.3.3.1}$$

$$a = \frac{\lambda}{\rho c}$$

差分式：

$$T_{i,j}^{k+1} = \frac{1}{1+2c_x+2c_y} \left\{ c_x (T_{i+1,j}^{k+1} + T_{i-1,j}^{k+1}) + c_y (T_{i,j+1}^{k+1} + T_{i,j-1}^{k+1}) + T_{i,j}^k + c_q Q \right\} \quad \text{数式 7.3.3.2}$$

$$c_x = \frac{a\Delta t}{\Delta x^2}, \quad c_y = \frac{a\Delta t}{\Delta y^2}, \quad c_q = \frac{\Delta t}{\rho c}$$

ここで、

$T$ ：温度 [°C]、 $t$ ：時間 [s]、 $x, y$ ：座標 [m]、 $Q$ ：発熱密度 [W/m<sup>3</sup>]、

$\rho$ ：密度 [kg/m<sup>3</sup>]、 $c$ ：比熱 [J/kgK]、 $\lambda$ ：熱伝導率 [W/mK]

添え字

$i, j$ ：座標を表すインデックス、 $k$ ：経過時間を表すインデックス

#### 7.3.3.2 Excelを用いた熱伝導解析の方法

本解析では、Excelの「循環参照」機能を利用する。「循環参照」機能を利用すると、計算領域の各セルに入力された連立方程式から、反復計算によって収束解を求めることができる。解析に必要なパラメータなどは別のシートに別途保持しておく。

また、図 7.3.3.1のように、計算領域に条件付き書式を設定しておくこと、現象を視覚的に瞬時に把握できる利点がある。

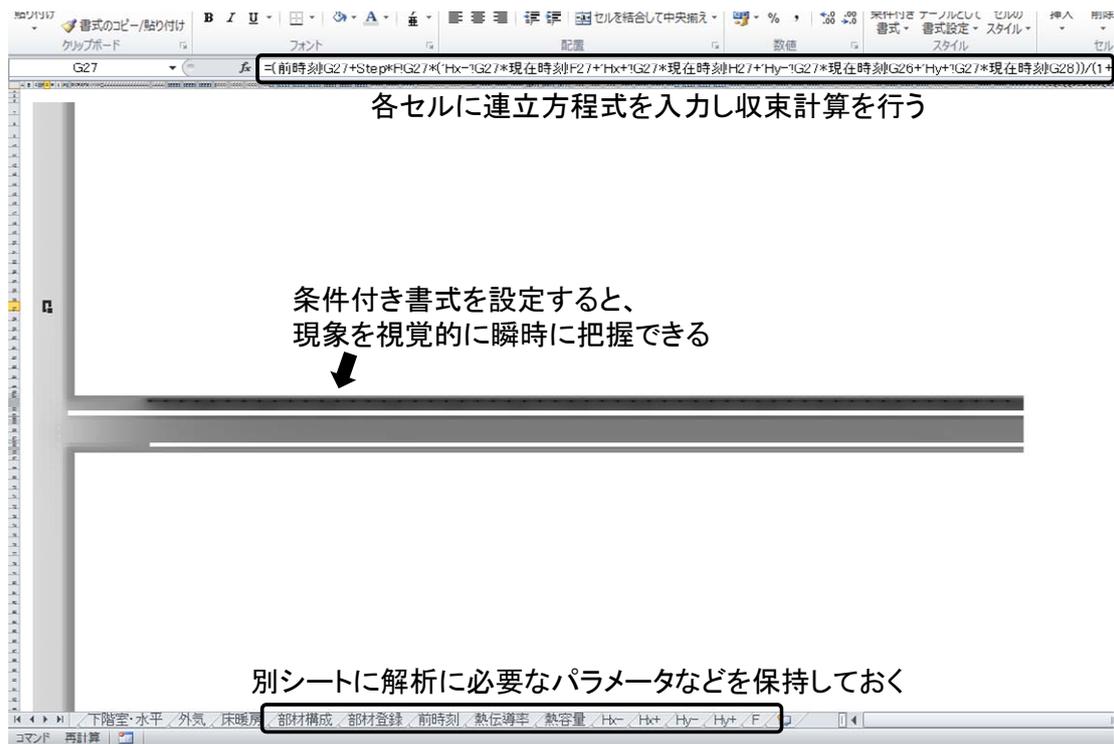


図 7.3.3.1 Excellによる2次元熱伝導解析の例

### 7.3.3.3 放熱量の推定方法

躯体表面からの放熱量は、床暖房システムを導入した場合と導入しない場合の2ケースの解析を行い、両者の躯体表面放熱量の差を取ることで推定する。

$$\text{放熱量} = \text{床暖房を導入した場合の放熱量} - \text{床暖房を導入しない場合の放熱量} \quad \text{数式 7.3.3.3}$$

### 7.3.4 解析モデル

図 7.3.4.1に境界条件と室寸法を示す。本モデルでは、解析対象として集合住宅の中間階を想定した。室寸法は、高さ3,000mm（暖房対象室と下階室各1,500mm）、幅4,550mmとした。また、暖房対象室と下階室の室温および外気温は一定として、熱伝達により躯体表面との熱の授受を行うものとした。

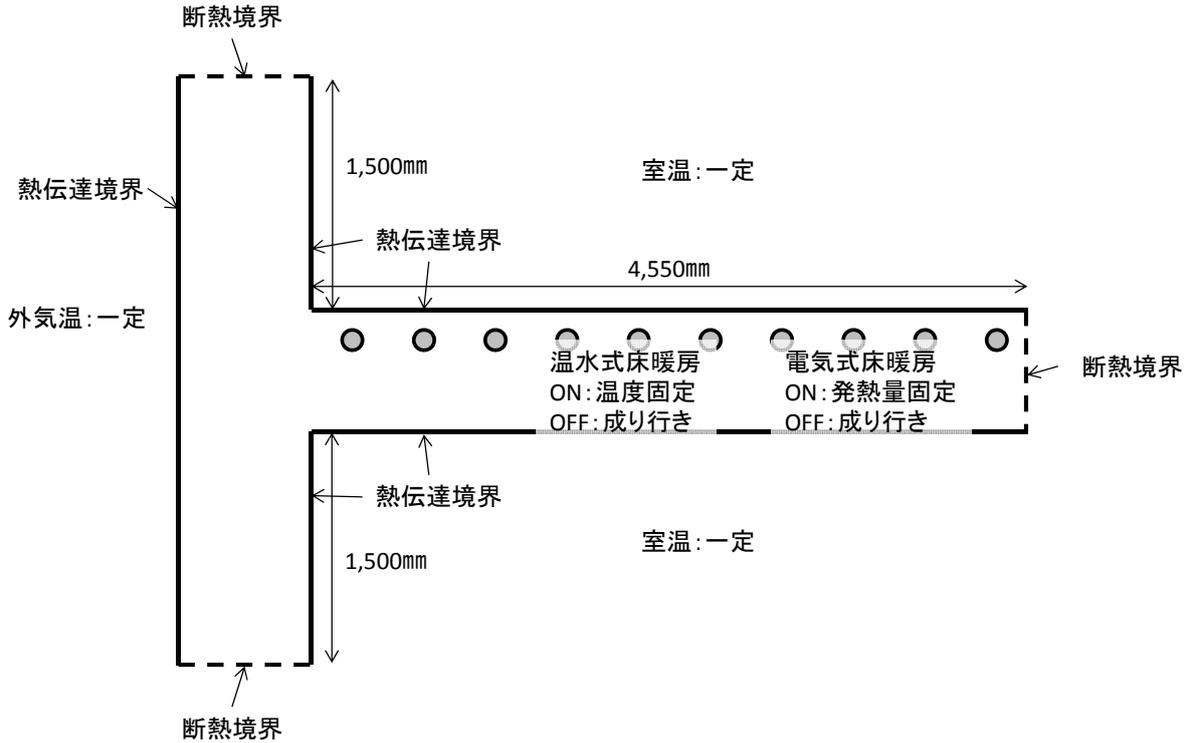


図 7.3.4.1 境界条件と室寸法

床暖房システムについては、温水式の場合は温水を循環している間は送水温度に固定、電気式の場合は電熱線が発熱している間は発熱量を固定し、その他の時間は周囲との熱伝導により成り行きで温度が変化するものとした。床暖房のON-OFF制御は表 7.3.4.1に示した周期で行う。また、計算は1分間隔で行い、定常状態に達した時点で打ち切るものとする。定常状態は、現在時刻とON-OFF運転の1サイクル前（連続運転では10分前）の暖房対象室、下階室および外壁の放熱量の変化率がそれぞれ0.1%以下の状態とした。

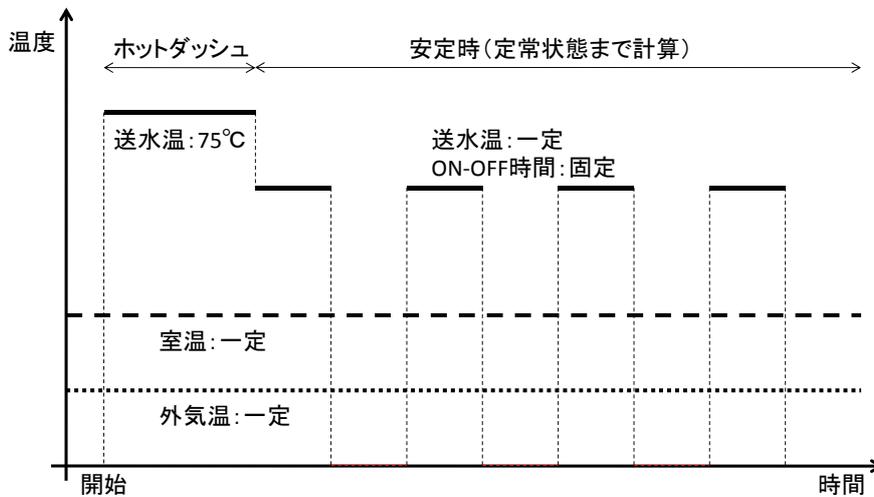
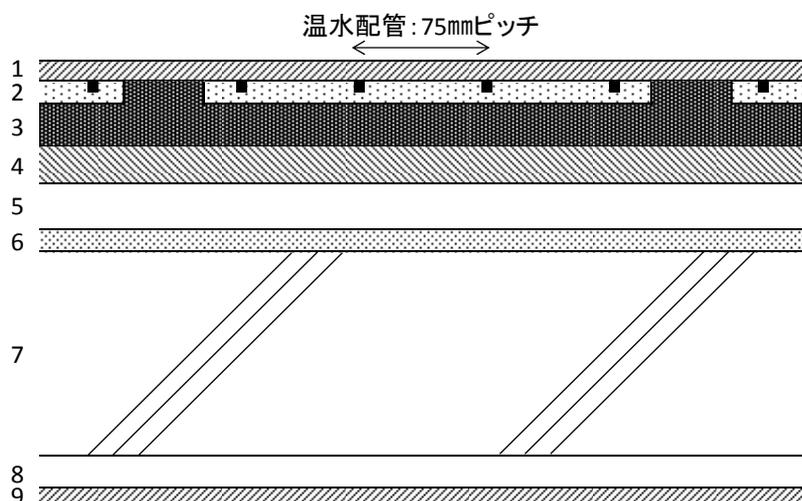


図 7.3.4.2 床暖房システムの解析条件

表 7.3.4.1 床暖房システムの解析条件

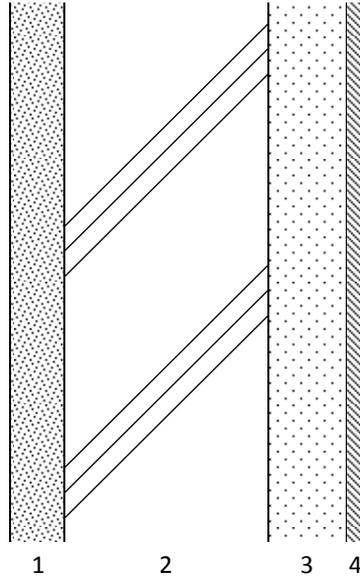
条件	ホットダッシュ	安定時		室内温度	外気温度
		出力	制御方法		
ベースケース (床暖房なし)	-	-	-	20°C	-5°C 0°C 5°C
ガス温水式 (高温)	75°C (30分間)	60°C	ON : 10分 OFF : 10分		
ガス温水式 (低温)	75°C (30分間)	40°C	ON : 10分 OFF : 10分		
石油温水式	-	60°C	ON : 30分 OFF : 30分		
電気HP式 (高温)	-	55°C	連続運転		
電気HP式 (低温)	-	35°C	連続運転		
電気ヒータ式	-	XX W	ON : 7分 OFF : 3分		

図 7.3.4.3～図 7.3.4.5に各部位の部材構成を示す。温水配管は一般的な床暖房パネルを想定して75mmピッチで敷設し、温水の熱伝達率は2,000W/m<sup>2</sup>Kとした。また、熱橋部には外壁から450mmの範囲に断熱補強を施している。



	部材名	厚さ [mm]	熱伝導率 [W/mK]	熱容量 [kJ/m <sup>3</sup> K]
1	床仕上げ材（フローリング）	12	0.190	845.6
2a	床暖房パネル（アルミ箔）	0.5	200.000	2,428.0
2b	床暖房パネル（発砲ポリスチレン）	12	0.037	35.0
3	下地合板	24	0.190	716.0
4	パーティクルボード	20	0.150	715.8
5	空気層	-	0.090 m <sup>2</sup> K/W	-
6	吸音材（ロックウール）	任意	0.038	41.9
7	コンクリート	120	1.600	1,896.0
8	空気層	-	0.090 m <sup>2</sup> K/W	-
9	せっこうボード	10	0.170	1,030.0

図 7.3.4.3 部材構成（床・天井）



	部材名	厚さ [mm]	熱伝導率 [W/mK]	熱容量 [kJ/m <sup>3</sup> K]
1	モルタル	20	1.512	1,591.0
2	コンクリート	120	1.600	1,896.0
3	押出法ポリスチレンフォーム3種	35	0.028	25.1
4	せっこうボード	10	0.170	1,030.0

図 7.3.4.4 部材構成（外壁）

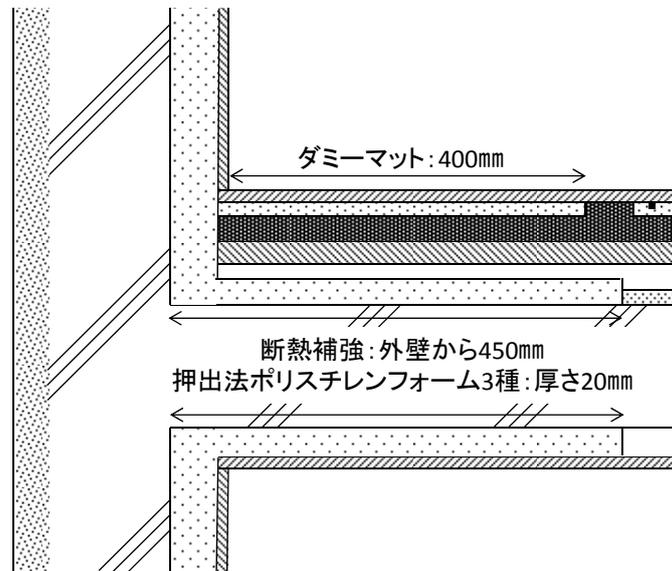


図 7.3.4.5 部材構成（熱橋部）

Excelへの部材構成の入力はセルの色の塗分けで行う。セルの色と部材名を対応させることにより、各セルの物性値を取得する。

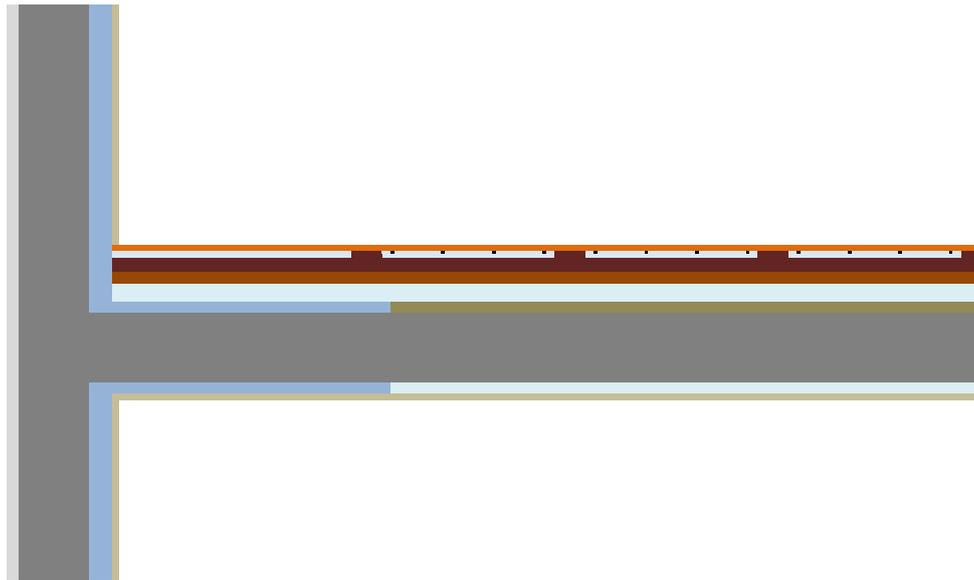


図 7.3.4.6 部材構成をExcelに入力した状態

### 7.3.5 解析結果

#### 7.3.5.1 床暖房システムの再現状況

図 7.3.5.1に平均床表面温度の推移を示す。ホットダッシュや10分間隔でのON-OFF運転が再現できていることがわかる。

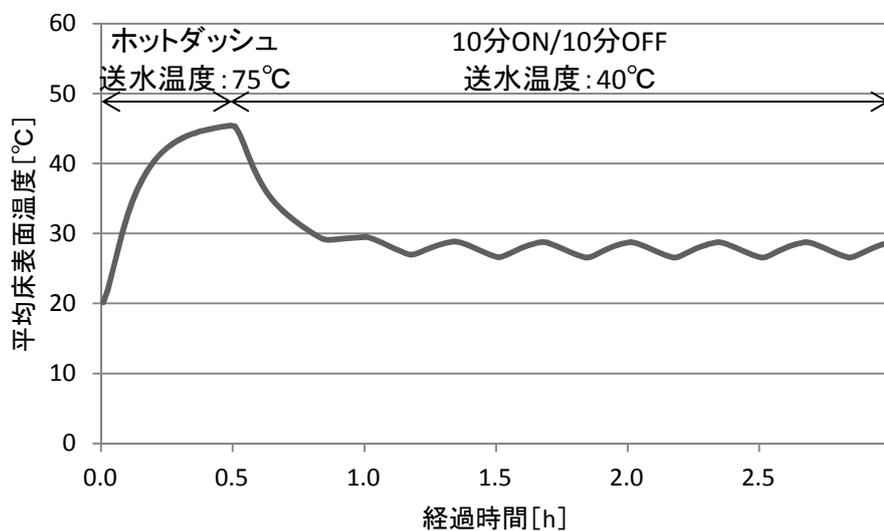


図 7.3.5.1 平均床表面温度の推移  
(ガス温水式 (低温)、外気温度 : 0°C)

#### 7.3.5.2 温度分布

図 7.3.5.2～図 7.3.5.4に定常状態に達した時の床暖房断面温度分布を示す。熱橋部に断熱補強を

施しているため、床暖房がない場合と床暖房を設置した場合の熱橋部の温度に大きな差は見られない。

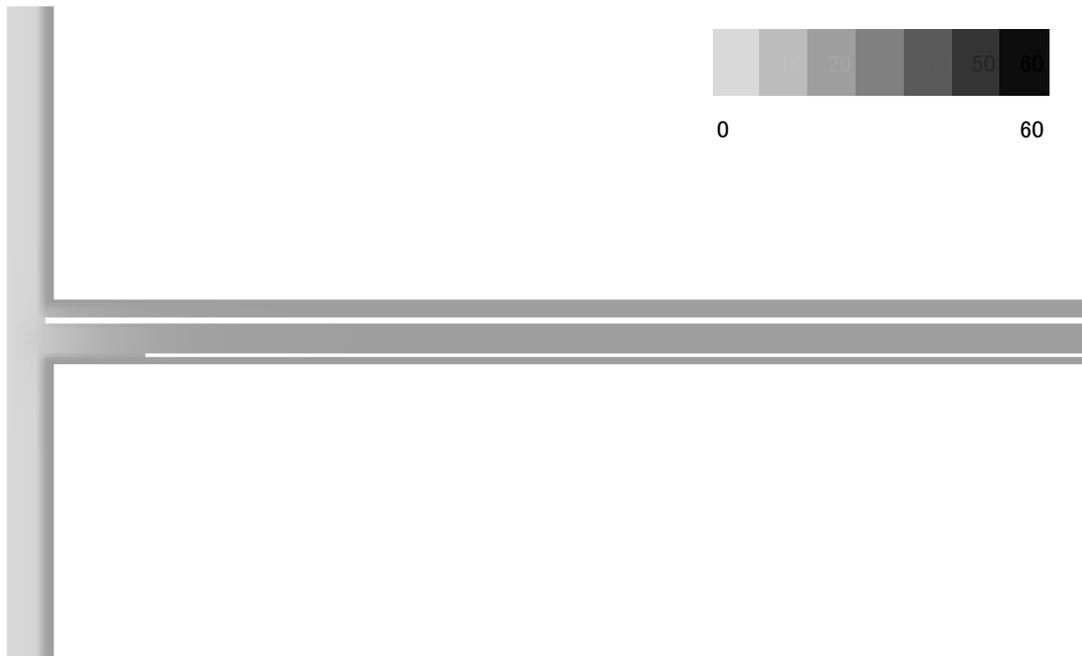


図 7.3.5.2 定常状態に達した時の断面温度分布  
(床暖房なし、外気温度：0°C)



図 7.3.5.3 定常状態に達した時の断面温度分布  
(ガス温水式（低温）、外気温度：0°C)

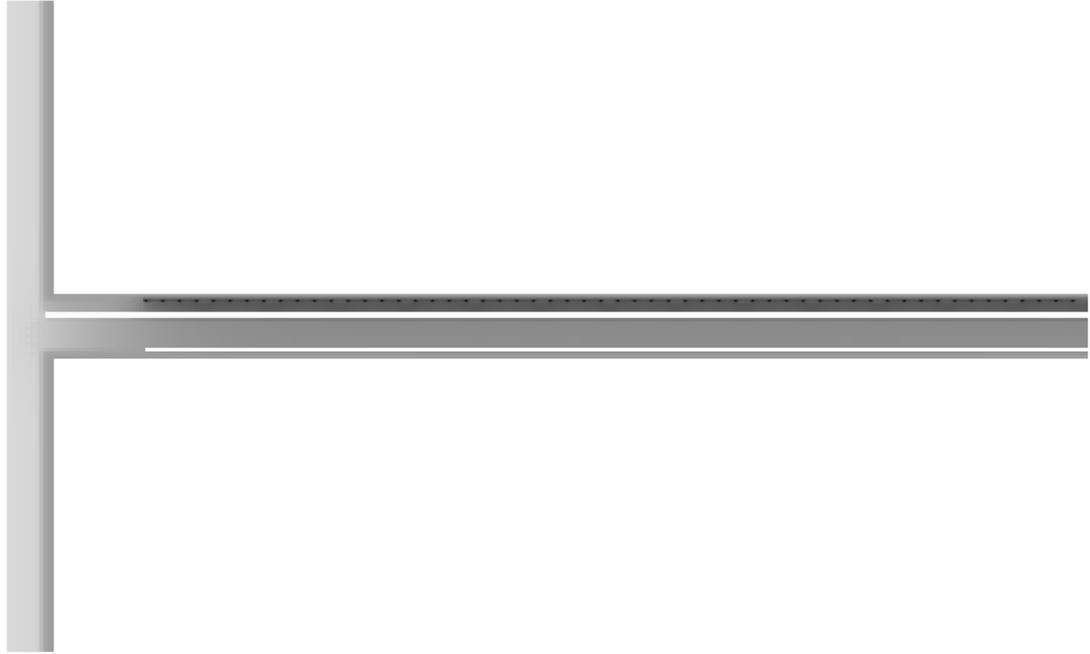


図 7.3.5.4 定常状態に達した時の断面温度分布  
(石油温水式、外気温度：0℃)

図 7.3.5.5に定常状態に達した時の外壁表面温度分布を示す。熱橋部の外壁表面温度は、床暖房を設置した場合の方が高くなっているものの、その差は最大で0.1℃程度である。

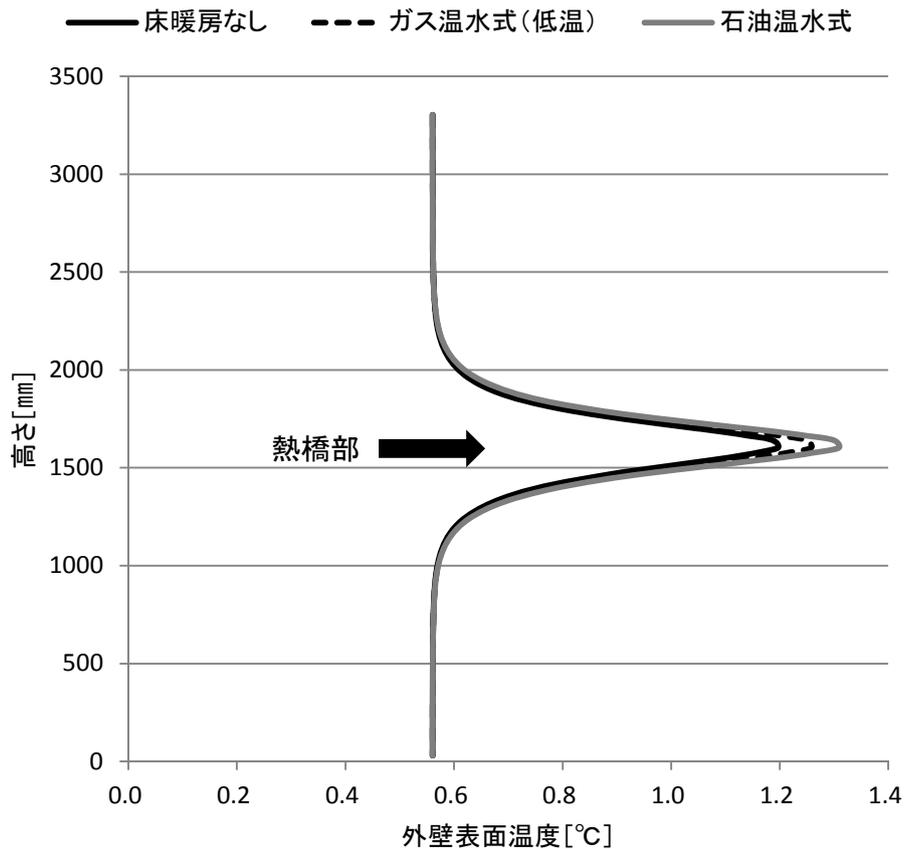


図 7.3.5.5 定常状態に達した時の外壁表面温度分布 (外気温度 : 0°C)

### 7.3.5.3 供給熱量の内訳

図 7.3.5.6～図 7.3.5.7に暖房開始24時間までの供給熱量の内訳の推移、図 7.3.5.8に暖房開始24時間までの上面放熱率 [=対象室放熱量/床暖房供給熱量] の推移を示す。いずれの床暖房方式においても、暖房開始直後は床暖房からの供給熱量は躯体へ蓄熱されるため上面放熱率は小さくなるが、ホットダッシュ機能を有するガス温水式は、他の床暖房方式と比較して上面放熱率の上昇が早い傾向にある。上面放熱率は暖房開始12時間程度でほぼ定常状態に達し、躯体に蓄熱された熱量は徐々に下階室に放熱されていく。

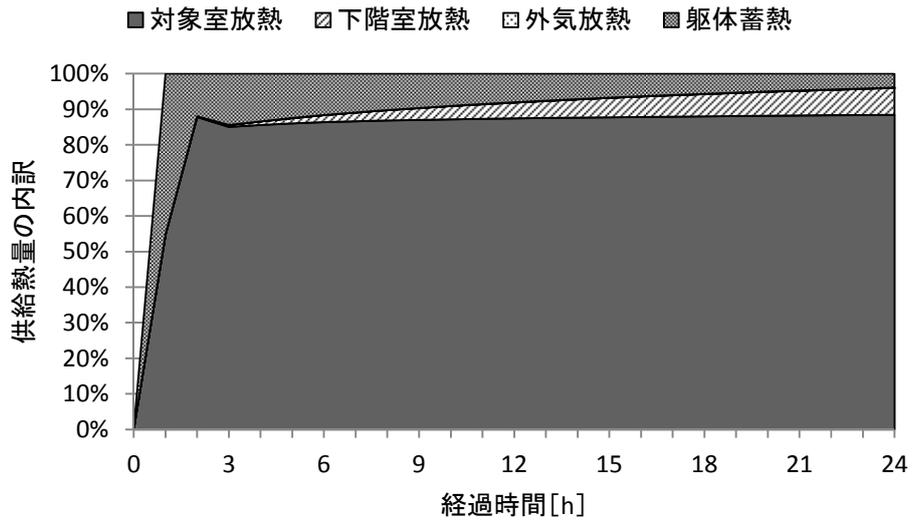


図 7.3.5.6 暖房開始24時間までの供給熱量の内訳の推移  
(ガス温水式 (低温)、外気温度 : 0°C)

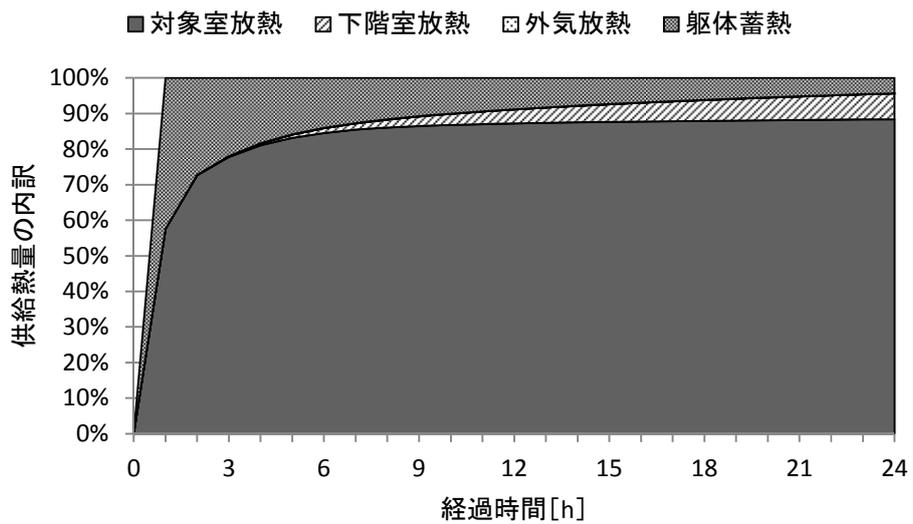


図 7.3.5.7 暖房開始24時間までの供給熱量の内訳の推移  
(石油温水式、外気温度 : 0°C)

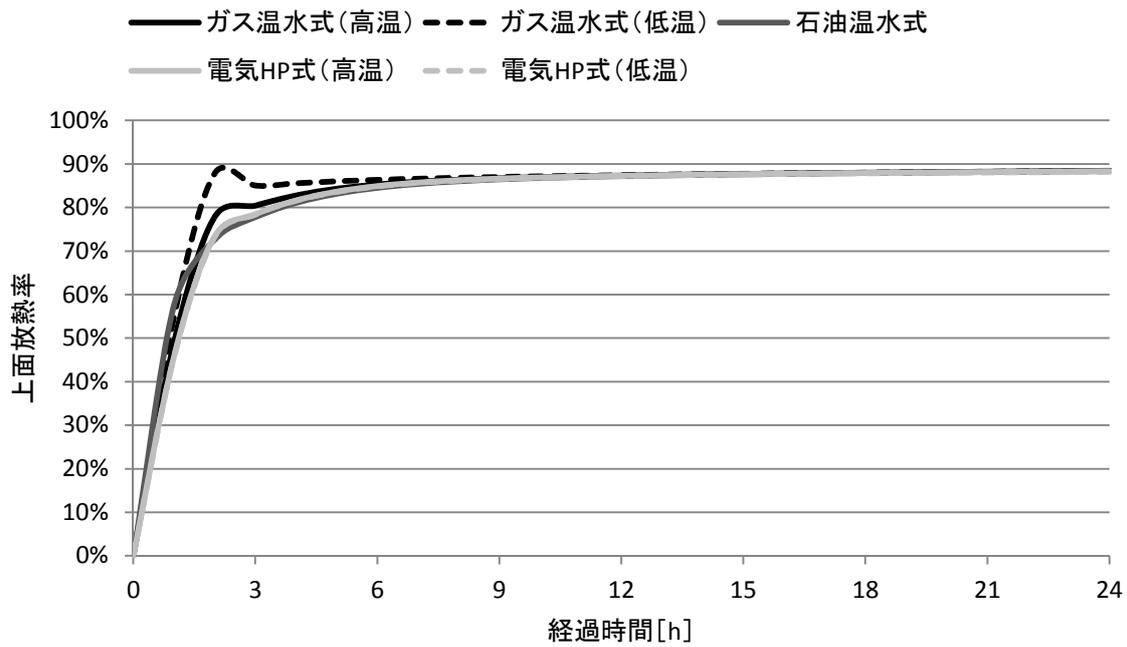


図 7.3.5.8 暖房開始24時間までの上面放熱率の推移 (外気温度 : 0°C)

図 7.3.5.9に定常状態に達した時の供給熱量、図 7.3.5.10にその内訳を示す。いずれの条件においても、暖房対象室への放熱が約9割、下階室への放熱が約1割という結果となった。この比率は床暖房パネルの上面および下面の熱通過率の比率とほぼ一致する。また、外気への放熱は、熱橋部への断熱強化を施しているため、ほとんどない。

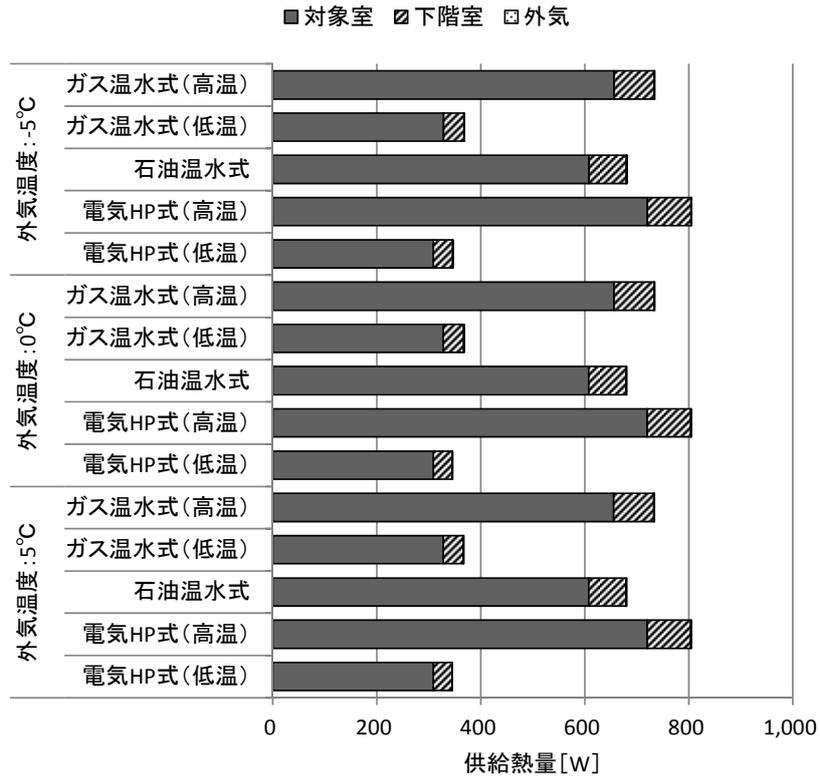


図 7.3.5.9 定常状態に達した時の供給熱量

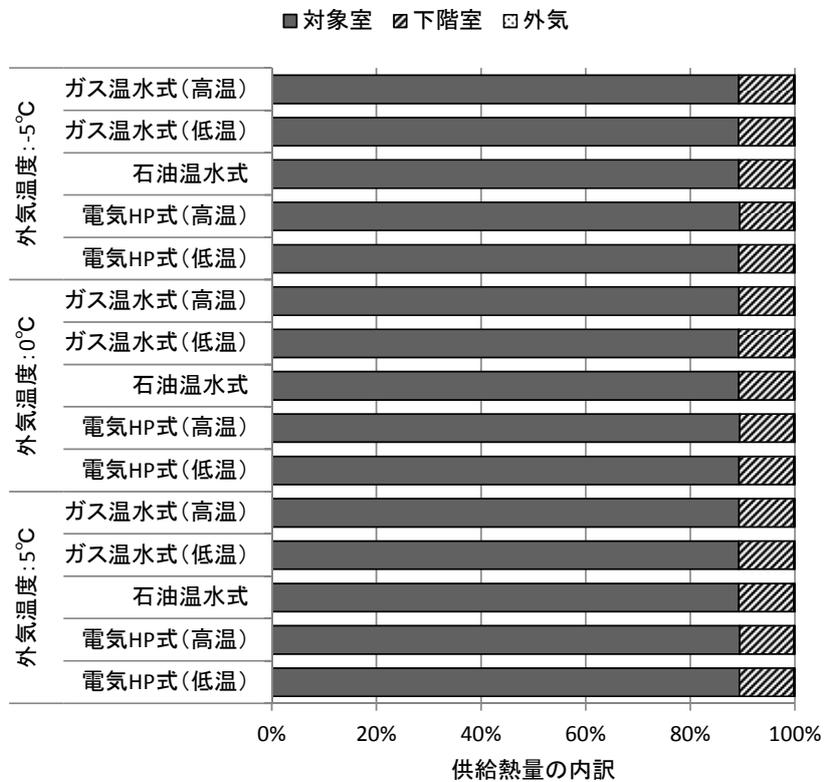


図 7.3.5.10 定常状態に達した時の供給熱量の内訳

## 7.4 小型ヒートポンプ給湯機に関する評価実験

### 7.4.1 研究の目的

住宅における給湯の省エネ化推進が急務となる中、ヒートポンプを利用することで従来のヒーター式電気温水器にくらべて飛躍的に省エネ性能を向上させたヒートポンプ給湯機(以下、CO2HPと略すことがある)が2001年に登場し、急速に普及してきている(図 7.4.1.1)。一方で、ヒートポンプ給湯機の更なる普及拡大のためには、従来の戸建住宅を主とした300～540L程度の大型貯湯槽を有する機種だけでなく、より設置スペースの小さい小型機種が求められている。近年になって、少人数世帯に特化した新型の機種が登場してきており(図 7.4.1.2)、集合住宅における省エネ推進に貢献することが期待されている。一方で、現状の住宅建築事業主基準においては、ヒートポンプ給湯機は300L以上の貯湯槽を有するものに限定されている(表 7.4.1.1)。これは、2008年度に検証した機種がいずれも370Lの貯湯槽を有するもののみであったためである。本節では、この現状未評価であり集合住宅に今後の普及が見込まれる小型ヒートポンプ給湯機について実験による検証を行った結果を報告する。

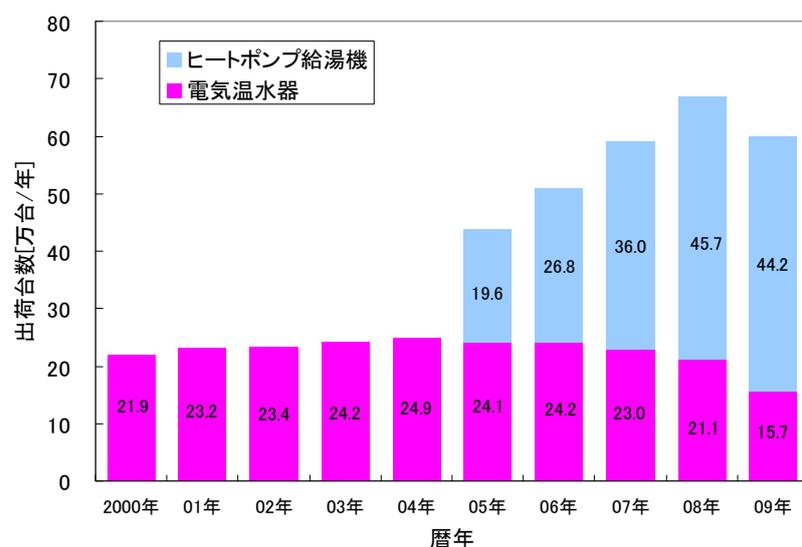


図 7.4.1.1 電気給湯機の出荷推移 (出展：電気社団法人日本電機工業会)

表 7.4.1.1住宅建築事業主基準におけるCO2HPの適応範囲

電気温水器 (ヒートポンプ式)	中間期消費電力 2kW 以下 貯湯量 300L 以上 560L 以下 年間給湯効率 APF 3.0 以上 JRA4050 2007R に適合していること 工場出荷時に制御モードが省エネモードに設定されていること 温水暖房機能を有するものは除く
-----------------	---



## 少人数世帯に適した「エコキュート・ライト」が誕生!

### コンパクトサイズの電気給湯システムで ますます加速する賃貸住宅の「オール電化」

空気の熱でお湯を沸かす、環境にもおサイフにも優しい給湯機「エコキュート」。オール電化の戸建住宅やファミリー向けマンションではおなじみの設備ですが、貯湯タンクの容量が300L以上であったため、シングルやDINKSといった賃貸住宅の多様な条件に合わせた、コンパクトなタイプの給湯機を待望する声がありました。東京電力では、(株)デンソー、(株)コロナ共同で少人数世帯でも設置しやすいコンパクトサイズの「エコキュート・ライト」を開発。「エコキュート・ライト」の誕生により、賃貸集合住宅の「オール電化」は、今後ますます加速していくと考えられます。



### 大幅なサイズダウンで、省スペース化を実現

1~2人家族向けのエコキュート・ライトの貯湯タンクユニットは185L。幅45cm、奥行き55cmというスリムなサイズだから、設置面積はファミリータイプの約半分。大幅な省スペース化を実現しています。

#### エコキュート・ライトの特長



##### 住戸内にも設置しやすい コンパクト設計

コンパクトサイズなので、ワンルームや1LDKの住戸内、パイプシャフトスペースにも設置可能です。

##### 入居者にうれしい高機能

エコキュート・ライトは、お湯張り・保温・足し湯がすべてスイッチひとつ。人気の追い焚き機能も搭載しています。

##### 入退去時のメンテナンスも簡単

退去時の排水作業に伴う貯湯タンクの水抜きなどの手間を軽減する「簡単排水システム」を採用しています。



ビデオで見る  
「エコキュート・ライト」  
簡単排水システム

図 7.4.1.2 少人数家族に特化したCO2HP（電力事業者HPページより）

## 7.4.2 実験計画

### 7.4.2.1 試験室への設置

本実験に用いた小型ヒートポンプ給湯機の仕様を、表Ⅱ.5.4.2に示す。ヒートポンプの加熱能力は通常の370Lタイプについているのと同じ4.5kWである。貯湯槽のサイズは185Lであり、通常の半分程度である。

実験は、東京大学本郷キャンパス工学部一号館の地下人工環境実験室に本試験機を設置して実施した(図 7.4.2.1)。本実験室は、雰囲気温度と合わせ給水温度も高精度に調整をすることができ、各種給湯機の効率を安定した条件下で計測することができる。本試験では冬期条件を主とし、中間期条件の試験も追加で行った。

給湯の出湯は、PC上のプログラムから電磁弁の開閉を制御することで実施している。試験に用いた給湯消費モードの詳細については後述する。

なお、本機種のパフォーマンスを示す年間給湯効率(APF)は、42℃換算で331Lの湯を消費した場合の効率になっている。これはIBEC Lモードによる通常のAPFとは異なり、IBEC Mモードを用いているためである。

本試験機体については、通常の市販品をそのまま用いている。貯湯槽については断熱を傷める可能性があったため、貯湯温度等は計測していない。



図 7.4.2.1 試験対象機の人工環境実験室への設置状況

表 7.4.2.1 少人数世帯用専用CO2HPの仕様（試験実施対象はCHP-H1819A-2B）

タイプ		フルオートタイプ	オートタイプ	
型式名		CHP-H1819A-2B	CHP-181DSA10	CHP-181DSA10-2
名称		エコキュート ライト		
仕向地(注1)		一般地 [次世代省エネルギー基準Ⅲ地域以南]		
種類		屋内外兼用型		
適用電力制度(注2)		季節別時間帯別電灯型/時間帯別電灯型(通電制御型) (申請中)		
年間給湯効率(APF)(注3)		3.0	3.1	
タンク容量		1缶式 185L		
定格電圧		単相 200V		
定格周波数		50Hz/60Hz		
最大電流		16A		
ヒート ポンプ	中間期加熱能力(注4、注5)	4.5kW		
	中間期消費電力(注5)	1.025kW		
	中間期 COP	4.4		
	運転音(中間期/冬期高温) (注6)	38dB/43dB		
沸上温度		約65～約90℃		
給湯温度		約35～50℃(1℃刻み)/60℃		
風呂機能	機能	自動湯はり、自動保温、 自動たし湯、追いだき、た し湯、さし水、高温さし湯	自動湯はり、たし湯、さし水、高温さし湯	
	保温機能	○(ヒーターレス方式)	—	
	追いだき機能	○(ヒーターレス方式)	—(高温さし湯)	
最大使用圧力		190kPa(減圧弁設定圧:170kPa)		
ヒートポンプユニッ ト外形寸法	幅	820mm		
	奥行き	300mm		
	高さ	650mm		
タンクユニット 外形寸法	幅	450mm		
	奥行き	550mm		
	高さ	1890mm		
質量	ヒートポンプユニット	約53kg	約52kg	
	貯湯タンクユニット (製品/満水時)	約55kg/約240kg	約50kg/約235kg	約51kg/約236kg

注1：一般地仕様：次世代省エネルギー基準Ⅲ地域：主に宮城、山形、福島、栃木、新潟、長野県の一部など。

注2：地域により適応となる料金体系が異なりますのでご確認ください。

注3：年間給湯効率は(社)日本冷凍空調工業会の規格である JRA4050:2007R に基づき、消費者の使用実態を考慮に入れた給湯効率を示すために、1年を通してある一定の条件(一定の条件とは、東京・大阪を平均した気象条件、給水温度で42℃のお湯を1日に約331L使用する条件等を想定したものです)のもとにヒートポンプ給湯機を運転した時の単位消費電力量あたりの給湯熱量を表したものです。なお、値は省エネ運転モードである「おまかせ省エネ」(CHP-181DSA10及びCHP-181DSA10-2)、「おまかせ控えめ」(CHP-H1819A-2B)で測定した値であり、実際には地域条件、運転モードの設定やご使用条件等により変わります。年間給湯効率=1年で使用する給湯に係る熱量÷1年間で必要な消費電力量

出展：メーカーHPより

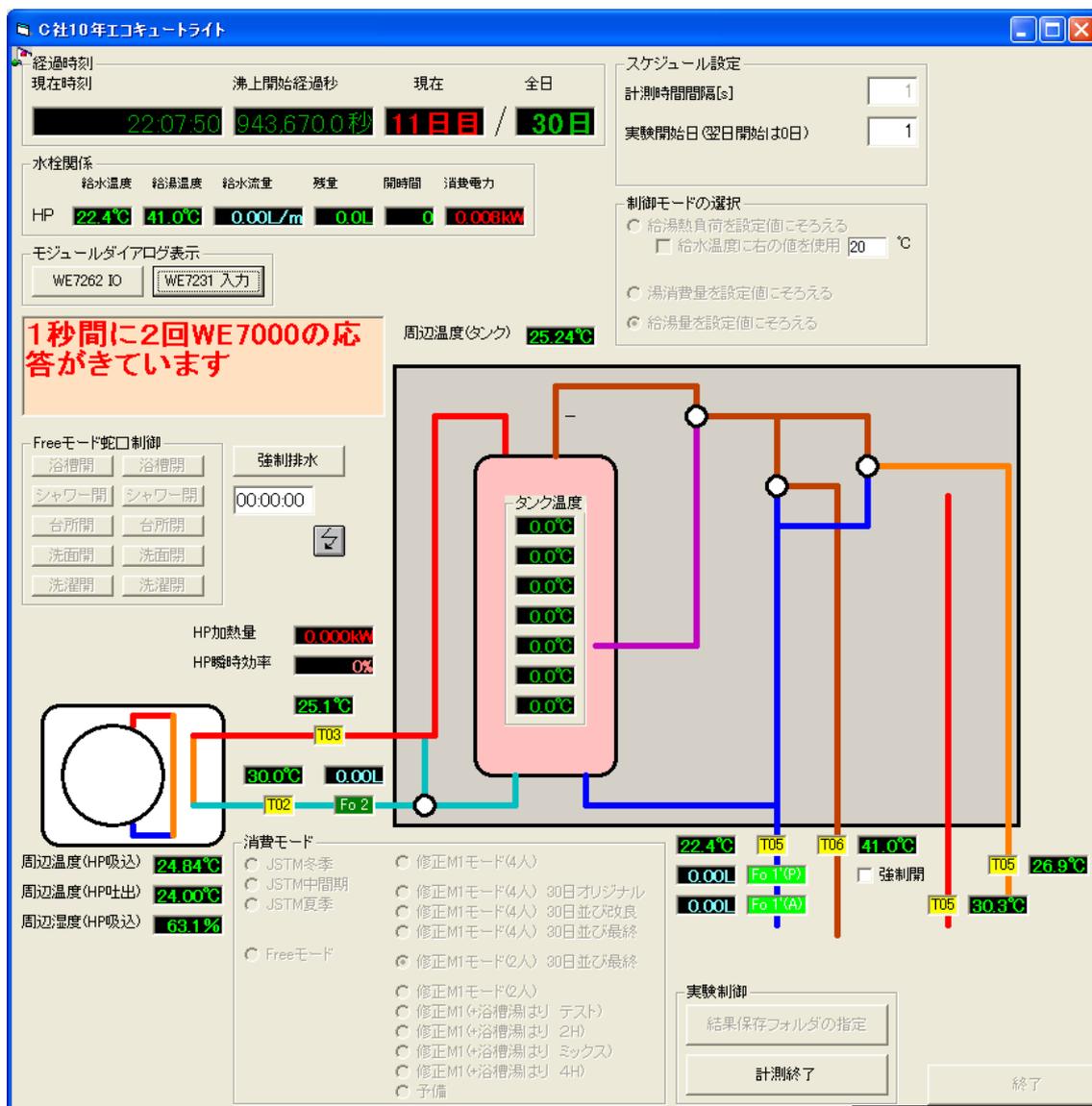


図 7.4.2.2 試験対象機の制御プログラム画面

#### 7.4.2.2 試験方法の検討

##### (1) 少人数世帯における給湯消費モードの設定

本実験機種を評価するにあたり、本機種が想定している少人数世帯の消費を再現した給湯モードが必要となる。そのため、少人数世帯として2人世帯を想定した給湯モードの検討を行った。実測データは、(財)ベターリビング「新時代の省エネ型給湯設備の計画・評価手法に関する研究」における調査結果である。また、モードの作成においては、「エネルギー・資源の自立循環型住宅に係わる普及支援システムの開発（実施：独立行政法人建築研究所・IBEC 以下、自立循環総プロ）」の成果を参考にしている。なお文中の湯消費量は季節や地域による給水温度変化の影響を避けるため、すべて湯量40℃換算の値で表現する。

世帯人数別の給湯消費量の平均値を、図 7.4.2.3に示す。4人家族であれば450[L/日]程度、2人家族であれば300[L/日]弱程度である。また消費の分布計上を、図 7.4.2.4に示す。2人家族については下位25%が200[L/日]・上位25%では350[L/日]程度である。

ヒートポンプ給湯機のように深夜電力を用いて事前に給湯の沸き上げを行う貯湯式については、高度な記憶・判断を行うコントローラーが内蔵されており、過去の消費履歴から適切な沸き上げ量を判断するようになっている(図 7.4.2.5)。貯湯式では沸き上げ量を適切に制御することが、省エネ性と湯切れリスクの低減に非常に重要となる。沸き上げ量を大きくすれば湯切れリスクは少なくなるが、ヒートポンプの出湯・入水温度の上昇を招き、貯湯槽における放熱ロスも大きくなることから効率が大きく低下する。湯切れリスクが大きすぎない範囲で沸き上げ量を適切に抑制することが、システム効率の向上に不可欠となる(図 7.4.2.6)。

ヒートポンプ給湯機の効率を適切に判断するためには、試験に用いる給湯モードにおいても日変動が実態に即して再現されている必要がある。実際の住宅における給湯消費は、ランダム的な強い短期間の変動を有している(図 7.4.2.7)。住戸ごとの湯消費量の平均とともに、日変動の強さを標準偏差の形で示したのが、である。自立循環総プロの検討結果を元に、今回の実験では2人世帯の標準を平均270[L/日]・標準偏差100[L/日]として、「修正M1モード(2人)」として設定した(図 7.4.2.8)。本モードにおいては、平日(大・小)・休日在宅(大・小)・休日外出(大・小)の代表6日が設けられ、それぞれに異なる消費量が割り当てられることで、期間に展開された場合に実住宅における湯消費量を再現することができる(図 7.4.2.9)。代表6日における消費行為(それぞれの水栓の開閉)の時刻割付を、(表 7.4.2.2)に示す。

##### (2) 沸上制御モードの設定

給湯モードと並んでヒートポンプ給湯機の評価において重要になるのが、前述の沸き上げ量を判断するコントローラーの「沸上制御モード」である。沸上制御モードは複数用意されていて、ユーザーは任意のモードを選択することができる(図 7.4.2.10)。ヒートポンプ給湯機が高い省エネ性能を発揮するためには、沸上量を適切に抑える省エネモード(本機種では「おまかせ(控えめ)」)が推奨される。本試験においては省エネモードが工場出荷時に設定されていることから、使用が最も多いモード(ファーストモード)として、各季節の試験をで行った。ついで、モード間での効率差を検証するため、「おまかせ(中)」を二番目に用いられるモード(セカンドモード)として冬期条件でのみ試験を実施した。

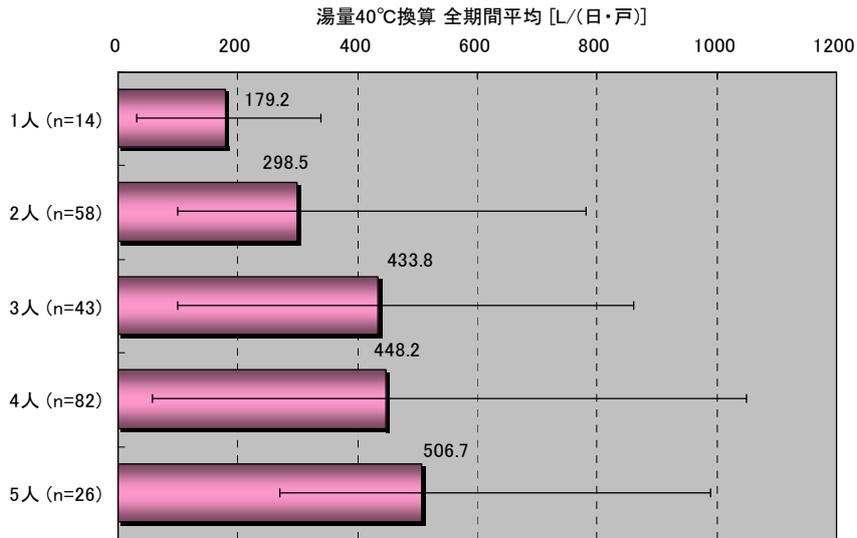


図 7.4.2.3 給湯消費量の実測結果 (棒グラフが平均値)

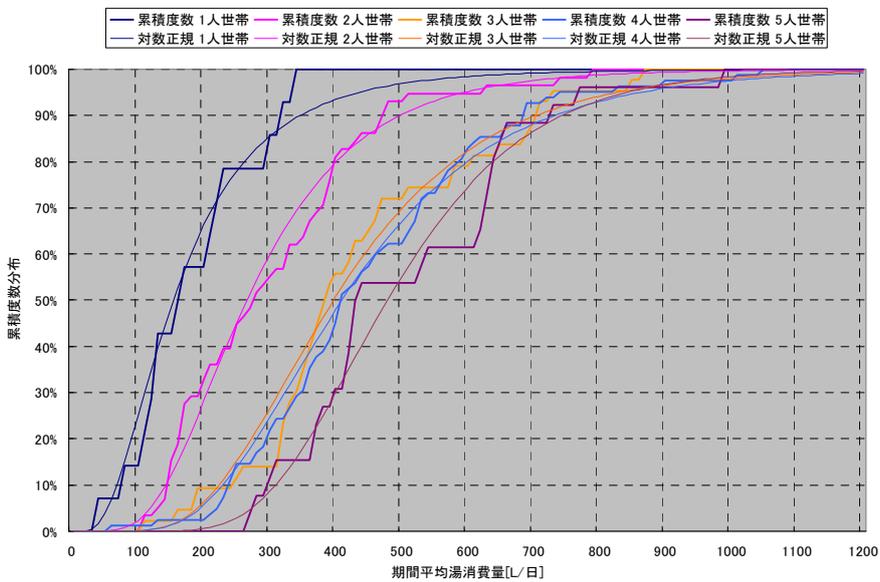


図 7.4.2.4 給湯消費量の累積度数分布

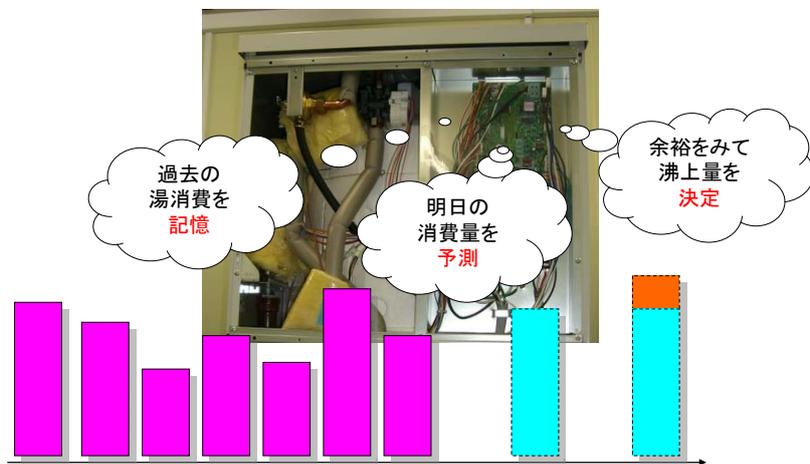


図 7.4.2.5 貯湯式給湯機の沸き上げ量制御

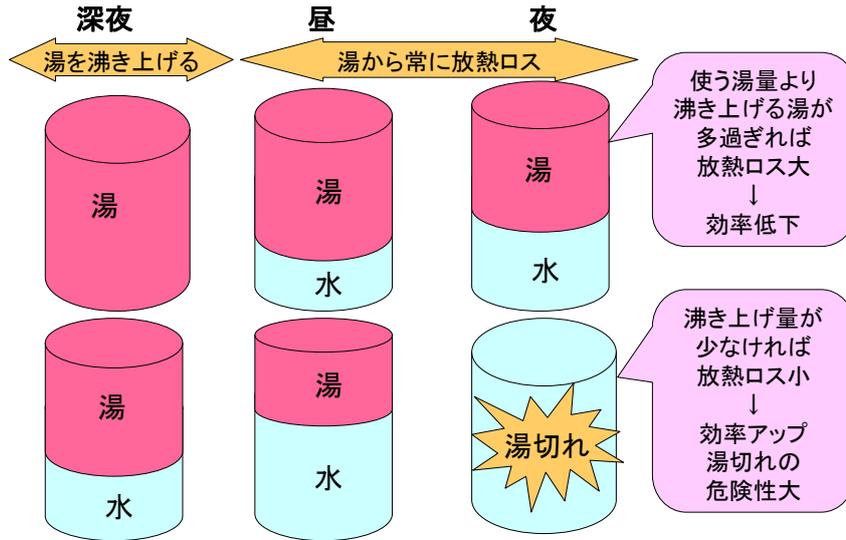


図 7.4.2.6 貯湯式給湯機の沸き上げ量と湯切れの関係

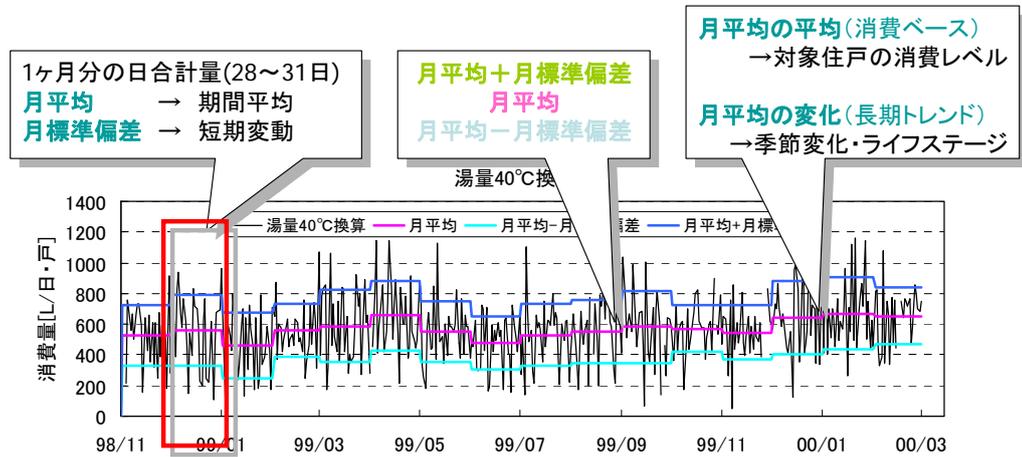


図 7.4.2.7 実住宅における給湯消費の変動

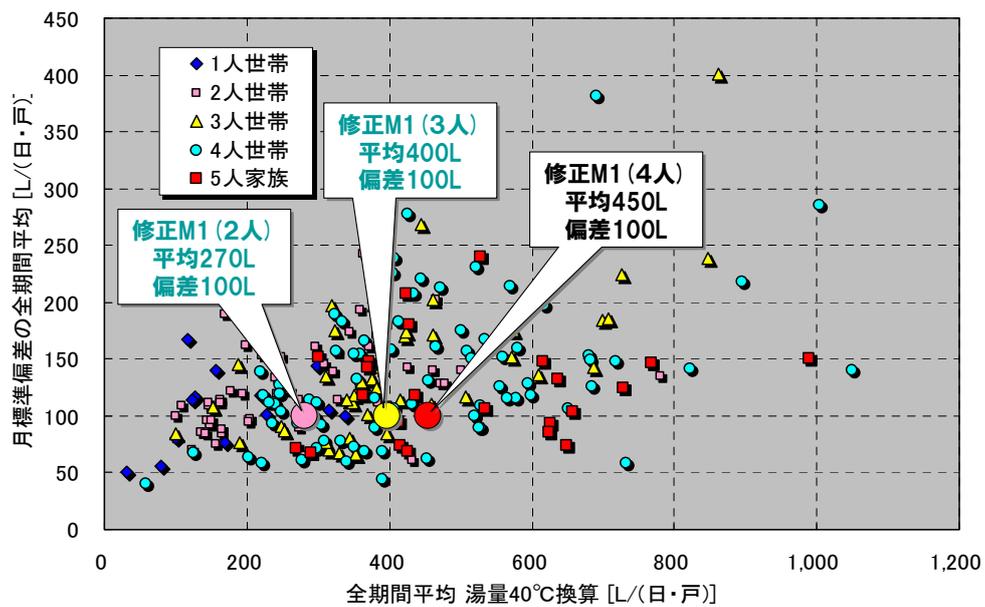


図 7.4.2.8 実測住戸における湯消費の平均（横軸）と日変動（縦軸）

修正M1モード(2人世帯)

		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)	75	150	70	21		220	316
2日	平日(小)	55	0	100	19		100	174
3日	平日(大)	75	150	70	21		220	316
4日	平日(小)	55	0	100	19		100	174
5日	平日(大)	75	150	70	21		220	316
6日	休日在宅(小)	100	150	70	59		220	379
7日	休日在宅(大)	110	150	100	54		250	414
8日	平日(小)	55	0	100	19		100	174
9日	平日(大)	75	150	70	21		220	316
10日	平日(小)	55	0	100	19		100	174
11日	平日(大)	75	150	70	21		220	316
12日	平日(小)	55	0	100	19		100	174
13日	休日不在(小)	10	0	100	12		100	122
14日	休日在宅(大)	110	150	100	54		250	414
15日	平日(大)	75	150	70	21		220	316
16日	平日(小)	55	0	100	19		100	174
17日	平日(大)	75	150	70	21		220	316
18日	平日(小)	55	0	100	19		100	174
19日	平日(大)	75	150	70	21		220	316
20日	休日在宅(小)	100	150	70	59		220	379
21日	休日在宅(大)	110	150	100	54		250	414
22日	平日(小)	55	0	100	19		100	174
23日	平日(大)	75	150	70	21		220	316
24日	平日(小)	55	0	100	19		100	174
25日	平日(大)	75	150	70	21		220	316
26日	平日(小)	55	0	100	19		100	174
27日	休日不在(大)	10	0	100	18		100	128
28日	休日在宅(大)	110	150	100	54		250	414
29日	平日大	75	150	70	21		220	316
30日	平日小	55	0	100	19		100	174
1ヶ月モード		平均	70	85	87	27	172	268
		標準偏差	25	76	15	15	65	97

代表日	1ヶ月30日内の日数	台所	浴室(湯はり)	浴室(シャワー)	洗面	洗濯	合計
平日(大)	11日	75	150	70	21	$\mu$	316
平日(小)	11日	55	0	100	19	$\mu - \sigma$	174
休日在宅(大)	4日	110	150	100	54	$\mu + 2\sigma$	414
休日在宅(小)	2日	100	150	70	59	$\mu + \sigma$	379
休日不在(大)	1日	10	0	100	18	$\mu - \sigma$	128
休日不在(小)	1日	10	0	100	12	$\mu - 2\sigma$	122

修正M1モード

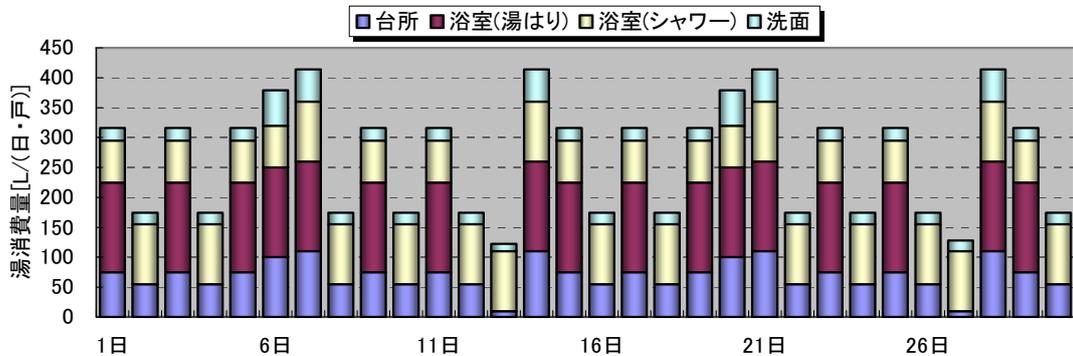


図 7.4.2.9 給湯モード修正M1 (2人世帯)

表 7.4.2.2 給湯モード修正M1 (2人世帯)

修正M1(2人世帯)

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

運転モード		特 徴	
オプション設定			
おまかせ	最低湯量設定	<p>■おすすめの省エネモード：お買い上げ時の運転モードです。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・沸き上げ温度を低く抑えて効率のよいヒートポンプの運転を行います。</li> <li>・貯湯タンクのお湯がなくなると、昼間でも湯増し運転をします。</li> <li>・浴槽の湯温を上げるために  を押すと、約60℃、20Lのお湯を浴槽循環口からさし湯（高温さし湯）します。</li> <li>・ふろ自動運転のとき、湯はり後の自動保温・自動たし湯はしません。</li> <li>・お湯がたりなくなりそうなときは、 を押して、湯増しをすることができます。（→25ページ）</li> </ul> <p>こんなときは</p> <p>ひんぱんに  を押して必要な湯量を確保しなければならぬとき</p> <p>➔ 運転モードを「おまかせ」モード [中] または [多] に切り替えてください。</p>	
	[控えめ]		
おまかせ	最低湯量設定	<p>■「おまかせ」モード [控えめ] ではお湯がたりない場合。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・日常のお湯の使用状況とヒートポンプの運転状況から、沸き上げ温度、タンクの貯湯量を自動で決定します。</li> <li>・日ごとのお湯の使用量の変動に合わせて最低湯量を設定することができます。</li> <li>・昼間でも必要に応じて、湯増し運転をします。</li> <li>・浴槽の湯温を上げるために  を押すと、お湯を循環してあつきます。</li> <li>・ふろ自動運転のとき、湯はり後の自動保温・自動たし湯をします。</li> <li>・お湯がたりなくなりそうなときは、 を押して、湯増しをすることができます。（→25ページ）</li> </ul> <p>こんなときは</p> <p>リモコンの1週間の使用量表示が「最大 250L/日」を超えないとき</p>  <p>➔ 運転モードを「おまかせ」モード [控えめ] に切り替えてください。</p>	
	[中]		<p>毎日のお湯の使用量を学習し、湯切れしないように昼間でも必要に応じて湯増し運転をします。</p> <p>※お湯の使用量が急に多くなった場合は、湯切れする場合があります。</p>
	[多]		<p>日常のお湯の使用量が多い場合の設定です。湯切れをしないよう昼間でも必要に応じて湯増し運転をします。</p> <p>※昼間の湯増しが多くなり、電気料金が高めになることがあります。</p>
深夜のみ	湯増し温度設定	<p>■契約した深夜時間帯にヒートポンプが運転し、貯湯タンクにお湯をためます。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・電気代の安い深夜電力でお湯を沸き上げ、1日に必要なお湯をまかなう節約設定です。</li> <li>・自動で昼間の湯増し運転はしません。湯切れに十分ご注意ください。</li> <li>・浴槽の湯温を上げるために  を押すと、お湯を循環してあつきます。</li> <li>・ふろ自動運転のとき、湯はり後の自動保温・自動たし湯をします。</li> <li>・お湯がたりなくなりそうなときは、 を押して、昼間でも湯増しをすることができます。</li> </ul>	
	[低]		<p>低めの温度で沸き上げるので、使用できるお湯は少なくなりますが、経済的です。</p>
	[高]		<p>高めの温度で沸き上げるので、使用できるお湯も多く確保できます。</p> <p>※お湯の使用量が少ない場合や夏場など気温の高い場合は、低めの温度で沸き上げます。</p>

図 7.4.2.10 沸上制御モード（メーカー取扱説明書より）

### 7.4.3 実験結果

#### 7.4.3.1 試験条件および機器の挙動例

に、本実験の試験条件を表 7.4.3.1に示す。前述の通り、冬期については沸上制御モードの差異を検証するため、2つのモードでの試験としている。

実験においては30日試験を基本として、各季節の雰囲気条件を維持して試験を行った。(ただし試験室の都合から、1日目からではなく2~3日目から始まっている場合もある。) 出湯は前述の「修正M1(2人)」を用いている(図 7.4.3.1)。

中間期ファーストモードにおける「平日(小)」の日の1日の挙動は、出湯が、朝に少量あった後は、夕方に集中している。沸上は主に深夜電力時間帯に行われているが、20時ごろに追加の沸上が発生している。本計測においてはタンク温度は未計測であるが、夕方の貯湯量減少に対応しているものと考えられる。なお、後述する各用語を以下のように定義する。

- 給湯熱負荷 = (給湯温度-給水温度) × 給湯量 × 比熱 × 比重
- HP効率 = HP沸上熱量(当日07時~翌日07時) / 消費電力量(当日07時~翌日07時)
- タンク効率 = 給湯熱負荷(当日0~24時) / HP沸上量(当日07時~翌日07時)
- システム効率 = 給湯熱負荷(当日0~24時) / (消費電力量当日07時~翌日07時)

表 7.4.3.1 試験条件

	想定季節	雰囲気DB/WB/給水	制御モード	備考
冬期(ファースト)	冬期	7°C/6°C/9°C	おまかせ(控えめ)	
冬期(セカンド)	〃	〃	おまかせ(中)	
中間期(ファースト)	中間期	16°C/12°C/17°C	おまかせ(控えめ)	

※雰囲気・給水条件はJRA 日本冷凍空調工業会 4050R2007に準拠

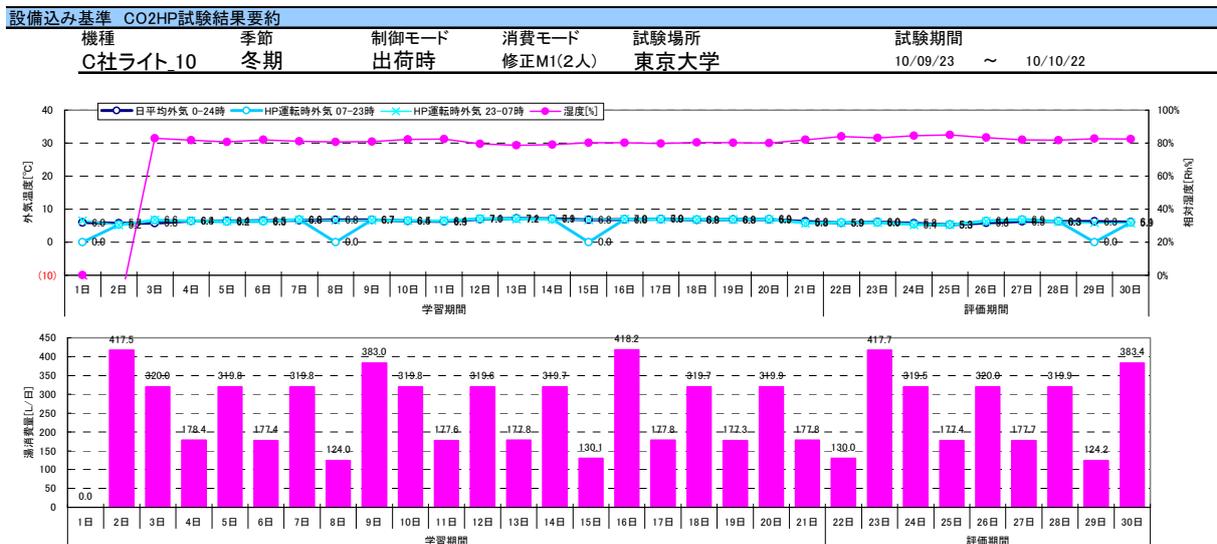


図 7.4.3.1 試験期間の雰囲気温度と給湯消費量

#### 7.4.3.2 代表6日の試験結果

3条件の試験結果について、30日試験のうちで「学習期間(1～21日目)」の後である「評価期間(22～30日目)」の部分を学習が完了した本来の効率であるとして、その結果を示す。なお、評価期間の中には、「平日(大)」は3日分・「平日(小)」は2日分あることから、それらは平均化して代表6日の値にしたものを示している。

##### (1) 冬期ファーストモード (図 7.4.3.2)

- 雰囲気温湿度・給水温度は良好に維持されていた。
- HPの出湯温度は約60℃と低く維持されていた。
- 入水温度も給水温度より約5℃高い程度に押さえられていた。
- 出湯は給湯モードに従い適切に制御されていた。熱負荷は16.4～54.2[MJ]である。
- HP効率(2次)は、給湯量・熱負荷が大きくなるに従い307%→348%に若干向上している。
- タンク効率は、給湯量・熱負荷が大きくなるに従い70%→87%に2割以上向上している。これは、給湯量が増加するに従い昼間に沸き上げた湯が速やかに利用されるために熱ロスが低減しているものと考えられる。
- システム効率(2次)は、HP効率・タンク効率の影響を受けて、給湯量・熱負荷が大きくなるに従い207%→303%と大きく向上した。システム効率(1次)は、79→113%である。

##### (2) 冬期セカンドモード (図 7.4.3.3)

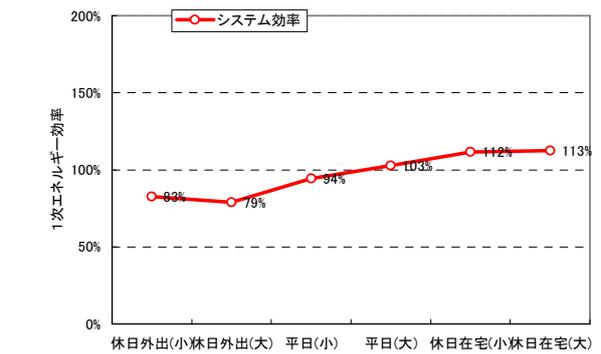
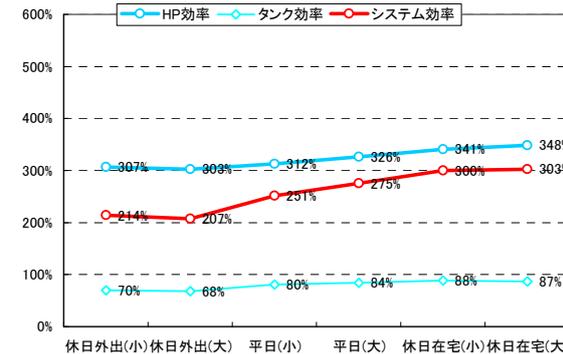
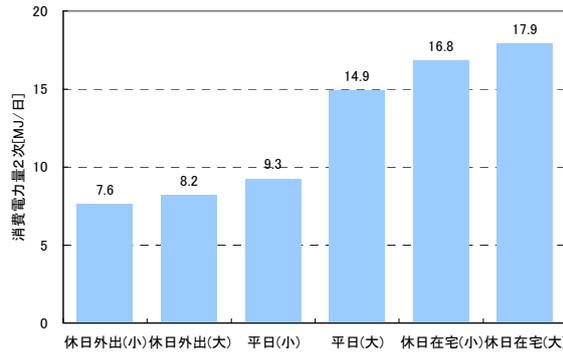
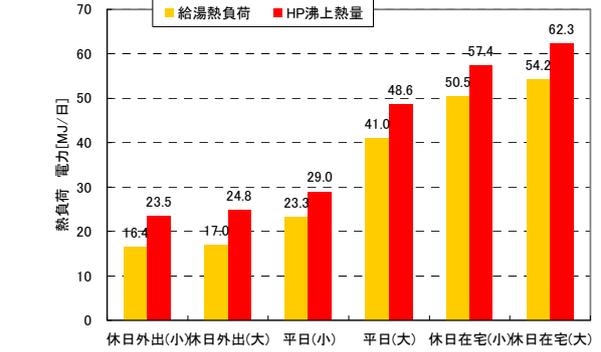
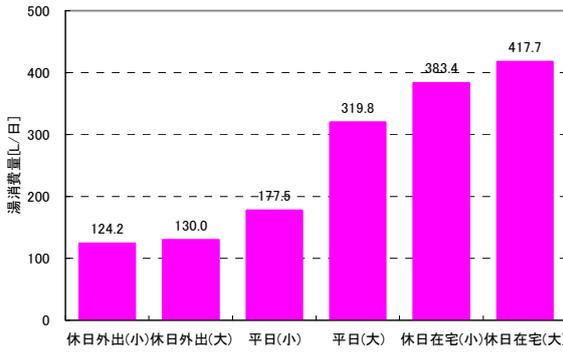
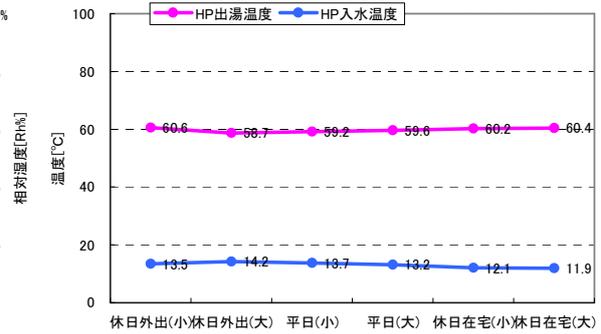
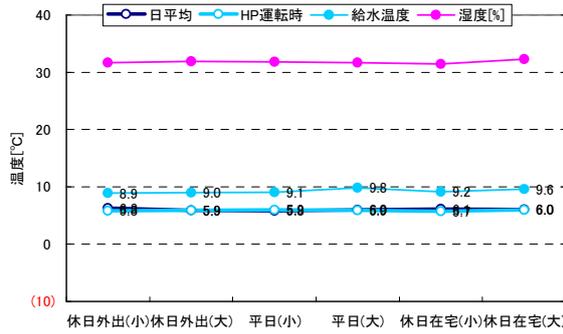
- 全体に、冬期ファーストモードと近い結果となった。
- HPの出湯温度は約60℃と低く、入水温度も給水温度より約5℃高い程度。
- 消費電力の深夜と中間の比率も、冬期ファーストモードとほぼ同じ。
- HP効率(2次)は300%～342%、タンク効率は68%～87%、システム効率(2次)は202%～299%、システム効率(1次)は77～111%であり、冬期ファーストモードとほぼ同じ。

##### (3) 中間期ファーストモード (図 7.4.3.4)

- 雰囲気温湿度・給水温度は良好に維持されていた。
- HPの出湯温度は約60℃と低く、入水温度も給水温度より約5℃高い程度。
- 給湯量は適切に制御されていた。熱負荷は12.7～41.8[MJ]である。
- HP効率(2次)は369%～390%、タンク効率は72%～87%、システム効率(2次)は273%～339%、システム効率(1次)は100～126%であり、冬期よりも改善している。

CO2HP試験結果要約 代表6日平均

対象機種 C社小型CO2HP2010年度モデル 季節 冬期 制御モード 出荷時 消費モード 修正M1(2人) 試験場所 東京大学 試験期間 10/09/23 ~ 10/10/22

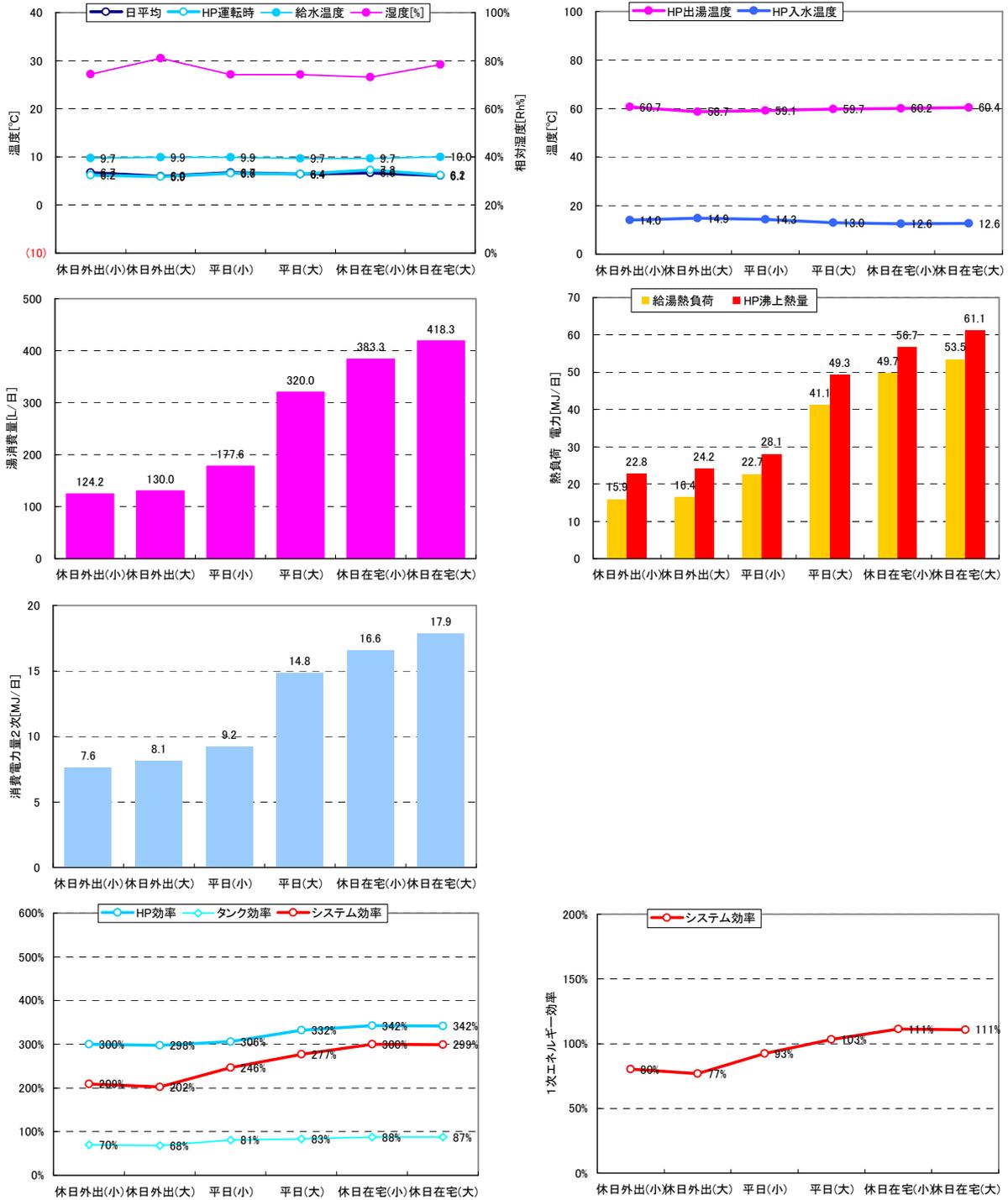


	雰囲気		湿度	給水	給湯量		熱負荷	HP温度			電力(2次)		電力(1次)		HP効率 (2次)	タンク (2次)	システム (2次)		システム (1次)
	日平均 [°C]	HP運転時 [°C]			[L/日]	40°C換算 [L/日]		入水 [°C]	出湯 [°C]	沸上量 [MJ/日]	合計 [MJ/日]	合計 [MJ/日]	(2次)	(1次)			(2次)	(1次)	
休日外出(小)	6.3	5.8	83.4%	8.9	124.2	125.8	16.4	13.5	60.6	23.5	7.6	19.9	307%	70%	214%	83%			
休日外出(大)	5.9	5.9	83.7%	9.0	130.0	131.0	17.0	14.2	58.7	24.8	8.2	21.6	303%	68%	207%	79%			
平日(小)	5.8	5.9	83.7%	9.1	177.5	180.0	23.3	13.7	59.2	29.0	9.3	24.7	312%	80%	251%	94%			
平日(大)	6.0	5.9	83.3%	9.8	319.8	324.5	41.0	13.2	59.6	48.6	14.9	39.9	326%	84%	275%	103%			
休日在宅(小)	6.1	5.7	82.9%	9.2	383.4	391.1	50.5	12.1	60.2	57.4	16.8	45.3	341%	88%	300%	112%			
休日在宅(大)	6.0	6.0	84.6%	9.6	417.7	425.6	54.2	11.9	60.4	62.3	17.9	48.1	348%	87%	303%	113%			

図 7.4.3.2 試験結果代表6日平均 冬期 (ファーストモード)

CO2HP試験結果要約 代表6日平均

対象機種 C社小型CO2HP2010年度モデル 季節 冬期 制御モード セカンドモード 消費モード 修正M1(2人) 試験場所 東京大学 試験期間 10/12/18 ~ 11/01/16

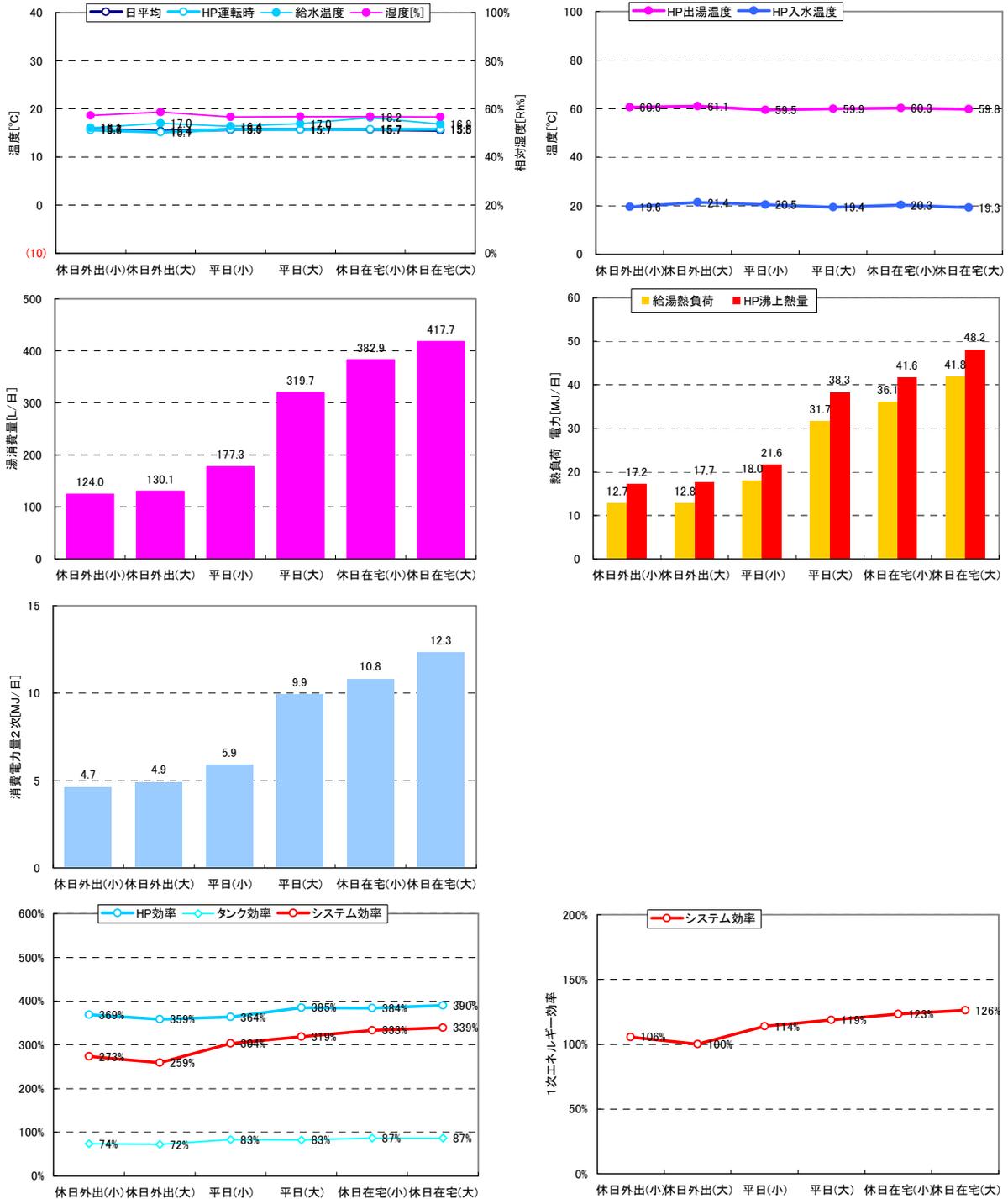


	雰囲気		湿度	給水	給湯量		熱負荷	HP温度			電力(2次)		電力(1次)		HP効率	タンク	システム	システム
	日平均	HP運転時			[°C]	[L/日]		40°C換算	入水	出湯	沸上量	合計	合計	(2次)				
休日外出(小)	6.7	6.2	74.4%	9.7	124.2	125.3	15.9	14.0	60.7	22.8	7.6	19.8	300%	70%	209%	80%		
休日外出(大)	6.0	5.9	81.0%	9.9	130.0	130.6	16.4	14.9	58.7	24.2	8.1	21.4	298%	68%	202%	77%		
平日(小)	6.7	6.6	74.2%	9.9	177.6	179.7	22.7	14.3	59.1	28.1	9.2	24.5	306%	81%	246%	93%		
平日(大)	6.4	6.4	74.2%	9.7	320.0	323.6	41.1	13.0	59.7	49.3	14.8	39.8	332%	83%	277%	103%		
休日在宅(小)	6.6	7.3	73.1%	9.7	383.3	391.3	49.7	12.6	60.2	56.7	16.6	44.6	342%	88%	300%	111%		
休日在宅(大)	6.1	6.2	78.5%	10.0	418.3	425.6	53.5	12.6	60.4	61.1	17.9	48.2	342%	87%	299%	111%		

図 7.4.3.3 試験結果代表6日平均 冬期 (セカンドモード)

CO2HP試験結果要約 代表6日平均

対象機種 季節 制御モード 消費モード 試験場所 試験期間  
 C社小型CO2HP2010年度モデル 中間期 出荷時 修正M1(2人) 東京大学 11/01/18 ~ 11/02/16



	雰囲気		湿度 [Rh%]	給水 [°C]	給湯量		熱負荷 [MJ/日]	HP温度			電力(2次)		電力(1次)		HP効率 (2次) [%]	タンク (2次) [%]	システム (2次) [%]	システム (1次) [%]
	日平均 [°C]	HP運転時 [°C]			[L/日]	40°C換算 [L/日]		入水 [°C]	出湯 [°C]	沸上量 [MJ/日]	合計 [MJ/日]	合計 [MJ/日]						
休日外出(小)	15.7	15.6	57.3%	16.1	124.0	127.0	12.7	19.6	60.6	17.2	4.7	12.0	369%	74%	273%	106%		
休日外出(大)	15.4	15.1	58.6%	17.0	130.1	132.9	12.8	21.4	61.1	17.7	4.9	12.8	359%	72%	259%	100%		
平日(小)	15.7	15.8	56.6%	16.4	177.3	182.3	18.0	20.5	59.5	21.6	5.9	15.8	364%	83%	304%	114%		
平日(大)	15.7	15.7	56.8%	17.0	319.7	328.5	31.7	19.4	59.9	38.3	9.9	26.7	385%	83%	319%	119%		
休日在宅(小)	15.7	15.7	56.7%	18.2	382.9	395.3	36.1	20.3	60.3	41.6	10.8	29.2	384%	87%	333%	123%		
休日在宅(大)	15.5	15.8	56.7%	16.8	417.7	431.3	41.8	19.3	59.8	48.2	12.3	33.1	390%	87%	339%	126%		

図 7.4.3.4 試験結果代表 6日平均 中間期 (ファーストモード)

#### 7.4.4 まとめ

本節においては、少人数世帯に特化した小型ヒートポンプ給湯機について以下の評価を行った。

- 東京大学人工環境実験室に実機を設置し、安定した冬期・中間期条件で試験を行った。
- 給湯消費モードには、2人世帯の平均と日変動を再現した「修正M1（2人）」を予備検討の結果用いることとした。
- ヒートポンプ給湯機の効率に大きな影響がある沸上制御モードについては、省エネモードを基本（ファーストモード）として、別のモード（セカンドモード）でも冬期のみ試験した。
- ファーストモードの結果より、冬期ではシステム効率(1次)では冬期79%～113%・中間期では100%～126%となっており、従来のガス給湯機等に比べて大幅な効率向上を達成していることを確認した。
- HP効率・タンク効率ともに、給湯量が多い日に効率が向上する傾向が見られた。

少人数世帯に特化した小型ヒートポンプ給湯機における実使用を考慮した評価は既往例がほとんどなく、省エネ基準の集合住宅への適応拡大を考慮する中で、非常に貴重な実験データを得ることができた。今後は、本結果を元に年間に展開した場合の消費エネルギー量や1次エネルギー係数について検討を進める必要があると思われる。

## 7.5 ベランダ設置型ソーラーシステムに関する評価実験

### 7.5.1 研究の目的

住宅における給湯設備に関する数ある省エネ技術の中でも、太陽熱を利用した給湯設備はオイルショックの時期から長い実績がある。一方で、近年では出荷台数は大きく減少しており、昨今の燃料費高騰の中でも伸び悩む傾向が見られた(図 7.5.1.1)。しかしながら、太陽熱利用は依然として高い実効性を有する技術であり、今一度広く普及することが期待される。「住宅建築事業主の判断基準 (以下、事業主基準)」においても、太陽熱給湯機を評価対象に含めている(表 7.5.1.1)。

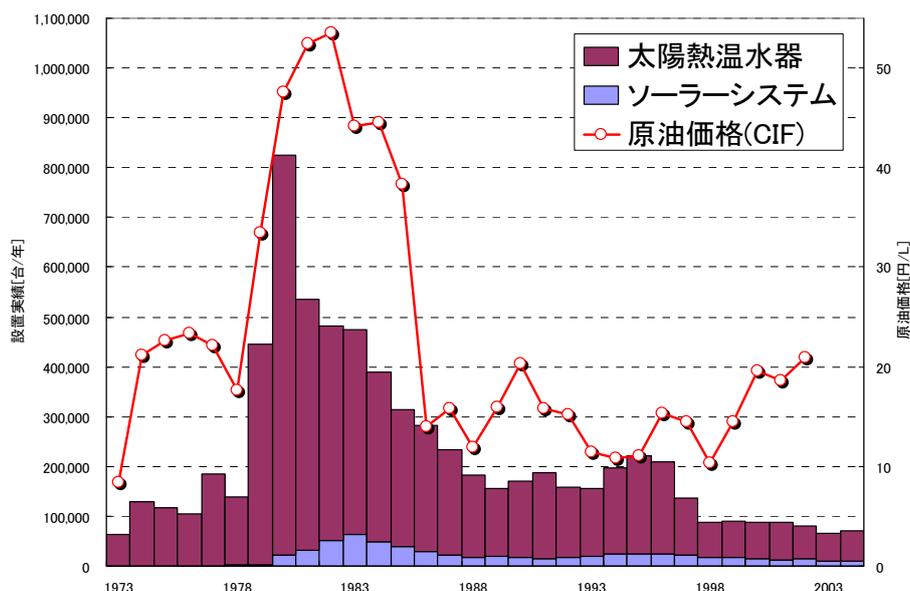


図 7.5.1.1 太陽熱給湯設備の出荷台数 (出展：ソーラーシステム振興協会)

表 7.5.1.1 住宅建築事業主基準におけるソーラーシステムの適応範囲

太陽熱温水器 (自然循環)		JIS A4111-1997 「住宅用太陽熱利用温水器」
ソーラーシステム (不凍液や水を強制循環)	集熱部	JIS A4112-1995 「太陽集熱器」
	貯湯槽	JIS A4113-1995 「太陽蓄熱槽」
		本基準の評価対象
太陽熱温水器 JIS A4111	自然循環形	有効集熱面積 2m <sup>2</sup> 以上
	くみ置形	対象外
	真空貯湯形	有効集熱面積 2m <sup>2</sup> 以上
ソーラーシステム 集熱部 JIS A4112	平板形	有効集熱面積 2m <sup>2</sup> 以上
	真空ガラス管形	有効集熱面積 2m <sup>2</sup> 以上
	ヒートポンプ形	対象外
	ヒートパイプ形	対象外
ソーラーシステム 貯湯部 JIS A4113		全て本評価の対象とする

太陽熱の普及が進まない理由としては、以下のようなものが挙げられる。

- 従来一般的である集熱部と貯湯部が一体となった「太陽熱温水器」は安価でコストパフォーマンスに優れているが、水圧や衛生面・利便性・設置性に問題が多く、新築住宅への設置などが困難
- 集熱部と貯湯部の間で不凍液を循環させる「ソーラーシステム」は、水圧や衛生面・利便性・設置性に優れているが、イニシャルコストが高い
- オイルショック以降にエネルギー価格が下がったためにランニングコストの削減降下が減少
- ヒートポンプなどの競合技術の性能が大きく向上した
- 貯湯部に必要なスペースが大きく、敷地に制約がある場合には設置が困難
- 都心部では集合住宅が主流であるが、ほとんどの太陽熱利用給湯設備は戸建住宅への設置のみを想定している。一部で住棟セントラル方式の集合住宅において屋上に太陽熱の集熱パネルを追加したものはあるが、住棟セントラル方式自体が非常に少ないため普及は困難

近年になって、集合住宅への設置に特化したベランダに集熱部を設置するソーラーシステムが登場してきた。ベランダに集熱パネルを垂直設置する方式で、従来は太陽熱の設置が困難であった集合住宅への普及が期待される(表 7.5.1.2・図 7.5.1.2)。一方で、集熱パネルが垂直設置になっている点については、必ずしも日射取得に有利ではない面が考えられる。現状の事業主基準の算定プログラムにおいても、垂直設置は傾斜角90度として入力可能であるが(図 7.5.1.3)、算定法作成時の実証実験では垂直設置は想定されていなかった。そのため、本調査ではその実効性について実機により検証を行うことにしたものである。

表 7.5.1.2 ベランダ設置型ソーラーシステムの仕様

(1)集熱部(手すり・集熱器・太陽電池)

集熱器品名	TYS-S3009AV
集熱器面積	約3m <sup>2</sup> (約1m <sup>2</sup> ×3枚)
集熱部寸法 (高さ×奥行き×幅)	1200mm×120mm×3660mm
集熱部総質量	約133kg
対応手すり	三協立山アルミ製専用ガラス手すり

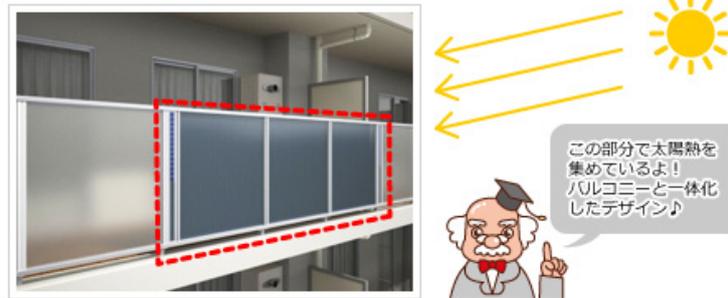
(2)貯湯部(貯湯タンク・熱源機)

品名	貯湯タンク:TI-C09A 熱源機:IT4207シリーズ(潜熱回収型24号給湯暖房機)
タンク容量	約100L
寸法(高さ×奥行き×幅)	1900mm×650mm×480mm
質量(満水時)	約117kg(約223kg)

出展：メーカーHPより

## バルコニーの手すりと一体感のあるデザイン

バルコニーのガラス手すりと一体感のあるスタイリッシュなデザインを実現しており、集合住宅の外観に調和するだけでなく、ベランダと一体化した外観なので景観を損なうこともありません。

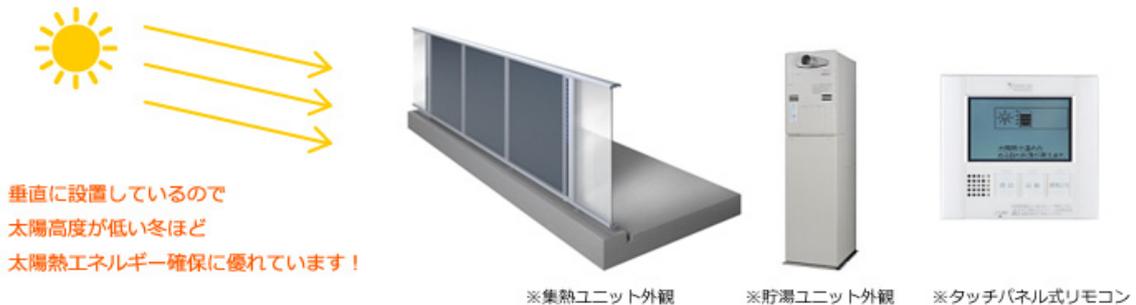


### スタイリッシュなデザインでSOLAMOはグッドデザイン賞受賞！

グッドデザイン賞とは、「優れたデザイン」のもつ卓越した「デザインの力」をもって、豊かな生活を築きあげ、産業の健全な発展を導いていこうとする制度でありデザインを通して社会を明るく豊かにしていく運動でもあります。

垂直に設置しているパネルはスタイリッシュなだけでなく給湯のための熱需要が大きくなる冬でも集熱量が増加<sup>(※)</sup>するという特長があります。

※集熱パネルを南向きに設置した場合。



※SOLAMO（ソラモ）ご利用の際に必要なシステム内容は、集熱パネルなどバルコニーの手すりに設置する集熱ユニット、貯湯タンクやエコジョーズを組み合わせた貯湯ユニット、室内に設置するタッチパネル式のリモコンの3つです。

図 7.5.1.2 集合住宅への設置を考慮したソーラーシステム（都市ガス事業者HPより）

太陽熱温水器

設置あり  設置なし

太陽熱温水器の仕様

パネル有効集熱面積	3 m <sup>2</sup>
パネル方位角	真南から東・西へ15°未満
パネル傾斜角	90度(鉛直)

図 7.5.1.3 事業主基準の算定プログラムにおける太陽熱給湯設備の入力

### 7.5.1.1 試験室への設置

実験対象機は、東京大学本郷キャンパス工学部一号館屋上の試験設備への設置を行った。

#### (1) 貯湯ユニットの設置

貯湯ユニットは、屋上パラペット上に渡されたH鋼の部材上に設置された(図 7.5.1.4)。貯湯ユニットは小型の100Lの貯湯槽を有し、補助熱源として潜熱回収型ガス瞬間式を内蔵している。

#### (2) 集熱パネルの設置

集熱パネルは、予め集熱パネルとベランダ部材が一体化された状態でクレーンにより搬入された(図 7.5.1.5)。集熱パネルは1枚あたり $1\text{m} \times 1\text{m}$ の約 $1\text{m}^2$ のものが3枚連結されている。ベランダの左右それぞれには不凍液の循環ポンプ駆動用の太陽電池パネルが設置されており、不凍液の循環に商用電力を用いる必要がない。

#### (3) 不凍液の注入

設置後に、集熱パネルと貯湯ユニットの間を循環する不凍液を注入する(図 7.5.1.6)。不凍液の密度は $1.02[\text{kg/L}]$ 、比熱は $3.85[\text{J/gK}]$ であるので、体積比熱は $3.927[\text{kJ/L}]$ として計算している。

#### (4) リモコン

リモコンは給湯の消費量や太陽熱の利用状況を視覚的に確認できる機種(通称: エネルックリモコン)が採用されており、日々の消費量や太陽熱による削減量を住民が確認することが可能である(図 7.5.1.6)。

#### (5) 計測および出湯の制御

実住宅を模擬した出湯の制御は、制御用のPCL上で専用の制御プログラムを動かし続け、所定の時間になった場合に電磁弁を開放し、所定の出湯量に達した時点で電磁弁を閉鎖するように調整されている(図 7.5.1.8)。計測されている温度・給湯流量・電力・ガス量は、計測ロガーにより2秒間隔で保存される(図 7.5.1.9)。

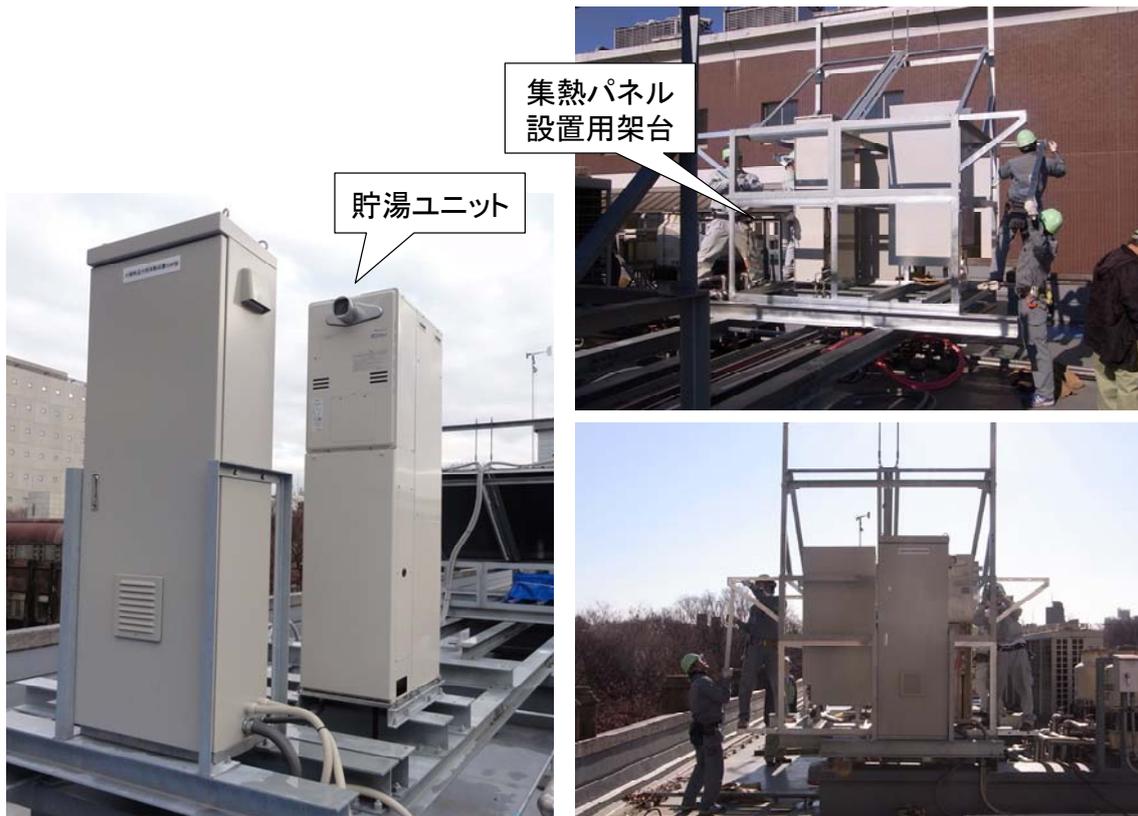


図 7.5.1.4 試験対象機の屋上試験装置への設置（架台準備）



図 7.5.1.5 試験対象機の屋上試験装置への設置（集熱器の吊込）

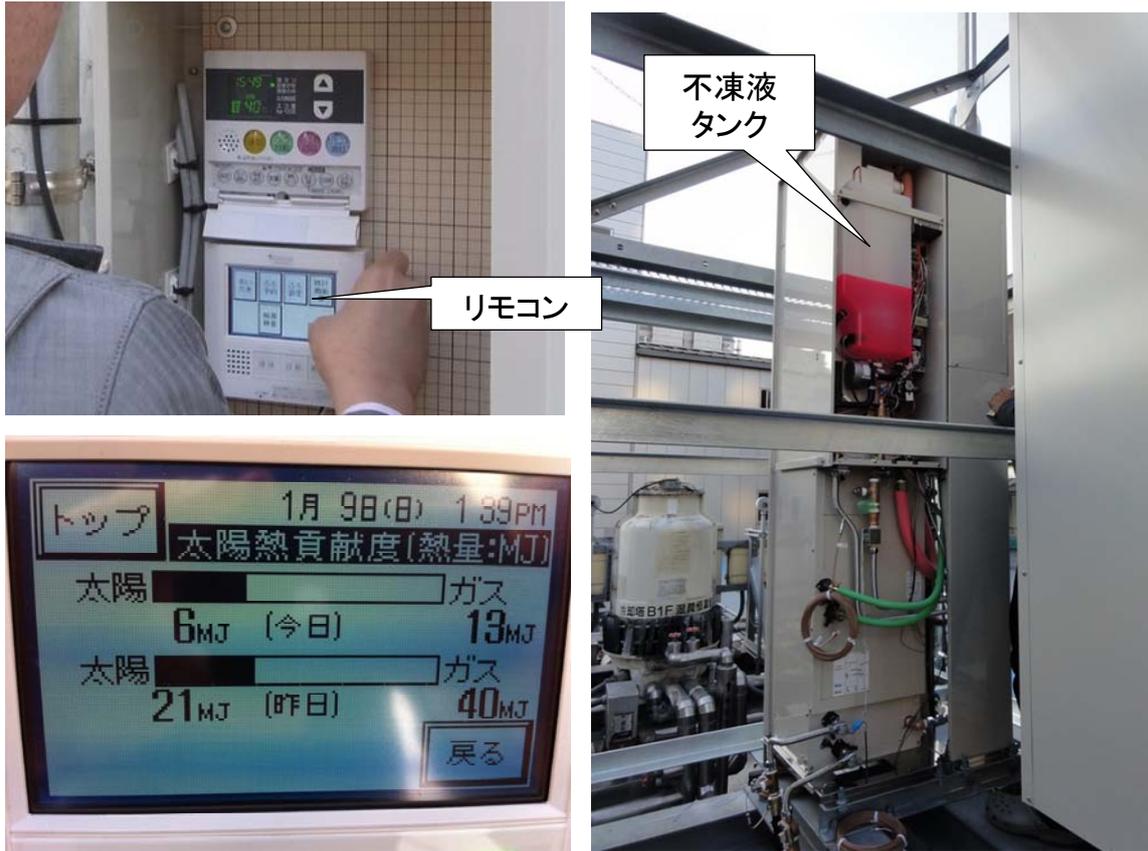


図 7.5.1.6 試験対象機の屋上試験装置への設置 (不凍液注入・リモコン)



図 7.5.1.7 試験対象機の屋上試験装置への設置 (完了状態)

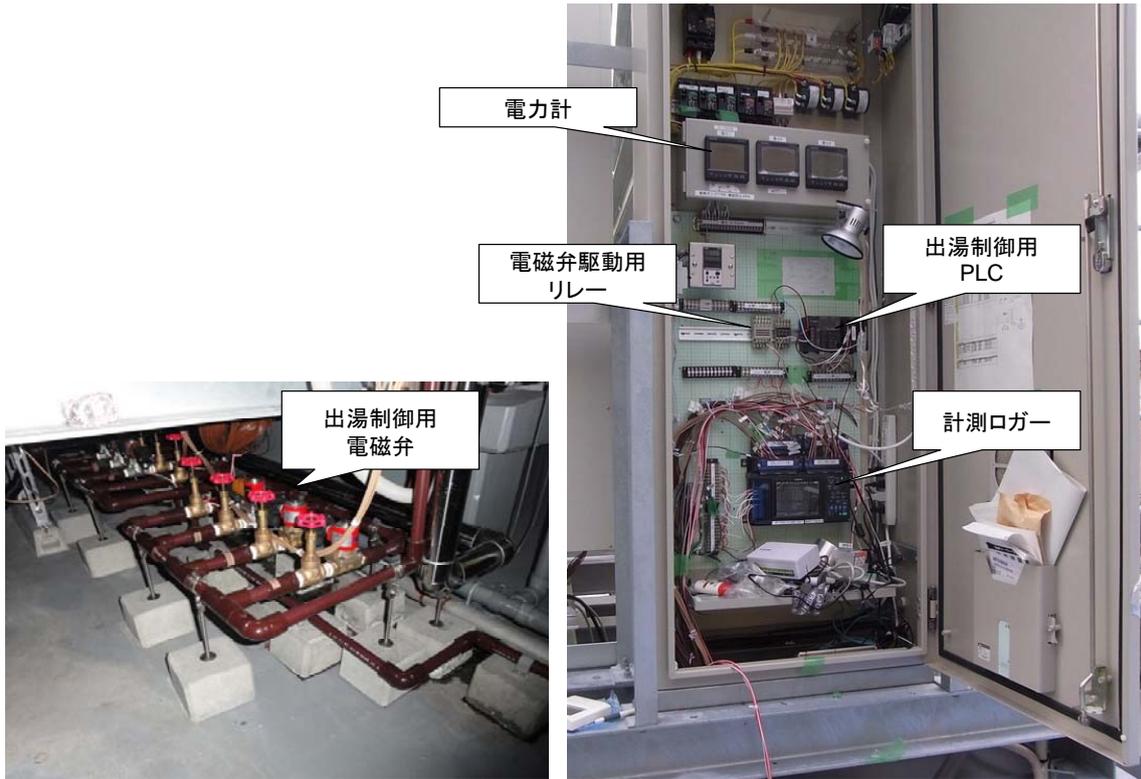


図 7.5.1.8 出湯制御および計測システム

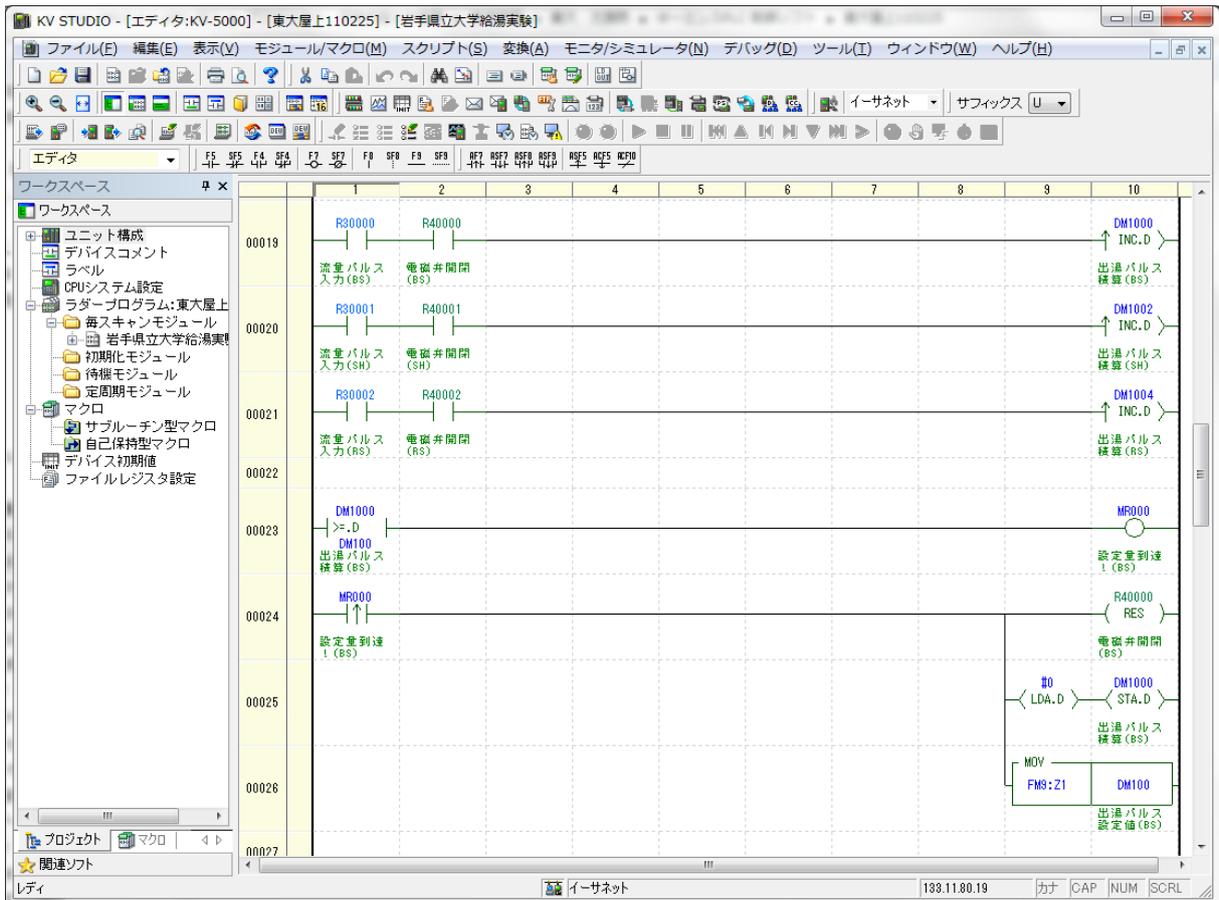


図 7.5.1.9 出湯制御用PLCの制御プログラム

### 7.5.1.2 計測項目

本計測における測定ポイントを、表 7.5.1.3・図 7.5.1.10に示す。

表 7.5.1.3 ベランダ設置型ソーラーの計測項目

Ch.	測定項目	測定点	使用機器
1	ベランダ①	給水温度(本体1次側)	シース型熱電対
2	ベランダ②	給湯温度(本体2次側)	同上
3	ベランダ③	集熱パネル行き温度、タンク側	同上
4	ベランダ④	集熱パネル行き温度、パネル側	同上
5	ベランダ⑤	集熱パネル還り水温、パネル側	同上
6	ベランダ⑥	集熱パネル還り水温、タンク側	同上
7	ベランダ⑦	垂直面日射量	日射計
8	ベランダ⑧	電力量100V	電力量計
9	ベランダ⑨	外気温度	山武製ガスメータ
10	ベランダ⑩	ガス流量	
11	ベランダ⑪	タンク温度分布(下から20l)	T型熱電対
12	ベランダ⑫	タンク温度分布(下から40l)	同上
13	ベランダ⑬	タンク温度分布(下から60l)	同上
14	ベランダ⑭	タンク温度分布(下から80l)	同上
15	ベランダ⑮	タンク出口水温	同上

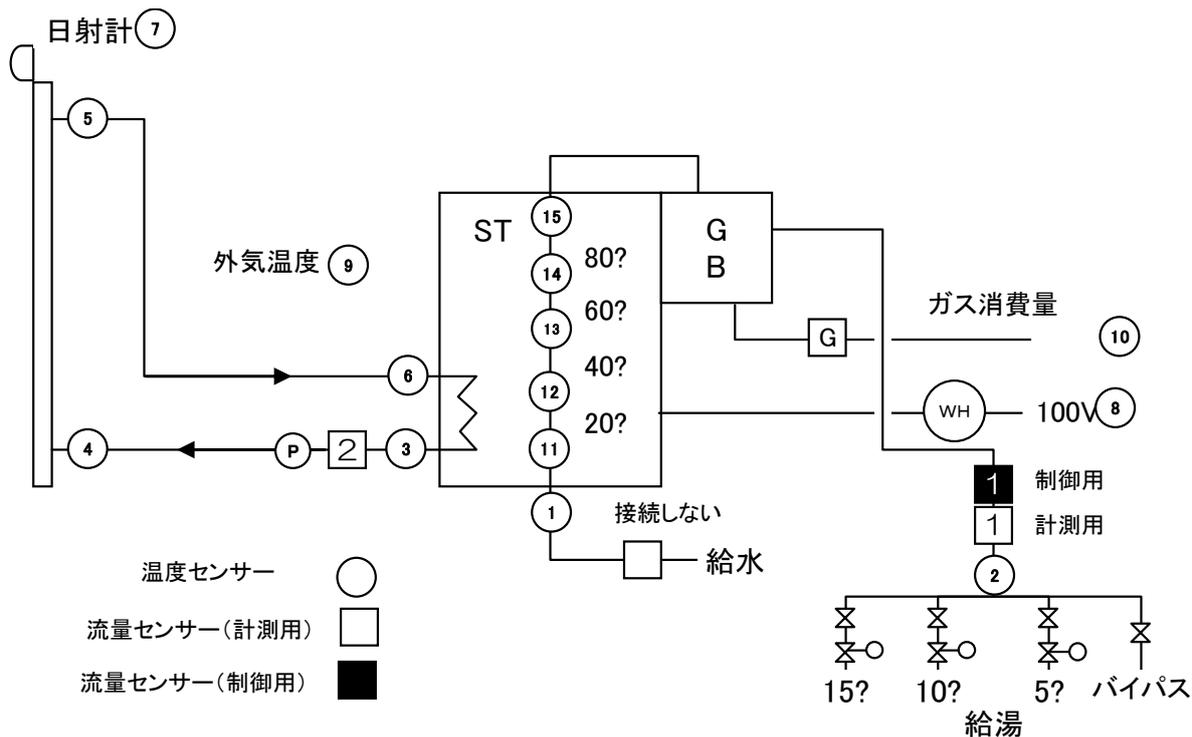


図 7.5.1.10 ベランダ設置型ソーラーの計測ポイント

### 7.5.1.3 給湯消費モードの設定

給湯消費モードとしては、事業主基準の実証実験に共通で用いられている「修正M1(4人)」を引き続き用いることとした(図 7.5.1.11・表 7.5.1.4)。ただし、本機種については消費履歴の学習による制御は盛り込まれていないこと、長期間の計測となることなどから、日の並び等は適宜変更している。

修正M1モード(4人世帯)

		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)	200	150	200	100		350	650
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)	160	150	140	100		290	550
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

代表日	1ヶ月30日内の日数	台所	浴室(湯はり)	浴室(シャワー)	洗面	洗濯	合計
平日(大)	11日	120	150	140	60	$\mu$	470
平日(小)	11日	100	150	80	50	$\mu - \sigma$	380
休日在宅(大)	4日	200	150	200	100	$\mu + 2\sigma$	650
休日在宅(小)	2日	160	150	140	100	$\mu + \sigma$	550
休日不在(大)	1日	10	150	200	20	$\mu - \sigma$	380
休日不在(小)	1日	10		200	30	$\mu - 2\sigma$	240

修正M1モード

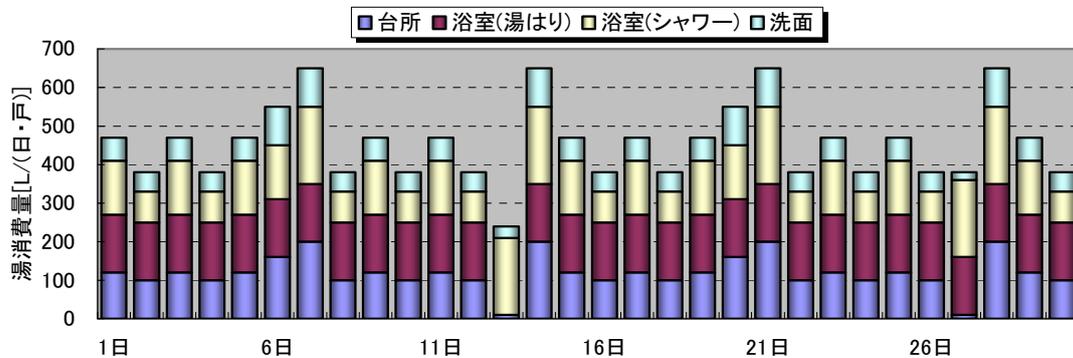


図 7.5.1.11 給湯モード修正M1 (4人世帯)

表 7.5.1.4 給湯モード修正M1 (4人世帯)

修正M1(4人世帯)

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

## 7.5.2 実験結果

### 7.5.2.1 分析項目と1日の挙動

本機種の見測は、2010年12月に設置工事が行われ2011年01に試運転・調整を行った後に、2011年02月に本試験が行われた。本機種は集熱パネルが垂直設置ということもあり、太陽高度が低い冬期の集熱が主となるため、2011年02月の実験により必要なデータはほぼ採取できたものと考えられる。実験状況の例として、2011年02月16日における挙動と各項目の値を、図 7.5.2.2に示す。この日は天候が良好で日射が十分にあったために、貯湯槽の温度は45°Cにまで達している。

- 給湯熱負荷① = (給湯温度 - 給水温度) × 給湯量 × 水の体積比熱
- BB(バックアップボイラー)推定分② = 消費ガス熱量 × 0.85(潜熱回収型の熱量を推定)
- パネル集熱量⑤ = (パネル直近の不凍液温度の往還温度差) × 不凍液の流量 × 不凍液の体積比熱
- タンク蓄熱⑥ = (タンク直近の不凍液温度の往還温度差) × 不凍液の流量 × 体積比熱
- タンク出湯熱量⑦ = 給湯熱負荷 - BB推定分 給水を太陽熱で最終的に加熱できた熱量
- 全効率 = 給湯熱負荷① / (ガス熱量⑧ + 電力⑨) 1次エネ換算が基本
- 従来型ガス給湯機の1次エネルギー消費量 = 熱負荷 × 1.32(事業主基準のIVbにおける係数)
- 潜熱回収型ガス給湯機の1次エネルギー消費量 = 熱負荷 × 1.14(事業主基準のIVbにおける係数)
- 終日日射量③ = 1日を通しての単位面積あたり日射量 × 有効集熱面積(1.01m<sup>2</sup> × 3枚)
- 集熱時日射量④ = 集熱時の単位面積あたり日射量 × 有効集熱面積(1.01m<sup>2</sup> × 3枚)

集熱性能の評価の基本は、「終日日射量③」に対する「タンク出湯⑦」の比率である(2月16日では30.9%)。ただし、本機種は集熱パネルが垂直設置のために周辺障害物の影響を受けやすく、試験場の周辺物からの影がかかる時間帯があったことから(図 7.5.2.1)、影による遮蔽効果を5%として日射量③・④では日射計の出力積算値に0.95をかけている。また「タンク出湯⑦」については給湯熱負荷とBB推定分からの推定値であり、誤差をふくんでいる点に注意を要する。

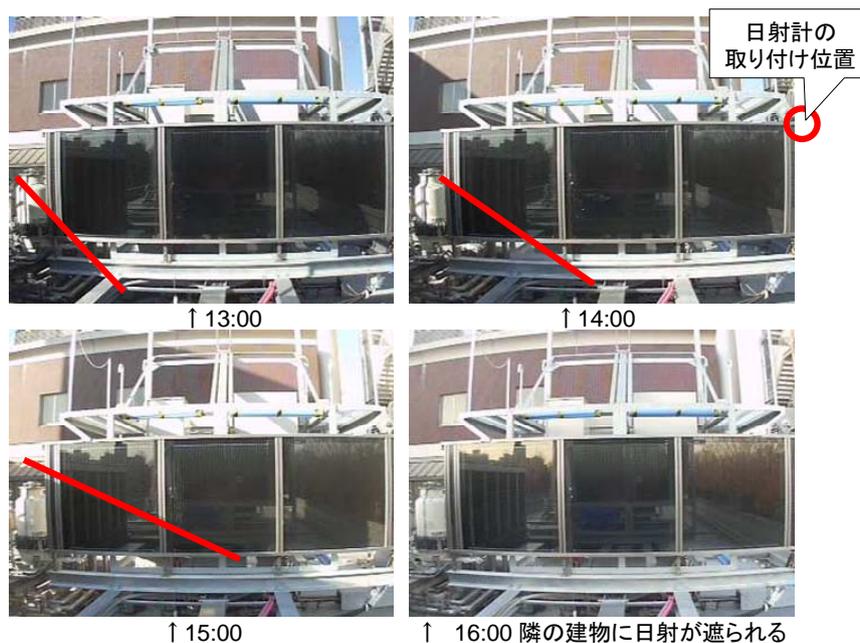
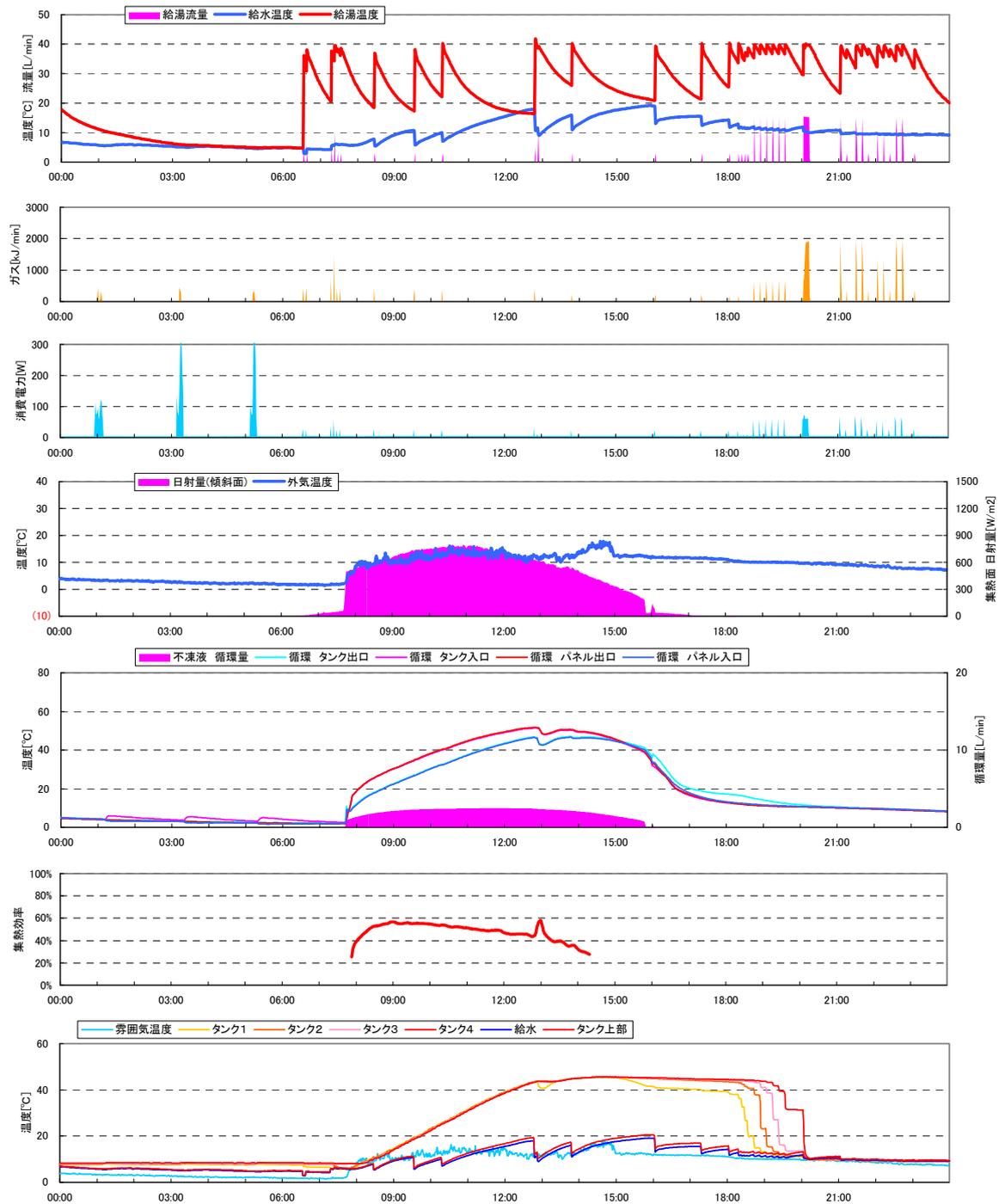


図 7.5.2.1 集熱パネルへの影のかかり方



外界条件			給湯関係				↓熱効率85%假定	
外気	[°C]		給水平均	給湯平均	給湯量	湯量40°C	①熱負荷	②BB推定分
日平均	日最高	日最低	[°C]	[°C]	[L/日]	[L/日]	[MJ/日]	⑧×0.85
8.3	17.9	1.5	9.9	39.0	485.5	469.0	59.1	43.0

集熱関係 ↓影補正 0.95

単位面積あたり	実面積(1.03m <sup>2</sup> ×3枚)	⑤パネル集熱	⑥タンク蓄熱	⑦タンク出湯	配管熱ロス	タンク放熱	循環時間	貯湯槽	[°C]		
[MJ/(m <sup>2</sup> ・日)]	③終日	④集熱時	[MJ/日]	⑥-②	⑤-⑥	⑥-⑦	[分/日]	0時	最高	24時	
17.8	52.1	45.2	23.1	20.6	16.1	2.6	4.5	492	7.8	45.5	8.8

②に対する比率→ 86.8% 44.4% 39.4% 30.9%  
 ③に対する比率→ 51.2% 45.4% 35.6%  
 ①に対する比率→ 27.2%

エネルギー関係

	↓Cw=1.32				↓Cw=1.14					
	⑧ガス量	⑨電力	⑩全1次	全効率	⑪従来型ガス	⑫省エネ量	省エネ率	⑬潜熱回収型	⑭省エネ量	省エネ率
	[GJ/日]		⑧+⑨	①/⑩	①×1.32	⑪-⑩	⑫/⑪	①×1.14	⑩-⑬	⑭/⑬
2次	50.6	0.81	51.4	115.0%						
1次	50.6	2.19	52.8	112.0%	78.0	25.2	32.3%	67.4	14.6	21.7%

図 7.5.2.2 試験対象機の挙動 (2月16日)

### 7.5.2.2 期間での挙動

2011年02月における試験結果について、図 7.5.2.3に示す。

#### (1) 雰囲気温度・給水温度・給湯量

雰囲気温度は、日平均では2.1～11.6℃である。晴天の場合には日最高温度は20℃以上になる日も見られた。給水温度も雰囲気温度から2～3℃高い程度で、適切な条件となっていた。給湯量は最小の「休日外出(小)」240[L/日]から「休日在宅(大)」650[L/日]まで、適切に制御されていた。

#### (2) タンク温度

晴天の日には40℃以上に到達しており、垂直設置の場合でも良好な集熱ができることを確認した。なお、02月04日に61.4℃と高温になっているのは、貯湯槽の殺菌のためのバックアップボイラーによる高温沸き上げが行われたためである。

#### (3) ガス消費量・バックアップボイラー・給湯熱負荷

熱負荷(棒グラフの積上値)は、30.6[MJ/日]～84.8[MJ/日]である。このうち、バックアップボイラーの推定値(ガス熱量×0.85)を除いた「太陽熱分担分⑦」は、最大21.1[MJ/日]となっている。この値がマイナスになっているのは、ガス給湯機の効率が0.85から厳密には異なるためと推測される。

#### (4) 日射量・パネル集熱・タンク蓄熱・タンク出湯の熱量

集熱面への終日日射量③(計測値)は、最大で56.2[MJ/日]である。ただし集熱は日射量が多い時間帯のみで行われるため、非集熱時の日射量が発生する。また、集熱時にはパネルでの損失(計測値)・循環配管部での損失(計測値)・タンク熱ロス(=蓄熱量-BB推定分)といったロスが発生する。実際に利用できたタンク出湯熱量⑦は、最大で21.1[MJ/日]となっている。

#### (5) 集熱効率

パネル効率(=パネル集熱量⑤/終日日射量③)は、概ね40%強で推移している。そこから配管・タンクの熱ロスを含んだ最終的な太陽熱の効率(=タンク出湯熱量⑦/終日日射量③)は30～40%程度を維持している。

#### (6) 1次エネルギー効率

1次エネルギー効率は晴天日では110%～120%に達しており、現状の事業主基準において通常の従来型ガス瞬間式が75.7%・潜熱回収型ガス瞬間式で88.4%とされているのに対し、大幅に省エネルギー性が向上している。

#### (7) 1次エネルギー削減率

晴天時において、従来型ガス給湯機に対して30%程度・潜熱回収型に対して20%程度の1次エネルギー削減量となっている。

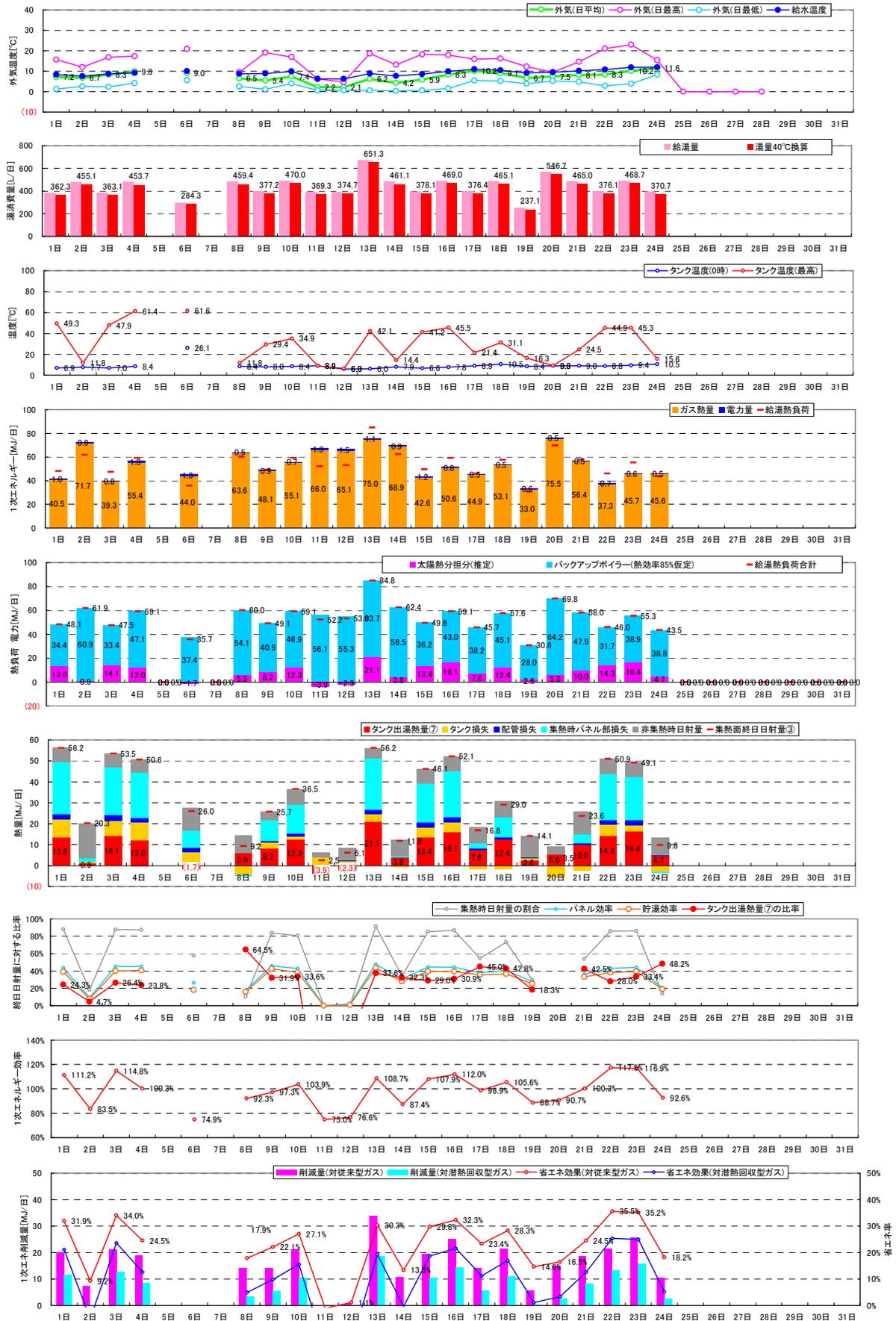


図 7.5.2.3 試験対象機の2011年02月における挙動

### 7.5.3 まとめ

本節では、今後の太陽熱給湯設備の普及において重要となる、集合住宅の専有部への設置に特化した集熱パネルをベランダに垂直設置するソーラーシステムについて、実験によりその効果を実証した。

- 東京大学本郷キャンパス工学部一号館の屋上に、試験対象機種を設置した。
- 試験は、2011年02月を通して実施した。給湯使用モードには、「修正M1（4人）」を使用した。
- 晴天日には貯湯槽の温度が50℃近くまで上昇し、1次エネルギー効率は110%前後、従来型ガス給湯機に対して20～30%程度の1次エネルギー量削減を達成しており、集熱パネルを垂直に設置した場合でも、太陽高度が低い冬期には十分な集熱が可能であることを示した。
- 最終的に貯湯槽から出湯された熱量は、集熱パネルに入射した日射量の30～40%前後であり、集熱が有効に行われていることを確認した。

垂直設置型ソーラーシステムを実使用に即して計測した例は限られており、今回の実証実験により有益な知見を得ることができた。集熱パネルを垂直設置した場合でも有効な集熱ができることが確認されたことから、集合住宅における省エネ基準の拡張に鑑み、有効な省エネ手法として評価していくことが必要であると考えられる。