

# 南極昭和基地自然エネルギー棟における夏期室内温度の実測と解析の比較

## Comparison of Measurement and Analysis of the Indoor Temperature in Summer Season on Sustainable Energy Hut at Syowa Station, Antarctica

安部 剛\*<sup>1</sup>

### 概要

本報では、近年新築された「自然エネルギー棟」で採用した省エネ環境技術の紹介、昭和基地で夏期に実測した室内温度と共に、設計用スキルとして利用価値の高い数値流体解析（CFD）を用いて、南極での室内温熱解析における有用性を比較・検討した結果について報告する。

*key words* : 自然エネルギー棟、室内温度、暖房、数値流体解析、空気式太陽熱集熱パネル、アルミ床暖房システム

### 1. はじめに

南極昭和基地(以下、昭和基地と呼ぶ)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」で観測隊員及び観測用資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、近年新築された「自然エネルギー棟」で採用した省エネ環境技術の紹介、昭和基地で夏期に実測した室内温度と共に、設計用スキルとして利用価値の高い数値流体解析(以下、CFDと呼ぶ)を用いて、南極での室内温熱解析における有用性を比較・検討した結果について報告する。

### 2. 昭和基地の気象

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、水平面全天日射量(以下、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、気象データもこの時期に合わせた。図-1に全天日射量、外気温度を示す。昭和基地は、日本とは逆で2月は夏期にあたり、昭和基地の年平均気温(=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。昭和基地は、太陽高度が低いため、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℃、28日の天候は、曇りで6時~18時までの平均気温は、2月の平均気温の氷点下2.0~3.0℃と同等であった。

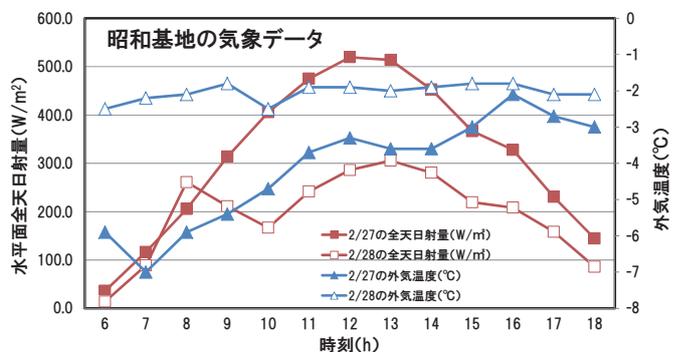


図-1 昭和基地における気象データ (2016年2月27~28日)

### 3. 自然エネルギー棟の概要<sup>1)</sup>、<sup>2)</sup>

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・蓄電機室の他、大型雪上車の整備空、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。建築面積334m<sup>2</sup>、延床面積840m<sup>2</sup>、建物容積2,000m<sup>3</sup>規模で、かつ重量物を内蔵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。各部屋における空調機(FCU)、換気の給気・排気口、北面の空気式太陽熱集熱システムからの吹出・吸込口、アルミ床暖房の位置、外壁面・屋根面の熱貫流率、及び外壁仕様を図-2に示す。ただし、西面の空気式太陽熱集熱システムからの吹出・吸込口の位置に関しては、検討した2月27日12時の場合、吹出温度が氷点下になり運転停止となるため、図-2には示していない。

\*1 Takeshi ABE

技術本部技術研究所 主任研究員



写真-1 自然エネルギー棟

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 18 mm とした。また、昭和基地で日射が期待できる時期は、10月～2月の5ヶ月である。

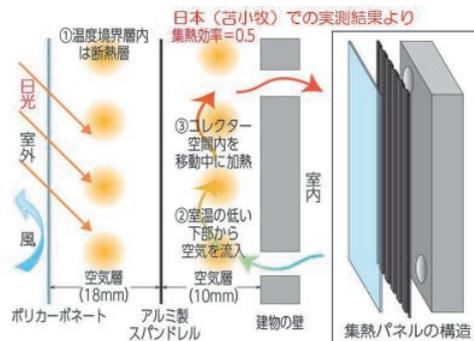


図-3 空気式太陽熱集熱システムの概要

#### 4.2 アルミ床暖房システム<sup>2)</sup>

昭和基地にある大型雪上車、建設重機等のタイヤやキャタピラに付着した雪を融かすために、1階の車両整備室の床には、アルミ床暖房システムを採用した(図-2、図-4)。アルミ床暖房システムとは、熱伝導率の良いアルミ材を用い、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である。また、暖房で使う同じ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。

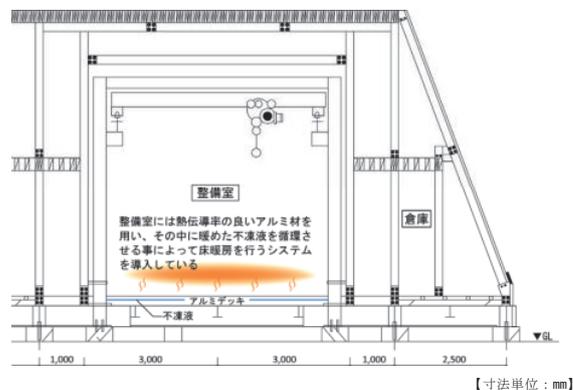


図-4 アルミ床暖房システム

#### 5. 自然エネルギー棟における室内温度の実測結果

室内温度の測定場所は、1階の車両整備室と2階の野外装備保管庫で、温度計の設置高さ(図-2の▲)は、床上1.2mとする。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する。実測結果を図-5に示す。暖房ONの27日12時(外気温度: -3.3℃)は、1階は15.4℃で、2階は13.9℃であった。また、暖房OFFの28日12時(外気温度: -1.9℃)は、1階は7.4℃で、2階は10.3℃であった。暖房OFFでは殆ど温度変化がなく、断熱性の高い建物であることが確認できる。

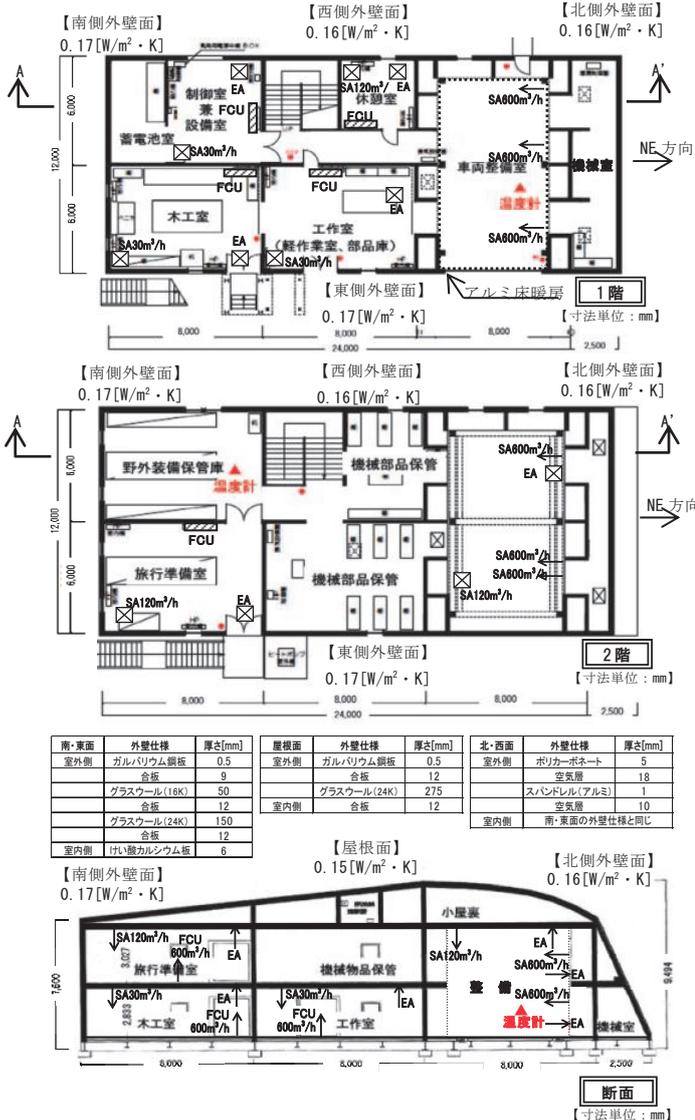


図-2 設備機器等の設置位置と外壁仕様

#### 4. 自然エネルギー棟で採用した環境技術

##### 4.1 空気式太陽熱集熱システム<sup>1), 2)</sup>

この建物には、空気式太陽熱集熱パネル(北面外壁:24枚, 71m<sup>2</sup>、西面外壁:48枚, 136.6m<sup>2</sup>)が設置されている。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-3に示す。このシステムは、エアフローウィンドウ方式である。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

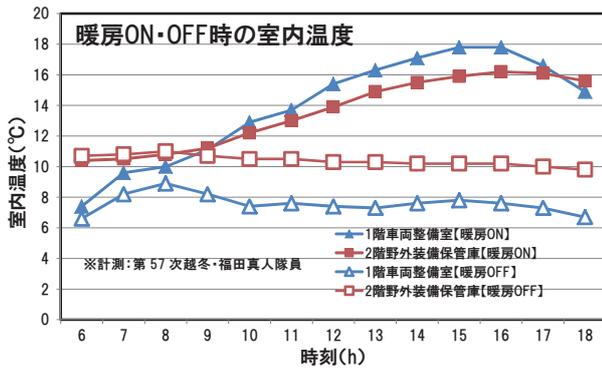


図-5 自然エネルギー棟の室内温度

6. 全天日射量と相当外気温度の算出方法<sup>3)</sup>

室内温熱解析をする際、全天日射量を求めてから外壁面、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。 $\omega$ (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  $\delta$  [°] 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。ただし、昭和基地の標準時(南中時)は12時としているため、均時差  $et$  を0とする。

③時角を求める

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

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

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  $H$  および太陽方位角  $A$  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[°]、 $\delta$ : 太陽赤緯[°]

$\phi$ : 緯度[°]、 $t$ : 時角[°]、 $A'$ : 壁の方位角[°]

$P$ : 大気透過率[-] (0.85とする)、 $T$ : 標準時の時刻[h]

$et$ : 均時差[h]

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。

$$\text{水平面天空日射: } I_{SH} = 0.5 \cdot I_0 \cdot \sin H \cdot (1 - P^{1/\sin H}) / (1 - 1.41 \ln P) \quad \text{式(9)}$$

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

⑥各面の相当外気温度を求める

屋根面の水平面全天日射量と各壁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 [ $\text{W/m}^2$ ]

$t_o$ : 外気温度[°C]、 $\alpha_o$ : 外表面熱伝達率 [ $\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$ ]

以上の手順に従って求めた快晴の場合における各面の全天日射量と相当外気温度の計算結果を表-1に示す。計算条件については、2月27日12時の場合、 $K$ (年通日)は58日、図-1より  $t_o$ (外気温度)は、 $-3.3^\circ\text{C}$ となる。 $a$ (日射吸収率)は、屋根、東、南面を0.60とし、北、西面を0.92とする。昭和基地での  $\alpha_o$ (外表面熱伝達率)は、標準的な値がないため、日本の標準的な値の  $23 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ (風速  $3 \text{ m/s}$  相当)とする。2月28日12時の場合も同様の方法で求めた。

表-1 各面の全天日射量と相当外気温度(12時, 快晴時)

	水平面	東面	西面	南面	北面
2月27日: 暖房ON 全天日射量 ( $\text{W/m}^2$ )	550.2	40.0	40.0	40.0	991.8
2月27日: 暖房ON 相当外気温度(度)	11.1	-2.3	-1.7	-2.3	36.5
2月28日: 暖房OFF 全天日射量 ( $\text{W/m}^2$ )	542.5	39.9	39.9	39.9	987.6
2月28日: 暖房OFF 相当外気温度(度)	12.3	-0.9	-0.3	-0.9	37.8

また、気象データより得た水平面全天日射量(図-1)を、表-1の水平面全天日射量で除し、得られた比率を用いて建物各面の全天日射量を修正して、式(11)より相当外気温度を求めた。気象データに基づく各面の全天日射量と相当外気温度を表-2に示す。

表-2 気象データに基づく  
各面の全天日射量と相当外気温度

	水平面	東面	西面	南面	北面
2月27日:暖房ON 全天日射量(W/m <sup>2</sup> )	519.4	37.7	37.7	37.7	936.2
2月27日:暖房ON 相当外気温度(度)	10.2	-2.3	-1.8	-2.3	34.3
2月28日:暖房OFF 全天日射量(W/m <sup>2</sup> )	286.1	21.0	21.0	21.0	520.9
2月28日:暖房OFF 相当外気温度(度)	5.6	-1.4	-1.1	-1.4	19.0

7. 室内温熱解析の概要と解析条件

解析ソフトは、数値流体解析ソフト『Wind Perfect』を使用した。解析空間は、12.0m(X)×26.5m(Y)×9.5m(Z)とし図-6に示す。解析空間のメッシュ分割数は、50(X)×133(Y)×68(Z)=452,200メッシュとする。

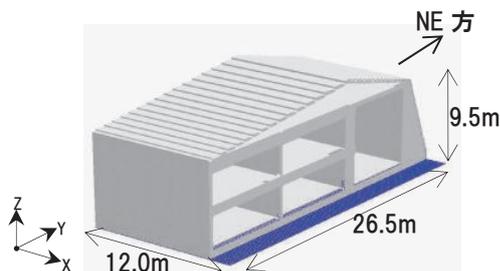


図-6 解析空間

解析する際、空気式太陽熱集熱システムで暖められた空気が室内へ吹き出す温度を与える必要がある。この吹出温度を求める為の手順(①~②)を次に示す。

①集熱効率を用いて積算集熱量を求める(式(12))。  
積算集熱量=全天日射量×集熱効率×集熱面積  
式(12)

②積算集熱量から吹出温度を求める(式(13))。  
吹出温度=積算集熱量/(0.34×給気量)+室内温度  
式(13)

暖房ONの時、北面の集熱システム(1ユニット当たりの集熱面積:12.0m<sup>2</sup>)で暖められた空気(600.0m<sup>3</sup>/h)は室内に送られ、外部風速・風向の影響で集熱効率が変化することを考慮して積算集熱量を求め、式(13)より吹出温度は、16.0℃とする。西面の集熱システムからの吹出温度は、氷点下になり運転停止となる。FCUの吹出温度は26.0℃で風量は600.0m<sup>3</sup>/hとする。アルミ床暖房の発熱

量は100.0W/m<sup>2</sup>とする。換気は部屋毎に30.0m<sup>3</sup>/hまたは120.0m<sup>3</sup>/hで吹出し、吹出温度は外気温度とする。暖房OFFの時、床暖房、太陽熱集熱システム、FCU、換気は全て停止状態で、家具等の熱容量は0.60W/m<sup>3</sup>とする<sup>4)</sup>。

8. 室内温度の実測値と解析値の比較

暖房ON・OFF時における実測値と解析値の比較を図-7に示す。暖房ONでは、解析は実測より若干高めではあるが、実測の温度分布の性状を掴めた。暖房OFFでは、2階の野外装備保管庫は解析値が若干低めではあるが概ね実測値と一致していることが確認できた。

9. まとめ

- ①自然エネルギー棟で採用した環境技術を紹介した。
- ②室内温度の実測結果を示し、暖房OFFでは殆ど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。
- ③CFDによる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、文献3)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。
- ④自然エネルギー棟における室内温度の実測値とCFDによる解析値を比較し、暖房ON・OFF共に解析は実測の温度分布の性状を推測できる結果を得た。

【謝辞】

論文作成に当たり、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す。

【参考文献】

- 1)半貫敏夫,他6名:南極建築 ANTARCTIC ARCHITECTURE, LIXIL 出版, pp. 60~65, 2016. 12
- 2)永木毅,秋元茂:極地での建築, 新建築社, pp. 170~173, 2013. 6
- 3)井上宇市:改訂5版 空気調和ハンドブック, 丸善株式会社, pp. 19~25, pp. 54~63, 2008. 2
- 4)空気調和・衛生工学便覧 第13版 第5編, 丸善出版 pp. 103, 2001. 11

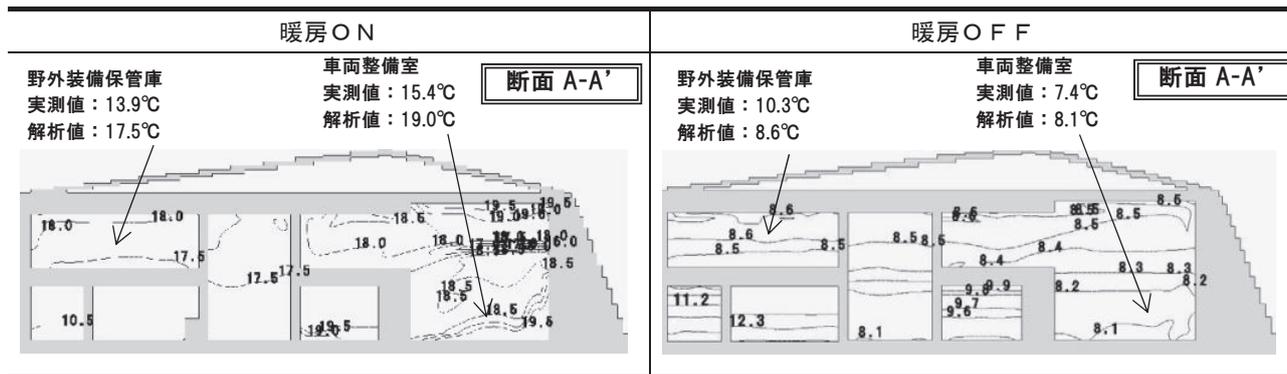


図-7 暖房ON・OFF時における実測値と解析値の比較