

特集 「技術研究所再整備」

放射と自然対流によるタスク・アンビエント空調システム「O-TASC」

伊藤 剛 大澤 明 廣
(本社設計本部) (本社設計本部)

中山 和 樹 間瀬 亮 平
(本社設計本部) (本社設計本部)

Task-Ambient Air-Conditioning System based on Radiation and Convection- “O-TASC”

Tsuyoshi Ito Akihiro Osawa
Kazuki Nakayama Ryohei Mase

Abstract

Task-ambient air conditioning system capable of detecting thermal variations has been designed for offices. This system provides an air-conditioned airflow for personal desks or occupied areas. People might experience uncomfortable thermal sensations when they enter an air-conditioned area from outside. The ambient temperature set point has been raised to 28 °C from the point of view of saving energy. This new setting causes discomfort to the occupants of the room. The task-ambient air-conditioning system is remarkable in that it can eliminate this discomfort level by adjusting the personal air-conditioning settings. The cold drafts occasionally present in the supplied air can cause discomfort when the people in the room are in a steady condition. Our developed task-ambient air-conditioning system can 1) condition air without any cold drafts, 2) save energy, and 3) improve workplace productivity. We introduce the outline of this system and the subjective experiment.

概 要

オフィス空間のタスク・アンビエント空調は、空調された気流を個人のデスクあるいは領域に供給することで、個別の温冷感や外出から戻った際の非定常温冷感を室内の環境に適応させるために行われてきた。また昨今の省エネルギーの取組みから、周囲温度を28 °C程度に調整し、その不快さを取り除くために定常的に個別空間を調節するという考え方が注目される。筆者らは、人間が静的な状態のときに供給される気流による不快感を取り除き、省エネルギーと知的生産性とをマッチングさせた、放射と自然対流によるタスク・アンビエント空調の開発を進めている。その概念および被験者実験による評価について報告する。

1. はじめに

平成22年3月に地球温暖化対策基本法案が閣議決定、さらに東京都では温室効果ガス排出総量削減義務が同年4月より開始され、本格的にCO₂排出量削減に取り組む必要が生じてきている。それにより、省エネルギーとしてのクールビズやウォームビズの取組みがますます重要になってきている。

一方で、省エネルギーに取り組むあまり、空間の知的生産性を損ねる可能性を指摘されている。特に研究施設やオフィスの設計開発部門などは、知的生産活動が停滞することでは人的活力を失うことにもなりかねない。今後タスク・アンビエント空調は、省エネルギーと知的生産性とをマッチングさせる一つの切り札になると考える。

しかしながら、タスク・アンビエント空調の普及に際しては、設備システムが高価であること、一度構築したシステムはレイアウト変更に対応しづらいことに加え、タスク空間を気流主体で処理しているため、知的生産性の

高い静的環境においては、気流による不快感と、局所的に冷却されるために起こる不均一温冷感の問題がある。

筆者らは、これまでに提案または実現されているパーソナル空調、タスク・アンビエント空調のシステムを分類整理するとともに、その問題点を抽出し、新たな方向性のひとつとして、放射と自然対流によるタスク・アンビエント空調システムを提案する。さらに、本システムを採用したデスク周り各所の温度や気流速度などの物理特性調査に加え、被験者による快適性の評価試験を行い、着座事務作業時における快適性を満足できることを確認した。

2. タスク・アンビエント空調の特徴

これまでに、それぞれに特徴をもった、様々な方式のタスク・アンビエント空調が提案されてきている。ここでは、それら様々なタスク・アンビエント空調の特徴を整理する。

2.1 タスク・アンビエント空調の特徴と分類

タスク・アンビエント空調は、アンビエント空調でおおよそ許容できる温熱環境を形成し、タスク空調で個人の好みにより快適な空間となるように温度調節をするという考え方で行われるのが一般的である。アンビエント空調方式としては、天井吹き空調の他、(全面)床吹き空調、天井放射空調も行われている。いずれの方式も、広いアンビエント空間を均一な温熱環境とすることを主眼に設計されている。

タスク空調の方式を、供給空気の種類と吹き出し口の配置により分類したものをTable 1に示す。タスク空調は、様々な方式が実施または提案されており、それぞれに一長一短がある。例えば、天井吹き方式の場合、指向性を持ち、風向に可変性のある吹き出し口の開発や、吹き出し風向として、人体の直上から吹くのがよいのか、それとも斜め方向から吹くのが良いのかについての研究が行われている¹⁾。また床吹き方式の場合、個人のデスクの足元に設置された専用の吹き出し口からアンビエント空間用の床吹きと同じ空調空気を供給し、個人の好みに応じて吹き出し風量を変えることが行われている²⁾。パーティション吹きは、床吹き用の空調空気をパーティション内に取り込み、専用の壁付け吹き出し口にて風量や風向を調整してアンビエント空間に供給できるようにしたものである。また簡易なものとしては、パーソナル空調ユニットや小型扇風機もその一種である。

吹き出し空気の種類でタスク空調を分類すると、アンビエント空間の床吹きと同じ空気を送風するものが多く使われている。また天井吹きのタスク空調の場合は、アンビエント空調と同じ天井空気ではなく、タスク空間専用の空調空気または室内空気を循環利用したものが見られる。新鮮外気を直接タスク空間に供給するタスク用吹き出し口も開発されている。

高度なタスク空調の制御として、在席状態をPC電源の

ON/OFFで判断すること³⁾などや、人感センサを用いてタスク空調をON/OFFする制御を行うこと⁴⁾など、個人情報から温冷感の好み反映して制御すること⁵⁾なども提案されている。天井吹きタスク空調の場合、吹き出しの風向、風量を遠隔操作できるものも報告されている^{3), 4)}など。

2.2 タスク・アンビエント空調とその他の空調方式の組合せ

実用化されたシステム、研究段階のシステムを含めて、タスク・アンビエント空調とその他の空調方式の様々な組合せが提案されている。アンビエント空調に潜熱顕熱分離空調を組み合わせた例、床吹き方式の置換換気空調を組み合わせた例、アダプティブ空調を組み合わせた例が見られる。アダプティブ空調とは、人間の自立的な温熱環境順応特性(暑いと感じたときは自発的に着衣の調節を行うなどする行動的順応や、代謝などの生理的条件によって快適と感じる環境が変わる生理的順応などを行う特性) =アダプティブモデル⁶⁾の概念を取り入れた空調であり、ある程度の人間の環境順応性を考慮に入れてシステム設計を行う空調である。

例えば、潜熱顕熱分離空調との組合せとして、潜熱処理は空調機にて行い天井吹き口から供給、アンビエント空調として天井放射パネルを併用し、タスク空調は天井に設置されたパーソナル吹き出し口にてレタン空気を放射パネルにより冷却再循環し、気流感により空調するものが挙げられる⁷⁾。

置換換気空調との組合せとして、床吹き口または全面床吹き空調により、アンビエント空間を居住域空調とし、タスク空調は机下に設置したパーソナルの床吹き口またはパーティションからの壁吹き出し口により空調するものが挙げられる。

アダプティブ空調との組合せであるが、人間が暑熱環境からデスクに戻ったときには、強い空調を望み、定常

Table 1 タスク空調の分類
Classification of Task Air-Conditioning System

方式	吹き出し空気供給源	長 所		短 所		レイアウト変更への対応
天井吹き	アンビエント共用空調機	じゅう器の影響を受けにくい	構造が単純・低コスト	アンビエント空間の空気を乱しやすい	吹き出し空気の温湿度の調節ができない	1) ダクト方式の場合は比較的困難 2) 室内空気循環方式の場合は比較的容易
	専用空調機		吹き出し空気の温湿度の調節が可能		高コスト	
	室内空気循環		構造が単純・低コスト		1) 空気齢が高くなりやすい 2) 吹き出し空気の温湿度の調節ができない	
床面吹き	アンビエント共用空調機	構造が単純・低コスト		1) 暖房時は気流により温冷感が悪い 2) 吹き出し空気の温湿度の調節が困難	比較的容易	
床吹き	パーティション吹き	1) アンビエント空間の空気を乱しにくい 2) 気流の冷却効果により人体からの熱放散量が大きい場合にも対応可能	好みに応じて運転を停止することが可能	1) 机上の書類等が飛びやすい 2) 気流による不快感が強い	1) 吹き出し空気の温湿度の調節ができない 2) 高コスト 3) じゅう器の制限がある	比較的困難
	卓上ユニット吹き		1) 居住域へ新鮮外気を効率よく供給可能 2) 吹き出し空気の温湿度の調節が可能		1) 外気の供給が停止してしまう場合がある 2) 高コスト 3) じゅう器の制限がある	比較的困難
	卓上送風ファン		室内空気循環		構造が単純・低コスト	吹き出し空気の温湿度の調節ができない

に達すると穏やかな空調を望むこと⁸⁾、また、人間は、温熱環境に対して、自らアダプティブ行動をすることがわかっている⁶⁾。例えばタスク用吹出しについて考えると、着席してすぐには直接気流を顔に当てて涼むことが快適と思われるが、しばらくするとその気流が不快となり、停止または気流を弱くするという行動をとる。また、不快な環境下では、自らの意思で着衣の形状・量を調整したり、姿勢を変更したりする。全てにおいて快適な領域でなくとも、ある程度人間のアダプティブ行動に期待することもでき、それを期待した空調システムが提案されている⁷⁾など。これまでに提案されているシステムでは自動で風量・風向を調整する機能を擁した吹出し口などの装置は開発には至っておらず、手動で調整する程度のものである。

2.3 タスク・アンビエント空調の問題点

タスク・アンビエント空調は、室内の快適性の向上および省エネルギー化を図る場合において有効なシステムであると考えられるが、同時に問題点も抱えており、普及の妨げとなっていた。ここでは、タスク・アンビエント空調採用時の代表的な問題点について述べる。

2.3.1 コストの増加 タスク・アンビエント空調では、従来の全域空調と同様に室全体の空調を行うことを目的とした空調システムに加え、タスク空間を空調するための専用のシステムまたは機器（じゅう器を含む）が必要となる。また、タスク空調用の機器は汎用品ではないことが多く、イニシャルコストが増加する傾向にある。さらに、個人で自由に調節ができるシステムであるため、使用者に対して省エネルギーに対する啓蒙が十分でない、必要がないにもかかわらず常に最大負荷で運転されたり、面倒さを嫌って操作が行われなくなったりするおそれがある。加えて、全域空調に比べ空調関連の機器が多くなるため、メンテナンスコストも増加する。そのため、ランニングコストが増加する可能性もある。

2.3.2 不均一温冷感による不快感 一般に頭部と足元の温度差は3℃以内とすることが望ましいと言われるように、局所的な空調を行う場合、局所温冷感とその部位との関係を十分に考慮しないと、不快感を引き起こす。タスク空調では人体の一部のみに気流が当たる場合が多く、ドラフト（気流）が不快感を生じさせる要因となり、特に顔周りに気流が当たる場合、目の乾き等の不快感を生じる場合が多い。

2.3.3 調整範囲が狭い 個人の好みで調整可能なシステムではあるが、天井吹出し口や床吹出し口の位置が決められているため、ある程度気流の方向が限定されている。また、吹出し空気の温湿度の調整はできず、風向や風量のみ限定されている場合が多いため、調整可能な範囲が狭いことに対する不満を感じる場合がある。

2.3.4 レイアウトの変更への対応性が低い タスク・アンビエント空調は一般に在席者専用の吹出しユニットを備えるため、オフィスレイアウトが変更されると、そ

れに対応して吹出し口の位置の変更やダクトの盛り替え等の対応が必要となる。また、パーティションに吹出し口を設けた場合などは、じゅう器の変更にも制約が生じる。さらに、在室人数が増加する場合は、吹出しユニットを新設する必要が生じるなど、オフィスレイアウトの変更への柔軟な対応が難しくなる傾向がある。

2.3.5 費用対効果が小さい タスク空間と比較して、アンビエント空間における消費エネルギーが圧倒的に多く、省エネルギー性の良し悪しはアンビエント空調によるところが大きい。そのため、タスク空調への投資は費用対効果が小さいと認識される場合が多い。

2.4 アンビエント空調の問題点

タスク空調の省エネルギー性に対して、実際はアンビエント空間の空調に、より多くのエネルギーが使われている。従って、完全なるタスク空間、つまり独立した空間が成立しない限り、アンビエント空間は均一な環境を作らざるを得ず、そこに大きな無駄が生じている。ここでは、アンビエント空調の問題点と課題を整理する。

2.4.1 アンビエント空間の空調に無駄が多い 広いアンビエント空間を均一な温熱環境とすることを主眼に設計されているため、居住域に限らず、通路やコピーコーナー、キャビネット位置等、常時人が滞在しない空間に関しても、常に均一な空調がなされている。つまり、たとえタスク空間に人が不在であったとしても、室全域を均一環境とするために常時空調を行っている。省エネルギー化を図る上では、常時人が居ない空間まで均一環境を作り出す必要は無いため、在席率が少ない時には無駄なエネルギーを消費していると言わざるを得ない。

2.4.2 アンビエント空調とタスク空調の役割分担が明確でない アンビエント空間とタスク空間との境界は、非常に不明瞭である。果たしてタスク空間とはどこまでを指すのだろうか。自分の机の上だけを言うのか、机の周囲1mの範囲なのか。果ては机の隣にある打合せコーナーさえも作業をするタスク空間なのか。現状、明確な区分設定がなされていないため、アンビエント空間の環境を、より快適な温度に設定せざるを得なくなっている。その結果、タスク空間もアンビエント空間と同様、快適な温度帯になってしまうため、タスク空調があまり使われない事態となってしまう。

3. 新しいタスク・アンビエント空調の提案

ここでは、筆者らが提案する新しいタスク・アンビエント空調の概念を示す。

3.1 アンビエント空調とタスク空調の役割の整理

筆者らが提案するアンビエント空調では、外気導入による潜熱を主体で処理し、タスク空調で顕熱処理を分担させる。しかし、知的生産性に影響をもつ、必要十分な新鮮外気の供給を考えると、外気は人間のいるタスク空

間に供給し、その使用済外気をアンビエント空間に流用すると省エネルギーに有効である。

ただし、上記のように、アンビエント空調で潜熱処理、タスク空調で顕熱処理と、処理する負荷の役割分担を明確にすることにより、顕熱処理量が不足し、室温が著しく不快になる可能性がある。またタスク空間では、快適温度の条件が満たされた場合には、空調空気が絞られてしまい、外気の供給不足が起こる可能性がある。アンビエント空調とタスク空調の役割分担を明確にすることは、逆に温冷感に対して選択を狭めることになり、ひいては不快と感じる人が多くなる可能性を秘めている。タスク・アンビエント空調の導入に際しては、アンビエント空間は、省エネルギーのために十分に快適な空間とはしていない事を利用者へ十分に説明する等、注意が必要である。

3.1.1 アンビエント空調の無駄の排除 アンビエント空間を一律に空調することは無駄である。通常のオフィスの在席率は70～80%程度であり、営業部門や研究部門では50%を切ることもある。都内某オフィスビルの実測を行った結果、平均在室率は約44%であったという報告もある⁹⁾。しかし、従来のタスク・アンビエント空調では、在席率が100%でも、50%でも、アンビエント空間を一律に空調している。一方、タスク空調では無駄を省くため、人感センサなどを用いた在席管理手法を導入している事例があるが、タスク空調とアンビエント空調では、タスク空調よりも遙かに多くのエネルギーを消費するアンビエント空調も同時に、無駄をいかに省くかがタスク・アンビエント空調の省エネルギーの勘所といえる。

3.1.2 準タスク空間の構築 Fig. 1は従来のタスク・アンビエント空調の概念図である。またFig. 2にタスク空間とアンビエント空間の模式図を示す。



Fig. 1 従来のタスク・アンビエント空調の一例
Space Construction of Traditional Task-Ambient Air-Conditioning System

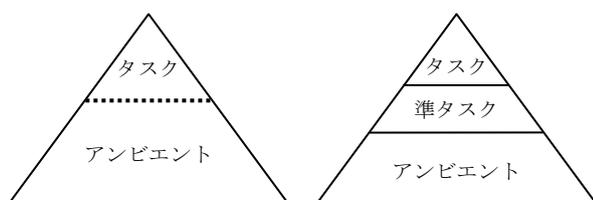


Fig. 2 タスク空間とアンビエント空間の区分け
Boundary between Task Area and Ambient Area

例えば〔従来型〕タスク空間を26～27℃程度に調節するとしよう。この場合アンビエント空間は27～28℃に調整する必要がある。ここで筆者らは、〔省エネルギー型〕タスク・アンビエント空調として、準タスク空間という概念を形成した。タスク空間を26～27℃程度、準タスク空間を27～28℃とすれば、アンビエント空間は28～30℃程度に緩和することも可能と考える。例えばコピー機やプリンタ、給茶スペース、また普段は人がいない短時間の打合せコーナーは、この省エネルギー型アンビエント空間として、温度条件を緩和することを利用者十分に説明した上で、住み方として認めてもらえるのではないだろうか。このような発想で計画されるものとして、ペリメータ近傍の緩衝空間、ペリバッファ空間¹⁰⁾がある。これは、日射負荷の多いペリメータには通路などの短時間滞在スペースを配置し、温度条件を緩和し省エネルギーに寄与するものである。

アンビエント空間の空調エネルギーがタスク空間の空調エネルギーよりも多く、また在席率などを考えるとエネルギーが有効に使われていないため、準タスク空間を形成することを提案したい。

3.1.3 タスク空調の不均一温熱環境の改善 タスク空間の不均一な温熱環境は、局所温冷感の不一致と、ドラフトによる不快感を生じさせるが、特にドラフトによる不快感は、生理的にも心理的にも不快感を生じさせることが既往の研究で示されている¹¹⁾。また、別の研究では、部分冷却を行うことが、全身温冷感の改善にも有効であることが示されており¹²⁾、タスク空調は全身温冷感に効果的な部位に注目することが必要である。

タスク空調を行う場合、衣服を着用した状態で有効な冷却を行うことが可能なのは、顔や腕などの人体露出部となる。しかし露出部に気流を与え続けると、ドラフトによる不快感が生じてしまい、良好な温冷感の確保と不快感の解消の間には矛盾が生じてしまうため、これらの問題を解決する必要がある。

筆者らは、それらの問題の解決のため、放射と自然対流によるタスク空調方式を提案する。このタスク空調は、静穏な空間を提供することが可能であるため、ドラフトによる不快感が生じない。さらに机上面より上部からの冷却を主体とする事で、古来より健康に良いとされてきた、頭（顔）を冷却し、足元は熱する（冷やさない）という、頭寒足熱の考えに則した冷却が可能となる。

放射と自然対流を用いた、静穏気流・ドラフトレスによるタスク空調が、不均一温熱環境改善の一助となると考える。

3.1.4 アダプティブ空調の提案 人間の熱放散量に応じて空調の制御量を変化させるアダプティブ空調が提案されているが、本報で提案する新しいタスク・アンビエント空調システムは、建物のエントランスから執務空間までをトータルで考えたアダプティブ空調システムである。Fig. 3にシステムの考え方を示す。

まず、屋外暑熱空間から執務空間に至るまでのエント

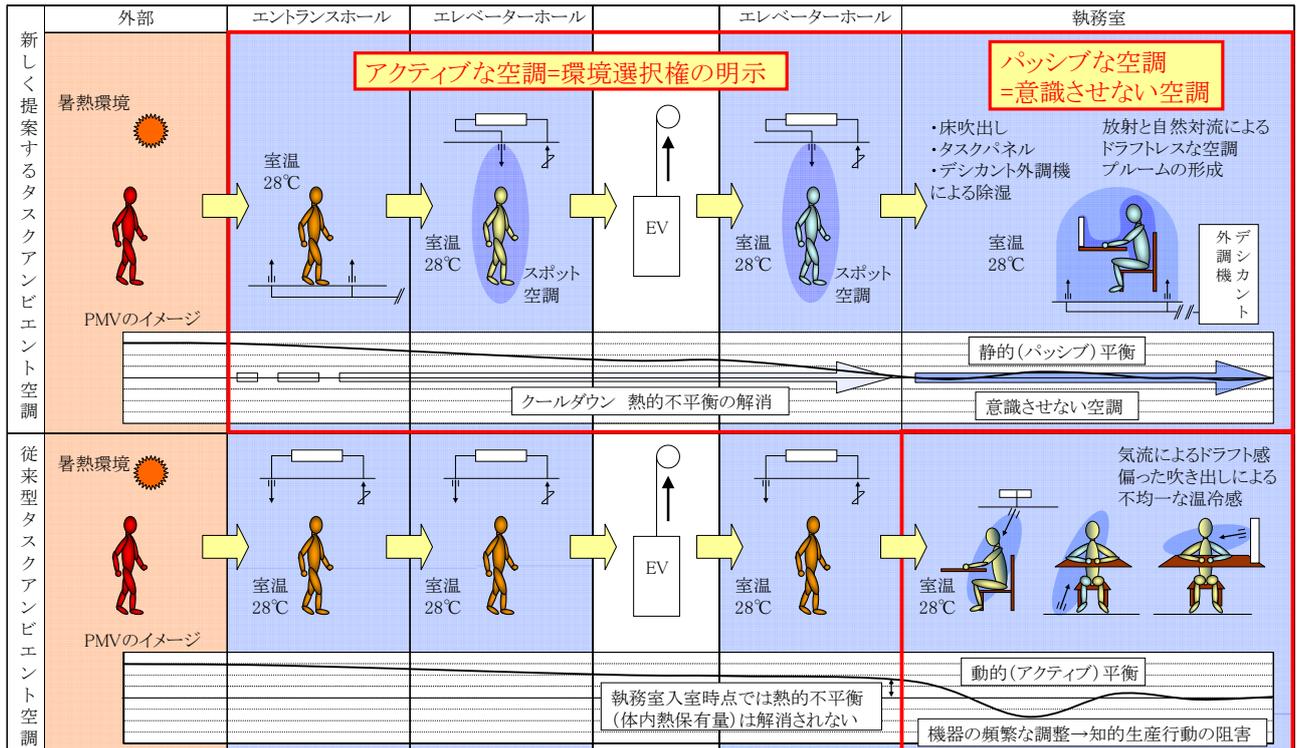


Fig. 3 新しいタスク・アンビエント空調システムの概念
New Concepts of Task-Ambient Air-Conditioning System

ランスホール・エレベーターホールを熱的緩衝ゾーンとみなし、設置されたスポット空調の気流によって、屋外暑熱環境の暑熱性や、運動による通常時以上の代謝に伴う粗熱を除去する。このスポット空調は、使用者の任意でON/OFFが可能である。続いて、穏やかに空調された建物内を移動し、執務室の自席でのデスクワークへと移る過程で徐々に人体の熱放散量が減少していくが、その減少に合わせ、執務室の空調は気流の少ない静穏な空調とする。執務室内の静穏な空調空間は、置換換気方式の床吹き出しアンビエント空調（準タスク空間の処理を行った後にアンビエント空間を空調）と、不快な気流を発生させない放射と自然対流によるタスク空調（タスク空間を空調）とが協調することにより実現され、研究施設等の高い知的生産性が要求される建物に最適なシステムであると考えられる。この一連のシステムは、エントランスから執務室入室前までの、粗熱の除去を目的とし環境選択権を付与されたアクティブな空調と、熱的な微調整を目的とし、その存在を意識させない執務室のパッシブな空調との組合せとすることができる。

3.2 放射と自然対流によるタスク・アンビエント空調

知的生産性や快適性と省エネルギーはトレードオフの関係にあり両立は難しいが、知的生産性を高くするのではなく、保持しつつ、さらなる省エネルギーを実現するといった考え方に基づき開発を行った。

3.2.1 システムの概念 Fig. 4に、提案するタスク・アンビエント空間の概念を示す。タスク空間とアンビエ

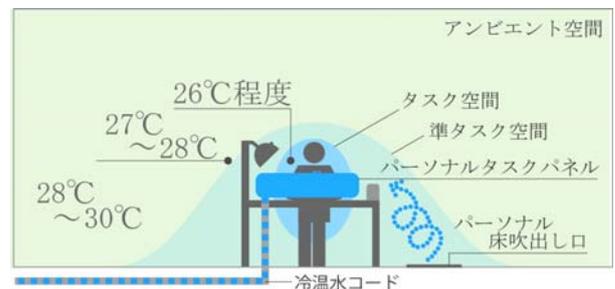


Fig. 4 新しいタスク・アンビエント空間の空間構成
Space Construction of New Task-Ambient Air-Conditioning System

ント空間の間に、準タスク空間を設ける。アンビエント空間は28°C以上に緩和し省エネルギーを図る。また床吹き出し空調により準タスク空間を27~28°Cに設定し、タスク空間(机周り)のみを26~27°Cに設定するものとする。新鮮外気は、デシカント空調機により調湿された空気として準タスク空間用のパーソナル床吹き出し口から供給する。この場合、準タスク空間の顕熱処理分を含めて吹き出し温度を設定する。準タスク空間の顕熱とは、主に照明や昼光の放射による温度上昇分である。Fig. 5に示すように、タスク空間には、人体発熱分の顕熱処理を行うパーソナルタスクパネル（ピーエス株式会社と共同開発）をデスクに設置する。このタスクパネルには自然対流を促進するコイルが組み込まれており、パネル表面、及びパネル内部を通った空気が下降気流となり、人体方向へ静的な微風速気流が形成される。さらに、その微風

速気流によってパーティションや机上のじゅう器表面も冷却され、二次放射による冷却効果も期待できる。

デスク周りのパソコンやタスク照明の発熱は、準タスク空間の床吹き出し口から供給される空調空気によって、置換換気効果により、タスク空調の負荷とはならず、上昇し排出される。このタスク空調は冷房環境に繊細な顔などの露出部を含めた上半身を冷却し、置換換気のプルームを形成する。下半身は通気性のよいバックチェアの椅子を配置することで、見かけのクロ値を下げ（人体周りの対流熱伝達率を上げ）、またパーソナルタスクパネルからの自然対流成分の落下分と、準タスク空間用の床吹き出し口からの空調空気の混合空気により負荷を処理することで準タスク空間を形成する。

これらの放射と自然対流による空調方式は、ドラフトを殆ど感じることのない静穏な空調であり、新しいタスク・アンビエント空調と言える。

3.2.2 タスク空調の構成 実験に用いたタスクパネルをFig. 6に示す。また、Table 2にタスクパネルの仕様を示す。パーティションに囲まれたワークスペースをタスク空間として、そこにタスクパネルを設置する。Fig. 5に示すようにパネル内部のコイルによって冷却された下降気流（自然対流）と、パネル表面の放射（一次放射）によりタスク空間を冷却する。また、自然対流により机上面等が冷やされ、それらからの放射（二次放射）により、さらなる冷却効果が期待できる。

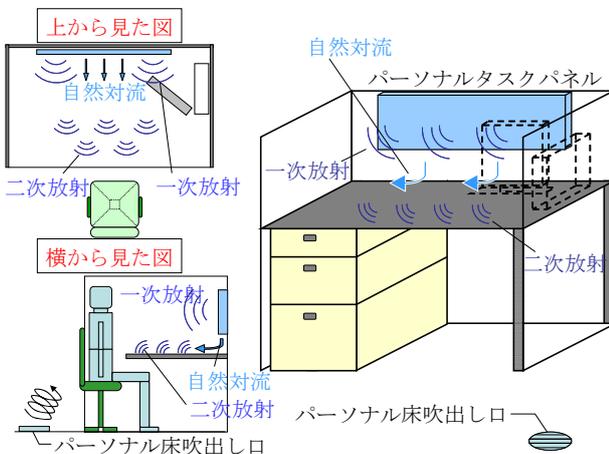


Fig. 5 放射と自然対流によるタスク空調の概念
Concepts of Task Air-Conditioning System
based on Radiation and Convection



Fig. 6 パーソナルタスクパネル
Personalized Task Panel

4. タスク空調の実験による評価

今回提案したタスク空調（タスクパネル）の性能評価を目的として、物理特性調査および被験者実験を行った。物理特性調査では、デスク周りの気流速度、温度および通常の着席状態を想定して設置したサーマルマネキンの皮膚温度を測定した。また、タスクパネルを設置したデスクに被験者を着席させ、被験者に告知することなくタスクパネルのON/OFFを行い、身体各部および体全体の温冷感、気流感の申告を行わせる被験者実験を行った。

4.1 物理特性調査

工学院大学八王子キャンパス地震防災・環境研究センター居住環境制御システム比較実験室 (KTC) にて、実験を実施した。Fig. 7に実験室外観及び平面図（本実験では実験室Aのみ使用）を示す。実験室Aの天井高は5.5 mである。実験室は窓面以外を断熱性および気密性の高い壁面に囲まれている。実験では窓面でドラフトが生じないように、窓面には断熱材を敷設し、さらに、窓のある側の壁一面を布で覆った。空調は床吹き出し、天井吸い込み方式とし、高さ1,100 mmにおける室内温湿度が28℃、45%となるよう調整した。

4.1.1 風速及び温度

(1) 測定概要 Fig. 8 (左) に示す三次元超音波風速計により風向及び風速を測定した。また、同一点で温度を測定し、タスクパネルの放射・自然対流の効果を検証した。Fig. 9に測定点を示す。測定中、人体（サーマルマネキン）及びデスクトップPCを熱負荷として設置し、タスク空間の熱環境を再現した。

(2) 測定結果

a) 風速 風速の測定結果をFig. 10に示す。特に机上面に近い測定点 (H 50 mm) の風速が強く (0.05~0.06

Table 2 タスクパネル仕様
Specification of Task Panel

寸法	前面パネル (W 950 × H 250)
パネル内コイル	金属管周囲に細金属線を巻きつけた形状 (φ 35 mm)
冷水流量	1.0 L/min
冷水供給温度	16℃ (室内温度28℃)
冷房能力	約60 W

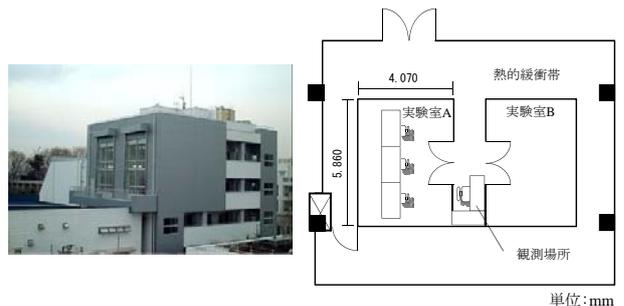


Fig. 7 実験室外観及び平面図
Laboratory's Façade and Plan View



Fig. 8 測定機器
Measuring Instruments

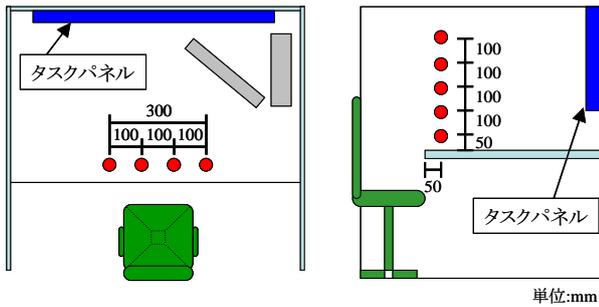


Fig. 9 風速測定点
Measuring Points of Velocity

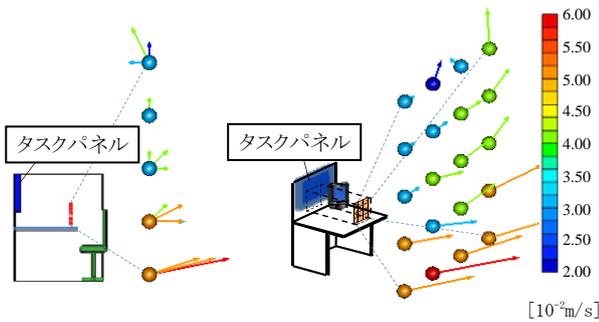


Fig. 10 風速計測定結果
Measuring Results of Velocity

m/s), 人体方向への気流が確認できた。机上面から離れるにつれ風速は弱まり, 風向も上向きになった。人体発熱によるブルームと考えられる。

b) 温度 温度測定結果をFig. 11に示す。机上面から遠い測定点の温度は室内温度(28℃)とほぼ等しいが, 近くなるにつれ温度は下がり, 机天板近傍では室温から約0.5℃の低下が見られた。また, 本実験では熱の発生源であるディスプレイを机上右側に設置しているため, Fig. 11において左側と比較して右側の温度が高くなっている。

以上の結果より, 自然対流が生じ, 冷却された下降気流が人体に到達していたことが確認できた。

4.1.2 皮膚温度変化

(1) 測定概要 サーマルマネキンによりタスクパネルの人体冷却効果を測定した。設置状況をFig. 8(右)に示す。タスクパネルに冷水を供給し, 定常状態での測定を行った。測定部位はFig. 12に示す全17部位である。

(2) 測定結果 Fig. 12に, タスクパネルへの冷水停止時と供給時の皮膚温度差を示す。特に変化のあった

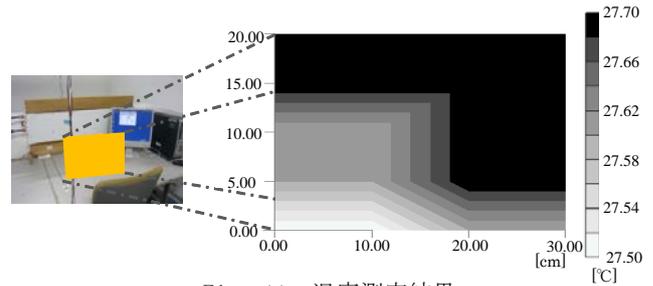


Fig. 11 温度測定結果
Measuring Results of Temperature

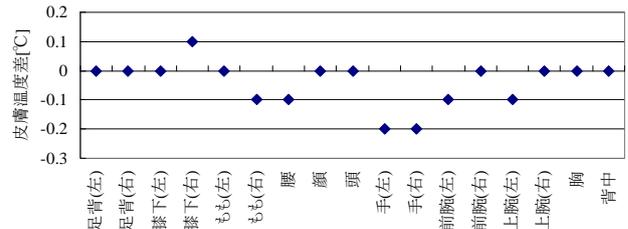


Fig. 12 皮膚温度差
Thermal Differences of Skin

Table 3 実験条件
Experimental Condition

空調方式		床吹出し天井吸込み
室内空気温度		28℃
相対湿度		45%RH
室内気流		静穏気流
代謝量		1.2 met (机上作業)
タスクパネル	流量	1.0 L/min
	供給温度	16℃

部位は手(左右共)で, 皮膚温度が0.2℃低下した。次いで前腕(左), 上腕(左), 腰, もも(右)で0.1℃低下した。全体で見ると上半身のタスクパネル側の皮膚温度が低下しており, 本システムによる冷却効果が確認できる。

4.2 被験者実験による評価(基準条件)

ここでは, デスクに着席した被験者に知らせることなくタスクパネルのON/OFFを行い, 被験者に全身温冷感および部位別温冷感を申告させた, 被験者実験の概要及び結果について述べる。

4.2.1 実験概要 2009年11月21日から12月10日にかけて, Fig. 7に示した工学院大学八王子キャンパス地震防災・環境研究センター居住環境制御システム比較実験室(KTC)にて, 実験を実施した。

(1) 実験条件 Table 3に実験条件を示す。本実験で用いた空調方式は床吹出し天井吸込方式であり, 室内空気温度はタスクパネルと床吹出しによる影響を受けない, 高さ1,100mmにおける室内温湿度が28℃, 45%となるよう制御を行った。タスクパネルへの冷水供給温度は, 基準条件として16℃とした。

(2) 被験者 被験者は大学生年齢の男性12名女性6名の計18名を対象とし, 着衣量はクールビズを採用した

夏期オフィス (男性0.64 clo, 女性0.51 clo) を想定した (Fig. 13, Table 4)。実験中被験者にはオフィス内作業1.2metを想定したジグソーパズルの製作を課した。

(3) 実験スケジュール 実験は男性4グループ, 女性2グループで行った。実験中, 全身温冷感・部位別温冷感・部位別気流感の申告を5分に1度PC画面で行うよう指示した。申告スケールをTable 5に示す。

実験スケジュールをFig. 14に示す。被験者を実験用衣装に替えさせ(1), 28℃, 45%の実験室で30分待機して体を順応させた(2)。その後3時間の実験を開始し, その間被験者には知らせず45分毎にタスクパネルへの冷水供給・停止を切り替えた(3)。実験終了後実験全体について調査票を記入させた(4)。

4.2.2 実験結果 室温及び冷水供給温度・能力をFig. 15に示す。実験中平均冷房能力は約60Wとなっている。



Fig. 13 被験者 Human Subjects

Table 4 被験者着衣量 Amount of Clothing

男性	clo値	女性	clo値
		キャミソール	0.06
タンクトップ	0.07	ブラジャー	0.02
半袖シャツ	0.19	半袖シャツ	0.19
トランクス	0.05	パンティ	0.03
ズボン	0.29	スカート	0.15
靴下	0.01	ストッキング	0.03
革靴	0.03	革靴	0.03
計	0.64	計	0.51

Table 5 申告スケール Scale of Declaration

	温冷感	部位別温冷感	部位別気流感
+3	暑い		
+2	暖かい		
+1	やや暖かい	暑い	感じる
0	どちらでもない	どちらでもない	感じない
-1	やや涼しい	寒い	
-2	涼しい		
-3	寒い		

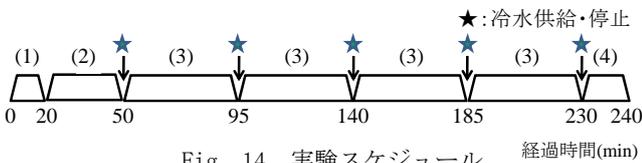


Fig. 14 実験スケジュール Experimental Schedule

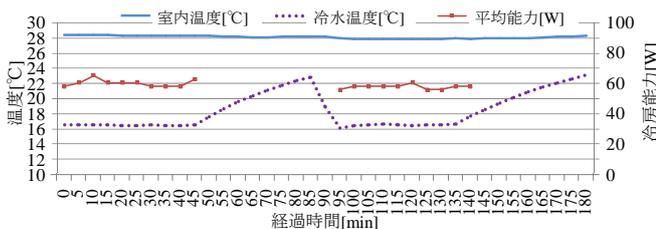


Fig. 15 室内温度及び冷水供給温度・能力 Room Temperature, Supply Temperature of Chilled Water and Performance of Task Panel

(1) 部位別気流感 Fig. 16, Fig. 17に部位別気流感の申告結果を示す。腕から掌・膝下に気流を感じるといふ申告率は全体の10%以下であった。また, 冷水供給時と停止時とを比較しても同様な申告結果を示していた。これより, 本システムは“ドラフトを感じさせない空調システム”であると言える。

(2) 温冷感

a) 全身温冷感 Fig. 18, Fig. 19に冷水供給時と停止時における全身温冷感の申告結果を男女別に示す。全被験者の温冷感申告頻度を比較すると男女共, 冷水供給時に“暑い”と申告した被験者が減少し, 中立へと推移していた。性別で比較すると男性被験者は冷水供給時に“やや暖かい”が減少し“どちらでもない”が増加しているものの, “暑い”・“暖かい”といった暑い側の申告が依然として見られた。一方, 女性被験者は冷水供給時に暑い側の申告が緩和され中立側に推移している。特に, 冷水停止時に“暑い”の申告が13%であったが, 冷水供給時には2%となっており, 冷水供給によるタスクパネルの効果がうかがえた。

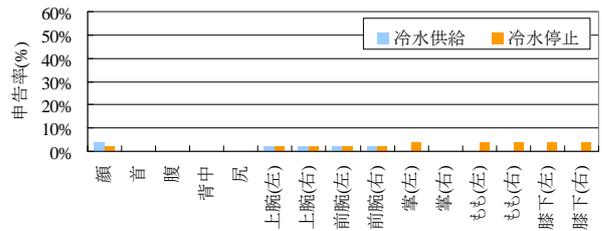


Fig. 16 部位別気流感の申告結果 (男性) Results of Thermal Sensation Reports for Each Part by Human Subjects (Male)

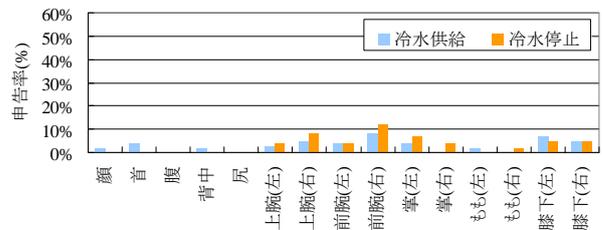


Fig. 17 部位別気流感の申告結果 (女性) Results of Air Draft Sensation Reports for Each Part by Human Subjects (Female)

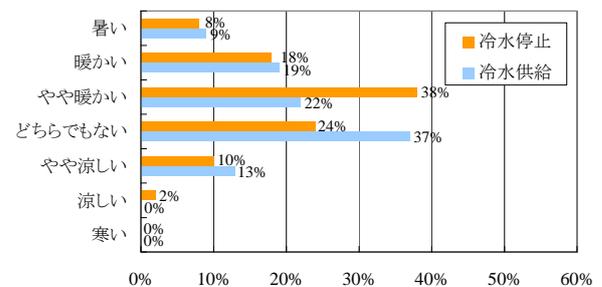


Fig. 18 全身温冷感の申告結果 (男性) Results of Thermal Sensation Reports by Human Subjects (Male)

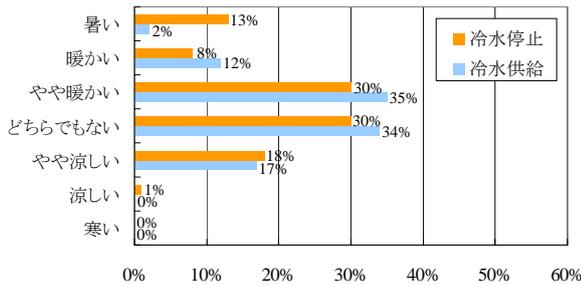


Fig. 19 全身温冷感の申告結果 (女性)
Results of Thermal Sensation Reports
by Human Subjects (Female)

b) 部位別温冷感 Fig. 20, Fig. 21に部位別温冷感の申告結果を示す。冷水供給時と停止時とを比較すると、顔・首・上腕(左右共)・前腕(左右共)等の部位で、冷水供給時にはわずかであるが“暑い”の申告の減少がみられた。男女別にみると男性被験者は実験中“寒い”の申告はほとんど無く、全体的に“暑い”の申告が多かった。

女性被験者は冷水供給時に“暑い”の申告が大きく減少している部位があり、これはサーマルマネキンによる皮膚温度の低下が大きい部位と等しかった。特に前腕は“暑い”よりも“寒い”の申告が上回る結果となった。また、“暑い”の申告が目立つ部位は男性が背中・尻、女性が掌といったように、性別で違いが見られる。

以上の結果より、女性は冷水供給時にドラフトを感じさせることなく温冷感が中立側に推移していたが、男性被験者の結果にはあまり変化がなかった。

4.3 被験者実験による評価 (派生条件)

被験者実験の結果より、男性にとって冷水供給温度 16 °C の能力では温冷感で中立に推移させるほどの効果が期待できないおそれがあることがわかった。そこで、冷水供給温度を 15 °C に下げ、さらに流量を 2.0 L/min に増やすことで冷却能力を約 70 W に向上させ、被験者実験を行った。女性は冷水供給温度 16 °C の能力でも、概ね温冷感を中立側へ推移させる効果がみられたため、本実験は男性のみとした。

Fig. 22に全身温冷感の申告結果を示す。冷水停止時は“やや暖かい”の申告が 44 %であったのに対し、供給時の申告は 13 %に減少した。また、“どちらでもない”・“やや涼しい”の申告が増加しており、タスクパネルにより温冷感が中立、あるいは涼しい側へ推移したと考えられる。

Fig. 23に部位別温冷感の申告結果を示す。冷水供給時に顔や首、掌、腕の“暑い”の申告が減少していた。また、全ての部位で“寒い”の申告が増加しているため、部位別にも温冷感の中立もしくは涼しい側への推移が確認できた。

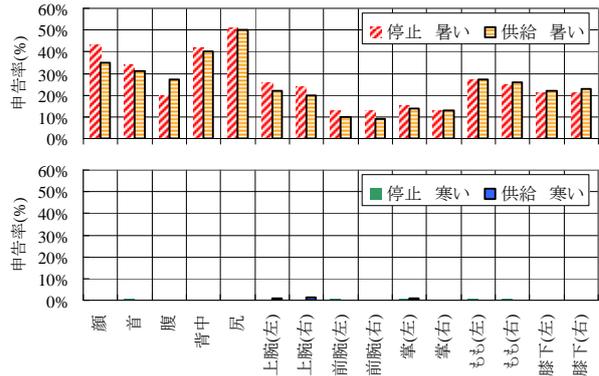


Fig. 20 部位別温冷感の申告結果 (男性)
Results of Thermal Sensation Reports for Each Part
by Human Subjects (Male)

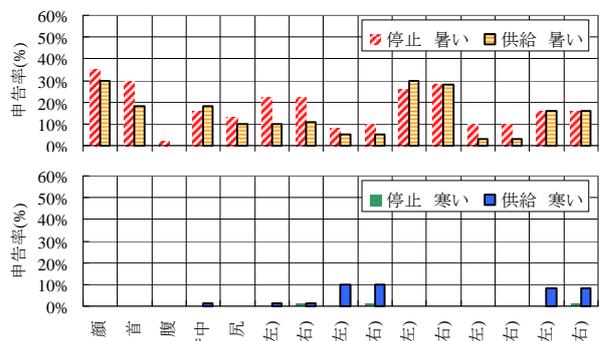


Fig. 21 部位別温冷感の申告結果 (女性)
Results of Thermal Sensation Reports for Each Part
by Human Subjects (Female)

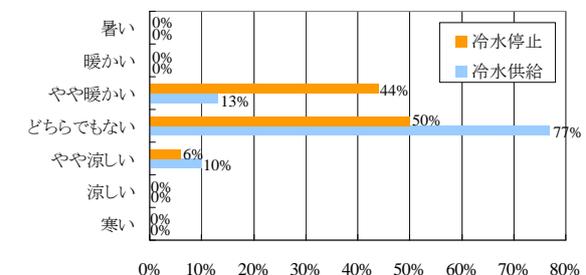


Fig. 22 全身温冷感の申告結果 (派生条件)
Results of Thermal Sensation Reports
by Human Subjects (Derivational Condition)

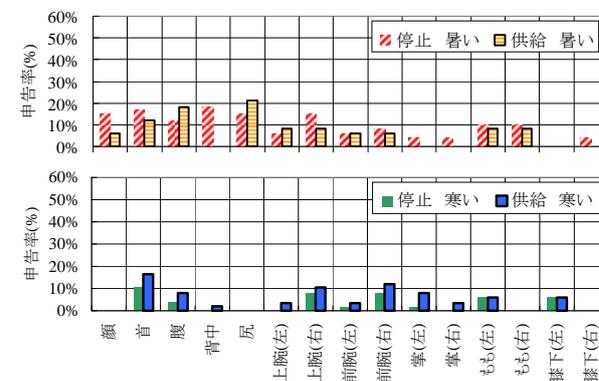


Fig. 23 部位別温冷感の申告結果 (派生条件)
Results of Thermal Sensation Reports for Each Part
by Human Subjects (Derivational Condition)

5. まとめ

さまざまなタスク・アンビエント空調を分類し、問題点を整理した。また、それらに対する解決策として、放射と自然対流によるタスク・アンビエント空調システム(タスクパネル)を考案した。システムの物理特性を測定し、下記の知見を得た。温度や風向・気流速度より自然対流が生じていることが確認できた。また、サーマルマネキンによりタスクパネルの冷却効果を確認した。

被験者実験により、タスクパネルの性能評価を行った。冷水を供給しても、男女共に気流感を感じておらず、ドラフトを感じさせないシステムであることが確認できた。

全身温冷感・部位別温冷感は暑さや寒さが大きく偏ることもなく、静的な代謝の状態であれば、熱的平衡による快適性を得られることを確認した。

6. おわりに

本論文で提案したタスクパネルを用いることで、強制対流(ファン)を用いない空調システムとして、振動や騒音といった不要素を排除した快適空間の構築が期待できる。執務者の代謝量が多い場合にはクールスポットなどのアダプティブ空調と組み合わせることが有効と考えられる。また、タスク・アンビエント空調の省エネルギー効果を発揮させるためには、無駄を省くRFIDタグの利用との組合せが考えられる。準タスク空間の自動シャッター付きの床吹き出し口とパーソナルタスクパネルを、セキュリティシステムと兼用したRFID (Radio Frequency Identification) タグを用いて制御する。これらにより、従来のタスク・アンビエント空調よりもさらに徹底した、無駄を省くシステムを構築することができる。

今後、実物件において運用していく中で、デスク周りを温湿度や気流の流速などの実測を行っていく予定である。その結果を反映させて、チューニングを行っていくことにより、より高い快適性を実現できるシステムとして確立させていきたい。

謝辞

本タスク・アンビエント空調の評価にあたっては、野部達夫教授(工学院大学工学部建築学科)にご助言、ご協力をいただいた。また、パーソナルタスクパネルは、平山禎久氏(ピーエス株式会社)と共同開発を行った。この場を借りて御礼申し上げたい。

参考文献

- 1) 粕谷, 他: 放射冷暖房を考慮したパーソナル空調方式に関する研究(第2報) 温熱環境の基礎特性, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集 I, pp. 237~240, (2009)
- 2) 川島, 他: 次世代技術を導入した環境配慮型建築(その1) -技術研究所本館の計画-, 清水建設研究報告, 第80号, pp. 55~62, (2004)
- 3) 二志出, 他: 天井吹出型パーソナル空調システム システム概要と実験結果, 大成建設技術センター報, 第40号, pp. 37-1~37-4, (2007)
- 4) 平岡, 他: 鹿島本社ビル・鹿島赤坂別館-鹿島本社ビル再配置-, ヒートポンプとその応用, No. 74, pp. 30~34, (2007)
- 5) 次世代の空調技術「ユビキタスパーソナル空調システム」の実用化に目処, 清水建設ニュースリリース, (http://www.shimz.co.jp/news_release/2007/699.html), (2007)
- 6) Richard J. de Dear, Gail Schiller Brager: Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference, ASHRAE Transactions, Vol. 104, (1998)
- 7) 和田: 空調システムの新しい技術アプローチ, 第42回建築設備技術会議資料, pp. S6-3-10~S6-3-17, (2009)
- 8) 朱, 他: パーソナル空調機を用いた自然換気併用空調オフィスに関する研究(その5) パーソナル空調によるタスク域のアダプティブ空調制御方式の検討, 日本建築学会大会学術梗概集 D-2, pp. 1165~1166, (2005)
- 9) R-1009-2008 オフィスビルの内部発熱と熱負荷シミュレーション, 空気調和・衛生工学会, p. 70, (2009)
- 10) 相賀, 他: ペリメータに熱的緩衝空間を有した床吹出空調システムの性能評価に関する基礎的研究, 日本建築学会計画系論文集 第563号, pp. 45~52, (2003)
- 11) 須藤: パーソナル空調システムの問題と課題, 総合設備コンサルタント技術年報, Vol. 33, pp. 7~12, (2008)
- 12) 西原, 他: 局所冷刺激に対する人体反応特性の部位差, 日生気誌39(4), pp. 107~120, (2003)