

昭和基地の自然エネルギー棟における空気式太陽熱集熱システムの検証

Verification about Air-Based Solar Heating System on Sustainable Energy Hut at Syowa Station, Antarctica

安部 剛*¹

概 要

本報では、2013年2月に昭和基地で建設された「自然エネルギー棟」に設置した空気式太陽熱集熱システムの概要を示すと共に、気象庁が公開している気象データ（日射量、外気温度、風向・風速、天候）と、太陽熱集熱システムの吹出・吸込口付近で実測した温度結果を用いて、空気式太陽熱集熱システムを検証したので報告する。

key words : 自然エネルギー棟、空気式太陽熱集熱システム、太陽熱集熱効率、温度、風速、風向、全天日射量

1. はじめに

日本南極地域観測隊・昭和基地（以下、昭和基地という）の主要エネルギー源は極寒冷地向け特別仕様の軽油である。年1回、南極観測船「しらせ」で観測隊員および観測用資機材と共に輸送するシステムだが、この燃料の占める割合は全物資量の約60%に相当する。昭和基地沖の海氷状況によっては「しらせ」が接岸出来ないこともあり、南極観測に必要なエネルギー源の安定的な備蓄・供給のためには、太陽光、風力等の再生可能エネルギーの積極的な導入が求められている。

本報では、2013年2月に昭和基地で建設された「自然エネルギー棟」に設置した空気式太陽熱集熱システムの概要を示すと共に、気象庁が公開している気象データ（日射量、外気温度、風向・風速、天候）と、太陽熱集熱システムの吹出・吸込口付近で実測した温度結果を用いて、空気式太陽熱集熱システムを検証したので報告する。

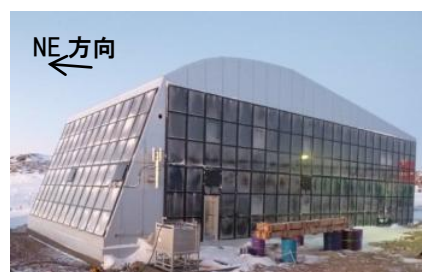


写真-1 自然エネルギー棟

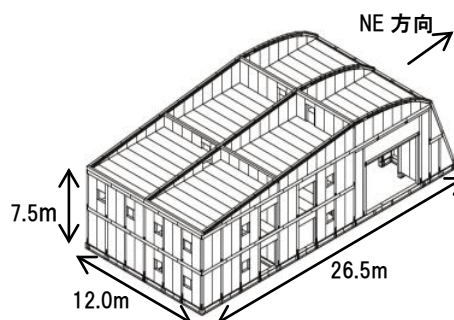


図-1 自然エネルギー棟のアクソメ

2. 自然エネルギー棟の概要^{1),2)}

2013年2月に「自然エネルギー棟」が昭和基地に建設された（写真-1）。自然エネルギー棟は、60度に傾斜した北面の外壁と、西面の外壁に空気式太陽熱集熱パネルが取り付けられており、自然エネルギー利用システムの制御・蓄電池室の他、大型雪上車の整備室、木工室、倉庫の機能が組み込まれている2階建ての複合建築である。自然エネルギー棟の規模は、建築面積334m²、延床面積840m²、建物容積2,000m³で、構造形式は、木質パネル構造である（図-1）。また、大型雪上車などの重量物を収容するため、高床式建物にするのは技術的に難しかった。そのため、吹き溜まり対策としては、屋根形状を工夫して周囲を流れる吹雪流が明白な剥離点を持たないような工夫がされている建物である。

3. 空気式太陽熱集熱システム^{2),3)}

建物には、空気式太陽熱集熱パネル（北面外壁:24枚,71m²、西面外壁:48枚,136.6m²）が設置されている。空気式太陽熱集熱システムの概要を図-2に示す。システムは、エアフローウィンドウ方式である。ソーラーパンドレルの給気導入口は、上昇気流効果も利用するため室内側の下部に設置する。熱交換する集熱板背面の空気層を10mmと狭くする事で流速を上げ、対流熱伝達率を上げて熱交換する方式とし、温度境界層内は断熱層を18mmとしている。4枚のパネルを1ユニットとして、太陽熱で暖まった空気を室内に取り入れている（図-3）。なお、昭和基地で日射が期待できる時期は、通常10月～2月の5ヶ月である。

*1 Takeshi ABE

技術本部技術研究所 主任研究員

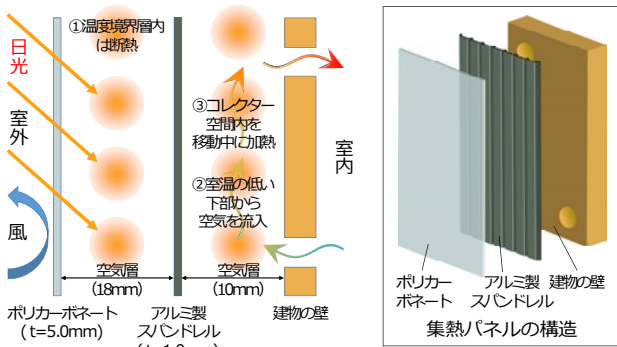


図-2 空気式太陽熱集熱システムの概要⁴⁾

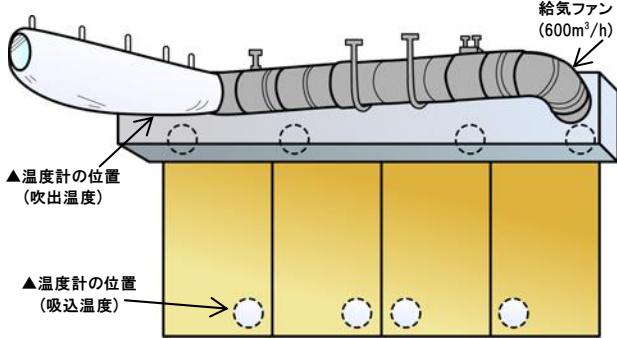


図-3 空気式太陽熱集熱システムの納まり図³⁾

4. 昭和基地の気象

4.1 全天日射量と外気温度

昭和基地（南緯:69度00分22秒、東経:39度35分24秒）では、気象庁の日射計、温度計、風向・風速計が設置されており、その気象データを基に、水平面全天日射量、外気温度を整理した。2018年1月22日～28日に自然エネルギー棟の太陽熱集熱システムの吹出・吸込温度を測定した。計測期間中で、天候が雪と晴れの場合に着目した。

2018年1月24日～25日（天候:雪）における7時～18時の水平面全天日射量、外気温度を図-4に示す。24日は、7時～18時までの平均気温は-2.3℃で、12時の水平面全天日射量は411.1W/m²で、気温は-2.3℃であった。25日は、7時～18時までの平均気温は-0.9℃で、12時の水平面全天日射量は341.7W/m²で、気温は-0.4℃であった。

2018年1月27日～28日（天候:晴れ）における7時～18時の水平面全天日射量、外気温度を図-5に示す。27日は、7時～18時までの平均気温は2.0℃で、12時の水平面全天日射量は641.7W/m²、気温は2.1℃であった。28日は、7時～18時までの平均気温は0.3℃で、12時の水平面全天日射量は513.9W/m²、気温は0.9℃であった。

4.2 風向・風速

気象庁のデータから、2018年1月24日～25日（天候:雪）において、1時間毎の風向・風速に関して、表-1に整理した。24日の7時～18時までの平均風速は3.3m/s

で、主風向は北北東であった。25日の7時～18時までの平均風速は3.8m/sで、主風向は北北東であった。2018年1月27日～28日（天候:晴れ）において、1時間毎の風向・風速に関して、表-2に整理した。27日の7時～18時までの平均風速は3.8m/sで、主風向は南であった。28日の7時～18時までの平均風速は8.7m/sで、主風向は北東であった。

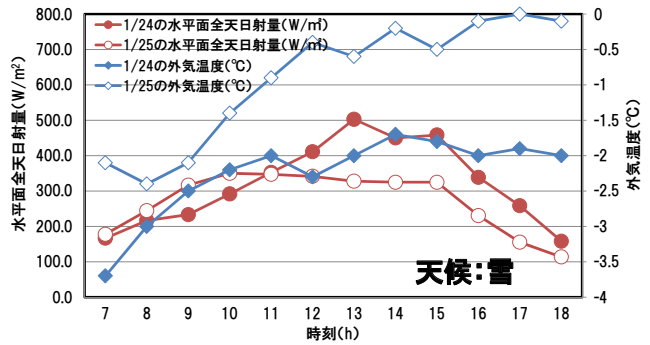


図-4 雪の日の気象データ (2018年1月24日～25日)

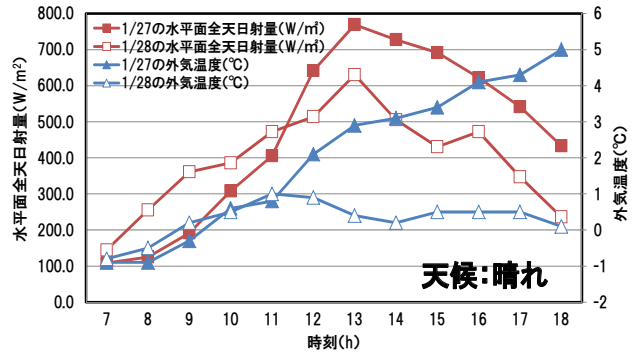


図-5 晴れの日の気象データ (2018年1月27日～28日)

表-1 1時間毎の風向・風速 (2018年1月24日～25日)

2018年1月24日	7時	8時	9時	10時	11時	12時
風速(m/s)	2.7	2.5	3.4	3.6	3	3.2
風向	北北東	北北東	北北東	北北東	北北東	北北東
	13時	14時	15時	16時	17時	18時
風速(m/s)	3.8	4	4.5	4.1	2.7	2.4
風向	北北東	北北東	北北東	北北東	北北東	北
2018年1月25日	7時	8時	9時	10時	11時	12時
風速(m/s)	4.6	5.4	4.1	2.6	2.7	1.1
風向	北東	北北東	北北東	北北東	北北東	北東
	13時	14時	15時	16時	17時	18時
風速(m/s)	0.7	1	3.2	5.2	7.1	8.1
風向	東北東	東	北北東	北東	北東	北東

表-2 1時間毎の風向・風速 (2018年1月27日～28日)

2018年1月27日	7時	8時	9時	10時	11時	12時
風速(m/s)	4.4	0.5	3.9	3	4.8	4.7
風向	北北東	北	南南東	南	南	南
	13時	14時	15時	16時	17時	18時
風速(m/s)	5	4.7	4.4	4.7	3.9	1.7
風向	南	南	南	南	南	南東
2018年1月28日	7時	8時	9時	10時	11時	12時
風速(m/s)	5.5	6.5	9.9	9.9	10.7	7.8
風向	北北東	北東	東北東	北東	東北東	北東
	13時	14時	15時	16時	17時	18時
風速(m/s)	8.4	8.2	10.4	9.3	9.1	8.9
風向	北東	北東	北東	北東	北東	北東

5. 吹出・吸込温度の実測結果

12時において、北面の全天日射量が西面と比較して大きいいため、北面に設置した空気式太陽熱集熱システムに着目し、吹出・吸込温度の計測を実施した。温度の測定箇所は、北面の集熱システムの吹出・吸込口付近に設置した(図-3)。2018年1月24日～25日、27日～28日の7時～18時の吹出・吸込温度は、温度データロガー「おんどり」を使用し、1時間毎に自動計測する。

2018年1月24日～25日(天候:雪)における7時～18時の吸込温度、吹出温度の実測結果を図-6に示す。1月24日12時の吹出温度は20.9℃で、吸込温度は11.8℃であった。また、25日12時の吹出温度は15.8℃で、吸込温度は7.8℃であった。24日においては、10時と11時で吸込温度が大きいという現象が起きているもののそれ以外は、天候が雪でも吸込温度より吹出温度が大きいことが確認できた。25日の7時～18時までの間は、吸込温度より吹出温度が大きいことが確認できた。

2018年1月27日～28日(天候:晴れ)における7時～18時の吸込温度、吹出温度の実測結果を図-7に示す。1月27日12時の吹出温度は36℃で、吸込温度は7.1℃であった。また、28日12時の吹出温度は26.5℃で、吸込温度は8.5℃であった。27日～28日における7時～18時の間では、共に吸込温度より吹出温度が大きいことが確認できた。27日の外気温度の変化が大きいにも関わらず、室内温度(吸込温度)の温度変化がなく、断熱性が高い建物であることが確認できた(図-5)。

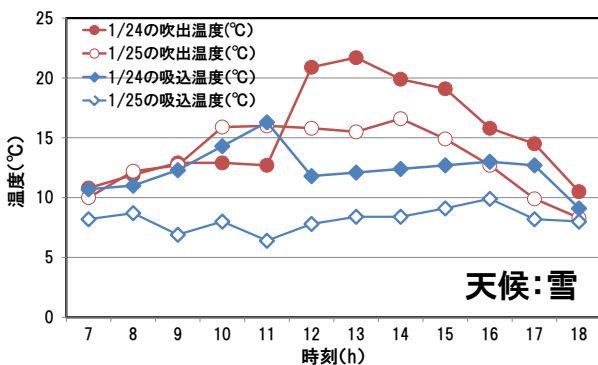


図-6 集熱パネルの吹出温度・吸込温度 (2018年1月24日～25日)

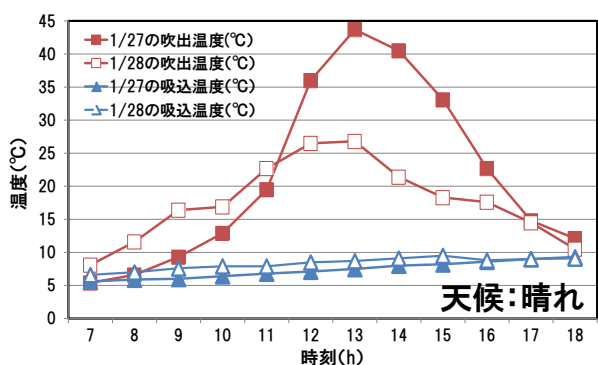


図-7 集熱パネルの吹出温度・吸込温度 (2018年1月27日～28日)

6. 太陽熱集熱効率と建物北面の全天日射量の求め方

太陽熱集熱効率(以下、集熱効率と呼ぶ)を求めるために集熱量 q を算出する方法について式(1)に示す⁵⁾。

$$q = C_p \times \gamma \times Q \times (T_D - T_R) \quad \text{式(1)}$$

γ : 空気の比重 (=1.2[kg/m³])

C_p : 空気の比熱 (=0.28[W/kg・K])

T_D : 吹出温度[°C]、 T_R : 吸込温度[°C]

q : 集熱量[W]、 Q : 給気量[m³/h]

次に、集熱効率を求める方法について式(2)に示す。

$$\text{集熱効率 } \eta = q / (I_N \times A) \quad \text{式(2)}$$

A : 集熱面積[m²]、 I_N : 北面の全天日射量[W/m²]

水平面・北面の全天日射量⁵⁾について、快晴時における2018年1月24日～25日と2018年1月27日～28日12時を表-3に示す。

表-3 水平面・北面の全天日射量(12時, 快晴時)

	水平面	北面
2018年1月24日 全天日射量(W/m ²)	754.1	1037.8
2018年1月25日 全天日射量(W/m ²)	749.8	1036.8
2018年1月27日 全天日射量(W/m ²)	740.9	1034.6
2018年1月28日 全天日射量(W/m ²)	736.2	1033.4

北面の全天日射量を求めるために、気象データより得た全天日射量(図-4、図-5)を表-3の水平面全天日射量で除し、得られた比率を用いて、北面の全天日射量を修正した(表-4)。

表-4 気象データに基づく北面の全天日射量(12時)

	水平面(気象データ)	北面
2018年1月24日 全天日射量(W/m ²)	411.1	565.8
2018年1月25日 全天日射量(W/m ²)	341.7	472.5
2018年1月27日 全天日射量(W/m ²)	641.7	896.1
2018年1月28日 全天日射量(W/m ²)	513.9	721.3

7. 集熱効率の計算条件・結果

集熱効率を求めるために、以下に計算条件を示す。

北面の空気式太陽熱集熱システムの1ユニット当たりの集熱面積は12m²で、暖められた空気は、風量600m³/hで室内に供給されている。表-4から、12時の北面の全天日射量は、雪の時の24日は565.8W/m²、25日は、472.5W/m²となった。天候が雪の場合でも、北面の全天日射量は、500～600W/m²程であった。また、晴れの時の27日は896.1W/m²、28日は721.3W/m²となった。

図-6の実測結果から、12時の吹出温度と吸込温度の差は、24日は9.1℃で、25日は8.0℃であった。また、図-7の実測結果から、12時の吹出温度と吸込温度の差

は、27日は28.9℃で、28日は18.0℃であった。

上記の計算条件を式(1)に代入すると、雪の時の24日12時の集熱効率は0.27、25日は0.29となった。また晴れの時の27日12時の集熱効率は0.55、28日は0.42となった。

雪と晴れの場合を比較すると、外気温度や全天日射量の違いで、集熱効率は概ね半分程になることが確認できた。27日と28日の晴れの場合を比較すると、風速や外気温度等が違うため、28日の集熱効率が小さくなったことが考えられる。このように、天候、外気温度、風速、全天日射量等の気象条件による違いで、集熱効率が大きく変わることを確認できた。また、雪の場合でも集熱効率が期待できることを示した。

8. 日本（苫小牧）における実証実験での比較

2009年3月8日に北海道苫小牧市で行った同種パネルの実証実験⁴⁾を行い、集熱効率を求めた。実験状況を写真-2に示す。実証実験では、給気ファンが100m³/hで、集熱面積が2.72m²であった。集熱パネルの表面温度や吹出・吸込温度等の計測状況を写真-3に示す。



全体状況 拡大
写真-2 実証実験状況（北海道苫小牧市）



写真-3 集熱パネルの計測状況

集熱効率（集熱パネル向き：南向き）は、12時においては、0.5であった。この時の気象状況は、天候は晴れ、風速は4.4m/s、風向は西北西、外気温度は4.4℃、南面全天日射量は726.5 W/m²であった。天候が晴れの2018年1月27日12時の集熱効率は、苫小牧での実証結果と比較すると同程度であることが確認できた。一方、天候が晴れの28日12時の集熱効率は、風速や外気温度の気

象条件が苫小牧とは異なっているため、2割程度低減したことが考えられる。

9. まとめ

本報では、昭和基地の自然エネルギー棟で採用した空気式太陽熱集熱システムについて検証を行った。以下に得られた知見を示す。

- 1) 昭和基地で日射が期待される1月において、吹出・吸込温度の実証結果を整理した。
- 2) 気象データ（水平面全天日射量）と実測した吹出・吸込温度を用いて、昭和基地での集熱効率を求めた。
- 3) 気象データ（外気温度）と実測した吸込温度から、自然エネルギー棟の断熱性は高いことが確認できた。
- 4) 天候、外気温度、風速、全天日射量等の気象条件による違いで、集熱効率が大きく変化することを確認できた。
- 5) 雪の場合でも、吹出温度の方が、吸込温度より大きいことが確認でき、集熱効率が期待できることを示した。
- 6) 集熱効率は、日本（苫小牧）と昭和基地での実測結果を比較すると、同程度の結果が得られた。ただし、昭和基地では、風速や外気温度の気象条件が日本とは大きく異なるため、集熱効率の低減をある程度見込む必要がある。

【謝辞】

論文作成に当たって、温度計測を実施して頂いた国立極地研究所永木毅氏、多くの助言を頂いた日本大学理工学部建築学科 半貫敏夫名誉教授に感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1) 安部剛, 半貫敏夫: 南極昭和基地の自然エネルギー棟における室内温熱環境に関する検討, 日本建築学会技術報告集, 第24巻, 第57号, pp. 733~736, 2018. 6
- 2) 永木毅, 秋元茂: 極地での建築, 新建築社, pp. 170~173, 2013. 6
- 3) 半貫敏夫他 6名: 南極建築 ANTARCTIC ARCHITECTURE, LIXIL 出版, pp. 60~65, 2016. 12
- 4) 田代達一郎: 第6回南極設営シンポジウム, 空気式太陽熱集熱システムについて 国立極地研究所, 2009. 6
- 5) 井上宇市 編者: 改訂5版空気調和ハンドブック, 丸善株式会社, pp. 19~25, pp. 96~97, 2008. 2
- 6) 安部剛, 石鍋雄一郎, 半貫敏夫, 永木毅: 南極昭和基地建物の換気システムに関する研究 その1 数値流体解析を用いた自然エネルギー棟周りの流れ場の検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 環境工学 II, pp. 693~694, 2015. 9