

非常時を想定したオフグリッド診療所に関する研究
夏季における温熱環境及びエネルギー消費量の分析

1250001 青木達真
指導教員 佐藤理人

オフグリッド 診療所 災害対応
温熱環境 エネルギー消費量

1. 研究背景と目的

一般的な建物を対象とした災害時における事業継続計画(BCP)のための性能評価は、抵抗力の最大化と復旧時間の最小化を図ることを目的としている。一方地域拠点施設は、図 1 に示すように発災と同時に平常時よりも負荷が高くなるため、災害対応に応じたエネルギーを商用電力が途絶した状態(オフグリッド)でも確保し続けることが求められる。

また既存の自治体等が作成する災害タイムラインは、体制や役割分担に関する記載が多く、空間・設備、利用人数・時間に基づく必要エネルギー量の推定は行っており、保有する非常用設備の妥当性を評価する手法がなかった。そのため発災から 2 週間程度の必要エネルギー量を、時々刻々と変化する災害タイムラインに沿って推計し、エネルギー充足率やオフグリッド化の実現可能性を評価することが重要となるが、災害時に平常時と大きく乖離する機能が必要となる施設を対象とした事例は国内外含めみられない。そこで本研究では、まず平常時の夏季における温熱環境及び電力消費量を季節別に明らかにした上で、非常時の利用方法についてヒアリングを行い、必要電力量を予測するための基礎データを整理する。そして温熱環境改善や電力消費量の省電力化を図りながら、必要最小限の設備でオフグリッド化を実現していくための課題を示す。

2. 実測概要

測定は 2024 年 7 月 6 日から 9 月 30 日まで実施した。対象建物は高知県黒潮町に位置する診療所兼保健センターであり、L 字型の RC 造平屋建てで築 37 年である。2016 年および 2018 年に耐震改修が施され、同時に非常時利用を想定した太陽光発電と蓄電設備が導入された。建物は正面玄関を基点に、東側が診療所、西側が保健センター事務室および会議室等の事務棟となっており、両棟はアコーディ

オンカーテンで仕切られている。平常時には診療所および保健センター事務室を主に使用しており、事務棟内のリハビリ室等の使用頻度は週に数回程度である。診療所の利用時間は平日のみであり、月曜と火曜は午前 9 時～12 時までの 3 時間、水曜～金曜は午前 9 時～午後 5 時までの 8 時間が平均的な診療時間である。保健センター事務室も同様に平日のみ利用されており、午前 8 時～午後 6 時までの 10 時間が平均的な利用時間となっている。

2.1 屋内外温熱環境の測定概要

外気気象センサーは、周辺地物の影響を受けにくい建物南側高さ 1.5m に設置した。測定項目は、全天日射量、気温、相対湿度、風向・風速、雨量、気圧で、1 時間間隔で測定した。屋内温湿度計は図 2 に示す平常時において使用頻度の高い居室に設置した。測定場所は、空調機器や電子機器、日射の影響を受けにくい高さ 1m 程度の箇所に設置し、屋内温度と屋内相対湿度を 5 分間隔で測定した。なお今回の実測では、センサーの種類として、空気温度はサーミスタ型、相対湿度は静電容量式を用いることとした。

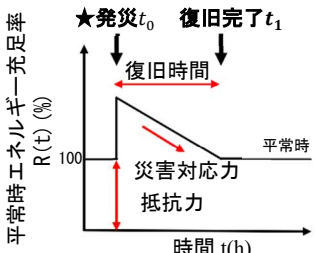


図 1 暖冷房システム構成図



図 2 屋内温湿度計・外気気象センサーの設置箇所

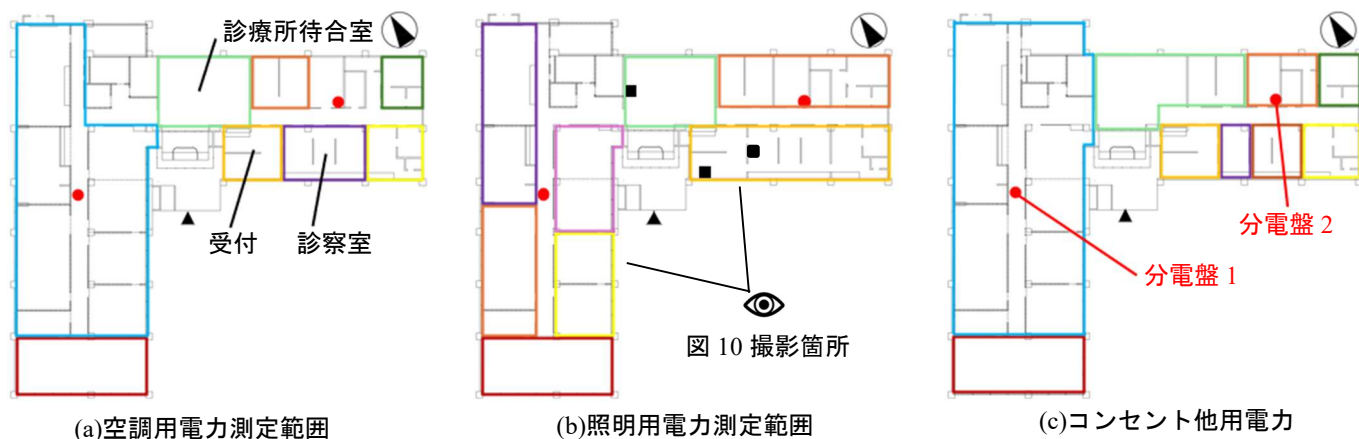


図3 分電盤位置及び測定範囲

2.2 電力消費量の測定概要

図3に示すように電力消費量については、空調・照明・コンセント他用に分類し、1分間隔で測定した。^{注1)}また主な居室においては、空調機器の種類、能力についても現地調査により把握した。さらにコンセント機器類については、居室ごとに代表的な機器を抽出し、設置台数及び使用時刻についてヒアリング調査を実施した。

3. 夏季実測結果

3.1 屋内外温湿度測定結果

図4～8に代表的な夏季測定日として、7月22日～26日の外気象データ、屋内外温湿度の測定結果例を示す。ここでは外来者及び医療従事者の滞在頻度が高い診療所待合室、受付、診察室を重要居室として抽出し、その結果を示す。天候は25日20時～26日1時までと、26日7時～19時にかけて降雨があったが、それ以外は晴天であった。屋外気温は夜間に25℃付近を推移し、日中に30～34℃まで上昇していた。屋外相対湿度は、日中に70～80%付近を推移し、夜間では90%を上回る結果となった。また24日は相対湿度の減少が顕著であり、原因として、他の日と比較した場合に外気温が高かったことが挙げられる。

平日(22～26日)の診療所待合室は、9時～17時の間に空調が行われ、屋内温度は25～26℃であることが明らかとなった。屋内相対湿度は晴天時の日中が最も低い傾向であったが、相対湿度70%をわずかに下回る程度で、大部分の空調時間帯は約65%前後を推移しており、十分な除湿がなされていない状況にあった。受付及び診察室についても概ね同様の傾向がみられた。ただし受付の屋内温度が空調時で24℃付近を推移している場合もみられ、他の居室と比べて室温変動が顕著であった。また降雨が確認された期間における非空調時の屋内相対湿度が80%を超えており、換気による湿気流入が確認された。

以上より平常時の平日における温熱環境の課題として、空調利用時であっても除湿が十分に行われていないことが明らかとなった。

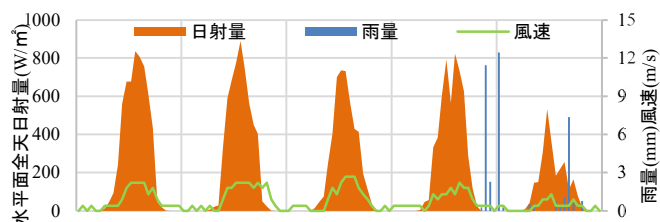


図4 外気象データ(日射量、雨量、風速)

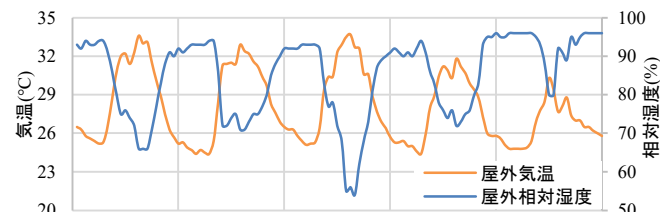


図5 屋外温湿度データ

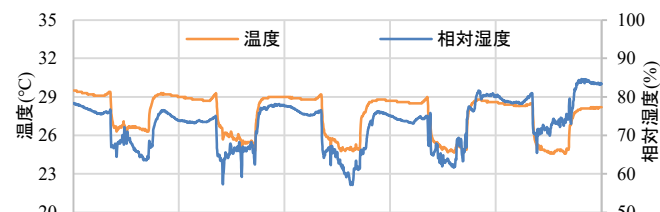


図6 待合室温湿度データ

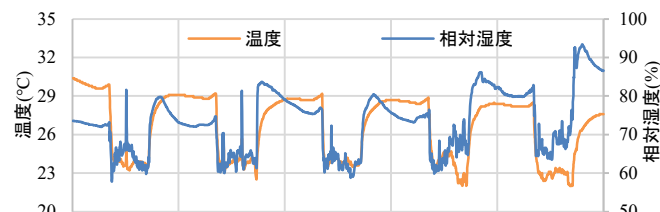


図7 受付温湿度データ

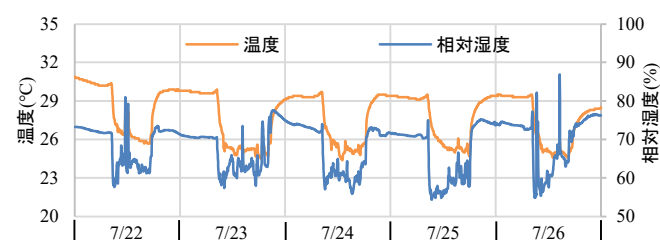


図8 診察室温湿度データ

3.2 電力消費量測定結果

図 9 に空調・換気機器例、表 1 に設備概要、図 11 には診療所待合室における電力測定結果を示す。

空調が最も電力を消費しており、次いで照明、コンセント他の順に電力消費がみられる。空調電力は使用時間帯中に約 0.8kWh、照明電力は約 0.4kWh である。コンセント機器他は終日 0.1kWh 未満の日が多いが、短時間で 0.3kWh 程度の機器が利用されている時間帯もあった。いずれも平日の日中が主な使用時間帯であることが確認された。

4. 消費電力量及び分析結果

4.1 重要居室における日積算電力消費量

7 月 22 日～26 日における日積算電力消費量を重要居室について算出し比較した。ただし本研究では平常時、非常時ともに主な利用が想定される診療所待合室、受付、診察室を重要居室とした。

図 12 では、各居室における空調電力を比較した。対象期間を通して受付、待合室、診察室の順に日積算電力消費量が大きいことが明らかとなった。待合室及び受付については日射量の大きかった 23 日に最も消費され、日射量の減少に伴って消費量が少なくなっている。一方の診察室では、25、26 日の消費量が晴天時のものを上回っており、診察時間が長いことが原因として挙げられる。

図 13 では、重要居室における単位面積当たりの日積算空調電力消費量を比較した。各居室の面積は診療所待合室が 61.2 m²、受付が 29.1 m²、診察室が 41.6 m²である。対象期間を通して受付が最も消費量が大きいことが明らかとなった。これは、消費量及び面積の他に、外気象の影響を受けやすい居室であることも影響していると考えられる。また診療所待合室が 0.1kWh/m²前後、診察室も同様に 0.1kWh/m²前後を推移しているのに対して、受付が 0.2～0.3kWh/m²を超える数値を示しており、図 12 と比較しても他居室との差が大きく、特に日射等による熱負荷が大きいことが明らかとなった。

4.2 日平均外気温に対する日積算電力消費量の比較

説明変数を日平均外気温、目的変数を日積算電力消費量とした時の単回帰分析を行った結果を図 14 に示す。この時実測期間において日中はほぼ同時時間帯で空調が行われていた 15 日間を抽出した。それぞれ日平均外気温は 25.8～30.0℃、日積算電力は 70～108kWh/day を記録した。また相関も高く(決定係数 $R^2=0.74$)気温が上昇するにつれて日積算電力消費量も大きくなる傾向が見られた。

5. 非常時における夏季必要電力量の試算

前章迄の測定結果と黒潮町防災担当職員及び診療所関係者へのヒアリング結果に基づき、発災により医療救護所となった場合の建物の利用方法及び必要となるコンセント機器類について整理した結果を次節以降に示す。



図 9 空調・換気機器例

表 1 設備概要	
空調設備	パッケージエアコン
給湯設備	LP ガス給湯器 (エネルギー消費 効率 81.5%)
換気設備	全熱交換機なし
照明設備	Hf 蛍光灯
太陽光発電容量	21.06kW
蓄電池容量	16.kWh



図 10 診療所外観

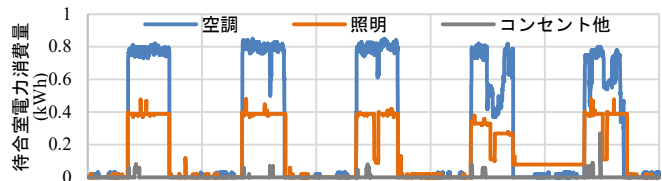


図 11 時刻別待合室電力消費量

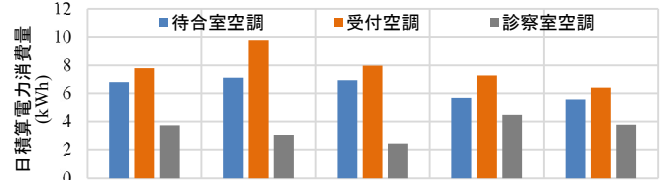


図 12 日積算空調電力消費量

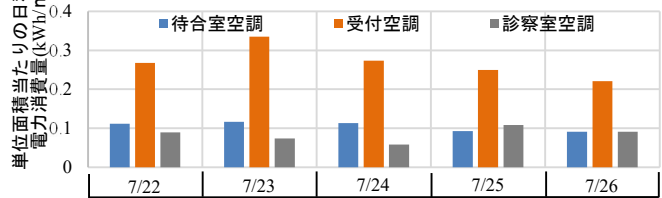


図 13 単位面積当たりの日積算空調電力消費量

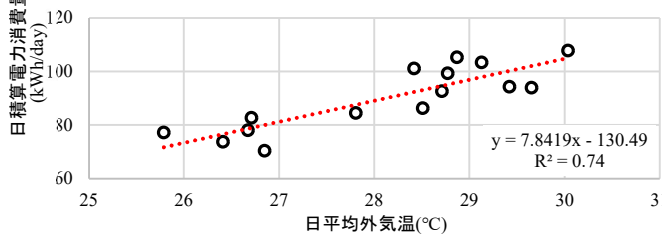


図 14 日平均外気温に対する日積算電力消費量

5.1 非常時の居室別用途に関するヒアリング結果

図 15 に診療所の平常時と非常時の利用方法を示す。平常時において診療所待合室となっている箇所は、医療救護所開設時には、トリアージを行う応急処置室とすることが想定されている。また平常時に廊下の箇所についてもトリアージを終え、重傷と判断された患者を高度医療が可能な他の拠点病院へと搬送するための待機室として利用することが想定されている。また処置室 2 は平常時・非常時ともに新型コロナウイルス等感染症対策と

して発熱者を隔離可能な陰圧室として使用する。その他平常時に受付として利用されている居室は、災害対策本部との連絡用機器が備えられており、情報収集・発信を行うことが想定されている。

5.2 非常時における屋内温熱環境

図 16 に休日(27、28 日)における外気象データ、図 17 に診療所待合室、受付の屋内温湿度結果を示す。両日とも晴天日で、降雨は確認されなかった。空調が使用されない休日では、屋内温度が 28～32℃、屋内相対湿度が 70～85%前後で推移していた。除湿が行われないため、平常時と比較すると変動は少ないが、いずれも高い温湿度を示しており、自然室温状態では熱中症の危険があることが明らかとなった。したがって空調を使用していない休日を災害時と想定すると、診療所待合室及び受付では、空調利用が必須であると考えられる。

5.3 平常時、非常時における電子機器の使用想定

平常時と非常時において上記のような利用がなされる場合に必要となる居室別コンセント機器類を整理した結果を表 2 に示す。災害時には最小限の情報通信・医療設備を使用することが想定されているが、特に情報通信機器や薬品用冷蔵庫は電源の途絶が許されないため、継続した電源確保が必要であることが明らかとなった。なお同診療所は、薬品冷蔵庫用の蓄電池を設置しているが、保冷可能時間は、現状では 30 分程度に留まる。

6. まとめ

災害時にも電力を途絶させないオフグリッド型施設とするための夏季における平常時データを収集するとともに、施設をオフグリッド化するための課題を整理した。

その結果、平常時の診療所では、空調時であっても十分な除湿が行われておらず、屋内相対湿度が 60～80%と高い傾向がみられた。また情報通信設備や薬品用冷蔵庫等電力の途絶が許されない機器もあることが明らかとなった。今後は診療所待合室や受付といった災害時においても、重要な役割を担う居室を中心に、特に湿度環境改善に配慮した夏季の温熱環境改善と、オフグリッド化に向けた必要な電力確保方法について提案を行っていく。

注釈)
注 1) 使用が稀な居室については、隣接した居室と併せて測定した。
注 2) 医療機関が月に 1 度使用する医療費を請求するための機器。
注 3) 飽和蒸気により医療用器具等を適切に滅菌処理するための機器。
参考文献)
1) 黒潮町災害タイムライン
<https://www.town.kuroshio.lg.jp/img/files/pv/sosiki/2021/10/kuroshiochogyomuukeizokukeikaku.pdf>, 2025/2/10 参照
謝辞)
本研究の実施にあたり、黒潮町国保拳ノ川診療所、黒潮町地域住民課の皆様には、多岐にわたりご協力をいただきました。ここに記し、謝意を表します。

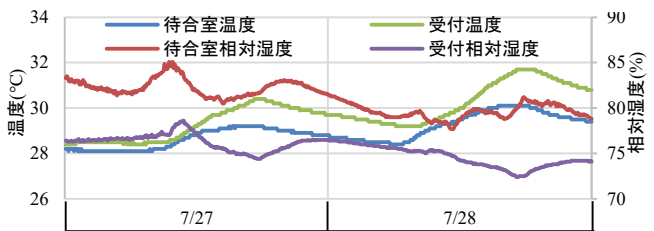
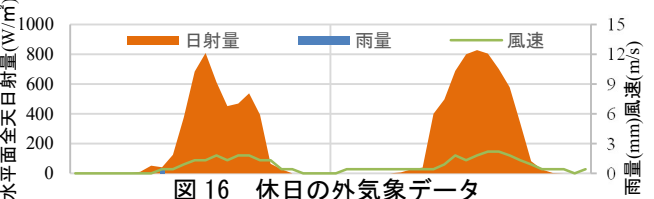
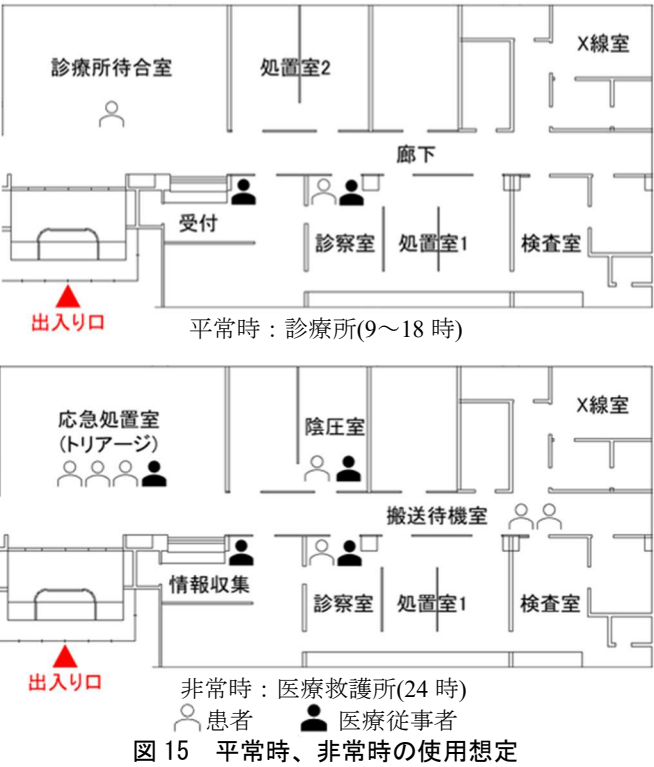


表 2 平常時、非常時における電子機器の使用想定				
居室名(平常時)	電子機器	個数	平常時	非常時
診療所待合室	テレビ	1	○	×
	体温測定装置	1	○	×
受付	デスクトップパソコン	5	○	○
	コピー機	1	○	×
	シュレッダー	1	○	×
	請求書作成用パソコン	1	○	×
処置室②	レセコン 注 2)	2	○	○
	洗濯機	1	○	×
診察室	デスクトップパソコン	1	○	○
	印刷機	1	○	×
処置室①	空気清浄機	1	○	×
	心電図	2	○	○
	エコー	2	○	○
	オートクレープ 注 3)	1	○	×
X線室	薬品用冷蔵庫	2	○	○
	レントゲン機器	1	○	×
検査室	尿検査機器	1	○	×