

技術研究所管理棟のZEB化改修効果

－エネルギー削減実績と快適性評価－

Effect of ZEB Renovations

at the Technical Research Institute Head Office

- Energy Use Reductions and Evaluations of Comfort -

中西史子* 岩下将也** 坂崎 隆* 松永智弘** 稲留康一**

要 旨

奥村組技術研究所管理棟は、改修時に汎用的で実効性の高い技術を組み合わせることで Nearly ZEB を達成した中規模事務所ビルであり、運用の過程で得られた知見を元に、環境技術を積極的に提案していくための ZEB の実証施設となっている。今回は建物運用時のエネルギー収支を確認するため、毎月のエネルギー消費量の実績値を設計値と比較して運用状況の監視および運用方法の見直し等を行った。その結果、1年間の運用実績としても Nearly ZEB を達成していることを確認した。また、ZEB 化改修後の建物について執務者にアンケート調査を行い、室内環境に対する満足度やそれらの要因、さらに設備の出力状況による感じ方の変化等を確認した。

キーワード：ZEB、改修、事務所、エネルギー収支、室内環境、快適性

1. まえがき

温暖化対策の国際的な枠組みであるパリ協定では、「脱炭素化」が目標として掲げられた。これを背景に、2030年、さらには2050年を見据えた我が国の長期低炭素ビジョン¹⁾では、省エネルギー化や再生可能エネルギー利用による着実な取り組みの推進が示されている。その1つの目標として建築物におけるZEBの普及促進が挙げられ、2030年のZEB普及目標の達成²⁾に向け、業界各社がこれに取り組んでいる。

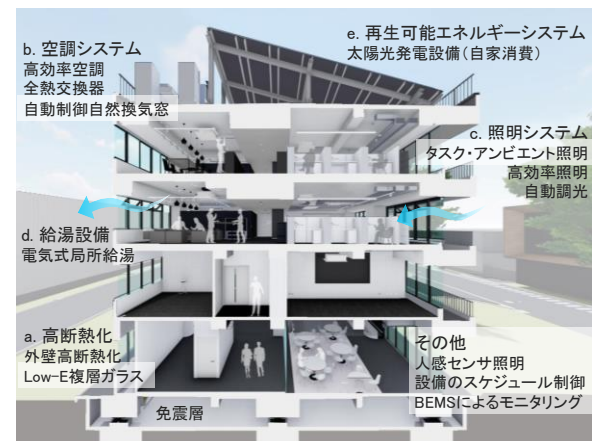
新築着工される建築物に比べて、ストック建物の棟数が圧倒的に多いことから、新築のみならず、改修建物についてもZEB化を進めていくことが普及展開の鍵となる。そのためには、特殊な技術や高価な技術に頼らずとも、既存建物にも適用できる汎用的な技術の組み合わせによってZEB化が達成可能であること、また、改修による消費エネルギーの削減効果の実証データに加えて、快適な空間が同時に提供されていることも示していくことが求められる。

このような背景から、筆者らは汎用的で実効性の高い省エネルギー技術、創エネルギー技術の組み合わせによって、2020年1月に自社施設である技術研究所管理棟（以下、本建物）をZEB化改修した³⁾。今回は本建物の改修後1年間の運用において、建物のエネルギー消費

実績の分析および快適性に関するアンケート調査を行った。本報では、これらの結果を紹介する。

表－1 建物概要

建物名称	奥村組技術研究所管理棟
建物場所	茨城県つくば市
建物用途	事務所
延べ面積	1,330.10m ²
建築面積	362.82m ²
階数・構造	地上4階 RC造 基礎免震
竣工年月	1986年1月
ZEB化改修年月	2020年1月



図－1 導入したZEB技術

*東日本支社建築設計部 **技術研究所環境研究グループ

2. ZEB化改修建物の概要

2.1 ZEB化改修技術

表-1に、ZEB化改修を行った建物概要を、図-1に、導入したZEB技術の概要を示す。本改修で導入した要素技術は以下の通りである。

a. 高断熱化

開口部にはLow-E複層ガラス（FL6+Air10+Low-E6）、外壁は断熱材が50mmとなるようにウレタンフォームを増し吹きして外皮の断熱性能を向上させた。

b. 空調システム

高効率タイプのビル用マルチエアコンおよび全熱交換器を採用した。また、3階の南北開口部には、中間期の冷房負荷削減のため自動制御自然換気窓を採用した。写真-1に、自然換気窓を、図-2に、3階の平面プランを示す。

c. 照明システム

執務空間には、タスク・アンビエント方式を採用した。写真-2に、執務空間を示す。アンビエント照明により執務空間全体としての必要な明るさを確保し、各デスクのタスク照明により執務に必要な机上面照度を調整する計画とした。アンビエント照明では、机上面平均照度で300lx以上、タスク照明を点灯させることで750lx（オフィスの照明照度推奨基準値⁴⁾）以上の照度が得られる。また、2~4階に明るさセンサを設置し、明るさに応じてアンビエント照明を自動調光させる計画とした。

d. 給湯設備

温水の使用場所が、給湯室および便所の洗面のみであるため、電気温水器を用いた局所給湯方式とした。

e. 再生可能エネルギーシステム

図-3に、太陽光発電システム接続図を示す。システム容量32.5kWの太陽光発電パネル（計167m²）を、最大発電量が得られる傾斜角15°にして本建物の屋上に設置し、年間で323.6GJの発電量を得る計画とした。本システムは自家消費型であり、発電量が施設内の消費量を上回った際に発生する逆潮流を検知し、パワーコンディショナを停止させる逆電力継電器（以下、RPR）を、施設全体の受電盤（第一変電所）に設置している。これにより、発電した電力は施設全体で消費することが可能となった。

2.2 設計一次エネルギー消費量の結果

エネルギー消費性能計算プログラム（以下、WEBプログラム）を用いて算出した一次エネルギー消費量の結果（以下、設計値）を図-4に示す。図中の太陽光発電量は、便宜上、負の消費量としている。各設備の設計値を、基準一次エネルギー消費量（以下、基準値）と比較すると、空調49%、換気39%、照明78%の削減となり、建物全体では55%削減した。さらに創エネルギー分を反映させると76%の削減となり、Nearly ZEBを達成した。



写真-1 自然換気窓 写真-2 執務空間

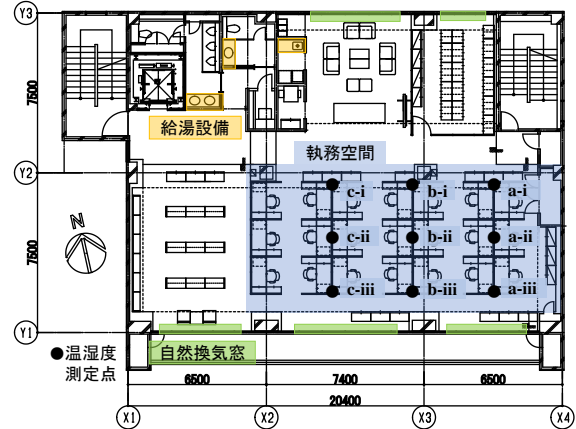
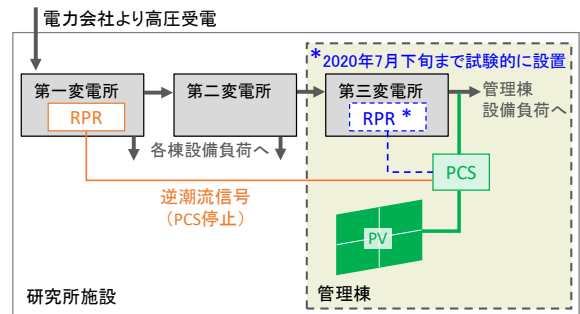


図-2 3階（基準階）の平面プラン



凡例）RPR:逆電力継電器 PCS:パワーコンディショナ PV:太陽光発電パネル

図-3 太陽光発電システム接続図

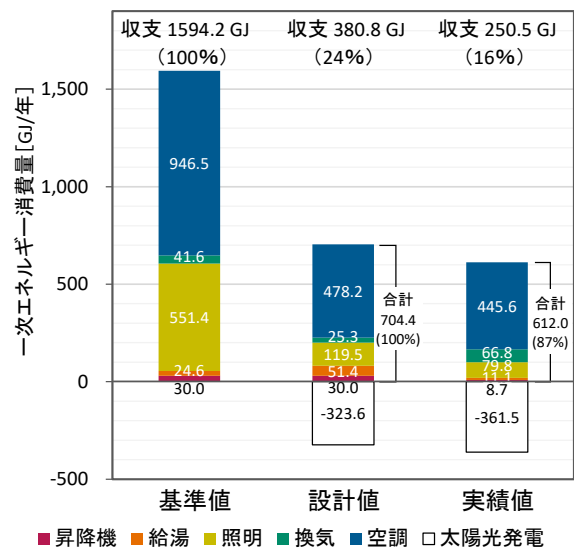


図-4 一次エネルギー消費量（基準値との比較）

3. 照度の設定方法

3.1 調光システムと分析方法

照明については、南側開口部近傍の天井に設置した明るさセンサが周辺の明るさを検知し、アンビエント照明出力を自動的に変更する仕組みとなっている。設計仕様である常時 300lx 以上の机上面照度を確保するため、自動調光システムの以下の2つの機能が活用されている。

- i. 天井の明るさセンサが周辺照度と出力を検知し、周辺照度に応じて出力を自動調光する機能
- ii. 最大照度と最小照度を定め制御範囲を制限する機能

図-5に、調光システムの概要と照度の分析方法を示す。開口部からの採光は、デスクの開口部側に設置したやや高めのパテーションに遮られ、机上面には反射・散乱光のみが到達する。明るさセンサは、光量の大きい窓からの採光と、光量の小さい室内の反射・散乱光を同時に検知するため、机上面照度に基づく的確な制御は困難である。そこで、曇天日と晴天日において、照明を消灯した状態で、南面開口部の窓鉛直面照度と窓際の机上面照度を測定し、窓へ入射する自然光と、机上面へ到達する反射・散乱光の光量を測定した。また、机上面照度を窓鉛直面照度で除した値（以下、到達率）を算出し、窓へ入射した光が机上面に到達している量を推定した。

3.2 照明の調整

図-6に、曇天日と晴天日における窓鉛直面と机上面の照度測定結果を、図-7に、その時の自然光の到達率を示す。なお、晴天日の日没直前の窓鉛直面照度の顕著な増大は、西日の傾きによって直達光が鉛直面に到達した結果である。曇天日は、窓鉛直面照度および机上面照度に小刻みな変動はあるが、到達率はほぼ一様に 0.6~0.7%程度で推移している。一方、晴天日は、窓鉛直面照度に応じて机上面照度はなだらかな凸型になっているが、到達率は 15:00 頃を頂点として徐々に低下しており、0.5%程度となった日没直前と日の入り後が、机上面照度が最も低くなる時間帯といえる。そこで、日没直前に 300lx 以上を維持できるように出力の下限値を再検討し、その結果を踏まえて出力の下限値を 65%に設定した。これにより、採光条件に関わらず最低照度 300lx を維持し、日中は自動調光で出力を抑える効果が期待できる。

図-8に、調整後の晴天日における机上面照度の変動とエネルギー消費率（夜間に 300lx 以上を維持できる最大出力時のエネルギー消費を 100%とした場合のエネルギー消費の割合）を示す。日中の電力量は、100%の出力時に対して 20%程度削減されていることを確認した。これは、晴天日の自然光による机上面の照度が 50~100lx であることを考慮すると、妥当な割合といえる。また、日没後は、目標照度に合わせて安定した照度を維持していることも確認した。

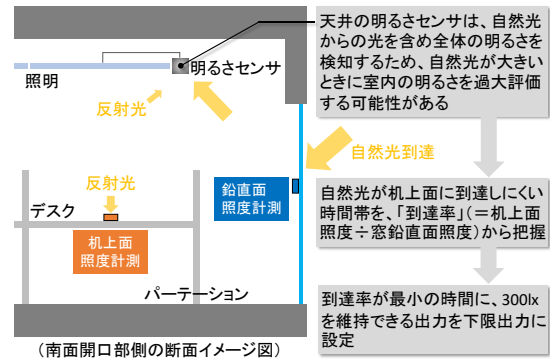


図-5 調光システムの概要と照度の分析方法

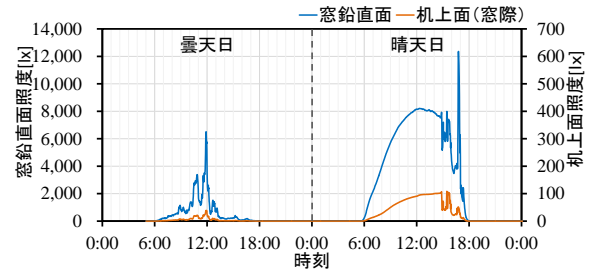


図-6 照度測定結果

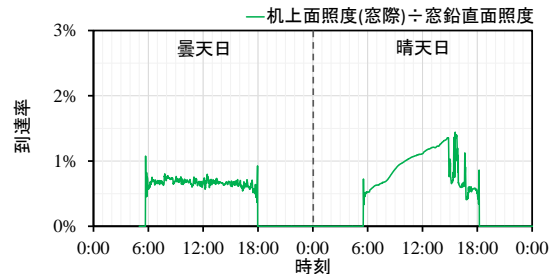


図-7 自然光の到達率

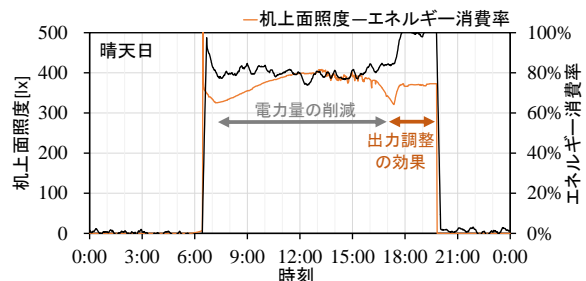


図-8 机上面照度の変動とエネルギー消費率

4. 改修後初年度のエネルギー消費実績と分析

4.1 分析概要

年間および月間の一次エネルギー消費量の実績値の分析と、主要設備として空調と照明について分析を行った。

4.2 年間一次エネルギー消費量

改修後初年度の運用実績として、2020年4月から1年間のエネルギー計測データの分析を行った。図-4中に一次エネルギー消費量の年間実績（以下、実績値）を示す。実績値は設計値を下回り、発電量を加味したエネルギー収支で、基準値に対して84%の削減となった。エネルギーの内訳も概ね設計値と同様の傾向であるが、設計値と比較して実績値に大幅な増減が見られた換気設備

(設計値比 264%)、給湯設備 (設計値比 22%)、昇降機 (設計値比 29%) については、以下の原因が考えられる。

a. 換気設備の消費量の増大理由

本建物の主たる換気設備は、便所の排気であり、これを 24 時間稼働させている。実稼働時間が、標準室使用条件の稼働時間 (週 5 日、1 日あたり 13 時間) に比べて大きいことが原因と考えられる。

b. 給湯設備の消費量の減少理由

本建物の実働人員が、WEB プログラムの計算前提となる標準室使用条件⁵⁾の利用人数 (室面積から自動換算) の 1/3 程度であること、夏期に便所洗面の給湯を停止させたことによる利用日数の減少が原因と考えられる。

c. 昇降機の消費量の減少理由

昇降機は本改修で新設しているが、改修前から在籍している大半の執務者は習慣的に階段を利用しており、使用時間が少ないことが原因と考えられる。

4.3 月間一次エネルギー消費量

図-9 に、月別一次エネルギー消費量の実績値を示す。照明、換気および昇降機は、季節による変動は見られない。空調は、冷暖房負荷の発生する夏期 (7~9 月)、冬期 (12~2 月) で特に増大し、給湯は冬期 (12~4 月) に増大している。

一般的な建物では電力会社から直接受電することが多いが、本建物は施設全体で電力を契約しており、第一変電所受電盤に RPR を設置している。そこで、建物単体で受電した場合の自家消費型システムの特性を把握するため、4~7 月は RPR の設置位置を本建物の第三変電所受電盤に試験的に変更した。その結果、この期間は、電力消費量が発電量を下回る時間が増え、逆潮流の検知による発電停止が頻繁に生じたことにより、発電量が低減したことがわかった。一方、8 月以降は、発電量が増大したことを確認した。

4.4 空調エネルギーの分析

空調については、1 時間ごとのエネルギー分布を確認した。図-10~12 に、2~4 階の空調室外機の 1 時間ごとの電力量と外気温の関係を示す。図中には、ピーク電力発生日時と、室外機の定格値 (冷房、暖房、最大暖房) を併せて示す。なお、定格値の表記に合わせ、本分析は最終エネルギー消費の電力量で示している。空調設定温度は階ごとに任意としているが、夏期は 25~26℃、冬期は 22~24℃に設定されていることが多かった。

ピーク電力量は、夏期では 2~4 階共通で 8 月の夏期休暇明けの午後に発生し、冬期では 2、4 階で 1 月の年末年始休暇明けの早朝に発生していた。本建物は RC 造であることから、熱負荷のピークは、長期休暇中に躯体に蓄熱あるいは躯体が冷却されたことが影響していると考えられる。ピーク時以外の電力量は定格値未満となっており、想定した空調能力が適切であることを確認した。また、執務室と打合せエリアが一体となっている 3、4

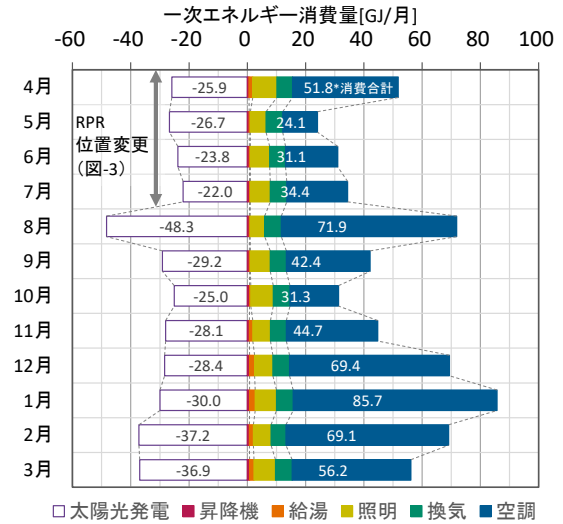


図-9 月別一次エネルギー消費量 (実績値)

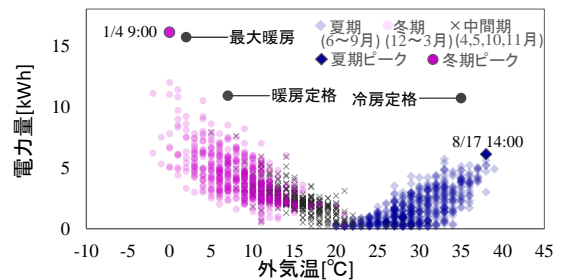


図-10 2階の空調電力量分布

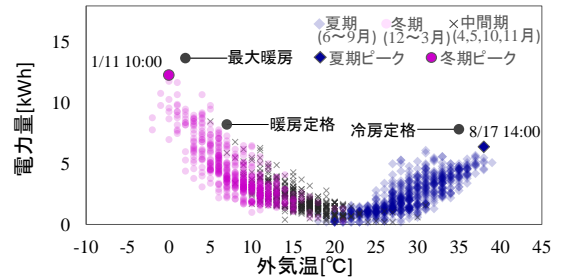


図-11 3階の空調電力量分布

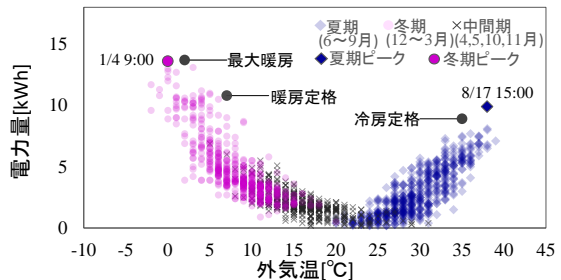


図-12 4階の空調電力量分布

階に比べ、会議室 2 室と執務室 1 室を備える 2 階は低負荷での運転時間が多いことも確認した。

4.5 照明エネルギーの分析

照明については、図-8 に示した通り、アンビエント照明の自動調光機能の設定方法による省エネルギー効果について確認した。今回は、ZEB 化改修の有効な手段としてタスク・アンビエント方式を採用したが、照度の設定に課題があったため運用面を見直し、エネルギー消費を過度に損なうことなく適切な照度を確保した。

5. 執務者の温熱・光環境評価の調査

5.1 調査概要

改修後の温熱環境、光環境の快適性の実態を把握するため、執務者に対してアンケート調査を行った。表-2に、アンケート調査概要、表-3に、設問および回答の選択肢を示す。アンケートは、設問ごとに5つの選択肢から当てはまる項目を選択する方法とし、1日に3回、年間9日(全27回)実施した。なお、実施時は、アンビエント照明の出力と、照度や快適性の関係を把握するため、自動調光機能は切り、調光率を固定した。

本報では代表的な回答例として、夏期8月4日9:00~11:00、冬期12月11日9:00~11:00のアンケート結果について示す。表-4に、アンケート実施時の回答内訳、室内温湿度平均およびアンビエント照明出力を示す。8月4日の照明出力は、設定値(65%)よりも低い状況を想定したものであり、12月11日の照明出力は、設定値に近い状況を想定したものとなっている。

5.2 結果と考察

a. 温熱環境

図-13に、アンケート実施時の執務空間の温湿度測定結果を、図-14に、温熱環境に関するアンケート結果を示す。なお、図-13の測定番号は、図-2中に示した温湿度測定点の番号に対応する。

温冷感や乾湿感に関するアンケートでは中間的な回答が多いものの、12月は8月と比較すると温湿度が低く、寒さや乾燥を感じる回答が多かった。また、8月に暑いと回答した人の多くは、座席の位置が建物東側階段室の近傍であった。夏期の温湿度測定結果を確認すると、特に3、4階の東側階段室付近(a-i)の温度が高くなっており、コロナウイルス感染症対策として階段室の扉を常開にしていたため、下階からの暖気が流入したことが原因として考えられる。ドラフト感を感じる割合は、12月は8月に比較すると若干減少していた。温熱環境の満足度については、中間的な回答の割合が12月の方で増加しているが、ばらつきが目立つ結果であった。

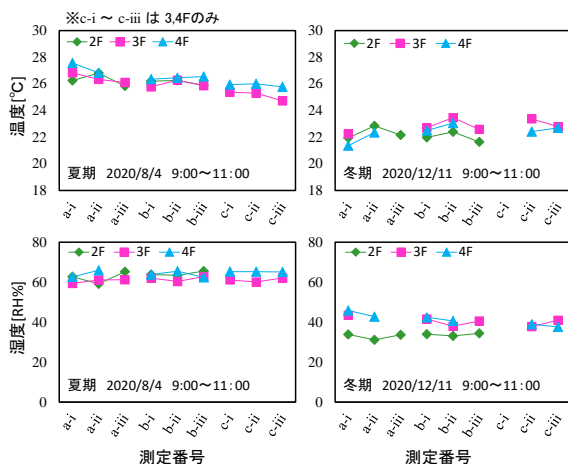


図-13 アンケート実施時の執務空間の温湿度測定結果

表-2 アンケート調査概要

対象者	管理棟2~4階の執務者36名
対象室	管理棟2~4階の執務室(茨城県つくば市)
実施方法	・ Microsoft Forms を使用 ・ 回答期限付きURLを対象者(36名)にメール送付 ・ 自席在席者が現在どのように感じているかを回答
実施期間	日 8/4、8/20、8/27、9/10、9/14、10/26、12/4、12/9、12/11 時間 ①9:00~11:00 ②13:00~15:00 ③16:00~18:00 ※12/4以降、③16:00は16:30に変更

表-3 アンケートの設問および回答の選択肢

温熱環境	
Q1. 現在の温冷感について、どのように感じていますか	1.寒い 2.やや寒い 3.適当 4.やや暑い 5.暑い
Q2. 現在の乾湿感について、どのように感じていますか	1.乾いた感じ 2.やや乾いた感じ 3.どちらともいえない 4.やや湿った感じ 5.湿った感じ
Q3. 現在、気流による不快感(=ドラフト感)を感じていますか	1.感じない 2.あまり感じない 3.どちらともいえない 4.少し感じる 5.感じる
Q4. 現在の温熱環境の満足度について、どのように感じていますか	1.不満 2.やや不満 3.どちらともいえない 4.やや満足 5.満足
光環境	
Q5. 現在の自分のデスクの明るさについてどのように感じていますか	1.暗すぎる 2.やや暗い 3.ちょうどいい 4.やや明るい 5.明るすぎる
Q6. 現在の光環境の満足度について、どのように感じていますか	1.不満 2.やや不満 3.どちらともいえない 4.やや満足 5.満足

表-4 アンケート実施時の回答内訳など

	8月4日 9:00~11:00	12月11日 9:00~11:00
回答者数(回答率)	21人/36人(58%)	15人/36人(42%)
回答者男女比	男18人 女3人	男12人 女4人
天候	晴れ	晴れ
屋外温湿度	29.3℃ 73.3%RH	9.1℃ 82.0%RH 早朝霧
室内温湿度平均	26.1℃ 63.1%RH	22.2℃ 38.6%RH
アンビエント照明出力	25%	75%

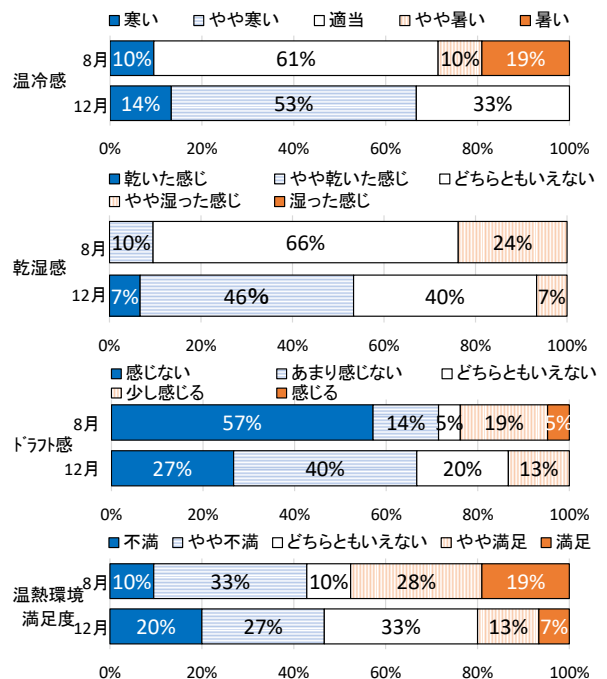


図-14 温熱環境に関するアンケート結果

b. 光環境

図-15 に、光環境に関するアンケート結果を示す。デスクの明るさ感については、アンビエント照明の出力を25%とした8月は、「やや暗い」の回答が見られたが、これを75%とした12月の結果では、不満側の回答はなくなった。

また、全アンケートを通じて推測されたのは、机上面照度が750lxを超えていた場合でも、着席時に視線を上にあげるなどして、机上面だけでなく自席周辺の印象も含めて評価していることであった。

そこで、調光出力別の光環境を、開口部からの採光の影響を排除した状況で評価するため、上記2回のアンケートとは別に、冬期の日没後(16:30以降)にもアンケートを実施した。表-5に、出力別のアンケート結果とタスク照明使用率を示す。なお、評価は表-3に示した設問回答番号を数値尺度として、その平均値を求めた。

日没以降のアンケートであるため、回答者の数は少ないものの、調光の出力を上げることで、光環境の満足度が向上していること、タスク照明の使用率が減っていることがわかる。一方、自由回答では、タスク照明によって明るさをコントロールできることに満足感を得るという回答も多くみられた。アンビエント照明で十分な照度を確保することで執務者に「タスク照明を使用しない」という選択肢が加わり、個人の好みに合わせて環境を構築しやすくなった結果、全体の満足度が向上したと考えられる。

6. まとめ

自社施設のZEB化改修後の2020年4月～2021年3月までの1年間の運用の中で取得したエネルギー消費量に関するデータを整理・分析し、以下の結果を得た。

- i. 建物のエネルギー消費量の実績値は、基準値に対して84%削減され、運用においても設計で想定したエネルギー性能を達成していることを確認した
 - ii. 設計値と実績値の差は、計算時の標準室使用条件と、運用時の使用条件の違いが主な原因として挙げられる
 - iii. 自家消費型の太陽光発電システムを採用しており、RPRの位置を本建物の受電盤から施設全体の受電盤へ変更することで、発電量が增大することを確認した
 - iv. 執務室に採用した空調機は、定格容量の中で運用ができていますが、複数の室で空間が仕切られている2階においては比較的低負荷での運転が多い
- また、執務者へのアンケートや照明出力の設定調整を行い、以下の結果を得た。
- i. 温熱環境について、大きな不満は指摘されていないものの、冬期の温湿度分布に関連した寒さおよび

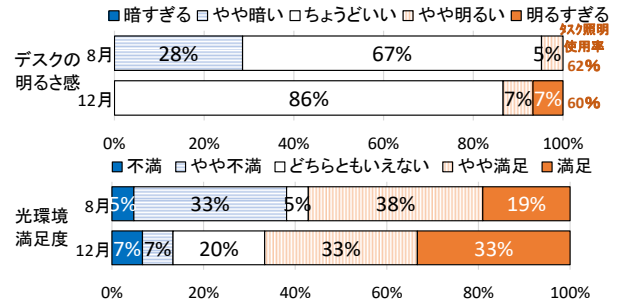


図-15 光環境に関するアンケート結果

表-5 出力別のアンケート結果とタスク照明使用率

	アンビエント照明出力(回答者数)		
	25% (n=7)	50% (n=13)	75% (n=5)
Q5.現在の自分のデスクの明るさ	2.71	2.85	3.40
Q6.現在の光環境の満足度	3.14	3.31	3.40
タスク照明使用率	57%	46%	40%

び乾きの評価結果や、夏期の温度分布に関連した暖気の流入による暑さの評価結果を得た

- ii. 机上面への採光の到達が最も少なくなる時間帯に照明の最低出力を設定し、調光下でも机上面で所定の照度以上を維持できることを確認した
- iii. アンビエント照明の出力向上による設備の最適化や、十分な照度がある空間において、タスク照明の使用の可否を執務者が自分で決められることが、光環境の満足度の向上に関係することを確認した

7. あとがき

ZEB化の提案、普及を進める上では、省エネルギー性のみならず快適性の面も意識した環境建築を追求する取り組みが不可欠である。省エネルギーと快適性の両立を根底におき、今後も継続してエネルギー収支を監視・分析していきたい。また、今回新技術として導入したタスク・アンビエント方式の照明や自然換気窓の最適な設定・運用方法についても、執務者の実際の感じ方と合わせて検証し有効性を整理していく予定である。

【参考文献】

- 1) 中央環境審議会地球環境部会、「長期低炭素ビジョン」、2017.3
- 2) 平成30年度ZEBロードマップフォローアップ委員会、「平成30年度ZEBロードマップフォローアップ委員会とりまとめ」、2019.4
- 3) 松永智弘、坂崎 隆、中西史子、岩下将也、稲留康一、「技術研究所管理棟のZEB化改修」、奥村組技術研究年報、No.46、pp.97-102、2020.9
- 4) JIS Z 9110、「2010 照度基準総則」
- 5) 国立研究開発法人建築研究所、「平成28年省エネルギー基準に準拠したエネルギー消費性能の評価に関する技術情報(非住宅建築物)」、2016