

応用研究論文

秋田県立大学本荘キャンパスにおける太陽熱利用可能性の検討

須知成光¹, 戸花照雄², 長谷川兼一³, 細淵勇人³, 金澤伸浩⁴, 嶋崎善章⁴¹ 秋田県立大学システム科学技術学部機械知能システム学科² 秋田県立大学システム科学技術学部電子情報システム学科³ 秋田県立大学システム科学技術学部建築環境システム学科⁴ 秋田県立大学システム科学技術学部経営システム工学科

太陽光エネルギーを熱に変換して利用する太陽熱利用システムは、太陽光発電システムとくらべて高いエネルギー変換効率をもつ設備が安価に供給されており、低コストで多量の熱エネルギーを得る手段として有効であるが、一般的には熱エネルギー需要と日射量の関係はミスマッチ（熱需要の高い冬季には日射量は少なく、夏季はその逆）となる場合が多く、年間を通して設備利用率を高く保つことが困難である。これに対して、夏季の空調に熱エネルギーを利用することができれば、設備利用率の向上が期待できる。本研究では日本国内でも比較的日射量が少なくとされる東北地方北部に位置する秋田県において、夏季の太陽熱の冷房システムへの適用可能性を検討するための基礎的実験を行った。実験の結果、夏季を含む4～11月において集熱器出口温度が70℃以上（デシカント空調システムの運転が可能とされる温度以上）に達したことから、夏季に空調システムに対して太陽熱を補助的に利用することは可能と考えられる。

キーワード：太陽熱利用, ガラス二重管式集熱器, デシカント空調システム,

現在、世界中で再生可能エネルギーの利用拡大が進んでいる。その中で太陽光エネルギーを熱エネルギーに変換して利用する太陽熱利用システムは、同じく太陽光エネルギーを利用する、太陽電池による太陽光発電システムに対して、高効率の設備を比較的安価で導入することが可能であり、熱エネルギーの需要がある場合には利用価値の高いシステムといえる。一方で、一般的には太陽光エネルギーが豊富な夏季には給湯などの熱需要は少なく、1年を通して高い設備稼働率を確保することが難しいという問題がある。この問題に対して、熱エネルギーを利用した冷房システムが提案されており、すでにいくつかの実用事例がある。これらのシステムの1つとして、デシカント（乾燥剤）を利用したシステム（例えば大蔵, 児玉, 及び廣瀬（2000））がある。このシステムは空気の温度調節を行う前に空気中の水分を

デシカントにより減らすことで、温度調節に必要なエネルギーを削減するシステムであるが、吸湿後のデシカントを再生（除湿）するために必要とされる比較的低い温度レベル（60℃以下）の熱エネルギーは太陽熱温水システムで供給可能である。

本研究では、秋田県立大学本荘キャンパスにおいて、太陽熱温水システムとデシカント空調システムを組み合わせることを想定し、キャンパス内に試験的に太陽熱温水システムを設置して実際にどの程度の熱エネルギーを利用可能できるかを検討したものである。

実験システム

図1に本研究で使用した太陽熱温水器実験システムの概略を示す。本システムは太陽熱集熱器（寺田

鉄工所 ソラリス CPC1506 有効集熱面積 1.0m²), 水蓄熱式蓄熱槽 (水容量 150L), 循環ポンプで構成される. 各部は銅管でつながれ, 熱媒として不凍液水溶液 (CCS 株式会社 ウェストンブライン PS) を使用した. 今回用いた太陽熱集熱器は真空二重ガラス管を用いたもので, 変換効率は最大 64% (メーカー計測値である. 太陽熱集熱器の取り付け角度は一般的には設置場所の緯度に合わせることで受光量を最大にすることができる. 今回の設置場所は北緯 39° に位置するため, 受光量のみを考えると設置角度は 39° が良いが, 冬季に積雪がある地域においては, 太陽熱集熱器に雪が積もった際の対策として, 雪が自然に滑り落ちる程度の傾斜をつけることが有効とされているため, 今回は真南に向けて水平面に対して 55° の角度をつけて設置した. また, 熱媒の温度が上昇した際の管内圧力上昇を緩和するために膨張タンクが取り付けられている. システムの各部温度は T 形熱電対により計測し, 熱媒の流量は羽根車式流量計 (東京計装株式会社 W-2000) により計測した. 計測されたデータはすべてデータロガーにより記録される. 本システムは秋田県立大学本荘キャンパス内に設置し, 2011 年 8 月から 2012 年 9 月の期間に試験を実施した.

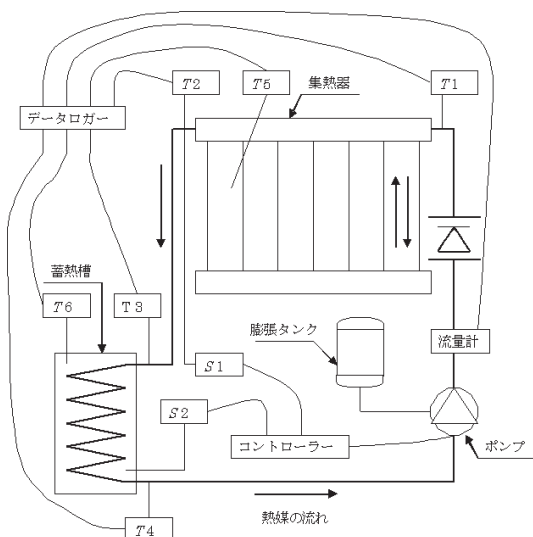


図1 太陽熱温水器実験システム

実験方法

本研究では, 太陽熱集熱器により得られた熱エネルギーに関して, そのエネルギー量と温度を評価する. 太陽熱集熱器から蓄熱槽への単位時間当たりに輸送される瞬時の熱エネルギー量は以下の式により算出する.

$$G = \rho Q c_p (T_2 - T_1) \quad (1)$$

上式において, G : 輸送熱量 W , ρ : 熱媒密度 kg/m^3 , Q : 熱媒体積流量 m^3/s , c_p : 熱媒比熱 $J/kg/K$, T_1 および T_2 : 集熱器入口および出口温度 (図 1 参照) である. 実際の計測においては, 熱媒の流量および温度はデータロガーのサンプリング間隔毎に離散値として計測されるため, 式 (1) に計測時間間隔 (1s) を乗じて単位時間あたりの輸送熱量を得る. また, 熱媒の密度および比熱については, メーカー資料にもとづき, 太陽熱集熱器入口と出口の平均温度より以下の式で算出した.

$$\rho = -0.002T^2 - 0.4T - 1047 \quad (2)$$

$$c_p = 0.12558T^2 + 1.2558T + 3767.4 \quad (3)$$

なお, 本研究で使用したシステムは, 太陽熱集熱器出口温度 $S_1 (= T_2)$ と蓄熱槽内部温度 S_2 の温度差により自動でポンプが動作し, 熱を輸送する. ポンプの始動および停止の条件を以下に示す.

$$\begin{aligned} \text{始動: } & (S_1 - S_2) \geq 20 \text{ } ^\circ\text{C} \\ \text{停止: } & (S_1 - S_2) \leq 10 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned} \quad (4)$$

本研究においては, 太陽熱集熱器の熱変換効率を算出するため日射量の測定も行う. 別に用意した日射計により計測した水平面全天日射量から, 太陽熱集熱器の設置角度に相当する斜面日射量を算出 (日本建築学会 (2000)) し, 以下の式により一日毎の熱変換効率を算出する.

$$N = \frac{\sum G_i \Delta t}{\sum I_{T,G} A \Delta t} \quad (5)$$

上式において, $I_{T,G}$: 斜面日射量 W/m^2 , A : 集熱

器有効面積 m^2 , Δt : サンプル間隔 s である.

低下した.

実験結果と考察

図 2 に本研究で計測された 1 日の輸送熱量および各部の温度変化について示す. ここでは夏季の代表として 2012 年 8 月 22 日のデータを示す.

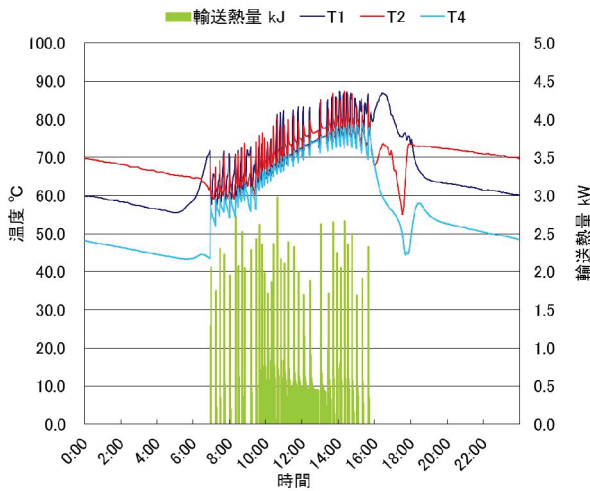


図 2 輸送熱量および各部の温度 (2012/8/22)

図 2 より, 各部の温度が日の出とともに上昇を開始し, 太陽熱集熱器から蓄熱槽への熱輸送が開始されることがわかる. 夕方になると日射量の減少とともに各部温度が低下傾向に入り, 日没後は翌日の日の出までほぼ一定の温度勾配で温度が低下する. この日の総熱輸送量は 10.5MJ で熱変換効率は 60%であった. なお, 図 2 において日中の各データが上下に振動しているのは, 熱媒の循環ポンプが式 (4) に示した条件において間欠運転を行うためである.

図 3 および 4 に 1 日の熱輸送量, 日射量および太陽熱集熱器出口の最高温度に関する夏季および冬季の代表的な 1 ヶ月間のデータを示す.

夏季 (2012 年 8 月) においては, 晴天時の 1 日の輸送熱量は概ね 10MJ 前後であった. また, 太陽熱集熱器出口の最高温度はほぼすべての日で 80°C 以上, 月平均の熱変換効率は約 53%であった.

冬季 (2012 年 1 月) においては, 夏季と比べて日射量が減少したが, 晴天時の 1 日の輸送熱量は最大で 8.9MJ であった. また, 太陽熱集熱器出口の最高温度は高いときで 50°C 前後, 低いときには数°C まで

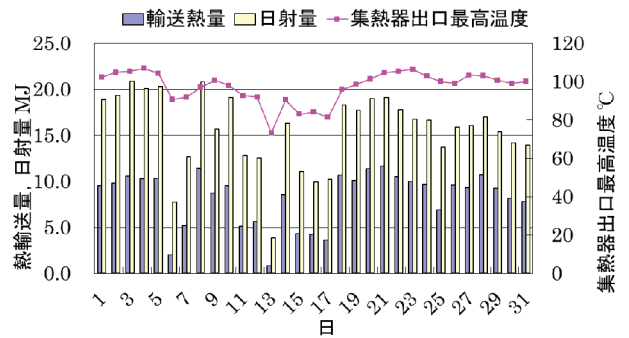


図 3 輸送熱量, 日射量および集熱器出口最高温度 (2012/8)

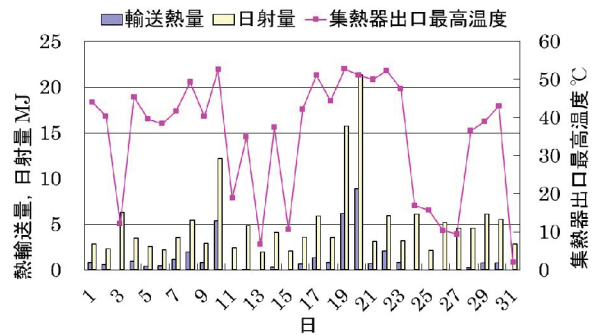


図 4 輸送熱量, 日射量および集熱器出口最高温度 (2012/1)

図 5 および 6 に夏季および冬季における 1 日の日射量と熱変換効率の相関を示す.

図 5 および 6 より夏季には日射量と熱変換効率の間に強い相関が見られるが, 冬季にはそれがあまり見られない. これは, 冬季において, 低い外気温による熱損失の増加や降雪といった日射量以外の要因の影響が大きいことを示している.

表 1 に試験期間中の輸送熱量, 日射量, 集熱器出口最高温度, 熱変換効率を示す. 表より, 4 月から 11 月の間の集熱器出口最高温度は 70°C 以上を保っていることがわかる. これより, 夏季においてはデシカント空調システムの熱源として利用できる温度レベルに達していると考えられる. 一方, 輸送熱量は 7 月から 10 月の期間で 1 日平均 5MJ であった.

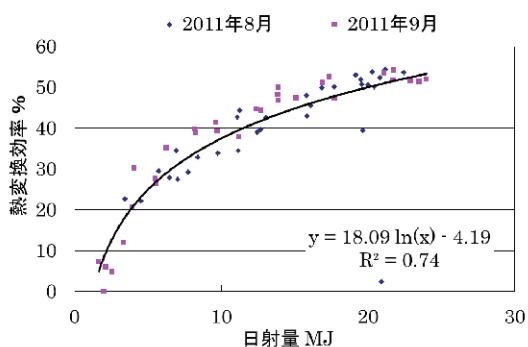


図5 日射量と熱変換効率の相関(夏季)

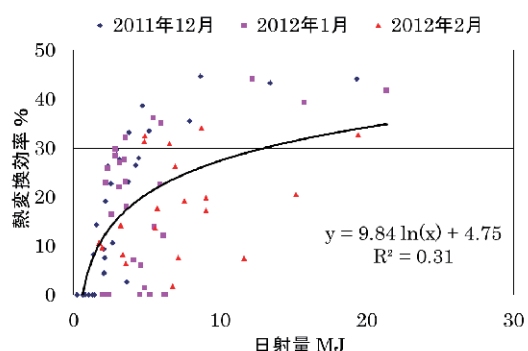


図6 日射量と熱変換効率の相関(冬季)

表1 試験期間中の月平均データ

	輸送熱量 MJ	日射量 MJ	集熱器出 口最高温 度℃	熱変換効 率%
2011-08	6.1	14.1	87.2	45.3
09	5.4	11.8	80.0	45.9
10	5.2	11.4	73.9	45.5
11	3.4	8.1	85.3	41.4
12	1.2	3.9	55.8	30.8
2012-01	1.2	5.1	52.8	22.9
02	1.3	7.1	58.0	18.4
03	0.9	9.1	61.4	9.9
04	1.4	13.3	74.1	10.9
05	1.3	12.0	74.4	10.5
06	3.3	16.5	97.9	19.8
07	5.4	13.5	98.2	40.2
08	8.3	15.7	107	52.7
09	7.2	11.4	108.9	63.5

本システムをベースに一般家庭の冷房消費エネルギー（平均消費電力 500 W のエアコンを 1 日 6 時間稼働すると単純計算で 3 kWh/DAY = 11 MJ/DAY）をまかなおうとする場合、太陽熱利用のデシカント空調システムの効率を 20 %程度とすると、熱利得 5MJ/DAY の場合で受光面積 11 m²が必要となる。これだけの面積の太陽熱集熱器を一般家庭の屋根に設置することはかなり難しく、太陽熱のみではなくガス加熱等の併用が必要となると考えられる。

一方で、本学で導入されているようなガス加熱による冷暖房システムが既にある場合に太陽熱エネルギーを補助的に利用することを考えてみる。都市ガスの発熱量を 45MJ/m³として、受光面積 1 m²あたり 0.18 m³/day(8MJ/DAY)のガス使用量削減が見込める。これはガス料金を 120 円/m³とすると、金額にして 21 円/DAY に相当する。システム価格を 10 万円/m²程度とすると、年間稼働日数を 120 日として、導入費用の回収までに約 40 年が必要になる計算である。

結言

秋田県立大学本荘キャンパス内に設置した太陽熱温水器実験システムを用いて、年間を通じた太陽熱利用の可能性を検討するための試験を行った。試験の結果、特に夏季においてはデシカント空調システムの熱源として利用できる温度レベルの温水が得られることが確認できた。一方で面積あたりに得られる熱量としては低いことから、現実的にはガス加熱等と組み合わせる必要がある。CO₂ 排出量削減効果等、コスト面以外の効果を含めて評価すれば導入を検討する価値は十分あると考えられる。

文献

- 日本建築学会（編）（2000）.「拡張アメダス気象データ」, 日本建築学会.
- 大蔵将史, 児玉昭雄, 廣瀬勉（2000）.「太陽熱温水器を駆動熱源とする吸着式デシカント空調システム ー第1報：日射量および外気湿度の影響ー」,『日本冷凍空調学会論文集』22(3) 269-278.

〔 平成 28 年 11 月 30 日受付
平成 28 年 12 月 22 日受理 〕

Study on the Availability of Solar Heat Utilization Systems at Akita Prefectural University, Honjo Campus

Shigemitsu Shuchi¹, Teruo Tobana², Kenichi Hasegawa³, Hayato Hosobuchi³,
Nobuhiro Kanazawa⁴, Yoshiaki Shimazaki⁴

¹ *Department of Machine Intelligence and Systems Engineering, Faculty of Systems Science and Technology, Akita Prefectural University*

² *Department of Electronics and Information Systems, Faculty of Systems Science and Technology, Akita Prefectural University*

³ *Department of Architecture and Environment Systems, Faculty of Systems Science and Technology, Akita Prefectural University*

⁴ *Department of Management Science and Engineering, Faculty of Systems Science and Technology, Akita Prefectural University*

Solar heat utilization systems that transduce solar light energy to heat possess higher transduction efficiency than the solar photovoltaic system. These systems are able to supply heat energy with a low cost by using an economical and high energy transduction system. However, a mismatch between heat demand and the amount of solar radiation exists (such as during summer where there is a low heat demand and large amount of available solar radiation). Thus, maintaining high capacity utilization throughout the year is a challenge. To reduce the severity of the problem, it would be necessary to utilize solar heat energy to power air conditioning systems in summer. In this study, a basic experiment to estimate the availability of solar heat energy for air conditioning systems in summer was investigated in Akita Prefecture, in which solar radiation is lower than that of other parts of Japan. As a result, it was confirmed that the temperature of the heat carrier at the exit of the solar heat collector rises by 70°C from April to November. Thus, a possibility of utilizing solar heat to power air conditioning systems during in winter exists.

Keywords: solar heat utilization, solar heat collector with glass double tube, desiccant air conditioning system