

新築オフィスビルにおける照明・温熱環境と電力使用量の実測評価

—照明制御及び空気式天井放射空調システムの室内環境評価—

今林 憲一*1・石川 久夫*1・河原 博之*2・芦谷 友美*1・西 洋亮*3

Investigate and Evaluate of Indoor Environment and Energy Consumption at New Office Building

Evaluate of Indoor Environment with Lighting Control System and Air Type Radiation Air-conditioning

Kenichi IMABAYASHI, Hisao ISHIKAWA, Hiroyuki KAWAHARA, Yumi ASHITANI, Yosuke NISHI

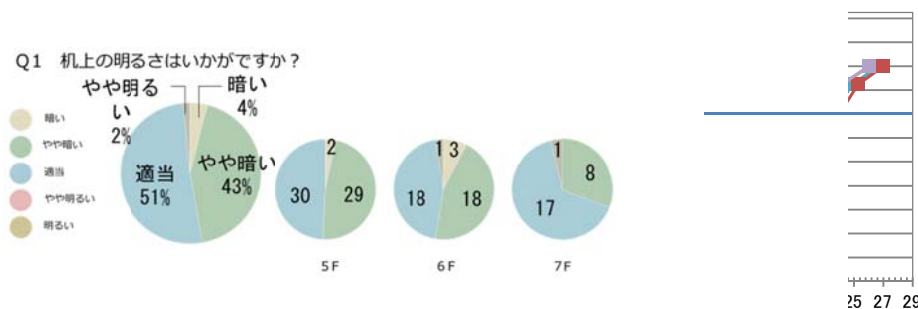


図-1 照明アンケート実施結果

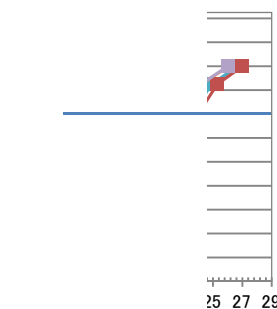


図-2 放射空調実測結果

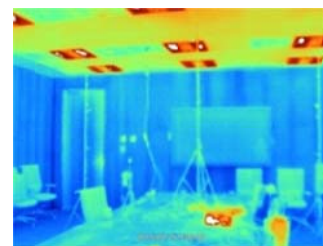


図-3 放射空調室内表面温度画像

研究の目的

最近の競争見積案件及び工事中の各物件において、省エネ提案を求められることが多くなっている。提案資料作成にあたり、イニシャルコストとランニングコストの算出が必要になってくるが、ランニングコストについては、文献値などから想定しており、実際の省エネ効果が把握できていないことが多かった。

また、今後は日々環境が変化していくオフィススタイルにおいて、ニーズにあった提案が求められてくると考えられる。最新実物件における実際のエネルギー使用量の分析を行うと共に、様々な省エネ実験を行い快適性・ストレスの有無についてアンケート調査を行うことで、省エネと快適性を考慮した技術提案を行う技術を修得し受注に貢献できるようにする。

技術の説明

東京都千代田区飯田橋三丁目の自社オフィスビルにおいて採用した以下の設備技術に対し、様々な実測評価・検証に取り組んでいる。

- ・昼光・人感センサー＋タスク・アンビエント照明
- ・サーカディアン照明（生体リズム調光）
- ・空気式天井放射空調システム
- ・加湿性能調査

これらのデータ収集するために、電力・温湿度・照度を統合的に計測するシステムを導入している。

また、快適性や業務効率のアンケート調査や連続計測データの解析・評価を行い、設備技術の最適化を目指す。

主な結論

- ・昼光・人感センサー＋タスク・アンビエント照明：アンビエント照明による机上面照度を1月～3月は750Lx、4月は500Lx、5月から300Lxにて運用した。500Lx時のアンケート調査において、業務形態がパソコン主体の部所では特に支障ないが、業務上A1図面を使用した検討を行う場合が多い部所では、ある程度の照度が必要ながかった。今後も定期的にアンケート調査を行う予定である。
- ・サーカディアン照明（生体リズム照明）：1月から午前、12時、16時、18時に色温度を変化させる運用とした。机上面照度500Lx時のアンケート調査において、一部に「色の変化が気になるなど」の意見もあったが、概ね好意的な回答が多かった。以降、アンケート調査実施すると共に、色温度変化時刻の変更を行う予定である。
- ・空気式天井放射空調システム：冬期における室内温熱環境の計測を行った。上下温度差が少なく、PMV値も良好で、快適な空間が構築できていることが分かった。夏期においても計測を行う予定である。

*1 本店 設備設計部

*3 中部支店 建築部 建築施工グループ

*2 本店 建築技術部 技術開発グループ

新築オフィスビルにおける照明・温熱環境と電力使用量の実測評価 ー照明制御及び空気式天井放射空調システムの室内環境評価ー

今 林 憲 一*¹ 石 川 久 夫*¹
河 原 博 之*² 芦 谷 友 美*¹
西 洋 亮*³

要 旨

2015年1月竣工の自社設計部門が入居する新築オフィスビルにおいて、以下の新しい省エネ型設備システムを導入した。

- ・昼光・人感センサー＋タスク・アンビエント照明 ・サーカディアン照明（生体リズム調光）
- ・空気式天井放射空調システム ・加湿性能調査

これらのデータ収集するために、電力・温湿度・照度を統合的に計測するシステムを導入している。

また、省エネ性だけではなくアンケートにより快適性・ストレスの有無についても解析・評価を行い、設備技術の最適化を目指している。

今回は、2015年1月からの約半年間における照明設備に関わるアンケート結果・測定結果、及び空気式天井放射空調システムの温度環境想定結果について報告する。

キーワード エネルギー使用量／省エネ／タスク・アンビエント／サーカディアン／放射空調

目 次

- | | |
|-----------------|--------------------------|
| 1. はじめに | 4. 空気式放射空調システムの冬期温湿度環境調査 |
| 2. 導入技術・システム概要 | 5. 今後の予定と課題 |
| 3. 照明環境のアンケート調査 | 6. まとめ |

INVESTIGATE AND EVALUATE OF INDOOR ENVIRONMENT AND ENERGY CONSUMPTION AT NEW OFFICE BUILDING Evaluate of indoor environment with lighting control system and air type radiation air-conditioning

Kenichi IMABAYASHI Hisao ISHIKAWA
Hiroyuki KAWAHARA Yumi ASHITANI
Yosuke NISHI

Synopsis:

We have adopted new energy-saving system listed below in new office building completed in Jan. 2015, where Maeda Corp. Design Department has moved in.

- ・ Daylight sensor, motion detector and task-ambient lighting ・ Circadian rhythm lighting control
- ・ Air type radiation air-conditioning ・ Different humidification system on each floor

The building has the multi-energy monitoring system to measure power, temperature, humidity and illumination simultaneously for the above mentioned measurement. We've been analyzing not only the energy-saving issues, also amenity and stress issues based on the questionnaire survey to the office tenants. Our goal is to provide the most suitable system and devices to our clients.

At this time, we report the typical result of the questionnaire survey and the actual office environment measurements for 6 months since Jan. 2015.

* 1 本店 設備設計部

* 2 本店 建築技術部 技術開発グループ

* 3 中部支店 建築部 建築施工グループ

1. はじめに

最近の競争見積案件及び工事中の各物件において、省エネ提案を求められることが多くなっている。提案資料作成にあたり、イニシャルコストとランニングコストの算出が必要になってくるが、ランニングコストについては、文献値などから想定しており、実際の省エネ効果が把握できていないことが多かった。

また、今後は日々環境が変化していくオフィススタイルにおいて、ニーズにあった提案が求められてくると考えられる。

今回、建築設計部門が入居した新築オフィスビル（飯田橋 MK ビル¹⁾）（図-1）において、最新実物件における実際のエネルギー使用量の分析を行うと共に、様々な省エネ実験を行い快適性・ストレスの有無についてアンケート調査を行うことで、省エネと快適性を考慮した技術提案を行う技術を修得し受注に貢献できるようにする。



図-1 飯田橋 MK ビル¹⁾

所在地：東京都千代田区飯田橋三丁目

主用途：事務所

敷地面積：842.24 m²

延床面積：4,547.04 m²

規模：地上7階

最高高さ：29.80m

構造：S造

竣工：2014年12月

ビル名称：飯田橋 MK ビル

2. 導入技術・システム概要

飯田橋MKビルにおいては、図-2に示す新しい省エネ型の設備・技術を導入し、室内環境の検証や業務作業性の評価を実施していく予定である。以降に各技術の内容を記す。

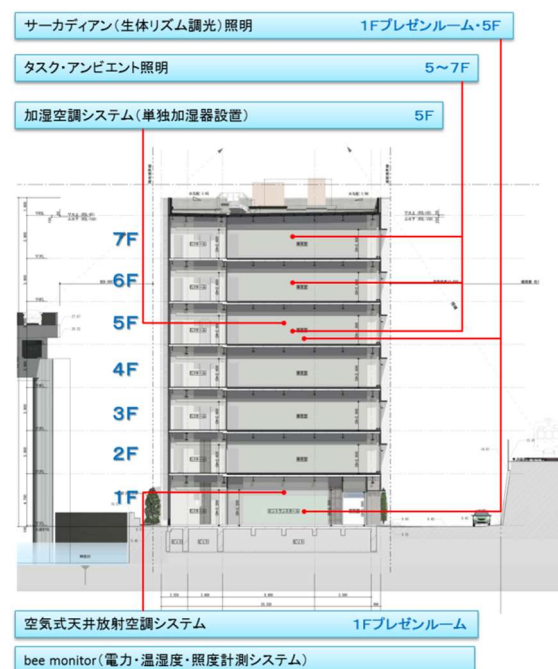


図-2 飯田橋MKビル 検証対象の導入技術

(1) タスク・アンビエント照明

各階専有部 513 m²を 15 の照明ゾーンに区分し天井に昼光センサーを設置し自然光を踏まえて設定照度を確保するシステムとしている。

タスク照明（デスク照明）とアンビエント照明（全体照明）により机上では 750Lx 確保を前提とし、システム天井用の LED 調光機能付き照明器具を従来の 750Lx より低い照度設定で運用する。省エネ性と作業への影響を確認する。タスク照明は図-3 に示す通り、各フロア・ゾーン毎に異なる照明を設置している。色温度や使用勝手の違いにより、業務にどのような影響の実験・評価を行う。

	5F		7F
	6200K・Ra85 427 lm 消費電力:13.0W		5000K・Ra85 840 lm 消費電力:11.9W
	6F		6F(フリーアクセス部分)
	5800K・Ra70 421 lm 消費電力:6.0W		5000K・Ra80 393 lm 消費電力:8.4W

図-3 各フロア・ゾーンのタスク照明

(2) サーカディアン（生体リズム調光）照明

5F に天井用の LED 調光・調色付き照明器具を導入し、人間本来の生体リズムに合わせた調光・調色によりストレスの無い執務空間を創造する（図-4）。

他フロアとの業務効率性の比較や、朝・夕に設定の照度を低減することによる省エネ効果を検証する。



図-4 サーカディアン照明使用状況

(3) 空気式天井放射空調システム

1 階のプレゼンルームにおいて空気式天井放射空調システムを導入している。放射パネルからの放射熱を利用し省エネで温冷房感効果の高い空間を目指している（図-5）。イニシャルコストで水式より有利な空気式を採用した。

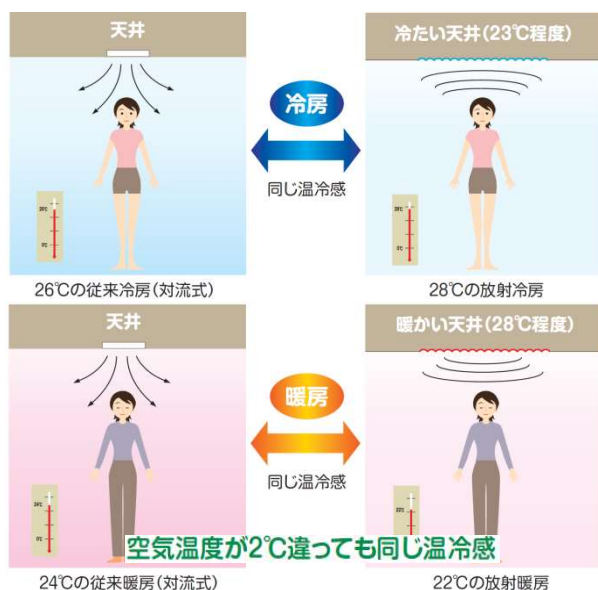


図-5 従来空調と放射空調の違い

（同一温冷感時の設定温度）

(4) 加湿空調システム

最近のオフィスビルにおいては、パッケージエアコンが普及しており、この加湿システムでは冬期における加湿量確保が課題となっている。通常のシステムである加湿器内蔵型のパッケージ型空調機では、使用状況によっては、加湿量が確保されないケースが見られる。そこで、フロア毎に異なる加湿方式（図-6）を採用し、さらに運用方法を実験的に変更し、最適な運用方法を確認する。

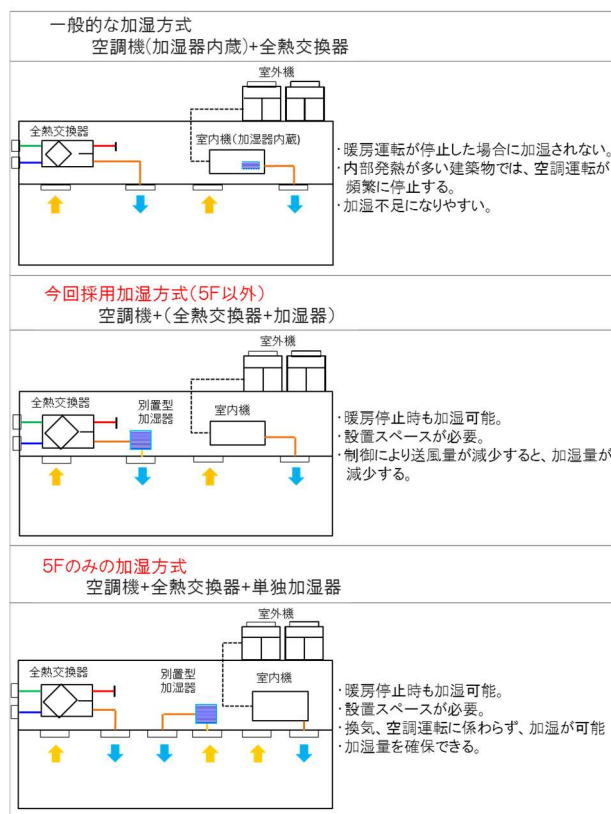


図-6 加湿空調システム

(5) 電力・温湿度・照度計測システム（bee monitor）

消費電力に加えて温度・湿度・照度のオフィス環境を分かりやすく見せることが可能な計測システム（bee monitor）を導入している（図-7）。照明・コンセント及び空調別の電力使用状況やゾーン毎（図-8）の温度・湿度・照度をリアルタイム観測が可能である。本システムにより下記要素の検討を行うことができる。

- ・照度のリアルタイム結果と消費電力の関連性
- ・インテリアゾーン・ペリメータゾーンの温湿度特性と、熱流体シミュレーション結果との比較
- ・上記検討を元にした高度な省エネ提案、シミュレーション提案

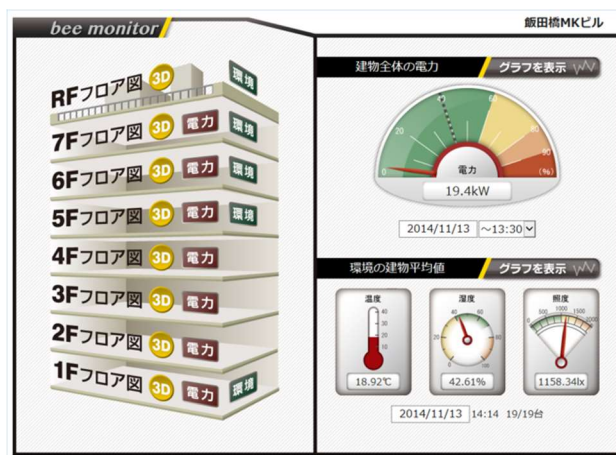


図-7 bee monitor 画面

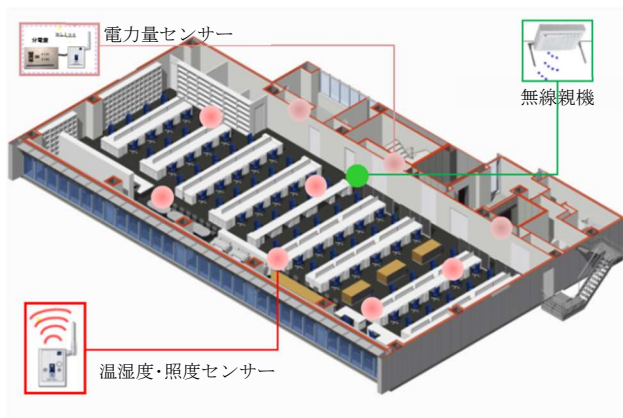


図-8 電力・温湿度・照度測定システム配置

3. 照明環境のアンケート調査

3.1 調査概要

入居後3ヶ月間の1～3月はアンビエント照明を一般オフィスと同様に机上面照度750Lxにて運用した。その後、4月に500Lx、5月に300Lxに変更し、照度低下時についてアンケート調査を行った。また、5階のサーカディアン照明についてのアンケート調査も合わせて行った。

色温度変化は0～12時：5,000K、12時～16時：4,500K、16時～18時：4,000K、18時以降：3,000Kにて運用した。照度・色温度の実験状況を表-1に示す。アンケート内容は参考文献²³⁾に基づき作成した。

なお6月以降は、タスク照明のフロア間変更を行い、最終的に設計業務に最適なタスク・アンビエント照明の最適な方式・仕様を見出していく予定である。

表-1 アンビエント照明の設定照度及び色温度

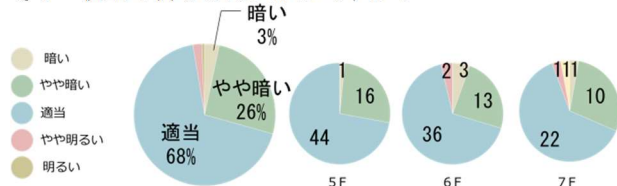
月	アンビエント照明設定照度	色温度	
		5F	6・7F
1～3月	750Lx	3,000K～ 5,000K	5,000K
4月	500Lx		
5月	300Lx		
6月	300Lx		

3.2 調査結果

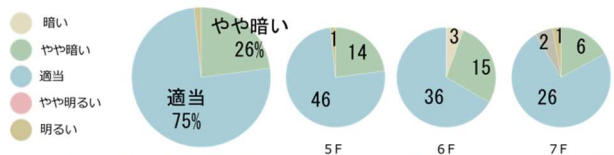
(1) 机上面照度500Lx時（4月）

主なアンケート結果を以下に示す。アンケート回答率は79.4%（150/189人）であった。

Q1 机上の明るさはいかがですか？

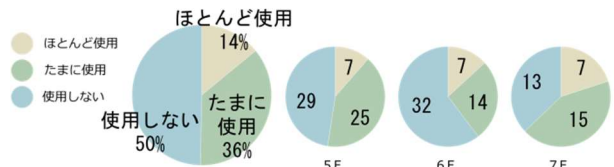


Q2 室内の明るさはいかがですか？



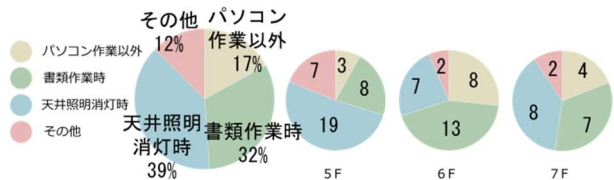
・適当の意見が75%と多く、Q1と合わせて近年の事務所ビルでは500Lxの案件が増えていることも分かる。

Q3 デスク照明は使用していますか？



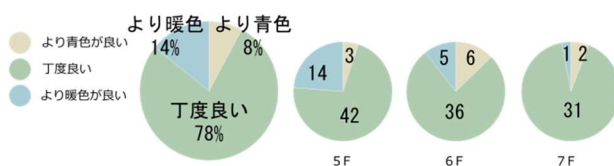
・全体照度が500Lxではあまりデスク照明は使用していない。

Q4 どのようなケースでデスク照明を使用していますか？



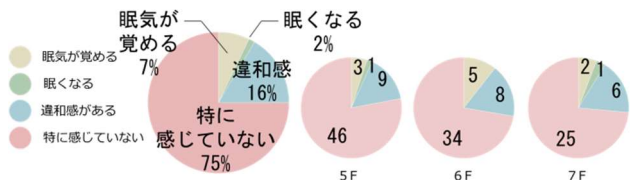
・6Fに主に図面チェック業務を行う部所があるため、書類作業時に使用していることが多くなっている。

Q5 デスク照明の色温度はいかがですか？



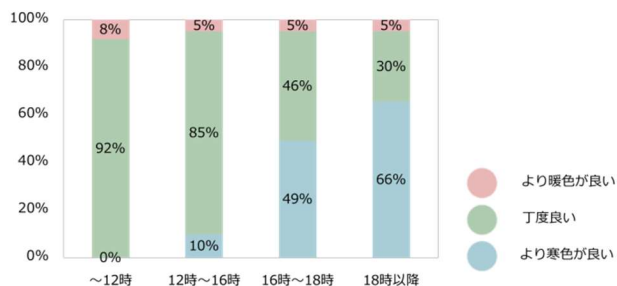
・色温度による影響は少ないのが分かる。

Q6 デスク照明を使用することで業務への影響はありますか？



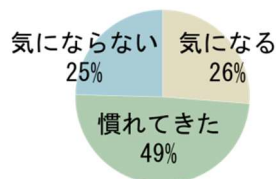
・デスク照明を使用することで業務への影響がない意見が多い。

Q 7 サーカディアン照明について色温度はいかがですか？



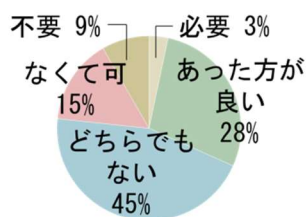
- ・夕方以降の色温度及び変更時間を修正する必要があると思われる。

Q 8 色温度変化に違和感を感じますか？



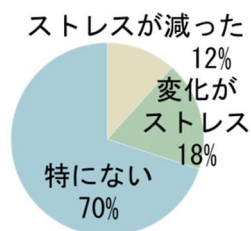
- ・「慣れてきた」意見が多い。

Q 9 色温度変化はあった方が良くと思いますか？



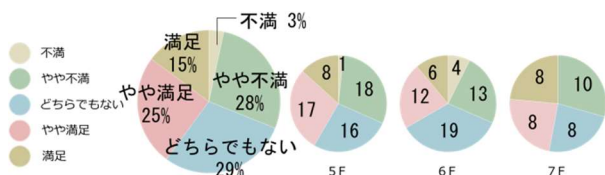
- ・「あった方が良く」、「どちらでもない」の意見が多い。

Q 10 個人への影響はありましたか？

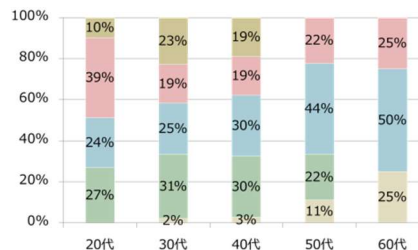


- ・特に影響を感じていない方が多い。

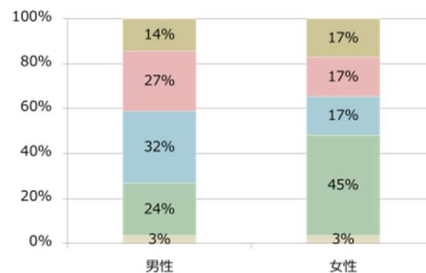
Q 11 全体を通して現在の照明環境に満足していますか？



■ 年代

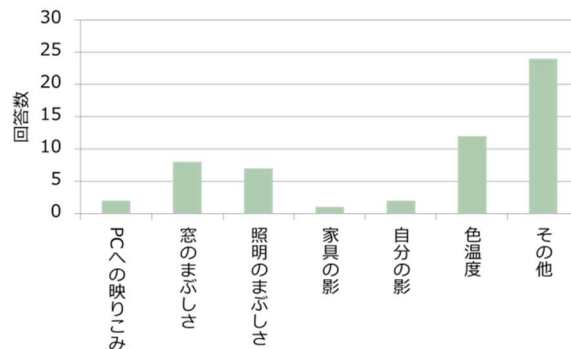


■ 性別



- ・年配者になるほど不満が多くなっている。
- ・男女間の差はあまり見られない。

Q 12 不満の原因は何ですか？



その他として多かった意見

- ・向かいの席のデスク照明が目に入る。
- ・日没後の窓際がやや暗く感じる。
- ・天候が悪い日はとても室内が暗い気がする。
- ・アンビエント照明にムラがある。

上記アンケート結果より、設計業務として特徴的な図面チェックを多く行う部所の照度は 750Lx に戻すこととした。

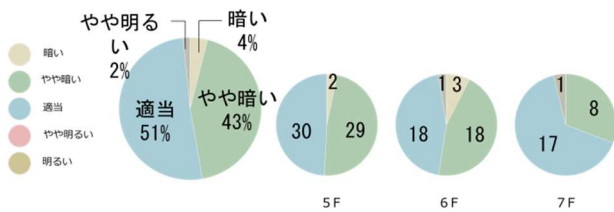
(2)机上面照度 300Lx 時 (5月)

アンケート回答率は 68% (127/187 人) であった。

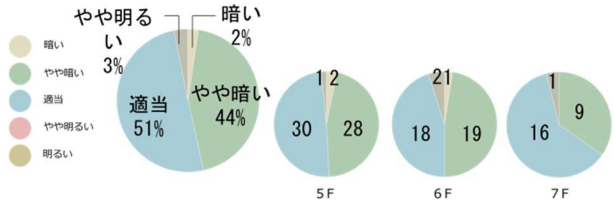
前回より回答率が減ったのは対象者の慣れ及び啓蒙不足であったと思われる。

主なアンケート結果を以降に記す。

Q 1 机上の明るさはいかがですか？



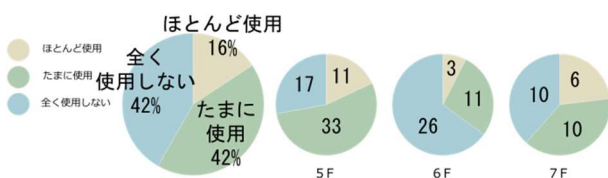
Q 2 室内の明るさはいかがですか？



- ・「適当」の意見が51%と4月より大きく減った。

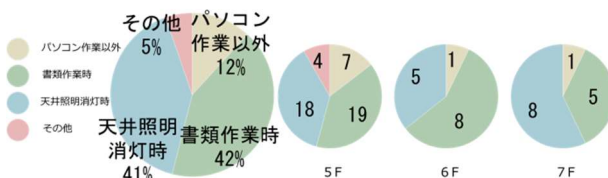
最近の事務所ビルでは 300Lx の案件もでてきているが、設計業務には適していないことも分かる。

Q 3 デスク照明は使用していますか？



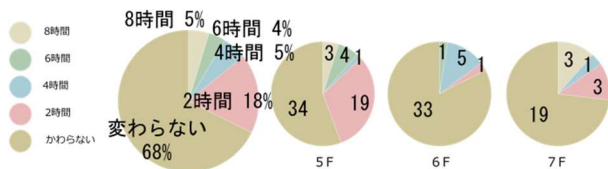
- ・全体照度が 300Lx でも使用しない方はまだ多い。

Q 4 どのようなケースでデスク照明を使用していますか？



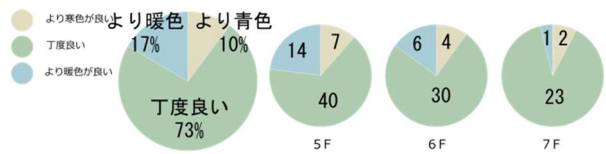
- ・6F に主に図面チェック業務を行う部所があるため、書類作業時に使用していることが多くなっている。

Q 5 デスク照明の使用時間は 1 日あたり 4 月よりどの程度増えましたか？



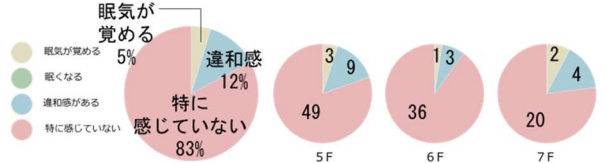
- ・約 30%の方がデスク照明の使用時間が増えたが、長時間は利用していない。

Q 6 デスク照明の色温度はいかがですか？



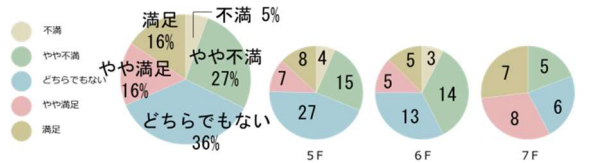
- ・より寒色を求める意見が多い。

Q 7 デスク照明を使用することで業務への影響はありますか？



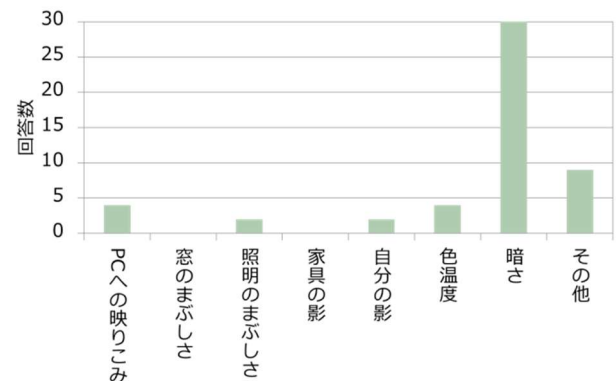
- ・デスク照明を使用することで業務への影響がない意見がさらに多くなった。

Q 8 現在の照明に満足していますか？



- ・「どちらともいえない」を満足側にとらえると 300Lx でも良いと考えることもできる。慣れてきていると思われる。

Q 9 不満の原因は何ですか？



- ・300Lx による暗さの意見が多かった。
また、色温度変更時間の要望意見が多かった。

上記アンケート結果より、色温度の変更時刻を 16:00 と 18:00 から 18:00 と 19:00 に変更した。

4. 空気式放射空調システムの冬期温湿度環境調査

空気式天井放射空調について、冬期暖房時の温湿度環境を実測し、同システムの快適性・有効性を確認した。

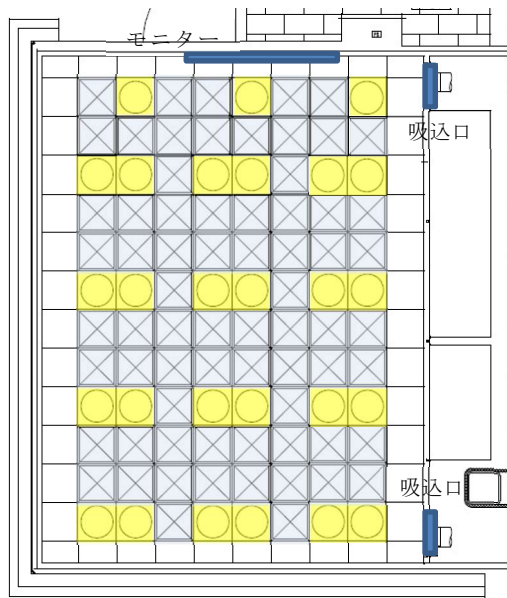
4.1 システム概要

(1) 対象室

空気式天井放射空調を採用した部屋は階高 4,700mm, 天井高 2,800mm, 床面積約 47m² のプレゼンルームであり、放射パネルの設置面積は約 25m² (600mm 角パネルを 69 枚) であり、施設率は天井の約 53%となる。室内には窓がなく、日射の影響を受けない居室であり、東面は外部、南北西面は空調室に接している。プレゼンテーションルーム内の写真及び天伏図を図-9, 10 に示す。



図-9 プレゼンテーションルーム内観



● 照明器具 (高効率型・高演色型)

■ 放射パネル

図-10 放射パネルの配置図 (天伏図)

(2) 空調システム

空調システムは、外調機 1 台と室内機 2 台のビルマルチエアコンで構成し、各々の給気を天井チャンバーを経由し、天井放射パネル (パンチングパネル) から微風速で室内に給気する。還気は、室内の下部に設置するレタングラリ (図-11) より室内機及び外調機外調機へ空気を戻す方式である。

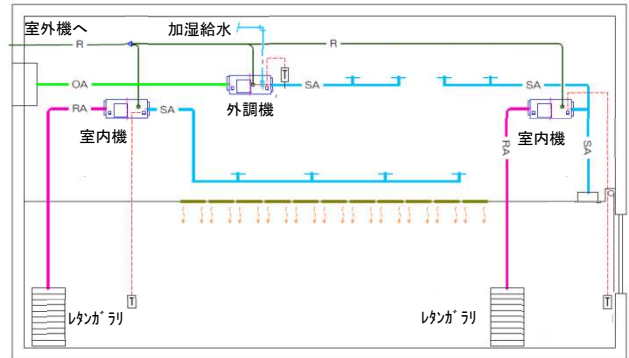


図-11 空気式天井放射空調システム

4.2 実測概要

測定期間は 2015 年 2 月 14 日 8:00~2 月 16 日 8:00 までとし、測定日 1 日目 (2/14) は設定温度 22℃: 前日夜間の換気運転停止, 2 日目 (2/15) は設定温度を 24℃: 前日夜間の換気運転稼働とした。測定項目は下記に示す 5 項目とした。測定器の設置位置を図-12 に、測定状況を図-13 に示す。

・鉛直温度: 9 点

(FL+0, +100, +600, +1400, +2000, +2700, +2800 (天井面), +3300 (天井裏), +3600 (天井裏))

・レタングラリ面温度: 2 点

・PMV 値: 2 点

・外気温湿度: 1 点

・隣室温湿度: 1 点

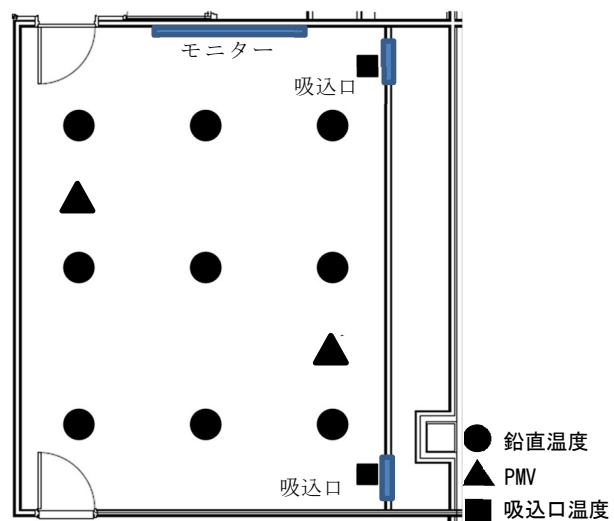


図-12 室内の測定点



図-13 測定風景

4.3 実測結果

(1) 室内温湿度

1 日目の室内温度 22℃, 2 日目の室内温度 24℃と目標値に達していることが確認できた。しかし 2 日目については、設定温度を 24℃に上げたため、湿度は 40%に届いていなかった (図-14)。

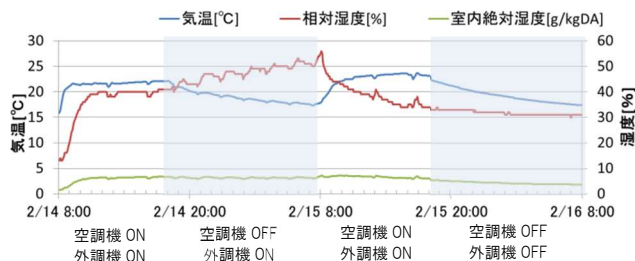


図-14 室内温湿度

(2) 空調立上り時間

両日とも、空調立上り 1 時間半後 (9:30) には設定温度に達し、上下温度差もなくなっていることが確認できた。なお、2 日目 (2/15) については、前日の空調停止時に、外調機のみ夜間も継続して運転していたため、初期温度が高くなっている (図-15・16)。

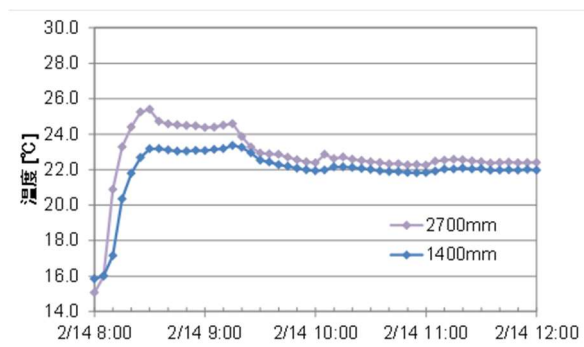


図-15 空調立上り温度 (2/14)

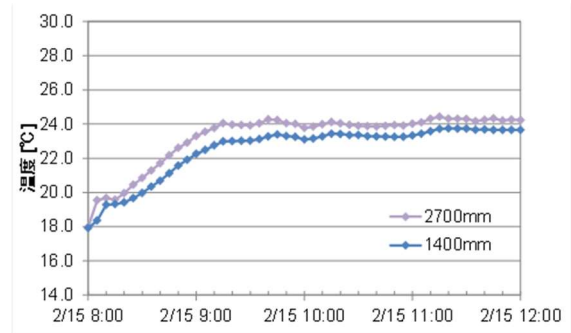
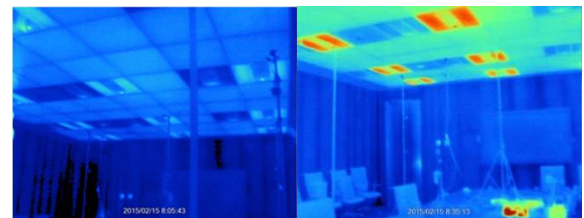


図-16 空調立上り温度 (2/15)

(3) 室内表面温度

2 日目 (2/15) の 8:00~10:00 の室内表面温度画像を図-17 に示す。暖房運転開始 30 分後には放射パネルが暖められている。また、9:30 と 10:00 の放射パネル温度の差がほとんどないことから、9:30 の時点で放射パネルも室温と同様に定常状態になっていることが確認できた。



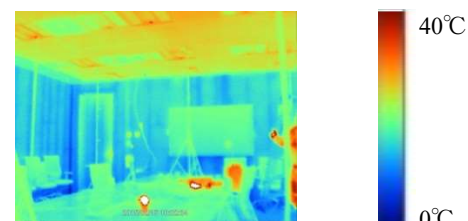
a) 8:00

b) 8:30



c) 9:00

d) 9:30



e) 10:00

図-17 暖房運転開始後の室内表面温度

(4) 上下温度分布

平均上下温度分布 (2 時間毎) を図-18・19 に示す。FL+100 から天井面までの温度差は 8:00~9:30 までの時間帯を除き、定常状態時で 1 日目は 1.4℃, 2 日目は 1.8℃となっていた。上下温度差は一般的な推奨値である 3.0℃以下に収まり、快適な温熱環境であることが確認できたが、天井表面温度は天井内温度ほど高くなく暖房時の放射環境の向上効果が期待できないことも分かった。

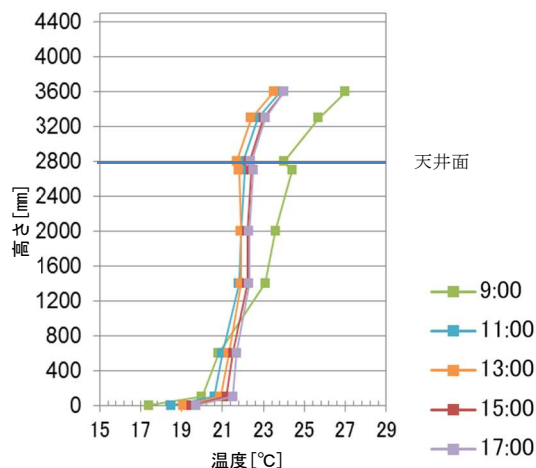


図-18 上下温度分布 (2/14)

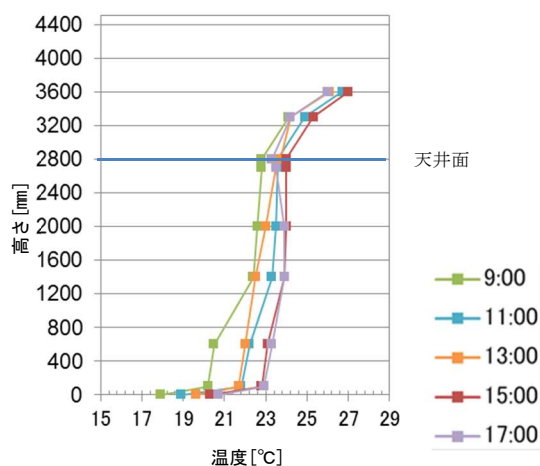


図-19 上下面温度分布 (2/15)

(5) PMV

図-20 に平均 PMV を示す。室温が定常状態であった 9:30～18:00 の平均 PMV は 1 日目は-0.38, 2 日目は-0.01 となり, 両日もとも ± 0.5 以内 (不快者率 10%以下) に収まっていることが確認できた。しかし, 1 日目については PMV 値が-0.5 より低く, 不快者率 10%を超える時間帯もあり, 全体的に設定温度を 24℃とした 2 日目の方が快適であることが確認できた。

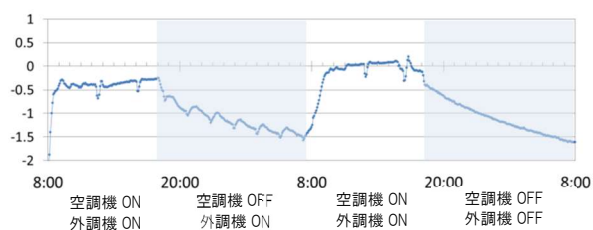


図-20 PMV 値

5. 今後の予定と課題

(1) 照明システム

現在も月毎にタスク照明のフロア間移動を行いながら, アンケート調査を実施中である。調査は 2015 年 10 月までを予定している。その後に省エネ性と快適性・業務効率性を考慮し, 設計部門として最適な照度と色温度を社内ワーキングにて検討し運用していく予定である。

(2) 空気式天井放射空調システム

夏期の実測を 2015 年 8 月に行う予定である。冬期における測定と合わせて, 省エネ性と快適性の考慮及びシミュレーション比較をしていく予定である。

(3) 加湿空調システム

2015 年度秋～冬にかけて実験的に運転方法や制御設定値を変更した運用を行い, 加湿量確保ができる方式・仕様・運用方法を見だし, 設計へフィードバックする予定である。

(4) 使用エネルギーと温湿度環境調査

年間を通してエネルギー使用量の把握と温湿度環境の関連性を確認していく予定である。今後は根拠を持った省エネ環境提案, シミュレーション提案を行えるようにしていく予定である。

6. まとめ

照明設備について, アンケート結果より, タスク・アンビエント照明は業務種別により導入検討が必要であることが確認できた。サーカディアン照明は今後も色温度変化しない状況でのアンケート調査を行い検証していく予定である。

空気式天井放射空調システムについて, 冬期温湿度実測結果より, 温熱環境の確認を行った。空調立上り時間については 1 時間半程度かかるが, 立上り後の上下温度差も 2℃以下, PMV 値も ± 0.5 以内 (不快者率 10%以下) に収まっており, 快適な居室環境が実現できていることが確認できた。

参考文献

- 1) 建築画報社 建築画報 362 号, p144～147, 2015 年 6 月。
- 2) (財)建築環境・省エネルギー機構 オフィスの知的生産性測定 SAP 入門 2010 年 1 月
- 3) (財)建築環境・省エネルギー機構 建築と知的生産性 2010 年 1 月