

地下水熱源躯体蓄熱放射・床吹出し空調のシステム COP 評価

金沢に立地する ZEB オフィスの温熱環境・エネルギー性能検証 第 7 報

System COP Estimation on TABS and Floor Blow Air-conditioning System Using Groundwater as a Heat Source/sink adopted in a Zero Energy Building Verification on thermal environment and energy performance of the ZEB office in Kanazawa, Part 7

渡 陽*
Akira Watari
宮村 泰至***
Yasushi Miyamura
天田 靖佳***
Yasuyoshi Amada
垂水 弘夫**
Hiroo Tarumi
山本 ミゲイル***
Miguel Yamamoto
長谷部 弥****
Hisashi Hasebe

Keywords : TABS, Floor blow, Energy survey
躯体蓄熱放射・床吹出し、エネルギー調査

1. はじめに

近年、建物の nZEB 化が推進される中で、躯体利用の蓄熱放射空調システムとして TABS(Thermo Active Building System)の導入事例が増えている。

本研究の目的は、TABS の発展形として nZEB の S 社北陸支店に適用された、躯体蓄熱放射と床吹出しを併用する空調システムについて、実態調査を通じて夏冬の運転実績データを取得し、エネルギー消費面を中心に温熱環境形成面の解析も加え、本空調システムの適用効果と社屋 nZEB 化に果たす役割を明確にすることにある。

2. 調査対象建物・設備の概要と調査方法

2.1 建物の概要

本研究の対象施設の建物概要を表 1 に、建物の外観と内観を写真 1 に示す。本建物は石川県金沢市に立地し、地下 1 階、地上 3 階建ての延床面積 4224 m² の RC 造(一部 S 造)であり、メインフロアの 2 階に躯体蓄熱放射・床吹出し空調システムを採用している。

TABS の各構成要素について写真 1 に、躯体蓄熱放射・床吹出し空調の概要を図 1 に示す。本空調システムでは、地下水を熱源として、夏期・中間期には地下水との熱交換水を、冬期には温水を OA フロア内下部のシンダーコンクリート内配管に通水して夜間躯体蓄熱を行う。このシンダーコンクリート上部にあたる OA フロア内に設置された FCU の吹出し空気は、穴あき床版及び通気性タイルカーペットを通じて執務空間に供給され、染み出し空調を行っている。夏期タスク空調用として 2 階 OA フロア表面に小型パーソナルファン 190 台が設置されている。

外調機は、2・3 階用として全熱交換器を有する給気側 7000 m³/h、排気側 4600 m³/h のファンで構成され、コイル冷却能力 79.3 kW、コイル加熱能力 54.5 kW である。1 階ホール用として、別途、風量 9500 m³/h、冷却能力 63.1 kW、加熱能力 39.7 kW の空調機が設置されている。タスク空調用として設置されている小型ファンは、各自のスマートフォンを用いて制御可能で個人の温冷感に対応できる。

表 1 建物概要

所在地	石川県金沢市玉川町	延床面積	約4224m ²
建物用途	事務所	階数	地下1階・地上3階
設計施工	清水建設株式会社	構造	鉄筋コンクリート造 (一部鉄骨造)
敷地面積	約3255m ²		
建築面積	約1546m ²	竣工	2021年5月

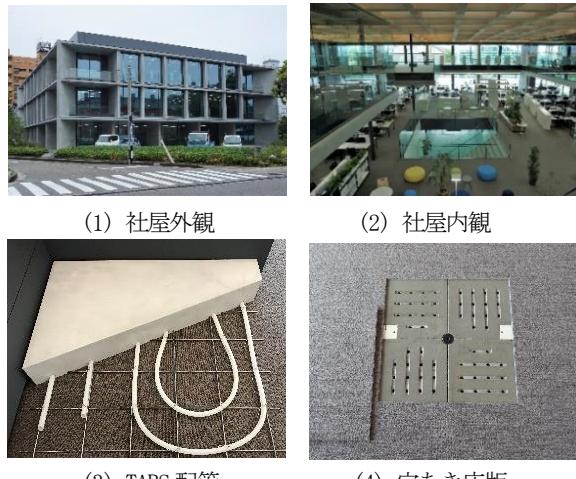


写真 1 社屋と設備の様子

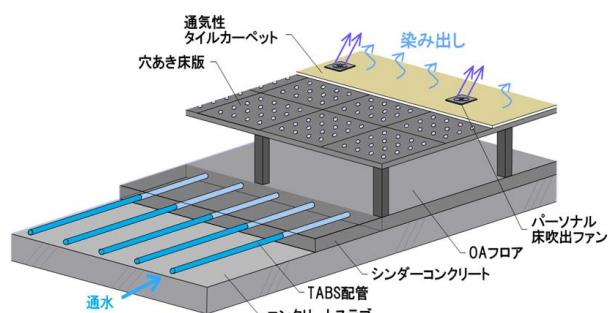


図 1 躯体蓄熱放射・床吹出し空調の概要

* 金沢工業大学大学院建築学専攻 大学院生

** 金沢工業大学建築学部 教授・工博

*** 清水建設株式会社

**** 清水建設株式会社 博士(工学)

Graduate School, Dept. of Architecture, Kanazawa Institute of Technology.

Prof., Dept. of Architecture, Kanazawa Institute of Technology, Dr. Eng.

Shimizu Corporation

Shimizu Corporation, Dr. Eng.

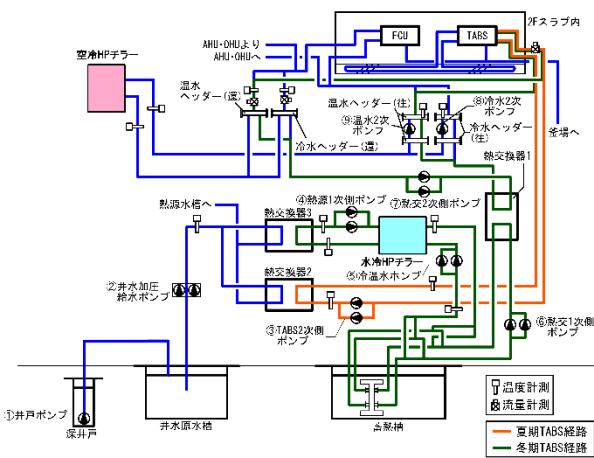


図2 システム系統図

2.2 設備の概要

図2に空調システム系統図を示す。本システムは、水冷HPチラー、空冷HPチラーと、9カ所のポンプ、OAフロア内のFCUによって構成されており、主にTABSとFCUで執務空間への空調を行っている。主熱源は井水利用水冷HPチラーであり、夜間に地下軸体を利用した水蓄熱槽への蓄熱運転を行い、日中に放熱運転を行っている。また、日中に水冷HPチラーの運動能力が不足した場合の熱源として、空冷HPチラーを設置している。

2階スラブ内に設置されているTABSには、冷水または温水が供給されており、夏期及び中間期は、①、②のポンプで運ばれた地下水の熱を熱交換器2で交換した後、③のポンプでTABSへ通水を行っているのに対し、冬期は、①、②のポンプで運ばれた地下水は熱交換器3で熱交換され、水冷HPチラーで温水を生成して蓄熱槽で蓄熱され、④～⑨のポンプでTABSへ温水が供給される仕組みとなっている。TABSへの通水は夜間に行われ、日中の放熱により、放射空調を行う計画としている。

2.3 調査方法

OAフロア内外の温度情報については、2階の北東・南東・南北・北西の4つのゾーンの、室内1.1m空気温度と、OAフロア内上部空気温度、そして、TABSの表面温度の3点について温度計測を行う。OAフロア内上部空気温度は、OAフロア内の観測点3点のうち最も上部の点の温度とする。エネルギー消費実態調査は、水冷HPチラー、空冷HPチラー及びTABSの往還温度と流量、また、水冷HPチラー、空冷HPチラー、①～⑨のポンプの消費電力量を1分間値で測定したBEMSデータから、実測値による時刻別、月別の熱量、消費電力量の推移の把握とシステムCOPの算出を行う。

3. オフィス内温熱環境の解析

図3に室内1.1m空気温度とOAフロア内上部空気温度及びTABS表面温度の3者の関係について示す。冷房運転期間のTABS表面温度とOAフロア内上部空気温度の推移をみると、2022年で5月に約22°C、6月に約23°C、7月及び8月に約24°Cと、両者ともほぼ近い値を示しながら、上昇して行く様子が確かめられた。暖房運転期間についてみると、冬期1月に掛けて室内1.1m空気温度は徐々に低下し、2021年11月に23.6°C、23.2°C、2021年12月に23.1°C、22.6°C、2022年1月に23.4°C、

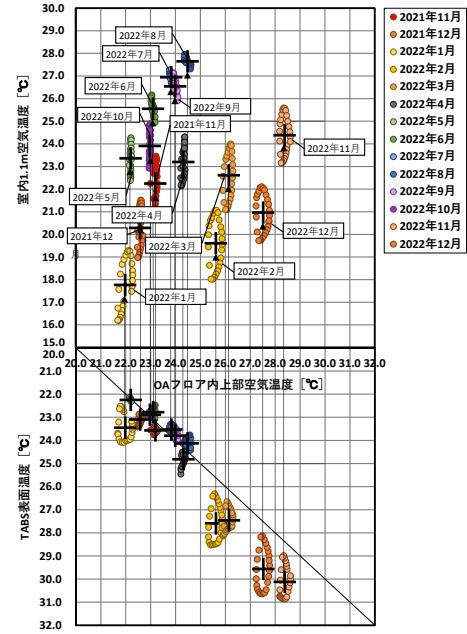


図3 室内1.1m空気温度とOAフロア内上部

空気温度及びTABS表面温度の関係

(南西ゾーン)(月間の1分間値全データ使用)

(暖房運転期間:2021年11月～2022年4月、2022年11月～12月、冷房運転期間:2022年5月～10月)

22.0°Cであった。以上のことから、夏期より冬期の方がTABSの通水温度に対して温度変化の小さい様子が確認された。また、2022年11月、12月が2021年同月に比べていずれも上昇しているのは、軸体の冷え込みを抑えるため、週末でも夜間の井汲み上げと水冷HPの運転が行われたためである。

4. 空調システムの供給熱量及び電力消費に基づくCOP解析

4.1 運用による時刻データ解析

図4は8月22日～28日及び12月19日～25日を例に、月曜から日曜までの1週間ににおける時刻別の電力消費量を提示したグラフである。

8月について、平日は、井水の汲み上げと水冷HPの運転が前日の22時から翌朝6時頃に掛けて行われ、蓄熱槽からの冷水供給熱量が不足する12時以降に、空冷HPが運転を始める様子が確認された。週末は、出勤者が少ないとから、夜間の井汲み上げと水冷HPの運転を停止し、日中に空冷HPを運転することなく、冷房需要には蓄熱槽からの冷水供給で対応している。12月の平日は、井水の汲み上げと水冷HPの運転が前日の22時から翌朝5時頃に掛けて行われ、蓄熱槽からの温水供給熱量が不足した時点で空冷HPが運転を始める様子を確認できる。冬期は軸体の冷え込みを抑えるため、週末でも夜間の井汲み上げと水冷HPの運転が行われており、暖房需要には蓄熱槽からの供給と空冷HPの運転で対応している。

4.2 夏期運転状態値の把握

図5は、2022年7月と8月の勤務日36日間注¹⁾について、空調システムの日平均電力消費量の内訳を表している。水冷HPの電力消費量161.3kWhは全体の25.1%にあたるが、井戸ポンプ及び井水加圧給水ポンプの電力消費量を加えると、全体の50.2%と約半分を占めている。空冷HPの電力消費量は129.7kWhであり、全体の20.2%であった。

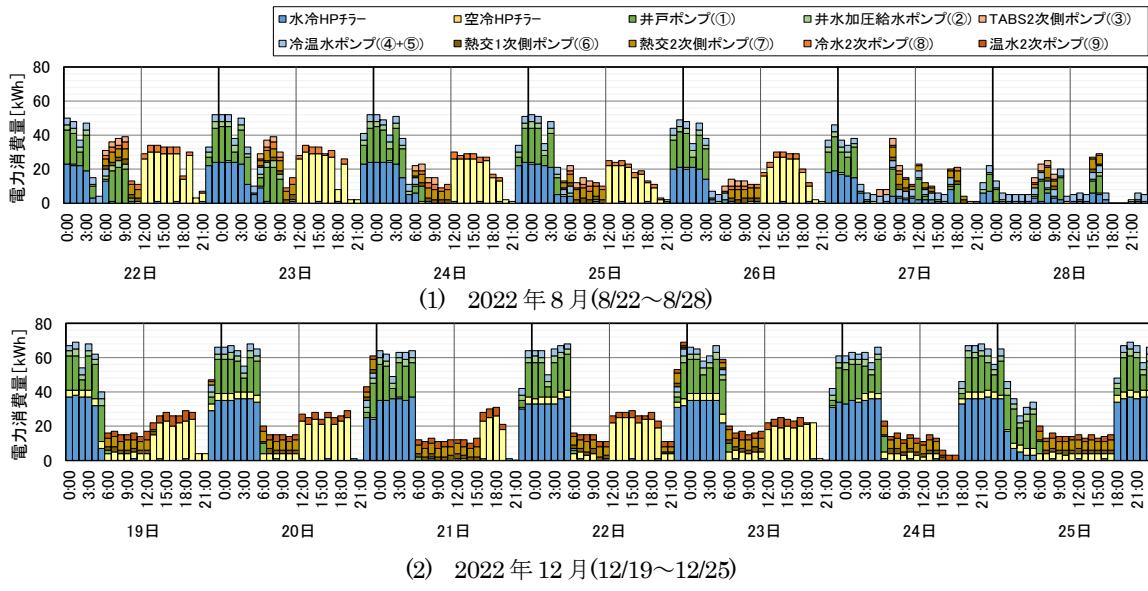


図4 曜日による時刻別電力消費量の例

図6に、時刻別の冷水供給熱量と、1日を通じたシステムCOP注²⁾を提示した。冷水供給熱量は、水冷HPが2,287.5MJ/日、空冷HPが2,384.4MJ/日と近い値であった。TABS供給熱量は221.6MJ/日となっている。このとき、当該躯体蓄熱放射・床吹出し空調システムの夏期運用に関するシステムCOPは2.12となつた。また、TABS2次側ポンプ、井戸ポンプ、井水加圧給水ポンプの電力消費量を元にTABSのCOPを求めるとき、3.88となつた。

4.3 冬期運転状態値の把握

図7は、2022年12月の勤務日17日間注²⁾について、空調システムの日平均電力消費量の内訳を表している。水冷HPの電力消費量240.8kWhは全体の26.1%にあたり、井戸ポンプ及び井水加圧給水ポンプの電力消費量を含めると、全体の59.2%を占めている。空冷HPの電力消費量は102.6kWhであり、全体の15.4%であった。

図8を見ると、温水供給熱量は、水冷HPが3,719.4MJ/日、空冷HPが1,172.6MJ/日となり、水冷HPは空冷HPの約3倍の値であった。このとき、当該躯体蓄熱放射・床吹出し空調システムの冬期運用に関するシステムCOPは2.04となつた。

4.4 月別システムCOPの比較検討

図9に2022年通年の日平均電力消費量とシステムCOPの算定結果をまとめた。冷房運転期間は5月から10月であり、夏期(7、8月)を灰色、中間期(5、6、9、10月)を水色で色分けしている。夏期のシステムCOPは1.84、18.2と比較的高い値であったが、中間期は4月に0.63、10月に0.83と1.00を下回る月が確認された。

暖房運転期間は1月から4月及び11月から12月である。暖房運転期間は冷房運転期間に比べ、システムCOPの高い月が多くみられた。中でも、1、2、12月については2.00を超えており、これらの月は夏期に比べ電力消費量が大きいことが把握された。

5. 中間期の運転性能向上のためのシミュレーション評価

5.1 中間期のシステムCOP向上に関する考察

5月から10月までの冷房運転期間における日別システムCOPについて、0.1刻みのランクごとに水冷HP、空冷HP及びTABSの供給熱量を把握することで、システムCOPが低い運転時に主として作動するヒートポンプの抽出を試みた。その

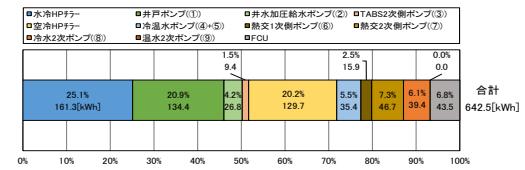


図5 空調システムの月間電力消費量
(2022年7月・8月の勤務日36日間)

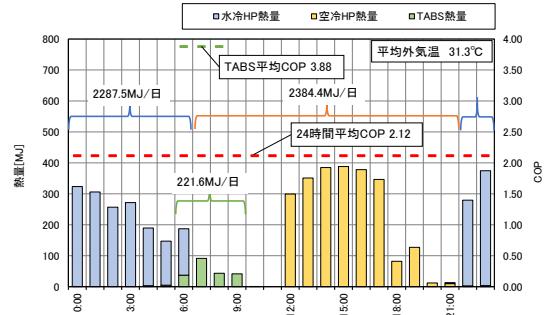


図6 運転時熱量とシステムCOP
(2022年7月・8月の勤務日36日間)

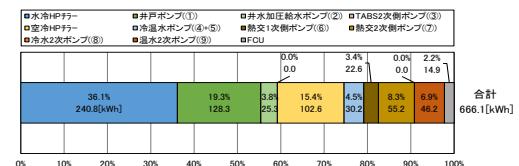


図7 空調システムの月間電力消費量
(2022年12月の勤務日17日間)



図8 水冷HP・空冷HP・TABSの運転時熱量と
システムCOP(2022年12月の勤務日17日間)

結果、図10より、空冷HPの割合がゼロを含めて低い中間期に、システムCOPが1.5程度以下となる日が集中している様子を確認できた。したがって、中間期の運転主体を空冷HPに変更した場合のシステムCOPを予測する必要があると考察された。

5.2 热源機運転主体の変更によるシステムCOP上昇予測

本研究では、水冷HPによる夜間の運転を主体に、空冷HP、TABSが運転している現状の制御(実績値)を基準として、水冷HP及びTABSを停止し、日中の空冷HPの運転のみで制御を行うケース(推定値①)と、水冷HPを停止し、空冷HPとTABSを運転する制御を行うケース(推定値②)の2ケースについてシミュレーションを行う。

表2に中間期(5、6、9、10月)の熱源機運転主体を水冷HPから空冷HPに変更したことによる電力消費量とシステムCOPの算定結果を示す。どの月も推定値①に比べ推定値②の方が削減率が高くなることが示され、中間期にTABSを運転することの有効性が示された。以上の結果から、中間期のシステムCOPは中間期平均で1.32から推定値①で2.16まで0.84上昇し、さらに推定値②では2.26まで0.94上昇することが確認された。冷房期間全体の平均では1.58から推定値①で1.95(+0.37)、推定値②で1.98(+0.40)となった。

6.まとめ

nZEBに採用された地下水を熱源とする躯体蓄熱放射・床吹出し空調システムを対象に、屋内温熱環境形成状況を含めた通年の運転実態調査を実施し、システムCOPの解析と運転効率向上のための検討を行った。

- 1) TABS表面温度とOAフロア内上部温度、さらに室内床高さ1.1mの執務フロア空気温度との3者の関係を、2021年7月から2022年12月までの月別推移として提示し、調和空気の染み出しをベースとする躯体蓄熱放射・床吹出し空調システムの年変化の特性を把握した。
- 2) 2022年7月と8月の勤務日36日間を対象として、水冷HP、空冷HPとポンプ・FCUを含めた電力消費量及び毎時流量と出口・入口温度の調査を行い、当該空調システムのシステムCOPを求めたところ、24時間を通じた値は2.12であり、TABSのCOPは3.88となった。これにより、躯体蓄熱放射システムは有効に機能していると判断された。また、2022年12月の勤務日17日間を対象として、同様の調査を行ったところ、24時間を通じたシステムCOPは2.04であった。
- 3) 冷房運転期間の中間期(5、6、9、10月)において、低負荷運転によるシステムCOPの低下が見い出されたことから、熱源機運転主体を水冷HPから空冷HPに変更するシミュレーション評価を行った。その結果、中間期冷房期間の電力消費量は32,832kWhから19,001kWhへと13,831kWh削減され(42.1%減)、システムCOPは1.32から2.16へと0.84上昇すると予測された。また、中間期にもTABSの運転を継続することで、システムCOPを2.26まで押し上げることも可能と評価された。

注釈

注¹⁾ 夏期の勤務日は、2022年7月1、4~8、11~15、19~22、25~29日、8月1~5、8~10、22~26、29~31日の36日間。

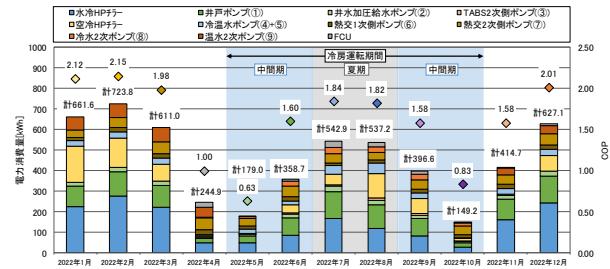


図9 月別の日平均電力消費量とシステムCOP
(2022年1月～12月)

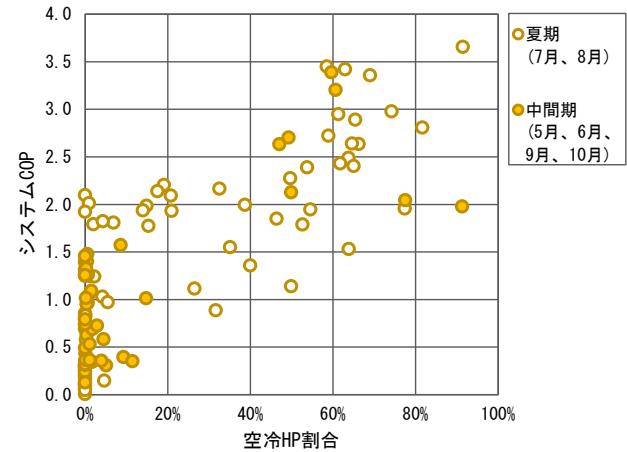


図10 冷熱供給に占める空冷HPの割合と
システムCOPの関係(2022年5月～10月)

表2 中間期の熱源機運転主体の変更によるシステムCOP
算定結果(2022年5月～10月)*1,*2

	電力消費量[kWh]			システムCOP		
	実績値	推定値①	推定値②	実績値	推定値①	推定値②
5月	5550	2898	2872	0.63	1.09	1.10
6月	10760	6886	6649	1.60	2.37	2.46
7月	(16831)	(16831)	(16831)	(1.84)	(1.84)	(1.84)
8月	(16653)	(16653)	(16653)	(1.82)	(1.82)	(1.82)
9月	11897	7065	6862	1.58	2.55	2.62
10月	4625	2152	1789	0.83	1.67	2.00
中間期合計・平均	32832	19001	18172	1.32	2.16	2.26
中間期 実績値との差	-	-13831	-14660	-	+0.84	+0.94
冷房期間合計・平均	66316	52485	51656	1.58	1.95	1.98
冷房期間 実績値との差	-	-13831	-14660	-	+0.37	+0.40

*1 推定値①:TABS含まず 推定値②:TABS含む *2 夏期(7、8月)は算定を行っていない

注²⁾ 冬期の勤務日は、2022年12月2、5~9、13~16、19~23、26、27日の17日間。

参考文献

- 1) 小池怜奈、垂水弘夫、新村苑華、天田靖佳、宮村泰至、長谷部弥、山本ミゲイル：地下水を熱源とする躯体蓄熱放射・床吹出し空調システムの冬期運転効率に関する調査研究、日本建築学会技術報告集、29巻、71号、pp.275-279、2023.2