

Be sure. **testo**



実用ガイド 作業環境の快適性評価

はじめに

世界では数億人の人たちが日々オフィスの中で働いており、多くの人たちは自身の職場の環境に不満を抱いています。その理由として最も多く取り上げられるのは、温熱的快適性と室内空気質に関するものです。

通常、それらのクレームは測定技術者によって評価される必要があります。不満の正当性を示して、原因の特定と排除を行うために、技術者は従業員の温熱感覚を客観的に評価しなければいけません。

ビジネスの観点から考えても、空気環境は従業員のパフォーマンスに直接的に影響するため、それらの不満を深刻に受け止めるべきであることは言うまでもありません。

この実用ガイドでは、室内環境の責任者をサポートし、不満が発生した場合にはその主観的感覚に対して客観的に評価する方法を紹介します。



目次

| | |
|---|----|
| 1. 温熱的快適性とは？ | 04 |
| 2. 作業環境の快適性評価のために測定テクノロジーが活用される理由 | 05 |
| 3. 測定技術者が温熱的不満に対して取るアクション | 06 |
| 3.1 準備 | 06 |
| 3.2 雰囲気温度・湿度の測定 | 07 |
| 3.3 PMV/PPDの測定 | 08 |
| 3.4 乱流とドラフトの測定 | 15 |
| 3.5 その他の快適性評価の基準 | 17 |
| 3.6 室内空気質の評価 | 18 |
| 4. まとめ | 20 |

1. 温熱的快適性とは？

温熱的快適性は心身のパフォーマンスに強く影響します。

人間の熱への感度は、熱平衡（熱バランス）に依存します。この熱平衡は、以下に挙げる周囲の大気パラメータだけでなく、活動量や着衣量の影響も受けます。

- 空気温度
- 輻射熱
- 気流（ドラフト）
- 湿度

人は熱的に中立と感じるとき、つまり周囲の大気パラメータ（温度、湿度、気流、輻射熱）が快適とわかったときに、心地よさを感じます。室内の空気が、暖かいか寒いか、乾いているか湿っているか、ということに絶対的な条件はありません。温熱的快適性は、運動や衣服の種類にも依存します。

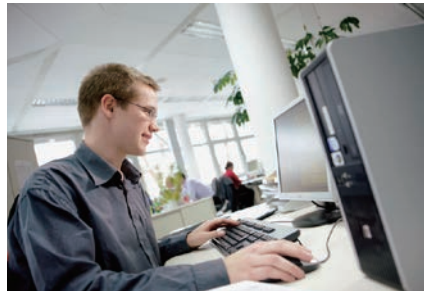


図1：温熱的快適性にはさまざまな要因が影響します。

2. 作業環境の快適性評価のために 測定テクノロジーが活用される理由

職場における温熱的快適性は、労働者にとって不要の贅沢ではなく、パフォーマンスと生産性のための基本的な要望です。

労働者が職場の空気環境に対して不満があると温熱的な不満を訴えますが、それは最適な測定テクノロジーを用いて客観的な測定結果に置き換えられなければいけません。これは現状を評価する最善の方法です。

もしすべての測定結果が正常範囲内であれば、測定技術者は換気空調システムの誤作動の可能性を否定することができます。同時に、労働者の温熱的な不満を別の水準で分析しなければいけません。

例えば、仕事に対する不満、同僚とのいざこざ、プライベートな悩みや健康問題など、その他の原因もたくさんあるでしょう。それらが、温熱的快適性をどう感じるかに対しても影響を及ぼすこともあるのです。

専門的な測定テクノロジーの利点

1. 主観的な主張を客観的に評価することができる。
2. 換気空調システムが正常に機能しているかどうか確認できる。
3. 測定結果を文書化および分析できる。
4. 高品質な測定テクノロジーを活用することで、測定結果への信頼性が高まる。

3. 測定技術者が温熱的不満に対して取るアクション

3.1 準備

労働者が職場の空気環境に不満があるとき、まずはそれを深刻に受け止めて、正しく検証していくことが求められます。

換気空調システムの点検

技術者は、職場を詳しく検証する前に、換気空調システムが正しく設定されているか調べます。空調システムの温度制御はどうなっているか、室温センサで測定された温度が正しくフィードバックされているか、空調システムの設定が変更された履歴はないか、ひとつひとつ確認していきます。

作業環境の初期点検

作業環境の快適性評価を始める前に、労働者の不満の内容を正確に把握する必要があります。寒すぎるのか暑すぎるのか、乾いているのか蒸しているのか、もしくは不適切に設置された給気口からの風が吹き当たっているのか。問題は常に起きているのか決まった時間のみ起きているのか。

現場のコンディション

現場の第一印象を形づくるために以下の点に注意を払う必要があります。

- 室内の温度センサが、直射日光や風の当たる場所や覆われた箇所など、不適切に設置されていないこと。これは空調システムの集中制御装置に不正確なフィードバックを送る恐れがあります。
- 給排気口が埃や汚れで閉ざされていないこと。
- 窓が開いたままになっていないこと。
- 不適切な増改築がされていないこと。

3.2 雰囲気温度・湿度の測定

労働者からの不満の有無にかかわらず、簡単な温湿度の測定を行い、空気状態についての情報を得ることは有益です。

testo 400 を使用した測定手順

testo 400 と専用の温湿度プローブを部屋の中央に持っていき、表示された測定値が安定するまでプローブを高さ60センチくらいの空中で前後に軽く振ってみましょう（速さはおよそ1.5 m/s）。呼気によって測定値が変動しないように気を付けてください。



図2：マルチ環境計測器 + IAQプローブ（有線ハンドル付き）

結果と分析

測定結果は室温（℃）と相対湿度（%）から成ります。一般的に人は雰囲気温度が22～24℃で、相対湿度が40～60%の状態が快適と感じます。

DIN EN 15251 附属書 II では、相対湿度が25～60%、室温が冷房時で26℃まで、暖房時で20℃までと定められています。

※日本では建築物衛生法において、空調調和設備を設けている場合の空気環境の基準として、室温が17～28℃および相対湿度が40～70%になるように努めなければならないとされています。

温湿度測定は、室内の空気環境の初期情報を得るために行われます。測定値が上記の基準からかけ離れている場合は、空調システムの故障が原因と考えられるため、この時点ではさらに進んだ評価は必要とされません。

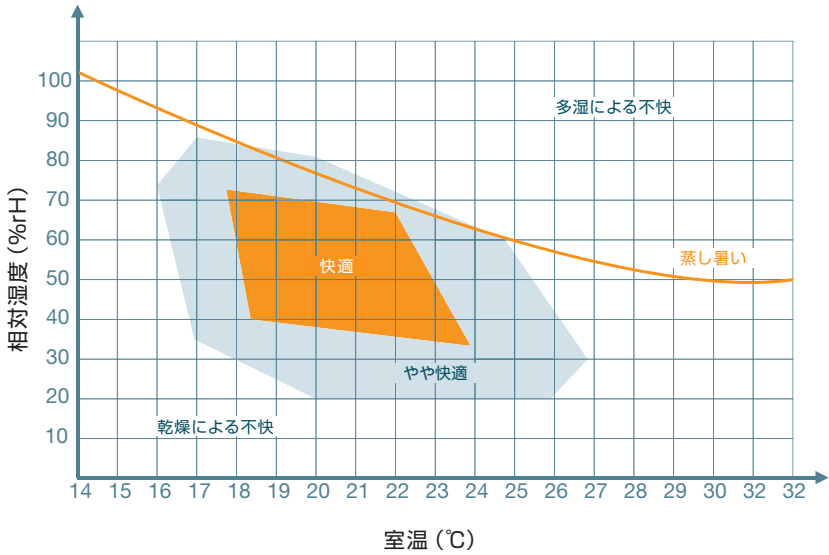


図3：雰囲気温度・湿度による快適レベル

3.3 PMV/PPDの測定

PMV/PPDの測定では、職場の空気環境におけるそれぞれの熱的要素を統合させた検証結果を得ることができ、測定結果は熱的快適性についての客観的根拠と言えます。

PMV (予測温冷感申告)

PMVは人の平均的な温熱感覚を示し、以下の要素から計算されます。

- 室温
- 放射（輻射熱）
- 気流
- 相対湿度
- 着衣量
- 活動量（代謝量）

着衣量

衣服は人の温度管理に影響を与えます。身体と室内空気の境界であるため、温熱的快適性にも直接影響を与えます。物理的に言えば、衣服は肌と周囲環境の間で熱伝達の働きをします。

活動量

活動レベルは人のエネルギー変換を示します。人の安静時代謝量は0.8 met (1 met=58W/m²)です。

PPD (予測不快者率)

PPDはその空気環境に不快を感じる人の割合を示します。PPD値はパーセントで表し、不満な人の割合は5%を下回らないとしています。なぜなら、すべての人にとって快適な空気環境はあり得ないためです。

測定のための推奨プローブ

| 測定パラメータ | 型番 | 製品名 |
|------------|-----------|---|
| 放射 (温度) | 0602 0743 | 輻射熱プローブ |
| 室温 相対湿度 | 0632 1543 | IAQプローブ (推奨) または 温湿度プローブ (0636 9743) |
| 気流 (風速) | 0628 0143 | 熱線式無指向性プローブ |

表1: 測定のための推奨プローブ

| PMV/PPD測定のための設定項目 | | | |
|-------------------------|-----|------------------|------------|
| 活動量 (met) | | | |
| 身体的活動 | met | W/m ² | マニュアル入力の範囲 |
| 横たわってリラックス | 0.6 | 46 | 0.1 ~ 0.6 |
| 座ってリラックス | 0.9 | 58 | 0.7 ~ 1.0 |
| 座って軽作業 (オフィスワーク、学習) | 1.2 | 70 | 1.1 ~ 1.4 |
| 座って作業 (実験、軽い製作作業、店舗業務) | 1.6 | 93 | 1.5 ~ 1.8 |
| 立って適度な作業 (販売、家事、機械作業) | 2.0 | 116 | 1.9 ~ 2.4 |
| 重作業 (機械を使った重作業、ワークショップ) | 2.8 | 165 | 2.5 ~ 3.0 |

※ metは代謝量を示す。1 metは58 W/m² (体表面)。

| 着衣量 (clo) | | | |
|--|-----|--------------------|------------|
| 衣服の種類 | clo | m ² K/W | マニュアル入力の範囲 |
| 裸 | 0 | 0 | 0 ~ 0.1 |
| 夏服 (パンツ、半袖シャツ、半ズボン、靴下、靴) | 0.5 | 0.078 | 0.2 ~ 0.6 |
| 薄手の仕事着 (パンツ、半袖シャツ、薄手のズボン、薄手の靴下、靴) | 0.7 | 0.11 | 0.7 ~ 0.9 |
| ビジネススーツ (パンツ、長袖シャツ、ズボン、ジャケット、靴下、靴) | 1.0 | 0.16 | 1.0 ~ 1.4 |
| 暖かい仕事着 (下着、シャツ、ズボン、厚手のジャケット、コート、靴下、靴) | 1.5 | 0.2325 | 1.5 ~ 1.9 |
| かなり暖かい仕事着 (下着、シャツ、ズボン、厚手のジャケット、コート、靴下、靴、帽子、手袋) | 2.0 | 0.32 | 2.0 ~ 2.4 |
| 防寒用衣服 (長い下着、防寒ジャケット、防寒ズボン、厚手のパーカー、厚手のコート、靴下、靴、帽子、手袋) | 2.5 | 0.3875 | 2.5 ~ 3.0 |

※ 着衣量 (clo) 1 cloは 0.155m²K/W

表2: PMV/PPD測定のための設定項目

testo 400 を使用した測定手順

1. testo 400 と専用プローブを“温熱的不満のある作業環境”に設置します。DIN EN ISO 7730 では、湿度と放射は平均的な高さ (0.6 または 1.1m) で測定するように指示しています。気温と気流は3通りの高さ (0.1/0.6/1.1m または 0.1/1.1/1.7m) で測定します。
2. 実際のPMV/PPD測定を始める前に、輻射熱プローブ (グローブ温度計) の順応時間 (20 ~30分) を考慮してください。輻射熱プローブの測定値が安定する時間を見計らって、測定の開始時間を遅らせるプログラムを設定してください。
3. PMV/PPDの測定メニューがユーザーをガイドしてくれます。着衣量や代謝量に加え、測定時間や測定間隔も設定する必要があります。これらの設定は、測定する環境と条件によって異なります。



図4: testo 400 PMVセット



図5: testo 400 を使用した測定

測定時間と測定間隔

例えば労働者が恒久的な温熱的不満を持っている場合は、温熱環境について結論を出すために、迅速に短時間の測定を行うことで十分なことが多いでしょう。しかし、一日の中で異なる時間に起きる断続的なもの場合は、長時間測定を実施することが適しています。

空調システムの日次の制御は、一時的に熱的不快を生じることがあります。長時間測定する場合は、5～30分の比較的短い測定間隔で設定してください。これは、より多くのデータが、時間の観点でさらに正確な分析を可能にするためです。testo 400は最大およそ100万もの測定値/演算値を記録できる内蔵メモリを搭載しており、大容量のデータを記録およびエクスポートすることができます。

オプションのIAQデータロガーを使用すると、最大6プローブ（有線プローブ×2+K熱電対×2）を接続して、およそ36万の測定値/演算値を記録することができ、その間はtesto 400を別の用途に使用することができます。

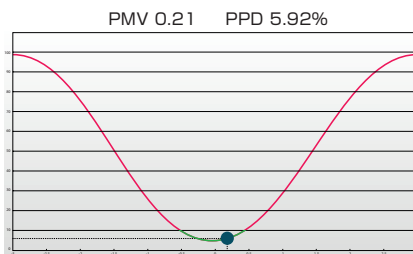


図6: PMV/PPD グラフ

結果と分析

短時間の測定でも、一日を超える長時間の測定でも、測定プログラムさえ設定すれば、全体の測定時間におけるPMV/PPD値の平均値を得ることができます。一定の環境下では、これで十分有益です。

また長時間の測定では、ある時間のPMV/PPD値を個別に分析するオプションも用意されています。これはtesto 400に付属されているPCソフトウェアを使用して簡単に行うことができます。

周囲の空気環境に応じて、PMV値は+3から-3までの数値で表され、-0.5から+0.5までの範囲が温熱的に快適とされています。

| PMV 評価尺度 | |
|----------|-------|
| +3 | 暑い |
| +2 | 暖かい |
| +1 | やや暖かい |
| 0 | 中立 |
| -1 | やや涼しい |
| -2 | 涼しい |
| -3 | 寒い |

表3: PMV 評価基準

測定結果は、グラフまたは表形式で表示されます。図6では、PMVが0.21、PPDが5.92%の環境での測定結果をグラフで表しています（緑の線上の青い点）。緑の線は、ISO 7730 附属書 Bにおける温熱的快適の範囲です。

PMVが±0.5の範囲外の場合は、原因の究明が必要です。最初のステップとして、各パラメータ（輻射熱、室温、湿度、気流）の測定結果を詳しく見てみましょう。例えば、室温と輻射熱に大きな差異が見つかった場合は、窓からの直射日光が原因かもしれません。

作業環境の快適性評価

どのパラメータが異常かによって、欠陥のある部品、空調システムの誤設定、または現場のコンディ

ション（給気口、窓、構造的な変更など）に原因が定まっています。

| 部屋のタイプ | 活動量 (met値) | 着衣量 (clo値) | | 附属書 | 輻射熱 (°C) | | 最大平均風速 (m/s) | |
|---|------------|------------|-----|-----|------------------|------------------|--------------|------|
| | | 夏 | 冬 | | 夏 | 冬 | 夏 | 冬 |
| 個人オフィス 会議室 講堂 カフェテリア/ レストラン 教室 | 1.2 | 0.5 | 1.0 | B | 24.5 ± 1.5 | 22.0 ± 2.0 | 0.19 | 0.16 |

最大平均風速は、室温と輻射熱が等しく、乱流レベルが40%の環境に基づいています。相対湿度の60%と40%は、夏と冬に適用されます。最大平均風速を測定するには、夏冬ともに範囲内の低い温度が選択されます。

表4： DIN EN ISO 7730からの抜粋

3.4 乱流とドラフトの測定

PMV/PPD測定のほかにも、温熱的な不快感を検証する測定方法があります。例えば、労働者がドラフトについての具体的な不満がある際は、乱流またはドラフトの測定を実施します。

測定パラメータの定義

無指向性の風速プローブを用いて風速を記録します。テストの熱線式無指向性プローブは、DIN EN 13182、DIN EN ISO 726、DIN EN 12599の技術的要件に適合しています。



図7: testo 400を使って3段階全ての高さでの測定が可能

乱流

乱流とは、空気の流れが安定しているかしていないかを表す尺度であり、ドラフト率を計算するために必要です。乱流を計算するには、風速の標準偏差 (S_v) を測定しなければいけません。

$$T_u = \frac{S_v}{\bar{v}} * 100 [\%]$$

S_v = 瞬時風速値の標準偏差
= 平均風速値

測定

測定のために以下の要件に対応しなければいけません。

- 応答速度が早い熱線式風速プローブ
- 活動に応じて以下3段階の高さで測定
立って活動: 0.1 / 1.10 / 1.70m
座って活動: 0.1 / 0.6 / 1.10m
- 測定期間: 180秒 (推奨)
- 測定間隔: 1秒

ドラフト

ドラフト率は、空気の流れが速すぎることで不満足に感じる人の割合を示します。計算には、室温 (ta)、平均風速 (V)、乱流 (Tu) が含まれます。

$$DR = (34 - ta)(v - 0.05)^{0.62} (0.37 \times v \times Tu + 3.14) [\%]$$

DR = ドラフト率

ta = 局所の室温 [°C]

V = 局所の平均風速 [m/s]

Tu = 局所の乱流 [%] (計算により可変)

DIN EN ISO 7730 附属書 Bではドラフト率の最大許容値を20%としていることから、図8の測定値は範囲内と言えます。

結果と分析

testo 400では以下のような測定結果を取得できます。測定された平均風速と平均温度、それらによって計算された乱流とドラフト率を確認できます。図8ではドラフト率が7%になっています。

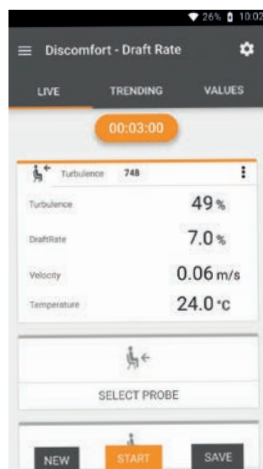


図8：（上から）乱流、ドラフト率、平均風速、平均温度

3.5 その他の快適性評価の基準

垂直温度勾配

頭部から足までの高さの垂直的な温度差が大きいと温熱的な不快につながります。

測定

垂直方向の室温の違いを調べる場合は、座っている人の頭部の高さ (1.10m) と足の高さ (0.1m) の温度差を測定します。

結果と分析

ISO 7730 附属書 B の快適性の基準に対応するには、温度差は3K (ケルビン) 以下でなければいけません。

床温度

床が暖かすぎると、または冷たすぎると、足の温熱感覚により不快を感じます。快適性のためには、床の材質というよりは、床の温度が重大な要素になります。

結果と分析

ISO 7730 附属書 B では、床温度は19～29℃としています。



図9：床面での測定

3.6 室内空気質の評価

温熱的な快適性に加えて、IAQ (Indoor Air Quality、室内空気質) を最適に保つことが重要になってきます。この観点では、二酸化炭素濃度が“良い”空気質のための重要な指標になります。“良くない”空気質は、二酸化炭素濃度の過剰が原因で、疲労や集中力の欠如を引き起こし、ときに病気に繋がります。

測定

マルチ環境計測機 testo 400 を部屋の中央に設置し、前述した方法で雰囲気温度と湿度を測定します。IAQプローブを“身体から遠ざけて”固定させて(高さ0.6m)、順応時間(30~60秒)の後の測定値を読みます。二酸化炭素濃度の測定は、就労時間に合わせて長時間測定するのが良いでしょう。続いて、一日の間でどの時間で

二酸化炭素濃度が高くなるのか、どの空調システムが最適な換気効率を備えているのかを分析していきます。二酸化炭素濃度をもとに在室者が取るべき喚起行動についても結論を出すことができます。

結果と分析

表5では二酸化炭素濃度の許容基準を示しています。

実際問題として、職場の二酸化炭素濃度は1,000ppmを超えるべきではありません(ドイツの衛生学者ペッテンコーファーによる)。最適な室内空気室を得るには、一部屋あたり少なくとも $50\text{m}^3/\text{h}$ の換気効率を維持する必要があります。

二酸化炭素濃度 許容基準

| CO ₂ vol% | CO ₂ ppm | 参照 |
|----------------------|---------------------|----------------------------|
| 0.033 ~ 0.04 | 330 ~ 400 | 地方の新鮮な空気 |
| 0.07 | 700 | 都会の空気 |
| 0.1 | 1,000 | オフィス内の限度 (ベッテンコーファーによる最大値) |
| 0.5 | 5,000 | 最小肺胞内濃度 (MAC) |
| 0.7 | 7,000 | 上映後の映画館内 |
| 2 | 20,000 | 短期間での生理学上許容値 |
| 2 ~ 4 | 20,000 ~ 40,000 | 激しい息づかい、心拍数の上昇 |
| 4 ~ 5.2 | 40,000 ~ 52,000 | 呼気 |
| 4 ~ 8 | 40,000 ~ 80,000 | 頭痛、めまい |
| 8 ~ 10 | 80,000 ~ 100,000 | 発作、意識喪失、燃えたらうそくが消える |
| 20 | 200,000 | 数分で死亡 |

表5: 二酸化炭素 許容基準

曲線はそれぞれの二酸化炭素濃度における不満足者の割合を示します。

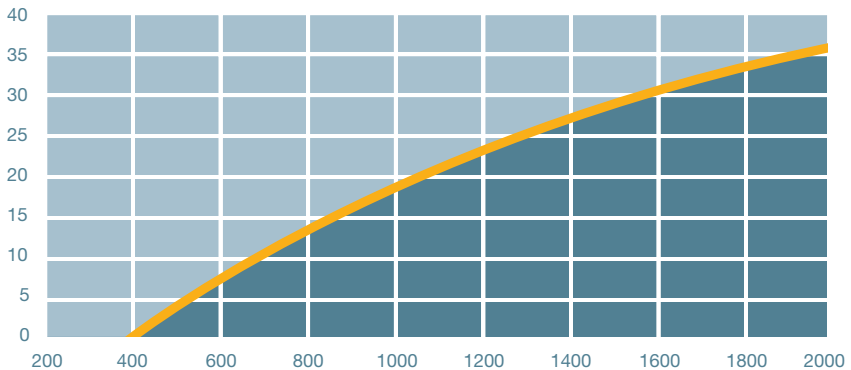


図10: 二酸化炭素濃度に対する不満足者率

4. まとめ

空調設備が整った新しいビルや省エネを目的とした建物の中で働く人の数が増えるにつれて、職場の温熱的な不快を訴える人も増えています。

空調システムや空気環境測定の技術者にとって、最適な測定技術なしでは、個々の温熱的不満と実際の室内空気環境からくる悪影響の違いを見つけることができません。起こり得るすべての換気空調システムの悪影響を排除していくために、

測定は非常に重要なのです。その点で、簡易な測定方法の実施は、ビル内の不十分・不正確に設定された喚起空調システムが引き起こすリスクと釣り合いません。

マルチ環境計測器 testo 400 と豊富な専用プローブを用いることで、管理者はあらゆるパラメータを素早く効率的に記録・分析・文書化して、最適で確実な測定を実施することができるのです。

*本カタログの内容は、予告なく変更される場合があります。

(2019.04)

株式会社テストー www.testo.com

〒222-0033 横浜市港北区新横浜 2-2-15 ハレアナビル7F

● セールス TEL.045-476-2288 FAX.045-476-2277
● サービスセンター(修理・校正) TEL.045-476-2266 FAX.045-476-2277

☎ヘルプデスク TEL.045-476-2547

ホームページ <http://www.testo.com> e-mail info@testo.co.jp