

南極・昭和基地の自然エネルギー棟に採用した空気式太陽熱集熱システムの性能

Performance about air-based solar heating system installed in the sustainable energy hut at Syowa Station, Antarctica

安部 剛*¹

概 要

建築空間に太陽熱を直接的に導入する太陽熱集熱システムは、一般的に太陽熱集熱効率が40～60%といわれ、太陽光発電のエネルギー変換効率15～20%より高い。しかし、極寒冷地での空気式太陽熱集熱システムの使用実績はまだ少なく、集熱システムの基本的な性能データ等の蓄積が望まれている。そこで、南極・昭和基地建物の中で初めて空気式太陽熱集熱システムを採用した「自然エネルギー棟」を対象に、極寒冷地における集熱システムの太陽熱集熱効率を確認した。

key words : 南極・昭和基地、空気式太陽熱集熱システム、太陽熱集熱効率、集熱量

1. はじめに

日本南極地域観測隊・昭和基地（南緯:69度00分22秒、東経:39度35分24秒、以下、昭和基地という）の主要エネルギー源は、極寒冷地仕様の軽油（JIS特3号）である。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年1回、この燃料を昭和基地に輸送するシステムだが、その重量は観測隊の全輸送物資量の約60%を占める。南極観測に必要なエネルギー源の安定的な供給および南極環境保全のためには、化石燃料の他に太陽光発電、風力発電等の再生可能エネルギーの積極的な導入が求められる。南極・昭和基地では、既に風力・太陽光発電およびその蓄電システムの導入が進められており、計画的にその発電量を増している。

本報は、再生可能エネルギー利用の一環として、南極・昭和基地の建物に設置した空気式太陽熱集熱システムの基本的な性能について検討したものである。

1.1 空気式太陽熱集熱システムの現状と課題

建築空間に太陽熱を直接的に導入する太陽熱集熱システムは、一般的に太陽熱集熱効率が40～60%といわれ、太陽光発電のエネルギー変換効率15～20%より高い。そこで給湯や暖房等にバランス良く太陽熱を利用することで、効率よく省エネ効果を発揮することが可能となる¹⁾。この太陽熱集熱システムとしては液体式と空気式の2種類がある。液体式の場合、配管の劣化等による液漏れの発生等、長期的に不具合が発生するリスクが高い。他方、空気式は、液体式に比べてメンテナンス性に優れる等の利点が多い。しかし、極寒冷地での空気式太陽熱集熱システムの使用実績はまだ少なく、集熱システムの基本的な性能データ等の蓄積が望まれている。

1.2 研究の目的

研究の目的は、南極・昭和基地「自然エネルギー棟」で初めて採用された空気式太陽熱集熱システムの太陽熱集熱効率を確認することと、集熱パネルの集熱量と気象環境との関係を明確にすることである。建物周辺の気象情報は、気象庁がホームページ上で公開している風向・風速、日照時間、外気温度、天候、全天日射量を用いた。

2. 自然エネルギー棟の概要²⁾

南極・昭和基地「自然エネルギー棟」は2013年2月に建設された建築面積334m²、延床面積840m²、建物容積2,000m³の2階建て建物である(写真-1、図-1)。スノードリフト(雪の吹きだまり)対策として、屋根形状を工夫して建物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されている。また、風力・太陽光発電等の制御・蓄電池室の他に、大型雪上車の整備室、木工室、倉庫等が配置された複合建築である。空気式太陽熱集熱パネルは、この建物の外壁面:60度傾斜した北面の外壁と、西面の垂直外壁に設置された。

自然エネルギー棟の部屋配置、各部屋の換気量、北面

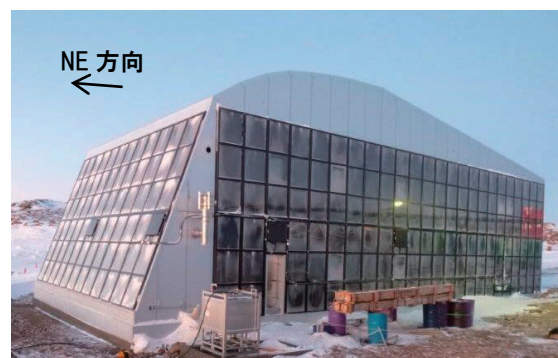


写真-1 自然エネルギー棟

*1 Takeshi ABE

技術本部技術研究所 主任研究員

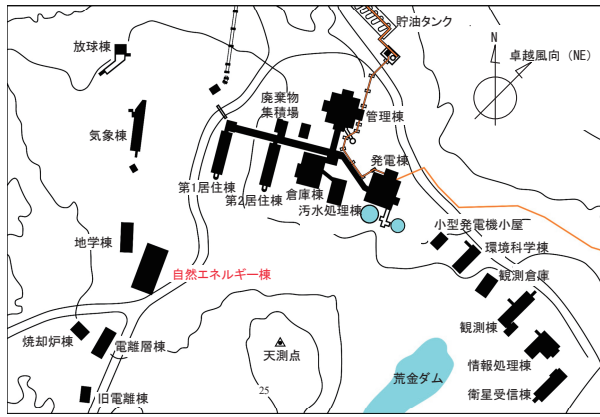


図-1 昭和基地の建物配置と自然エネルギー棟の建設地

と西面の空気式太陽熱集熱システムから得られたファン風量の各部屋への配送先表示、アルミ床暖房システムの位置、温・湿度計の位置、外壁面・屋根面の熱貫流率、および外壁仕様を図-2に示す。

3. 空気式太陽熱集熱システム^{3), 4)}

空気式太陽熱集熱システムの概要を図-3に示す。建物に設置した空気式太陽熱集熱パネルは、北面外壁:24枚(71m²)、西面外壁:48枚(136.6m²)であり、システムはエアフローウィンドウ方式である。ソーラース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。また、熱交換する集熱パネル(アルミ製スパンドレル)内室内側の空気層を10mmと狭くすることで循環気流速度を上げ、対流熱伝達率を上げて熱交換する方式である。集熱パネルの防風対策として、空気層(断熱)18mmを設けて室外側に厚さ5mmのポリカーボネート板を設置している。4枚のパネルを1ユニット(約12m²)として、太陽熱で暖まった空気を室内に取り入れる(図-4)。空気式太陽熱集熱パネルの給気ファンの設計風量は600m³/hで、風量の調節も可能なシステムである。

なお、南極・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。

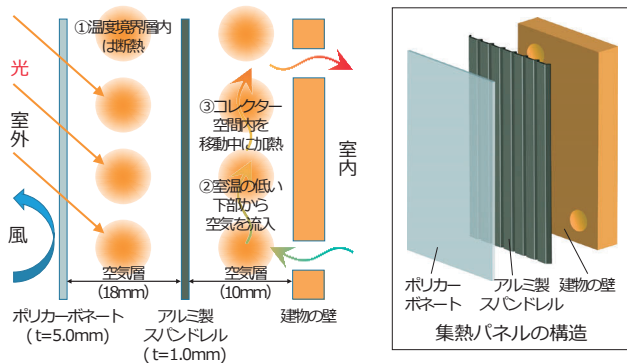
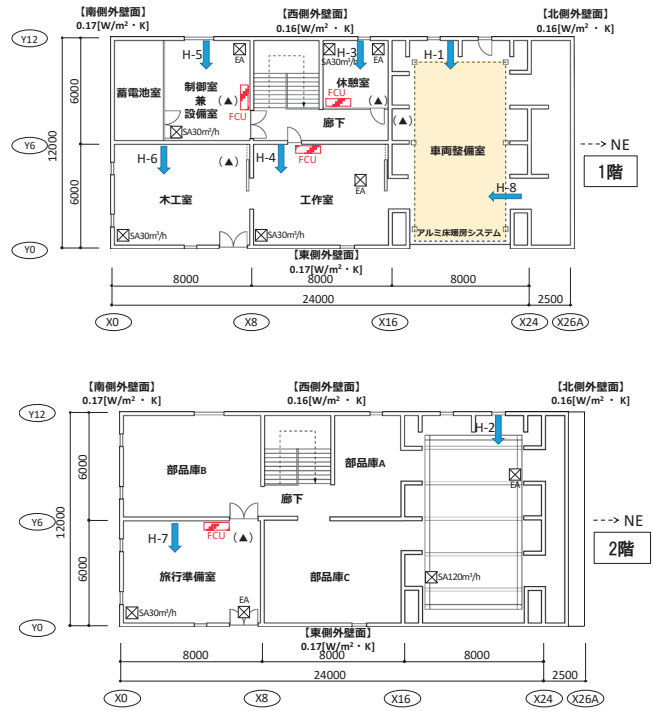


図-3 空気式太陽熱集熱システムの概要³⁾



南・東面	外壁仕様	厚さ[mm]	北・西面	外壁仕様	厚さ[mm]	
室外側	ガルバリウム鋼板	0.5	室外側	ポリカーボネート	5	
	合板	9		空気層	18	
	グラスウール(16K)	50		スパンドレル(アルミ)	10	
	合板	12		空気層	0.5	
	グラスウール(24K)	150		ガルバリウム鋼板	9	
	合板	12		合板	9	
室内側	けい酸カルシウム板	6		グラスウール(16K)	50	
				合板	12	
				グラスウール(24K)	150	
				合板	12	
				室内側	けい酸カルシウム板	6

屋根面	外壁仕様	厚さ[mm]
室外側	ガルバリウム鋼板	0.5
	合板	12
	グラスウール(24K)	275
室内側	合板	12

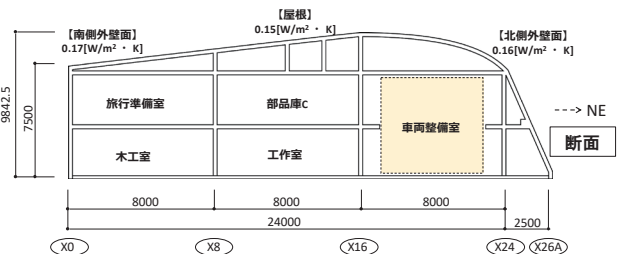


図-2 自然エネルギー棟の詳細図

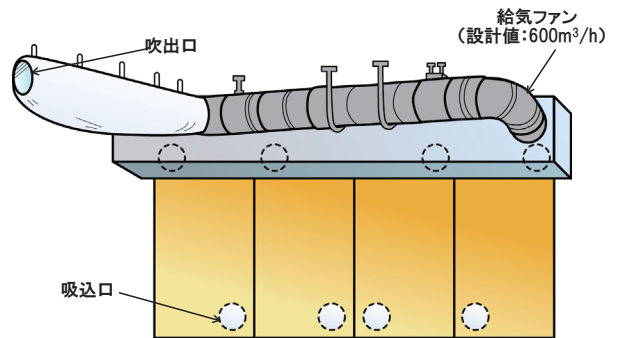


図-4 空気式太陽熱集熱システムの納まり図⁴⁾

4. 空気式太陽熱集熱システムの性能確認

4.1 計測概要

南極・昭和基地での計測は、2016年2月24日(水)～2017年1月31日(火)までの約1年間実施した。日射計、室内の温湿度計、集熱パネルの温度計、ダクト内の温度計、ダクト内の風速計を用いて、日射量、温度・湿度、集熱パネルの温度、ダクト内の温度、風速を1分間隔で自動計測した。ただし、北面に設置した日射計は、2016年6月28日(火)以降、西面の日射計は、2016年10月30日(日)以降、南極特有のブリザードの影響で故障し欠測した。計測機器の概要を表-1に示す。計測位置、マークおよび集熱ダクトの配送先を図-5に示す。

4.2 計測結果

南極・昭和基地での観測結果の代表例として、比較的に全天日射量(12時:519.4W/m²)が多かった2016年2月27日(土)の記録を検討する。建物北面・西面の日射量の経時変化を図-6に示す。図より北面では11時～12時の間で最大の日射量1.1kW/m²が、西面では14時頃に最大の日射量0.6kW/m²が確認できる。

各部屋の温度・湿度の経時変化を図-7に示す。1階制御室等の各部屋で、FCU(Fan Coil Unit)暖房機が稼働している間は、室内温度が上昇、湿度は低下している。温度・湿度曲線の細かな変動は、天井付近に温湿度計を設置したためにファンからの風が直接計測器に影響した可能性が考えられる。2階の旅行準備室は、FCU暖房がOFFだったため、温度・湿度に短周期変動が見られない。

集熱パネル温度の経時変化を図-8に、集熱ダクト内温度の経時変化を図-9に示す。図中のF-8とG-8(図-5(1)に示す位置)は、北面集熱パネルの温度とダクト内の温度である。集熱パネル、ダクト内のピーク温度の時間帯は、北面のピーク日射量の時間帯とほぼ一致している。また、集熱パネル温度と集熱ダクト内温度は、ほぼ同じである。同図中のF-8とG-8以外は、西面で計測した集熱パネルの温度とダクト内の温度であり、このピーク温度の時間帯は西面のピーク日射量の時間帯と一致した。

集熱パネルから得た集熱量Q(W)を図-10に示す。集熱量は式(1)により求めた。

$$Q = A_D \times V_D \times C_p \times \gamma \times (T_D - T_R) \quad (1)$$

- A_D: ダクト断面積(m²)
- V_D: ダクト内風速(m/s)
- Q: 集熱量(W)
- C_p: 空気の定圧比熱=1.006(kJ/(kg・℃))
- T_D: 集熱ダクト内温度(℃)
- T_R: 室内温度(℃)
- γ: 空気の比重量(kg/m³)=341.5/(273+T_D)

1階各室は他の暖房装置併用の効果を含むT_R(室内温度)を用いたため、正確な集熱量ではないが、北面・西面集熱パネルのピーク集熱量Qの時間帯は、集熱パネルやダクト内のピーク温度の時間帯と一致していた。

表-1 計測機器の概要

測定項目	測定装置	型番	測定点	マーク	測定方法
日射量	日射計	CMP-3	2	◎	1分間隔
室内温度湿度	温湿度計	HF-433WBD2X1XX	5	▲	1分間隔
集熱板温度	T型熱電対	T-CC	8	■	1分間隔
ダクト内温度	T型熱電対	T-CC	8	□	1分間隔
ダクト内風量	微風速計プローブ	0962-00	8	●	1分間隔

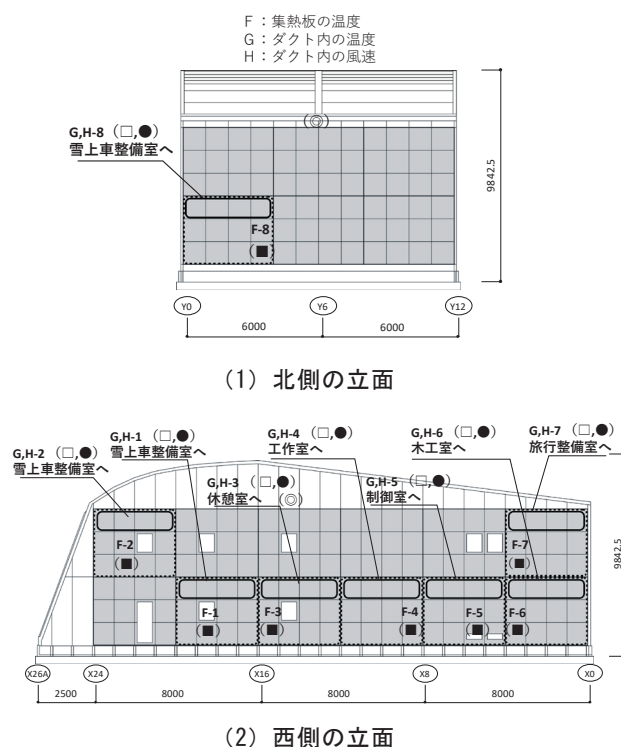


図-5 計測位置、マーク及び集熱ダクトの配送

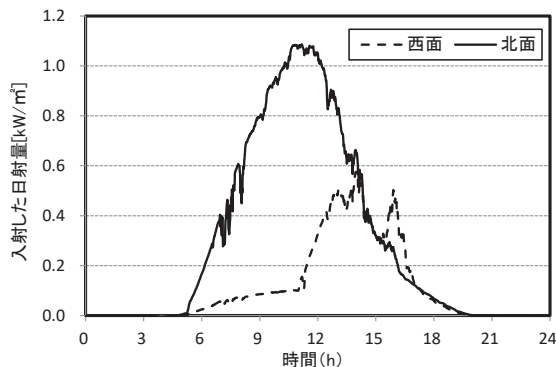


図-6 北面・西面に入射した日射量

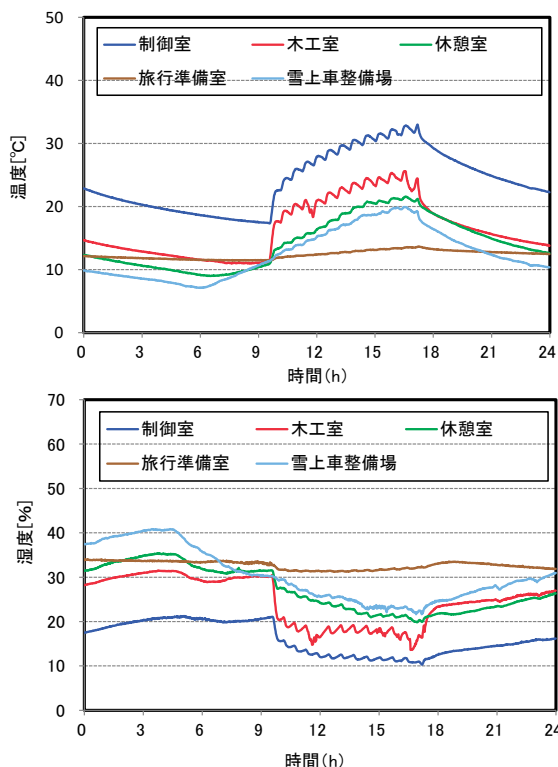


図-7 各部屋の温度と湿度（上：温度、下：湿度）

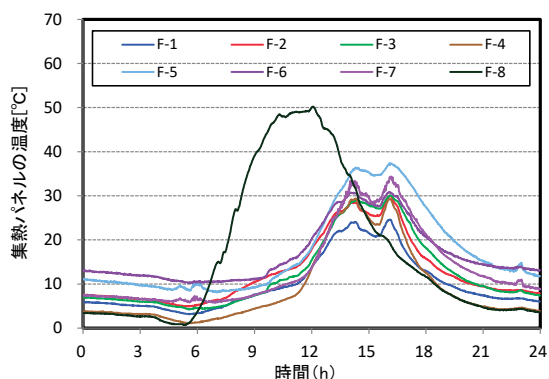


図-8 集熱パネルの温度

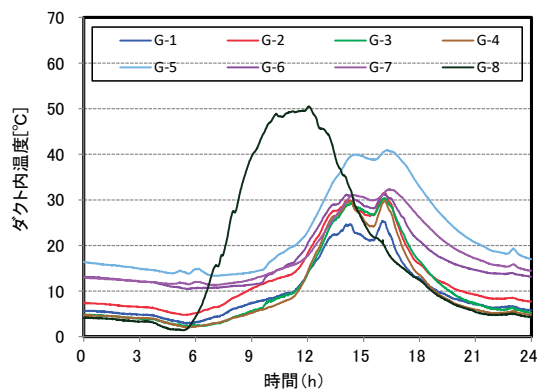


図-9 集熱ダクト内の温度

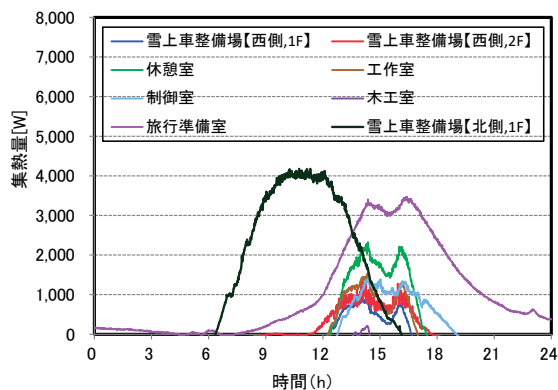


図-10 集熱パネルから得た集熱量

5. 空気式太陽熱集熱システムの太陽熱集熱効率

5.1 太陽熱集熱効率 η について

太陽熱集熱効率 η （以下、集熱効率と称す）の検証期間は、北面に設置した F-8 パネルについては、電力量削減のため給気ファンを止めた 4 月 9 日（土）まで、西面に設置した F-7 パネルについては、日射計が正常に作動した 10 月 29 日（土）までとした。なお、F-1～F-6 パネルは、測定記録が少なかったため、集熱効率の検証を省略した。

ここでは、F-7 パネルの検証結果について報告する。以降、西面に入射する一日の最大日射量を日最大日射量とする。集熱効率は、温水床暖房等の他の暖房機器が作動していない日で検証した。また、1 日の内、途中で他の暖房機器を ON か OFF にした日は検証から除外した。

集熱効率 η は式 (2) により求めた。

$$\eta = Q / (A_P \times I_{SR}) \tag{2}$$

η : 集熱効率

Q : 集熱量 (W)

A_P : 1 ユニット当たりのパネル面積 (m^2)

I_{SR} : 建物各面の全天日射量 (W/m^2)

5.2 西面 (F-7) パネルの集熱効率

F-7 パネルの集熱効率と日射量の関係を図-11 に示す。F-7 パネルのファン風量 H-7 は平均 $572m^3/h$ であり、設計風量とほぼ同量であった。計測した中で、2 階の部屋に太陽熱を供給する唯一の F-7 パネルは、2016 年 2 月末～10 月末までのデータが利用できる。しかし、F-7 パネルの吸込温度は、部品庫 B の室温の測定記録がないため、旅行準備室の室温で代用した。日最大日射量が発生した時間に合わせて気象データの全天日射を整理すると F-7 パネルでは、全天日射量の 2 倍近い日最大日射量が取得できていた。平均の集熱効率は 0.57 となり、一般的な集熱システムの集熱効率とほぼ同等な値である。

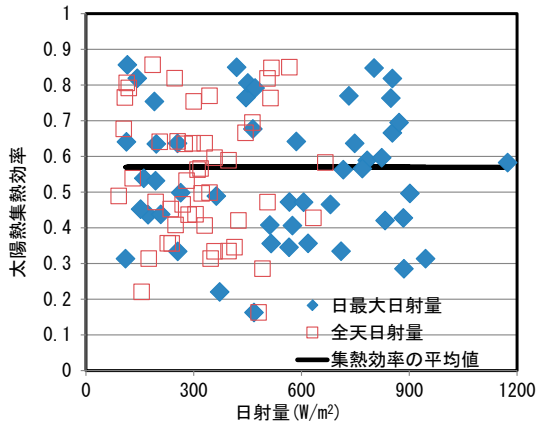


図-11 集熱効率と日射量の関係

6. 集熱量と気象との関係

壁に取り付けた集熱パネルの場合、集熱パネルの種類、給気量、日射吸収率、受熱面積等の条件の違いにより集熱性能が変化する。集熱効率と日最大日射量、全天日射量の関係を図-11 に示したが、風速・風向、日照時間、外気温度、天候、全天日射量等の気象条件による違いで、集熱量がどの程度の影響を受けるか確認する必要がある。

集熱量の検証では、旅行準備室の給気ファンH-7のみが作動していたため、12月30日(金)までのデータを追加した。この追加集熱量を日最大集熱量とした。ここでは、非暖房時(他の暖房機器を止めた時)におけるF-7パネルの集熱量と気象条件の関係について検討した結果を報告する。

6.1 集熱量と風速の関係

気象庁の10分間隔気象データから、日最大集熱量が発生した時間における風速を整理した。集熱量と風速の関係を図-12 に示す。南極・昭和基地の卓越風向は東北東なので、西面集熱パネルの集熱量には、風向の影響は少ないと考えられる。風速が大きくなるほど、パネルの集熱量は低下する傾向にあるが、風速が20m/sを超えても3,000W程度の集熱量が得られることもある。また、風速5m/s以内であれば、8,000~10,000W程度の集熱量が得られている。

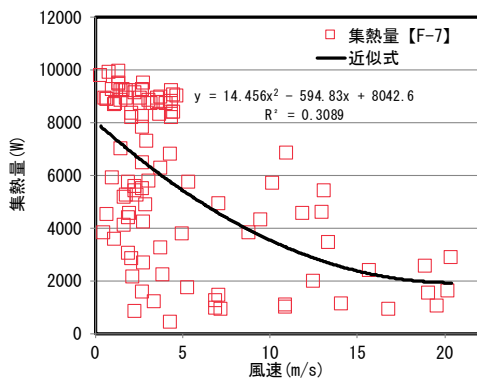


図-12 集熱量と風速

6.2 集熱量と日照時間の関係

気象庁の10分間隔気象データから、日最大集熱量が発生した時間における日照時間を整理した。集熱量と日照時間の関係を図-13 に示す。日照時間0分でも最大で7,000W近い集熱量が得られる一方で、日照時間10分でも2,000W程度の集熱量しか得られない場合もある。この理由は、日最大集熱量は1分毎の記録であり、日照時間は10分毎の記録であるため、時間帯によっては、若干のズレが生じて蓄積した集熱量が増減することがあるためである。日照時間0分では500~2,000W、日照時間10分では8,000~10,000W付近に集熱量が集中していた。

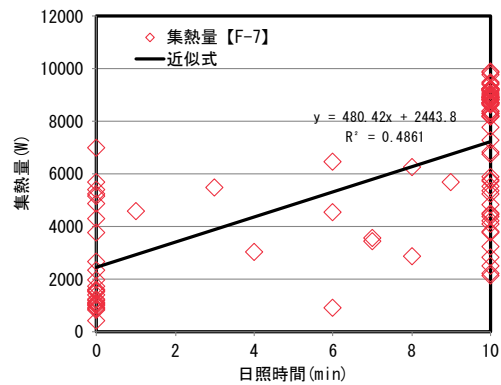


図-13 集熱量と日照時間

6.3 集熱量と外気温度の関係

気象庁の10分間隔気象データから、日最大集熱量が発生した時間における外気温度を整理した。集熱量と外気温度の関係を図-14 に示す。外気温度が低下するほど、パネルの集熱量も低下する傾向がある。しかし、外気温度が-20℃以下でも、4,000W近くの集熱量を得ている。外気温度が-5.0℃~+5.0℃の間であれば、8,000~10,000W近くの集熱量が得られる場合もあった。

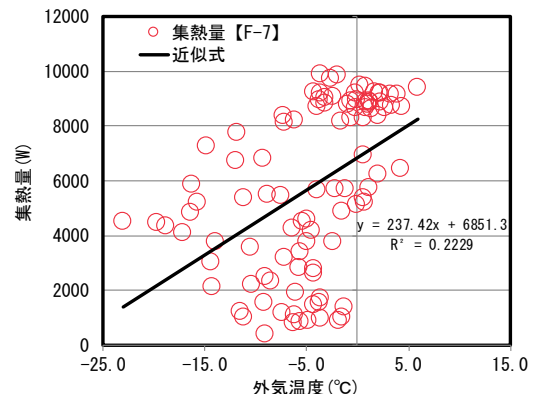


図-14 集熱量と外気温度

6.4 集熱量と天候の関係

気象庁の目視による観測の天候区分は、15種類である。昭和基地では、殆どの天候区分は、快晴・晴れ・薄曇り・曇り・雪の5種類で午前0時から3時間間隔の記録があ

る。この天候区分に従って、日最大集熱量が発生した時間における天候を整理した。ただし、日最大集熱量が発生した時間に天候データがない場合は、その直近の天候を採用した。集熱量と天候の関係を図-15に示す。快晴、晴れ、薄曇りの集熱量は、最大10,000W、最小2,000Wの間に分布しておりほぼ同等であると考えられる。しかし、雪になると、集熱量は最大で6,000W近くに低下する。

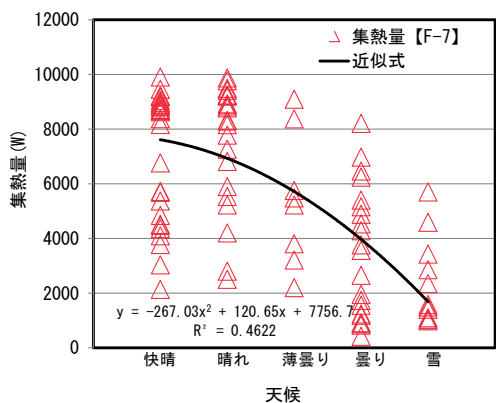


図-15 集熱量と天候

6.5 集熱量と全天日射量の関係

気象庁の全天日射量は、1時間刻みのデータが公開されている。このデータを用いて日最大集熱量が発生した時間における全天日射量を整理した。集熱量と全天日射量の関係を図-16に示す。全天日射量が上昇するほど、パネルの集熱量も上昇する傾向がある。全天日射量が400~600W/m²程度あれば、8,000~10,000W近い集熱量が得られている。

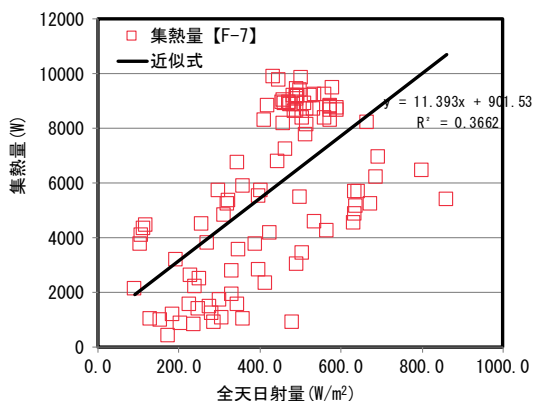


図-16 集熱量と全天日射量

7. まとめ

南極・昭和基地の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に関して得られた知見を以下に示す。

- ① 北面・西面集熱パネルのピーク集熱量Qの時間帯は、集熱パネルやダクト内のピーク温度の時間帯と一致していた。
- ② 2階の旅行準備室へ温熱を供給する西面F-7パネル

の日最大日射量は、全天日射量の2倍近くになる場合もあることが確認できた。

- ③ 西面F-7パネルの平均集熱効率は0.57で、一般的な集熱システムの集熱効率とほぼ同等であった。
- ④ 西面F-7パネルの集熱量は、風速、日照時間、外気温度、天候、全天日射量等に影響されるが、集熱量8,000~10,000Wが確保できた気象条件は、風速：0~5m/s、日照時間：10分、外気温度：-5~+5℃、天候：快晴~薄曇り、全天日射量：400~600W/m²であった。

今後とも継続してデータ蓄積・分析を行い、集熱量と気象環境の関係をより明確にしていく予定である。

【謝辞】

本報で使用した実測記録は第57次南極地域観測隊が越冬期間に観測したものである。第57次越冬隊長ほか、それまで自然エネルギー利用の実証実験準備の中心となった国立極地研究所設営専門委員会機械分科会、国立極地研究所南極観測センターの関係各位に感謝する。また、本研究にあたっては、同センターの永木毅氏に昭和基地施設関連の資料を提供して頂いた。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併せて感謝の意を表す。

【参考文献】

- 1) 松永潤一郎、福島明、田島昌樹：壁付き太陽熱集熱パネルによる供給熱量計算方法、日本建築学会環境系論文集、第744号、pp139-147、2018.02
- 2) 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
- 3) 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
- 4) 半貫敏夫他6名：南極建築 ANTARCTIC ARCHITECTURE、LIXIL出版、pp.60-65、2016.12

※この論文は、2019年度、2020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。