

タイトル	積雪寒冷地の住宅における新たなヒートポンプと太陽熱利用の研究
著者	佐々木, 博明; SASAKI, Hiroaki
引用	北海学園大学学園論集(175): 31-39
発行日	2018-03-25

積雪寒冷地の住宅における 新たなヒートポンプと太陽熱利用の研究

佐々木 博明

1. はじめに

積雪寒冷地の住宅では高断熱化が著しく進展している一方で設備と調和した ZEH（ゼッチ：ゼロエネルギーハウス）の対応は遅れている現状がある。国は 2020 年に新築の 50% の普及を目標にしているものの進捗は遅い。特に北海道の ZEH 補助金交付決定割合は 0.6% で全国平均の 2.3% を大きく下回り最下位から二番目の現状である（文献 1）。ZEH の多くは太陽光発電による創エネルギーを使用しているが、もっと自由度を高めても良いと考えられる。

本稿でははじめに、北海道の主要都市と周辺において太陽光発電の現状をアンケート調査し、使用概要および地域的特性を示した。

次に自然エネルギーで太陽光発電以外に有効利用が可能なものとして、近年あまり使われなくなった太陽熱集熱器を利用し、温水を確保し、暖房を初め給湯や高齢化世帯にとって負担の大きな作業となっている除雪（融雪）に使用可能な住宅設備システムを持つ住宅を建設し、その有効性を検討した。ここに、システムの紹介と温熱環境、暖房エネルギーの低減状況についての結果を示す。

中心となる住宅設備は表 1 に示す。太陽熱利用は暖房、融雪、給湯としている。太陽熱貯湯タンクの室内設置と架橋ポリパイプを融雪も含め住宅床下スラブの上下二層に配管している。また、暖房には架橋ポリを太陽熱用とヒートポンプ温水用の二重に配管敷設している。給湯はエコキュートを使用し、水道水の予熱に太陽熱温水を使用できるシステムとしている。

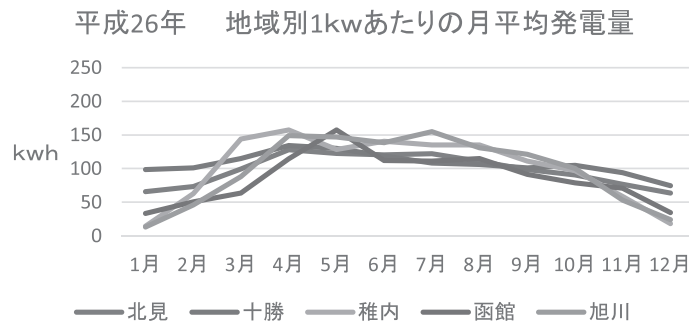
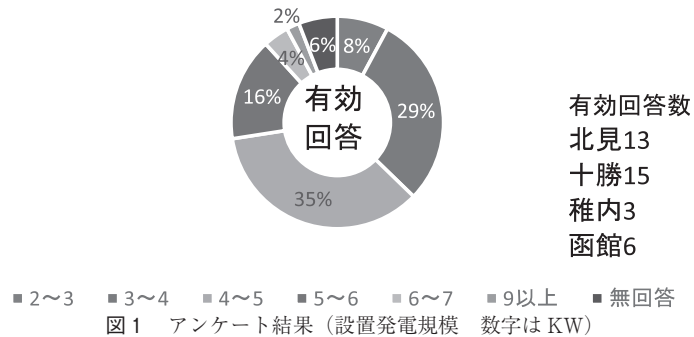
2. 太陽光発電の現状（アンケート結果抜粋）

アンケートは当初、特定行政庁を対象行ったが、後に稚内も対象に含み、有効回収総数は 51（北見 14、十勝 16、稚内 3、函館 7、旭川 11）であった。幾つかの特徴と結果を概説する。

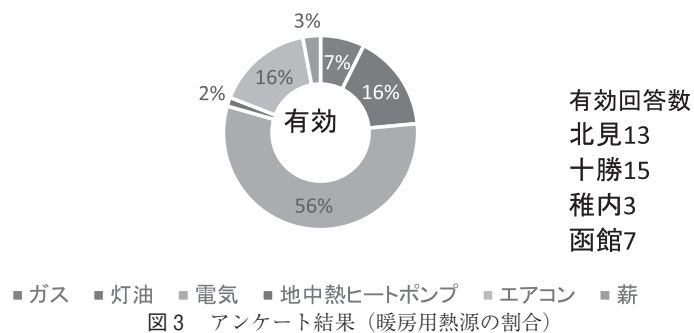
太陽光発電量の地域差は小さく、降雪量の差も余り影響していない。細部では、東京などの非降雪地と比べても旭川は多く、札幌は僅かに多かった（図 1）。設置ワット数は 10 KW 以下の規定となっているが、調査では以前の基準値の 6 KW 迄のものが 9 割を占めている。

発電量は経年低下が少なく6割が満足度していた。同時に実施した設備機器の調査ではヒートポンプの暖房や給湯などの省エネ電化機器の使用が、電力価格の上昇にもかかわらず多かった。

太陽光設置規模



暖房熱源



3. 太陽熱利用とヒートポンプ機器の新たな取り組み

3.1 対象住宅の熱的性能及び太陽熱利用設備システムの概要

太陽熱の有効利用と省エネを考え提案した住宅は、札幌市内に平成 28 年 12 月末に完成した木造住宅で 116 m²の延べ床面積である。平成 28 年版の省エネ基準をクリアし、数値は UA 値 0.25 W/m²K、1 次エネルギー消費量は 74.1 GJ/年となっており、ZEH 基準も満たしている。基礎断熱とスカート断熱の施工を行っており、それが太陽熱温水の床下スラブ蓄熱に役立っている。この様に、高い断熱性能のため 50℃以下の低温水の暖房が可能になっている。

太陽熱の利用は集熱器で確保した温水を、2 個の三方弁で 1 次側（給湯用蓄熱タンク）か 2 次側（暖房用蓄熱層①または、融雪用蓄熱層②）の何れか一方に分岐し利用している。太陽熱利用の全体的システムを図 5 に示す。



写真 1 南側、太陽熱集熱器



写真 2 北側、PV（太陽光発電）と駐車場

表 1 住宅の熱的性能と設備等の概要

平均熱貫流率値（UA 値）	0.25 W/m ² K	隙間相当面積	0.28 cm ² /m ²
1 次エネルギー消費量	74.1 GJ/年戸	窓の熱貫流率	0.91 W/m ² K
最大暖房負荷	4.1 KW	壁の熱貫流率	0.16 W/m ² K
ヒートポンプの暖房能力 4.0 KW/−5℃, 7.0 KW/7℃			
消費電力 3.10 KW/最大, 1.79 KW/7℃			
外気 −5℃ 以下の時送水温 60℃ 以下, 屋外器 1 台			
太陽光発電 (PV) 4.9 KW, 太陽熱温水貯湯タンク 370ℓ			
太陽熱集熱器 9 m ² (スウェーデン製), 融雪面積 15 m ²			
エコキュート加熱能力 7.0 KW, 消費電力 1.65 KW			

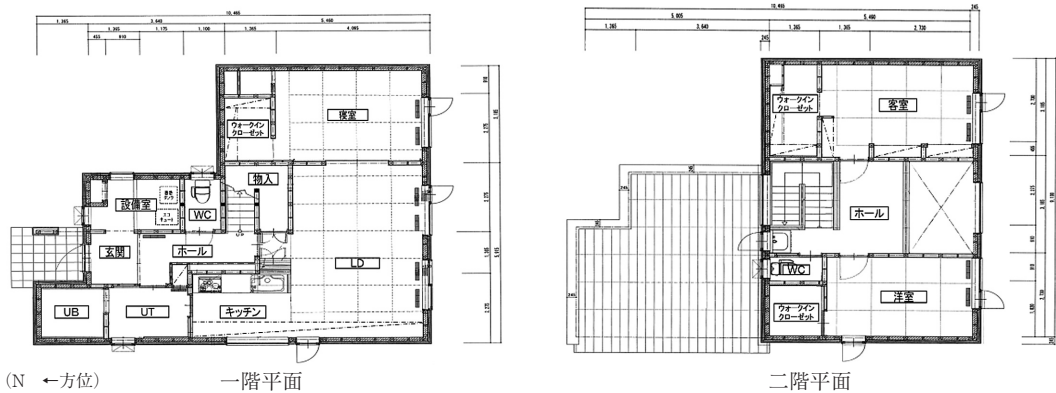


図4 住宅平面図

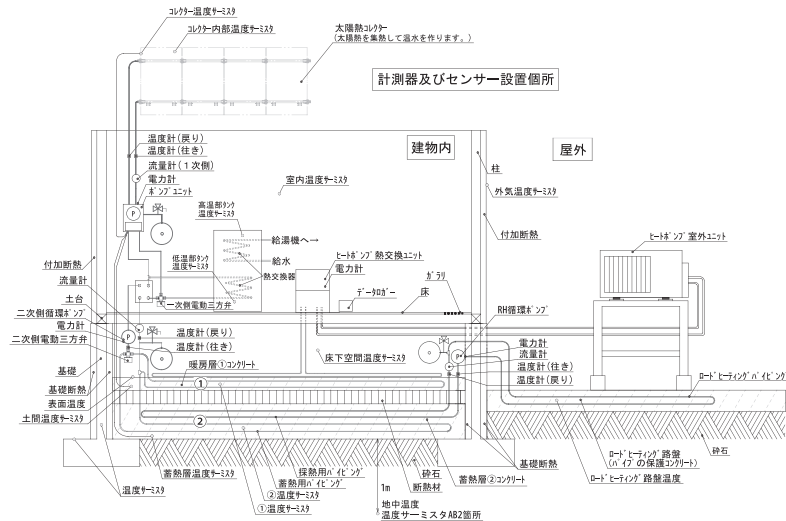


図5 太陽熱温水システム概要(暖房, 給湯, 融雪)

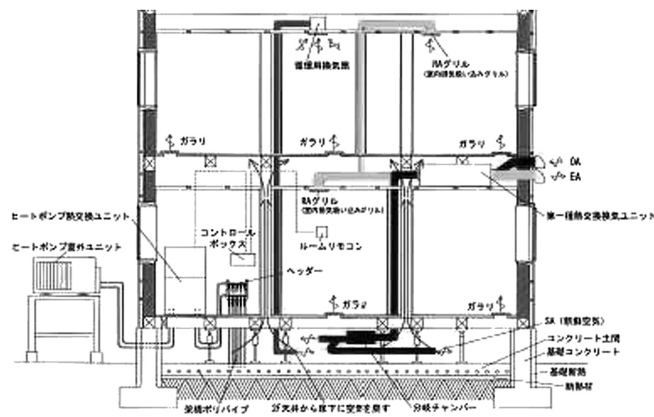


図6 暖房用温水配管と暖房空気の流れ

3.2 暖房システム

暖房システムを構成する設備は温水を生成するヒートポンプユニットと温水を循環・蓄熱する床下スラブに埋設した酸素不透過の架橋ポリチューブ、暖気を二階から床下に戻す循環ファン、24時間連続運転の第一種熱交換換気ユニットが主な装置である。これに加え、太陽熱温水を循環させるためヒートポンプ温水配管の間に、別系統で架橋ポリ配管を床スラブ埋設している。どちらの温水も最高温度で50℃前後の低温で床下空間を温め、床スラブ表面温度を維持し、床面に10 cm×90 cm 程度のスリットを設け、床下の暖気を居室内に上昇させる。また間仕切り壁の中を通して二階にも暖気を送っている。図6 参照。

3.3 給湯システム

基本的な給湯設備はエコキュートを使用している。太陽熱温水は給湯補助として室内の貯湯タンク（370ℓ）で熱交換し蓄えられる。エコキュートに入る水道水は、このタンクの中を通過し予熱ミキシングされる。水道水は冬期3～5℃なので予熱効果がある。実際にはミキシングバルブと加熱コイルで極端に低い水道水がエコキュートに流れ無いうように制御される。図7 参照。

3.4 融雪システム

このシステムは太陽熱温水をプレート型熱交換器に通し2次側に流し、2次側三方弁により暖房用床下スラブ内の蓄熱コンクリート①（厚さ100 mm）の下に断熱材（ポリスチレン PSF100 mm）を介し、さらに下の蓄熱コンクリート②（厚さ210 mm）を加熱し蓄熱する。このコンクリート②の熱を採熱し融雪（ロードヒーティング）用架橋ポリ管と循環ポンプにより駐車スペースのアスファルトの融雪路盤を温めている。図5、図8 参照。

融雪路盤は4～5℃程度の低温となる。本来は夏期の太陽熱温水を蓄熱地盤②に期間蓄熱する計画である。本論文では完成が冬であったため、太陽熱での夏期の蓄熱はできず、12月から連続して通常の地盤熱のみを採熱し、15 m程の駐車スペースの融雪を試みている。写真3。

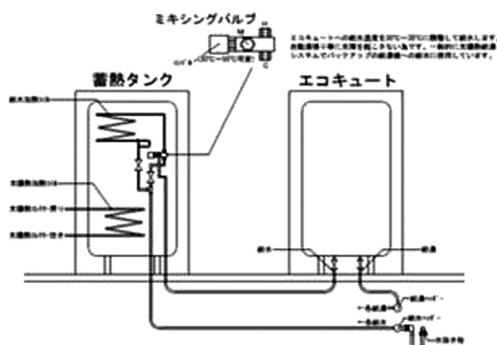


図7 太陽熱温水によるエコキュートの予熱

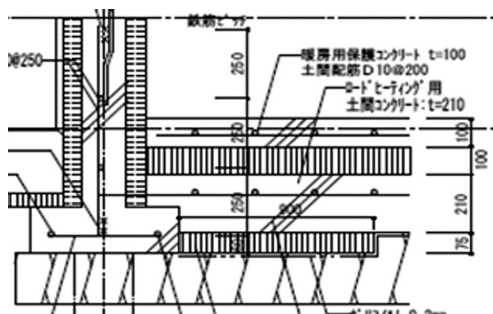
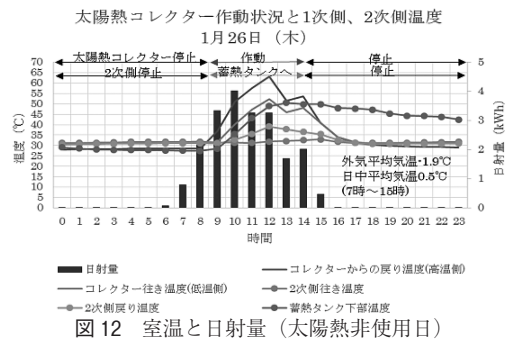
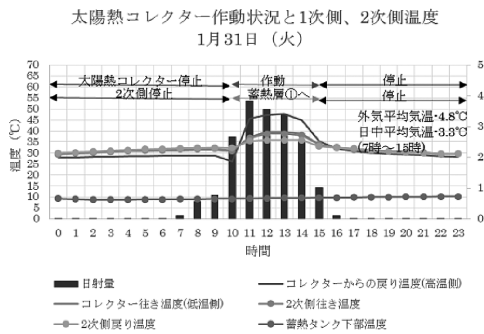
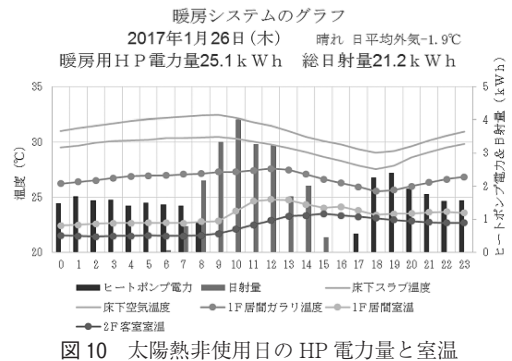
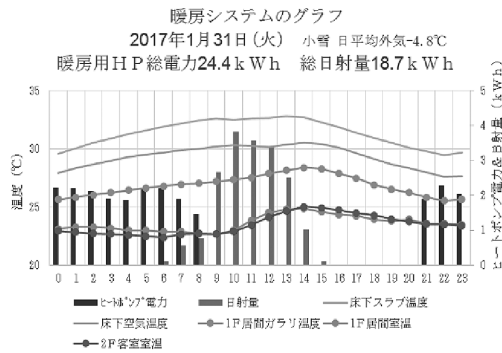


図8 床下スラブ詳細と温水配管（暖房・融雪）

表2 太陽熱集熱器の集熱状況と各システムの運転モード
運転モード・外気状況

日 付	集熱器の可動	蓄熱タンク	融 雪		暖 房		天 気	平均 外気温 (℃)	日中 平均気温 (℃)	総日射量 (kWh)	空気熱源 ヒートポンプ 総量 (kWh)	
			蓄熱層②	RH用 循環ポンプ	蓄熱層①	暖房用空気熱源ヒートポンプ OFF						
1/11(水)	○9～12	○11～12		○	○9～11	△	11～17	雪	-7.9	-7.1	12.2	22.2
1/12(木)	集熱せず			○		○	なし	雪	-7.6	-6.6	4.6	39.2
1/13(金)	○10～12			○	○10～12	○	なし	晴れ→雪	-7.5	-5.7	6.8	33.8
1/14(土)	○9～14	○9～12		○	○12～14	△	14～16	晴れ→雪	-7.5	-6.3	7.7	31.9
1/15(日)	○10～14		○	○		△	14～17	曇り→晴れ	-6.0	-4.2	7.4	30.6
1/16(月)	○10～14	○10～14		○		△	13～17	曇り	-0.2	2.1	9.45	25.1
1/17(火)	○9～13	○9～13		○		△	12～17	曇り	-2.6	-0.4	16.5	23.7
1/18(水)	○10～13	○10～13		○		△	12～17	晴れ→曇り	-1.9	-0.4	9.6	26.7
1/19(木)	○11～14	○11～14		○		△	13～17	晴れ→雪→曇り	-2	0.2	11	27.6
1/20(金)	○10～12	○10～12		○		△	13～17	晴れ	-3.7	-1.7	13.4	28.9
1/21(土)	○9～14		○	○		△	9～15	晴れ	-5.1	-3.1	18.3	19.9
1/22(日)	集熱せず			○		△	14～17	曇り→雪	-6.1	-6.0	7.6	34.1
1/23(月)	○10～14	○10～14		○		△	12～17	雪→曇り	-4.5	-2.7	15.2	28.7
1/24(火)	○9～11	○9～11		○		△	9～17	雪	-8.7	-7.6	15.3	25.5
1/25(水)	○10～13	○10～13		○		△	11～17	曇り→晴れ	-5.5	-3.9	13.5	31.5
1/26(木)	○9～14	○9～14		○		△	9～17	晴れ	-1.9	0.5	21.6	25.1
1/27(金)	集熱せず			○		△	13～17	雪	0.5	3.5	7.56	26.3
1/28(土)	集熱せず			○		△	13～17	雪	-3.6	-2.8	7.47	28.4
1/29(日)	○9～14			○	○9～14	△	8～23	晴れ	-1.9	-0.4	21.4	10.3
1/30(月)	○13～14			○	○13～14	△	11～18	雪	-2.6	-0.6	14.3	24.2
1/31(火)	○10～15			○	○10～15	△	9～21	雪	-4.8	-3.3	18.7	25
2/1(水)	○9～13			○	○9～13	△	9.5～21	雪	-3.1	0	18.1	19
2/2(木)	集熱せず			○		△	11～18	雪	-6.7	-5.7	17	33.1
2/3(金)	○11～17	○14～17		○	○11～13	△	13～18	曇り→雪	-3.8	-2.4	22.5	23.5
2/4(土)	○9～15			○	○9～15	△	6～22	曇り→晴れ	0.4	1.9	17.8	15
2/5(日)	○9～15	○9～11		○	○11～15	△	4.5～22	晴れ	-0.5	0.8	25	13
2/6(月)	○10～14	○10～14		○		△	9.5～21	曇り	-0.6	1.7	12.2	25.4
2/7(火)	○8～13			○	○8～13	△	10～20	曇り→雪	-2.8	-1.8	16.1	19.3
2/8(水)	集熱せず			○		△	13～20	雪→曇り	-0.8	0.43	13.9	24.6
2/9(木)	○7～15	○7～15		○		△	8～17	晴れ	-0.7	1.4	24.5	21
2/10(金)	○8～14	○8～14		○		△	7～20	晴れ	-1.6	0.4	20.2	15
2/11(土)	○8～14	○8～14		○		△	8～21	晴れ	-1.2	1	20.5	20
2/12(日)	○8～13	○8～13		○		△	8～20	晴れ	1.6	3.1	19.5	19.7



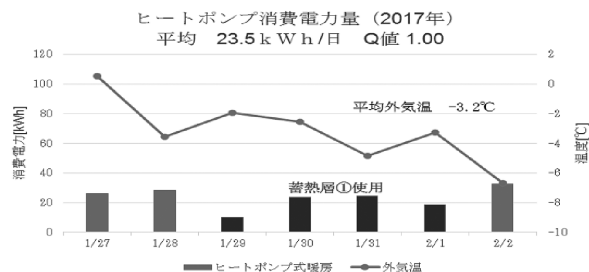


図 13 暖房用ヒートポンプ電力量 (H29 年測定, 太陽熱補助含む)

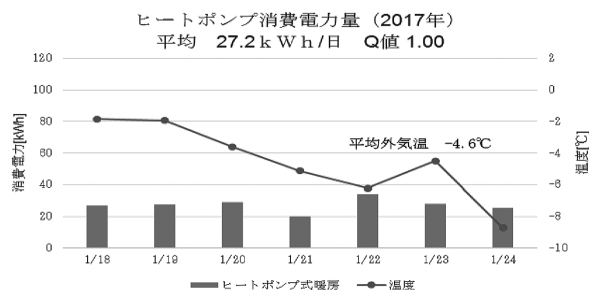


図 14 暖房用ヒートポンプ電力量 (H29 年測定, 太陽熱補助無し)

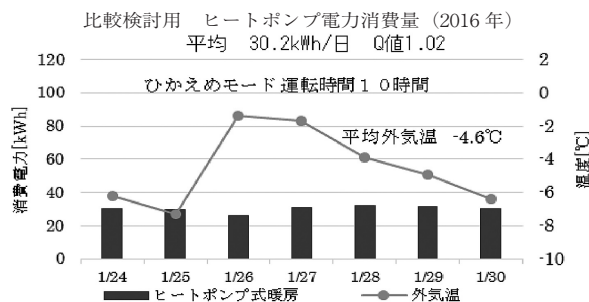


図 15 暖房用ヒートポンプ電力量 (H28 年測定, 太陽熱補助無し)



写真 3 融雪状況

4. 太陽熱利用暖房システムの効果 (暖房関連結果のみを紹介 測定期間 H29.1/11~2/12)

4.1 温熱環境

温熱環境も含めデータの回収と解析は平成29年の1月上旬から2月に実施した。この間の太陽熱温水の利用モードを表2に示す。太陽熱温水を暖房に使用するためには床下スラブ①に温水を流す必要がある。従って、太陽熱温水を暖房に使用しているのは11日間である。計測例として1月31日の図9、図11を示す。この日と比較するために太陽熱温水を用いずヒートポンプ温水暖房のみの1月26日(太陽熱温水を給湯補助用に使用)の図10、図12を示す。在室は2~3名、2人は60代であり、室温設定は21~22℃である。

一階の日中の最高温度は両日とも25℃に達し在室者は暑いと訴えている。最低室温でも21~22℃で寒さは感じられない。26日に二階室温が少し低いのは二階の居住者が不在のためであろう。ヒートポンプ暖房を日中暖房を止めているため、熱源となる床スラブの温度は午後から急に降下する(図10)。太陽熱暖房では14時過ぎまで日射があるため温度降下は緩い。また、夜のヒートポンプによる暖房再開が、日中太陽熱を使用すると21時(外気温-5℃)と遅くなり(図7)、太陽熱を使用しない26日は17時(外気温-2℃)になっている。図8参照。

4.2 暖房エネルギー

図9から床下の空気温度は太陽熱温水を利用した場合の方が低い。これは、ヒートポンプの作る温水は最高55~60℃であり、太陽熱利用では測定期間の最高温度で60℃であるが、平均すると30~40℃と低いためである。太陽熱利用の31日と利用しない26日の24時間のヒートポンプ暖房電力の差は0.7(KWh/日)と僅かであるが、全測定期間の平均値では太陽熱利用の方が5(KWh/日)程度少なく、省エネに貢献している。平均外気温とヒートポンプ暖房の電力量を示した図13の一週間の平均で23.5(KWh/日)の消費がある。太陽熱を暖房に利用しない一週間は図14に示す。平均外気温が少し低いが、平均電力消費量は27.2(KWh/日)で、太陽熱利用の一週間より3.7(KWh/日)多くなっている。

前年計測の同様な暖房方式で太陽熱の利用がない住宅(文献2)と比較したものが図15である。両者は熱損失係数や面積も同じであるが、ヒートポンプ暖房の機器が本文のより約1.7倍大きく屋外器も二台必要であった。結果は同じ平均外気温の一週間に暖房用電力が30.2(KWh/日)となって、太陽熱温水利用の本文の暖房設備の省エネ性を確認できた。

《謝辞》本研究の遂行に当たり平成28年度北海学園学術研究助成(一般研究)の研究助成を受けました。ここに謝意を表します。

〈参考文献〉

- 1) 環境共創イニシアチブ：都道府県別戸建新築件数に対する ZEH 交付決定シェア，平成 28 年.
- 2) 佐々木，高橋：寒冷地住宅における空気熱源ヒートポンプ温水暖房の新しい試み（第 1 報），空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集 2016.9.14.
- 3) 佐々木，高橋：ZEH に向けた積雪寒冷地における太陽熱利用住宅システムの研究その 1，日本建築学会大会学術講演梗概集 2017.8.31.
- 4) 阿部，佐々木他：積雪寒冷地の高気密高断熱住宅における低温温水暖房の実現とゼロエネルギー住宅の可能性の検討，空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集 2012.9.12.