

研究助成実施報告書

助成実施年度	2019 年度
研究課題（タイトル）	防災拠点体育館の ZEB 化を目指した太陽熱利用の研究
研究者名※	伊澤 康一
所属組織※	福山大学 工学部 建築学科 准教授
研究種別	研究助成
研究分野	建築技術
助成金額	150 万円
発表論文等	

※研究者名、所属組織は申請当時の名称となります。

() は、報告書提出時所属先。

大林財団 2019 年度研究助成実施報告書

所属機関名

福山大学

申請者氏名

伊澤 康一

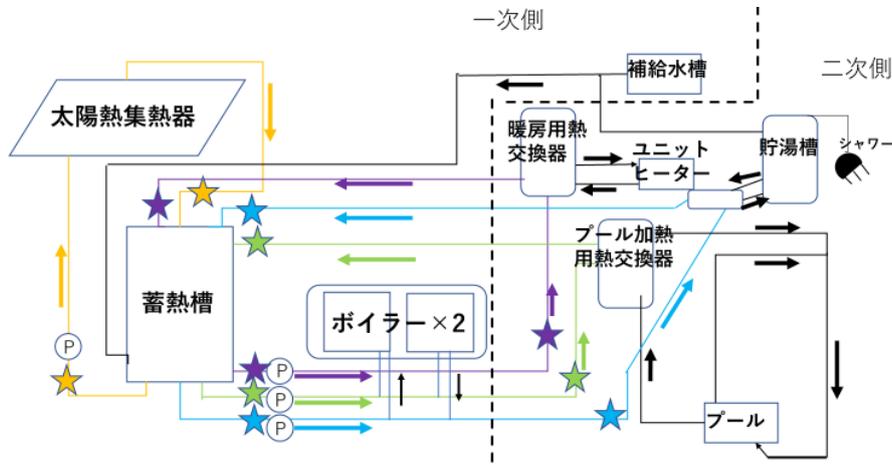
研究課題	防災拠点体育館の ZEB 化を目指した太陽熱利用の研究
<p>(概要) ※最大 10 行まで</p> <p>本研究では、防災拠点として学校体育館の ZEB (Net Zero Energy Building) 化を目指し、既存避難所体育館において 30 年使用し続けた太陽熱利用システムの実測調査を行なうとともに、高断熱化した体育館において太陽熱利用システムに求められるデザインを数値解析によって明らかにすることを試みた。</p> <p>実測調査の結果、集熱効率は約 60%、太陽熱依存率は約 80%、太陽熱利用率は約 100%であった。太陽熱とボイラーの併用で供給する方が、ボイラーのみで熱を供給する場合に比べて、平均で 16%少ないエクセルギー投入で熱を供給できていた。</p> <p>数値解析の結果、太陽熱依存率は、「既存外皮・既存設備」では 10.0%、「高断熱外皮・既存設備」では 18.9%、「高断熱外皮・設備容量増」では 38.1%であった。建築の高断熱化に加えて集熱器と蓄熱槽の容量を増やすことで太陽熱利用率が高くなることを確認できた。</p>	

1. 研究の目的	(注) 必要なページ数をご使用ください。
<p>本研究の目的は、防災拠点として学校体育館の ZEB (Net Zero Energy Building) 化を目指し、高断熱化した体育館において太陽熱利用システムに求められるデザインを、実測と数値解析によって解明することである。まず、実測調査によってシステムの運用実態を把握する。次いで、実測データに基づいて数値解析モデルを構築する。そして、熱需要を全て太陽熱で賄うにはどの程度の外皮性能向上と集熱面積・貯湯槽容量が必要になるかを、数値解析によって検討する。</p> <p>以上によって、防災機能を具備した「コミュニティ・シェルター」としての健全な防災拠点体育館の創生・普及展開が期待できる。</p>	

2. 研究の経過	(注) 必要なページ数をご使用ください。
<p>【実測調査】</p> <p>1. 対象建物</p> <p>対象建物は、広島工業大学（広島市佐伯区）にある太陽熱利用システム（図 1）が設置されている体育館であり、1986 年 5 月に竣工された地上 4 階建て SRC 造で、延床面積は約 6,430 m² である。1 階はプール、トレーニングルーム、その他実験室等、2 階はアリーナ、ステージ、ミーティングルーム、その他器具庫等、3 階は吹き抜け、アリーナの観覧席、放送室となっている。</p>	

2. 対象システムと実測方法

温度の計測は集熱器の入口と出口、給湯・プール加熱・暖房のボイラー前後と負荷後の計 11 か所を測定した。温度はデータロガーで計測した。流量は電圧計でポンプの運転有無を計測し、定格流量から算定した。計測間隔は1分間とした。システム評価では冬期のみデータを用いた。気象データは対象建物が立地するキャンパスで実測したデータを用いた。



(図中の★印が測定位置)

図1 太陽熱利用システム概要図



図2 集熱器



図3 蓄熱槽

3. 太陽熱利用システムの性能

システムの性能評価は集熱効率・太陽熱依存率・太陽熱利用率・エクセルギーで行なった。ここで、集熱効率は、相当外気温度に対する集熱上昇温度であり、太陽熱依存率は熱負荷に対する集熱量であり、太陽熱利用率は集熱量に対する利用できた集熱量である。

本研究では太陽熱利用システムを出入りするエクセルギーのうち、環境負荷とならない自然エネルギーは除外し、環境負荷となる化石燃料エネルギーの使用を伴うエクセルギーのみで評価することに着目した。したがって、ボイラーに投入される重油のエクセルギーと、ポンプに投入される電力のエクセルギーを評価した。

【数値解析】

図4に対象システムの概要図を示す。太陽熱温水床暖房システムは、「集熱器」・「蓄熱槽」・「熱交換器」・「ボイラー（補助熱源）」・「床暖房パネル」・「体育館アリーナ（室内）」で構成される。

本研究では、太陽熱集熱器でつくった温水を蓄熱槽に貯え、その温水を2階体育館アリーナの

床暖房パネルへ循環させるシステムを想定した。建築熱環境制御システムの汎用シミュレーションプログラム EESLISM を使用した。

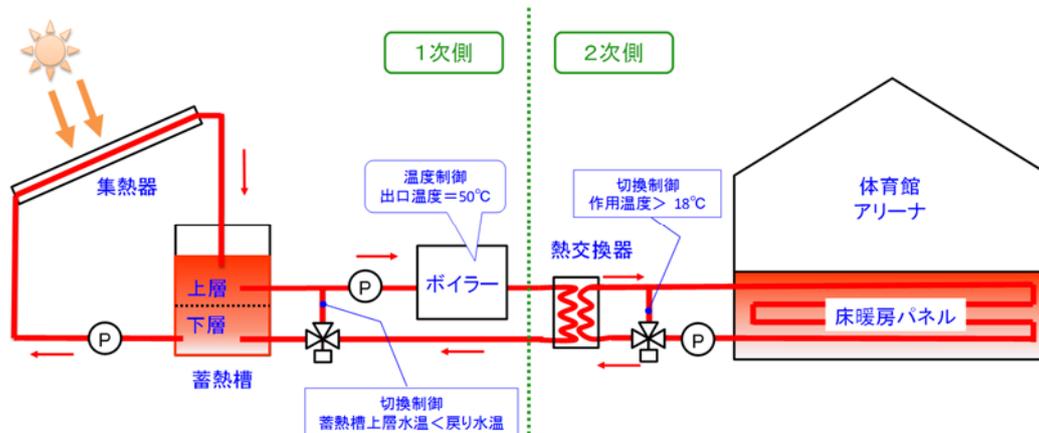


図4 太陽熱温水床暖房システム

◇気象データ

広島工業大学キャンパス（広島市佐伯区）で測定された2018年12月1日～2019年3月31日のデータを用いた。数値解析期間は日射量が少なく気温が低い1月26日に着目し、その前後を含めた1月25日～27日の3日間とした。1月1日から1月24日までを助走計算とした。

◇建築データ

対象空間は学校体育館内の2Fアリーナとした。アリーナ床寸法は59 m×34 mであり、アリーナ天井高は13.1mである。アリーナの室容積は、2Fステージと3F観客席の空間を考慮して算出した。隣室として2F他室（廊下や部室等）と1F他室（プール等）を考慮し、隣室温度係数をそれぞれ0.5と0.7とした。各面の面積と熱貫流率から外皮平均熱貫流率（ U_A 値）を概算した結果、 $1.71 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ であった。床・基礎の仕様は、室内側から天然木材1種18mm、合板15mm、非密閉空気層、コンクリート300mmとした。床暖房温水配管は、天然木材1種と合板との間に埋設するとした。

表1に、居住スケジュールを示す。床面積 2006 m^2 を基準占有面積（2020年度日本基準） 4m^2 で除して最大収容人数を求めた結果、501人となった。本研究では、通路・居住空間の間隔を考慮し、最大収容人数の7割の居住者数350人を想定した。一人あたりの人体発熱 100W 、 CO_2 発生量は $0.02 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{人})$ を想定した。ここでは、簡単のため、照明や機器からの発熱を無視した。

表1 居住スケジュール

	0時～7時	7時～20時	20時～24時
在室人数[人]	350		
在室率[%]	100		
代謝率[met]	0.8	1	0.8
着衣量[clo]	2.5	1.5	2.5
室内風速[m/s]	0.1		
換気回数[回/h]	0.5		

外気濃度 400ppm として室内 CO₂濃度を 1000ppm に維持するための必要換気回数は、居住者からの CO₂発生量を考慮すると 0.32 回/h となる。しかし、ここでは、感染症対策を考慮し、建築基準法の最低基準 0.5 回/h（住宅の場合）を想定することとした（表 1）。対象建物における換気重量に換算すると、約 6.2 kg/s に相当する。居住者の PMV 算出には、表 1 に示す代謝率・着衣量・室内風速を用いた。

◇設備機器データ

集熱器面積は 382m²とした。集熱器特性値として、集熱効率線図の切片 (b₀)・傾き (b₁) はそれぞれ 0.62、0.7 とした。これらは、実測値を参考にして集熱効率 (=集熱量/集熱器入射日射量) が 45%程度になるように設定した。蓄熱槽容量は 20m³とした。本研究では、上層と下層の 2 層に分けて解析した。ボイラー (2 台交互運転) の定格能力は 348 kW とした。

◇システム経路

3つの水循環経路を設定した。経路 1 は、蓄熱槽下層→ポンプ→集熱器→蓄熱槽上層を循環する経路とした。経路 2 は、蓄熱槽上層→ポンプ→ボイラー→熱交換器→蓄熱槽下層を循環する経路とした。経路 3 は、熱交換器→床暖房パネル→ポンプ→熱交換器を循環する経路とした。上記 3 経路の循環流量はいずれも 315 L/min とした。簡単のため、温水配管からの熱ロスは無視した。

◇運転制御

経路 1 では、集熱器相当外気温が蓄熱槽下層温度よりも高いときのみの運転とし、運転時間は 8 時～16 時とした。経路 2 では、熱交換器からの戻り水温が蓄熱槽上層水温より高い場合に、3 方弁の開閉によって蓄熱槽を通らない迂回経路に切り替わるとした。また、ボイラー出口水温を 50℃ となるように出力制御した。経路 3 では、室内作用温度が 18℃以上の場合に、3 方弁の開閉によって熱交換器を通らない迂回経路に切り替わるとした。なお、室内作用温度 18℃は、平均外気温 10℃のときの 80%許容限界に相当する。

2. 3 ケーススタディ

外皮と設備の組み合わせを検討した (表 2)。外皮平均熱貫流率 (U_A 値) は、「既存」では 1.71 W/(m²・K)とし、「ZEB (ZEH)」では 0.61 W/(m²・K)とした。集熱器面積と蓄熱槽容量は、「既存」では 382m²・20m³とし、「容量増」では「既存」の 2 倍の 764m²・40m³とした。

表 2 比較パターン

	外皮	設備
Case 1	既存	既存
Case 2	ZEB (ZEH)	既存
Case 3	ZEB (ZEH)	容量増

3. 研究の成果

(注) 必要なページ数をご使用ください。

【実測調査】

◇集熱システムの集熱性能

図 5 に集熱ポンプの稼働時間帯における各月の日積算相当外気温度、日積算上昇温度および集熱効率を示す。12 月と 1 月と 2 月の集熱効率はそれぞれ 60%、57%、59%であり、30 年以上使用している太陽熱集熱システムでも集熱効率はいまだに高いことが確認できた。

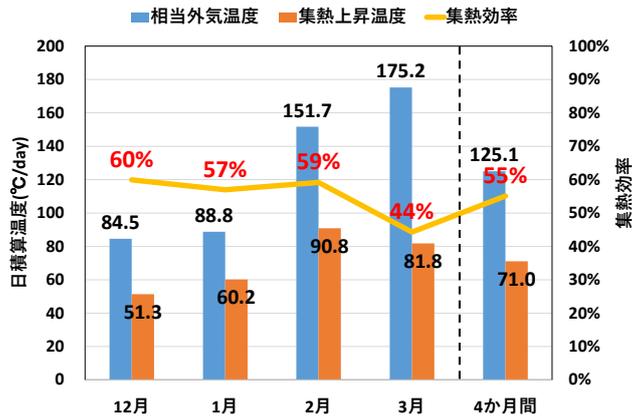


図5 集熱における上昇温度と相当外気温度及び集熱効率

◇熱量の評価

図6に各月における供給熱である太陽熱・ボイラーと利用熱であるプール・給湯・暖房、太陽熱依存率・太陽熱利用率を示す。太陽熱依存率は62%(12月)~87%(2月)、平均80%となった。太陽熱利用率は88%(12月)~100%(1月と2月)、平均94%となった。太陽熱利用率は1月と2月がそれぞれ93%、80%と高く、4か月間平均の72%を上回り、集熱した熱を多く利用できていることがわかった。

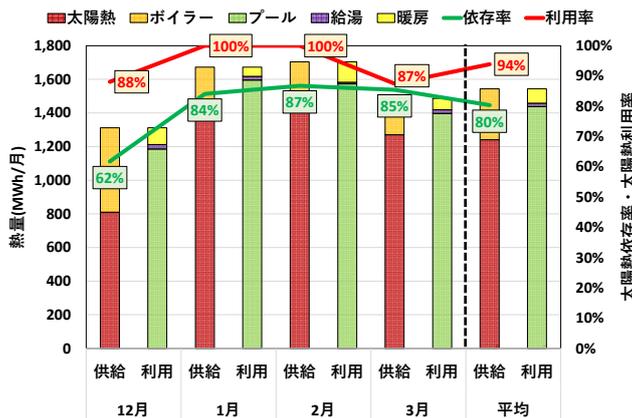


図6 供給と利用の熱量

◇エクセルギーの評価

図7にエクセルギー量とCASE2に対するCASE1の割合を示す。

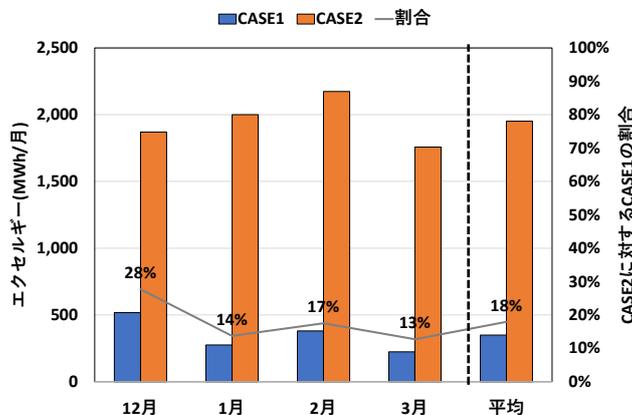


図7 エクセルギー量とCASE2に対するCASE1の割合

太陽熱とボイラーを併用している現システムの場合を CASE1 とし、CASE1 において太陽熱で供給している熱を全てボイラーで供給した場合を CASE2 とする。CASE1 のように太陽熱とボイラーを併用した方がボイラーだけで供給するよりも、かなり少ないエクセルギー投入で済むことがわかった。

【数値解析】

図 8 に、1 月 25～ 27 日の 3 日間における熱量と各種効率を示す。Case1 では、供給熱量・利用熱量ともに大きく、供給熱量は太陽熱よりもボイラー熱がかなり大きい。Case2 では、Case1 に比べて供給熱量・利用熱量ともに小さく、供給熱量は太陽熱よりもボイラー熱が大きい。Case3 では、Case2 に比べて太陽熱の割合が大きい。

図 8 をみると、集熱効率は 3 ケースとも 40% 程度であることが確認できる。太陽熱利用率（＝利用できた集熱量／集熱量）は、Case1 では 91.8%、Case2 では 97.3%、Case3 では 84.7%であった。Case3 の利用率が Case2 よりも低いことから、集熱面積と蓄熱槽容量の組み合わせについてさらに検討できる余地があると言える。太陽熱依存率（＝集熱量／熱負荷）は、Case1 では 10.0%、Case2 では 18.9%、Case3 では 38.1%であった。外皮断熱性を ZEB/ZEH レベルにすることに加えて、集熱面積と蓄熱槽容量を既存の 2 倍した Case3 では約 4 割を太陽熱で賄えた。

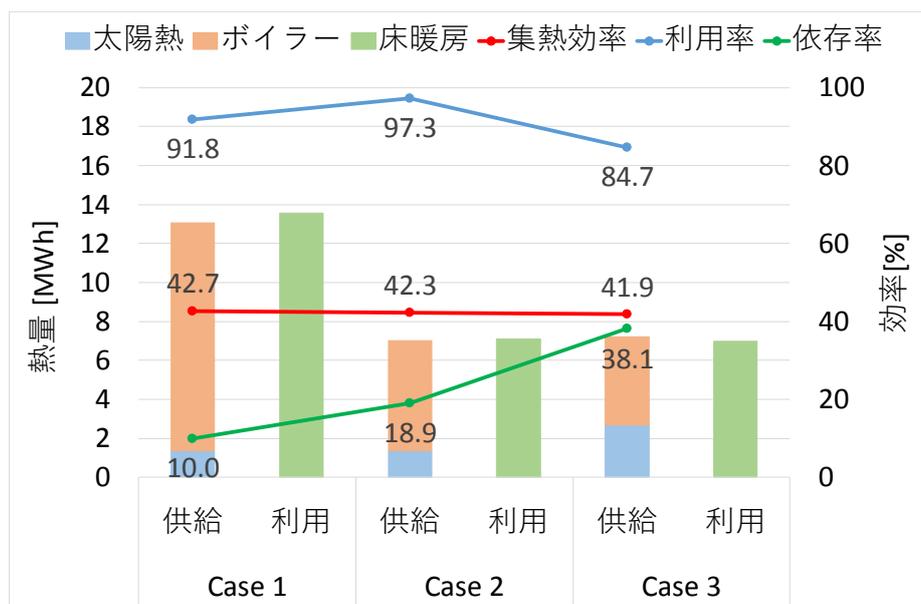


図 8 熱量と各種効率

4. 今後の課題

(注) 必要なページ数をご使用ください。

太陽熱利用において利用率と依存率の両方を向上させるため、集熱面積と蓄熱槽容量の最適な組み合わせについてさらなる検討が必要である。

また、ZEB 化には太陽光発電は必須と考えられることから、太陽光パネルと蓄電池の組合せによって電力需要をすべて賄うシステムのデザインについて検討する。