

南極昭和基地の自然エネルギー棟における夏期の温熱環境に関する検討

Consideration about Thermal Environment in Summer Season on Sustainable Energy Hut at Syowa Station, Antarctica

安部 剛*1

概 要

本報では、自然エネルギー棟における夏期の室内温熱解析を行うために、必要な外気温度、全天日射量、外壁面・屋根面の熱貫流率、室内温度、相当外気温度を整理する。

key words : 自然エネルギー棟、外気温度、全天日射量、熱貫流率、室内温度、相当外気温度

1. はじめに

南極昭和基地の建物では、建物外壁面にある換気フードの形状や取付け位置によっては、ブリザード(暴風雪)時に新鮮空気取り入れ口に雪が詰まったり、壁面に成長したドリフト(吹きだまり)によってフードが埋まったりして、上手く排気が出来ないことがあり、フードに氷や雪が残る状態となることがある。このような場合、換気が不十分となり、室内環境としては熱気・悪臭がこもるとい課題がある。本報の最終目標は、南極昭和基地建物の換気システムにおける最適なフード形状、設置位置、大きさの提案である。

文献 1) では、南極昭和基地に新たに建設された『自然エネルギー棟(写真-1、図-1)』を対象モデルとして、数値流体解析を用いて、建物周辺の流れ場を把握し、換気口の設置位置を検討すると共に、換気口設置の現状と妥当性について報告した。

2. 研究目的

本報では、自然エネルギー棟における夏期の室内温熱解析を行うために、必要な外気温度、全天日射量、外壁面・屋根面の熱貫流率、室内温度、相当外気温度を整理した。

3. 南極昭和基地の気象データについて

南極昭和基地(南緯:69度00分22秒、東経:39度35分24秒)では、気象庁が管轄している温度計や日射計が設置されており、その気象データを基に、全天日射量、外気温度を整理した。自然エネルギー棟の室内温度を2016年2月27日~28日で測定したので、気象データもこれに合わせて、図-2に全天日射量、外気温度を示す。南極は、日本とは逆で2月は夏期にあたり、南極昭和基



写真-1 自然エネルギー棟

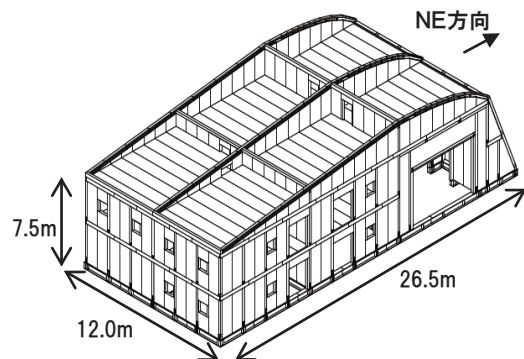


図-1 自然エネルギー棟のアクセソメ

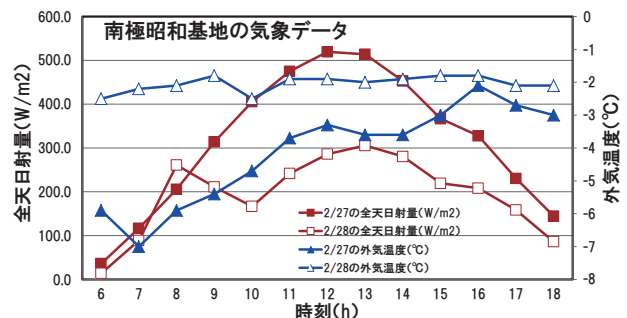


図-2 南極昭和基地における気象データ (2016年2月27~28日)

*1 Takeshi ABE

技術本部技術研究所 主任研究員

地の年平均気温(=氷点下 11℃)と比べて、氷点下 2.0～3.0℃と比較的温度が高い時期である。太陽高度が低い為、全天日射量は、日本の夏期と比べると小さい。2016年2月27日の天候は、薄曇りで6時～18時までの平均気温は、氷点下 4.0℃で、28日の天候は、曇りで6時～18時までの平均気温は、2月の平均温度の氷点下 2.0～3.0℃と同等であった。

4. 自然エネルギー棟の温熱環境と環境技術

4.1 自然エネルギー棟の概要

この建物は、空気式太陽熱集熱パネル(北面パネル:24枚, 71m²、西面パネル:48枚, 136.6m²)が取り付けられており²⁾、自然エネルギー利用システムの制御・蓄電機室や大型雪上車整備空間を内蔵する2階建ての複合建築である。また、建築面積 334m²、延床面積 840m²、建物容積 2,000m³規模で、かつ重量物を内蔵するため高床建物にするのは技術的に難しい。そのため、吹きだ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に工夫がされている建物である。また、1階の車両整備室には、車両に付着した雪を融かすためにアルミ床暖房設備が設置されている。

4.2 熱貫流率と温度計の設置状況について

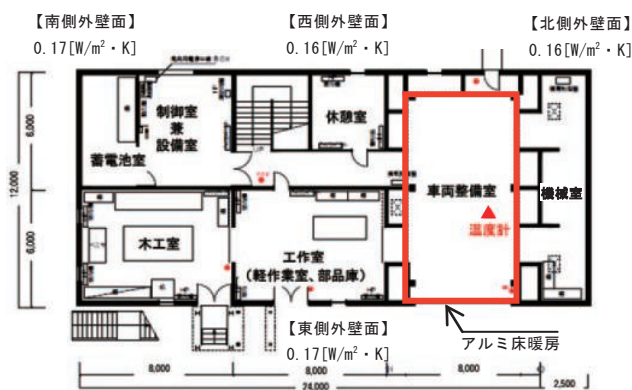
1階、2階平面図に外壁面の熱貫流率と温度計の位置を、断面図に屋根面の熱貫流率と温度計の位置を示す(図-3)。温度計の設置高さ(:図中の▲)は、床上 1.2mである。各面の熱貫流率は、断熱性能の高い仕上げになっており、南・東側外壁面は、0.17[W/m²・K]、西・北側外壁面は、0.16[W/m²・K]となっている。また、屋根面の熱貫流率は、0.15[W/m²・K]となっている。このように、一般的な外壁面・屋根面の熱貫流率と比較して、10分の1程度となっており、断熱性に優れた建物となっている。

4.3 室内温度の測定結果

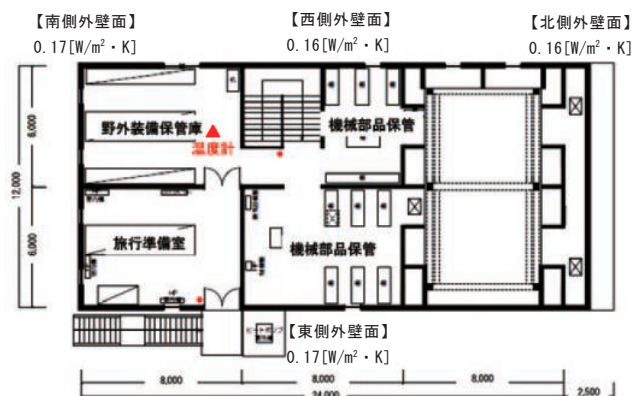
2016年2月27日(暖房ON)と28日(暖房OFF)の6時～18時の室内温度を図-4に示す。室内温度は、おんどとり TR-72UI を使用し1時間に1回データを自動計測した。測定場所は、1階の車両整備室と2階の野外装備保管庫とした。

暖房ONの2月27日において、1階は7.0～18℃で、2階は10～16℃であった。1階では、15時～16時がピーク温度である18℃となっており、16時以降は、温度が下がっていることが確認できた。2階では、15時～17時がピーク温度である16℃となっており、それ以降は、温度がほぼ一定であることが確認できた。

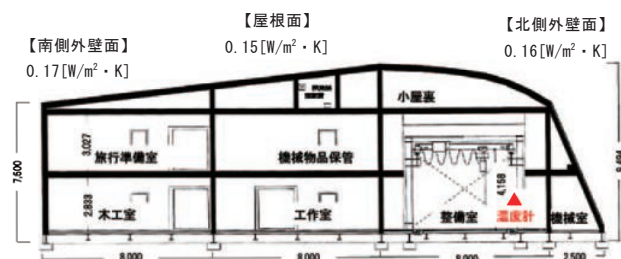
暖房OFFの2月28日において、1階は6.0～9.0℃で、2階は10.0～11.0℃であった。28日の外気温度(氷点下 2.0℃)は、ほぼ一定であったため、室内温度もほぼ一定であった。このことから、この建物の気密性の高さが確認できる。



a) 1階の外壁面の熱貫流率と温度計の設置状況



b) 2階の外壁面の熱貫流率と温度計の設置状況



c) 屋根面・外壁面の熱貫流率と温度計の設置状況

図-3 自然エネルギー棟の平面図、断面図

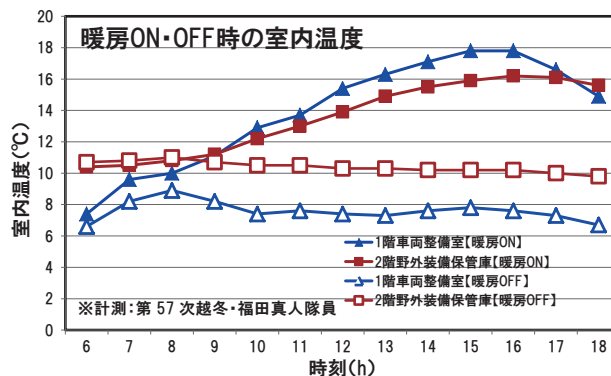


図-4 自然エネルギー棟の室内温度

4.4 空気式太陽熱集熱システム²⁾

自然エネルギー棟の環境技術としては、北面・西面に設置した LIXIL 製の空気式太陽熱集熱システムがある。空気式太陽熱集熱システムの概要(ソーラーспандレルの原理)を図-5 に示す。

ソーラーспанд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する。外気を太陽熱集熱システムの下部から導入する換気暖房補助方式もあるが、給気する分を別のところから排気してはもったいないので、本システムは内気循環方式(エアフローウィンドウ方式)を採用する。

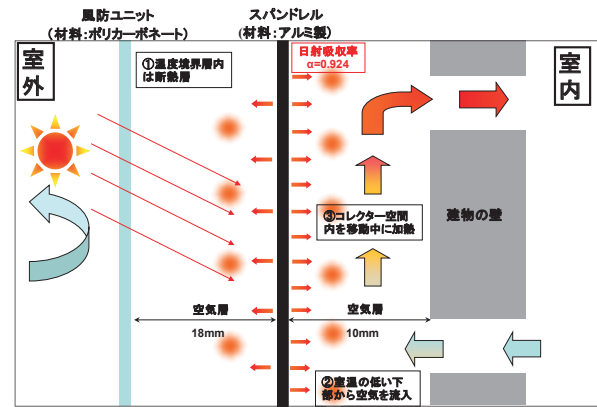


図-5 空気式太陽熱集熱システムの概要 (ソーラーспандレルの原理)

4.5 アルミ床暖房システム³⁾

自然エネルギー棟のもう一つの環境技術としては、1階の車両整備室の床に設置したアルミ床暖房システムを採用する(図-6)。

アルミ床暖房システムを採用した事によって、南極昭和基地にある建設重機等の車両のタイヤやキャタピラに付着した雪を融かすことができる。

システムの特徴としては、熱伝導率の良いアルミ材を用いて、その中に、暖めた不凍液を循環させることによって、床暖房を行うシステムとなっている。暖房で使う同じ機械(ボイラー)を用いて不凍液を暖めて、整備室の床に送り込んでいる。

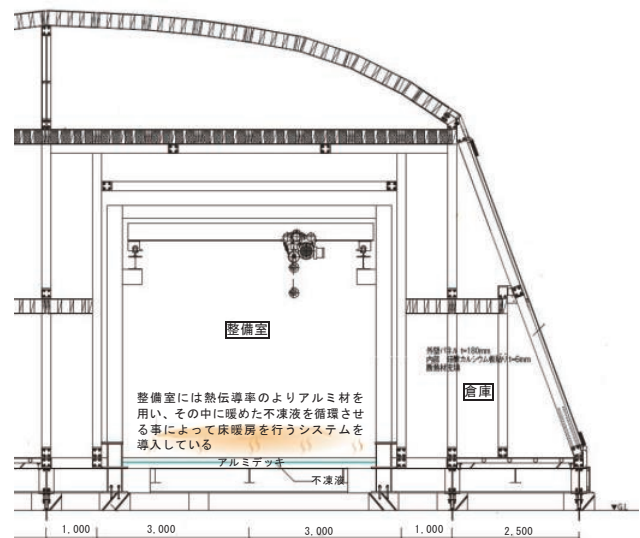


図-6 アルミ床暖房システム

5. 相当外気温度の求め方⁴⁾

解析をする際、外壁面、屋根面の相当外気温度を算出する必要がある。以下に手順(①~⑥)を示す。

①太陽赤緯(δ)を求める

太陽光線と地球の赤道面との成す角度(太陽赤緯)は、地球の公転に伴って変化する。ω(太陽位置)は式(1)より求める。但し、Kは年通日で閏年換算は行っていない。

$$\omega = 0.0171672 \times (K + 3) \text{ [rad]} \quad \text{式(1)}$$

次に、太陽赤緯 δ [°] は、式(2)より求める。

$$\delta = 0.362213 - 23.2476 \cdot \cos(\omega + 0.153231) - 0.336891 \cdot \cos(2\omega + 0.207099) - 0.185265 \cdot \cos(3\omega + 0.62029) \quad \text{式(2)}$$

②均時差(et)を求める

地球の公転軌道は、太陽を焦点とする楕円であり、地球の公転速度は一定ではない。ゆえに、実際の1日の長さは毎日異なる。これが真太陽時である。一方、仮に自転軸が公転軸と平行でかつ円軌道上を一定速度で公転すると仮定した場合を平均太陽時といい真太陽時と平均太陽時の差を均時差 et [h] という。但し、昭和基地の標準時(南中時)は12時としている為、均時差 et を0とする。

表-1 1時間毎の時角、太陽高度、太陽方位角
【2月27日の6時~18時】

時刻	時角t 度	太陽高度H 度	方位角A 度
6:00	-90.00	7.16	-87.23
7:00	-75.00	12.51	-78.68
8:00	-60.00	17.59	-64.21
9:00	-45.00	22.08	-49.13
10:00	-30.00	25.61	-33.33
11:00	-15.00	27.89	-16.87
12:00	0.00	28.68	0.00
13:00	15.00	27.89	16.87
14:00	30.00	25.61	33.33
15:00	45.00	22.08	49.13
16:00	60.00	17.59	64.21
17:00	75.00	12.51	78.68
18:00	90.00	7.16	87.23

③時角 (hour angle) を求める

標準時の12時を0°とし1時間を15°とする角度が時角 $t[^\circ]$ である。時角 $t[^\circ]$ は式(3)より求める。

$$t = 15 \times (T - 12 + et) \quad \text{式(3)}$$

T:時刻[h]、et:均時差[h]

④太陽高度と太陽方位角を求める

任意の緯度、任意の時刻の太陽高度H及び太陽方位角Aは式(4)、式(5)より求める。

$$\sin H = \sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \phi \cos t \quad \text{式(4)}$$

$$\sin A = \cos \delta \sin t / \cos H \quad \text{式(5)}$$

H:太陽高度、A:太陽方位角、 δ :太陽赤緯、 ϕ :緯度、 t :時角(12時を0°とし1時間が15°である)

式(1)～式(5)の順に計算を行い、計算結果として、2月27日の6時～18時における1時間毎の時角 t 、太陽高度H、太陽方位角Aを表-1に示す。

⑤水平面全天日射量と垂直面全天日射量を求める

太陽定数($I_0 = 1,382 \text{ W/m}^2$)は、地球の大気圏外での日射の強さで、地上に直接到達する法線面直達日射量、水平面直達日射量、垂直面直達日射量は、式(6)、式(7)、式(8)より求める。

$$\text{法線面直達日射量: } I_{dn} = I_0 \cdot P^{1/\sin H} \quad \text{式(6)}$$

$$\text{水平面直達日射量: } I_{dh} = I_{dn} \cdot \sin H \quad \text{式(7)}$$

$$\text{垂直面直達日射量: } I_{dv} = I_{dn} \cdot \cos H \cdot \cos(A - A') \quad \text{式(8)}$$

次に水平面での天空日射量は式(9)、鉛直面での天空日射量は式(10)より求める。

$$\text{水平面天空日射: } I_{sh} = 0.5 \cdot I_0 \cdot \sin H \cdot (1 - P^{1/\sin H}) / (1 - 1.4 \ln P) \quad \text{式(9)}$$

$$\text{垂直面天空日射: } I_{sv} = 0.5 \cdot I_{sh} \quad \text{式(10)}$$

A':壁の方位角、P:大気透過率(:0.85と仮定する)

⑥各面の相当外気温度 (SAT) を求める

屋根面の水平面全天日射量と各面の垂直面全天日射量を求め、相当外気温度(SAT)は、式(11)より求める。

$$\text{SAT} = (a / \alpha_o) \cdot I + t_o \quad \text{式(11)}$$

a:日射吸収率[-]、I:各面の全天日射量[W/m²]

t_o:外気温度[°C]、 α_o :外表面熱伝達率[W/m²・K]

6. 全天日射量と相当外気温度の計算結果

以上の手順に従って求めた各面の全天日射量と相当外気温度の計算結果を表-2に示す。

計算条件は、 α_o を23.0[W/m²・K]、 t_o を-2.0[°C]とし、2月27日とした為、K(:年通日)を58日、時刻を12時とする。日射吸収率は、屋根、東、南面を0.6とし、北、西面を0.924とする。

表-2 各面の全天日射量と相当外気温度の計算結果
【2月27日12時】

	屋根面	東面	西面	南面	北面
全天日射量 (W/m ²)	550.2	40.0	40.0	904.1	991.8
相当外気温度 (°C)	12.4	-1.0	-0.4	21.6	37.8

7. まとめ

本報では、夏期の室内温熱解析に必要なデータ(外気温度、熱貫流率、室内温度、相当外気温度)を整理した。また、文献4)の方法で求めた建物各面の全天日射量と相当外気温度を示した。

8. 今後について

今後は、このデータを基にして、夏期の室内温熱解析を実施する予定である。また、自然エネルギー棟以外の南極昭和基地における建物において、吹きだまりによる影響を受けない換気システムに関する最適なフード形状、設置位置、大きさの提案を行っていく予定である。

【謝辞】

実測・論文作成に当たり、多くの助言を頂いた日本大学 半貫 敏夫名誉教授、石鍋 雄一郎助教、国立極地研究所 永木 毅氏、第57次越冬福田 真人氏に感謝の意を表す。また、空気式太陽熱集熱システムの資料提供や技術的な助言を頂いた(株)LIXIL 田代 達一郎氏に感謝の意を表す。

【参考文献】

- 1)安部剛:『数値流体解析を用いた自然エネルギー棟周りの流れ場に関する検討』銭高組技報, No. 40, pp. 33~36, 2015. 11
- 2)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
- 3)『新建築』新建築社, pp. 170~173, 2013. 6
- 4)井上宇市編:『改訂5版空気調和ハンドブック』丸善出版, pp. 19~25, pp. 54~63, 2008. 2

※なお、この論文は、2016年度日本建築学会大会梗概集を一部加筆・修正したものである。