研究論文

太陽熱を利用した熱音響冷凍機による雪室冷却装置の開発 ～太陽熱集熱装置の製作と評価～

三村　和弘*　佐藤　健*　須貝　裕之*　櫻井　貴文*　本多　章作**

Development of a Yukimuro Cooling Unit Using a Thermoacoustic Refrigerator Driven by Solar Power
~Fabrication and Evaluation of a Heat Circulation System Using Solar Thermal Collectors~

MIMURA Kazuhiro*, SATO Takeshi*, SUGAI Hiroyuki*, SAKURAI Takafumi* and HONDA Shosaku**

抄　録

本県や豪雪地域では雪を雪室に保存し，夏季の冷房に用いるほか，野菜や米などの冷蔵庫としても使用する。雪室を使った雪冷房装置は，運用コストは安価であるが導入コストが高い。そこで再生可能エネルギーである太陽熱から冷熱を作り出し，それを雪室に供給すれば雪室を減容でき，導入コスト削減が期待できる [1]。工業技術総合研究所では，学校法人東海大学，新潟機器（株）とともに，太陽熱を集熱して熱音響冷凍機 [1),2)]に入熱する太陽熱集熱装置と，その熱を冷熱に変換して雪室に供給する熱音響冷凍機を開発している。本報告では，太陽熱集熱装置の製作と評価について述べる。

1. 緒　言

太陽エネルギーを熱に変換して，これを収集する機器を太陽熱集熱器（以下，集熱器）と呼ぶ。集熱器には平板型や真空ガラス管型などがあり，一般的に真空により放熱が抑えられる真空ガラス管型が高温集熱に有利である [3)]。

集熱器は主に温水を作るために使用され，公共施設や住宅などで給湯や暖房などに使われている。水を直接加熱する場合や不凍液を加熱し，水と熱交換する場合があるが，使用用途から加熱温度は100℃程度までである。

一方，熱音響冷凍機を高効率で駆動させるには，数 100℃の高温で入熱することが望ましいが，集熱器を熱源とする場合は，一般に高温が得にくいため駆動が困難である。そこで，本研究では，真空ガラス管型集熱器で油系の熱媒を加熱し，熱音響冷凍機を駆動できる 210℃以上の高温を得ることを目標とした。

熱音響冷凍機を太陽熱で駆動する実証試験に先立ち，熱音響冷凍機の代替としてラジエータを装着した評価用の太陽熱集熱装置を製作した。集熱器 1 台を接続し，集熱性能や配管の熱損失を評価した。

2. 太陽熱集熱装置の製作

2.1 太陽熱集熱装置の概要

太陽熱集熱装置の構成を図 1 に示す。真空ガ

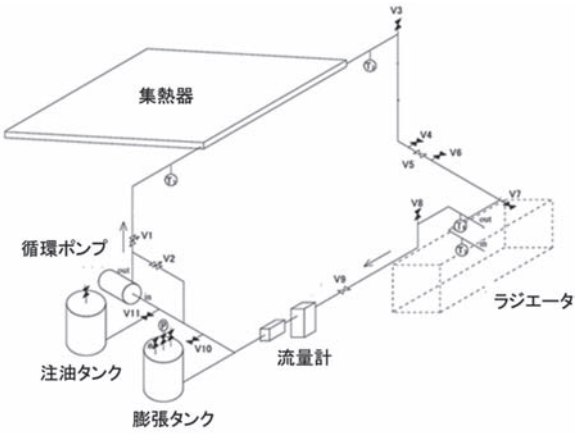


図 1　太陽熱集熱装置の構成

*　研究開発センター
**　下越技術支援センター

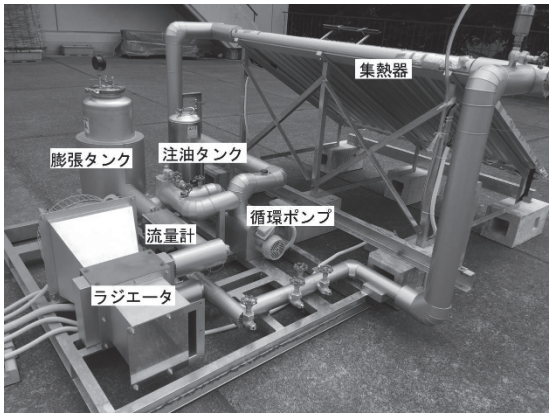


図 2　製作した太陽熱集熱装置

ラス管型集熱器には通水式とヒートパイプ式があり，それぞれを付け替えて評価する。流量計と配管各部に温度計を装着し，熱媒温度と流量を測定する。加熱による熱媒の酸化を防止するため循環回路は密閉系とし，内圧変化は膨張タンクで吸収する。

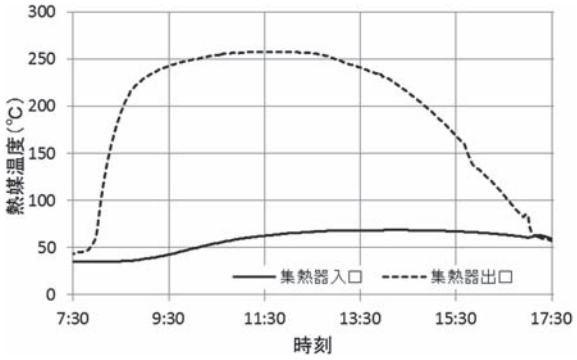
上記の構成に基づき太陽熱集熱装置を製作した。外観を図 2 に示す。集熱器の受光面は南向きとし，地面に対して 30° 傾斜させた。配管とポンプなどの機器には，放熱の抑制と屋外使用のため，ロックウールによる保温処理と外装処理をした。熱媒は，綜研テクニックス（株）製 NeoSK-OIL L400 高引火点品とした。

2.2　集熱器

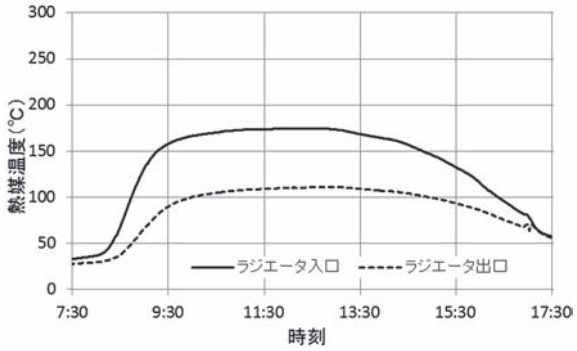
通水式は，真空ガラス管内の銅管に通水し，これを直接加熱する方式である。実験では，（株）寺田鉄工所製 CPC1518（集熱面積 3m^2）を使用した。一方，ヒートパイプ式は，ガラス管内のヒートパイプを加熱し，ヒートパイプ内に封入されている液体の気化・液化によって，ヒートパイプの端部に接する媒体に伝熱する方式である。実験では，日本熱源システム（株）製 V300-30（集熱面積 3.25m^2）を使用した。

2.3　測定項目

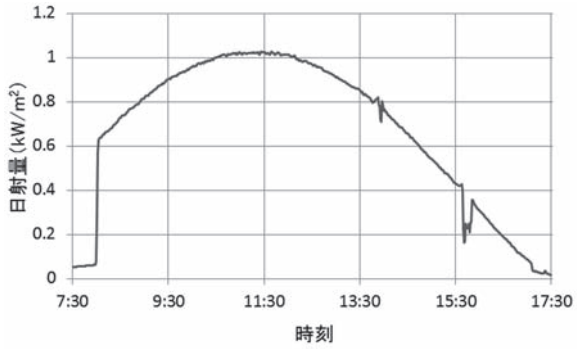
測定は平成 29 年 7 月から 9 月にかけて行った。測定項目は，集熱器とラジエータの出入口の熱媒温度，熱媒流量，気温および日射量である。図 3 に 9 月 1 日の熱媒温度と日射量の測定例を示す。ヒートパイプ式の集熱器を装着し，熱媒流量 0.1L/min で測定した。



(a)　集熱器出入口の熱媒温度



(b)　ラジエータ出入口の熱媒温度



(c)　日射量

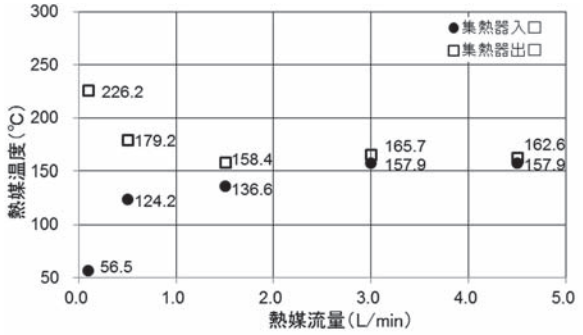
図 3　測定例

3　評価結果

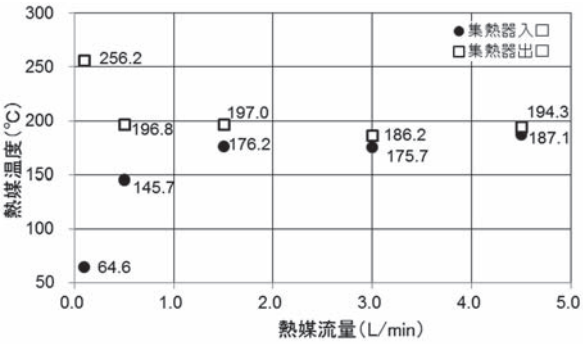
3.1　集熱性能

図 4 に集熱器出入口の熱媒温度を熱媒流量に対して測定した結果を示す。測定値は正午近傍 2 時間の平均値である。

表 1，2 に熱媒流量に対する集熱量および集熱効率を測定時の日射量とともに示す。集熱量は，図 4 の集熱器出入口の熱媒温度差，熱媒の



(a)　通水式



(b)　ヒートパイプ式

図 4　集熱器出入口の熱媒温度

表 1　集熱効率（通水式）

熱媒流量 (L/min)	0.1	0.5	1.5	3.0	4.5
日射量 (kW)	2.64	2.37	2.50	2.67	1.98
集熱量 (kW)	0.53	0.89	1.06	0.76	0.68
集熱効率	0.20	0.38	0.43	0.28	0.35

表 2　集熱効率（ヒートパイプ式）

熱媒流量 (L/min)	0.1	0.5	1.5	3.0	4.5
日射量 (kW)	3.23	2.66	3.01	2.92	3.12
集熱量 (kW)	0.60	0.82	1.01	1.02	1.05
集熱効率	0.19	0.31	0.34	0.35	0.34

比熱，比重および流量から計算し，集熱効率は，集熱量を日射量で除した値である。

図 4 より，両方式とも熱媒流量 0.1L/min では，熱媒温度は目標温度の 210℃を超えたが，低流速のため集熱器出口から入口に至る過程で大きく低下した。

ヒートパイプ式の方が高温の熱媒が得られたが，表 1，2 のとおり測定時の日射量が通水式に比べ大きかったためと考えられる。

また，両方式とも熱媒流量 0.1L/min の集熱効率が著しく小さいのは，低流速のため集熱器の出口に至る前に熱媒が最高温度に到達したためと考えられる。この値を除いた集熱効率の平均値は，通水式が 0.36，ヒートパイプ式が 0.34 であり，ほぼ同等の集熱性能を示した。

3.2　熱損失

図 5 にラジエータ出入口の熱媒温度を示す。前項と同様，正午近傍 2 時間の平均値である。この測定に用いた集熱器は，ヒートパイプ式であり，測定時にラジエータの冷却ファンは動作させていない。

熱媒流量 0.1L/min におけるラジエータ入口の熱媒温度は 174℃だが，図 4(b)によると集熱器出口では 256℃だったので，82℃の温度低下がこの間で生じたことになる。流量の増加に伴い温度差は小さくなり，3.0L/min 以上で 2℃程度にまで減少した。

熱音響冷凍機への入熱は高温が望ましいので，実証試験では温度低下の少ない 3.0L/min 以上で熱媒を循環させる必要があるが，現状の仕様では目標温度に達しない。したがって，集熱器の台数を増やすことで補う必要がある。

次に，熱音響冷凍機の駆動を想定して，ラジエータの冷却ファンの ON／OFF による熱媒の

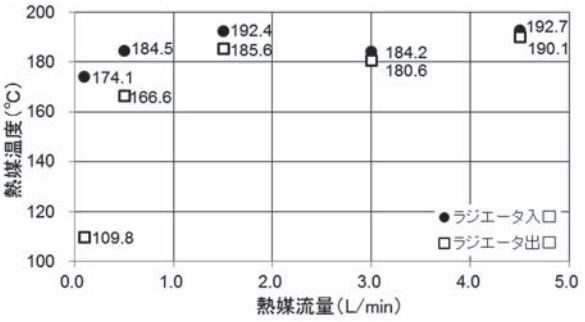


図 5　ラジエータ出入口の熱媒温度

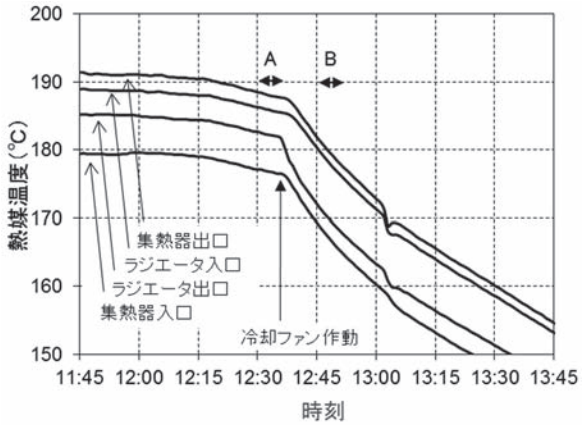


図 6　冷却ファンの作動による熱媒温度変化

表 3　配管各部の熱損失

冷却ファン	OFF	ON
日射量（kW）	2.98	2.92
集熱量（kW）	1.09	1.21
ラジエータの放熱量（kW）	0.35	0.79
ラジエータ前配管の熱損失（kW）	0.21	0.16
ラジエータ後配管の熱損失（kW）	0.53	0.27

温度変化を測定した。熱媒流量を 3L/min とし，12 時 35 分に冷却ファンを作動させた。結果を図 6 に示す。

冷却ファンの作動によりすべての測定点で温度が低下しており，ラジエータによる放熱の増加に対して，集熱量が不足していることを示している。

図 6 の時間帯 A，B について，配管各部の熱損失を同じ時間帯の日射量，集熱量およびラジエータの放熱量と合わせて表 3 に示す。表中のラジエータ前配管とは，集熱器出口からラジエータ入口まで，ラジエータ後配管とは，ラジエータ出口から集熱器入口までの配管である。

時間帯 B では，冷却ファンの作動による温度低下で，集熱器出入口の温度差が若干大きくなったため，日射量の減少に関わらず集熱量が見かけ上増加した。

また，ラジエータの放熱量は大きく増加し，ラジエータ後配管の熱損失は半減した。

時間帯 A，B における配管部全体の熱損失割合は，それぞれ 68%と 36%であり，熱音響冷凍機に，より多く入熱するためには配管部の断熱性向上が望ましい。

4. 結　　言

(1) 熱音響冷凍機の代替としてラジエータを装着した太陽熱集熱装置を製作した。

(2) 通水式とヒートパイプ式集熱器の性能評価を行い，熱媒流量 0.1L/min では，両方式とも目標とする 210℃以上の熱媒温度が得られた。

(3) 通水式とヒートパイプ式集熱器の集熱性能は，ほぼ同等であった。

(4) 集熱量に対する配管部の熱損失割合は，ラジエータ冷却ファンの停止，作動時でそれぞれ 68%，36%だった。

なお，本研究は国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託による「太陽熱を利用した熱音響冷凍機による雪室冷却装置の開発（平成 27～30 年度）」の一環で実施したものである。

参考文献

1）大野宏他，“熱音響機関に関する調査研究”，工業技術研究報告書，45，2015，pp.101-103.

2）http://www.ed.u-tokai.ac.jp/thermoacoustic/research1.html，東海大学工学部動力機械工学科長谷川研究室 HP，2018 年 3 月 30 日

3）http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/attaka_eco/system/index.html，資源エネルギー庁 HP，2018 年 3 月 30 日