

Nearly ZEB 認証を受けた技術センターSOU センター棟のオープン後初年度における夏期と冬期の 室内温熱環境調査

Results of indoor thermal environment survey in summer and winter of the first year after
opened the building which certified Nearly ZEB in the Technology Centre SOU

キーワード

ZEB, TABS, オフィス, 温熱環境,
アンケート

鈴木 泰樹*, 坪田 修一**

菊田 道宣*, 野部 達夫***

研究概要

TABS を採用し Nearly ZEB 認証を取得した技術センターSOU センター棟を対象に, TABS の有効性, 物理的な特性を把握することを目的として, 空調設備の運用チューニング前のオープン後初年度である 2022 年の夏期と冬期に室内温熱環境調査を実施した。全調査期間を通して, 温湿度は夏期の湿度が高いものの, 概ね安定しており, 空間分布や時間変動のバラつきが小さいという TABS の特長が確認できた。アンケートの結果より, 夏期, 冬期共に約 7 割以上が温熱環境満足度において快適側であると回答しており, 室内温熱環境が概ね良好であることが確認できた。これらの結果を基にチューニングを行いながら運用改善に務めている。

1 はじめに

2022年2月に茨城県つくば市に, TABS を採用し Nearly ZEB 認証を受けた技術センターSOU センター棟がオープンした。既報¹⁾では, 建物の概要とオープンから1年間のエネルギー消費量を含めた運用実績を報告した。本報では, この建物を対象に TABS の有効性, 物理的な特性を把握することを目的として, 空調設備の運用チューニング前のオープン後初年度である2022年の夏期と冬期に実施した室内温熱環境調査について報告する。

2 センター棟の空調システム

センター棟は RC 造3階建て, 延床面積3,110m²であり, TABS を採用している。1階から屋上の4枚のコンクリートスラブに配管を敷設し, 冷温水を通路して蓄冷・蓄熱することで, スラブに蓄えた熱を躯体現しとした天井から放熱し, 放射による冷暖房を行う。熱源は, 空冷チラーと地中熱対応型水冷チラーの2台から成り, 台数制御としている。供給先は目的に応じて, スラブ配管又は空調機群のどちらか一方を選択して供給する。そのため, 蓄冷・蓄熱と空調を同時に行うことはできないが, 夜間に蓄冷・蓄熱, 日中に外気処理を主とした空調として使用することで熱源容量の低減が可能となっている。

図-1に執務エリアの断面図を示す。執務エリアの空調

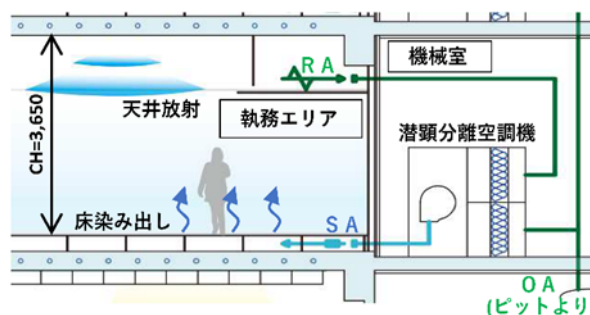


図-1 執務エリアの断面図

機は潜熱分離型を採用している。潜熱側のコイルはクール・ウォームピットから導入した外気を処理し, 顕熱側コイルは室内天井付近から取り込んだ還気を処理する。各コイルで処理した空気は, 混合されて OA 床下内に吹出し, 床カーペットから染み出しにより室内へ供給される。主に外調機として使用しているが, TABS で処理しきれない顕熱や調湿などの潜熱処理は当該機器により行い, 温湿度の制御は空調機の機能上, 還気温湿度により制御されている。吹出し風量は定風量としているが, 室内 CO₂濃度による外気量の制御をしており, 1台当たりの吹出し風量4,800m³/h に対して11%~23%まで外気量変動する。例えば, 除湿運転時には, 潜熱側コイルで外気のみを冷却し, 未処理である還気と混合して室内へ供給する。

* 技術センター 建築研究部, ** 東北支店, *** 工学院大学

3 調査概要

表－1に調査概要、図－2に2階測定点を示す。対象エリアは執務を行う2、3階の執務エリアとした。調査期間は、夏期が2022/8/20～9/16、冬期が2022/12/6～12/19とし、代表日として8/23、12/14を選定した。空調機の運転時間は夏期が7:30～19:00、冬期は蓄熱運転の不具合から一部で手動操作を要したため8:30～18:00とした。蓄冷及び蓄熱運転は夏期冬期共に0:00～6:00の6時間で行った。実測は、空気温度・相対湿度・風速・グローブ温度を各机上に設置した記録装置により10分間隔で測定をした。温湿度等の測定は2階に18台、3階はインテリア部のみとし、西側、中央、東側に1台ずつの3台とした。また、上下温度分布・長波長収支・サーモカメラによる天井表面温度を2、3階の東側で1ヶ所ずつ測定を行った。

心理量を把握するアンケート調査は、瞬間的な「暑すぎる」、「寒すぎる」の非受容申告を行う装置（オストラコン）、瞬間的な心理量を調査するビンゴカードを用いた穿孔型簡易アンケート、潜在的な満足度や不快感の他、ウェルネスオフィスの評価ツールをもとに構成し、現在の執務環境での満足度、健康性等を把握可能とした。

4 夏期調査結果

4.1 室内温熱環境

4.1.1 室内温湿度

図－3に8/20～8/26における2階室温の経時変化を示す。執務時間は8:30～17:30である。各測定点で概ね24～26℃を推移しており、大きな変動もなく安定した室温であったことが確認できる。ペリメーター部に配置したIKY-07, 13, 19は日中に高い温度を示しており、日射等の影響と考えられる。8/20(土)、21(日)は休日であったが、日中に室内温度の低下がみられる。これは、高湿の傾向がみられた室内の除湿を目的として日中に空調機を稼働したためである。

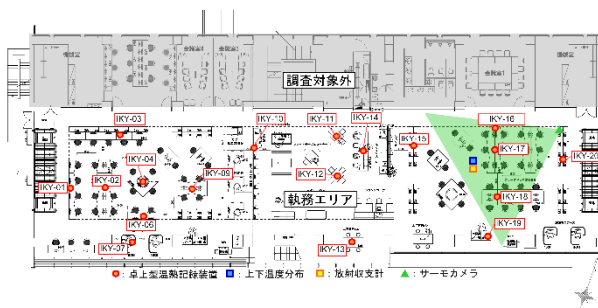
図－4に8/20～8/26における2階相対湿度の経時変化を示す。執務時間帯では、55～70%程度を推移しており、各測定点で大きなバラつきはみられなかった。空調機の稼働と共に湿度の低下がみられるが、全体的に高い傾向が確認できる。特に非空調時に大きく上昇しているが、要因の特定には至っていない。

4.1.2 上下温度分布

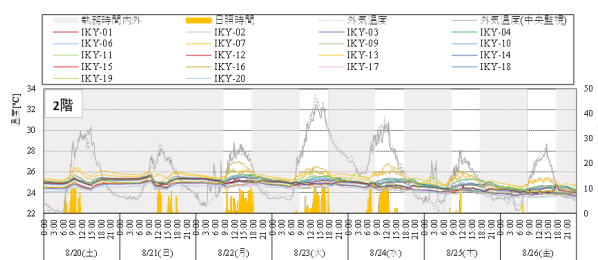
図－5に代表日である8/23の2、3階上下温度分布を示す。天井高FL+3,650mmに対し、FL±0～FL+2,700mmで7点を測定した。ISO7730では、足下と頭部の温度差が3℃以内を推奨しているが、各測定点で温度差3℃を超えることはなく、良好な環境であった。2階では、FL±0～+2,700mmで温度差は1℃程度であり、時間別でみても大きな変動がなかった。3階では、2階に較べて上下の温度差が大きく、2℃程度であった。時間別でも、11:00～17:00で上部の温度が上

表－1 調査概要

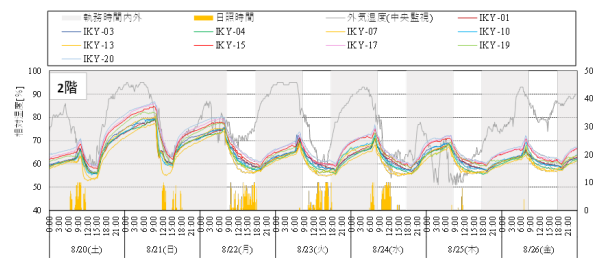
		夏期	冬期	
調査期間		2022/8/20(土)～9/16(金)	2022/12/6(火)～12/19(月)	
代表日		8/23(火)	12/14(水)	
対象エリア		2, 3階 執務エリア		
空調機運転時間		7:30～19:00	8:30～18:00	
空調機設定温湿度		26℃ 50%	22℃ 40%	
蓄冷/蓄熱時間		0:00～6:00	0:00～6:00	
測定機器概要				
機器名	温熱環境記録装置	小型温湿度ロガー	長波長収支計	サーモカメラ
外観				
測定項目	温度・湿度・風速・グローブ温度	上下温度分布	長波長収支	表面温度
設置位置	2,3F 机上 21台	2,3F 一ヶ所	2,3F 一ヶ所	部屋の隅
心理量調査概要				
名称	オストラコン	ビンゴカード型簡易アンケート	紙面型アンケート	
外観				
項目	瞬間的	⇔	潜在的	



図－2 2階測定点



図－3 2階室温経時変化



図－4 2階相対湿度経時変化

昇し、温度差が大きくなっていた。これは、夜間に行った躯体蓄冷により各スラブ温度が低下していたが、3階天井スラブは外気に面しているため、他階スラブより1℃程度高かったことと、2、3階の吹き抜け部により温まった空気が3階に上昇したためと推測される。どの時間帯でもFL±0mmの温度が最も低いが、室内湿度が高かったこともあり、空調機の除湿運転により除湿されたやや低温の空気が床から染み出されていたためと考えられる。

各天井表面温度はサーモカメラにより10分間隔で撮影しており、2階天井表面温度の状況の1例を写真-1に示す。躯体蓄冷により調査期間中の2階天井表面温度は概ね23℃前後で安定しており、3階天井表面温度は24～25℃程度と2階と較べるとやや高めで変動も大きくなっていたが、どちらもFL+2,700mmの空気温度より低い温度で維持されていた。

4.1.3 PMV 経時変化

図-6に代表日の執務時間帯におけるPMV経時変化を示す。PMVの算出において、代謝量は通常の事務作業時として1.1metとした。着衣量は紙面型アンケートより得られた結果から0.6cloとした。欠損がみられた計測器は省略している。執務時間帯において、ペリメーター部も含めて概ね±0.5以内に収まっており、中立な温熱環境であることが確認できる。IKY-19、20はバラつきがみられるが、これらは風速によるバラつきで、動線に近い配置であったため、執務者の往来による影響と考えられる。その他は大きな変動もなく、安定していた。

4.1.4 温熱環境分布

図-7に各階の執務時間帯における温熱環境分布を示す。執務時間内の作用温度と絶対湿度をASHRAE Standard 55-2013 Graphic Comfort Zone Method上にプロットした。橙色線で示す領域は、着衣量0.5clo、代謝量1.0～1.3metの条件におけるSET*基準の熱的受容域である。全プロットに対する熱的受容域内のプロットは2階で40%、3階で51%であった。3階は2階に比べ、プロット数が少なく、インテリア部のみの計測であったため、割合が高くなったと考えられる。2、3階共に絶対湿度が高く、作用温度が低いため熱的受容域内のプロットが少なくなっている。温熱環境分布か

らも実測と同様に湿度が高い傾向が確認できた。具体的には、非空調時に上昇した湿度に対し、空調時においても空調機の機能上、限られた外気量でのみ除湿を行うため、時間を要す、若しくは除湿量が不足していたため、絶対湿度の高い時間が長くなり、プロットが多くなったと推測される。

4.2 心理量申告

図-8に夏期における紙面型アンケート結果を示す。

(a)現在のオフィスの温熱環境に満足しているかの問いに対し、2、3階共に7割以上が「当てはまる」に回答していた。(b)暑さによる不快感では半数以上が「ある」と回答しており、2階より3階の割合が高かった。(c)高温と感じるかでは、2階では2割程度、3階では4割程度が「ある」と回答しており、こちらでも3階の割合が高い結果となった。実測では、比較的湿度が低く、湿度が高い傾向にあったが、アンケートによる回答の不満は暑さによる不快感の方が高く、実測と心理量の申告では相違がみられた。また、その他の申告では、執務室に空調室内機等の音源機器がないために静寂なオフィスであり、自身が出す音にストレスを感じるとの回答が多くみられた。

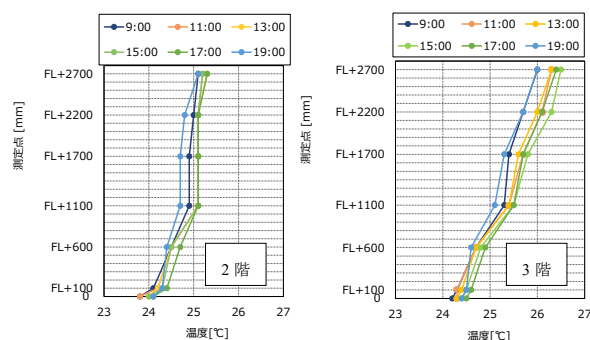
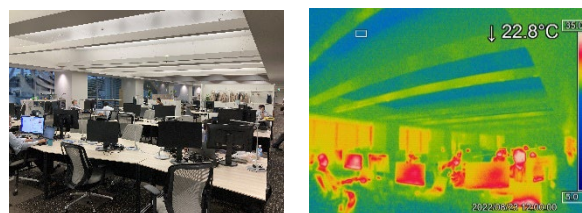


図-5 代表日(8/23)の上下温度分布



(a)撮影視点
写真-1 2階サーモカメラ撮影状況

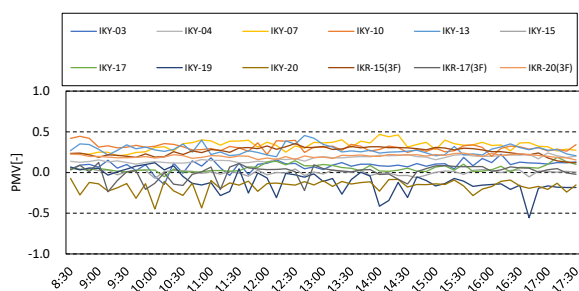


図-6 代表日(8/23)のPMV経時変化

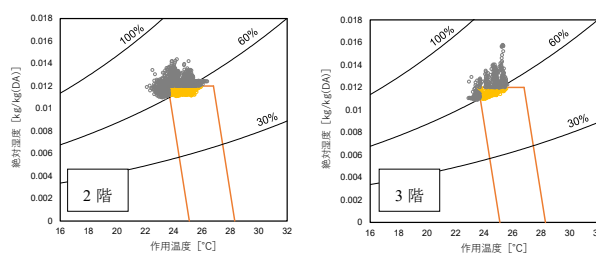


図-7 夏期の温熱環境分布

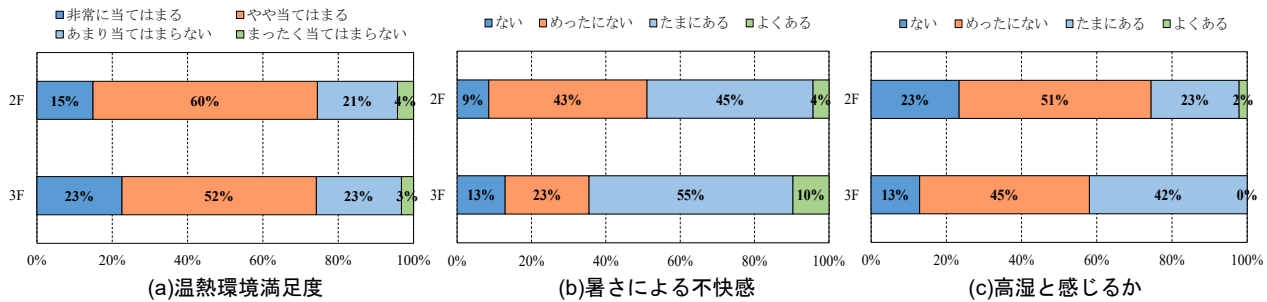


図-8 夏期における紙面型アンケート結果

5 冬期調査結果

5.1 室内温熱環境

5.1.1 室内温湿度

図-9に12/13～19における2階室温の経時変化を示す。各測定点で20～24℃程度を推移しており、概ね安定した環境であるが、夏期と比べ、変動が大きいことが確認できた。特にペリメーター部では日射等の外部の影響を強く受けており、日中は高く、夜間に低い傾向がみられた。また、非空調時である夜間や休日でも室温の低下は小さく、20℃以上を維持できており、躯体蓄熱によるものであると推測される。

図-10に12/13～19における2階相対湿度の経時変化を示す。執務時間帯では、概ね40～50%程度を推移しており、良好な環境であった。非空調時には、夏期ほどではないが、僅かに上昇の傾向が確認できた。

5.1.2 上下温度分布

図-11に代表日である12/14の2、3階の上下温度分布を示す。2、3階の各時間帯において、上下における温度差は1～2℃以内であり、夏期と同様に良好な環境であった。最も温度差がみられた箇所は、3階の11:00と13:00で、FL±0mmとFL+2,700mmで温度差2℃程度だった。冬期では、夏期と分布が異なり、上下温度差は小さいが、時間別で温度差がみられた。2、3階共に9:00と19:00は22～23℃程度と温度が低く、日中である11:00～17:00は23～24℃程度であった。これは、日中の外気温が12℃まで上昇した影響もあるが、調査期間中の空調機の運転時間を8:30～18:00としていたため、稼働直後の9:00と停止後の19:00で温度が低かったと考えられる。2階の9:00と17:00、19:00において、FL+2,200～2,700mmの間で温度が上昇しているが、夜間に行った躯体蓄熱によって、2階天井スラブは23℃程度を維持しており、その影響を受けていると推測できる。3階では、3階天井スラブは22℃程度を維持しており、上部計測温度より低いため、2階のような上部における温度上昇はみられなかったと考えられる。

2階天井表面温度の状況の1例を写真-2に示す。調査期間中の2階天井表面温度は、躯体蓄熱により22～23℃程度を維持していた。3階天井表面温度は2階と同様に躯体蓄熱を行ったが、21～24℃程度と変動が大きく、外気に面したスラブであることや室温の影響を受けたと推測できる。

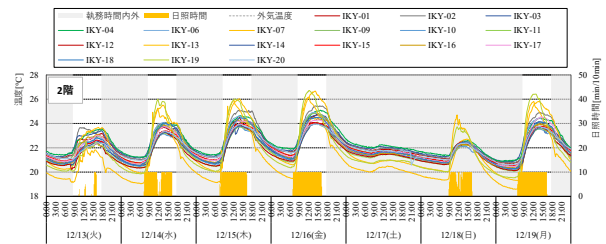


図-9 2階室温経時変化

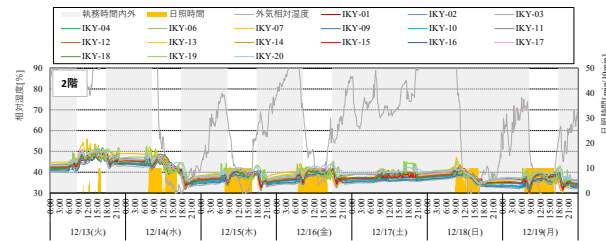


図-10 2階相対湿度経時変化

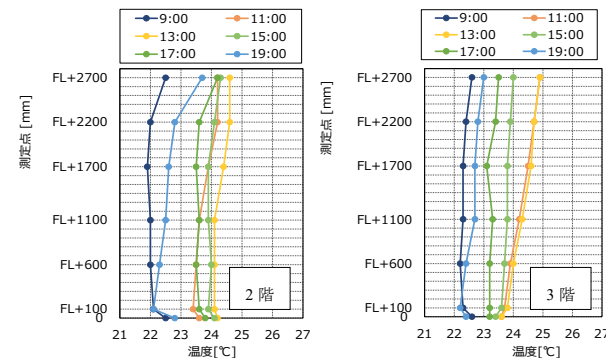
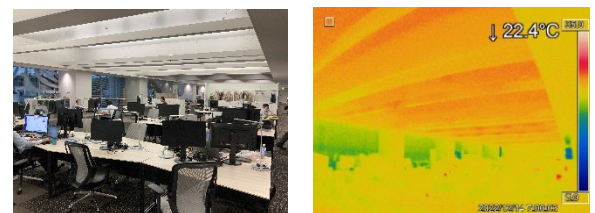


図-11 代表日(12/14)の上下温度分布



(a)撮影視点 (b)撮影状況
写真-2 2階サーモカメラ撮影状況

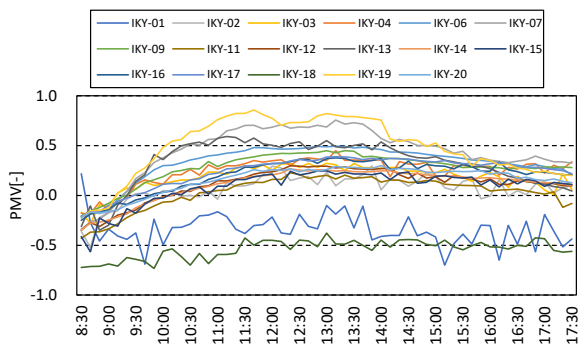


図-12 代表日(12/14)の PMV 経時変化

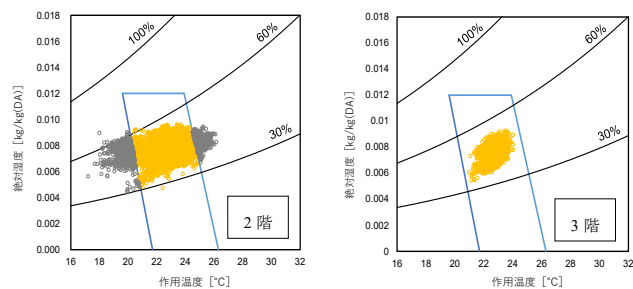


図-13 冬季の温熱環境分布

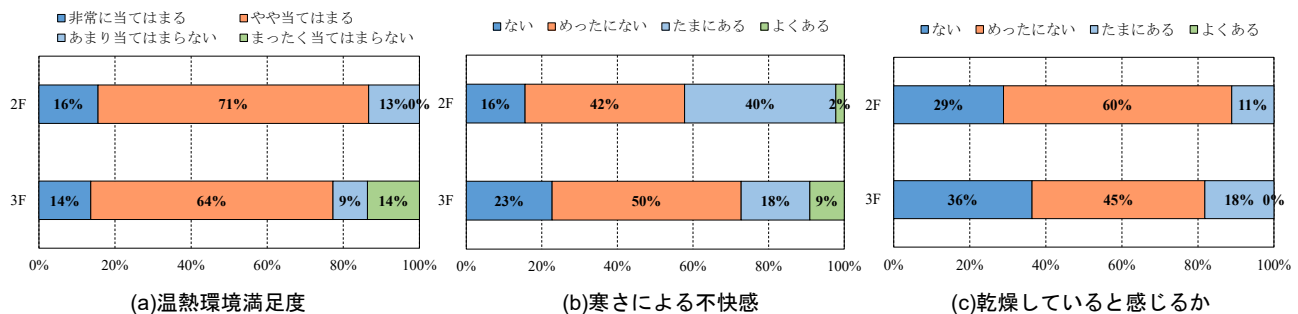


図-14 冬季における紙面型アンケート結果

5.1.3 PMV 経時変化

図-12に代表日の執務時間帯における PMV 経時変化を示す。PMV の算出において、代謝量は夏期と同様に1.1metとした。着衣量は紙面型アンケートより得られた結果から1.1cloとした。概ね±0.5以内に収まっており、夏期と同様に中立な温熱環境であることが確認できる。IKY-07, 13, 19は、日中に0.5を超えているが、これらはペリメーター部に配置したもので、日射等による影響を受けたと考えられる。IKY-01, 18はやや低く、バラつきがみられた。夏期と冬期を較べると、夏期では終日大きな変動はみられなかったが、冬期は変動がやや大きく、全ての計測点で始業直後はマイナスの値であり、日中にプラスへ推移し、夕方に向けて低下していた。このことから、日射や空調機の影響により変動が大きいが、8:30時点でも PMV はほぼ-0.5以上であるため、躯体蓄熱により安定した環境であったと言える。

5.1.4 温熱環境分布

図-13に各階の執務時間帯における温熱環境分布を示す。夏期と同様に執務時間帯内の作用温度と絶対湿度をASHRAE Standard 55-2013 Graphic Comfort Zone Method上にプロットした。青色線で示す領域は、着衣量1.0clo、代謝量1.0~1.3metの条件におけるSET*基準の熱的受容域である。全プロットに対する熱的受容域内のプロットは2階で90%、3階で100%であった。夏期と較べ、2, 3階共に作用温度が幅広く計測されたが、絶対湿度が低かったため、熱的受容域内のプロットが多くなった。

5.2 心理量申告

図-14に冬季における紙面型アンケート結果を示す。(a)現在のオフィスの温熱環境に満足しているかの問いに対し、「当てはまる」と回答した割合が、2階は約9割、3階は約8割であった。(b)寒さによる不快感では、2階は約6割、3階は約7割が「ない」と回答していた。「ある」の回答では、3階の方が少なく、夏期と同様に3階の方が暑いと感じていると推測できる。(c)乾燥していると感じるかの問いでは、2, 3階共に8割以上が「ない」と回答していた。全体を夏期と冬期で較べると、冬期では、温熱環境分布における熱的受容域内のプロットが多くなったことと同様に良好と感じる回答が多くみられた。

6 おわりに

TABSを採用しNearly ZEBの認証を受けた技術センターSOU センター棟のオープン後初年度の夏期と冬期における室内温熱環境調査を報告した。温湿度の測定結果からは、全調査期間を通して、概ね安定した温熱環境が形成されていたことが確認できた。また、TABSによる蓄冷、蓄熱によって、空間分布、時間変動のバラつきは小さいことが確認できた。執務者の心理量調査からは、温熱環境満足度は夏期冬期共に7割以上が快適側の回答となった。2階と3階では、夏期冬期共に3階の方が暑いという回答が多かった。本結果を基にチューニングを実施し、夏期における高湿対策やTABSの特長を活かした運用など、より執務者の快適性を目指し、省エネも含めた運用改善に務めている。

謝辞

本研究の遂行に当たり，当時工学院大学であった山崎里奈氏，大塚海都氏の協力を得た。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 鈴木泰樹，坪田修一，菊田道宣，野部達夫：Nearly ZEB 認証を受けた技術センターSOU センター棟の空調設備の概要と竣工後 1 年間の実績，佐藤工業技報，No.48，pp82-86，2023.