

大手門タワー・J Xビルにおけるデスク組込み型パーソナル空調

Desk Built-in Personal Comfort System in the Otemon Tower JX Building

三菱地所設計 設備設計二部

Mitsubishi Jisho Sekkei Inc. MEP Engineering Planning Department II

羽鳥 大輔

Daisuke HATORI

キーワード: デスク組込み型パーソナル空調システム (Desk Built-in Personal Comfort System)、
大手門タワー・J Xビル (Otemon Tower JX Building)、オフィスビル (Office Building)
放射空調 (Radiation air conditioning)、アンケート調査 (Results of Questionnaire)

1. はじめに

近年、オフィスにおける知的生産性の向上や働き方、健康への関心が高まっている。一方でZEBを目指す環境負荷低減も求められており、快適なオフィス環境と省エネルギーを両立させることが求められている。このような課題に対し、先進的な技術を導入した大手門タワー・J Xビルにおいて、一部エリアに放射空調やデスク組込み型パーソナル空調システム（以下、タスクデスク）を設置し、実証検証を行っている。タスクデスクを開発した実験経緯と、本ビルの実運用下における夏期アンケート結果を報告する。表1に建物概要を示す。

2. 環境技術の取組み概要

建物は基準階の1フロア（約2,800 m²）を次世代オフィス実証フロアと位置づけ、水式放射パネルを事務室フロア全域に導入している。また、一部にタスクエリアとして、タスクデスク42台（対流のみ）を設置した。1Fの3×3 Lab Futureには約80 m²の執務室に放射空調と16台のタスクデスクを導入した。1Fのタスクデスクには接触式・対流式・放射式の3種類の熱伝達方式を組み込んだ。タスクデスクの設計思想は、放射空調空間を「静穏・均一な中立環境」と捉え、その空間内で様々な空調要望を持つ各個人が「好みの温熱環境を付け足す」ことで、アンビエントの負荷を減らしつつ、タスク域において執務者の多様性に対応した温熱環境満足度の向上を実現するというものである。（図1）これらタスクデスクの衝立上部にはフレーム内蔵型の照明を設置し、デスク周辺の天井と机上面を個別に照射することでタスクアンビエント照明も可能にしている。照度や色温度も調節可能とすることで、各個人の光環境満足度も高める。本建物の空調熱源は地域冷暖房であるが、放射空調やタスクデスク用に個別に水冷チラーを屋上に設置し、14℃の高温冷水を送ることで熱源機器の高効率運転による省エネルギーも図っている。図2にタスクデスクを含む環境技術の取組み概要を示す。

表1 大手門タワー・J Xビル概要

所在地	東京都千代田区	敷地面積	約 6,900 m ²
外観		延床面積	約 108,000 m ²
		階高	4.35 m (基準階)
		天井高	2.85 m (基準階)
		階数	地下:5F 地上:22F 塔屋:2F
		構造	地上:S造 地下:SRC造
		竣工	2015年11月

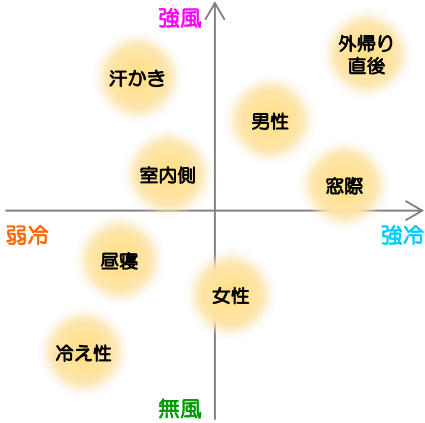


図1 執務者と空調要望の相関イメージ

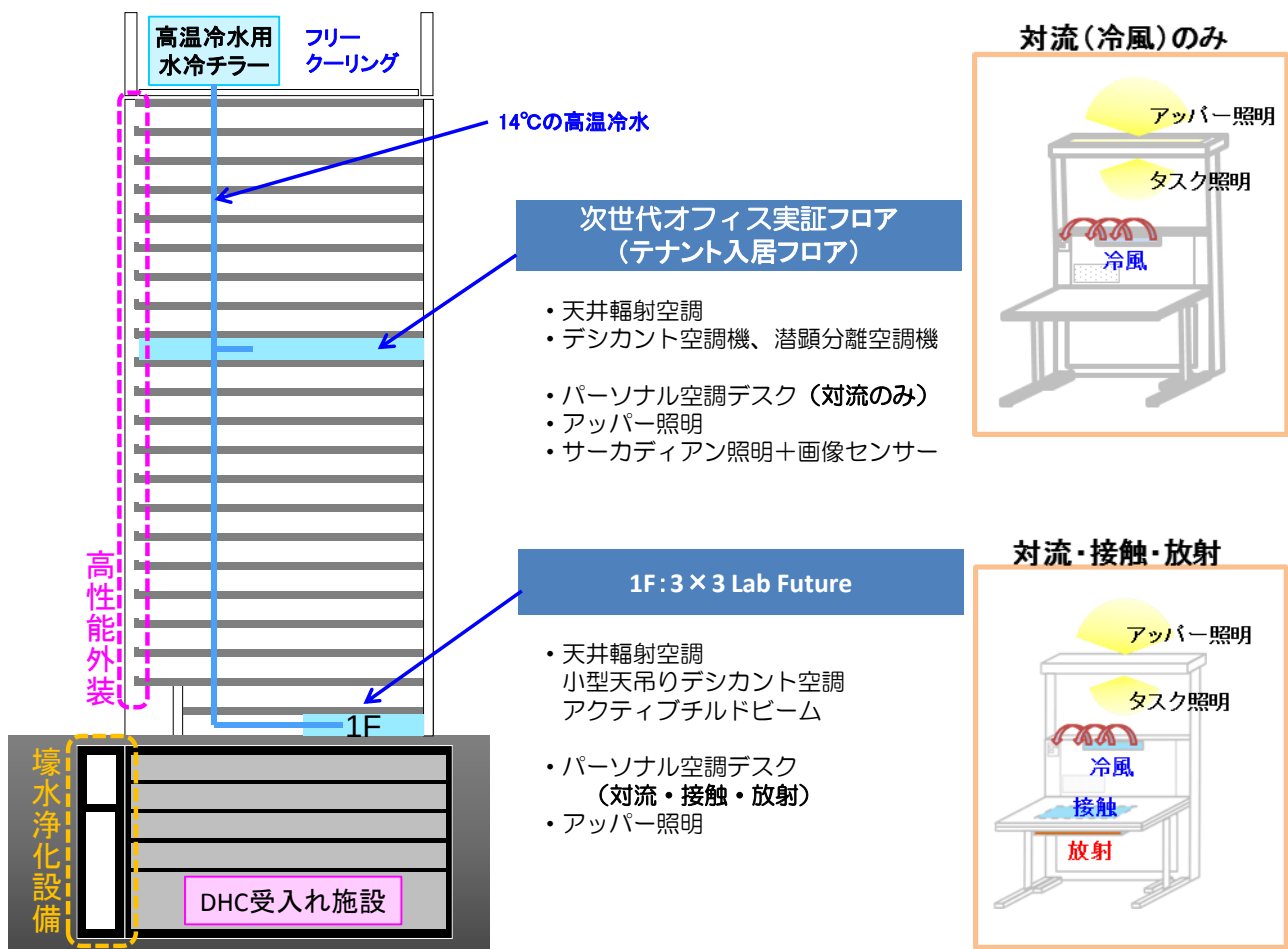


図2 環境技術の取組み概要

2. タスクデスクのシステム概要

輻射空調で用いる高温冷水（約 16° C）、温水（約 40° C）を使用し、人体をピンポイントに効率的な冷暖房を行う。冷暖房の方式は各個人の好みや代謝状態に合わせて選択できるように、小型の冷温水輻射パネルを埋め込んだ「接触式」「輻射式」と、冷水コイル・DC ファンを用いた「対流式」の3種類を実装した。図3にタスクデスクの概念図を示す。冷温水は 0.5～1.0L/min、DC ファン動力は 1～3W と非常に小さいエネルギーで大きな効果が得られる。開発にあたっては通常のオフィスデスクの形状や機能を極力阻害しないよう最大の配慮を行った。

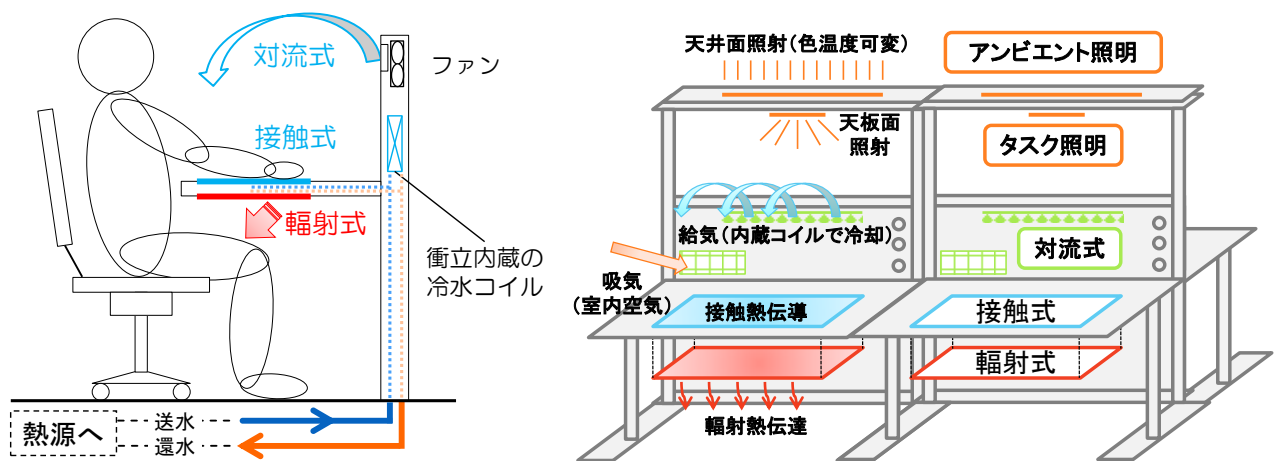


図3 タスクデスク概念図

3. 3種類のタスク空調の構成

接触式および輻射式は、水式輻射空調のパネルに用いられる樹脂製放熱マットをアルミレールに嵌めた冷温水輻射パネルをデスク表面材の内側に埋め込んだ。また、対流式は冷水コイルと DC ファンで製作したファンコイルモジュール（以降、FCM）を机上の衝立に格納した。以下に各タスク方式の詳細と想定される効果について述べる。また、タスクライト（机上面照射用）・アッパーライト（天井面照射用）も組込んでいる。（写 1）利用者が自分で操作ができるよう衝立にスイッチを設けた。



写 1 タスクデスク実機



写 2 ファンコイルモジュールの構造



写 3 冷温水輻射パネルの構成

① 接触式

接触式は冷房環境下において、前腕部と手部を接触熱伝導により冷却することを目的とした。特にタイピング作業時の効果を狙っている。接触式の冷水パネルは幅 600mm、奥行き 210mm で、天板先端から 100mm の天板表面に埋設した。

② 対流式

対流式も冷房時の使用を想定し、上半身に冷気をあてることによる冷房効果を狙った。机上の衝立下部から室内空気を吸い込み、衝立内部で冷却して上端から吹き出す機構となっており、幅 100mm の衝立内に、衝立を挟んだ 2 台のデスク用に 2 機の FCM を格納した。また、パンチングメタルとライン状の細長い吹出口から給気することで、ファンの運転強度によって吹き出す気流の方向を調節できる。（写 2）

③ 輻射式

冷温水パネルを冷却・加熱することで、人体への輻射熱伝達および自然対流による冷暖房効果を狙った。輻射式の冷温水パネルは幅 600mm、奥行き 210mm で、天板先端から 100mm の天板裏面に埋設した。（写 3）

4. 開発に係る検証実験

開発及び検証実験は、早稲田大学建築学科 田辺新一研究室、高砂熱学工業(株)、(株)トヨックス並びに(株)三菱地所設計で行った。温熱環境室にて被験者・サーマルマネキン実験を繰り返し、試作機から 4 回の改良を経て実作機の完成に至った。実験は高砂熱学工業技術研究所が所有する温熱環境実験室で

実施した。実験室は幅 11.1m、奥行 6.2m、天井高 2.85m で、水式輻射パネル（敷設率 50%）および空気式輻射パネル（敷設率 4 %）が敷設されている。内装は一般的なオフィス空間を模擬すると共に、室内顕熱負荷を模擬する発熱体が配置されている。本システムの目的は熱的快適性とアンビエント輻射空調の設定温度緩和の両立である。そこで実験時のアンビエント設定温度を緩和し、冷房時 28° C、暖房時 20° C で快適性を満足できるか実験を行った。

4.1 接触式の効果

接触による熱伝導は対流や放射と比較して身体の冷却に関して即効性が高いため、特に夏季に屋外から入室した際、人体と周辺環境との熱平衡が過渡的な状態において、身体を急冷し温冷感をリセットする効果が期待できる。実験は被験者 8 名を対象に、接触面の温度を変えた 4 条件で比較を行った。

(写 5)

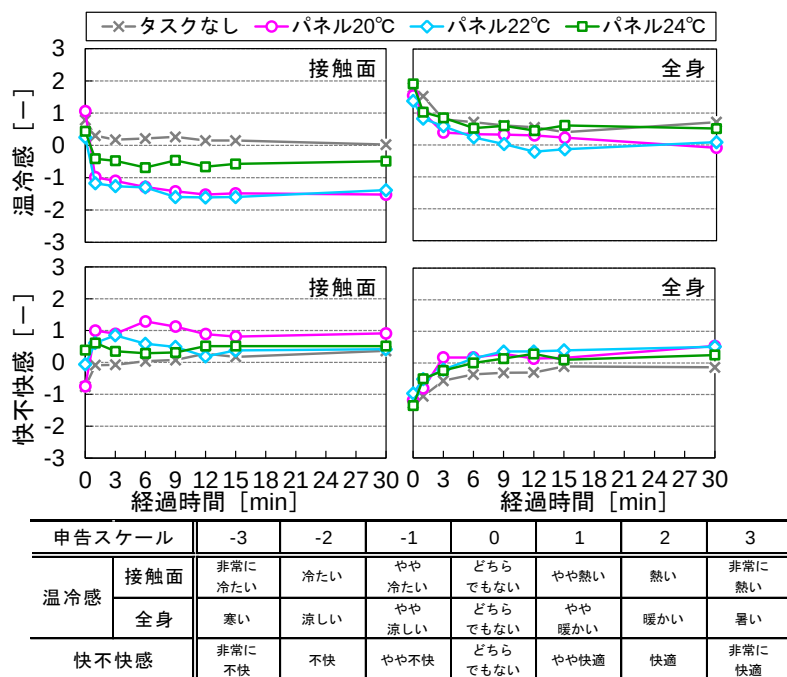


図 4 接触面及び全身の心理量の経時変化

被験者実験の結果、タスクなし条件を除き、接触面の温冷感申告は開始 1 分で冷たい側に移行し、終了時に 22° C、20° C 条件では -1.5 となった。全身の温冷感申告はゆるやかに暑い側から中立側に変化し、22° C、20° C 条件は概ね中立であった。全身快不快感はタスクなしを除き概ね快適側であった。(図 4) また、各条件の終了後に総合的な温熱環境の満足度を申告させたところ、接触パネルを用いたすべての条件において、使用しない場合よりも高い満足度が得られることが示された。(図 5)

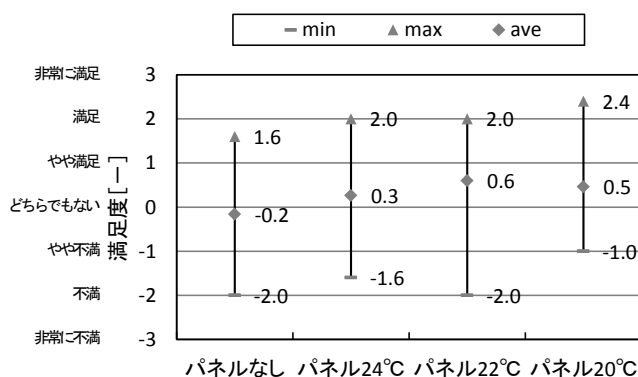


図 5 総合温熱環境満足度



写 5 接触式被験者実験の風景

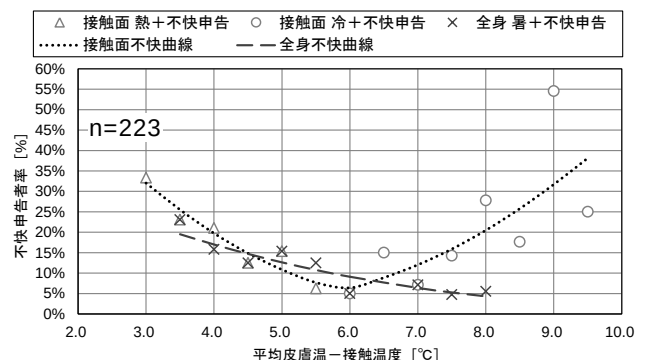


図 6 接触式使用時の不快者率・不快曲線

接触パネルと前腕の接触温度の適正值を求めるため、全身の平均皮膚温と腕部の接触温度の差（以下、皮膚温差）に対する不快曲線を導出した。申告時の皮膚温差を 0.5°C 区切りに分類し、各温度帯の総申告数のうち以下に定義する不快申告の占める割合を不快申告者率とした。

〔熱＋不快〕（接触面）温冷感が 0.5 以上かつ快不快感が 0 未満

〔冷＋不快〕（接触面）温冷感が -0.5 以下かつ快不快感が 0 未満

〔暑＋不快〕（全身）温冷感が 1.0 以上かつ快不快感が -0.5 未満

〔寒＋不快〕（全身）温冷感が -1.0 以下かつ快不快感が -0.5 未満

図 6 に接触式使用時の不快者率・不快曲線を示す。〔寒＋不快〕は該当はなかった。総申告数が 8 以上（＝被験者数）の温度帯を有効範囲とし、標準正規分布のプロビットにより不快曲線を求めた。プロビット値を直線回帰した際の R^2 値（決定係数）は〔熱＋不快〕で 0.89 、〔冷＋不快〕で 0.61 、〔暑＋不快〕で 0.81 となった。接触面の不快申告者率は皮膚温差が概ね $5.0\sim 6.5^{\circ}\text{C}$ の範囲で 10% を下回り、 6.0°C の際に最小となった。全身の不快申告者率は皮膚温差が大きいほど少ない傾向を示し、皮膚温差 6.0°C 以上で 10% を下回った。以上のことから、アンビエント 28°C 環境下での接触パネル使用時に、皮膚温差は 6.0°C が最も適正であると考えられる。

4.2 対流式の効果

対流式は風量調整により気流の位置や強さを、送水の ON / OFF で送風温度を変更して、各個人の好みの気流環境を実現する。実験は輻射空調空間において、サーマルマネキンを用いて人体の顕熱損失量から等価温度を求めたほか、人体周辺の温度分布、気流速度分布等を計測した。FCM への送水温度は 16°C とした。写 6 に気流可視化の結果を示す。吹出し温度は $21\sim 22^{\circ}\text{C}$ である。吹出し気流が吹出し後に下降する様子が判る。風量を絞った弱条件では気流が天板上に下降し、風量が多い強条件では顔まで到達している。風量の変更で気流が当たる位置を変更可能であることが分かった。



写 6 気流可視化の結果

図 7 に弱条件と強条件の温度分布を基準条件（タスクなし）との温度差で示す。タスク吹出しにより机天板上の温度が低下し、一方、マネキン背後のアンビエントの温度分布には大きな変化は見られず、マネキン近傍が主に冷却されていると考えられる。

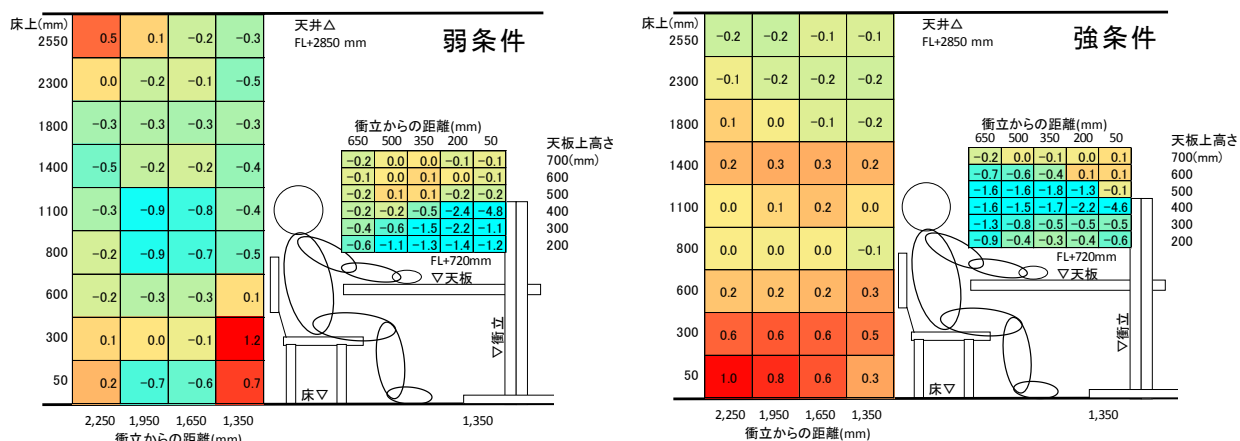


図 7 弱条件、強条件と基準条件との温度差分布

図 8 に、基準条件、弱・中・強条件のサーマルマネキン等の等価温度を示す。中条件は、部位別の等価温度で顔、上腕、胴体部、大腿部にわたり全体的に等価温度が低くなっており、気流による冷却が全身に影響していると考えられる。全身の等価温度では、基準条件の 26.9℃ に対し、弱条件で 0.4℃、中～強条件で 0.8～0.9℃ 低下した。アンビエント温度を緩和し省エネルギーに繋がれると考えられる。図 9 に、FCM の処理熱量を示す。風量に応じて処理熱量は約 80 W から最大約 180 W でほぼ設計通りの冷却能力を確認した。ファンの電力は最大 2.5 W 程で、高い熱搬送効率が期待できる。

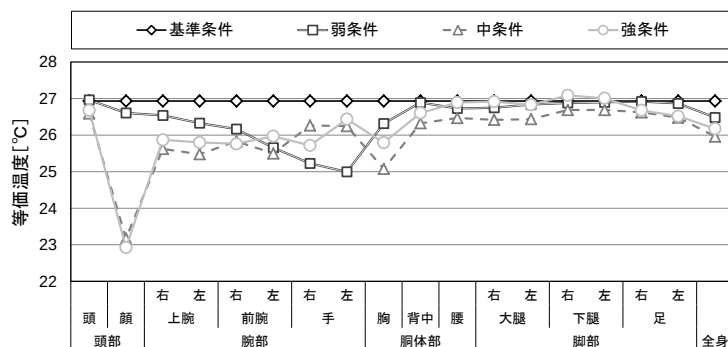


図 8 頭熱損失量、等価温度

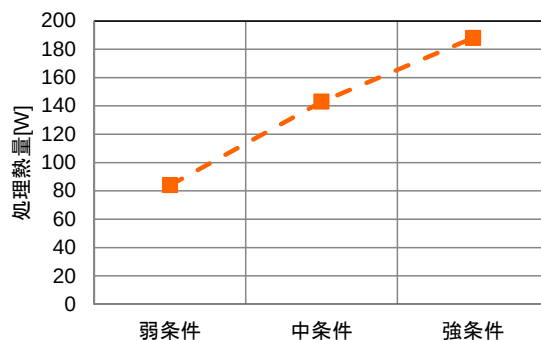


図 9 FCM 処理熱量（冷温水側熱量）

4.3 輻射式の効果

輻射空調が快適であるといわれる要因は気流感が無く均一な温度環境の形成に加え、人体への放射熱伝達による冷暖房効果がプラスされることである。タスクデスクはこの点に注目し、冬期に冷えがちな足元を無気流で暖房できるこたつの様な装置として開発した。机下空間の輻射パネル設置位置と脚部との関係から最も放射熱伝達効率が高い機構を模索した。試作段階では太ももを温める大腿パネルと、すねを温める下腿パネルの 2 種を比較検討した。

実験は被験者 8 名を対象に、タスクなし・大腿パネル・下腿パネルの 3 条件を実施した。下半身の着衣を男性はズボン、女性は膝丈スカートにタイツとした。パネルの送水温度は 43℃ 一定とし、アンビエント環境は空気温度 20℃、相対湿度 40%とした。

図 10 に大腿部・下腿部・全身の温冷感・快不快感の経時変化を示す。大腿パネルを使用した際の大腿部温冷感と快不快感は着席直後にマイナス側からプラス側に大きく転じた。一方下腿パネルを使用した際の下腿部の申告は他の条件の時と比べてほとんど差が見られず、全体的に寒い側、不快側の申告となった。このことから、太腿への加熱が効果を感じやすいと考えられる。全身の申告経時変化を見ると、大腿パネルを使用した場合開始 10 分で温冷感が中立付近まで上昇し、快不快感時は折快適側に転じながら中立付近を推移した。全条件の中で最も暖かく、不快感が低い結果となった。以上のことから輻射式タスクは大腿部への効果を重視し、天板裏への冷温水パネル埋設で構成することとした。

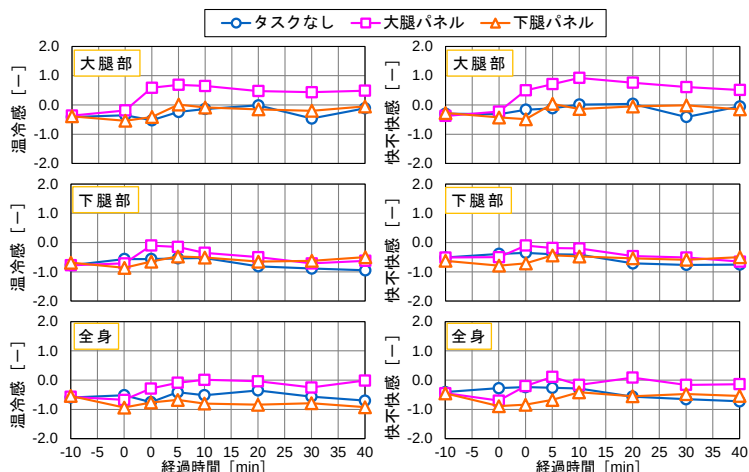


図 10 大腿部・下腿部・全身の心理量の経時変化

5. 実証フロアにおける夏期アンケート調査

2016年8月1日から8月5日まで、実証フロアにおいて実運用下でアンケート調査を実施した。フロア全域が輻射空調となっており、タスクデスクを設置したエリアと設置していないエリアの双方で調査した。タスクデスクの操作回数と温冷感・満足度の関係を図11に示す。操作回数が少ない人の満足度が高い傾向にあり、輻射空調の空間が快適であり、外出から戻った際等にタスクデスクを使用することで満足度が向上していると思われる。また、操作回数ゼロにおいても満足側となっていることから、操作しなくても個別に操作できるという安心感が満足度につながっている可能性も考えられる。全体の満足度と作業効率についてのアンケート結果を図12に示す。温熱環境の満足度は特にタスクエリアにおいて高くなっており、不満側17%に対して満足側63%と個別に調整できるメリットが現れている。タスクデスクによって65%が作業効率を高めてくれると回答しており、空調環境によって知的生産性の向上が期待できる結果となった。

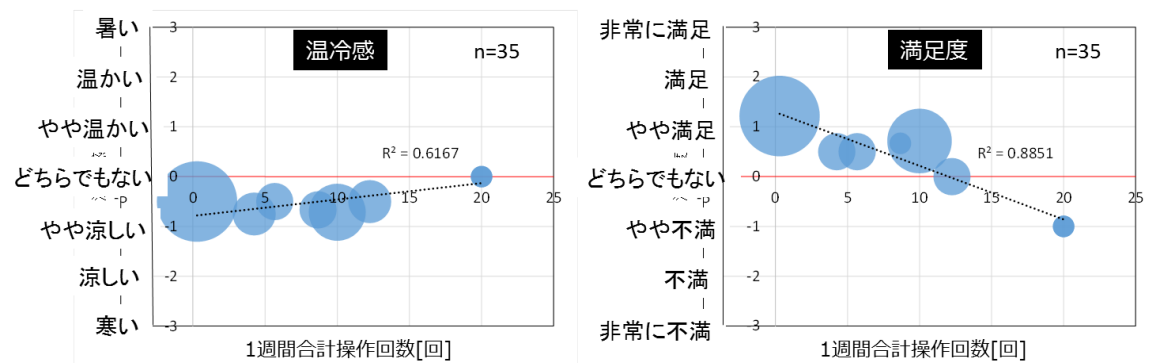


図11 操作回数と温冷感・満足度

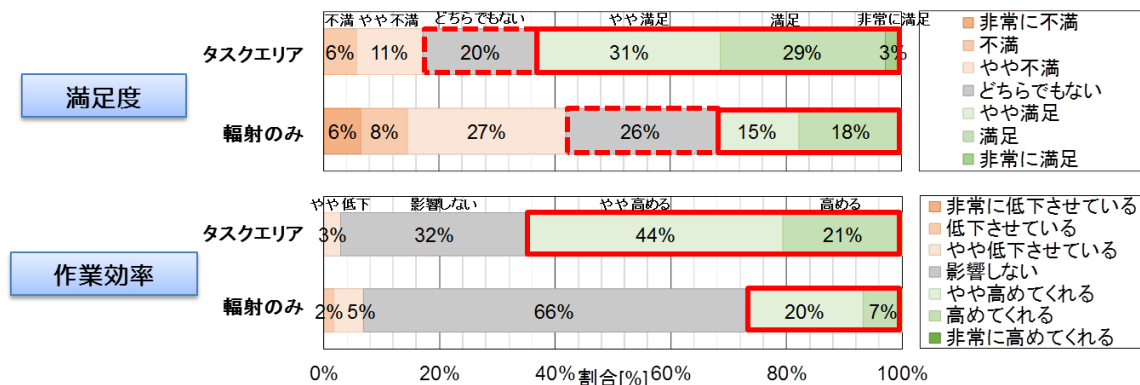


図12 温熱環境と作業効率

6. まとめ

実証フロアにおける夏期アンケート調査によって、特にタスクデスクのエリアにおいて高い満足度が確認でき、作業効率を高めてくれるとの回答も多くあった。一方で、輻射空調のみのエリアでは、快適域であったにもかかわらず一定の不満足は存在した。これは各個人の温熱環境に対する感じ方が一律でない以上、均一な温熱環境では満足度向上、知的生産性の向上には限界があると思われる。いかに知的生産性を向上させるかを考える上で、各個人が温熱環境を選択できることが重要であると考えられる。