

H-061 28℃オフィスにおける生産性・着衣・省エネルギー・室内環境に関する研究
(3) パーソナル空調・省エネルギー性に関する研究

芝浦工業大学

工学部

秋元孝之

平成18～20年度合計予算額 10,056千円
(うち、平成20年度予算額 2,821千円)

※上記の合計予算額は、間接経費2,321千円を含む

[要旨] 近年、オフィスビルでは事務機器のOA化により室内の発熱密度が増加している。また、オフィス空間は、家具やパーティションなどによって区画された個別モジュール空間の形態が採用されることが多くなってきた。加えて、在室者の室内環境に対する要求も高度化している。このような背景のもと、タスク・アンビエント空調は、負荷の偏在化や個人差に対応できるシステムとして期待されている。タスク・アンビエント空調とは、執務者が作業を行うタスク域の空調を集中的に、あるいはより繊細に制御し、通過や短時間の滞在のためのアンビエント域の空調設定を緩和する方式である。

平成18年度は、タスク・アンビエント空調を導入した環境配慮オフィスで実測調査を行い、知的生産性の評価、温冷感申告調査、温熱環境調査を行った。平成19年度は、28℃オフィスをはじめとする将来のパーソナル対応の空調技術を用いた設計や開発に役立てるため、温熱・音・光に関するさまざまな環境制御技術を採用し、特に空調に関してはパーソナル性の高い床吹出し空調を導入している「先進的なオフィス」と「移転前のオフィス」との比較を通して、床吹出し空調をはじめとした各制御技術や空間の構成が、執務者の温熱快適性、知的生産性の向上にどのように寄与しているのかを評価した。平成20年度は、引き続きパーソナル性の高い床吹出し空調方式を採用した「先進的なオフィス」における詳細な実測を行い、執務者の行動の実態と合わせパーソナル空調の実用性について検証した。

[キーワード] 知的生産性、タスク・アンビエント空調、温熱快適性、経済的効果、行動調査

1. はじめに

近年、オフィスビルでは事務機器のOA化により室内の発熱密度が増加している。また、オフィス空間は、家具やパーティションなどによって区画された個別モジュール空間の形態が採用されることが多くなってきた。加えて、在室者の室内環境に対する要求も高度化している。タスク・アンビエント空調は、負荷の偏在化や個人差に対応できるシステムとして期待されている。2005年度には、政府主導のCOOL BIZが推奨され、オフィス空間では、夏季の室内設定温度を28℃とすることが呼びかけられている。

2. 研究目的

本研究では、タスク・アンビエント空調を導入したCOOL BIZを推奨している環境配慮オフィスにおける実測調査、知的生産性の評価、温冷感申告調査、温熱環境調査や、パーソナル性の高い床吹き出し空調を導入している「先進的なオフィス」と「移転前のオフィス」との比較を行い、床吹き出し空調をはじめとした各制御技術や空間の構成が、執務者の温熱快適性、知的生産性の向上にどのように寄与しているのかを評価することを目的としている。また、詳細な実測を行い、執務者の行動の実態と合わせパーソナル空調の実用性について検証する。

3. 研究方法

(1) タスク・アンビエント空調を導入した環境配慮オフィスにおける実測調査

実測場所は、加圧式の床吹き出し空調システムの導入されているオフィスである^{1),2)}。給気は床下チャンバーを流路として行き、パーティション内に設置されたタスク吹出口と通路などのアンビエント空間の床吹き出しは同一経路により制御が行われている。タスク吹出口はジグによる風向調節と中央のつまみによる風量調節が可能である。

実測は、2006年の夏季8月7日（月）から8月11日（金）の5日間とし、温熱環境調査及び執務者を対象とする調査を行った。表3-1に測定項目を示す。温熱環境調査では、執務空間に代表点を設

表3-1 測定項目

測定目的		測定項目	測定機器	
状況 執務	着席状況調査（30名）	椅子座面温度	温度センサー	
	在室人数調査	出入口通過人数測定	パルスロガー	
	対象執務者周囲環境温度	執務者周囲環境温度	小型温度ロガー	
物理環境測定	被験者パーティション内の吹出口調査（20名）	吹出口開度	目視	
		吹出気流速度	Universal Recorder 6201-1	
		吹出気流温度	Thermo Recorder TR-52	
	被験者パーティション内の人体周りの温熱環境把握（8名）	空気温度・相対湿度	Thermo Recorder RS-11	
		気流速度・6面放射温度	B&K1213	
	被験者の温熱環境・活動量の把握（8名）	空気温度・相対湿度	Thermo Recorder RS-11	
		加速度	Actical	
	タスク空調吹出口性能検証	空気温度・気流速度	T型熱電対+Data logger KANOMAX	
	アンビエント域	執務空間温熱環境把握	上下温度分布 （0, 0.1, 0.6, 1.1, 1.7, 2.0, 2.5, 3.0m, 天井, 床吹出口） グローブ温度 （0.6, 1.1m）	T型熱電対+Data logger
			空気温度・相対湿度	Thermo Recorder RS-11
気流速度・放射温度			B&K1213	
生理量・心理量測定	全執務者執務環境	執務環境について	アンケート	
	属性、生活背景	調査票A		
	測定日当日の状態	調査票B		
	温冷感申告（タスクあり）	調査票C		
	活力度、疲労度調査	自覚症状調べ		
		眼精疲労調べ		
		NASA-TLX		
活力申告				

け、上下温度分布、平面温度分布、ブース内温度、タスク吹出温気流量、放射温度の測定を行った。執務者を対象とする調査では、タスク空調使用時の申告、周囲環境調査等を行った。表3-2に執務者調査のタスク吹出口使用条件と環境条件を示す。アンケート調査は8月7日（月）から8月9日（水）の3日間に行い、1日に退勤後、勤務中（午前、午後）、退勤前の計4回行った。申告は、知的生産性、温冷感、快適感等とした。タスク使用条件は3条件とし、1日目はタスク吹出口全閉のoff条件、2日目はタスク吹出口全開のon条件、3日目はタスク吹出口を自由使用とするcontrol条件とした。図3-1に着席状況調査測定位置を示す。

表3-2 タスク空調使用条件

実測期間	2006年8月7日～8月11日		
被験者	男性12名 女性8名		
実測条件	off	on	control
タスク吹出口	全閉（8月7日）	全開（8月8日）	任意（8月9日）
室内設定温度	上限28°C		
室内設定湿度	50%RH		
室内気流	静穏気流		
空調方式	床吹出し天井吸込み方式		
代謝量	1.2met		
着衣量	男性平均 0.53clo、女性平均 0.44clo		

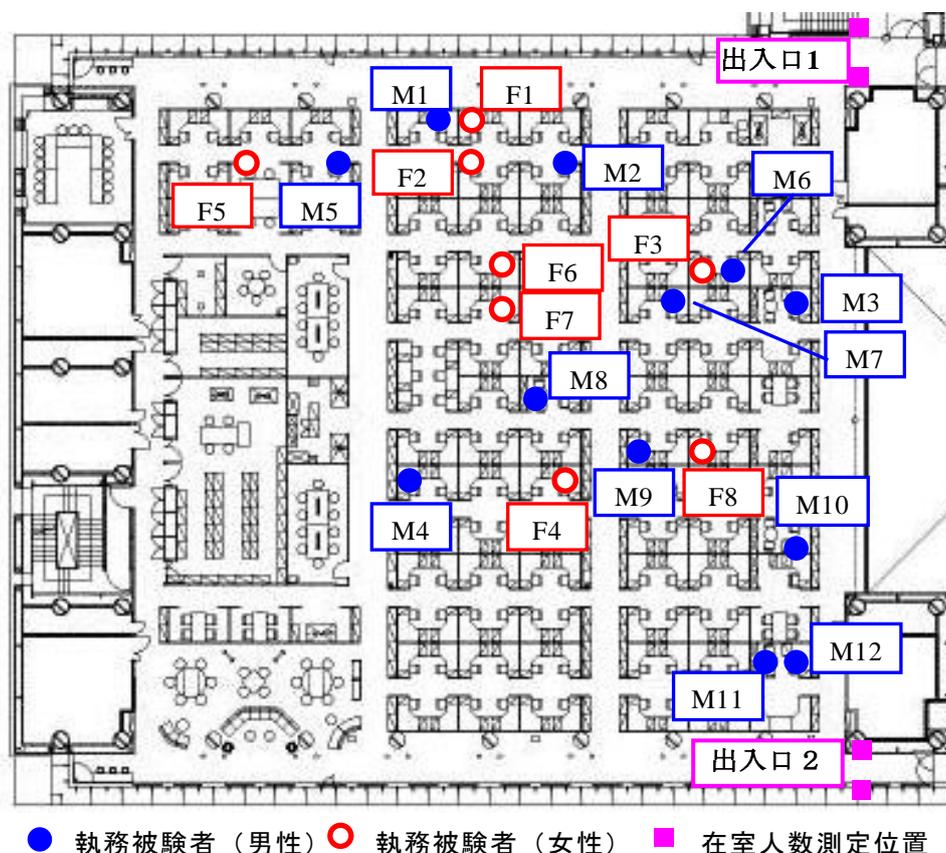


図3-1 着席状況調査測定位置

(1-1) 温冷感申告調査

被験者対象アンケートは出勤後1回、勤務中2回、退勤前1回の計4回行った。調査票Aは、事前調査として執務者全体の生活背景に関する調査を目的としており、性別、年齢等の一般事項、現在の生活状態、勤務状況、およびタスク空調に関する申告項目を含む。調査票Bは、被験者の実験当日における体調、実験室に至るまでの過程に関する項目を含み、測定期間を通し各測定日の出勤後のアンケートで行った。調査票Cは、被験者が滞在している環境に対する項目とタスク気流に関する項目を含む。調査票Cは被験者がタスク気流に曝露されている状態である時に課す調査票である。全身温冷感、全身温熱快不快感、気流感、気流快不快感等のように連続尺度に印をつける申告形式、局所温冷感のように複数あるチェック項目の中から該当するものを選択する申告形式、及び自由記述形式からなる。連続スケールは、ASHRAEの申告スケールに従った。連続スケール、選択申告は全てに申告することを被験者に課し、自由記述に関しては空欄も可とした。

(1-2) 知的生産性調査

知的生産性調査のアンケートは温冷感申告と同時に行った。対象執務者の疲労具合等を考慮するために、自覚症状しらべ³⁾、眼精疲労しらべ⁴⁾、NASA-TLX^{5),6)}、活力申告を行い、心理量から執務空間の評価を行った。

(1-2-1) 自覚症状しらべ

自覚症状しらべ(1970年度版)とは1967年に日本産業衛生学会・産業疲労研究会によって選定されたものであり、全30項目の質問で構成されており、各項目は各10項目、全3群となっている。第I群は「ねむけとだるさ」、第II群は「注意集中の困難さ」、第III群は「局在した身体の違和感」に類別される。表3-3に自覚症状しらべの申告項目を示す。各項目に対し回等者は当てはまるものには○を、当てはまらないものには×をつけていく。症状群の訴え率の順序については、「I>III>II」、「I>II>III」、「III>I>II」の3タイプがあり、それぞれを「一般型」、「精神作業型・夜勤型」、「肉体作業型」とし、疲労感の類型化の可能性を示唆している。I群、II群、III群の訴え率は各群10項目に対する訴え率であり、総合訴え率とは30項目全体に対する訴え率である。

一般型はTの段階によって特徴はみられず、出現頻度が最も多くなっている。精神作業・夜勤型はTの訴え率が大きいときに出現し、肉体作業型はTの訴え率が小さいときに出現する。また、全体の訴え率が大きくなるにつれ、II群の訴え率は増加しIII群の訴え率は減少し、III群の症状が疲労感の中で重要視されている。各申告項目については事務作業では「目がつかれる」、「肩がこる」、肉体作業では「目がつかれる」、「肩がこる」、「足がだるい」、「腰がいたい」、「口がかわく」といったような作業状況に対応した申告が多くなっている。

表3-4に自覚症しらべ(2002年度版)の申告項目を示す。2002年度版の自覚症しらべは1970年度版の改訂版であり、全25項目の質問で構成されており、各項目は各5項目、全5群となっている。第I群「ねむけ感」、第II群「不安定感」、第III群「不快感」、第IV群「だるさ」、第V群「ぼやけ感」に類別される。自覚症しらべはこれらの質問に対し「1 まったくあてはまらない」、「2 わずかにあてはまる」、「3 すこしあてはまる」、「4 かなりあてはまる」、「5 非常によくあてはまる」の5段階で回答を行う形式となっている。2002年度版の自覚症しらべの改訂された箇所として、5段階での申告の他、1970年から2002年による作業の変化に対応した申告内容に変更している。特に1970年度では対応しきれない目の疲れに着目されている。

表3-3 自覚症状しらべ（1970年度版）

I 群	II 群	III 群
頭がおもい	考えがまとまらない	頭がいたい
全身がだるい	話をするのがいやになる	肩がこる
足がだるい	いらいらする	腰がいたい
あくびがでる	気がちる	息苦しい
頭がぼんやりする	物事に熱心になれない	口がかわく
ねむい	ちょっとしたことが思い出せない	声がかすれる
目がつかれる	することに間違いが多くなる	めまいがする
動作がぎこちない	物事が気にかかる	まぶたや筋がピクピクする
足元がたよりない	きちんとしていられない	手足がふるえる
横になりたい	根気がなくなる	気分がわるい

表3-4 自覚症しらべ

I 群 ねむけ感	II 群 不安定感	III 群 不快感	IV 群 だるさ感	V 群 ぼやけ感
ねむい	不安な感じがする	頭がいたい	腕がだるい	目がしょぼつく
横になりたい	ゆううつな気分だ	頭がおもい	腰がいたい	目がつかれる
あくびがでる	おちつかない気分だ	気分がわるい	手や指がいたい	目がいたい
やる気がとぼしい	いらいらする	頭がぼんやりする	足がだるい	目がかわく
全身がだるい	考えがまとまりにくい	めまいがする	肩がこる	ものがぼやける

(1-2-2) NASA-TLX

図3-2にNASA-TLX申告内容を示す。NASA-TLXは、主観的作業負荷評価として実用化され広く使用されている。芳賀や水上が提案した日本語版の6つの尺度項目、知的・知覚的要求（MD）、

記入例	
精神的負担が小さい	精神的負担が大きい
身体的負担が小さい	身体的負担が大きい
時間にゆとりがある	時間に追われる
楽にできる	努力を要する
達成度が高い	達成度が低い
不満が少ない	不満が多い

図3-2 NASA-TLX申告内容

身体的要求（PD）、タイムプレッシャー（TD）、作業成績（OP）、努力（EF）、フラストレーション（FR）の6から尺度項目が構成されている。これらの6項目について、低い／高い、または良い／悪い、の両極を持つ線分上に印をつけて申告を行った。本研究では、NASA-TLXの全項目における平均値であるR-TLX（Raw TLX）により評価を行った。R-TLXは6項目の単純平均で、0を最小、100を最大とした。なお、R-TLXの申告結果は作業の内容に影響を受けやすいが、環境の違いによる結果は出にくいといわれている。

（1-2-3）活力度

疲労感はその訴え率が増加するほど、ネガティブな心理状態であることを示す指標である。近年では、心理量による知的生産性評価手法の精度を向上させるために、ポジティブな心理を測定する指標として活力申告が行われている。

表3-5に活力申告記入例を示す。活力申告は、あらかじめ対象執務者に「暇で元気なときにやりたい事」をそれぞれ20項目上げてもらい、実測期間中のアンケート回答時にその項目をやりたいかどうかを、○×で申告する形式とした。式(3-1)のように評価は20項目の単純平均で、0を最小、100を最大とした。

$$\text{活力度} = \frac{\text{対象集団の総申告数}}{\text{項目の数 (20項目)} \times \text{対象集団ののべ人数}} \times 100 \quad (3-1)$$

表3-5 活力申告記入例

項目	○×	項目	○×
子供と遊ぶ		本屋で新刊本探し	
家族旅行		釣り	
資格取得・活用のための学習		筋トレ	
ショッピング		ダーツ	
ドライブ		読書	
スキー		スキューバダイビング	
映画鑑賞		美術館めぐり	
観劇		テニス	
人間ドッグに入る		散髪	
バスケ		友人宅訪問	

（2）温熱・音・光に関する環境制御技術を採用したオフィスを対象とした調査

創造的な環境を目指して設計された環境配慮建物のN社移転後オフィスと、その評価対象として執務者が移転前に滞在していた一般型オフィスであるN社移転前オフィスにおいて、室内環境が執務者の感覚・評価及び生産性に与える影響を温熱環境の視点から検証した。なお、空調に関しては、パーソナル性の高い床吹出し空調が導入されている。

表3-6に実測概要を示す。移転前オフィスは、地上2階建ての鉄筋コンクリート造で、従来型のオフィスとなっている。移転後オフィスは、2007年に竣工した地上7階・地下1階建ての鉄骨造のオフィスである。フロアをひな壇状に設置したステップワークプレイスや吹き抜けによる劇場的空間

間、最大7000㎡のメガフロアなど、クリエイティブな活動やコミュニケーションの活性化を促す仕掛けが設けられている。また、自然を身近に感じその恩恵を享受出来る光庭、自然換気システム、ソーラーチムニー、光触媒屋根散水システム、太陽光発電等により、CASBEE⁷⁾「S」ランク相当のオフィスとなっている。

表3-6 実測概要

	移転前オフィス	移転後オフィス
所在地	神奈川県横須賀市	神奈川県厚木市
実測場所	2階執務室	6階執務室
業務内容	研究開発系	
空調方式	水冷式パッケージ型エアコン (天井吹出し)	加圧式床吹出し空調
天井高 (m)	2.7	4.0 以上
実測場所 面積 (㎡)	867	911
座席数 (席)	106 席	160 席
密度 (㎡/席)	8.17	5.7

表3-7に測定項目を示す。実測期間は、移転前オフィスは2007年7月23～30日、移転後オフィスは2007年9月4～14日であった。グローブ温度は0.6, 1.1mの位置で連続測定した。代表被験者アンケートは、移転前オフィスでは出勤時・勤務中（15時）・退勤前の1日3回、移転後オフィスでは勤務中（11時）を加えた1日4回調査した。

実測および被験者アンケートの結果から、移転後オフィスにおいて、現状設定温度25°Cを高く変更出来る可能性があると考え、解析を行った。また、移転前オフィスを一般的なオフィスとして、オフィスを移転することによる経済的効果について解析を行った。さらに、一般的なオフィス建物のエネルギー消費量と比較して、パーソナル性の高い床吹出し空調を導入している移転後オフィスの単位面積あたりの消費エネルギー削減量の評価を行った。

表3-7 測定項目

	測定方法	測定項目	測定機器
執務空間 環境測定	期間中連続測定	上下温度分布	T型熱電対 +Data Collector
		床吹出口温度	
		平面温湿度分布	ESPECTR RSW-20S
	定時測定	デスクまわりの温熱環境	ESPECTR RSW-20S
		放射温度・気流速度	B&K社 type1213
		熱分布画像	Avioサーモカメラ
行動調査	期間中連続測定 (被験者に機器設置)	床吹出風量	コーナー札幌SWP-125
		執務者の 周囲温湿度	ESPECTR RSW-20S (移転前8/移転後10名)
申告調査	期間中1回 (執務者全体アンケート)	執務者の環境の受容状況 (SAP)	申告用紙/社内LAN (移転前33名/移転後148名)
	3日間/1日3,4回 (被験者アンケート)	温冷感、快適感、自覚症状、 活力度	申告用紙 (移転前8/移転後30名)
屋外環境測定	期間中連続測定	外気温湿度	ESPECTR RSW-20S

※ 移転後オフィスのみ測定

(3) 執務者の行動の実態とパーソナル空調の実用性について検証

N社移転後オフィスにおいて、夏季調査を2008年7月30日から8月3日の平日5日間、中間期（秋季）調査を2008年11月3日から7日の平日5日、冬季調査を2008年12月8日から12日の平日5日間行った。なお、中間期調査における11月3日は、祝日であるが、N社オフィスは通常通り業務を行っているため、平日とみなした。

調査対象範囲は、2007年と同様のN社オフィスA1棟6階西側執務室（座席数153）である。

すべての調査期間において、各環境に対して、執務室内の定点における5日間連続測定と定時測定（1日4回）を行った。表3-8に測定項目を示す。

表3-8 測定項目

対象	測定方法	測定項目	測定機器	夏季	中間期	冬季
温熱環境	5日間連続測定	上下温度分布	T型熱電対、Data Vollector	○	×	○
		平面温度分布	ESPEC TR RSW-20S	○	○	○
	定時測定	放射温度	KANOMAX1560 小型全波長放射計	○	○	○
		気流速度	KANOMAX1560 多点式熱線風速計	○	○	○
光環境	5日間連続測定	平面照度分布	HIOKI3640、コニカミノルタT-10M/T-10、Universal Recorder	○	○	○
音環境	代表日連続測定	等価騒音レベル	RION騒音計	○	○	○
空気質環境	代表日連続測定	CO2濃度	KANOMAX IAQモニター	○	×	○

中間期調査及び冬季調査では、図3-3に示した対象エリアにて、床吹き出し空調の開閉状況を変化させ、検証を行った。対象エリアは、空調機1台（MR16）が給気している範囲とした。室内温度の代表測定点A、Bを図3-3に示す。測定点Aは、吹き出し口が全閉になっている箇所が近くにあり、測定点Bは、全閉になっている箇所から遠く、付近の吹き出し口はすべて全開となっている。

吹き出し口の開閉のイメージ図を図3-4に示す。執務者は開閉を自由に行うことができ、内部の羽根状のシャッターを動かすことで、連続的に風量を調整できるようになっている。

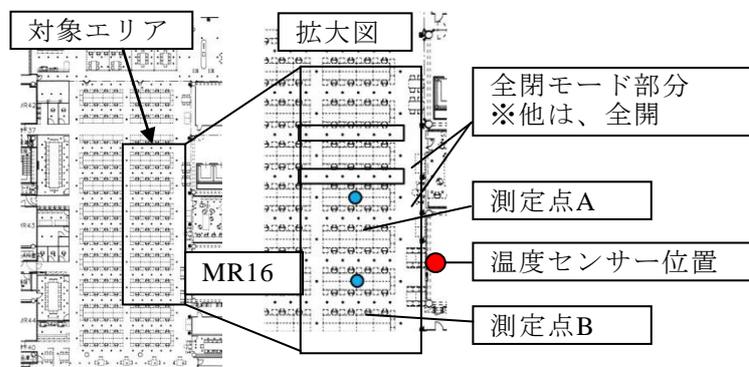


図3-3 測定点及びモード概略図

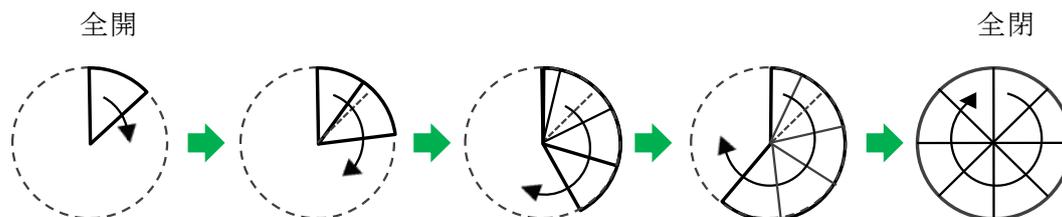


図3-4 吹出し口の開閉イメージ図

執務者申告調査は、夏季調査及び冬季調査に実施した。

夏季調査では、期間中1回アンケート、定時アンケートを行った。期間中1回アンケートの申告内容は、大きく①基本的情報・個人情報 ②作業効率 ③アイデア創出に分けられる。対象は、A1棟6階西側に在席する執務者から無作為に抽出した30名である。定時アンケートの回答は、出勤時、勤務中（15時）、退勤時の1日3回の2日間行った。申告内容は主に、疲労度やメンタルワークロード、自覚症状しらべとなっており、勤務中アンケートには、①熱環境 ②光環境 ③音環境 ④空気質環境 の4要素に対する快適感、満足度となっている。対象は、期間中1回アンケートと同様である。

冬季調査では、全体アンケートと定時アンケートを行った。全体アンケートは、日建設計主催の研究会と空気調和・衛生工学会内「ワークプレイス・プロダクティビティ研究小委員会」によるSAP (Subjective Assessment of Workplace Productivity) v1.4を元に本調査用に補正を行った調査票を利用した。申告内容は、執務者の属性（性別など）、執務状況、各環境に対する快適感、満足度、作業のし易さなど、コミュニケーションに関する申告も含んでいる。対象は、6階執務者全員である。定時アンケートは、夏季調査を元に補正を行った調査票を利用した。対象は、6階西側に在席する執務者から無作為に抽出した30名である。

また、執務エリアにおいて執務者の行動調査を行った。

4. 結果・考察

(1) タスク・アンビエント空調を導入した環境配慮オフィスにおける実測調査

執務者M12の申告は、活力度申告時に時間帯やタスク空調条件に関わらずすべての申告で「×」をつけ、その理由として、「工作中であるから」とされおり対象として好ましくないため、知的生産性の調査結果から除外した。

(1-1) NASA-TLX

図3-5にNASA-TLXの平均値R-TLXの全体平均、男女別平均を示す。条件による顕著な差は見られなかったが、男性平均と女性平均では、全条件で男性平均の方が女性平均に比べ申告値が高かった。女性平均の申告値が低くなった要因としてF8の申告値が低かったとためと考えられる。

(1-2) 眼精疲労度

図3-6にoff条件、on条件、control条件における眼精疲労しらべ全体平均と、男女別平均を示す。女性平均の申告率が若干高かった。off条件に比べon条件の方が申告が高く、control条件が一番低い申告となった。このことより、on条件では目が疲れるが、control条件では疲れにくいということが分かる。また、男性平均、女性平均の違いも分かった。したがってタスクは有効であると考えられる。

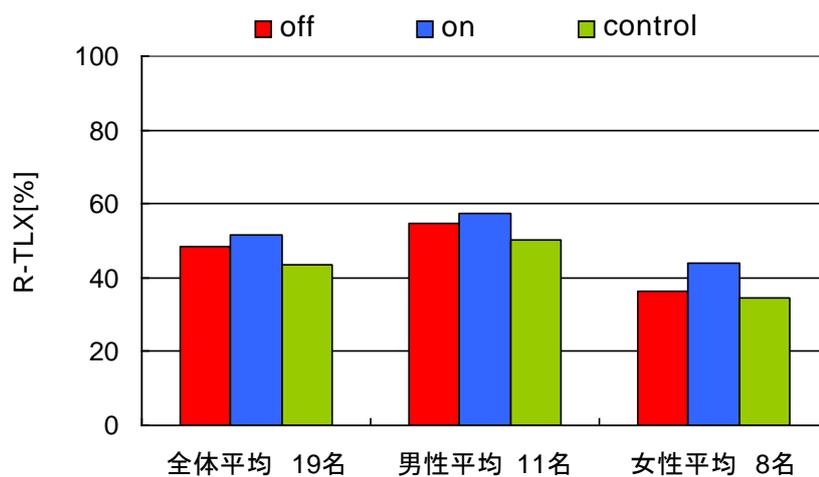


図3-5 NASA-TLX (全体平均、男女別平均)

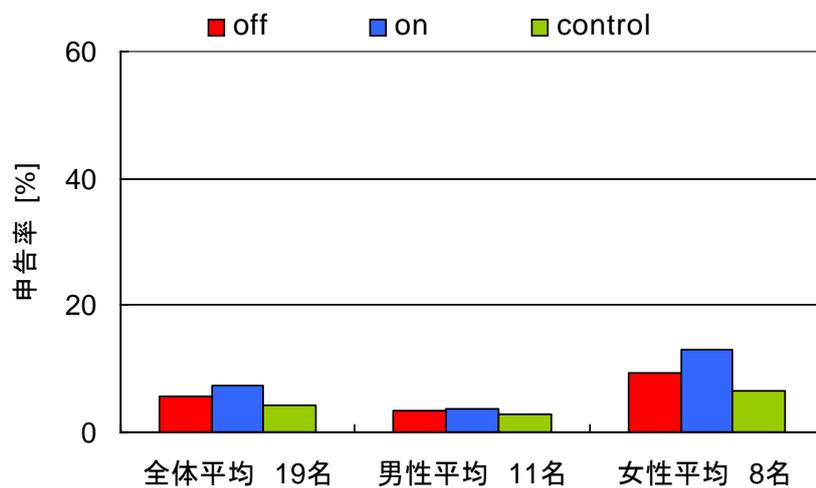


図3-6 眼精疲労しらべ (全体平均、男女別平均)

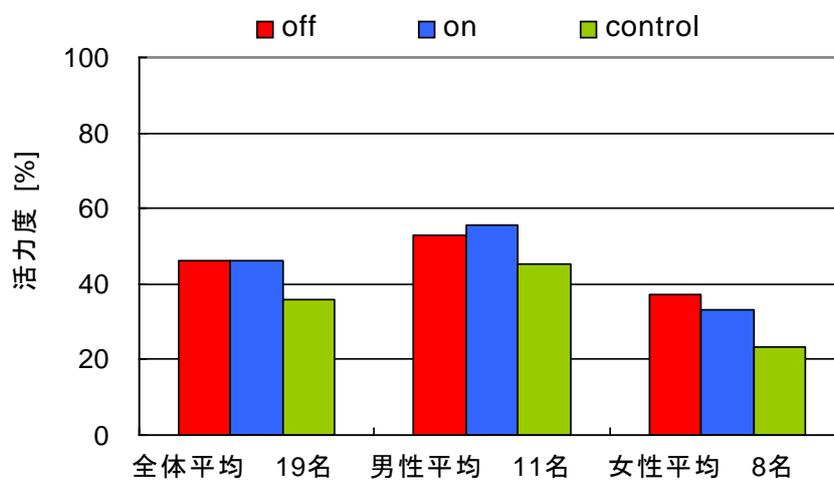


図3-7 活力度申告男女別平均

(1-3) 活力度申告

図3-7に全体平均、男女別平均の活力度申告を示す。男性平均ではon条件で活力度が高く、女性平均ではoff条件で活力度が高かった。また、男性平均の方が女性平均に比べ活力度が高かった。女性平均の活力度が低い要因として、特に退勤前の申告値が低いと考えられる。

(1-4) 自覚症状調べ

図3-8にoff条件、on条件、control条件における自覚症状調べの男女別平均を示す。男性平均、女性平均ともV群の申告率が高かった。この項目は目の「ぼやけ感」についての申告で、男性平均ではoff条件に若干高い申告がみられ、女性平均ではon条件に高い申告が見られた。男性平均に比べ女性平均の方が全条件において申告率が高かった。男性平均の申告率は20%未満と低い申告率であった。I群、II群ではoff条件の申告率が若干高く、IV群ではcontrol条件が若干高かった。III群ではoff条件、control条件が同じくらいの申告率をみせた。女性平均の申告率はV群のon条件を除き20%未満と低い申告率であった。I群、IV群ではon条件の申告率が高く、II群ではoff条件、on条件が同じくらいの申告率をみせた。II群は5項目の中で一番申告率が低かった。III群ではon条件、control条件が同じくらいの申告率をみせた。

男性に比べ女性の方が自覚症状の影響が大きいことが考えられる。

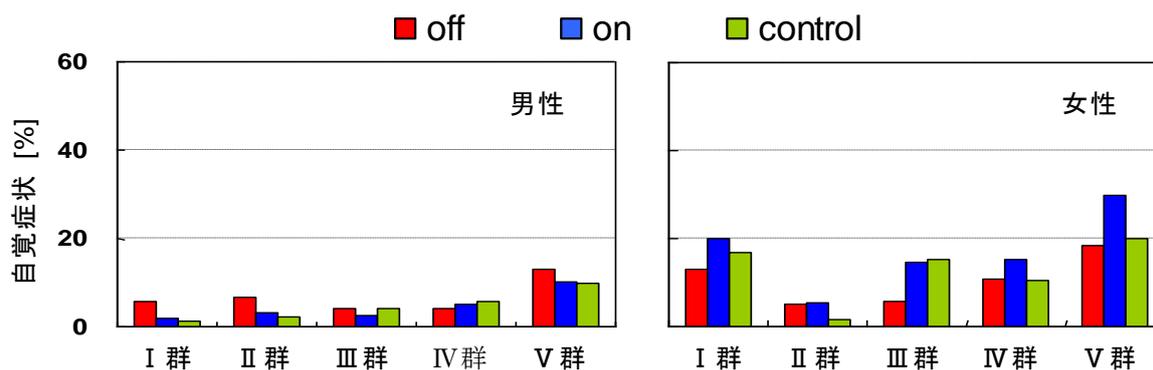


図3-8 自覚症状調べ男女別平均

(2) 温熱・音・光に関する環境制御技術を採用したオフィスを対象とした調査

物理環境調査では、平面温度分布において、移転前オフィスは空調システムの制御方式と負荷特性により、終日30～45分間隔で温度の変動がみられた。それに対し、移転後オフィスは概ね一定に温度が保たれていた。しかし、時間の経過に伴い室内の温度の低下がみられた。

PMV（予測温冷感申告）⁸⁾は、移転前オフィスは終日0.5を超えることが多かったのに対し、移転後オフィスは概ね0.5以下の範囲の値であった。PPD（予測不満足者率）においても、移転前オフィスは10%を超えることが多かったが、移転後オフィスでは概ね10%前後の値になった。ISOでPMVは±0.5以内、PPDは10%以下の温熱環境が快適域とされていることから、移転後オフィスの方が快適であることが予想される。

執務者の行動調査では、着席者率に関しては、移転前オフィスと移転後オフィスでの違いはみられなかったが、着席率に差がみられた。移転前オフィスは平均約52%に対して、移転後オフィスでは41%と11%の低下がみられた。移転後オフィスの方が活動的で、約60%の時間を自席以外で過

ごしている結果となった。代謝量に関しては、移転前後であまり差はみられなかった。アンケート申告調査では、執務者全体アンケートにおいて、移転後オフィスではどの申告結果に対しても肯定的な申告をした執務者の割合が増加していた。移転後オフィスでは作業を損なう障害を「温熱環境」と申告した割合が減少し、その分増加した環境要因は「光環境」と「音環境」であった。これらの結果により、温熱環境においては移転後オフィスの方が心理的に快適な空間であることが分かった。

実測対象オフィスの執務者のうち、30名（男性28名、女性2名）を被験者とし、より詳細に知的生産性について調査した。表3-9に自覚症状しらべの結果、図3-9にII群に対する総訴え率の結果を示す。申告結果より、移転前後で平均総訴え率は16.1%減少し、移転前は一般型、移転後は精神作業・夜勤型となった。この群間関係の違いは図3-9に顕著に出ており、移転後オフィスは、移転前よりも精神疲労が進んでいるという結果であった。このことは業務内容の違いによる影響の可能性も考えられるが、更なる検証が必要である。

表3-9 自覚症状しらべ

+移転前	訴え率(%)				群間比較
	I群	II群	III群	総訴え率T	
出勤後	13	5	7	8	I>III>II
勤務中11時	-	-	-	-	-
勤務中15時	16	8	8	11	I>III>II
退勤前	21	6	10	12	I>III>II

移転後	訴え率(%)				群間比較
	I群	II群	III群	総訴え率T	
出勤後	15	7	6	10	I>II>III
勤務中11時	9	6	5	7	I>II>III
勤務中15時	13	8	7	9	I>II>III
退勤前	12	8	6	9	I>II>III



図3-9 自覚症状しらべ II/T

表3-10にWPP低下率の結果を示す。WPP低下率は、本研究では式(3-2)で定義し、過去1ヶ月にロスした時間は代表被験者アンケートで得られた回答の平均値を使用した。

$$\text{WPP 低下率} = \text{過去 1 ヶ月にロスした時間} / \text{標準労働時間 (200 時間)} \quad (3-2)$$

移転前後で約半分に減少しており、移転後オフィスにおいてWPPの向上がみられる結果となった。

表3-10 WPP低下率

	1ヵ月にロスした時間(h)	WPP低下率(%)
移転前オフィス	5.2	2.6
移転後オフィス	2.5	1.25

図3-10に活力度のグラフを示す。活力度とは、被験者に「暇で元気な時にやりたい」と思う項目に○×で回答してもらうというポジティブな心理を測定する調査で、各時間の申告数の平均値を算出したものである。移転前後で申告率が約20%増加している。移転前オフィスは時間の経過とともに申告率が低下していくのに対し、移転後オフィスは勤務中に申告率が低下しても退勤前には申告率が回復する傾向がみられた。



図3-10 活力度

図3-11にNASA-TLXについて示す。全体として、移転前オフィスに比べ移転後オフィスの精神的作業負荷の方が大きい結果となり、平均で約3.7%申告率が高かった。身体的負担や達成度は移転前オフィスを下回ったが、努力においては最大15.9%の差がみられた。

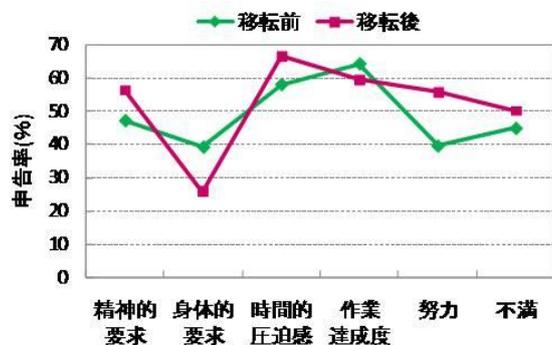


図3-11 NASA-TLX

図3-12に眼精疲労について示す。移転前オフィスの平均値は8.6%、移転後オフィスの平均値は7.7%であった。申告値に差はあるが、全体として似た変動を示していた。

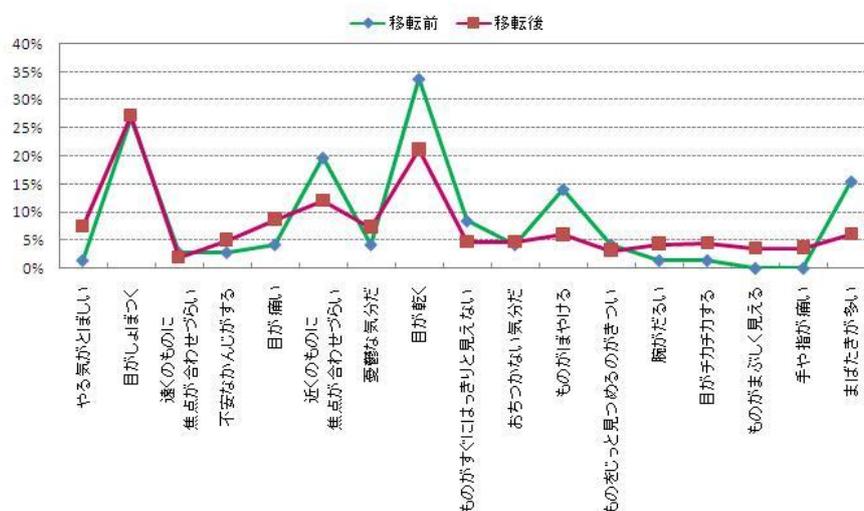


図3-12 眼精疲労

夏季実測調査において、移転後オフィスの設定温度が25°Cの時の執務者全体アンケートの温冷感申告結果は、暖かい側より涼しい側の申告が多いことが分かった。運用初期段階の建物だが、環境省がオフィスの冷房設定温度28°Cが推奨していることから設定温度を高く変更出来る可能性があると考え、解析を行った。

図3-13に熱的快適感 - 空気温度の関係を示す。これは、代表被験者アンケートの温熱環境快適感の申告結果とその申告時の被験者周囲の平面温度をバブル処理し、グラフにしたものである。また、直線は近似線を示している。このグラフから、温度が上昇すると快適感が損なわれていくという相関がみられた。しかし、やや不快まで届かず快適の域を越えないことが分かる。この近似線の直線式は式(3-3)に示す。相関係数 R^2 は0.573であった。

$$[\text{快適感}] = -0.0915[\text{空気温度}] + 1.8485 \quad (3-3)$$

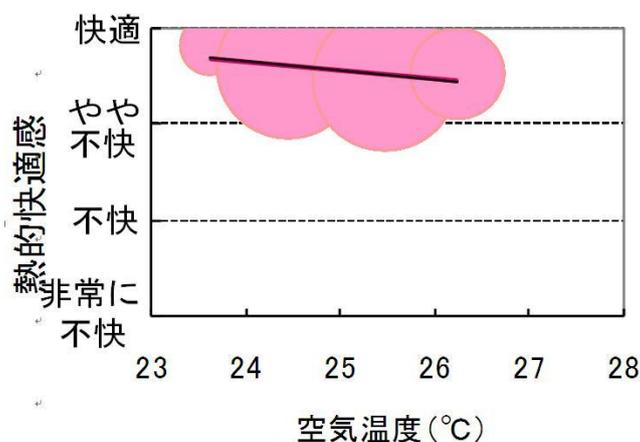


図3-13 熱的快適感 - 空気温度

図3-14に自覚症状変化率 - 熱的快適感の関係を示す。これは代表被験者アンケートの熱的快適感と、生産性を意味する自覚症状の申告結果から変化率を算出しグラフにしたもので、直線は近似線を示している。このグラフから、快適感が向上すると自覚症状が緩和されるという傾向がみられた。この近似線の直線式は式(3-4)に示す。相関係数 R^2 は0.100であった。

$$[\text{自覚症状変化率}] = -0.052[\text{快適感}] - 0.036 \quad (3-4)$$

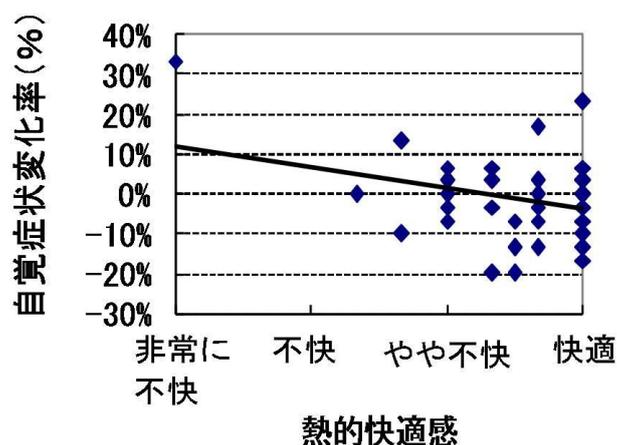


図3-14 熱的快適感 - 空気温度

この2つの式を快適感について解くと、式(3-5)が得られた。

$$[\text{自覚症状変化率}] = 0.0005[\text{空気温度}] - 0.132 \quad (3-5)$$

この式から、

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{空気温度} 25^{\circ}\text{C} \text{のときの自覚症状変化率は} -0.007 \\ \text{空気温度} 26^{\circ}\text{C} \text{のときの自覚症状変化率は} -0.002 \\ \text{空気温度} 27^{\circ}\text{C} \text{のときの自覚症状変化率は} 0.003 \end{array} \right.$$

と算出でき、設定温度を 1°C 緩和すると、生産性が 0.5% 低下するという結果になった。既往研究⁹⁾では設定温度を 1°C 緩和すると 2.1% 低下するとされているが、それを下回る結果となった。これは、生産性には様々な環境要素が関わっているため、温熱環境以外の環境要素や移転後オフィス特有の空間によって生産性の低下が軽減したと考えられる。

移転前オフィスを一般的なオフィスとして、オフィスを移転することによる経済的効果について解析を行った。主観的な執務環境による作業性の低下率は約 1.3% 向上した。これを執務者の労働賃金に換算すると、執務者 $1,300$ 人の作業性向上による経済利益は、年間 $109,106$ 千円になると予想される。また、移転後オフィスにおいて夏季の冷房設定温度を 25°C から 27°C に緩和した際の経済的効果についても解析を行った。その結果、エネルギーコスト削減額は 1.96 円/(m^2 月)、作業性の低下率に応じた人件費が生み出す損失は 944 円/(m^2 月)、 CO_2 排出削減によるコスト削減額は 0.27 円

/kWhと算出され、合計942円/(m²月)の損失と算出された。しかし、既往研究ではクールビズ適応により損失を防げるとしている。また、移転後オフィス特有の空間や環境を執務に応じて選択することにより、損失削減が期待できると考える。

一般的なオフィス建物のエネルギー消費量¹⁰⁾と比較して、パーソナル性の高い床吹出し空調を導入している移転後オフィスでは、建物面積あたりの消費エネルギー量は18.2%程度低減されており、エネルギーコストで試算すると、対象面積40,951m²に対して年間19,125千円(467円/(m²年))の削減効果であった。

(3) 執務者の行動の実態とパーソナル空調の実用性について検証

N社移転後オフィスにおいて、2007年の調査より、設定温度を26°Cに変更しても温熱環境に対する快適感は、快適の域を超えないと検証されたため、2008年は設定温度を25°Cから26°Cへと2007年より1°C上げて運用を行った。その結果、執務室内の空気温度が2007年から約0.3°C上昇し、制御通り、約26.0°Cとなった。床吹出し空調の検証結果から、吹出し口が全閉になっている箇所に近い測定点と全閉箇所から離れた測定点で、温度差が生じたことから、床吹出し口の開閉が周囲の室内温度(アンビエント域)の形成に影響を与えることがわかった。

2007年の申告調査結果と比較した結果から、2007年とあまり変わらず、快適の申告者率が約5割強となっており、また不快の申告者率については、わずかに上昇したが、2007年夏季とほぼ同様の結果となった。このことから、設定温度を1°C上昇させ、消費エネルギーを抑えても、快適感に変化はなかったため、今後も夏季においては、設定温度26°Cで運用を行うのがよいと考えられる。また、不快と感じる執務者の方に対しては、床吹出し空調の開閉を随時その環境に応じて、調節してもらうよう促すことで不快感が軽減できると考えた。

2007年冬季より、朝方(暖房要求)と日中(冷房要求)の温度差が大きかった結果を受け、2008年冬季において、冬季用の給気温度の上限値設定調整を行った。その結果、朝(9時30分)と日中(15時30分)の温度差が、2.4°Cから1.6°Cと、2007年と比較して、0.8°Cの温度差を軽減することができた。2007年の申告調査を比較した結果から、温冷感においては、「どちらでもない」の申告率が増加し、温熱環境に対する快適感及び満足度は、2007年と比べ、上昇した。これらのことから、給気温度の上下限值を変化させる調整が、執務者の温熱環境に対する快適感、満足度に影響を与えたと考えられる。また、この調整結果を受け、執務者が床吹出し口の開閉に対しての意識(例えば、吹出し口が全開だと不快な気流が生じるなど)を変える機会となればよいと考える。

床吹出し口の開、閉は、周囲の室内温度(アンビエント域)の形成に影響を与えることがわかったが、一部の床吹出し口の開閉を変化させても、執務室全体の温度差を小さくするほどは、影響を及ぼさないと考えられるが、快適感は2007年とほぼ同様の結果となった。

執務エリアに関しては、コミュニケーションは自席付近で多く、冬季アンケート「打ち合わせ、情報交換はどこで行うか」から「自席」という回答が多く、「その場所を利用する理由」から「自席に近い」という回答が多かった。執務エリアでのコミュニケーションといっても打ち合わせ、情報交換は、あくまで執務の一環としてのものが多いため、自席付近で業務の傍らに行われるものが多いということがわかった。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

居住者の快適性を減じないで28°Cオフィスを実測した事例として、加圧式の床吹出空調方式を導入したオフィスビルの実測調査を行い、知的生産性の評価、温冷感申告調査、温熱環境調査により、パーソナル空調の実用性について検討した。

パーソナル性の高い床吹出し空調をはじめとする温熱・音・光に関する環境制御技術を採用したオフィスを対象とした調査を行った。実測および被験者アンケートの結果から、移転後オフィスにおいて現状設定温度25°Cを高く変更出来る可能性があると考え解析を行った結果、設定温度を1°C緩和すると生産性が0.5%低下するという結果が得られた。既往研究よりも生産性の低下が少なく、移転後オフィス特有の空間や環境を選択していくことで補えると考えられることから、設定温度は27°Cまで緩和出来る解析結果となった。一般的なオフィス建物のエネルギー消費量と比較して、パーソナル性の高い床吹出し空調を導入している移転後オフィスでは、建物面積あたりの消費エネルギー量は18.2%程度低減されており、エネルギーコストで試算すると、対象面積40,951m²に対して年間19,125千円（467円/(m²年)）の削減効果であった。

(2) 地球環境政策への貢献

平成18年度は日本建築学会大会（国内学会）において、「夏季オフィスの温熱環境」のテーマについてオーガナイズドセッションを開催した。

国内学会や国際学会における発表や関連論文誌での発表、日本建築学会で開催予定の28°Cオフィス環境に関するシンポジウムなどを通じて、成果の広報・普及に努めている。

6. 引用文献

- 1) 佐々木、柳井ら:パーティション吹出を利用したタスク空調システムに関する研究、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、pp.1731-1734、2004.9
- 2) 佐々木、柳井ら: 躯体蓄熱と夜間換気を導入した建物の熱性能に関する研究(第1報～第2報)、空気調和・衛生工学会、学術講演会講演論文集、pp. 281-288、2005
- 3) 加藤ら:初学者のための生体機能の測り方、日本出版サービス、1999.
- 4) 高橋誠: VDT作業者の視覚疲労自覚症状の分析、労働の科学、Vol.69、1993
- 5) 三宅ら: メンタルワークロードの主観的評価法—NASA - TLXとSWATの紹介および簡便法の提案—、人間工学、29 (6) 、pp.399-408、1993
- 6) 芳賀ら: 日本語版NASA—TLXによるメンタルワークロード測定—各種室内実験課題の困難度に対するワークロード得点の感度—、人間工学、32 (2) 、pp.71-79、1996
- 7) 村上周三: CASBEE入門—建築物を環境性能で格付けする、日経BP社、2004
- 8) ISO7730: Ergonomics of the thermal environment -Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria, 2005
- 9) 羽田ら: 知的生産性によるオフィスの温熱環境の経済的影響評価、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.455-458、2006
- 10) 省エネルギーセンター: ビルの省エネガイドブック平成17年度版、2005

7. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない

8. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文（査読あり）>

特に記載すべき事項はない

<その他誌上発表>

口頭発表の欄に示す。

(2) 口頭発表（学会）

- 1) Shinya Nagareda, Takashi Akimoto, Shin-ichi Tanabe, Takashi Yanai, Masato Sasaki, Daisuke Shinozuka, Yuichi Nakagawa, Yuichi Kurosaki: Workers' Behavior and Thermal Sensation in Task-conditioned Office, Proceedings of CLIMA 2007, Vol.1, pp.119-126, 2007.6（査読付）
- 2) 黒崎優一、流田慎也、中川優一、三村良輔、篠塚大輔、佐々木真人、柳井崇、秋元孝之、田辺新一: タスク・アンビエント空調システムに関する研究（その32）タスク空調システムが導入された実オフィスの実測概要及び執務者特性、日本建築学会大会学術講演梗概集、D-II、pp.1183-1184、2007.8
- 3) 流田慎也、黒崎優一、中川優一、三村良輔、篠塚大輔、佐々木真人、柳井崇、秋元孝之、田辺新一: タスク・アンビエント空調システムに関する研究（その33）タスク空調システムが導入された実オフィスにおける知的生産性評価、日本建築学会大会学術講演梗概集、D-II、pp.1185-1186、2007.8
- 4) 三村良輔、秋元孝之、田辺新一、柳井崇、佐々木真人、篠塚大輔、田島昌樹、黒崎優一、中川優一: 非等温気流タスク空調に関する研究 その8 タスク空調を導入した執務空間における着席状況および呼吸域到達率、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、pp.181-184、2007.9
- 5) 秋元孝之: ベストプラクティス事例ータスク・アンビエント空調、第38回熱シンポジウム『暑熱環境と人間・社会』ー温熱感研究の社会的貢献ー、pp.123-128、2008.7

(3) 出願特許

特に記載すべき事項はない

(4) シンポジウム、セミナーの開催（主催のもの）

特に記載すべき事項はない

(5) マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない

(6) その他

特に記載すべき事項はない