

## 空気循環式全館空調システムによる太陽熱利用に関する研究：その3 大面積の集熱パネルを用いた太陽熱給湯・暖房システムの解析

田中, 航  
九州大学大学院人間環境学府空間システム専攻：修士課程

山本, 高広  
九州大学大学院人間環境学府空間システム専攻：博士後期課程

住吉, 大輔  
九州大学大学院人間環境学研究院都市・建築学部門：准教授

尾崎, 明仁  
九州大学大学院人間環境学研究院都市・建築学部門：教授

他

<https://doi.org/10.15017/1812449>

---

出版情報：都市・建築学研究. 31, pp.37-43, 2017-01-15. Faculty of Human-Environment Studies, Kyushu University

バージョン：

権利関係：

## 空気循環式全館空調システムによる太陽熱利用に関する研究

### —その3 大面積の集熱パネルを用いた太陽熱給湯・暖房システムの解析—

#### Study on Utilization of Solar Heat Energy in Detached House with Central Air Conditioning and Circulation System

#### —Part3 Energy Analysis about Solar Heat Collection System with Large Area Heat Collection Panels—

田中 航\*<sup>1</sup>, 山本高広\*<sup>2</sup>, 住吉大輔\*<sup>3</sup>, 尾崎明仁\*<sup>3</sup>, 隈 裕子\*<sup>4</sup>

Wataru TANAKA, Takahiro YAMAMOTO, Daisuke SUMIYOSHI,  
 Akihito OZAKI and Yuko KUMA

In the previous paper until part2, the effect of air circulation type of central air-conditioning system was focused. The six experimental houses for the research are equipped with large area solar collection panels and large capacity hot water storage tanks in comparison with the standard specification in order to reduce the load of hot water supply by using solar heat. This paper investigates the effect of load reduction when large area solar heat collection panels and large capacity hot water storage tanks are used.

**Keywords:** Solar heat utilization, Energy conservation, Solar collection panel, Heating

太陽熱利用, 省エネルギー, 太陽熱集熱パネル, 暖房

### 1. はじめに

本研究は, 太陽熱エネルギーによって空調・給湯負荷の50%削減を達成することを目的として, 太陽熱集熱システムと空気循環式全館空調システムを組み合わせた実証住宅を建設し, 給湯・暖房負荷の削減効果を検証するものである。前報<sup>1)</sup>に, 空調負荷の削減効果を中心に分析を行った。

実証住宅には, 太陽熱集熱システムとして, 太陽熱給湯・暖房システムが採用されている。本システムでは, 貯湯タンクに蓄熱した湯を給湯としてだけでなく, 空調室に設置したファンコイルユニットを介して暖房として利用することができる。そのため, 本システムには給湯のみに太陽熱を利用する一般的な太陽熱給湯システムよりも大きな集熱パネルやタンクが用いられている。

本報では, この太陽熱給湯・暖房システムによる給湯・暖房への太陽熱利用の効果について, 実測データに基づいて分析を行う。

### 2. 太陽熱給湯・暖房システムの概要

#### 2.1 システム概要

既報<sup>1)2)</sup>で示した通り, 実証住宅は6棟あり, 省エネ基準(平成25年)の地域区分が異なる6地域に建設されている。各棟の概要をまとめたものを表1に示す。なお, これらの住宅は実証実験のために建設されたものであり, 居住者はいない。

表1 建築概要

所在地		旭川市	札幌市	花巻市	坂井市	春日井市	宮崎市
気候区分	地域区分	1地域	2地域	3地域	5地域	6地域	7地域
	冬期日射量区分	H2	H2	H3	H1	H5	H3
	年間日射量区分	A2	A2	A2	A3	A4	A4
建物条件	延床面積[m <sup>2</sup> ]	121.3	118.7	127.02	149.4	118.4	115.5
	最高高さ[m]	9.71	7.20	8.79	10.50	6.93	8.56
	軒高[m]	6.96	6.40	6.44	6.72	5.20	6.76
	屋根形状	陸屋根	陸屋根	切妻屋根	差し掛け屋根	棟違い屋根	差し掛け屋根

いずれの住宅でも太陽熱給湯・暖房システムは, ①太陽熱集熱パネル, ②貯湯タンク, ③給湯用回路, ④補助給湯器, ⑤暖房用ファンコイルユニット, ⑥ファンコイルユニット回路の計6要素から構成されている。各住宅の太陽熱給湯・暖房システム図を図1に, 太陽熱集熱パネルの写真を図2に示す。旭川市の住宅では, 集熱パネルは2枚であるが, 貯湯タンクは1台の構成となっている。札幌市の住宅では, 集熱パネル1枚に貯湯タンクが1台で構成されている。実際にはもう一枚集熱パネルがあるが, そちらは融雪のための地盤蓄熱などに使用されており, 給湯・暖房には寄与していない。その他の4棟では集熱パネルが2枚, 貯湯タンクが2個の2系統からシステムが構成されている。また, 運転制御についても北海道の2住宅とその他の地域で異なる。北海道の2住宅では, 太陽熱集熱パネルに設置されたセンサーが日射を感知すると熱媒が循環するが, その他の実証住宅では太陽熱集熱パネルの出口温度とタンクの最下層部の温度差が7°Cを超えた場合に, 熱

\*1 空間システム専攻修士課程

\*2 空間システム専攻博士後期課程

\*3 都市・建築学部門

\*4 湘南工科大学

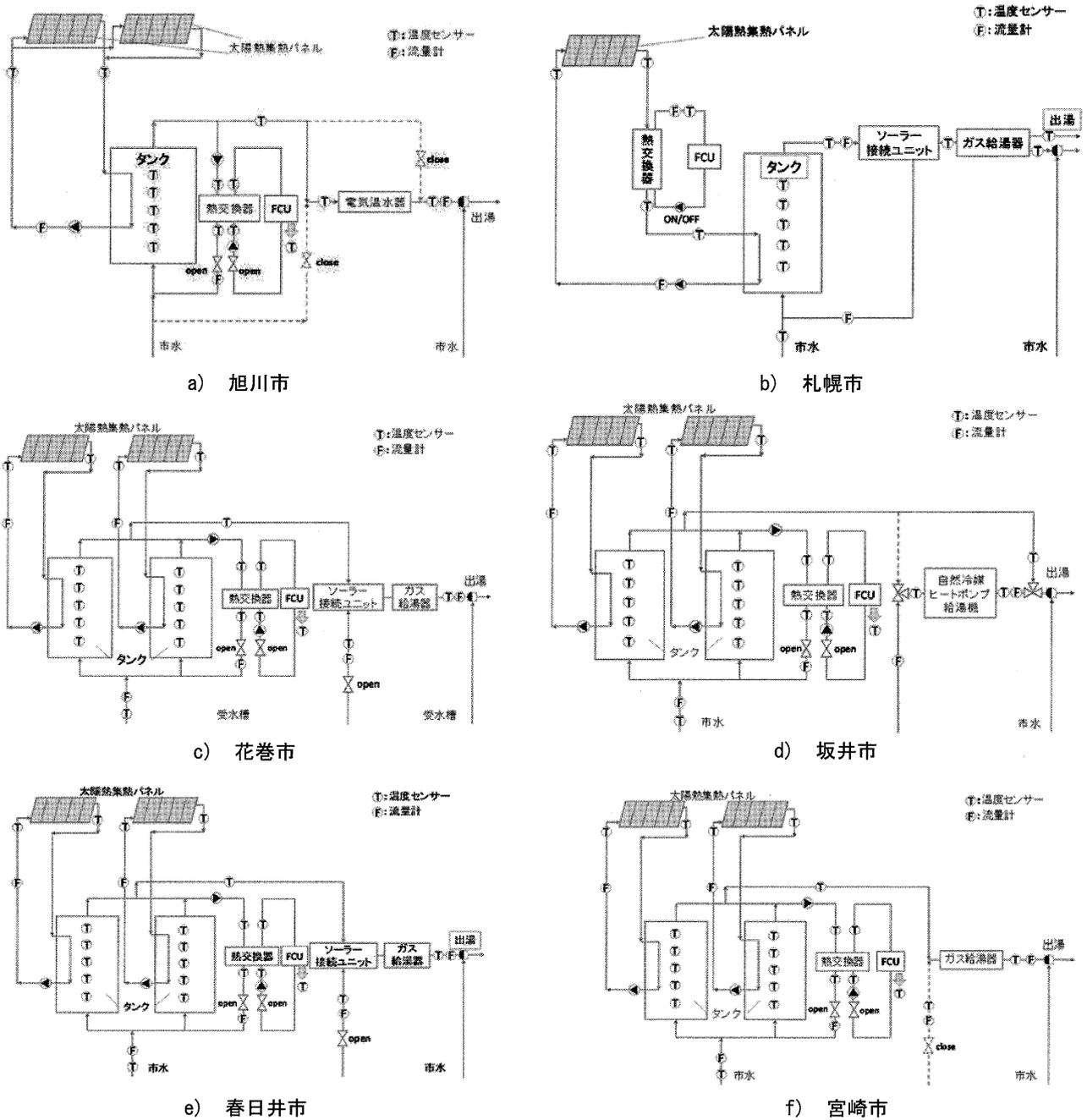


図 1 各地域の太陽熱給湯システムのシステム図

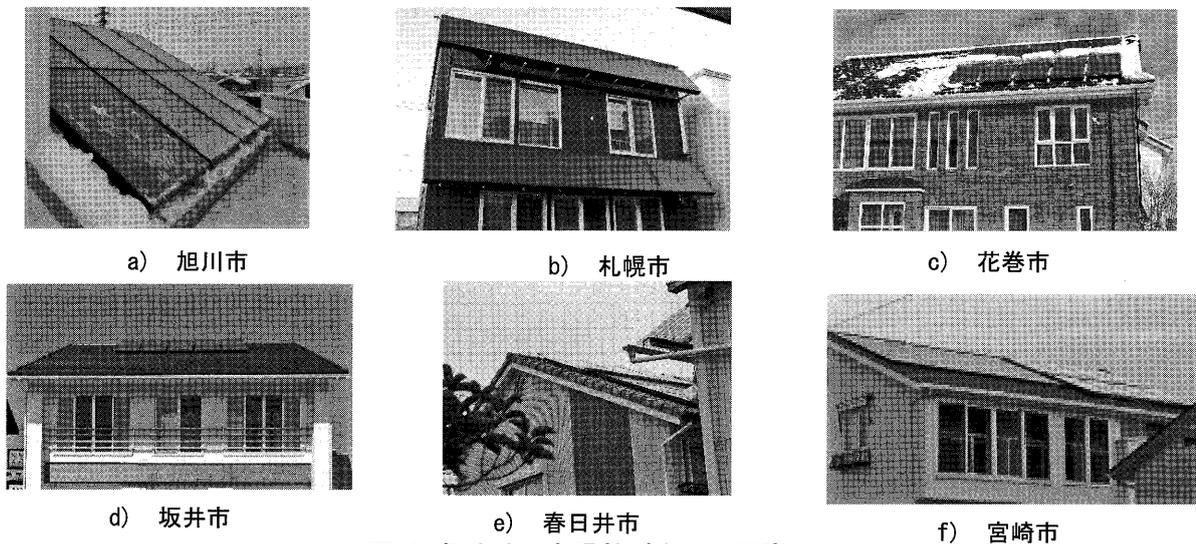


図 2 各地域の太陽熱パネルの写真

媒が循環し、3℃以下になると循環が停止する。太陽熱集熱パネルによって集熱された熱は、タンク内部に接続された熱交換器によって熱交換され、タンク内に湯として蓄熱される。タンクから供給される湯が住宅側への供給温度を下回った場合に備え、補助給湯器が接続されている。また、暖房利用のため、貯湯タンクは外部熱交換器を介してファンコイルユニットに接続されており、貯湯タンクの湯を暖房目的に利用する。

## 2.2 地域別の特徴

太陽熱給湯システムは6棟それぞれで異なる。各棟の設備概要を表2に示す。表中の太陽熱集熱パネルの方位角は北を0°として時計回りに角度を振ったものである。要点を以下に列挙する。

- ・太陽熱集熱パネル、貯湯タンク、補助給湯器は住宅ごとに異なる仕様の設備が導入されている。
- ・北海道の2住宅では高効率な集熱パネル(集熱効率70%程度)が、他の地域では標準的な性能の集熱パネル(集熱効率35%程度)が使用されている。また、北海道の2住宅では運転制御が日射の有無のみで判定されているためタンク内温度が高い場合でも集熱パネルが稼働し、過集熱によるトラブルが起こった。
- ・太陽熱集熱面積・貯湯タンク容量は、6住宅平均でそれぞれ15.6m<sup>2</sup>/世帯、620L/世帯である。なお、給湯のみに太陽熱を利用する一般的な太陽熱給湯システムの場合、太陽熱集熱面積は2m<sup>2</sup>/世帯～8m<sup>2</sup>/世帯、貯湯タンク容量は200L/世帯～400L/世帯程度である。
- ・北海道の2棟では配管の凍結を防ぐため、集熱パネルの熱媒経路と貯湯タンクを屋内に設置して

おり、居住空間の確保のため貯湯タンクを1台としている。

- ・札幌市の住宅では、集熱パネルの回路に直接ファンコイルユニットが接続されており、タンクの熱を暖房に利用できない。
- ・補助給湯器は、各地域で種類が異なる。坂井市では、自然冷媒ヒートポンプ給湯機を使用している。太陽熱給湯システムのタンクに貯められた高温の湯が自然冷媒ヒートポンプ給湯機に直接入ると給湯機が故障する恐れがあるため、太陽熱給湯システムのタンクと市水を三方弁によって混合し給湯機に接続している。また、三方弁の制御に問題があり太陽熱をうまく使えていない。
- ・宮崎市の住宅では、2015年12月～2016年2月にかけて、トラブルの発生により、ファンコイルユニットでの太陽熱利用がなされなかった。

各棟の計測点は図1に示す①と②である。①が温度を、②が流量を測る計測点である。この他にガス消費量、電力消費量を測定している。計測間隔は10秒間隔である。計測は、2015年3月から開始され、2016年11月現在まで花巻市を除く5棟で継続中である(花巻市は2016年3月で計測終了)。

## 3. 実験による省エネルギー効果の把握

### 3.1 実験方法

給湯実験は実測期間中断続的に実施した。給湯実験では4人世帯の給湯負荷を想定し、1日450Lを目標出湯量として夕方から夜間にかけて水温40度で出湯する。出湯は風呂場または洗面台で、手動またはタイマー制御により行った。出湯量450Lは目標値であり、実際の出湯量は日別、地域別に変動がみられる。また、実証住宅は住宅展示場としても活

表2 太陽熱給湯システムの設備概要

所在地		旭川市	札幌市	花巻市	坂井市	春日井市	宮崎市
太陽熱集熱パネル	集熱面積(m <sup>2</sup> )	8	9.6	10.2	10	6	8
	傾斜角度(°)	30	45	35	21.8	26.5	24.2
	方位角(°)	218	180	180	175	180	188
	枚数	2	1	2	2	2	2
貯湯タンク	容量(L)	460	460	370	370	300	370
	設置場所	屋内	屋内	屋外	屋外	屋外	屋外
	設置台数(台)	1	1	2	2	2	2
補助給湯器		電気温水器	ガス給湯器	ガス給湯器	自然冷媒ヒートポンプ給湯機	ガス給湯器	ガス給湯器

用されるため、実験期間内に宿泊体験が行われた日には昼間に出湯されている。また、北海道の2棟では過集熱の対策として昼間に出湯した日もある。

暖房実験は、2015年11月25日から3月にかけて行っており、貯湯タンク内の温度が25℃を超えた場合にファンコイルユニットが稼働し、太陽熱を暖房として利用する。

### 3.2 実測結果

#### 3.2.1 集計データの概要

本報では、2015年3月～2016年9月までの実測

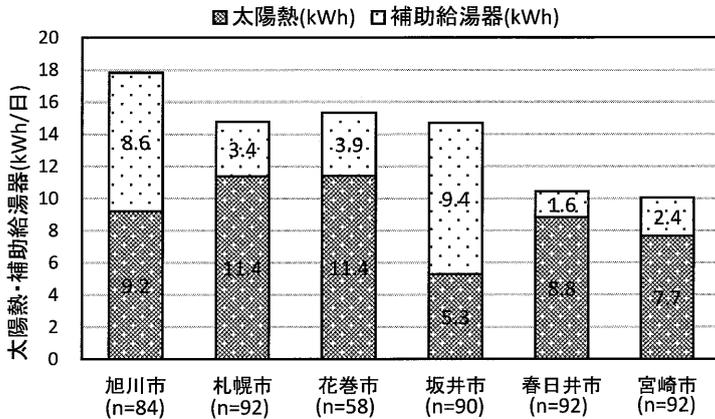


図3 各地域の測定期間における日平均給湯負荷

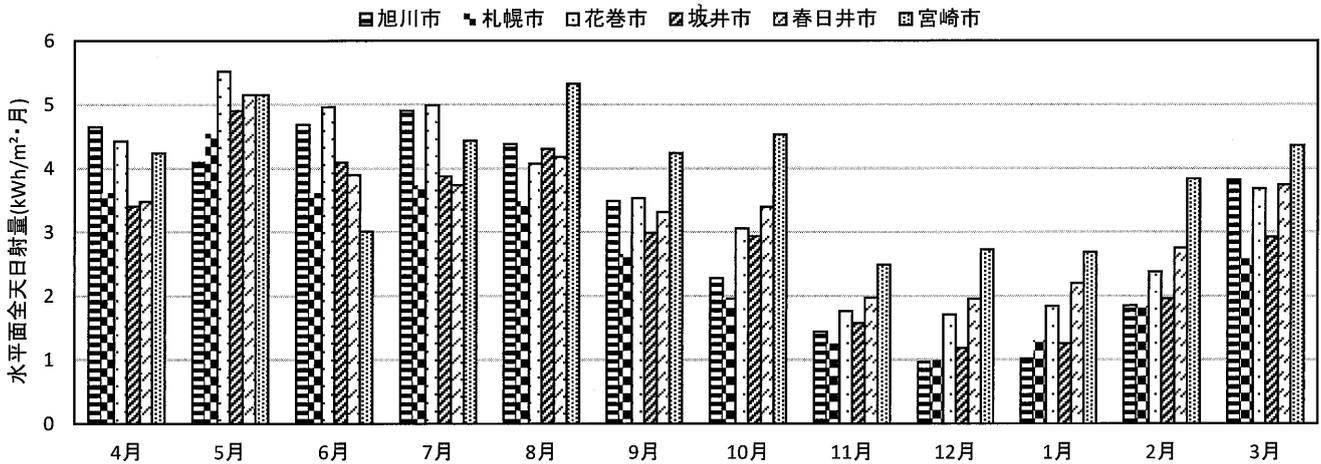


図4 各地域における一月当たりの平均水平面全天日射量

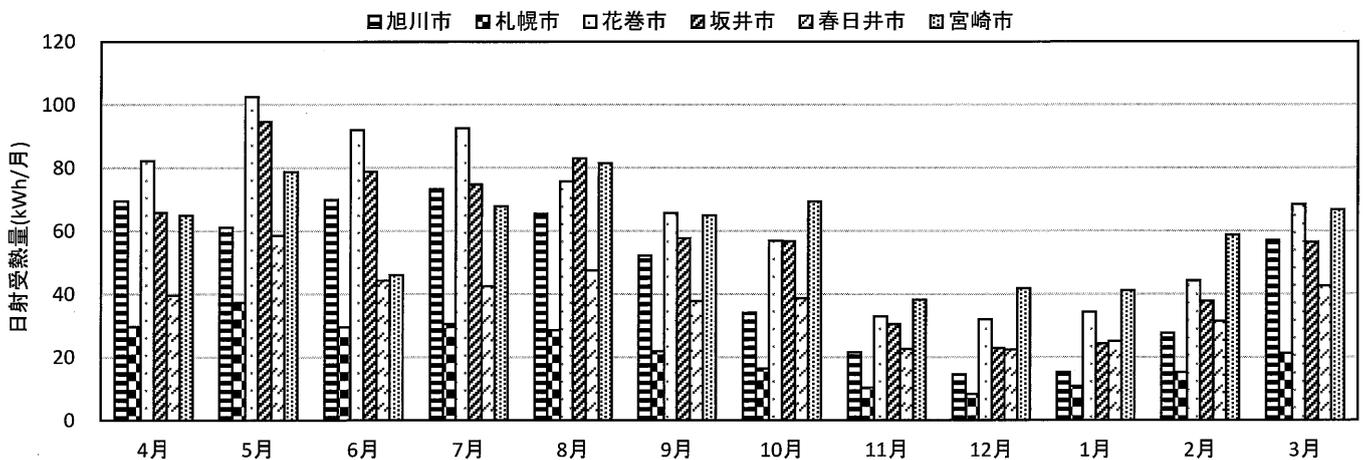


図5 各住宅の太陽熱集熱パネルにおける一月当たりの平均日射受熱量

データを対象に、出湯量が350L～550Lかつ、17時以前にタンク・給湯器への給水量が発生しない日を抽出し、分析を行った。

#### 3.2.2 測定期間の給湯負荷削減効果

各地域の太陽熱利用熱量と補助給湯器の処理熱量の日平均値を図3に示す。坂井市を除く全ての地域で給湯負荷の50%以上を太陽熱から賄っている。各地域の一月当たりの水平面全天日射量を図4に、太陽熱集熱パネルの日射受熱量を図5に示す。ここに示す日射受熱量は、計測した水平面全天日射量を太陽熱集熱パネルの傾斜角と方位角に従って、直散分離<sup>2)</sup>して求めた斜面日射量にパネルの集熱面積を掛けて算出している。

図3より、坂井市の住宅における太陽熱利用熱量は他の地域に比べ少ない。坂井市の住宅における太陽熱集熱パネルの月平均日射受熱量は、春日井市の住宅を上回る月が多く、日射量が少ない冬期にも受熱量は春日井市の住宅と同程度である。そのため、坂井市の住宅の太陽熱利用の割合が小さい要因は、気象条件によるものではない。坂井市の住宅では補助給湯器として自然冷媒ヒートポンプ給湯機を使用

している。住宅に供給される湯は三方弁で計測された貯湯タンクからの水温が高ければ継続して貯湯タンクから出湯され、低ければ自然冷媒ヒートポンプ給湯機から出湯される。出湯開始直後に三方弁に到達する貯湯タンクからの湯はやや長い配管径路に残った残り湯であり、出湯時には冷めている。そのため、貯湯タンクからの湯が三方弁に到達し、出湯される前に自然冷媒ヒートポンプ給湯機からの出湯に切り換えられている状況が見られる。このこ

とが坂井市の住宅における太陽熱利用の割合低下に繋がっていると考える。特に自然冷媒ヒートポンプ給湯機を接続する場合には三方弁制御による水温調整を行うため、有効に太陽熱を活用するための制御システムを十分に検討する必要がある。

### 3.2.3 月別の太陽熱寄与率

表 3 に、各地域の給湯における月別平均太陽熱寄与率、平均日射受熱量の分布、有効給湯実験日数及び暖房実験日数を示す。給湯システム全体の出湯

表 3 各地域の月平均太陽熱寄与率と月平均日射受熱量

#### a) 旭川市

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
太陽熱寄与率	30%	36%	84%	66%	-	-	99%	97%	100%	-	-	53%
日射受熱量(kWh)	16	26	52	46	-	-	22	25	22	-	-	16
有効実験日数(日)	24	21	19	10	0	0	1	1	5	0	0	3
暖房実験日数(日)	24	21	19	10	0	0	1	1	5	0	0	3

#### b) 札幌

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
太陽熱寄与率	67%	65%	92%	-	98%	95%	89%	94%	85%	80%	46%	76%
日射受熱量(kWh)	10	10	11	-	48	9	10	9	17	18	9	10
有効実験日数(日)	9	22	3	0	1	11	14	8	14	3	13	12
暖房実験日数(日)	9	20	2	0	0	0	0	0	0	0	0	3

#### c) 花巻市

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
太陽熱寄与率	51%	-	94%	86%	91%	100%	100%	98%	97%	100%	44%	47%
日射受熱量(kWh)	30	-	46	88	83	93	61	67	63	56	21	24
有効実験日数(日)	3	0	7	10	6	5	3	4	5	6	4	5
暖房実験日数(日)	3	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	3

#### d) 坂井市

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
太陽熱寄与率	3%	8%	26%	35%	46%	100%	51%	97%	99%	99%	99%	-
日射受熱量(kWh)	18	34	56	69	83	81	77	88	56	76	59	-
有効実験日数(日)	9	15	11	22	2	4	12	6	6	1	1	0
暖房実験日数(日)	2	12	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0

#### e) 春日井市

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
太陽熱寄与率	51%	-	96%	85%	75%	86%	95%	89%	99%	100%	69%	48%
日射受熱量(kWh)	27	-	54	41	73	44	45	38	39	38	23	25
有効実験日数(日)	6	0	14	20	1	17	25	15	24	25	17	9
暖房実験日数(日)	6	0	13	0	0	0	0	0	0	0	0	9

#### f) 宮崎市

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
太陽熱寄与率	71%	86%	49%	60%	86%	80%	90%	95%	91%	86%	67%	91%
日射受熱量(kWh)	38	57	30	48	77	69	71	73	56	51	33	40
有効実験日数(日)	26	11	10	25	25	4	13	16	30	4	12	10
暖房実験日数(日)	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0

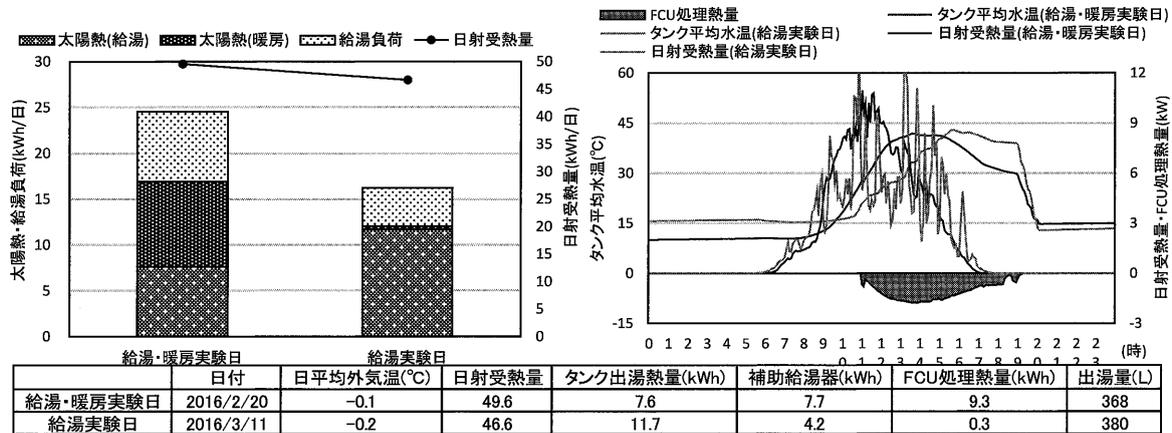
熱量に対するタンクから出湯された熱量の割合を太陽熱寄与率として計算した結果、坂井市を除く全ての地域において5月から10月にかけて70%以上の太陽熱寄与率を示した。標準よりも大きい太陽熱集熱パネル・貯湯タンクを用いることは、暖房期間を除けば効果的であることが分かる。一方で、暖房実験を行った11月から3月にかけては、月平均太陽熱寄与率が低くなっている。

この要因を分析するため、日射受熱量が同程度で、給湯実験と暖房実験の両方を行った日と給湯実験のみを行った日を抽出し、比較する。

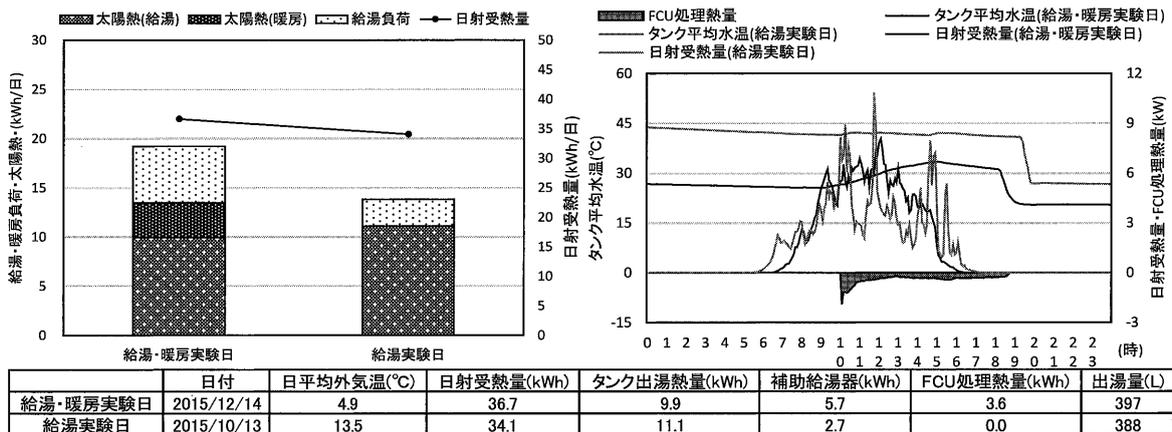
### 3.2.4 太陽熱の給湯・暖房利用時の効果分析

暖房回路がタンクに接続されており、実験トラブルがなかった旭川市、花巻市、春日井市の住宅について分析を行う。給湯・暖房実験日は、ファンコイルユニットの処理熱量が1kWh以上あり、かつ出湯量が同程度の日を抽出した。また、給湯実験日を給湯・暖房実験日と同程度の日射受熱量・出湯量の日を抽出した。図6に、3地域の給湯・暖房実験日と給湯のみの実験日の比較を示す。

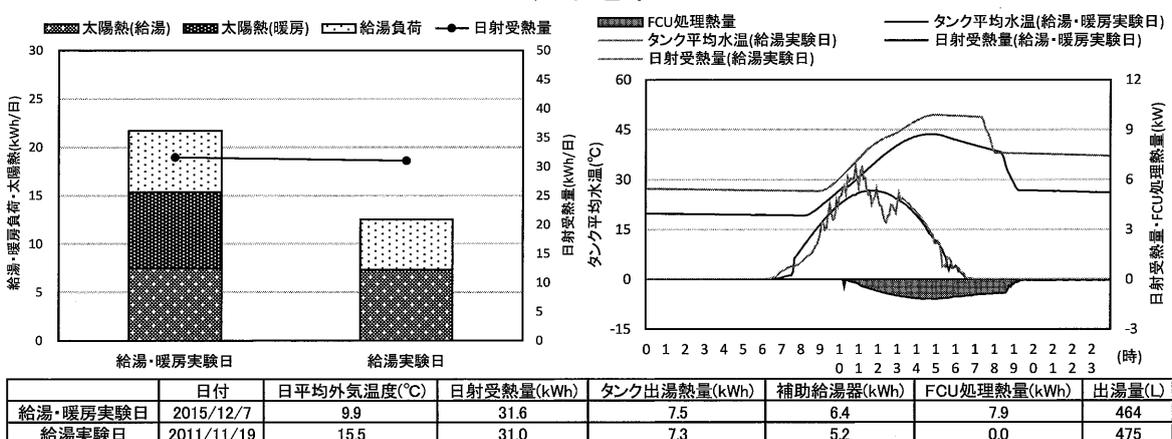
図6の旭川市の表において給湯実験日にFCU処理熱量が0.3kWh発生しているが、これは温度と時



#### a) 旭川市



#### b) 花巻市



#### c) 春日井市

図6 給湯・暖房実験日と給湯実験日の比較

間によるファンコイルユニットの運転制御を試験的に試していたため発生したもので、暖房実験によるものではない。

花巻市と春日井市の住宅では、給湯のみに太陽熱を利用した日と給湯・暖房に利用した日とで、給湯への太陽熱利用熱量に大きな差は無い。給湯・暖房実験日には、昼間に太陽熱をファンコイルユニットから放熱しているが、給湯出湯が行われる 19 時前後でもタンクに蓄熱があり、タンクからの出湯が行えている。

旭川市では、給湯のみに太陽熱を利用した日に比べ給湯・暖房に利用した日の方が給湯への太陽熱の利用量が減少している。これは、旭川市の住宅の貯湯タンク容量が 450L と実証住宅の中で最も小さいことにより、ファンコイルユニットからの放熱で熱が消費され花巻市や春日井市の住宅のように給湯出湯時に熱が残っていなかったためである。

いずれの住宅でも給湯・暖房実験日の給湯と暖房への太陽熱利用熱量の合計値は、給湯実験日の給湯への太陽熱利用熱量を上回っており、暖房に太陽熱を利用することで、太陽熱の利用効率を向上させていると言える。

花巻市の住宅における給湯実験日のデータでは、前日からの残湯が多かったためタンク蓄熱量が夜間の時点から多いが、昼間になって日射を受けてもタンク蓄熱量がほとんど増加していない。冬期の外気温度が低い時期には、日射による集熱量が大きくない場合、タンクへの集熱が十分に行えていないことが確認できる。パネルの集熱特性・システムが同様である春日井市と比較すると、花巻市では日射受熱量に対して貯湯容量が大きいことためタンク内の温度が上がりにくいことや、集熱時にパネルの熱媒経路からの熱損失が大きいためだと考える。そのため、タンク温度 30℃前後となり、補助給湯器による加熱が必要となる。

日射がある時間帯においてもタンク蓄熱量が増加しない傾向は、旭川市や春日井市の住宅でも見られた。例えばパネルの集熱面積を大きくしたとしても、熱損失が大きければ冬期には給湯負荷をすべて賄うことは難しい。

給湯・暖房の両方に熱を利用した場合に、太陽熱の利用熱量が増加した要因の一つには、給湯と暖房の利用温度の違いもあると考えられる。給湯の場合 40℃で出湯するが、暖房では 30～35℃程度の湯があればよい。そのため、昼間集熱した熱量が大きくな

く、タンク内温度がそれほど上がっていないときでも、集熱を有効に使うことができる。

#### 4. まとめ

給湯のみに太陽熱を利用する一般的な太陽熱給湯システムよりも大きな太陽熱集熱パネルや貯湯タンクを用いた太陽熱給湯・暖房システムによって、温暖地だけでなく寒冷地においても太陽熱を有効利用することができ、給湯だけでなく暖房としても利用できることが分かった。しかし、冬期に給湯への太陽熱利用率を高めるためには、単に大きな集熱パネルや貯湯タンクを設置するだけでは難しく、熱損失を減らす工夫などが必要であることが分かった。また、太陽熱を給湯だけでなく暖房にも利用することは、太陽熱の利用効率を向上させ、暖房と給湯を合わせたトータルの負荷を削減することに効果的であることを示した。ただし、昼間の時間帯に暖房に太陽熱を利用することでタンク内温度が十分に上がらず、給湯への太陽熱寄与率を下げってしまう課題も明らかとなった。今後は、暖房利用も含めた太陽熱給湯システムのシミュレーションモデルを構築し、一般的な太陽熱給湯システムとの性能差を示すと共に、気象条件や給湯・暖房負荷が異なる場合の最適なシステム・仕様とその制御方法について検討していきたい。

#### 謝辞

本研究の一部は、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 NEDO「太陽熱エネルギー活用型住宅の技術開発」によるものである。

実施に当たり多大な協力を頂きました FH アライアンスの皆様へ深く感謝いたします。

#### 参考文献

- 1) 隈裕子, 尾崎明仁, 住吉大輔, 原口紘一, 中池和輝: 空気循環式全館空調システムによる太陽熱利用に関する研究 -その 1 全国 6 地域における建築計画とシステム概要-, 九州大学大学院人間環境学研究院紀要, 第 29 号, pp.65-72, 2016 年 1 月
- 2) 浦野良美, 中村洋, 他: 建築環境工学, 森北出版株式会社, 1996 年 6 月

(受理:平成28年11月10日)

