室内温熱環境の受容に関する研究

Study on Indoor Thermal Environment Acceptability

2018 年 3 月

鵜 飼　真 成

博 士 学 位 論 文

氏 名（本 籍）	鵜飼　真成（神奈川県）
学 位 の 種 類	博　士　（　工　学　）
学 位 記 番 号	甲　　第　１　５　０　号
学位授与年月日	平成３０年３月３１日
学位授与の要件	学位規則第４条第１項
学 位 論 文 題 目	室内温熱環境の受容に関する研究

論 文 審 査 委 員	主 査	野 部 達 夫
	副 査	柳　　宇
	〃	横 山 計 三
	〃	秋 元 孝 之（芝 浦 工 業 大 学）
	〃	田 辺 新 一（早 稲 田 大 学）

工 学 院 大 学 大 学 院

室内温熱環境の受容に関する研究

Study on Indoor Thermal Environment Acceptability

[目次]

第 1 章　序論.....1

1. 研究の背景.....1
2. 従来の温熱環境の基準.....2
3. 室内温熱環境に対するクレーム.....4
4. オフィス建築における空調システムの動向.....5
4.1 社会的な背景.....5
4.2 温熱環境の均斉度に特徴のある空間の創出.....5
4.3 タスク・アンビエント空調、パーソナル空調の採用.....6
5. 放射空調とパーソナル空調の親和性.....8
5.1 タスク・アンビエント空調の概念.....8
5.2 吸気清浄度に着目した評価.....9
6. 空調方式別の温熱環境満足度.....11
7. パーソナル空調、放射空調の熱的快適性評価に従来の指標を適用したときの課題.....13
7.1 パーソナル空調の熱的快適性評価.....13
7.2 熱的均斉度の高い空間に対する熱的快適性評価.....16
8. 研究目的.....18

第 2 章　空調の温熱的非受容に関する研究.....24

1. はじめに.....24
2. 室内温熱環境に係わる環境変更要求.....25
3. 第 2 章の研究目的.....25
4. 非受容申告装置「オストラコン」を用いた調査.....26
4.1 オストラコンの概要.....26
4.2 調査概要.....28
4.3 集団申告型オストラコンを用いた調査.....29
4.3.1 日別の申告数と非受容率.....29
4.3.2 非受容率と PPD の関係.....31
4.4 個別申告 1ch 型オストラコンを用いた調査.....32
4.4.1 非受容申告時の温熱環境.....32
4.4.2 非受容申告時の乾球温度の発生頻度.....33
4.4.3 非受容申告時の時刻.....33
4.5 個別申告 2ch 型オストラコンを用いた調査.....34

4.5.1 実測調査方法 34
4.5.2 実測結果 39
5. 結論 50

第 3 章　オフィスにおける執務者の要求温度に関する研究 52
1. はじめに 52
2. 第 3 章の研究目的 52
3. 調査概要 53
4. 調査結果 54
4.1 着衣量 54
4.2 代謝量 55
4.3 要求温度 56
5. 要求温度の非対称性に関する考察 58
6. 結論 59

第 4 章　オフィスにおける温熱環境の均斉度に関する研究 61
1. はじめに 61
2. 対流空調と放射空調の空間性状比較 61
2.1 測定の概要 61
2.2 測定結果 63
3. 第 4 章の研究目的 65
4. 実測調査方法 65
4.1 調査建物概要 65
4.2 調査方法 70
4.3 調査結果 71
4.3.1 温熱環境分布 71
4.3.2 気流速度 72
4.3.3 等価温度 74
4.4 温熱環境の空間分布と時間変動 75
4.5 温熱環境の受容性の考察 77
5. 結論 78

第 5 章　確率論的温熱受容性評価法に関する研究 80
1. はじめに 80
2. 第 5 章の研究目的 80
3. 確率論的温熱受容性評価法（P-R チャート）の概要 80
3.1 環境温度と要求温度の概念 80
3.2 環境温度と要求温度を用いた確率論的温熱受容性評価法（P-R チャート） 81
3.3 計算方法 83
4. P-R チャートを用いた温熱環境の受容性に関する考察 87

4.1 評価対象建物 87
4.2 P-R チャートの適用 87
4.3 環境温度と要求温度の乖離....92
5. 結論 94

第 6 章　確率論的温熱受容性評価法のパーソナル空調への応用....95
1. はじめに....95
2. 第 6 章の研究目的....98
3. クールチェアの研究開発 100
3.1 開発の理念 100
3.2 クールチェア A 型 100
3.3 メッシュチェアをベースとしたクールチェア B 型の開発 103
3.3.1 クールチェア A 型とメッシュチェアの熱的特性比較.... 103
3.4 クールチェア A 型とクールチェア B 型の熱的特性比較 110
3.4.1 実験の概要 110
4. 確率論的温熱受容性評価法を用いたパーソナル空調の評価.... 112
4.1 クールチェアの評価.... 112
4.1.1 執務空間における標準的な変更要求温度分布の導出 112
4.1.2 クールチェア導入時の最適なアンビエント環境と熱的中立を満足する執務者の割合 . 113
4.2 パーソナル空調の環境選択幅とアンビエント環境に関する考察 119
5. 結論 124

第 7 章　総括.... 126
1. 各章の総括 126
2. おわりに.... 129

Appendix
パーソナル空調システム事例集
研究業績一覧
謝辞

第 1 章
序論

1. 研究の背景

20 世紀に入り冷凍空調技術の急速な進歩を引き金に、熱的快適性に関する活発な議論は今日まで至る。室内温熱環境の条件はどのように定めるべきか、また、それをどのように実現するべきか、前者の設計数値目標については被験者実験から得られた温冷感申告値に生理学的知見を加味することで、現行の物理量の確定に至っている。ISO では不満足者率 10%未満（カテゴリーB)、ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.) では不満足者率 20%未満の環境を熱的快適域としているが、ここには「最大多数の最大幸福」の視点が存在しており、従来のオフィス等の空気調和は複数の執務者を普遍的集団として捉えることで、その包括的特性を満足させる均一かつ一定の環境提供を目指してきた。

しかしながら、元来の空調システムは印刷工場や紡績工場等の生産空間のために発展した技術であり、人間を対象とする保健空調は産業空調の応用として普及した。産業空調の第一の役割は製品の品質管理を目的とした湿度制御であり、気流の均斉度に関しては殊更重要ではなかった。従って、保健空調に関しても産業空調と同様に対流式の空調が広く普及したものと思われるが、オフィス等人間を対象とした空間の快適環境の創出に、室内の空気そのものを加熱或いは冷却して撹拌するシステムである対流空調を利用したことの弊害として、吹出し口からのドラフトや温熱環境の不均一が発生してしまう。

このような背景から、近年では放射空調や全面床吹出し空調等、室内を面的に制御することで、温熱環境の高い均斉度が実現できるシステムの熱的快適性が注目されているが、空間的な不均一や時間的変動を評価する手法は確立されておらず、空調方式毎の室内温熱環境の快適性は執務者の印象から主観的に評価されている。また、多数の人間が同一空間に共存するオフィス等の室内温熱環境は、執務者それぞれ同一の温冷感をもって成り立つわけではない。着衣の嗜好や業務中の代謝量は個人毎に異なるため、執務者各人の至適温度には齟齬が発生する。従って、温熱環境の均斉度をいくら精密に維持できたとしても、執務者からの「暑すぎる」或いは「寒すぎる」といった非受容申告（いわゆる空調クレーム）の発生が予想される。こういった問題の解決策として、執務者一人一人が温熱環境を自由に選択できるパーソナル空調を併用する手法に期待が高まり、今後は従来の単一的な全体空調の考え方のみならず、局所的な空調とアンビエント空調の双方に関する多角的な熱的快適性に関する議論が必要となる。そのためには、人間を静的な存在として捉え、さらに居住空間の熱的な特性を平均値として便宜的に仮定する従来の姿勢からの脱却が求められる。

2. 従来の温熱環境の基準

室内温熱環境の基準としては ISO 7730 と ASHRAE 55 が広く参照されている。最新の温熱環境基準の動向については中野 [1]による調査がある。

1) ISO 7730

ISO7730:2005[2]では表 1.1 に示すように熱的快適域の推奨値が 3 段階に分類されており、カテゴリ A では-0.2<PMV<+0.2（不満足者率 6%未満）、カテゴリ B では-0.5<PMV<+0.5（不満足者率 10%未満）、カテゴリ C では-0.7<PMV<+0.7（不満足者率 15%未満）、をそれぞれ快適環境としている。1993 年以前のバージョンでは、カテゴリ B に相当する温熱環境基準しか設けていなかったが、2005 年の改定において熱的快適性の推奨値がカテゴライズされた背景には EU 加盟国の建物省エネルギー性能の向上を目的として 2003 年に施工された The European Energy Performance of Buildings Directive (EPBD)が大きく影響している。建物のエネルギー使用量は居住者が求める熱的快適性の水準により異なり、室内温熱環境に高い質が求められる場合や、成り行きでも問題とならない場合がある。室内環境推奨値に 3 段階のカテゴリが制定されたことで、設計者は建物の種類や用途に応じた室内温熱環境の質を選択可能となった。また、局所不快推奨値についても表 1.2 に示すように、ドラフト、上下温度分布、床表面温度、非対称放射について、3 段階のカテゴリの不満足者率として定義されている。

表 1.1　ISO 7730:2005 の熱的快適域推奨値

カテゴリ	全身温冷感	
	PPD [%]	PMV
A	<6	-0.2<PMV<+0.2
B	<10	-0.5<PMV<+0.5
C	<15	-0.7<PMV<+0.7

表 1.2　ISO 7730:2005 の局所不快推奨値

カテゴリ	不満促者率 [%]			
	ドラフト	上下温度分布	床表面温度	非対称放射
A	<10	<3	<10	<5
B	<20	<5	<10	<5
C	<30	<10	<15	<10

2)　ASHRAE 55

ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.) のスタンダード 55-2013[3]では、15 分以上の滞在を前提とした空調設備の導入された室内環境について次の 2 つの手法から熱的快適域の選択が可能となっている。

1 つ目の Graphic Comfort Zone Method は代謝量 1.0～1.3met、着衣量 0.5～1.0clo の条件で、不満足者率が 20%未満となる範囲が空気線図上に示されている（図 1.1）。これを相対湿度 50%の部分で読み取ると、夏期は作用温度 24.0～27.1℃、冬期は作用温度 20.0～24.5℃が熱的快適域となる。

2 つ目の Analytical Comfort Zone Method では、代謝量 1.0～2.0met、着衣量 1.5clo 以下であるとき、任意の温熱環境 6 要素の組み合わせによる PMV が-0.5～0.5（不満足者率 10%未満）の範囲で熱的快適域としている。

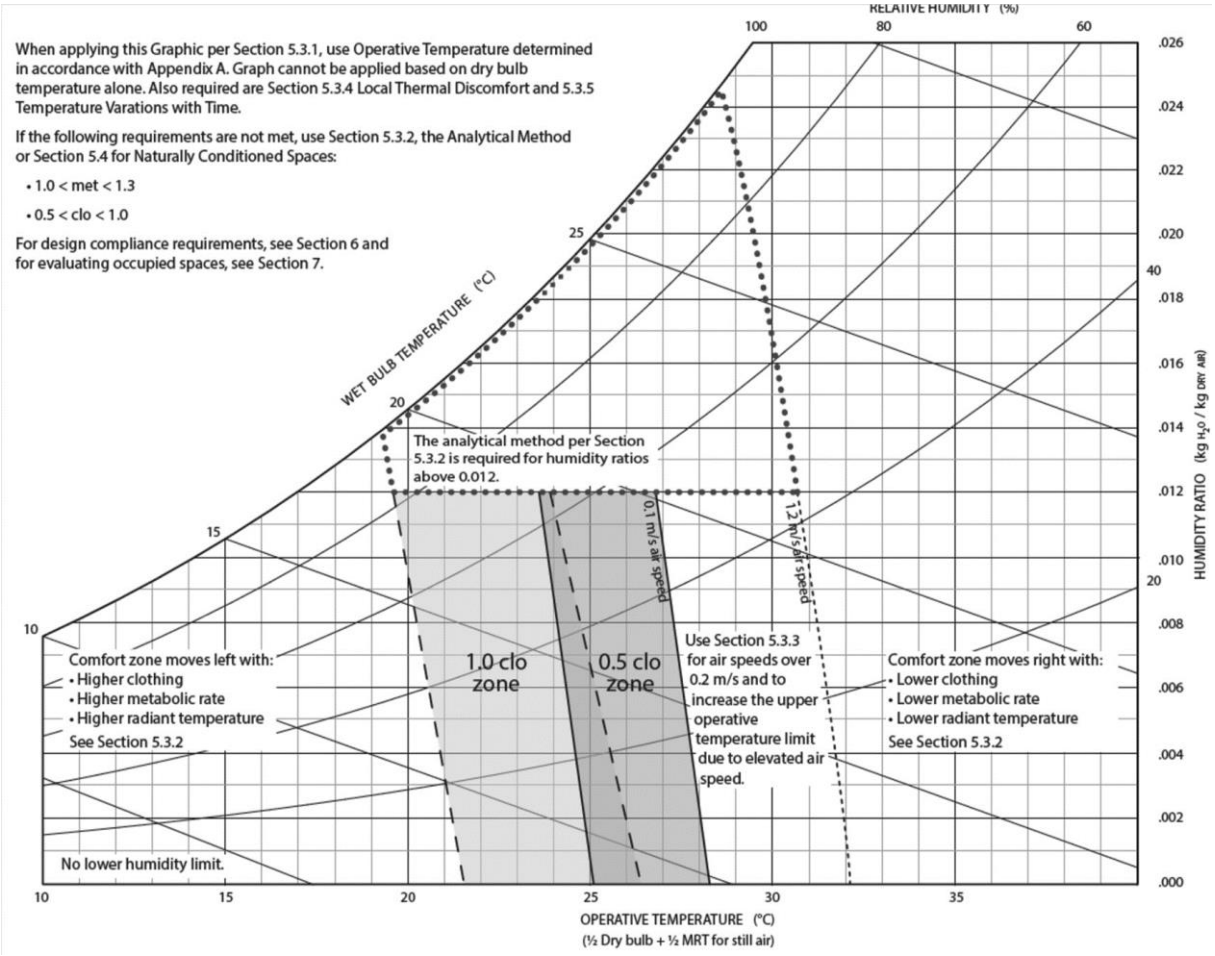


図 1.1　ASHRAE 55-2013 Graphic Comfort Zone Method

3. 室内温熱環境に対するクレーム

室内温熱環境の基準として広く参照されている ISO 7730 と ASHRAE 55 では Fanger の PMV-PPD 理論 [4]が根底にある。PMV-PPD 理論では人体と周囲の環境による熱収支を理論的に追求した後に、定常状態の環境試験室を用いた被験者実験から得られた温冷感申告値と結び付けて評価しており、温熱 6 要素の入力により得られる結果は、性別、年齢、人種、気候、空間の用途等に関わらず適用できるとしている。ISO 7730 と ASHRAE 55 の熱的快適性の基準がいずれも PMV-PPD 理論を基礎とした不満足者率で定義されている理由には「最大多数の最大幸福」の視点が存在しており、従来のオフィス等の空気調和は複数の居住者を普遍的集団として捉えることで、その包括的特性を満足させる均一かつ一定の環境提供を目指してきたが、温熱環境に対する非受容申告（いわゆる空調クレーム）は未だ根絶しない。

図 1.2 に野部らの調査 [5]より得られた、標準的な中央空調システムを備えたオフィスにおける非受容申告数の調査結果を示す。これは、執務者が室内温熱環境に不満を感じ、非受容を申し出た状況を記録したものであり、2000 年から 2005 年の 6 年間で計 691 件の環境変更要求が発生していた。非受容申告の発生頻度を執務者一人当たりに換算すると、平均 0.13 回／人・年となり、その内訳は圧倒的に女性が多く、男性の 12 倍になっていた。また、その内容は年間にわたり暑いという非受容申告と寒いという非受容申告が混在していた。

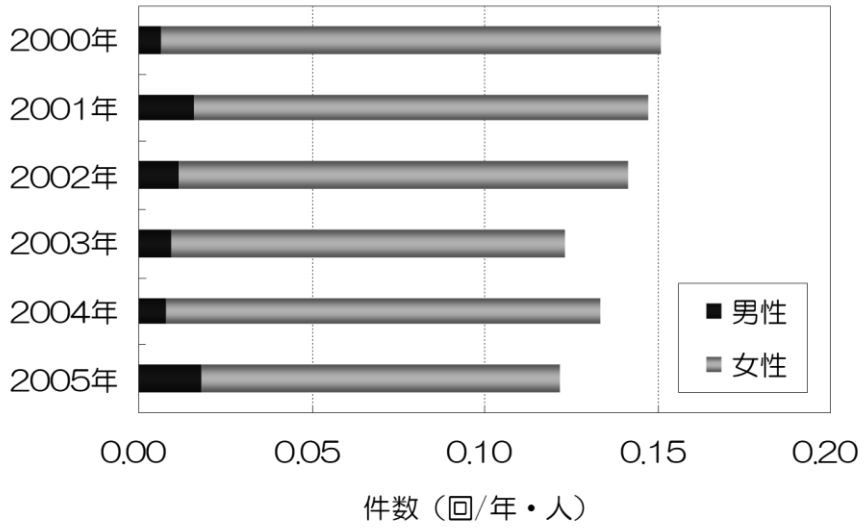


図 1.2　標準的な中央空調システムを備えたオフィスにおける環境変更要求発生頻度と男女の内訳 [5 野部達夫他)]

4. オフィス建築における空調システムの動向

4.1 社会的な背景

2014 年 4 月 11 日に閣議決定されたエネルギー基本計画では、2020 年までに新築の公共建築物、2030 年までに新築建築物の平均について、それぞれ ZEB(net-Zero Energy Building)化を達成する目標を掲げている [6]。ZEB を実現するためには建物の省エネルギー化が必要不可欠であるが、先頃まで議論されていた「夏期設定室温 28℃」のような、単に環境負荷を抑えるためだけの省エネルギー化は知的生産性の低下に繋がる研究結果が報告されている [7]。エネルギー基本計画の中にも「生活の質を向上させつつ省エネルギーを一層推進するライフスタイルの普及」とあることから、業務用建築でエネルギー消費の割合が圧倒的に多く、かつ在室者の執務環境の良し悪しを左右する空調システムについては、抜本的な見直しが必要である。

4.2 温熱環境の均斉度に特徴のある空間の創出

従来の冷暖房システムでは対流式の空調が主流であるが、室内の空気そのものを加熱或いは冷却して撹拌する場合、吹出し口からのドラフトや温熱環境の不均一により、不快と感じる在室者が発生してしまう。一方で、熱的に均一な環境が実現できるシステムとして注目されている放射空調であるが、その最初の研究事例は 1950 年代の Frenger によるアルミ板の天井パネルに冷温水配管を固定したフレンガパネルの開発であると思われる。オフィスへの適用としては図 1.3 に示す 1986 年のストックホルム SAS Frosundavik 本社ビル [8]におけるチルドビームの大規模導入が挙げられる。室温の目標値に近い熱源温度で空調可能であり、また比較的に静穏な温熱環境を形成できるチルドビームは省エネルギー性と快適性の観点から欧米の各地に広く普及したが、パッシブとアクティブのどちらのシステムにしても人体との熱交換は対流が支配的である。居住域を面的に空調する試みとしては 1993 年にドイツの Fitzner が開発した床吹出し口に天井放射冷房を組み合わせたシステムの快適性が報告されている [9]。その後、床吹出し空調による置換換気システムは急速に拡大したが、元々は欧米における 20m²/人以上の占有空間を想定したシステムであり日本の様に 5m²/人程度の室内では、吹出し口と居住者との距離が確保できないために局所的に気流の高い居住空間が発生してしまう。床から面的に空調空気を吹出すシステムとしては野部らによる全面床吹き出し空調システム [10,11]があり、天井放射空調と併用して実際の建物に導入された事例の快適性が報告されている [12]。

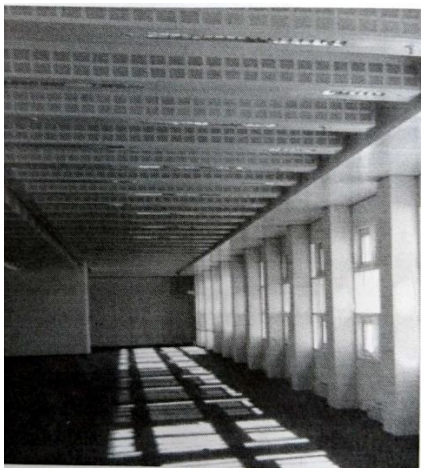


図 1.3　SAS Frosundavik 本社ビルに採用されたチルドビーム [8)]

4.3 タスク・アンビエント空調、パーソナル空調の採用

工学的に快適とは「不快でないこと」と捉えられており、ISO では不満足者率 10%未満（カテゴリーB)、ASHRAE では不満足者率 20%未満の環境を快適域としている。熱的快適性の基準がいずれも不満足者率で定義されている理由には「最大多数の最大幸福」の視点が存在しており、従来のオフィス等の空気調和は複数の居住者を普遍的集団として捉えることで、その包括的特性を満足させる均一かつ一定の環境提供を目指してきた。しかしながら、多数の人間が同一空間に共存するオフィス等の室内温熱環境の快適性は、在室者それぞれ同一の温冷感をもって規定されるわけではないため、年間にわたり「暑すぎる」或いは「寒すぎる」といったクレームが発生している。また、省エネ性の観点からは、従来の室内全域を空調するシステムは廊下やオープンスペース、天井付近といった居住域外に必要以上のエネルギーを費やすといった課題が挙がる。そこで、上記の問題を解決する技術として、空間内に想定通りの熱的なムラをつくり、居住域の快適性と省エネ性の獲得を同時に目指すタスク・アンビエント空調が注目されている。広義には大空間に適用される成層空調や置換換気など、室内空間下部に一定の居住域を形成する環境調整技術が含まれるが、これらの場合、タスク領域には複数の在室者が同じ環境を共有することになるため、熱的快適性の向上は望めない。一方で、タスク空調の一種であるパーソナル空調の場合は、執務者一人一人の好みに応じた温熱環境を提供できるため、温熱環境に対する不満の背景にある男女の着衣差による至適温度の相違や、在室者各人の代謝量や温熱的履歴が異なる問題の解消が期待される。

1)　タスク・アンビエント空調、パーソナル空調の研究動向

パーソナル空調に関する最新の研究動向調べるために、国内向けの学術論文検索サービス「NII 学術情報ナビゲータ（CiNii)」を用いて、「タスク・アンビエント空調」と「パーソナル空調」の 2 つのキーワードによる検索を行った。研究論文数の推移を図 1.4 に示す。最初に研究事例が確認された 1989 年から 2001 年までの間は、年に 1～5 件の研究事例が報告されているが、2002 年以降は急増していることがわかる [13)]。

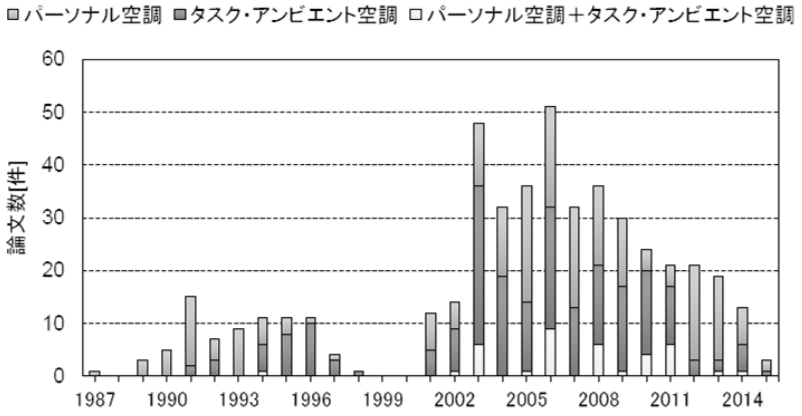


図 1.4　国内における研究論文の推移 [13 矢田達也他)]

2)　パーソナル空調の分類

図 1.5 にパーソナル空調の分類を示す。パーソナル空調の環境調節方式は、対流主体型と放射主体型に大別されるが、研究論文に見られる多くの事例では、対流による熱移動を基本メカニズムとして利用している。また、吹出し口の位置や吹出し温度に応じた数多くの研究成果が発表されている。例えば李ら [14)]は机下面から等温気流を吹出すことにより、相当の範囲で温冷感が調整可能であることを示している。梁ら [15)]が考案した、パーティションの上部より冷風を広範囲に供給する方式は、熱的中立状態にある執務者の快適性に寄与することが認められた。祝ら [16)]はキオスクと呼ばれる独立柱から非等温変動風を供給するとアンビエント環境を SET*30℃まで緩和可能であることを示した。佐藤ら [17)]は全面床吹出し空調システムにおけるパーソナル空調用床吹出し口を開発し、その温熱環境に対する有効性を確認している。また、指向性吹出しが可能な天井吹出し口を用いたパーソナル空調に関する成果報告も多い [18-21)]。放射主体型は放射面の設置位置によりその用途は異なり、天井面 [22)]は放射冷房、床面 [23)]は放射暖房として効果的である。机の天板裏に放射面を設置するタイプでは、脚部を加温するのに適している [24)]。パーティションタイプでは、放射面を机下に設置する暖房用途と、机上部に設置する冷房用途に区別される [25)]。海外におけるパーソナル空調の代表的な事例としては、アメリカのオフィスなどに採用されている PEM(Personal Environment Module)[26)]、ヨーロッパのオフィス用に開発された Climadesk [27)]がある。PEM の機能として、机上の吹出し口から任意の方向へ給気される気流は温度と風量のコントロールの他に、足元の放射パネルの調整が可能であり、その有効性は Bauman ら [26)]や秋元ら [28)]により報告されている。

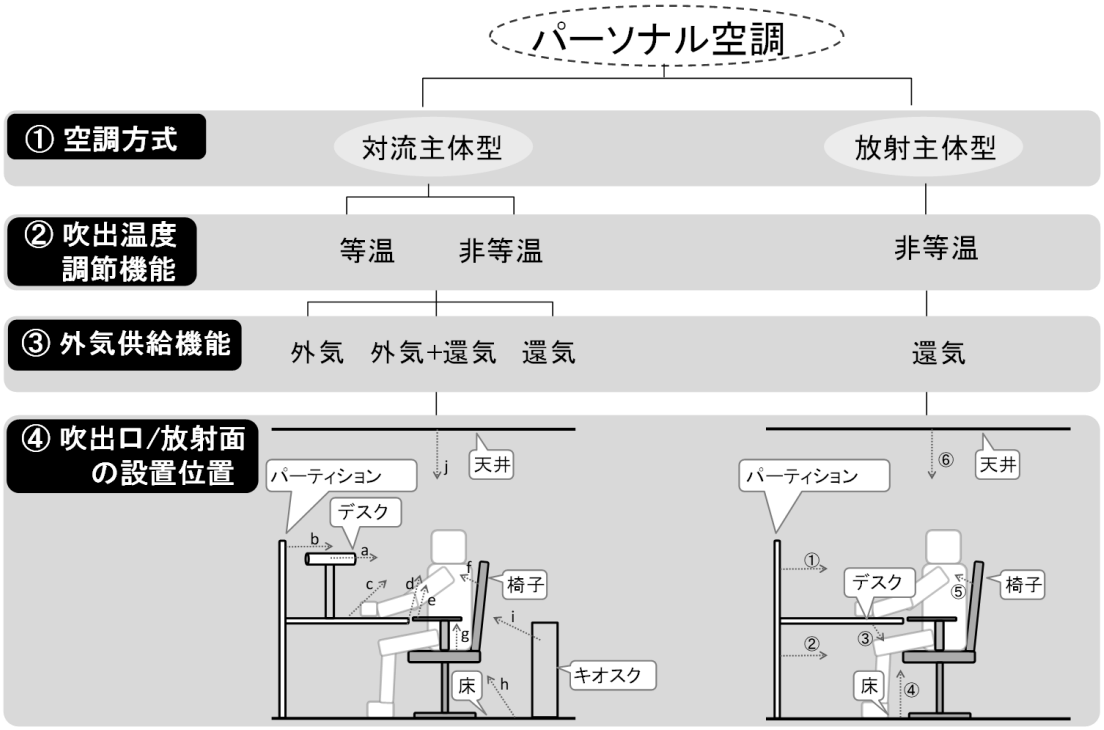


図 1.5　パーソナル空調の分類

5.　放射空調とパーソナル空調の親和性

5.1 タスク・アンビエント空調の概念

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、タスク域にはパーソナル空調（タスク空調）を備えることで、居住者一人一人に好みに応じた温熱環境を選択させるといった考え方が一般的である（図 1.6）。また、アンビエント空調の方式としては、放射空調のような気流環境の均斉度に特徴のあるシステムが採用される。その理由として、対流主体型のパーソナル空調の場合、アンビエントの気流環境が静穏であるほど、パーソナル吹出し口からの気流が撹拌されることなく人体まで到達しやすいことが挙げられる。

図 1.6　タスク・アンビエント空調の概念図

5.2 吸気清浄度に着目した評価

図 1.7 と表 1.3 に示す天井放射空調とパーソナル床吹出し口が採用されたオフィスにおいて、放射空調とパーソナル空調の親和性を吸気清浄度に着目して評価した[29]。

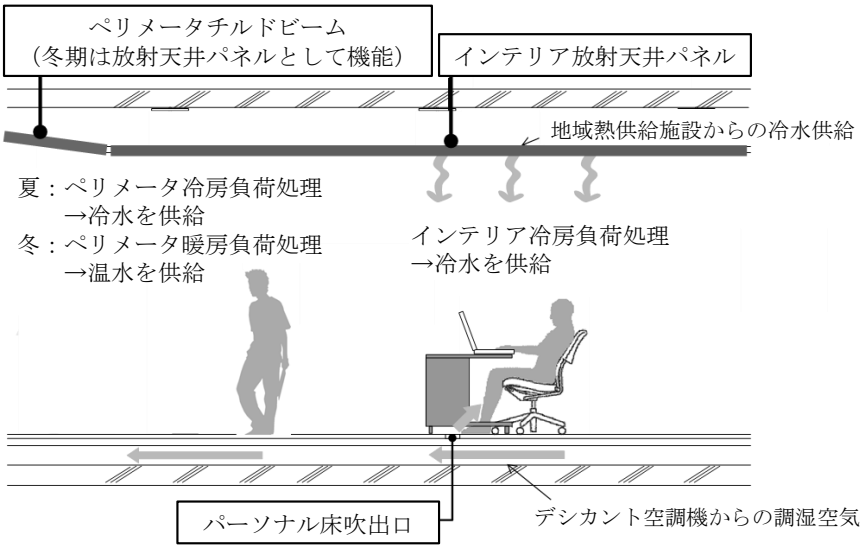


図 1.7　空調システム概要

表 1.3　パーソナル床吹出し口

外観	
寸法	W110 [mm]×D110 [mm]
開口面積	0.00192m^2
ネック風速	1.6m/s
風量	11.1m^3/hv

1)　実験概要

サーマルマネキンの呼吸機能を用いた評価を行った。また、一般的な対流空調との比較のために、シーリングファンにより 0.25m/s の気流を強制的に発生させ、さらに天井面からの放射を遮蔽できる気流撹拌装置（図 1.8）を用いた調査を行った。評価項目はサーマルマネキンの吸気清浄度であり、以下に示す実験工程を天井放射空調と対流空調の 2 条件について行った。また、実験時の室内温熱環境は作用温度 27℃、相対湿度 50%であり、サーマルマネキンの着衣量は 0.52clo（半袖ワイシャツ、肌着、スラックス、靴下、トランクス、革靴）とした。

① パーソナル床吹出口を閉じた状態で、サーマルマネキンの皮膚温度を十分安定させる
② パーソナル床吹出口を開くことで供給される新鮮外気にトレーサーガス（CO_2）を一定量（1.6L/min）添加した後に、サーマルマネキンが吸気するトレーサーガス濃度を 15 分間計測する。（ステップアップ法）

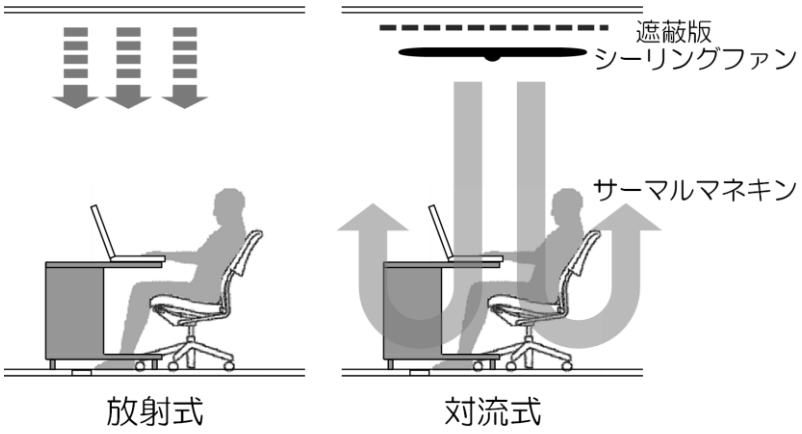
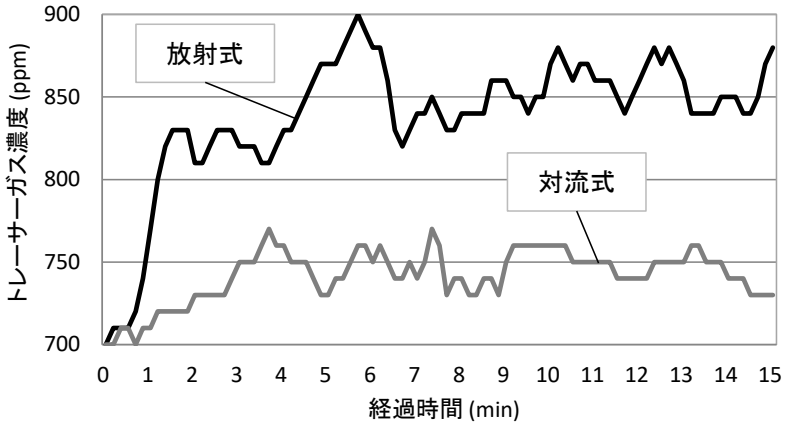


図 1.8　気流撹拌装置を用いた比較実験の概要

2)　実験結果

図 1.9 に天井放射空調と対流空調の両方式における、サーマルマネキンが吸気したトレーサーガス濃度の経時変化を示す。また、ここでは本調査より得られた単位応答を用いて、最少二乗法による非線形の回帰を行うことでトレーサーガスの安定濃度を決定し、局所空気齢を算出した。濃度上昇は放射空調が対流空調と比べて圧倒的に早く、また呼吸域における局所空気齢は放射空調が 17 秒であるのに対し、対流空調が 325 秒であることから、対流空調は空気が撹拌されることによりパーソナル床吹出し口から供給される新鮮外気がサーマルマネキンの呼吸域に到達しにくいと考えられる。従って、静穏な気流環境を実現可能な放射空調は、対流空調と比べて多くの新鮮外気を呼吸域に到達させることが可能であるため、パーソナル空調との親和性も高いと解釈することが出来る。



局所空気齢	
放射式	17秒
対流式	325秒

図 1.9　トレーサーガス濃度の経時変化

6. 空調方式別の温熱環境満足度

表 1.4 に示す建物において実施した温熱環境に対する満足度のアンケート結果を図 1.10 と図 1.11 に示す[30]。各建物について、温熱環境の設定値、アンケートを実施した季節、回数は異なるが、最も居住者からの満足度が高い結果が得られた空調システムは、放射空調とパーソナル空調を併用している S ビルであった。つづいて、放射空調、或いは全面床吹出し空調が採用されているオフィスの満足度が高い傾向にあり、気流感や熱的な偏在の少ない環境は居住者からの受容性が高まると思われる。また、気流可変型空調とパッケージ空調はいずれもリモコン操作によりゾーン毎に温熱環境を調節できるシステムであるが、中央空調と比較して満足度が高いことから、居住者自身に温熱環境の選択肢を与えることは、熱的受容性の向上に寄与することが推察される。満足側の回答が一番少なかった O ビルについては、東日本大震災直後に行ったアンケート調査結果であり、節電対策から温熱環境の質を低下させた結果が表れたと思われる。

表 1.4　アンケート対象建物概要

	B ビル	O ビル	K ビル	S ビル
空調方式	改修前（2010 年）：中央式 改修後（2011 年）：パッケージ	タスク放射パネル 床吹出し空調	パッケージ	放射空調＋パーソナル床吹き出し口
竣工年	1994	2010	－	2012
回答数	161 件	222 件	223 件	423 件
調査期間	2010 年夏期 2011 年夏期	2011 年夏期 2012 年夏期	2012 年 夏期・中間期・冬期	2012 年 夏期・冬期 2013 年夏期 2014 年夏期・ 中間期・冬期

	H ビル	T ビル	C ビル	A ビル
空調方式	中央式	全面床吹出し空調 パーソナル床吹き出し口	全面床吹出し 放射空調	気流可変型空調
竣工年	—	2014	2015	1994
回答数	782 件	403 件	218 件	43 件
調査期間	2013 年夏期 2014 年 夏期・冬期	2015 年　夏期・ 冬期・中間期	2015 年 夏期・中間期・冬期	2015 年冬期

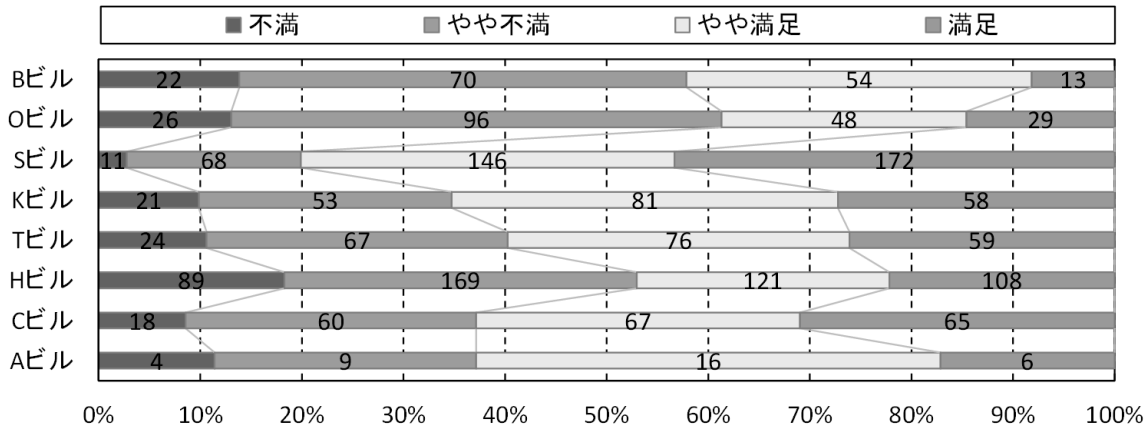


図 1.10　建物別の満足度 [30 斉藤詩織他)]

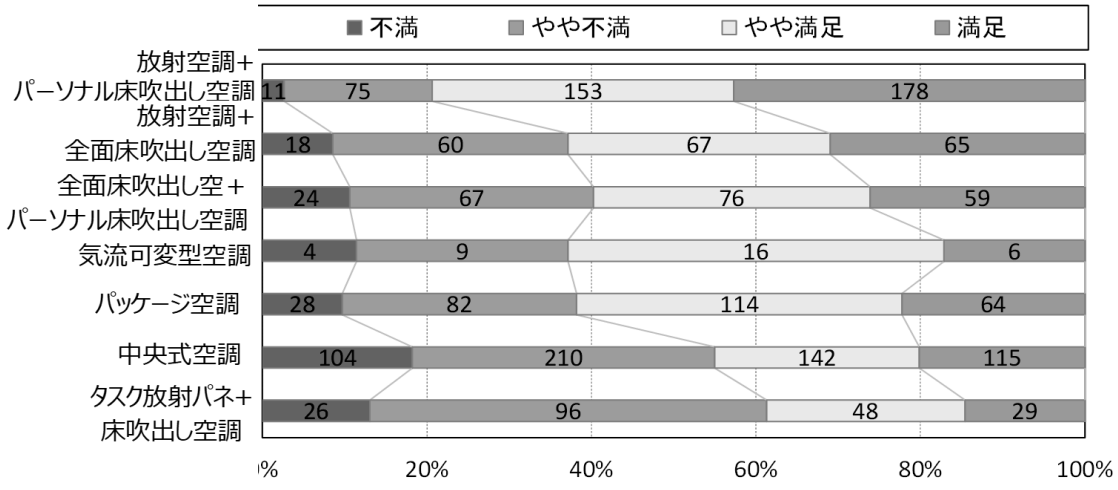


図 1.11　空調方式別の満足度 [30 斉藤詩織他)]

7. パーソナル空調、放射空調の熱的快適性評価に従来の指標を適用したときの課題

7.1 パーソナル空調の熱的快適性評価

1) PMV PPD

図 1.12 に Fanger[4]の PMV と PPD の関係を、表 1.5 に大黒[31]が推定した-1.0<PMV<+1.0 に対する PPD の内、「熱い側の不満」と「寒い側の不満」の内訳を示す。PMV=0 の環境であっても 5%の不満足者が存在し、その内訳は「寒い側」と「熱い側」の不満足者がそれぞれ 2.5%ずつ含まれることが予想される。また、PMV を熱い側にシフトした場合、PMV=0.5 の環境における予想不満足者率は 10.2%であり、その内訳は「熱い側」が 9.8%、「寒い側」が 0.4%となる。ここで、PMV で 0.5 程度の冷却効果があるパーソナル空調を使用できるとすると、予想される不満足者率は「熱い側」が 2.5%、「寒い側」が 0.4%の合計 2.9%となり、これは一般的な空調システムにおける PMV=0 の環境と比較しても予想不満足者率は低い結果となる。しかしながら、PMV-PPD 理論の根底にあるのは定常状態の環境試験室を用いた被験者実験の温冷感申告値であり、様々な温熱環境において人間が感じる温冷感のばらつきは正規的であることが前提となっている。従って、被験者の着衣と行動を厳密に管理した被験者実験とは異なる、実際のオフィスの様な一人一人が複雑な仕事をしている空間にパーソナル空調を導入した際の動的な評価は難しいとされている。

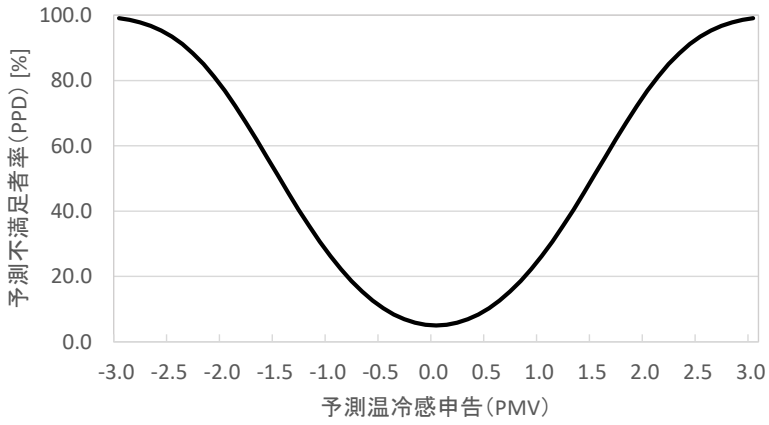


図 1.12　PMV と PPD の関係

表 1.5 不満足者率の内訳推定結果 [31] 大黒雅之)

気温	湿度	気流速度	MRT	代謝量	着衣量	PMV	PPD		
[°C]	[%]	[m/s]	[°C]	[met]	[clo]		Total	Cold	Warm
22.4	50	0.1	22.4	1.1	0.5	-1.0	26.2	26.2	0.0
23.9	50	0.1	23.9	1.1	0.5	-0.5	10.2	9.8	0.4
25.4	50	0.1	25.4	1.1	0.5	0.0	5.0	2.5	2.5
26.9	50	0.1	26.9	1.1	0.5	0.5	10.2	0.4	9.8
28.4	50	0.1	28.4	1.1	0.5	1.0	26.2	0.0	26.2

2)　ASHRAE 55-2013　ドラフト要件の緩和

ASHRAE 55 では気流速度の増加はドラフトによる不快をもたらすといった観点から、気流速度の上限値を 0.2m/s としていた。しかし、執務者が自ら調整して得た気流速度であれば、ドラフトによる不快が軽減されるといった視点から、2010 年度版以降では以下の要件を満たす場合は-0.5<PMV<+0.5（PPD<10）の快適範囲を SET*の基準で拡張可能となっている [3]。

・6 人以下、または 84m^2 以下のゾーン単位で調節が可能なこと
・居住域風速が最小で 0.2m/s 以下となり、少なくとも 0.25m/s 刻みの気流環境の調節ができること

図 1.13 に絶対湿度 10g/Kg(DA)における快適域を気流速度 1.2m/s まで拡張した例を示す。気流環境の条件次第で熱的快適域が拡張される基準を設けた背景には、温熱環境に対する省エネニーズがあったと考えられる。従って、ASHRAE 55 による基準ではパーソナル空調の導入による夏期室温設定の緩和は示されていても、居住者自らが温熱環境を選択することによる積極的な快適性向上の評価は難しいと思われる。

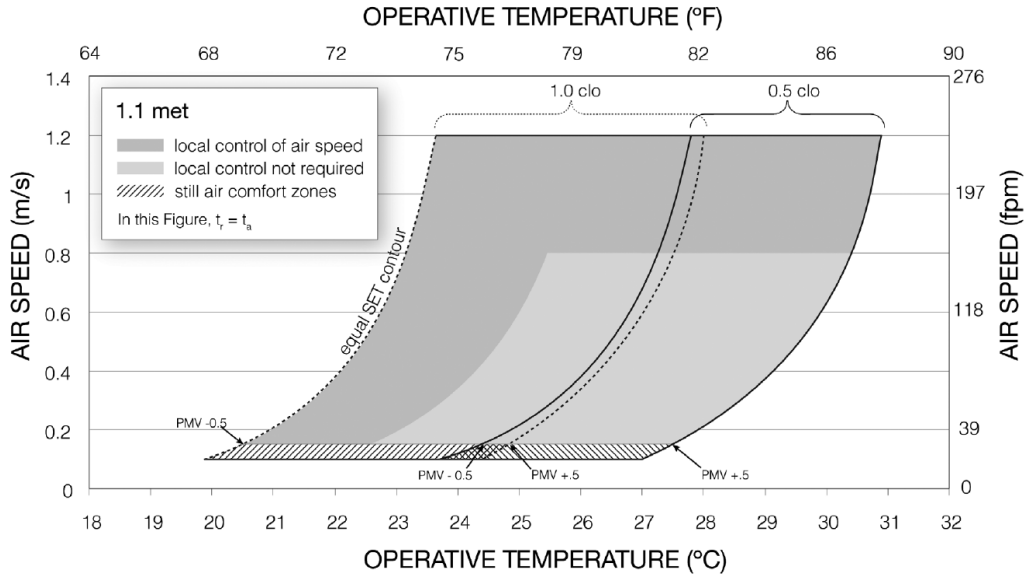


図 1.13　ASHRAE 55-2013　気流速度 1.2m/s まで拡張した熱的快適域

3)　二次元温冷感モデル

ASHRAE では「集団のすべての人々を満足させる温熱環境は存在しない」という調査結果[32]より、「暑くも寒くもない」状態、すなわち環境と生理が共に中立であり不快ではない状態を「快適（Comfort）」と判定するとし、従来の空調システムではこの概念に基づいた環境を提供してきた。一方で、熱的快適性には Comfort の他に心地よさや気持ちのいい状態を示す Pleasantness が存在することはよく知られており、日本語では前者を消極的快適性、後者を積極的快適性と表現される。久野は日本語の寒暑涼暖という言葉の違いから、非定常時の熱的快適性を表現できる二次元温冷感モデルを発表しており、Pleasantness や温熱環境を自由に選択できることの効果を示すことのできる学説として知られている[33]。図 1.14 に温冷感二次元モデルの基本図を示す。A（縦）軸が周囲環境状態、P（横）軸が人体生理状態を表しており、内側の四角は熱的中立域である。温冷感二次元モデルは真冬の露天風呂の快適性を例に説明されることが多い。第一に脱衣所で裸になり、露天風呂にたどり着く間に身体は芯まで冷える（左下の状態）。そこで、湯船に浸かると暖かくて気持ちよく感じるが、これは体が冷えているが環境は暑い状態である（左上の状態）。しかしながら、身体が温まると気持ちのいい環境は長くは続かず、次第に暑くてのぼせた状態になる（右上の状態）。次にとる行動は、湯船から上がり火照った身体を冷たい風に晒して涼しく気持ちのいい環境を楽しむことになる（右下の状態）。そして、身体が冷えすぎると、また元の状態に戻る。二次元温冷感モデルからわかることは、人間は不快から脱却する際にプレザントネスを感じるが、その前提としては温熱環境を自由に選択できる必要がある。この考え方はパーソナル空調の快適性を考えるうえで欠かせない理論であるが、PMV や SET*のように数式化はされていないため、今後の発展が期待されている。

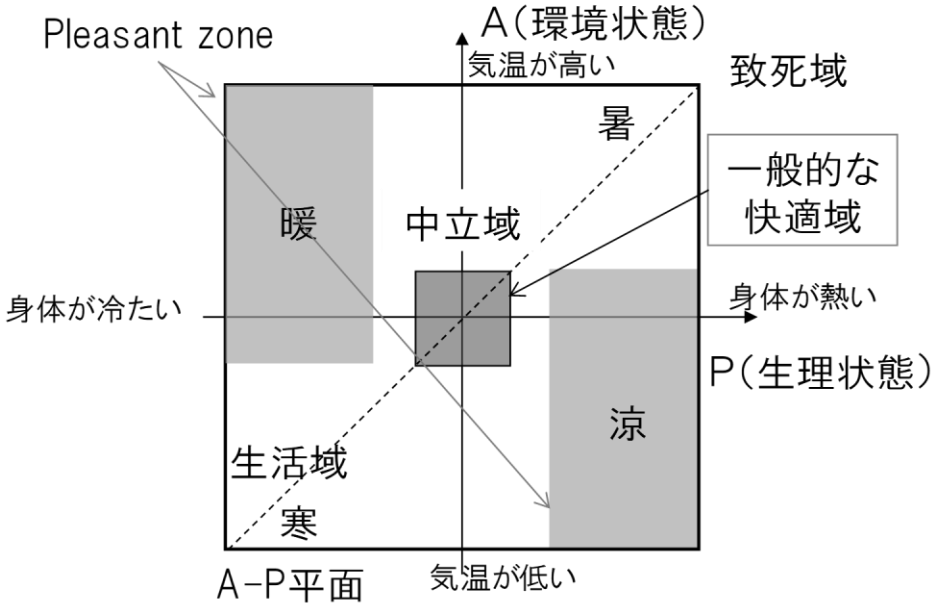


図 1.14　久野の温冷感二次元モデル

7.2 熱的均斉度の高い空間に対する熱的快適性評価

1)　DR

Fanger らは、気流の乱流強度が熱的快適性に与える影響を検討しており、ドラフト感に関する不満足者率を式(1-1)に示す DR として提案している[34]。図 1.15 に ISO7730:2005 カテゴリ B の基準である DR=20%の平均風速、乱流強度、室温の関係を示す。室温が 23℃の場合、ドラフトによる不満足者率が 20%となるのは、乱流強度が 40%のときに風速 0.17m/s、乱流強度が 20%のときは風速 0.23m/s である。この図より、室内全体に静穏な気流環境を創出することは、ドラフトによる不満足者率の低下に繋がると理解できるが、実際の建物の室内では程度の差こそあれ気流環境の平面的な不均一を有している。従って、一般的な対流式空調が採用されている空間において、吹出し口の直下等における局所的な執務者の不満足者率を評価することができても、空間全体の熱的快適性評価に拡張することは難しく、放射空調のような室内全体にムラの少ない気流環境における熱的快適性の向上を定量的に示すのは難しいと思われる。

$$\mathrm{DR} = (34 - t_a)(V - 0.05)^{0.62}(0.37 \cdot T_u + 3.14) \qquad \cdots (1-1)$$

$$T_u = 100 \cdot \frac{V_{sd}}{V} \qquad \cdots (1-2)$$

ここに,

DR：ドラフトに関する不満足者率　[%]

T_u：乱流強度　[%]

t_a：空気温度　[°C]

V：風速　[m/s]

V_{sd}：風速の標準偏差　[m/s]

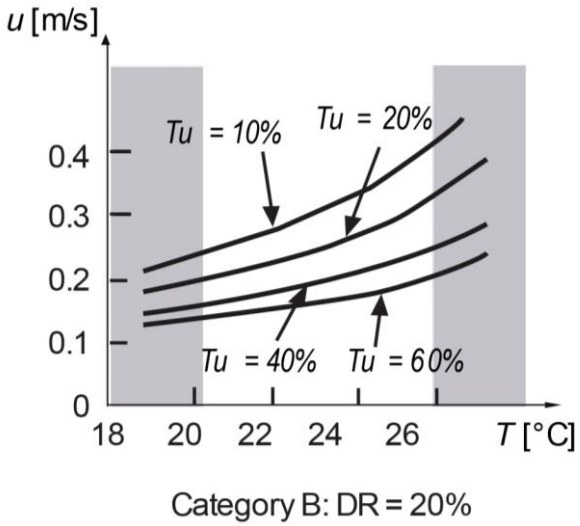


図 1.15　ISO7730:2005 カテゴリ B におけるドラフトの基準

2)　空気拡散性能係数（ADPI: Air Diffusion Performance Index）

空気拡散性能係数（ADPI: Air Diffusion Performance Index）は、居住域と定義される空間におけるドラフトに関する快適域の体積割合を示す指標である [35]。図 1.16 に ADPI の快適域を示す。ここでいう、ドラフトの快適域とは EDT が-1.7K から 1.1K の範囲にあり、居住域の局所風速が 0.35m/s 以下の場合である。ADPI は放射空調のような静穏な気流環境に特徴のある空間の評価に適用できるものと思われるが、あくまでもドラフトに対する指標であり、総合的な熱的快適性の評価には適さない。

$$\mathrm{EDT} = (t_i - t_{ave}) - 8(V_i - 0.15) \quad \cdots(1-3)$$

$$\mathrm{ADPI} = n/n' \times 100 \quad \cdots(1-4)$$

ここに,

EDT	：有効ドラフト温度	[°C]
ADPI	：空気各線性能係数	[%]
t_i	：室内の局所温度	[°C]
t_{ave}	：室内の平均温度	[°C]
V_i	：室内の局所気流速度	[m/s]
n	：EDT が快適範囲にある数	[個]
n'	：データ数	[個]

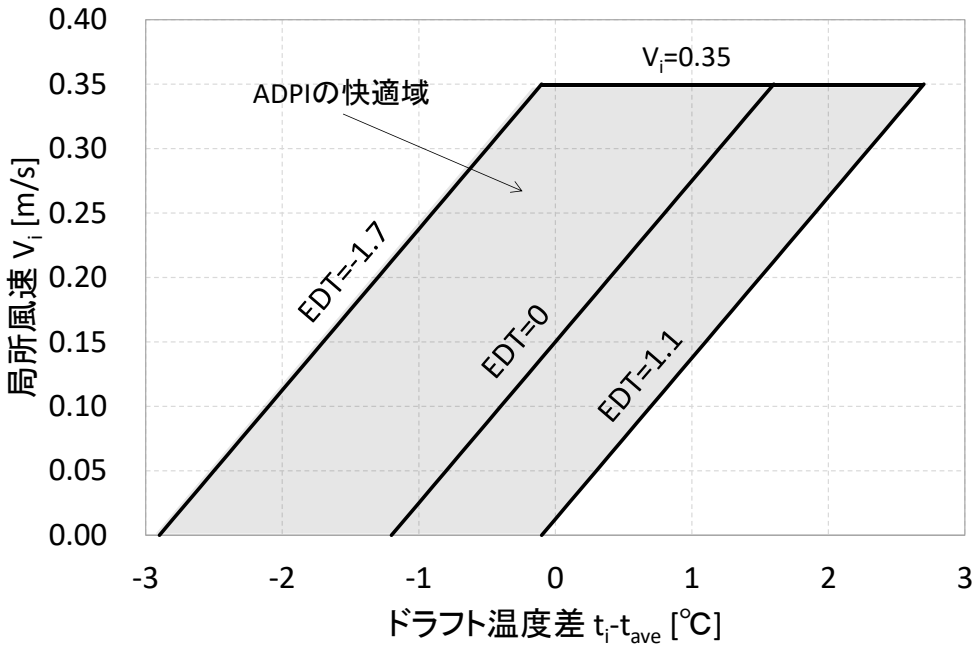


図 1.16　ADPI の快適域

8. 研究目的

室内温熱環境の受容性は、アンビエント空調が提供する温熱環境の均斉度に加えて、執務者各人の着衣の嗜好や代謝量の相違による至適温度の齟齬、さらにタスク域における温熱環境の選択幅が複雑に絡み合うことで形成されると思われるが、その評価手法は確立されていない。従って、温熱受容性の向上が期待される放射空調とパーソナル空調であるが、導入による効果や空間価値の向上が不明瞭であるため、未だに主流の空調システムとして定着はしていない。

本論文のテーマは人間を対象とした温熱環境における空間分布と環境選択性を同時に評価できる手法の構築であり、その研究方法としては「温熱環境に対するリアルタイムの非受容に関する調査」、「執務者一人一人が熱的中立を実現するために必要とする要求温度の分布に関する調査」、「事務所ビルにおける温熱環境の空間的な不均一と時間変動に関する調査」に大別される。次に、上記の実測調査研究により得られた知見から、執務者一人一人の温熱環境に対する心理量がどのように定まり、それが非受容というネガティブな評価に繋がるか、というプロセスの評価法を考案し、最後に筆者自身が研究開発に関わったパーソナル空調の評価を行うことで執務者が自由に温熱環境を調整できる意義について考察した。

図 1.17 に本論の構成を示す。

第１章　序論

熱的快適性の基準とオフィス建築における空調システムの動向から、放射空調のような熱的偏在の少ない環境を創出できるシステムや、居住者自身の環境を自由に選択できるパーソナル空調のニーズを述べる。また、従来の熱的快適性評価の指標を両システムに適用した際の課題の整理を行うとともに、研究目的と本論の構成を述べる。

第２章　空調の温熱的非受容に関する研究

工学的に快適とは「不快でない」という消極的な定義であるため、不快発生時の状況を解き明かすことは、一般的な快適を理解することと関連すると思われるが、オフィスのような目的空間において、温熱環境に対する不満やクレームに関する情報収集は容易ではない。アンケート調査では執務者の一人一人から直接情報を収集できるというメリットがあるが、オフィスワーカーの瞬間的な不満は顕在化されにくい。そこで、執務者の机上に置いて温熱的非受容申告（空調クレーム）を簡単に記録できる装置「オストラコン（クレーム申告装置）」を開発した。第 2 章では実際のオフィスで働く執務者が室内温熱環境に対して非受容と感じる瞬間を捉えることで、従来の物理環境調査とアンケート調査からでは抽出できない室内温熱環境に対する不満を調査した。

第３章　オフィスにおける執務者の要求温度に関する研究

温熱環境に対する不満が発生する背景には、男女の着衣差による至適温度の相違や、執務者各人の代謝量や温熱的履歴が異なる問題が挙げられる。そこで、第 3 章ではオフィスで働く執務者を対象とした着衣量に関するアンケート調査と代謝量の実測調査の結果から個々の執務者が熱的中立を実現するために必要とする要求温度の分布を導出した。

第４章　オフィスにおける温熱環境の均斉度に関する研究

空調方式による室内環境の質の違いが存在することは推測されていても、それを実際に比較・評価した事例は見当たらない。そこで、第 4 章では各種空調方式が導入された 4 か所の夏期オフィスにおける、机上の温熱環境を平面的に計測することで、温熱環境の偏在及び経時変化を明らかにし、マルチパッケージ型空調システム、躯体蓄熱放射空調、及び全面床吹出し空調の温熱受容性を考察した。

第５章　確率論的温熱受容性評価法に関する研究

第 1 章から第 4 章までの研究成果を踏まえて、執務者一人一人の温熱環境に対する心理量がどのように定まり、それがクレームというネガティブな評価に繋がるか、というプロセスの評価法を考案した。この評価法は、放射空調のような温熱環境の均斉度に特徴がある空間の評価に適用できるものと考える。

第６章　確率論的温熱受容性評価法のパーソナル空調への応用

第 6 章では等温気流発生装置を椅子に搭載し、体表面の対流熱伝達率を任意に調整可能なクールチェアの研究開発とパーソナル空調の評価法について述べた。一般の空調システムでは複数の居住者を普遍的集団として捉えることで、その包括的特性から演繹的に求まる快適環境を設計の基準に置いているが、パーソナル空調では使用者の状況が各人で異なるため、個々人の状況から快適環境を再考する必要がある。また、従来の熱的快適性に関する指標は定常状態を基本としているため、パーソナル空調使用時の快適性の評価は難しいとされてきた。そこで、確率論的温熱受容性評価法をパーソナル空調の評価に応用することで、居住者が自由に温熱環境を調整できる意義について考察し、さらにパーソナル空調に必要な環境制御範囲とアンビエント環境について検討した。

第７章　総括

各章の総括とともに、本研究の成果により期待される今後の展望について述べる。

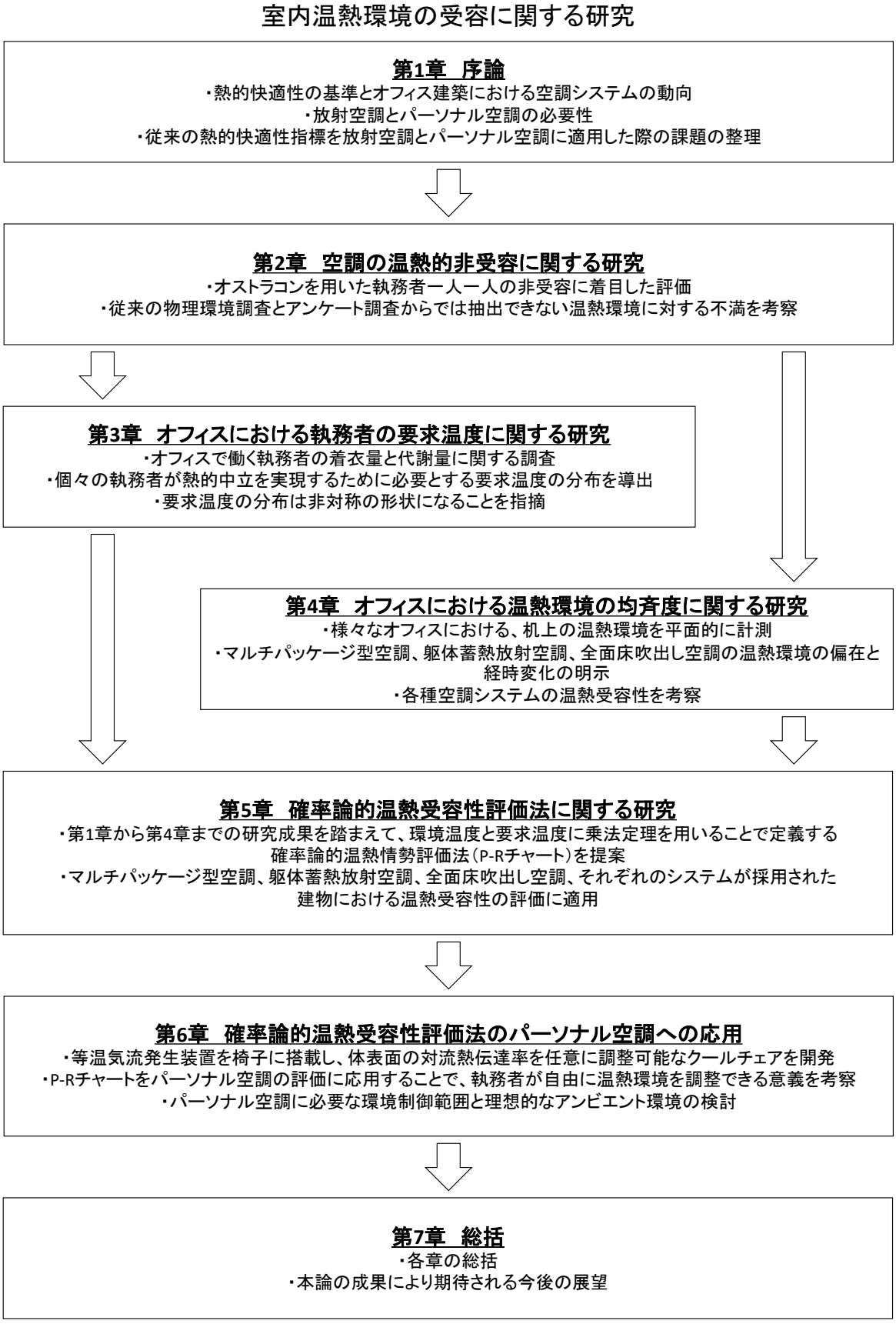

室内温熱環境の受容に関する研究
第1章　序論
・熱的快適性の基準とオフィス建築における空調システムの動向
・放射空調とパーソナル空調の必要性
・従来の熱的快適性指標を放射空調とパーソナル空調に適用した際の課題の整理
第2章　空調の温熱的非受容に関する研究
・オストラコンを用いた執務者一人一人の非受容に着目した評価
・従来の物理環境調査とアンケート調査からでは抽出できない温熱環境に対する不満を考察
第3章　オフィスにおける執務者の要求温度に関する研究
・オフィスで働く執務者の着衣量と代謝量に関する調査
・個々の執務者が熱的中立を実現するために必要とする要求温度の分布を導出
・要求温度の分布は非対称の形状になることを指摘
第4章　オフィスにおける温熱環境の均斉度に関する研究
・様々なオフィスにおける、机上の温熱環境を平面的に計測
・マルチパッケージ型空調、躯体蓄熱放射空調、全面床吹出し空調の温熱環境の偏在と経時変化の明示
・各種空調システムの温熱受容性を考察
第5章　確率論的温熱受容性評価法に関する研究
・第1章から第4章までの研究成果を踏まえて、環境温度と要求温度に乗法定理を用いることで定義する確率論的温熱情勢評価法（P-Rチャート）を提案
・マルチパッケージ型空調、躯体蓄熱放射空調、全面床吹出し空調、それぞれのシステムが採用された建物における温熱受容性の評価に適用
第6章　確率論的温熱受容性評価法のパーソナル空調への応用
・等温気流発生装置を椅子に搭載し、体表面の対流熱伝達率を任意に調整可能なクールチェアを開発
・P-Rチャートをパーソナル空調の評価に応用することで、執務者が自由に温熱環境を調整できる意義を考察
・パーソナル空調に必要な環境制御範囲と理想的なアンビエント環境の検討
第7章　総括
・各章の総括
・本論の成果により期待される今後の展望

図 1.17　本論の構成

[参考文献]

1) 中野淳太：新設計条件の概念，新設計条件適応空調システム検討小委員会成果報告書，空気調和・衛生工学会空気調和設備委員会・新設計条件適応空調システム検討小委員会，空気調和・衛生工学会，2016

2) ISO7730: Moderate thermal environments, Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort, ISO, 2005

3) ASHRAE; Thermal environmental conditions for human occupancy, ANSI/ASHRAE Standard 55-2013, 2013

4) Fanger, P. O.: Thermal Comfort, Danish Technical Press, 1970

5) 恩賀彩子，岩佐義久，野部達夫：室内温熱環境に係わる環境変更要求の発生状況に関する調査，空気調和・衛生工学会学術講演論文集，pp.1215-1218, 2007

6) 経済産業省：エネルギー基本計画，2014

7) 西原直枝，西川雅弥，植木雅典，川村明寛，田辺新一：冷房設定 28℃環境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，pp.447-450, 2006

8) Johansson, S.：SAS Frosundavik －An Office Heated and Cooled by Groundwater, Swedish Council for Building Research, Stockholm, 1992

9) Fitzner, K.: Quelluftunig-Schichtstromung, SONDERDRUCK 44, Heizung Luftunf/Klima Haustechnik, 1993

10) 野部達夫，秋元孝之，竹林芳久，小林昌弘：全面床吹き出し空調システムに関する研究（室内発熱と温度成層に関する基礎的実験），日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.1569-1570, 1993

11) Akimoto, T., Nobe, T., and Takebayashi, Y. : Experimental Study on the Floor-Supply Displacement Ventilation System, ASHRAE Transactions, Vol. 101, Pt.2, pp.912-925, 1995

12) 津坂剛男，下白木諒，武田晃成，斉藤詩織，鵜飼真成，野部達夫：再生可能エネルギーを活用したアースビル立川の省エネルギー性能に関する研究 （その 2）中間期・冬期の室内物理環境評価，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.1187-1188, 2016

13) 矢田達也，鵜飼真成，野部達夫：パーソナル空調システムの性能評価法に関する研究，空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集，pp.89-92, 2016

14) 李晟在・田辺新一・野部達夫：等温気流型ユニットを用いたタスク空調の熱的快適性，日本建築学会環境系論文集，第 575 号，pp.75-82, 2004.01

15) 梁禎訓・加藤信介・近本智行・大森敏明：タスク域ワイドカバー型パーソナル空調方式の検討，空気調和・衛生工学会論文集，No.96, pp.21-29, 2005.01

16) 祝家燕・田中雅之・李克欣・伊藤尚寛・中原信生：非等温パーソナル気流がアンビエント温湿度条件緩和に与える効果に関する被験者実験，日本建築学会環境系論文集，第 480 号， pp.47-53, 1996.02

17) 佐藤文人・橘雅哉・川島実・中村卓司：「全面床吹出し空調」システムにおける個別空調対応とパーソナル空調用床吹出し口の開発，空気調和・衛生工学会学術講演論文集，pp.225-228, 2003.09

18) 三浦克弘・加藤正宏・武政祐一・平岡雅哉・大和田淳・弘本真一：天井吹出口を用いたタスク空調システムに関する研究，日本建築学会学術講演梗概集，pp.1129-1132, 2007.08

19) 太田仁子・秋元孝之・橋本哲・西野淳・近本智行・中村慎司：28℃オフィス空間における天井吹

出しタスク空調に関する研究　その 1　タスク空調を採用した室内温熱環境の定量的評価，日本建築学会学術講演梗概集，pp.937-938, 2009.08
20) 和田一樹・大宮由紀夫・高橋幹雄・山本泰造・松岡康友・山本麻莉・田辺新一・西原直枝：タスク・アンビエント対応膜放射冷房システムを導入したオフィスにおける実測調査　その 1　実測対象オフィスのシステム概要，日本建築学会学術講演梗概集，pp.1129-1132, 2006.07
21) 加藤美好・三宅伸幸・樋渡潔・齋藤正文・張本和芳：天井吹出型パーソナル空調システムの研究　その 5　外気高効率供給タイプ空調機の検討，日本建築学会学術講演梗概集，pp.931-932, 2009.08
22) 村松宏：4 床病室におけるパーソナル&アンビエント空調システムの適用事例，日本建築学会大会学術講演梗概集選抜梗概，pp.1073-1076, 2006.09
23) 菊池世欧啓・高橋雄司・小林信行・伊藤一秀：PC 排熱と USB 電源を利用したパーソナル空調システムの開発　その 1　PC 排熱の測定とパーソナル暖房装置プロトタイプの試作，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.1173-1174, 2005
24) 野部達夫・田辺新一・李晟在・西村秀生・富岡弓絵・林純子・庄司睦美：等温気流型タスク空調に関する研究　その 4　温放射パネル付机前縁吹出型等温気流ユニットの使用状況，空気調和・衛生工学会学術講演論文集，pp.233-236, 2003.09
25) 荒井博之・川上薫・大澤明廣・伊藤剛・中山和樹・平山禎久・野部達夫：低炭素と知的生産性に配慮した最先端オフィスの調査研究　その 4　放射と自然対流を用いたパーソナル空調の実測，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.967-968, 2011.07
26) Fred S. Bauman, Thomas G. Carter, Anne V. Baughman, Edward A. Arens : Field Study of the Impact of a Desktop Task/Ambient Conditioning System in office Buildings. ASHRAE Trans., Vol. 104, Part1, 1998
27) Wyon, D.P. : Thermal Manikin Experiments on Climadesk. Proc. From the Workshop on Task/Ambient Conditioning Systems in Commercial Buildings, ed. F. Bauman, CEDR, University of California, Berkeley, USA, 1995
28) 秋元孝之・李晟在・田辺新一：オフィス空間における非等温気流タスク空調方式の有効性，日本建築学会環境系論文集，第 596 号，pp.67-74, 2005.01
29) 鵜飼真成，高博也，橋本祐，荒井義人，高橋満博，伊藤清，雨宮沙耶，野部達夫：放射空調と一般空調の特性比較，室内環境学会学術大会講演要旨集，pp.264-265, 2014

30) 斉藤詩織，鵜飼真成，野部達夫：執務者の属性と温熱環境受容性の相関に関する研究，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.243-244
31) 大黒雅之：温熱指標からみたタスクアンビエント空調の有効性について，次世代空調を考える，次世代の空調と省エネルギー・生産性，建築学会シンポジウム，2003
32) 西安信：第 2 章 人体と環境との熱交換，中山昭雄編. 温熱生理学，p.33，理工学社，1981
33) Kuno,S., Ohno,H., and Nakahara,N., A two-dimensional model expressing thermal sensation in transitional conditions, ASHRAE Trans., Vol.93, Part.2, 1987, 396-406

34) R. G. Nevins, E. D. Ward: Room air distribution with an air distributing ceiling, ASHRAE Transactions, Vol.

74, Part 1, No. 2072, pp.VI2.1-VI2.14, 1968

35）ASHRAE Handbook, Fundamentals, 2001

第 2 章
空調の温熱的非受容に関する研究

1. はじめに

快適な環境とは何か。建築は古来より各地域で気候・風土に即した形態や機能を備えてきたが、温熱環境の制御という面では脆弱であった。しかしながら、冷凍空調技術が一般化される以前の建築では、暖かい日光や心地よい風等、自然エネルギーを積極的に取り込む知恵が溢れている。我が国の寝殿造では、夏になると襖や障子を開け放つことで涼を取り、冬は土壁で囲まれた塗籠に移動することで寒さをしのぐ工夫がされていた[1)]。19 世紀の中頃になると、欧米の諸国では大規模法人の出現によるオフィスビルの建設が始まり、英国リバプールのオリエル・チャムバー社（1864 年）の室内には暖炉が備えられていた[2)]。オフィスビル成立時の温熱環境調整手法は、換気・通風とストーブ程度であったが、20 世紀初頭には米国のラーキンビル（1906 年）に代表されるように、オフィスには空調設備が導入され、窓は嵌め殺しへと変様した。

空調が建築に装備されて以来、室内温熱環境は空間的に均一かつ時間的に一定であることを目標としてきたが、技術の進歩は熱的快適性に関する問題を複雑にした。室内の熱的快適性を窓の開閉や建具により調整していた時分には、居住者は自分の環境を自分で制御することが可能であったが、空調システムの出現により、大規模オフィス等の室内温熱環境の制御は設備管理者に託される事例が多くなった。ここで問題となるのが熱的快適性の判断基準であるが、空調設備の発展とともに温熱指標も進展を続けている。

今日、ISO 7730 に採用されている PMV や、ASHRAE 55 による SET*は、人体と周囲の環境による熱収支を理論的に追及した後に、定常状態の環境試験室を用いた被験者実験から得られた温冷感申告値と結び付けて評価しており、温熱 6 要素の入力により得られる結果は、性別、年齢、人種、気候、空間の用途等に関わらず適用できるとしている[3)]。PMV や SET*といった温熱指標は、空調設計の数値目標を明確化し、温熱環境制御の基準として多大な貢献をしたことは紛れもない事実であろう。しかしながら、環境試験室の物理環境や被験者の着衣と行動を厳密に管理した実験室実験の結果を、一般的な温熱指標として扱うことには疑問が呈されている[4)]。Humphreys and Nicol[5)]は「人は快適な環境を獲得するための自発的な適応能力を備えている」という概念から、現実の環境では居住者が着衣の調整をはじめとする適応行動をとるため、PMV の予測結果と実際の快適温度には差が生じると述べている。中野ら[6)]は、非定常環境下である半屋外環境における環境適応を考慮した熱的快適性の概念図を提案している。また、Humphereys[7)]は環境適応を理解するための、実際の執務環境下における実測調査の必要性を指摘している。

現実の環境における実証的研究ではオフィス空間などのワークプレイスにおける知的生産性の評価や、執務者の行動特性に関する調査等多くの報告[8-15)]があるが、オフィスのような目的空間において執務者の熱的快適性に関する情報収集は容易ではない。工学的な快適は「不快でないこと」という消極的な定義であるため、一般的な快適を理解するためには、不快発生時の状況を解き明かす必要があると考えられるが、現実のオフィスにおいては執務者からの瞬間的な不満を捉えることは難しく、空調の実効性はアンケート調査等による快適側の申告を基に評価されることが多い。従って、少数の執務者からの不満は大多数の快適側の主張に埋もれてしまうことが多く、不快発生時の状況に関する調査は疎かにされてきた。

2. 室内温熱環境に係わる環境変更要求

不快は快適とは異なり非常に強い心理量であるため、時には強いクレームにまで発展する。図図 2.1 に鈴木らの調査[16]により得られた、標準的な中央空調システムを備えたオフィスにおけるクレーム数の調査結果を示す。これは、設備管理員に寄せられた空調クレームの数を記録したものであり、2011 年 1 月から 2012 年の 6 月の間（18 ヶ月）で計 1214 件の環境変更要求が発生していた。年間を通して「暑すぎる」と「寒すぎる」の双方のクレームが発生しているが、その内訳はどの期間においても「暑すぎる」非受容が「寒すぎる」非受容よりも多く発生していた。

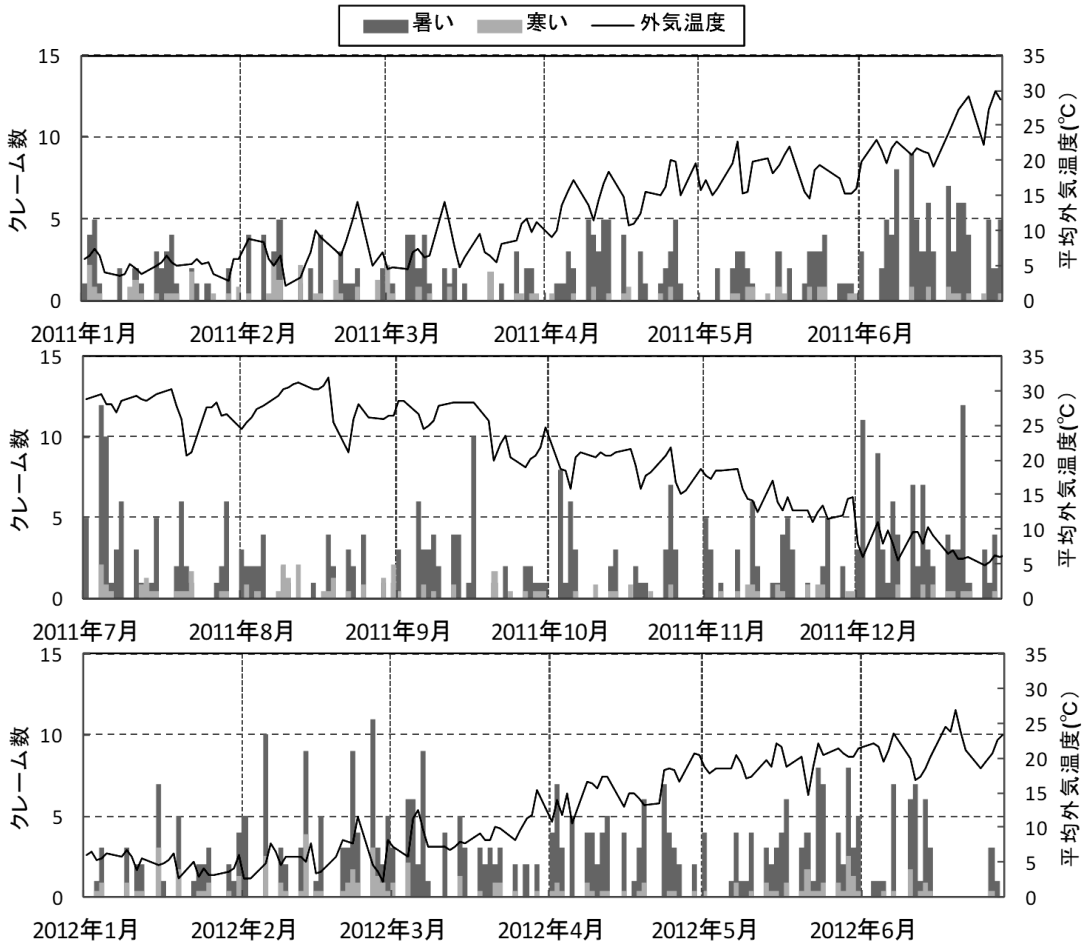


図 2.1　標準的な中央空調システムを備えたオフィスにおける非受容申告数 [16 鈴木育野)]

3. 第 2 章の研究目的

工学的に快適とは「不快でない」という消極的な定義であるため、不快発生時の状況を解き明かすことは、一般的な快適を理解することと関連すると思われる。本研究の目的は、夏期オフィスにおける室内温熱環境の快適性を物理的側面や心理的側面から評価するのと同時に、実際のオフィスで働く執務者が、室内の温熱環境に対して非受容と感じる瞬間を捉えることであり、従来の物理環境調査とアンケート調査からでは抽出できない室内温熱環境に対する不満を見出すことである。

4. 非受容申告装置「オストラコン」を用いた調査

4.1 オストラコンの概要

表 2.1 に示す装置は、非受容申告の発生状況を詳細に補足するために、著者らが考案したデバイスである。本装置の呼称として用いたオストラコンとは、古代ギリシャで追放者を選出する際に投票用紙のように使われた陶片[17)]のことを指すが、制作した装置も人知れず不満を簡単に表明する手段として、陶片と類似の機能を果たす。

非受容申告装置オストラコン（以下オストラコンと記す。）は机上に置いて、執務者が暑すぎて或いは寒すぎて我慢ならない場合にボタンを押してもらうことで、不満発生時の時刻がオストラコン内部のパルスロガーに記録される仕組みとなっている。また、オストラコンには温湿度ロガーを取り付けているため、非受容申告発生時の机上における空気温度と相対湿度を確認することが可能である。その特徴として、執務者の自発的な申告を容易に記録可能であることから、アンケート調査等とは異なるデータが得られるものと期待を込めて開発した。以下に 3 種類のオストラコンについて説明する。

1) 集団申告型

集団申告型は、一日の室内温熱環境の印象を記録する。設置場所を通路の壁面等、オフィスの導線上とし、執務者に退社時に一回、一日の室内環境を総じて「受け入れられる（受容）・受け入れられない（非受容）」の 2 択で申告してもらう。従来のアンケート調査と類似した結果が得られるものと思われる。

2) 個人申告型 1ch 型

個人申告型 1ch 型は個人の机上に設置をして、執務者が温熱環境を受けいれられないと感じたときに上部のボタンを押し申告をしてもらう。

3) 個人申告型 2ch 型

申告ボタンを二個に増やすことで、1ch 型における非受容の内容が「暑すぎて受け入れられないか」或いは「寒すぎて受け入れられないか」の見極めが困難である問題を解消した。回路図を図 2.2 に示す。

表 2.1　非受容申告装置「オストラコン」

	非受容申告装置「オストラコン」		
	集団申告型	個別申告型	個別申告型
		1ch	2ch
外観			
申告条件 計測項目	退社時：1 回／1 日 一日の温熱環境が (受け入れられる・受け入れられない) のどちらかを申告	温熱環境が 「受け入れられない」 と感じたときに申告	「暑すぎる・寒すぎる」 を分けて申告
設置場所	通路の壁面	個人用デスク	
本体寸法	H200mm×W135mm ×D50mm	H125mm×W80mm ×D40mm	H125mm×W85mm ×D50mm

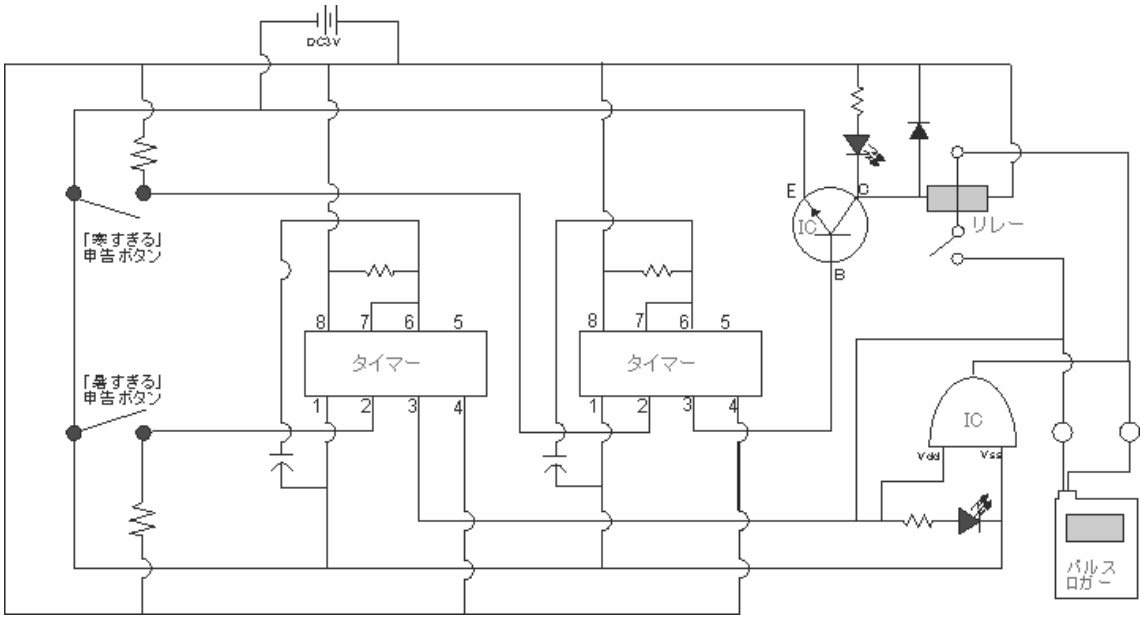


図 2.2　回路図（個別申告型 2ch 型）

4.2 調査概要

表 2.2 に調査建物の概要を示す。集団申告型及び個別申告型 1ch 型オストラコンを用いた調査を 2012 年夏期に 6 事例の建物で実施した。さらに、2013 年度には S ビルにおいて、個別申告型 2ch 型オストラコンと着席検知装置を併用した室内温熱環境の非受容に関するより詳細な調査を行った。S ビル、O ビル、T-E ビルについては、ZEB を目指した最先端の環境配慮技術が施された建物である。一方で、R ビル、M ビル、T-K ビルについては、竣工年度は不明であり空調設備は一般的なマルチパッケージ型空調機である。

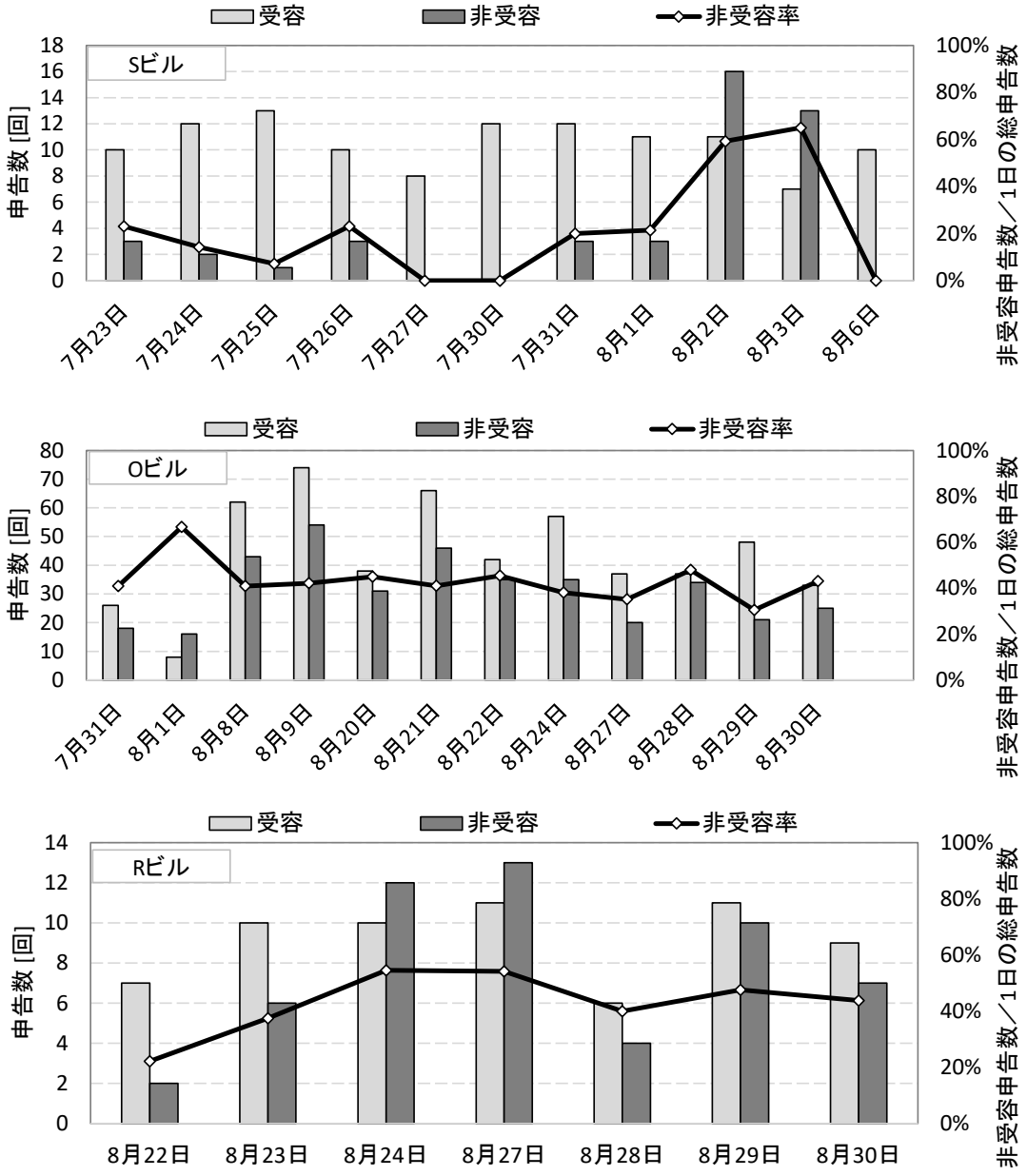
表 2.2　調査建物概要

建物名	竣工年	空調方式	建物用途	調査概要	対象人数	調査期間
S ビル	2012	天井放射空調 パーソナル床吹出し口	事務所	集団申告型	—	2012/7/23 ~ 2012/8/7
				個別申告型 1ch	10 人	
				個別申告型 2ch	25 人	2013/7/29 ~ 2013/8/9
O ビル	2010	タスクアンビエント空調	研究所	集団申告型	—	2012/7/30 ~ 2012/8/30
				個別申告型 1ch	20 人	
R ビル	—	マルチパッケージ型空調	事務所	集団申告型	—	2012/9/5 ~ 2012/9/18
				個別申告型 1ch 型	10 人	
M ビル	—	マルチパッケージ型空調	事務所	集団申告型	—	2012/9/13 ~ 2012/10/10
				個別申告型 1ch 型	10 人	
T-K ビル	—	マルチパッケージ型空調	事務所	集団申告型	—	2012/8/21 ~ 2012/9/14
				個別申告型 1ch 型	10 人	
T-E ビル	2010 (改修)	セントラル空調	事務所	個別申告型 1ch 型	30 人	2012/8/8 ~ 2012/8/30

4.3 集団申告型オストラコンを用いた調査

4.3.1 日別の申告数と非受容率

図 2.3 にそれぞれのオフィスにおける受容・非受容の申告数と非受容と申告した執務者の割合を示す。建物毎、また調査日により室内温熱環境の印象に差が確認されたが、ほとんどの調査日で非受容申告が発生しており、多くの執務者が一日の温熱環境に何らかの不満を抱えている事実が示された。図 2.4 は全調査期間における非受容と申告した者の割合である。各建物において室内温熱環境の設定目標値や執務形態等は異なることが推察されるが、マルチパッケージ方式が採用されている一般的な対流空調のオフィスにおける非受容率が高い傾向にあった。



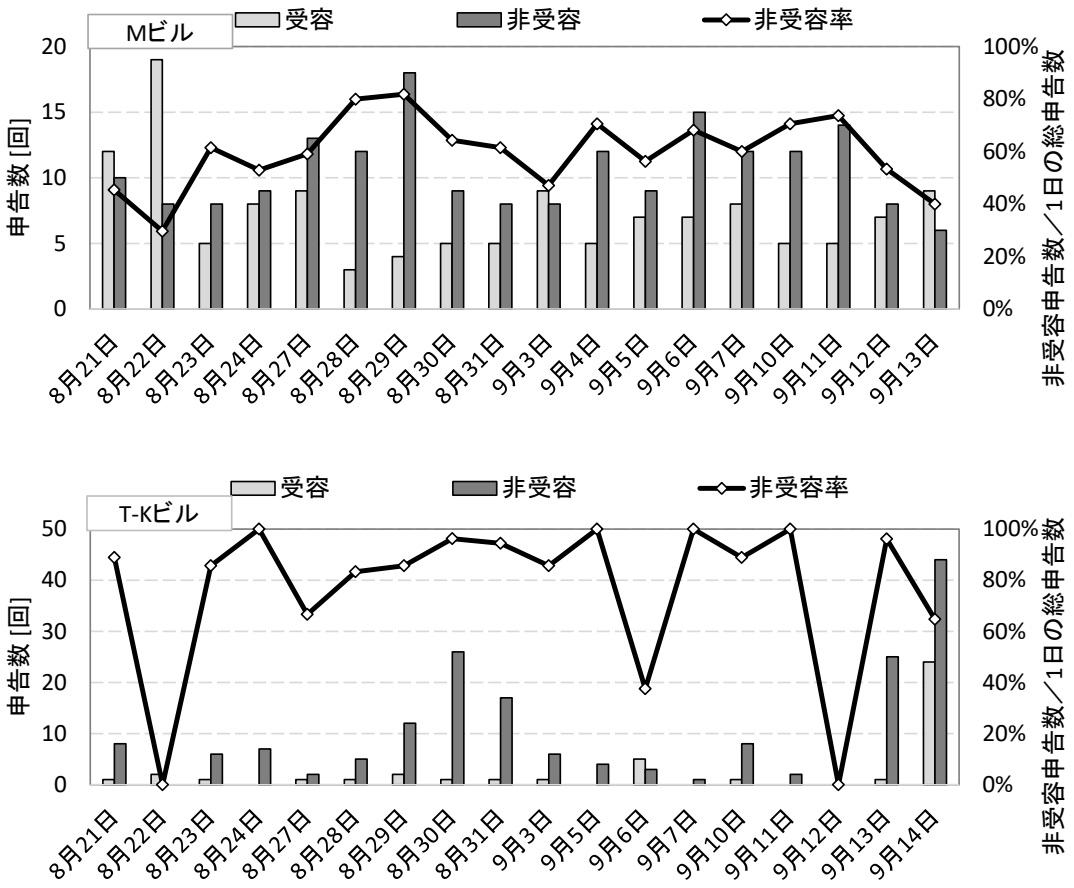


図 2.3　集団申告型を用いた一日の温熱環境の印象調査

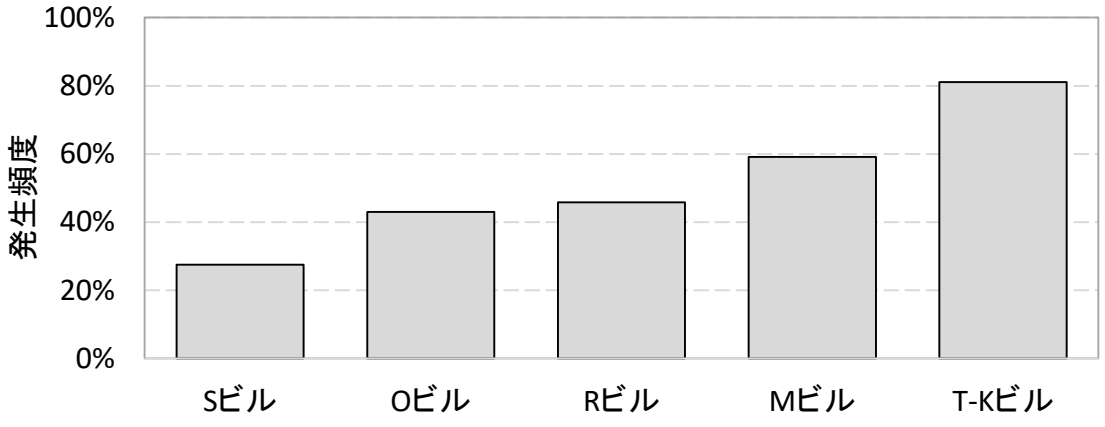


図 2.4　全調査期間における非受容と申告した者の割合

4.3.2 非受容率と PPD の関係

図 2.5 に一日の執務室における PMV の平均値から算出した PPD と非受容と申告した執務者の割合（非受容率）を示す。PMV は後述する個別 1ch 型オストラコンが記録した机上の乾球温度と相対湿度の一日の平均値をベースとして、風速 0.1m/s、代謝量 1.2met、着衣量 0.5clo を快適方程式に代入して求めた。なお、オストラコンでは放射環境の測定が困難なため、ここでは乾球温度の測定値をそのまま平均放射温度の値として使用した。

PPD が高い M ビルにおいては非受容率も高く、一方で PPD が低い S ビルにおいては非受容率も低い傾向にあり、一日の室内温熱環境と集団申告型の結果には関係があると思われる。しかしながら、T-K ビルの様に PPD が低い環境であるにも関わらず、非受容率の高いオフィスも存在していた。また、それぞれのオフィスにおいて、非受容率は PPD と比較して高い傾向にあった。これは、定常的な被験者実験より得られた快適方程式から求まる PPD は、実際の執務空間の様に常日頃複雑な仕事をこなしているオフィスワーカーの非定常な環境評価への適用が難しいためと思われる。従って、不満が発生しない環境を理解するためには、非受容発生時の状況を詳しく理解する必要があると思われる。

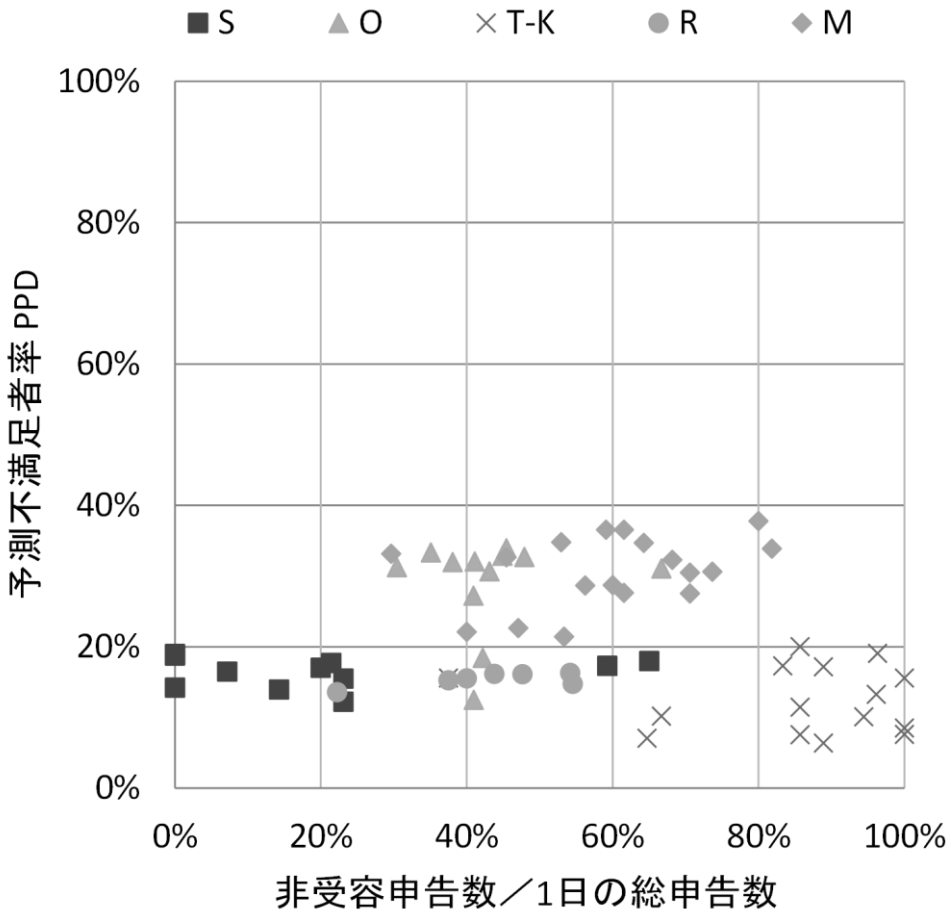


図 2.5　非受容率と PPD の関係

4.4 個別申告 1ch 型オストラコンを用いた調査

4.4.1 非受容申告時の温熱環境

図 2.6 は非受容申告時の温熱環境を空気線図上にプロットしたグラフであり、破線で示す領域が ASHRAE Standard 55-2013 Graphic Comfort Zone Method による夏期快適温湿度範囲である。本来であれば、平均放射温度から作用温度を求めるべきだが、オストラコンでは放射環境の測定ができないため、空気温度を作用温度に代用した。

背景の影はオストラコンが記録した室内温熱環境の分布である。執務者は一般にいわれる快適範囲内においても非受容を申告することが確認でき、それぞれのオフィスで室内温熱環境は異なるが、全 1599 の非受容申告の内、23.3%が快適範囲内における申告であった。

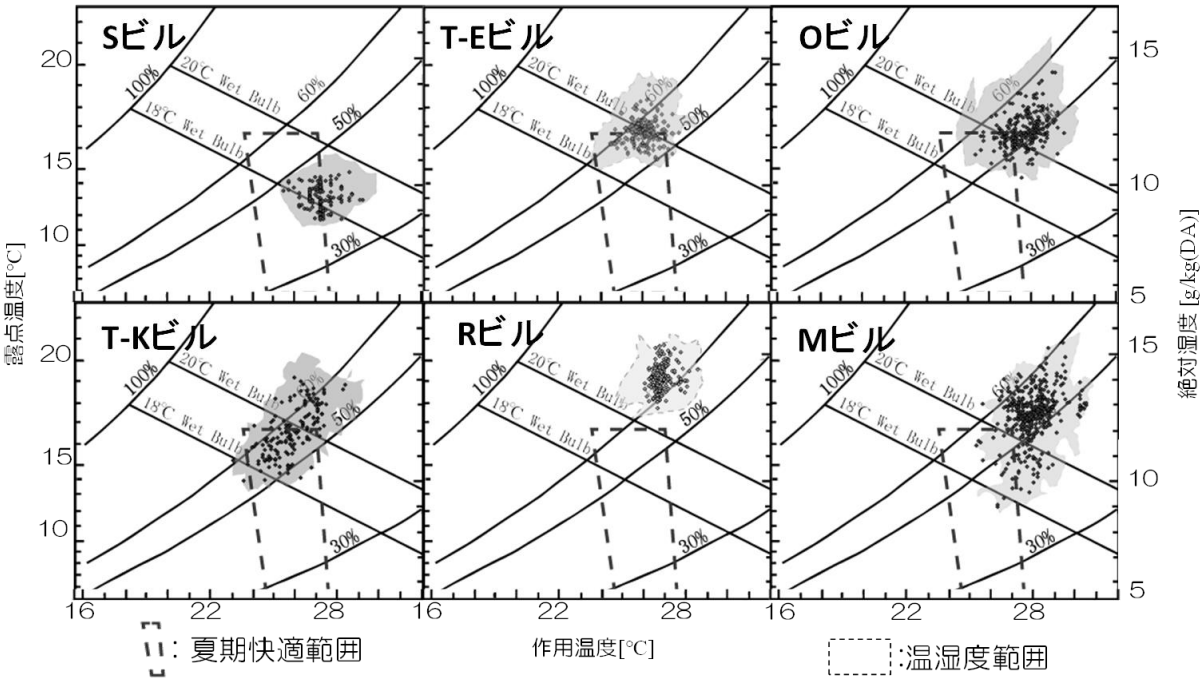


図 2.6　非受容率申告時の温熱環境

4.4.2 非受容申告時の乾球温度の発生頻度

図 2.7 に執務時間内における乾球温度の発生頻度と、非受容申告時の乾球温度の発生頻度をそれぞれ示す。破線で示した、執務時間内の乾球温度の発生頻度と実線で示した非受容申告時の乾球温度の発生頻度が相似形であることから、非受容申告は室内温熱環境に関わらず発生することが示唆される。

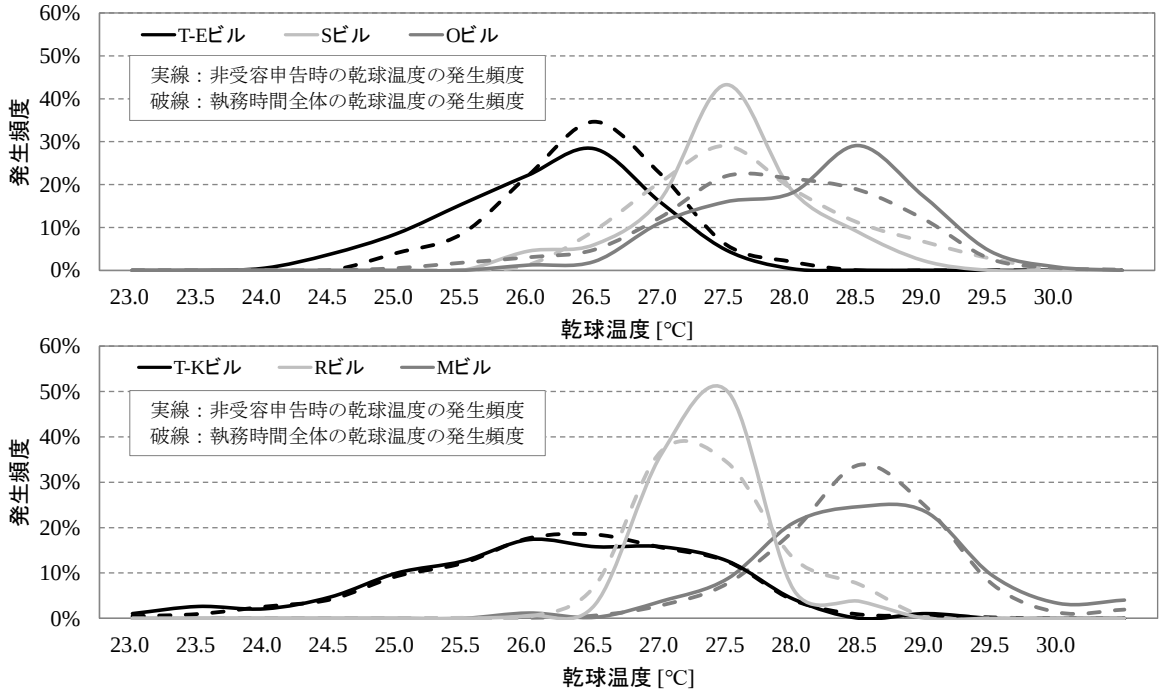


図 2.7　非受容率申告時の温熱環境

4.4.3 非受容申告時の時刻

図 2.8 にオストラコン 1 台当たりの非受容申告数を時刻別に示す。それぞれのオフィスにおいて、非受容申告が頻発する時刻が存在しており、概ね朝方と夕方に非受容申告が集中する結果となった。これらの時間帯は執務者の出社時や外回りからの帰社時と一致していることから、非受容申告の多くは外部環境を経た温熱的な履歴を抱えている執務者から発生していたと思われる。

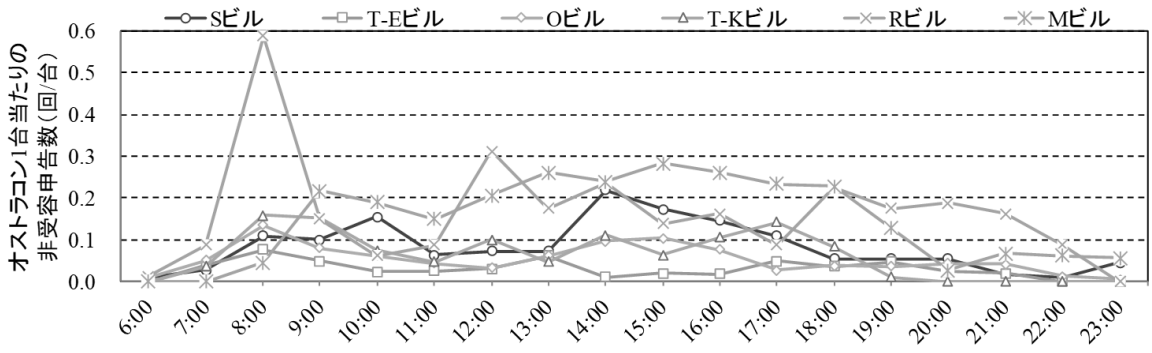


図 2.8　時刻ごとの非受容申告

4.5 個別申告 2ch 型オストラコンを用いた調査

4.5.1 実測調査方法

前節までに述べた、集団型及び個別申告型 1ch 型オストラコンを用いた調査では、多くの建物において温熱環境に関わる何らかの不満が発生している事実が示された。しかしながら、不満の内容が「暑すぎる」ものなのか、或いは「寒すぎる」ものなのかの見極めは難しく、また個人の特性や非受容発生時の詳細な情報の把握には至っていない。そこで、新たに制作した「暑すぎる・寒すぎる」を分けて申告できる個人申告型 2ch 型オストラコンと着席検知装置を併用した調査を S ビルにて実施した。また詳細な温熱環境調査とアンケートによる印象評価も併せることで、執務者からの非受容が発生する背景について考察する。

1)　対象建物概要

表 2.3 に実測対象オフィスである S ビルの概要を示す。本建物は 2012 年 5 月に竣工し、7 月から運用を開始した。空調方式は放射空調とデシカントによる潜熱・顕熱分離空調が導入されている。図 2.9 に空調システムの概要を示す。ペリメータチルドビームはフィン形状をしており、夏期は冷水を供給して自然対流を促進させ、ペリメータ冷房負荷の処理を行っている。冬期は温水を供給して放射天井パネルとして機能し、暖房負荷の処理を行っている。インテリアゾーンはタスク&アンビエント方式を採用している。インテリアは年間を通して冷房負荷があるため、アンビエント空調はインテリア放射天井パネルに冷水を供給し、人体、照明、OA 機器等による内部発熱を処理する。インテリア放射天井パネルは 3.2m モジュールで 10 枚の放射パネルと 2 枚の点検口パネルで構成されているため、敷設率は約 70%となる。タスク空調はデシカント空調機で温湿度処理された外気が、机下に設置されたパーソナル床吹出口（表 2.4）から供給される。パーソナル床吹出口は在席者が好みに合わせて開閉し気流を調整することができる。

表 2.3　調査建物（S ビル）の概要

所在地	東京都中央区
敷地面積	約 3,000m^2
延床面積	約 51,800m^2
構造	鉄筋コンクリート（一部鉄骨造） 免震構造
階数	地下 3 階，地上 22 階，塔屋 1 階
主用途	事務所
CASBEE	S ランク（BEE 9.7）
LEED	NC（新築）ゴールド
設計期間	2005 年 7 月～2009 年 4 月
施工期間	2009 年 4 月～2012 年 5 月

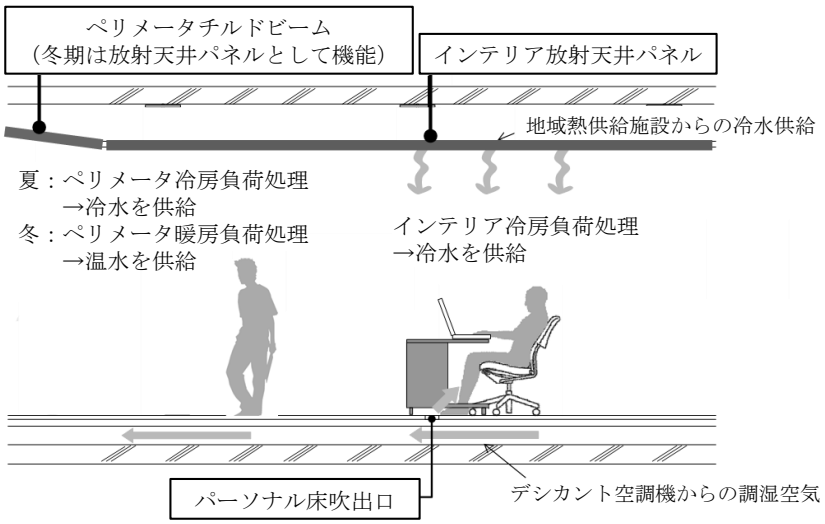


図 2.9　空調システム概要

表 2.4　パーソナル床吹出口

外観	
寸法	W110mm×D110mm
開口面積	0.00192m^2
ネック風速	1.6m/s
風量	11.1m^3/h

2)　室内温熱環境の長期連続測定

温熱環境の計測は 2013 年 7 月 23 日から 2013 年 8 月 30 日にかけて、18F の北西側にて行った。室内環境測定項目の概要を表 2.5 に、 対象オフィスの平面図および室内環境測定箇所を図 2.10 に示す。ペリメータ 2 点、インテリア 4 点の計 6 点にて、上下温度分布（床表面、床上 100mm、600mm、1100mm、1700mm、2200mm、2700mm、天井表面）、グローブ温度、相対湿度（それぞれ床上 1100mm）を 10 分間隔で測定した。また、調査期間中の設定温湿度はペリメータが 26℃/45%、インテリアが 27℃/45%であった。

表 2.5　室内環境測定項目

測定位置	測定項目		計測間隔
■ ▲	上下温度分布		10min
	相対湿度		10min
	グローブ温度		10min
▮	気流性状		—
●	受容度（オストラコンを使用）	空気温度	4min
		相対湿度	4min
		パルスロガー	2min
	着席状況（着座センサーを使用）		1min

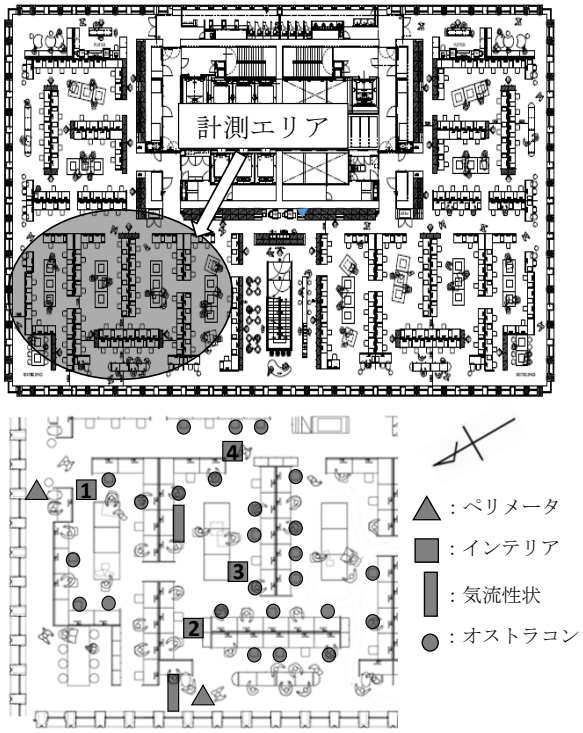


図 2.10　対象建物平面図及び室内環境測定箇所

3)　気流性状調査

3 次元超音波風速計を用いた気流性状の詳細な測定は、2013 年 8 月 24 日に実施した。測定箇所は図 2.10 に示すように、インテリアとペリメータの各 1 点とした。

4)　執務者アンケート調査

対象オフィスにおける執務者の快適性、ならびに放射空調とパーソナル床吹出口についての印象評価が可能なアンケート調査を実施した。表 2.6 にアンケートに関する申告項目と尺度を示す。アンケート調査期間は、温熱環境調査実施日に合わせ、2013 年 7 月 23 日から 2013 年 8 月 30 日とし、対象者には調査期間中の任意のタイミングで 1 回のみ、夏期の室内温熱環境に対する総合的な印象を回答するようにお願いした。また、アンケートの総配布数は 200 部であり、回収数は 179 部であった。

表 2.6　アンケートの申告項目と尺度

時間帯毎の温熱環境の印象	上下温度差の印象	放射空調の満足感
1. 寒い 2. 涼しい 3. やや涼しい 4. どちらでもない 5. やや暖かい 6. 暖かい 7. 暑い	0. 感じない 1. やや感じる 2. 感じる 3. 非常に感じる	1. 非常に不満 2. 不満 3. やや不満 4. やや満足 5. 満足 6. 非常に満足
総合的な室内温熱環境の快適性	パーソナル床吹出口の使用頻度	パーソナル床吹出口の満足度
1. 非常に不快 2. 不快 3. やや不快 4. やや快適 5. 快適 6. 非常に快適	0. 使用しない 1. あまり使用しない 2. 一日に数回使用 3. 頻繁に使用 4. 常に使用 パーソナル床吹出口の風量の印象 1. 非常に強い 2. 強い 3. やや強い 4. やや弱い 5. 弱い 6. 非常に弱い	1. 非常に不満 2. 不満 3. やや不満 4. やや満足 5. 満足 6. 非常に満足

5)　執務者の受容度調査

個別申告型 2ch 型オストラコンを用いた受容度調査は、2013 年 7 月 29 日から 2013 年 8 月 9 日にかけて、執務者 25 名（男性 19 名・女性 4 名・不明 2 名）を対象に実施した。図 2.10 にオストラコンを配布した執務者の座席位置を示す。また、本調査では執務者の着席状況を把握するために、表 2.7 に示す座布団型の着席検知装置を併用した調査を行った。着席検知装置は、座布団内に仕込まれた温度ロガーの値の変化を読み取ることで、執務者の離着席状況を判断できる仕組みである。

表 2.7　着席検知装置

<table>
<tr><td colspan="3">着席検知装置</td></tr>
<tr><td>外観</td><td colspan="2">
</td></tr>
<tr><td>設置位置</td><td colspan="2">椅子座面（各執務者）</td></tr>
<tr><td>寸法</td><td colspan="2">W 420 mm × D 280 mm</td></tr>
<tr><td>計測間隔</td><td colspan="2">1 min</td></tr>
<tr><td rowspan="3">着席条件 [18)]</td><td>座面温度</td><td>温度変化</td></tr>
<tr><td>30℃未満</td><td>+0.5℃/min</td></tr>
<tr><td>30℃以上</td><td>-0.5℃/min</td></tr>
</table>

4.5.2 実測結果

1)　長期連続測定

a.　温熱環境の経時変化

図 2.11 に代表日 8 月 9 日（実測期間中の最高外気温日）における外気温度（気象庁アメダスの観測データ）、ペリメータ 2 点、インテリア 4 点の各計測点（FL+1100）における平均空気温度および、インテリアの平均 MRT と平均相対湿度の経時変化を示す。MRT は式(2-1)に実測値を代入して求めたが、風速に関しては空間全体に静穏な気流環境が形成されていると仮定して 0.1m/s を使用した。朝 7 時から夕方 18 時にかけての空気温度は、インテリア、ペリメータともに概ね 27ºC に保たれ、相対湿度は 45%付近を推移していることから、執務時間中の温湿度は設定値付近で非常に安定していることを確認した。

$$t_r = t_g + 2.37\sqrt{v}\left(t_g - t_a\right) \quad \cdots (2-1)$$

ここに,

t_r: 平均放射温度 [°C]

t_g: グローブ温度 [°C]

t_a: 空気温度 [°C]

v: 風速 [m/s]

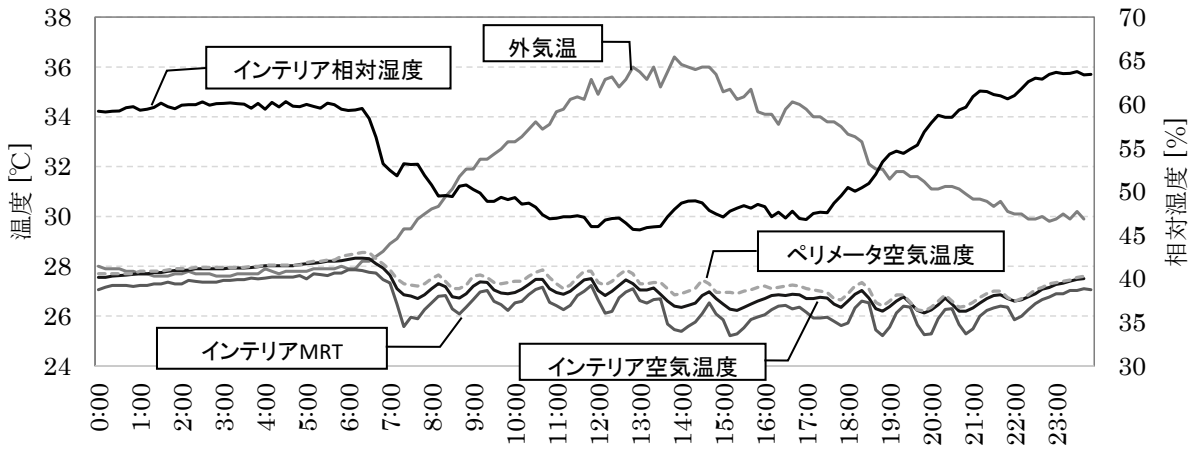


図 2.11　室内温熱環境の経時変化

b.　上下温度分布

図 2.12 に代表日 8 月 9 日におけるペリメータ、インテリアそれぞれの上下温度分布を時間帯ごとに示す。放射天井パネルには冷水が流れているため、表面温度は約 23ºC と室温に比べて低くなっているが、空気温度の上下分布は非常に小さいことを確認した。さらに、時間の変化に対しても、空気温度は 27 ºC 付近で大きな変化はないため、放射空調の特徴である均一な温熱環境が形成されていると思われる。

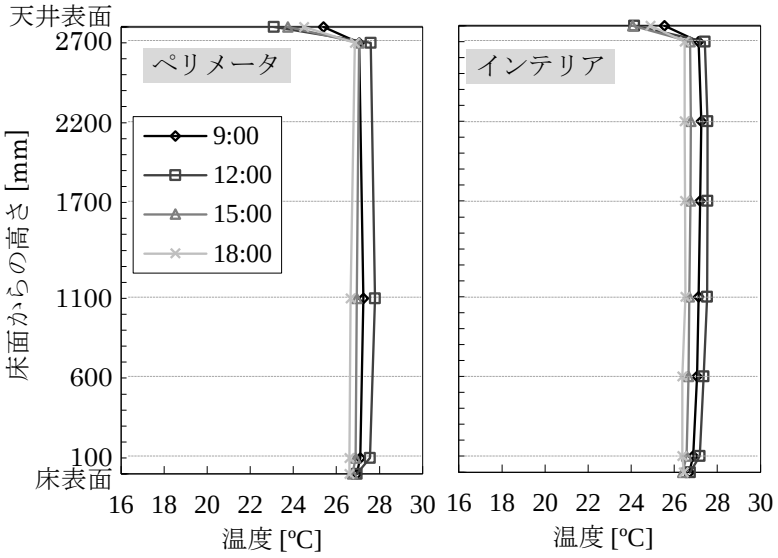


図 2.12　上下温度分布

c.　平均放射温度

図 2.13 に通常業務日執務時間内（8:00 から 18:00）の、インテリアとペリメータの各計測点 FL+1100 における空気温度と平均放射温度の関係をバブルチャートで示す。バブルの大きさは度数を表すが、空気温度と比較して平均放射温度が低い結果となり、放射天井パネルの冷却効果を確認した。

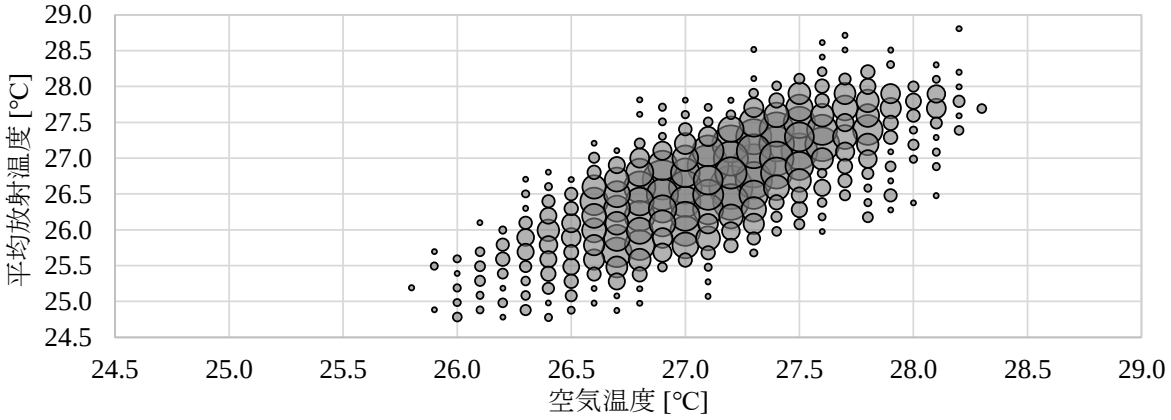


図 2.13　空気温度と平均放射温度の関係

2)　気流性状調査

図 2.14 に 3 次元超音波風速計を用いた気流性状調査結果を示す。ペリメータゾーンでは天井の屈曲部付近において右廻りの下降気流を確認した。ペリメータゾーンにおける空気循環の存在には、ペリメータチルドビームが外皮負荷を処理し、放射と対流を組み合わせたハイブリッド型の空調システムが実現していると考えられる。また、インテリアゾーンにおいても平均 0.07m/s の気流が確認され、放射天井パネルにより冷却された空気の自然対流を確認した。

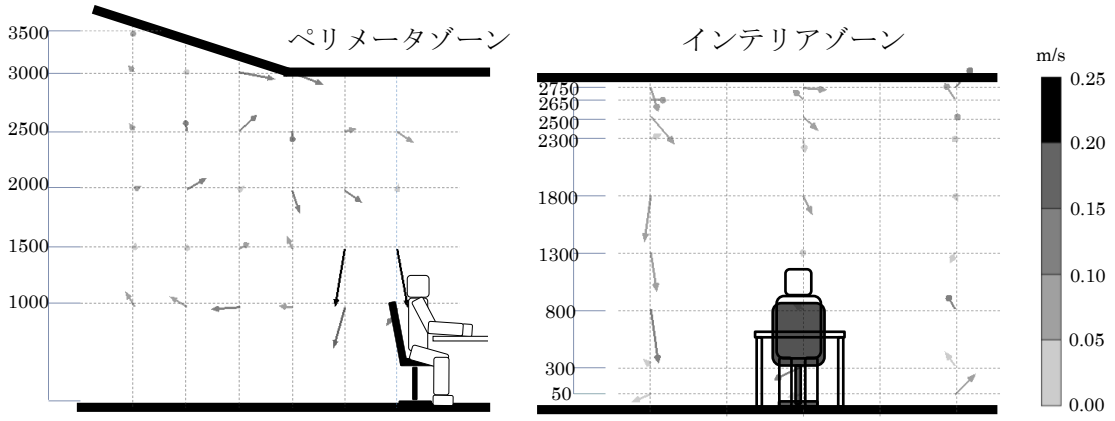


図 2.14　気流性状

3)　執務者アンケート調査

a.　執務者基本属性

表 2.8 にアンケートの回答者に対する基本属性を示す。アンケート回答者の性別は大多数が男性であり、主な職種は技術職であった。また、着衣量に関してはアンケートに記入された体の各部位に対応する衣服の単品クロ値を合算し、式(2-2)もしくは式(2-3)の回帰式に代入して推定した[19]。各執務者の着衣量は、男性平均で 0.56clo、女性平均で 0.48clo であった。

男性衣服の場合

$$I_{clo} = 0.708 \sum I_{clo,i} + 0.052 \qquad \cdots (2-2)$$

女性衣服の場合

$$I_{clo} = 0.828 \sum I_{clo,i} + 0.013 \qquad \cdots (2-3)$$

ここに,

I_{clo}：　着衣全体のクロ値　[clo]

$I_{clo,i}$:　衣服iの単品クロ値　[clo]

表 2.8　基本属性

性別（人）		職種（人）		年齢（人）		着衣量（平均値，標準偏差）	
男性	158	事務職	19	20 代	36	男性	0.56，0.04
				30 代	22		
女性	21	技術職	159	40 代	64	女性	0.48，0.13
				50 代	53		
				60 代	4		

b.　室内温熱環境の快適性評価

図 2.15 と図 2.16 に室内温熱環境の印象を示す。すべての時間帯において約 8 割の回答が「やや暖かい」から「やや涼しい」の熱的中立側の領域の範囲であり、室内上下温度差に関する質問では、男性、女性ともに「感じない」の回答が約 8 割を占めた。また、図 2.17 に示す放射天井パネルの直接的な気流がないことに対する満足感と、図 2.18 に示す総合的な温熱環境の快適性は、男性、女性それぞれ満足側、快適側の回答が大多数であった。したがって、本建物では放射空調の最大の特徴である、気流感による不快が取り除かれた、均一かつ一定の環境が実現できていると思われる。

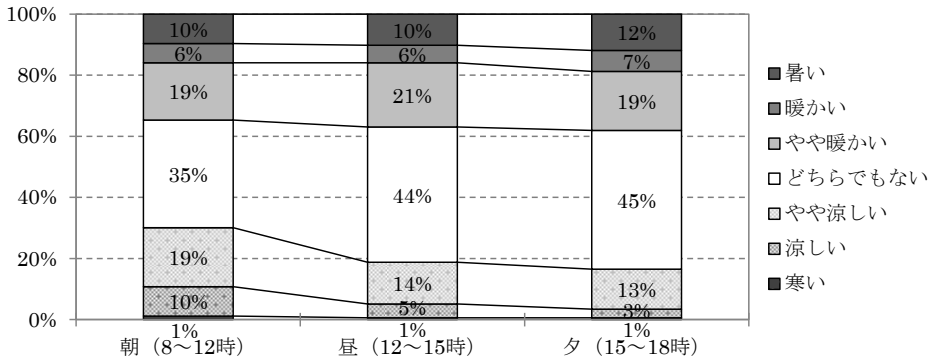


図 2.15　時間帯毎の温熱環境の印象

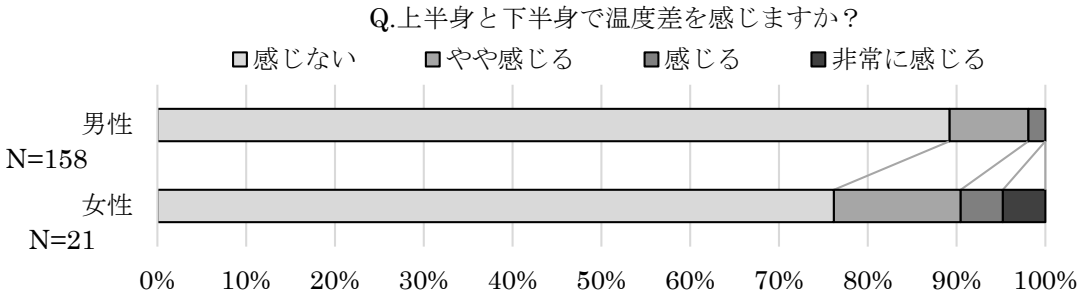


図 2.16　上下温度差の印象

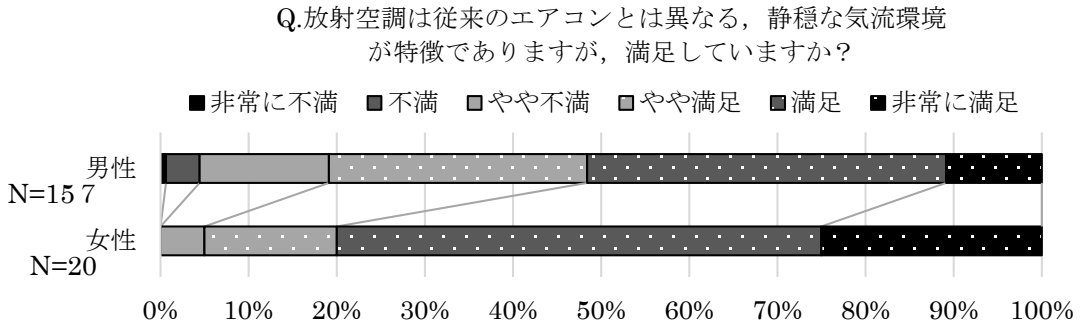


図 2.17　放射空調の満足度

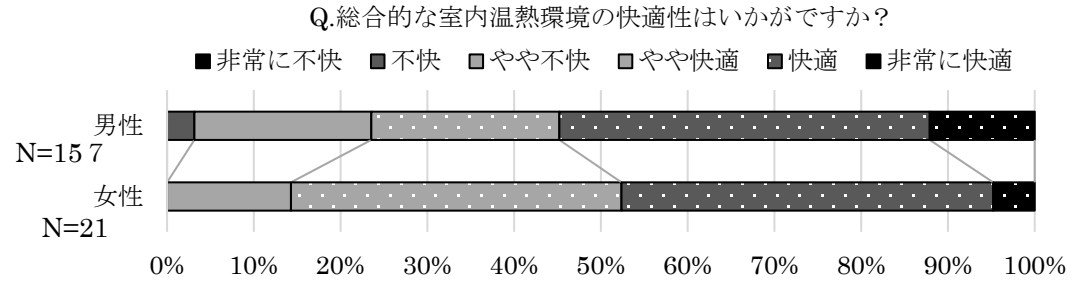


図 2.18　総合的な温熱環境の快適性

c.　パーソナル床吹出口の印象評価

図 2.19 にパーソナル床吹出口の使用頻度を、図 2.20 にパーソナル床吹出口の風量に対する印象を示す。男性は 7 割以上で常に使用、或いは頻繁に使用している結果となり、風量に関しては弱い側の回答が多い結果となった。一方で、女性は頻繁に使用、または常に使用している執務者は 4 割程度であり、あまり使用しない、或いは使用しない回答が 3 割程度確認され、風量の印象に関しては強い側の回答が多く見られた。男性と女性で使用頻度と風量の印象が異なる要因のひとつとして、着衣量の差が考えられる。女性回答者は薄手のスカートか男性用のズボンと比較すると丈の短いスラックスを着用しており、さらに靴下類はストッキングまたは、ショートソックスやフットカバーが着用されていた。一方で、男性回答者はズボンとハイソックスを着用しており、パーソナル床吹出口からの気流を直接足元で受ける女性とは気流感の印象が異なると推察される。しかし、図 2.21 に示すように、使用頻度や風量の印象は男女で異なる結果であっても、7 割以上の執務者がパーソナル床吹出口に満足している結果となった。

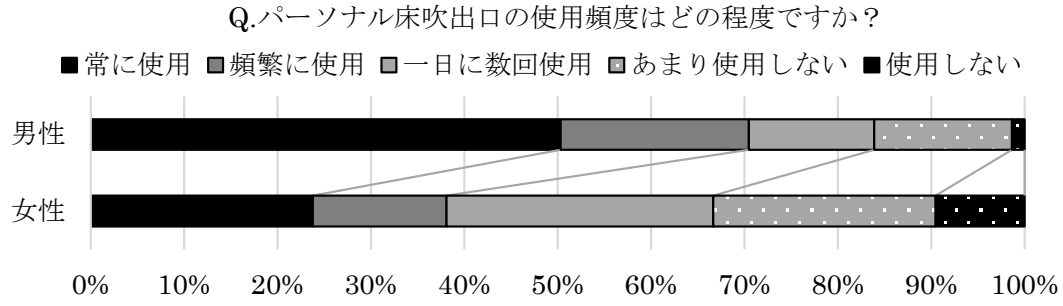


図 2.19　パーソナル床吹出口の使用頻度

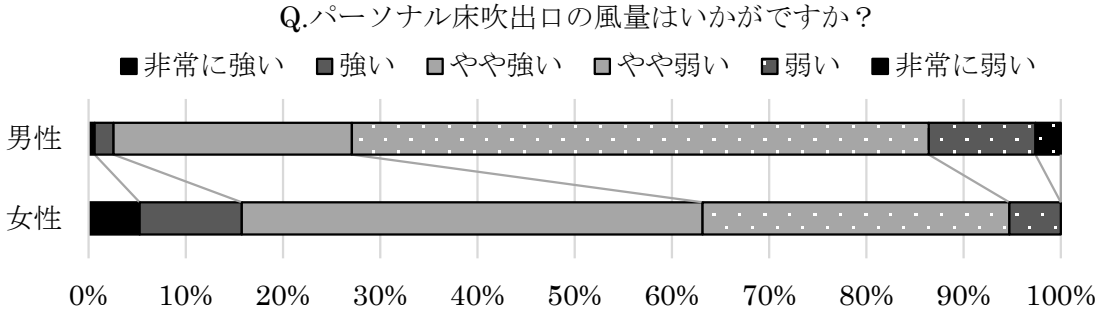


図 2.20　パーソナル床吹出口の風量

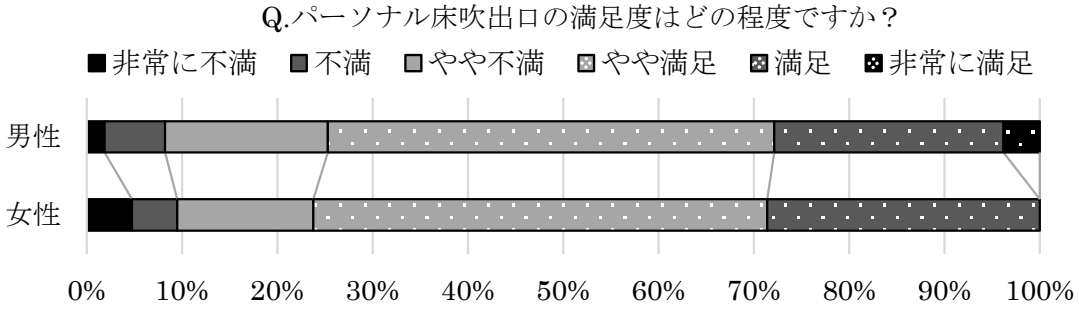


図 2.21　パーソナル床吹出口の満足度

4)　執務者の受容度調査

a.　外気温と非受容申告

図 2.22 に調査日毎の非受容申告数と外気温度を示す。調査期間中の非受容申告数の合計は、「暑すぎる」申告が 53 回、「寒すぎる」申告が 10 回であり、複数の執務者が一日の温熱環境に何らかの不満を抱えている事実が確認された。本調査では、「暑すぎる」非受容申告が多い結果となったが、調査期間中に最高外気温日を記録した 8 月 9 日においては「寒すぎる」申告も発生しており、外気温と非受容申告数の間に関係性は見られなかった。

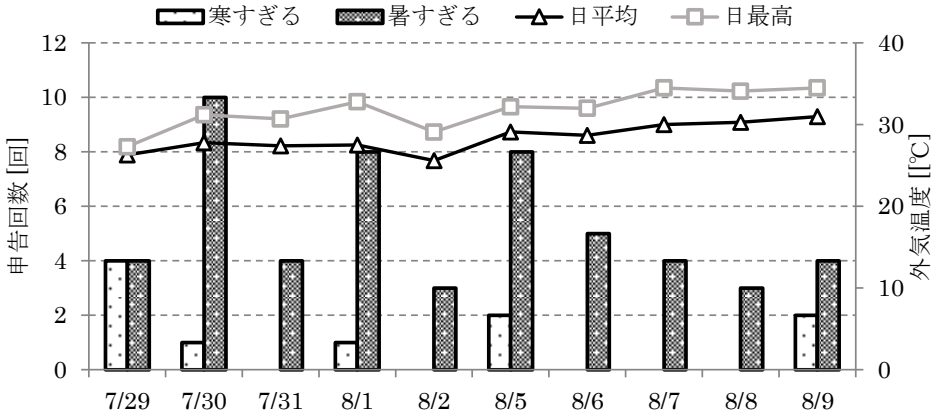


図 2.22　外気温と非受容申告

b.　机上の作用温度と非受容申告

図 2.23 にオストラコン全 25 台が記録した、調査期間中の執務時間内（8:00 から 18:00）における受容度調査対象者それぞれの机上の作用温度の時間平均値と、単位時間当たりの非受容申告数の関係を示す。また、オストラコンでは放射環境の測定が困難であるため、作用温度の算出に必要な MRT は各オストラコンに最も近い長期連続測定（インテリアゾーン）のグローブ温度とオストラコンが記録した机上の空気温度を式（2-1）に代入して求めた。図 16 に各測定点（インテリアゾーン）における、グローブ温度の単位時間（10min）当たりの変化量を代表日（8 月 9 日）について示す。各測定点においてグローブ温度の変動が一致していたことから、机上の作用温度の推定に長期連続測定のグローブ温度を使用可能であると判断した。また、単位時間当たりの非受容申告数は式(2-4)より求めた。

$$\text{単位時間当たりの申告数}\left[\frac{\text{回}}{\text{h}}\right]=\frac{\text{調査期間中の非受容申告記録数}[\text{回}]}{\text{着席時間記録数[min]}}\times 60 \qquad \cdots(2-4)$$

机上の作用温度は 26.7 ºC から 27.5 ºC であったが、特に多い「暑すぎる」申告 0.41 回/h を行った執務者周辺の温熱環境の質は顕著に低いわけではなく、むしろ作用温度 26.9 ºC は室内温熱環境の設定値に近接していた。この執務者は、30 代、着衣量 0.39clo の一般的な女性であったが、時間帯毎の温熱環境の印象は昼（12 時から 15 時）が「どちらでもない」と回答していたのに対して、朝（8 時から 12 時）と夕方（15 時から 18 時）は「暑い」と回答していた。また、調査期間中におけるオストラコンの「暑すぎる」申告数に関しても 8 時台から 11 時台に 7 回、12 時台から 14 時台に 3 回、15 時台から 18 時台に 7 回と、朝と夕方の時間帯に申告が集中していた。特に 8 時台に関しては 6 回の「暑すぎる」申告が発生していたが、申告時の机上の作用温度の平均値は 26.8℃であった。当執務者が出社時に使用している鉄道駅から、本建物までは徒歩 10 分程度であるが、出社時における代謝量の変化や熱的な履歴の影響により、朝 8 時台の「暑すぎる」申告が多く発生したのだと思われる。

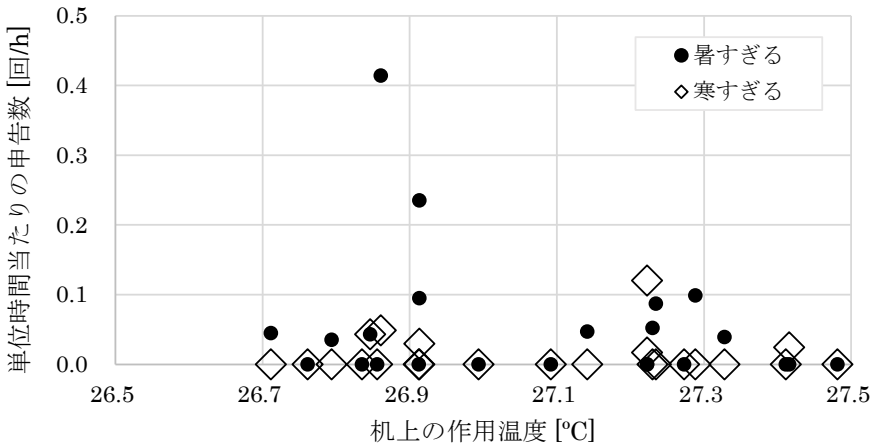


図 2.23　机上の作用温度と非受容申告

c.　非受容申告時の温熱環境

図 2.24 は ASHRAE Standard 55-2013 Graphic Comfort Zone Method に非受容申告時の温熱環境をプロットしたグラフである。破線で示す領域は着衣量 0.50clo の条件における SET*の基準に沿った熱的受容域であるため、受容度調査対象者の中から着衣量が 0.50clo に近かった者 7 名（0.49clo）を対象として、非受容申告時の温熱環境をプロットした。非受容申告 14 回の内、11 回は熱的受容域の申告であることから、執務者は一般にいわれる熱的受容域においても非受容を発することが確認された。一方で、灰色で示した極小プロットはオストラコンが記録した対象執務者着席時の温熱環境であるが、熱的受容域を外れていて着席しているにもかかわらず、非受容を発しないときが存在することも確認した。

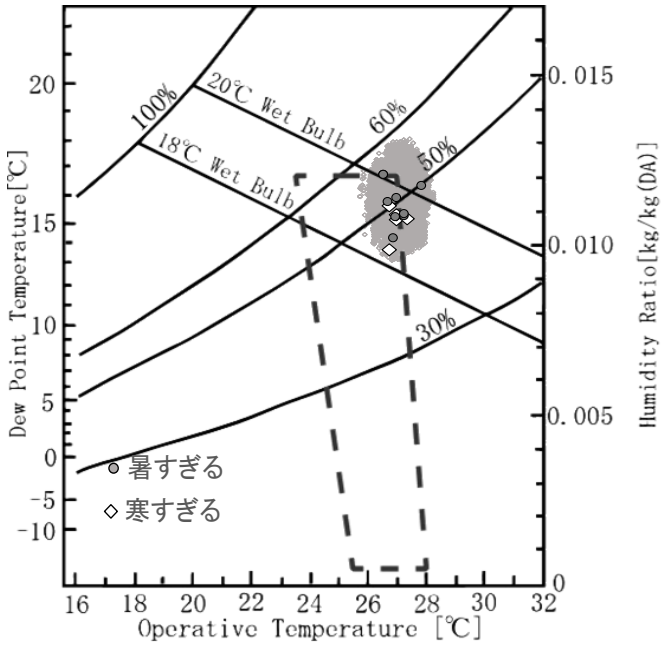


図 2.24　非受容申告時の温熱環境

d.　アンケートによる印象評価と非受容申告

図 2.25 にアンケート調査により得られた、受容度調査対象者の総合的な室内温熱環境の快適性と単位時間当たりの非受容申告数の関係を示す。快適性の印象と非受容申告数の間には緩やかな負の相関（r=−0.41）が確認され、最も多くの非受容を発した執務者（女性）の室内温熱環境の印象は「やや不快」であった。本実測対象の建物は放射空調とデシカントによる潜熱顕熱分離方式が採用されているが、一般的な空調システムによる、吹き出し口からのドラフトやペリメータによる不均一な温熱環境、男女の着衣差による至適温度の違いなどは、非受容発生の要因となると思われる。一方で、図 17 に示したように、熱的受容域の内外を問わずに非受容申告が発生している結果は、オフィスの温熱環境を幾ら精緻にコントロールしたところで、熱的不満の根本的な解消には至らないことも示唆している。

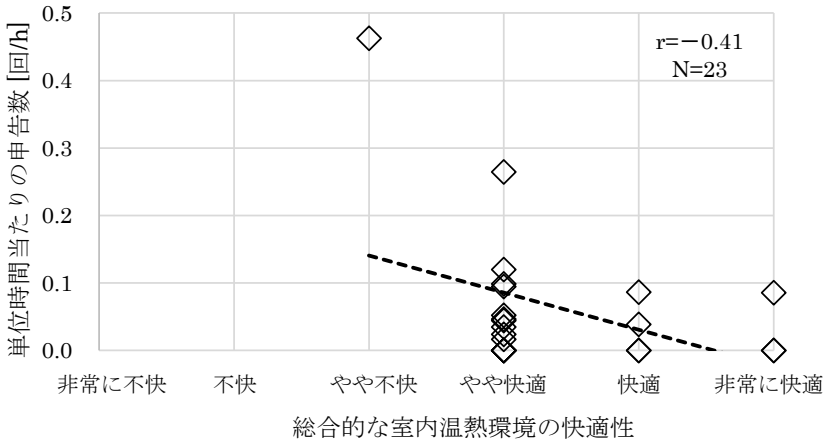


図 2.25　総合的な室内温熱環境の快適性と非受容申告

e.　継続着席時間と非受容申告

図 2.26 に非受容申告数を継続着席時間記録数で除した値を男女別に示す。1 日/1 人当たりの申告数は男性 0.17 回、女性 0.60 回と破線で示した女性の申告数が多い結果となった。申告の内訳を継続着席時間ごとに見てみると、「暑すぎる」申告は継続着席時間 5 分以下に頻発し、一方で「寒すぎる」申告は長時間着席時に発生しており、この傾向は特に女性で顕著であった。図 2.27 はアンケート調査で執務者に質問した「汗かきかどうか」の体質に着目した上で「暑すぎる」非受容申告数を継続着席時間記録数で除した値である。着席の直後に関しては、特に女性で「汗かき」と回答した執務者からの「暑すぎる」非受容申告が頻発していることを確認した。図 2.28 に非受容申告数を着席時間記録数で除した値を時刻ごとに示す。「暑すぎる」申告が集中する時刻は 8 時台と夕刻であり、朝の出社時や外回りからの帰社時のタイミングと一致していたことから、執務者は外部環境から入室して自席に着いた直後に「暑すぎる」不満を持つ機会が多いと推察される。着席直後に「暑すぎる」申告が集中している要因として、外部環境による温熱履歴の影響が考えられる。特に「汗かき」の女性に関しては、発汗による化粧崩れや汗染み、また臭気の発生等を嫌うため着席直後の「暑すぎる」申告が頻発したと思われるが、温熱履歴や発汗が原因と

なる不快の考察は、今後さらに深めていく必要がある。また、長時間着席時においては女性の「寒すぎる」申告が増加傾向にあることから、室内温熱環境に順応した後は、男女の着衣差より非受容申告が多く生まれるのだと考えられる。本建物ではパーソナル空調としてのパーソナル床吹出口が設置されているが、その満足度は図 2.21 に示すように高い傾向にあった。しかし図 2.29 に示すように、パーソナル床吹出口に満足している執務者においても非受容を発している結果は、我々の想像以上に忙しく働きまわる執務者からの非受容を取り除くためには、人間を動き回る行動的な存在として捉える新たな設計手法の構築が求められる。

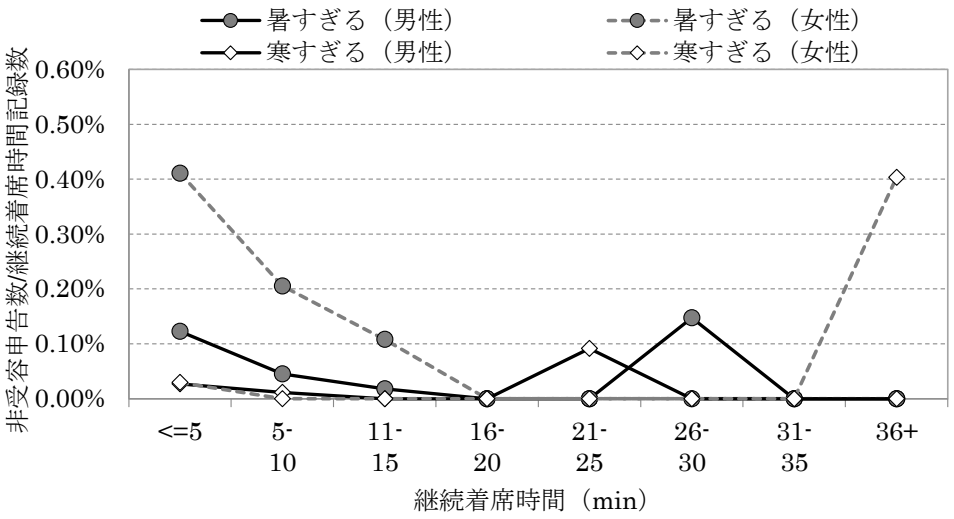


図 2.26　継続着席時間ごとの非受容発生率

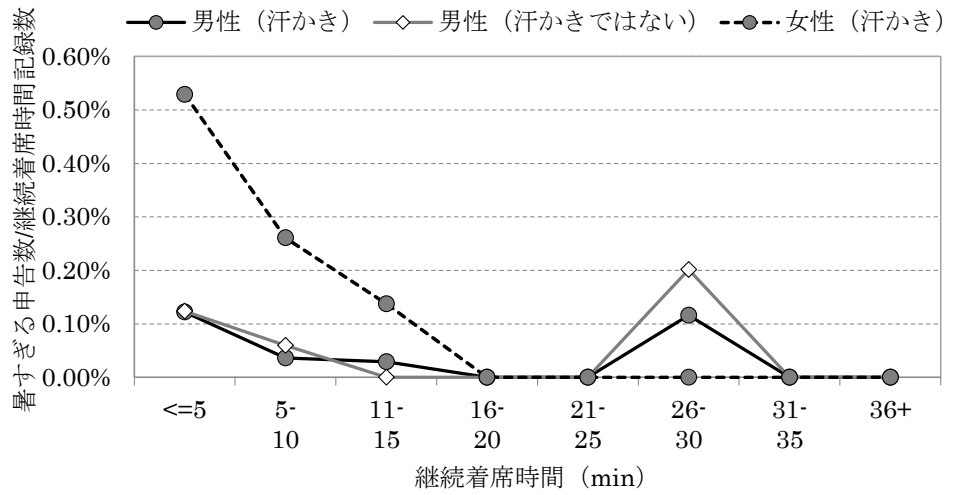


図 2.27　汗かき体質と「暑すぎる」申告

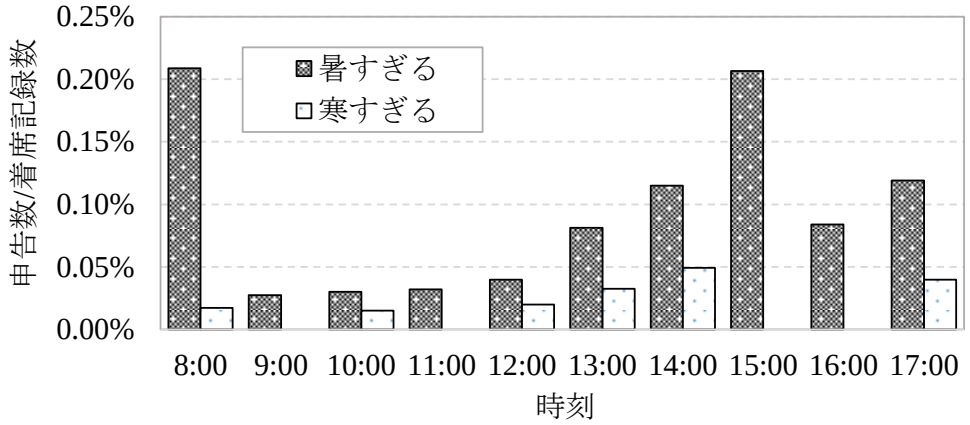


図 2.28　時刻ごとの非受容発生率

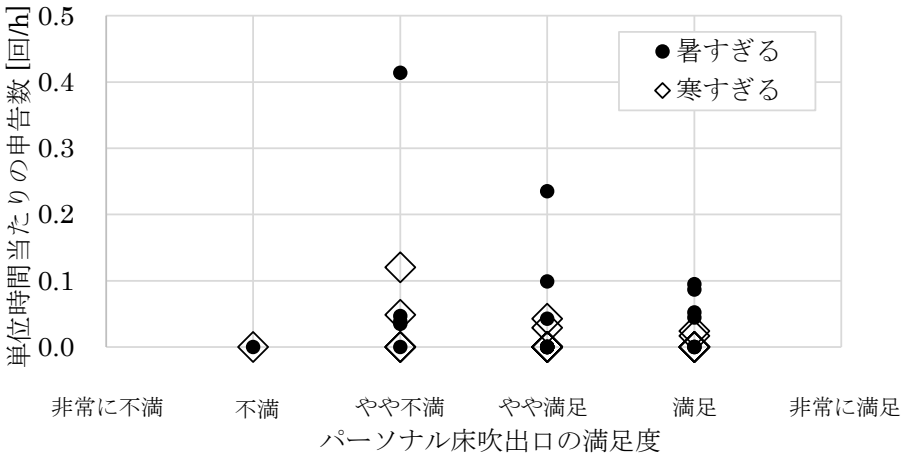


図 2.29　パーソナル床吹出口の満足度と非受容申告

f.　受容と非受容の非対称性

本章ではこれまで、非受容申告の調査結果について説明してきたが、非受容が顕在化しない環境を理解するためには、執務者に受容される環境についても調査しておく必要がある。そこで、個別申告型 2ch 型オストラコンの申告内容を「受け入れられる／受け入れられない」と改変し、2013 年の夏期に 2 週間、S ビルで働く 25 名の執務者を対象に着席検知装置を併用した調査を実施した。図 2.30 にオストラコンが捉えた心理申告と机上の作用温度の関係を示す。受容申告は机上の作用温度の発生頻度に従う形で正規分布となっているのに対し、非受容申告は作用温度が高い側に分布が崩れている。作用温度が高い側での非受容申告は室内環境側の問題であり、一方で受容申告と非受容申告のピークが一致していることから、室内作用温度の設定目標値付近における非受容申告は外部環境における温熱履歴の影響や代謝量、着衣量の相違等、人間の動特性に関わる問題であると推察される。

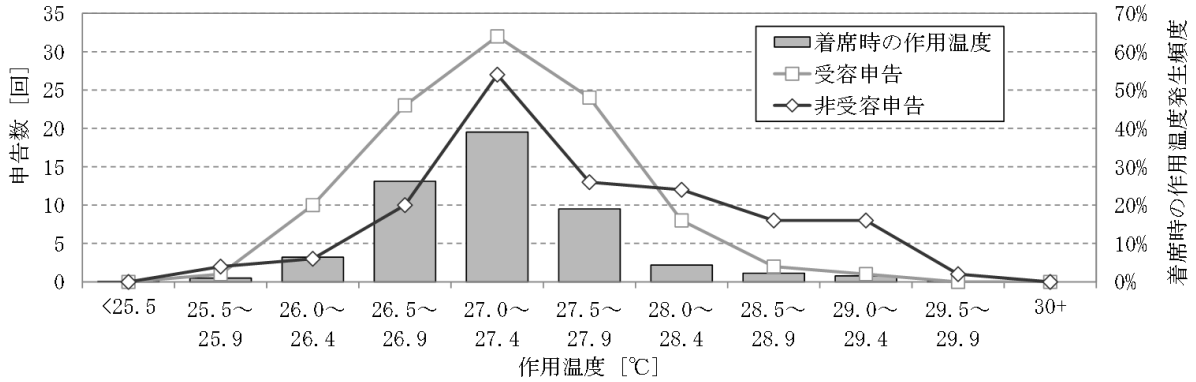


図 2.30　受容申告・非受容申告と机上の作用温度

5. 結論

居住者の机上に置いてクレームを簡単に記録できる装置「オストラコン（非受容申告装置）」を制作し、実際のオフィスで働く執務者が室内温熱環境に対して非受容と感じる瞬間を捉えることで、従来の物理環境調査とアンケート調査からでは抽出できない室内温熱環境に対する不満に関する調査を行った。

得られた知見を以下に示す。

① 建物毎、また調査日により室内温熱環境の印象に差が確認されたが、ほとんどの調査日で非受容申告が発生しており、多くの執務者が一日の温熱環境に何らかの不満を抱えている事実が示された。

② 各調査建物において室内温熱環境の設定目標値や執務形態等は異なることが推察されるが、マルチパッケージ方式が採用されている一般的な対流空調のオフィスにおける非受容率が高い傾向にあった。

③ 執務者はASHRAEの示す快適範囲内においても非受容を発していることが確認された。これは、温熱環境をいくら精密に維持しても室内環境に対する不満の根本的な解消には至らないことを示している。

④ 「暑すぎる」申告は朝の出社時や外回りからの帰社時に集中し、一方で「寒すぎる」申告は長時間の在籍時に発生していた。また、受容申告は机上の作用温度の発生頻度に従う形で正規分布となっているのに対し、非受容申告は作用温度が高い側に分布が崩れていた。

⑤ 非受容発生の背景には執務者の温熱履歴による問題と、室内環境側の2種類の要因が考えられ、外部環境を経た温熱履歴の齟齬を抱えている執務者は空調に瞬発力を求め、一方で環境に順応している執務者は精緻な環境調整を求めていると思われる。

⑥ 従来の空気調和では、人間を静的な存在として便宜的に仮定することで、複数の居住者の熱的快適性を包括的に満足させる均一かつ一定の環境提供を目指してきたが温熱環境に関わる非受容は根絶しない。我々の想像以上に忙しく働きまわる執務者からの非受容を取り除くためには、人間を動き回る行動的な存在として捉える新たな設計手法の構築が求められる。

[参考文献]

1) 小沢朝江，水沼淑子：日本居住史，吉川弘文館，2006
2) 黒川正流監訳：仕事の場の心理学－オフィスと工場の環境デザインと行動科学，西村書店，1992
3) Fanger, P.O: Thermal Comfort, Danish Technical Press, 1970
4) Nicol, J. F. and, Humphreys, M. A.: Thermal comfort as part of a self-regulating system, Building Research and Practice (J. CIB), 6(3), pp.191-197, 1973
5) Humphreys, M. A. and Nicol, J. F.: Understanding the adaptive approach to thermal comfort, ASHRAE Transactions, 104(1b), pp.991-1004, 1998
6) 中野淳太，田辺新一：半屋外環境の熱的快適性に関する考察－温熱環境適応研究の日本における温熱環境計画への応用とその課題－，日本建築学会環境系論文集，701, pp.597-606, 2014.7
7) Humphreys, M. A.: Thermal comfort temperature and the habits of hobbits, Standards for thermal comfort: Indoor air temperatures for the 21st century, E&FN Spon, London, pp.3-13, 1995
8) 村上周三：知的生産性生活の展望，特集ワークプレイスプロダクティビティ，空気調和・衛生工学，Vol. 81(1), pp.3-8, 2007.1
9) 田辺新一，西原直枝：室内温熱環境における知的生産性評価，特集ワークプレイスプロダクティビティ，空気調和・衛生工学，Vol. 81(1), pp.9-14, 2007.1
10) 興水ヒカル，栃原裕，東賢一，池田耕一：夏期における「クールビズ」実施オフィスの温熱環境およびその勤務者評価に関する調査，第 30 回人間－生活環境系シンポジウム報告書，pp.283-286，2006.12
11) 大熊涼子，石野久彌，中山哲士：夏期のオフィスにおける 28℃空調の熱的快適性に関する研究，日本建築学会環境系論文集，618, pp.31-36, 2007.8
12) 羽田正沖，西原直枝，中村俊輔，内田智志，田辺新一：夏季室温緩和設定オフィスにおける温熱環境実測および執務者アンケート調査による知的生産性に関する評価，日本建築学会環境系論文集，637, pp.389-396, 2009.3
13) 村上昌史，原田昌幸，久野覚，寺野真明：居住者の温熱要望申告を利用した空調制御方式に関する研究，日本建築学会環境系論文集，626, pp.535-542, 2008.4
14) 荻野司，酒井浩介，志田智，須永修通：在室者の調整行動を利用した省エネ空調制御システムに関する研究，日本建築学会環境系論文集，704, pp.871-881, 2014.10
15) 金子弘幸，大佛俊泰：レーザーセンサによる行動モニタリングデータを用いた時空間活動パターンの抽出，日本建築学会環境系論文集，712, pp.559-566, 2015.6
16) 鈴木育野: 環境選択型空調が生起する心理的効果に関する研究，工学院大学工学研究科建築学専攻修士論文梗概集，2012
17) M. Susan: A Greek Ostrakon from Babylon of the Early Third Century B.C. ZPE (1982) 51-70 (in English)
18) T. Nobe, S. Tanabe, S. Lee, Y. Tomioka: Investigation of Seat Occupancy Rate in Office, ROOMVENT 2002 Proceedings, September 2002, pp.289-292, Copenhagen, Denmark
19) 花田嘉代子：着衣量，温冷感シンポジウム「温熱環境測定法」，空気調和・衛生工学会空気調和設備委員会・温冷感小委員会，空気調和・衛生工学会，1992

第 3 章
オフィスにおける
執務者の要求温度に関する研究

1. はじめに

産業革命以降、それまでの労働者が自宅で行う小規模な商品生産から、単一の工場において多数の労働者が一連の生産工程を共同して働く方式へと、労働の概念が大きく変わった。また、産業革命に伴う経済成長は、欧米諸国における大規模法人の出現をもたらし、活動の計画や記録に多くの労働者を必要とすることから、19 世紀中頃にはオフィスビルの建設が始まった。このように、近代における労働環境は一人一人の住居の一室から、不特定多数の人間が共存する環境へと変化した。オフィスビル成立時の温熱環境調整手法は、 換気・通風とストーブ程度であったが、20 世紀初頭になると労働者の熱的快適性が生産性に与える影響に関心が集まり、米国のラーキンビル（1906 年）に代表されるようにオフィスには空調設備が導入され、窓は嵌め殺しへと変様した。空調が建築に装備されて以来、熱的快適性に関する活発な議論は今日まで至るが、その主たる目標は数的指標の開発であり、被験者実験から得られた温冷感申告値に生理学的知見を加味することで、現行の室内設計条件の物理量の確定に至っている。代表的な指標である、ISO7730 のカテゴリーB では不満足者率 10% 未満、 ASHRAE のスタンダード 55-2013 では個人差を考慮して不満足者率 20%未満を快適環境として推奨しているが、熱的快適性の基準がいずれも不満足者率で定義されている理由には「最大多数の最大幸福」の視点が存在しており、従来のオフィス等の空気調和は複数の居住者を普遍的集団として捉えることで、その包括的特性を満足させる均一かつ一定の環境提供を目指してきたが、温熱環境に対するクレーム（非受容）は根絶しない。

2. 第 3 章の研究目的

田辺らの調査 [1]によると、我が国における設計温度条件は、夏季については、空調設備技術の導入当初から現在に至るまで、約 26～27℃の条件が継続して用いられ、冬期については 1990 年代以降、一般的に 22℃の設計温度条件が用いられてきた。しかしながら第 2 章で示した執務者一人一人の非受容に着目した調査では、一般的な熱的受容域においても執務者からの非受容申告を確認した。また、温熱環境に対する非受容申告には、外部環境から入室直後の執務者が発す短期的な不満と、長時間の同一空間で働く執務者が発する長期的な不満が挙げられた。前者のように、外部環境における温熱的履歴を抱えている執務者は空調に過剰な環境変化を求め、一方で後者のように一定の熱環境下に長時間おかれている執務者は、人体と環境の熱収支が熱的中立状態と一致する条件を求めていると思われる。そこで本研究では、オフィスで働く執務者を対象とした着衣量に関するアンケート調査と代謝量の実測調査の結果から個々の執務者が熱的中立を実現するために必要とする要求温度の分布を算出したうえで、一般的な大部屋執務空間に対する温熱環境の設計数値目標と執務者からの熱的な不満が発生する背景について考察する。

3. 調査概要

本研究では 2011 年から 2016 年にかけて著者らが調査した 9 事例のオフィス 1590 人における着衣量に関するアンケート結果を纏めた。また，代謝量については 3 事例のオフィスにおける調査対象者 86 人に 3 次元加速度センサが内蔵されている小型の活動量計（計測間隔：10 秒）を在社中に携帯するようにお願いした。表 3.2 と表 3.3 に本調査で使用したアンケート用紙と活動量計をそれぞれ示す。

表 3.2　着衣量の調査に使用したアンケート

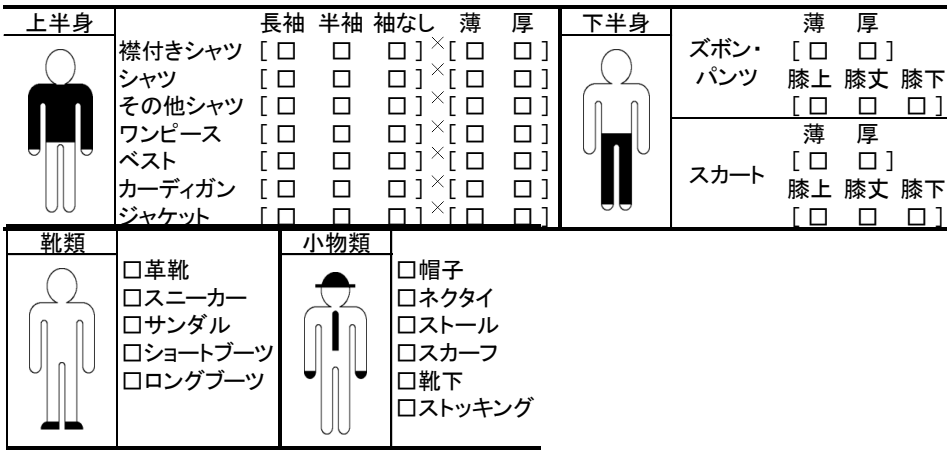


表 3.3　代謝量の調査に使用した活動量計

機種名	Active style Pro HJA-750C
製造会社	オムロンヘルスケア
大きさ	H52mm×W40mm×D12mm
重量	23g
装着部位	腰
測定軸	X, Y, Z 軸
測定項目	METs
外観	

4. 調査結果

4.1 着衣量

図 3.1 に着衣量の分布を男女にわけて示す。着衣量は、日本建築学会環境基準にあるサーマルマネキンにより求めた典型的な着衣量の目安 [2]を用いたが、文献に記載のない着衣の組み合わせに関しては、アンケートに記入された体の各部位に対応する衣服の単品 clo 値を合算し、式 (3-1) もしくは式（3-2）に代入して推定した [3]。

全期間に共通して、女性は男性と比較すると衣服の選択幅が広く、着衣量の分布が多峰性の形状であった。男性に関しては、夏期と秋期ではクールビズ（0.56clo）または長袖ワイシャツ 1 枚（0.68clo）付近に分布の二山がある形状であるのに対して、冬期ではカーディガンやジャケットの着用も散見され、衣服の選択幅が広がる傾向を確認した。

男性衣服の場合

$$I_{clo} = 0.708 \sum I_{clo,i} + 0.052 \qquad \cdots (3-1)$$

女性衣服の場合

$$I_{clo} = 0.828 \sum I_{clo,i} + 0.013 \qquad \cdots (3-2)$$

ここに,

I_{clo}: 着衣全体の予測 clo 値 [clo]

$I_{clo,i}$: 衣服単品の clo 値 [clo]

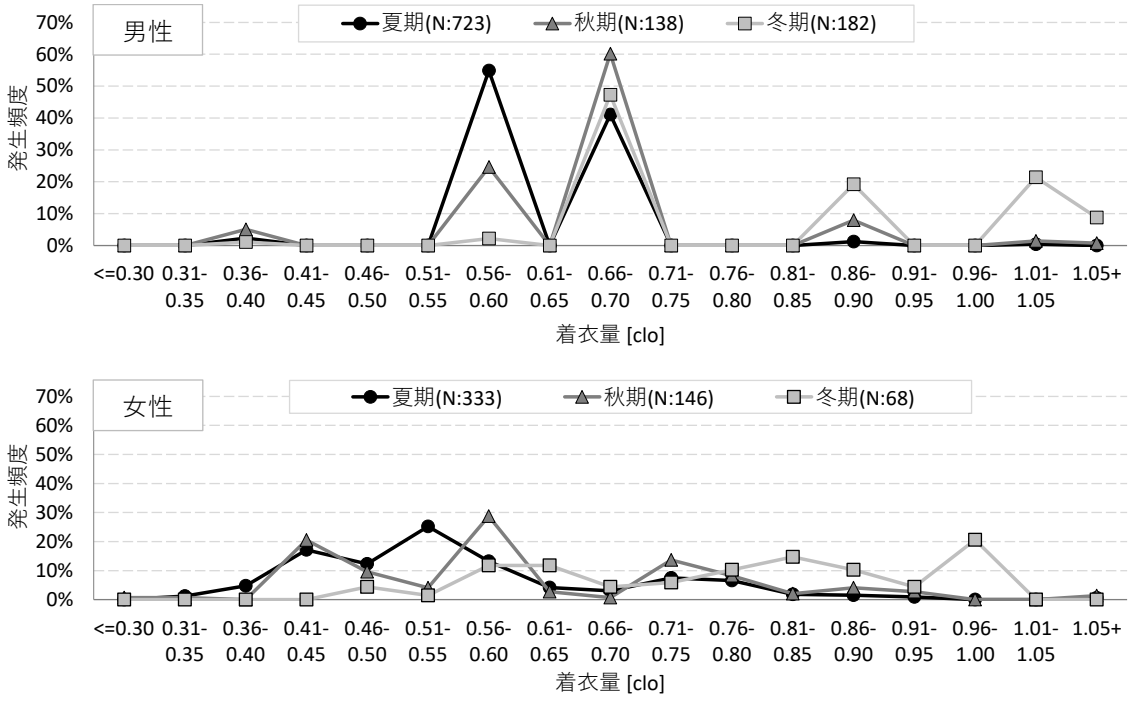


図 3.1　着衣量の分布に関する調査結果

4.2 代謝量

本調査で使用した活動量計は、主にスポーツ医学会で用いられる運動強度 METs を測定する装置である。運動強度 METs と一般的に建築で用いる代謝量 met はいずれも安静時代謝量 RMR に対する比であるが、METs が食事誘発性熱生産 DIT を含まない RMR 基準（基礎代謝量 BMR の 1.1 倍）であるのに対して、met は DIT を含む RMR 基準（BMR の 1.2 倍）である。また、PMV や SET*における体表面積当たりの安静時代謝量 RMRs の仮定は 58.2W/㎡であるが、本研究では平均的な日本人の値として 50.0W/㎡を使用した[4]。式（3-3）に代謝量 met と運動強度 METs の関係を示す。

$$\mathrm{met} = \mathrm{METs} * \frac{1.1}{1.2} * \frac{50.0}{58.2} \qquad \cdots (3-3)$$

図 3.2 に代謝量 met の発生頻度を示す。瞬間的な運動の変化に対する代謝量の時定数は不明な点が多いため、瞬時値から 5 時間移動平均までの分布を比較した。移動平均の期間が長い程、1.1met に集中する結果は、従来の熱的快適性の判断基準に平均的なオフィスで働く執務者の代謝量として与える 1.1met の条件と整合する。その一方で、移動平均の期間が短い程、分布の両端が増加する結果は、短期的にみると代謝量の高い執務者と低い執務者が同一空間に混在している事実を示しており、人間の温冷感の時定数を 15 分程度として考えても軽作業にあたる 2.0met 以上も 5%程出現している。

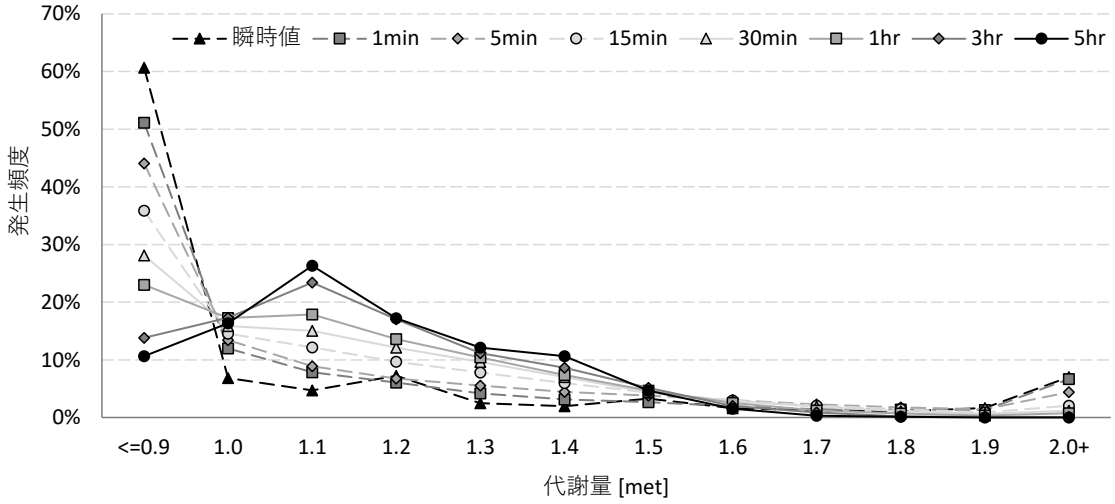


図 3.2　代謝量の分布に関する調査結果

4.3 要求温度

要求温度とは、在室者個々が熱的中立を実現するために室内環境に要求する環境の温度として定義する。本研究では、PMV の快適方程式に調査対象者の着衣量と代謝量の実測値を入力し、さらに風速 0.1m/s、相対湿度 50%としたうえで、PMV=0 となる作用温度（平均放射温度と空気温度が等しい値）を要求温度とした。図 3.3 から図 3.5 に示す要求温度の発生頻度は、前述の着衣量と代謝量の発生頻度に乗法定理を用いて確率論的に算出した。また、代謝量の発生頻度は 15min、1hr、5hr の 3 通りの移動平均について検討した。要求温度の分布は代謝量の分布の影響を受けるため低い側に歪む形状となり、また着衣の影響により、夏期、秋期、冬期の順に高い位置に分布している。女性は男性用のズボンと比較すると着衣量の低い七分丈のスラックスやスカートの着用が散見されるため、男性と比較すると要求温度が高い傾向にあるが、着衣の選択幅が広いため高温側はやや分布が広くなっている。

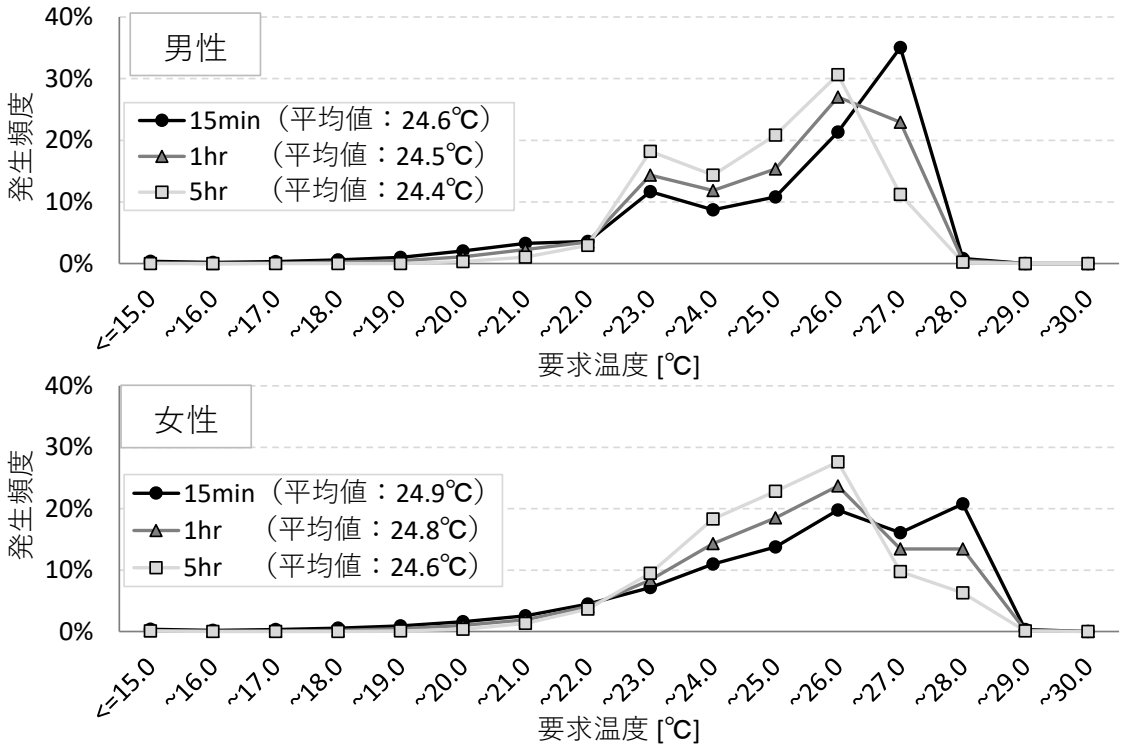


図 3.3　要求温度の分布（夏期）

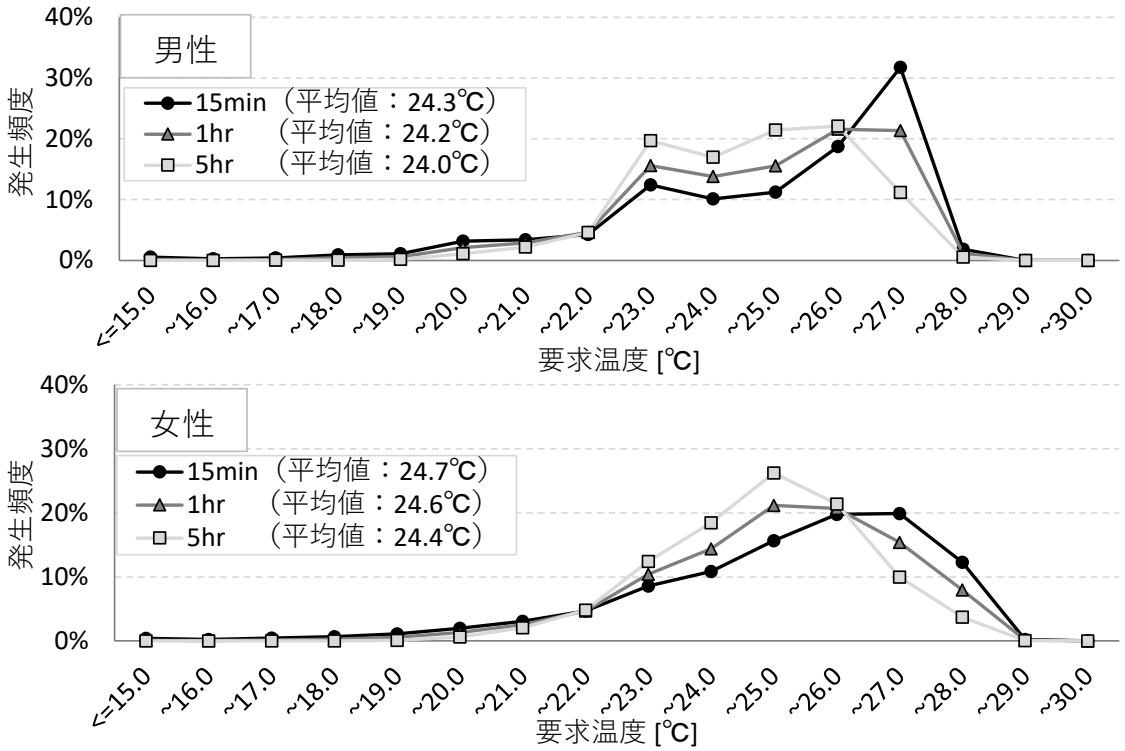


図 3.4　要求温度の分布（秋期）

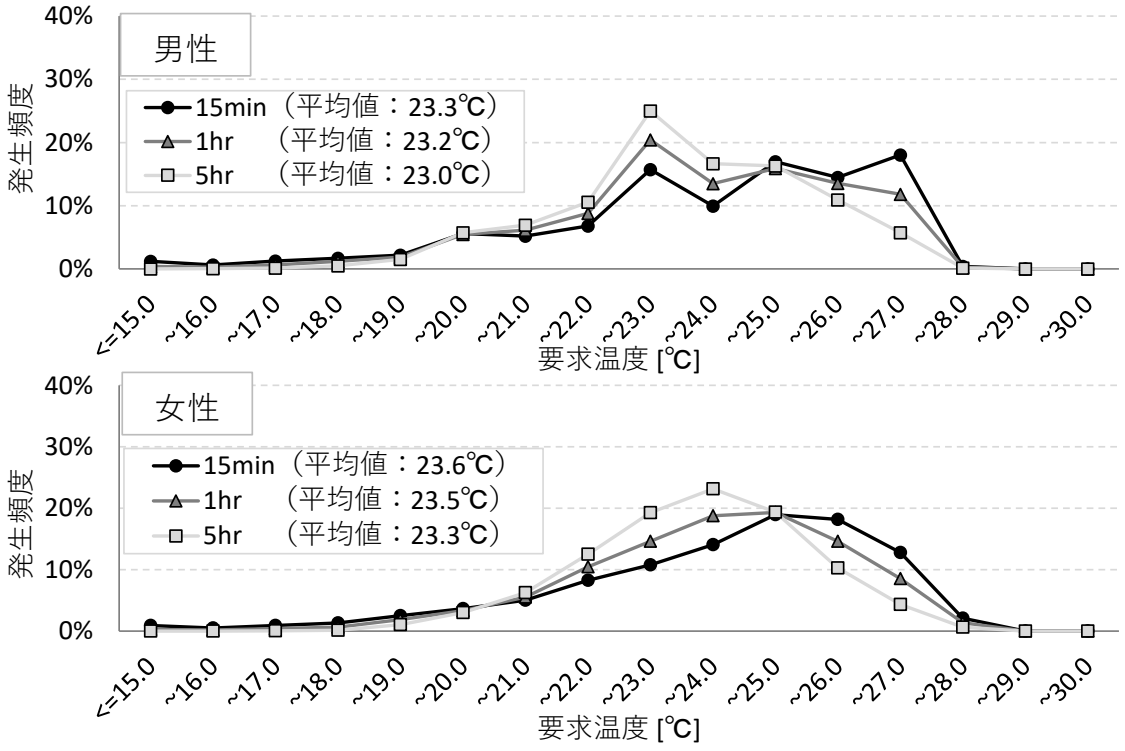


図 3.5　要求温度の分布（冬期）

5. 要求温度の非対称性に関する考察

図 3.6 に代表的なオフィスの例として、男女比を 7:3、代謝量の移動平均期間を 15min とした要求温度の分布を示す。従来のオフィス等における室内温熱環境の設計条件は、複数の居住者が熱的に中立と感じる物理環境が正規分布に従うと仮定することで、その包括的な特性を満足させる平均値を設計数値目標に掲げてきたと思われる。しかしながら、本研究で得られた要求温度の分布は低い側に歪む非対称の形状であり、特に夏期における要求温度の平均値は、一般的なオフィスにおける温度の設定値よりも大幅に低い値を示した。一方で、代表的な夏期要求温度の分布のピークが 26.9℃であることから、従来使用されてきた温度設定の目標値は、複数の居住者が熱的中立を実現するために要求する温度の平均値ではなく、実際は最頻値を設備技術者が経験的に選択してきたのだと思われる。要求温度の最頻値を設計数値目標にする弊害としては、例え空間的に均一かつ時間的に一定の温熱環境が実現できたとしても、居住者からの「暑すぎる」非受容は「寒すぎる」非受容よりも多く発生し、時には強いクレームに発展することが予想される。

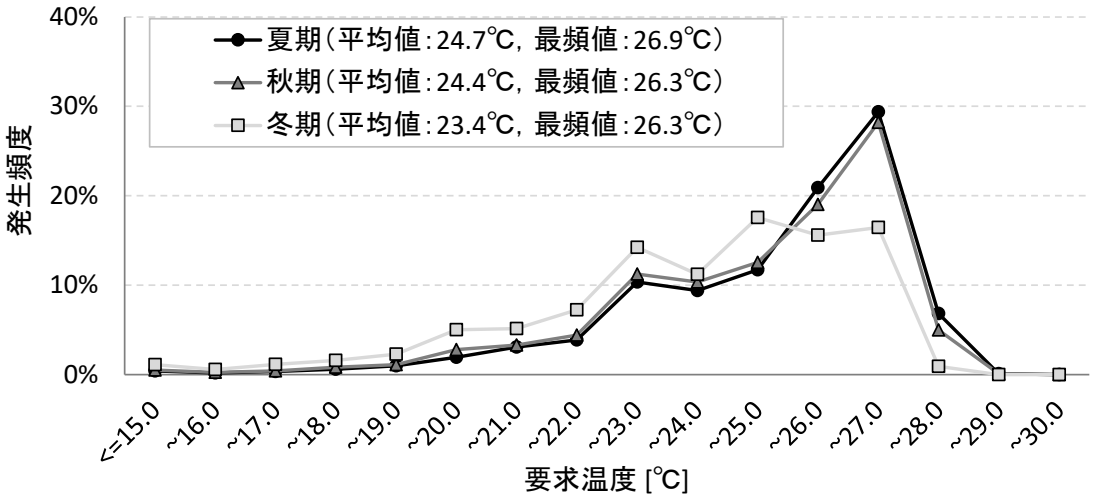


図 3.6　代表的な要求温度の分布（男女比 7:3）

6. 結論

本研究では、実際に働く執務者の着衣量と代謝量の調査から、ひとりひとりの在室者が熱的中立を実現する為に必要な要求温度の分布を明らかにした。また、要求温度分布の非対称性から温熱環境の設計数値目標と執務者からの熱的な不満が発生する背景について考察した。結果を以下に纏める。

① 女性は男性と比較すると着衣の選択幅が広く、また低い着衣量が好まれる傾向にあった。男女の着衣に差がある理由としては、女性は発汗による化粧崩れや汗染みを気にすることも一因であると思われ。また、男性のクールビズを超えた軽装は品位に欠けるためオフィスには相応しくないとの調査結果 [5)] もある。執務者一人一人の温冷感の齟齬を解決するためには、着衣の調整が最も簡単な手法ではあるが、現実のオフィスにおいては様々な要素のうちの一つに過ぎず、その重みも相対的に変化するため着衣に関して標準を規定するのは難しい。

② 代謝量については、移動平均期間を長くとる程、1.1met に分布が集まる結果となった。これは、一般的な椅座におけるオフィスワークの代謝量とされている値と整合するが、一方で、移動平均の期間が短いと分布の両端が増加する結果からは、短期的にみると代謝量の高い執務者と低い執務者が同一空間に混在している事実が示された。

③ 一般的なオフィスにおける要求温度の分布は低い側に歪む非対称の形状であり、特に夏期における平均値は一般的なオフィスにおける温度の設定値よりも大幅に低い 24.7℃であった。一方で、夏期要求温度の分布のピークが 26.9℃であることから、従来使用されてきた温度設定の目標値は、複数の執務者が熱的中立を実現するために要求する温度の平均値ではなく、実際は最頻値を設備技術者が経験的に選択してきたのだと思われる。要求温度の最頻値を設計数値目標にする弊害としては、例え空間的に均一かつ時間的に一定の温熱環境が実現できたとしても、居住者からの「暑すぎる」非受容は「寒すぎる」非受容よりも多く発生し、時には強いクレームに発展することが予想される。

[参考文献]

1) 田辺新一: 室温の歴史的変遷, 新設計条件適応空調システム検討小委員会成果報告書, 空気調和・衛生工学会, pp.11-18, 2016
2) 日本建築学会: 日本建築学会環境基準 AIJES-H0005-2015 サーマルマネキンを用いた室内温熱環境評価基準・同解説, 丸善出版株式会社, 2015
3) 空気調和・衛生工学会: SHASE-M 1003-2006 新版・快適な温熱環境のメカニズム 豊かな生活空間を目指して, 丸善株式会社, 2006
4) 永田明寛: パーソナルファクターとダイバーシティファクター ～人の個人差と使われ方の多様性～, 第 49 回建築設備技術会議 S2 ヒューマンファクターとスマートウェルネス ～これからのワークプレイスの在り方～, 建築設備技術者協会 日本能率協会, 2016
5) 田村照子, 李旭子: 日本におけるクールビズ推進上の課題を探る, 文部科学省服飾文化共同研究拠点事業報告書「低環境負荷型ファッション文化の創生に向けて」, pp.5-8, 2015

第 4 章
オフィスにおける
温熱環境の均斉度に関する研究

1. はじめに

放射空調或いは床吹出し空調に関して、国内外を問わず数多くの先行研究[1-5]が報告されており、実際に導入された建物で働く執務者の満足度が非常に高いという結果が示されている[6]。第 2 章で示したように、筆者らによる執務者の非受容に着目した調査においても放射空調の導入された建物の非受容申告率は低い傾向にあった。これは、温熱環境の空間的な不均一や時間的変動を伴う現実のオフィスにおいて、その度合が放射空調と対流空調では大きく異なるためと思われる。

2. 対流空調と放射空調の空間性状比較

2.1 測定の概要

放射空調と対流空調の空間性状の比較を目的とした測定を、環境試験室を用いて行った。測定条件を表 4.1 に、環境試験室の概要及び対流空調に採用した吹出し口の詳細を図 4.1 に示す。本測定では、放射空調と対流空調の両方式において、代表点において等しい空気温度（26 ℃）を形成可能な環境試験室を用いることで、温熱環境の微細な分布を測定した。対流空調では角パン型アネモ吹出し口に偏向板を取り付けることでオフィス空間の一般的な気流性状（ラインディフューザーを想定）を模した。放射空調では天井放射パネルに冷水を供給した上で、外気導入は床全面から行う方式とした。計測点の概要を図 4.2 に示す。対流空調、放射空調それぞれの環境下において、FL+1100mm における空気温度及び気流速度を 600mm 間隔で 90 点測定した。気流速度の測定には無指向性プローブを有する多点型熱線式風速計を取り付けた架台を移動しながら 1 回の測定につき 8 ヶ所同時に 5 秒の記録間隔で 1 分間の連続測定を実施した。

表 4.1 測定条件

	対流空調	放射空調
空調方式	天井吹出し （角パン型アネモ）	天井放射パネル 全面床吹出し
設定温度	26 ℃	
風量	1000 CMH	230 CMH
測定点	90 点	
計測機器	多点風速計（KANOMAX6242 MODEL1550）	

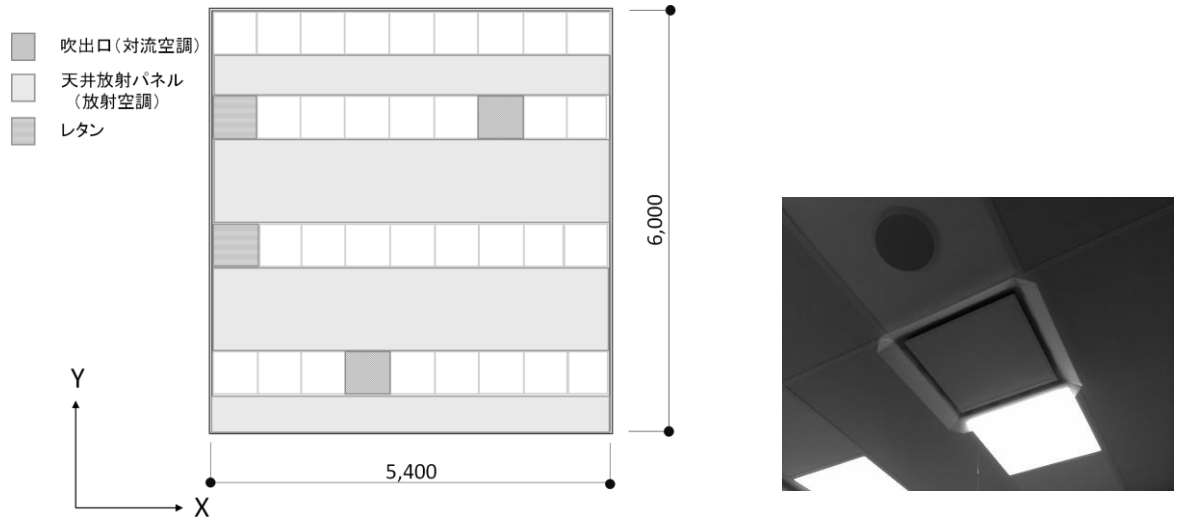


図 4.1 環境試験室の概要及び天井吹出し口の写真

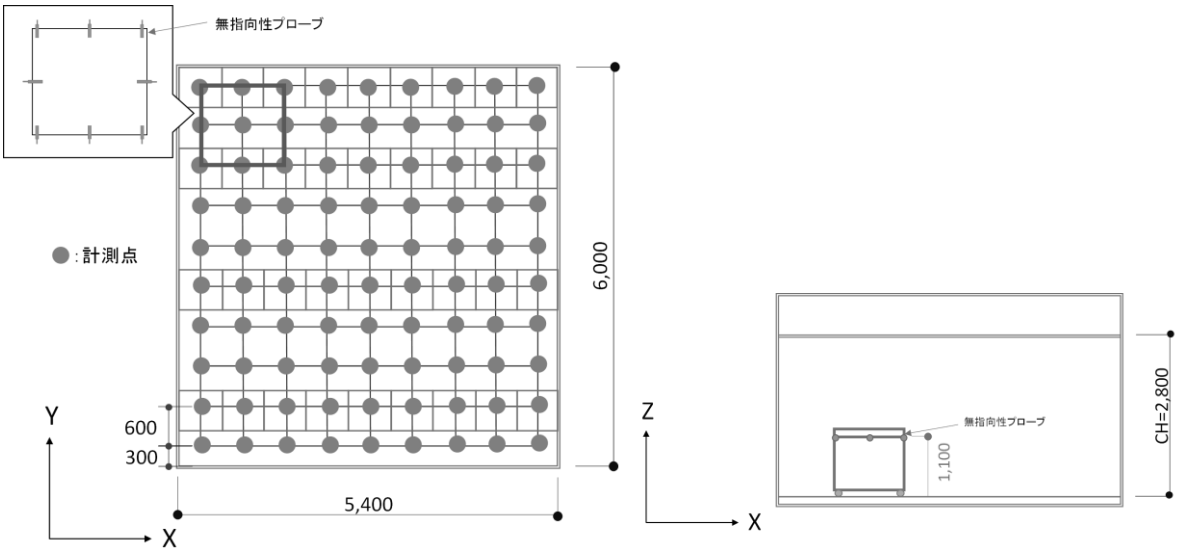


図 4.2 計測点の概要

2.2 測定結果

1)　平面風速分布

図 4.3 に放射空調と対流空調の両方式における環境試験室の平面風速分布（スカラー風速の平均値）を、表 4.2 に両空調方式における平面風速分布の最大値、最小値、平均値をそれぞれ示す。対流空調環境の平均風速は 0.14m/s であり、また最大値と最小値の間に顕著な差異を確認した。

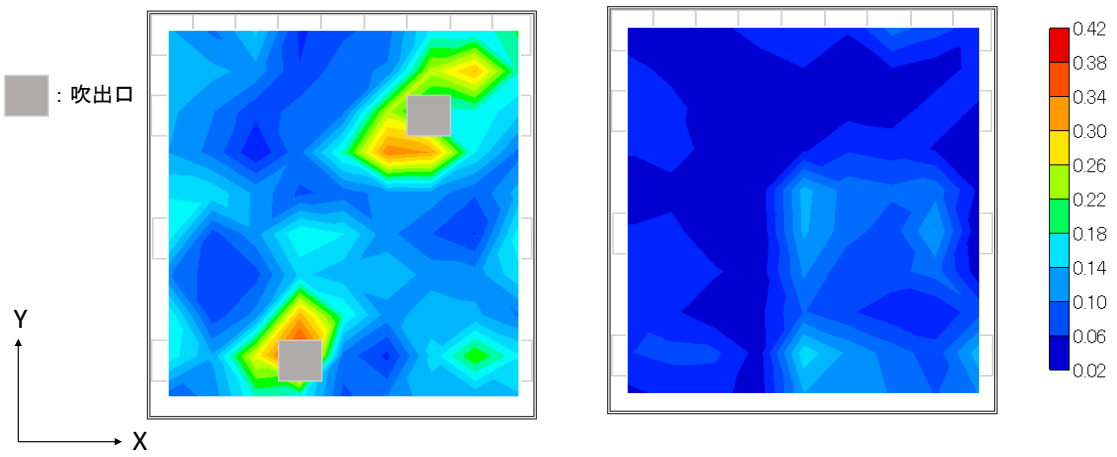


図 4.3 平面風速分布（左：対流空調、右：放射空調）

表 4.2 風速の測定結果

	対流空調	放射空調
最大値［m/s］	0.40	0.15
最小値［m/s］	0.04	0.02
平均値［m/s］	0.14	0.06

2)　等価温度

図 4.4 に乾球温度の設定目標値と実測値の乖離の発生頻度を、図 4.5 に等価温度（式 4-1）の設定目標値と実測値の乖離の発生頻度をそれぞれ示す。本実験において、気流環境を含めて評価する等価温度の設定目標値は定めてなく、また乾球温度においても設定目標値と実測値の間には多少の乖離が発生するため、各測定点の実測値の平均値を設定目標値と仮定した。乾球温度と等価温度の分布の形には顕著な差があり、従来の乾球温度を主とした評価では温熱環境の分布を正しく理解するのは難しいと思われる。また、放射空調の等価温度分布は、裾の幅が狭く頂点が高く形作られることから、対流空調と比べてムラのない室内温熱環境を創出していることを確認した。

$$t_{eq} = 0.55 \cdot t_a \cdot 0.45 \cdot t_r + \frac{0.24 - 0.75\sqrt{V}}{1 + I_{cl}}(36.5 - t_a) \quad \ldots (4-1)$$

ここに,

t_{eq}: Madsen の等価温度 [°C]

t_o ：作用温度 [°C]

t_r ：平均放射温度 [°C]

I_{cl} ：着衣量 [°C]

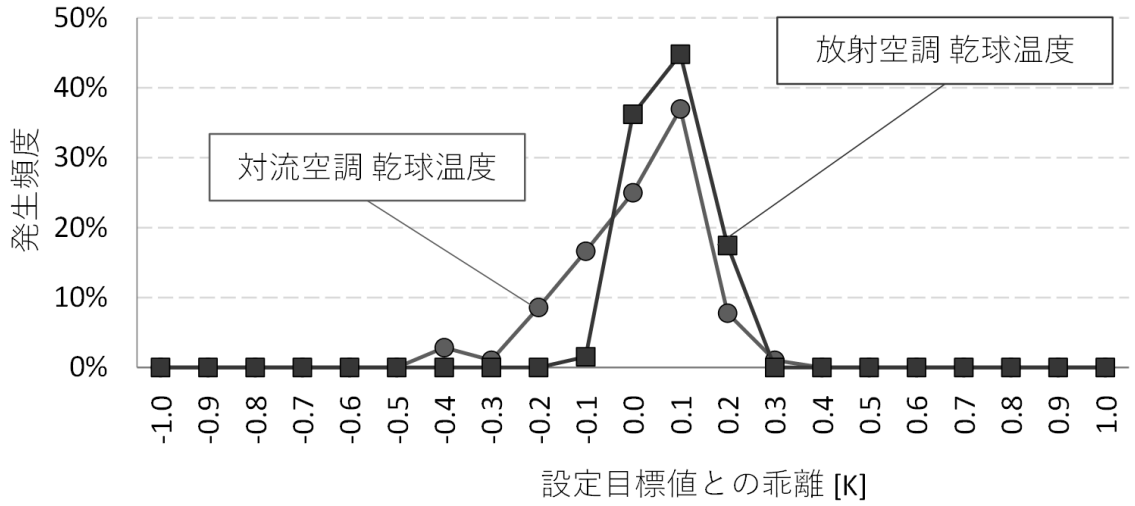


図 4.4 設定目標値との乖離（乾球温度）

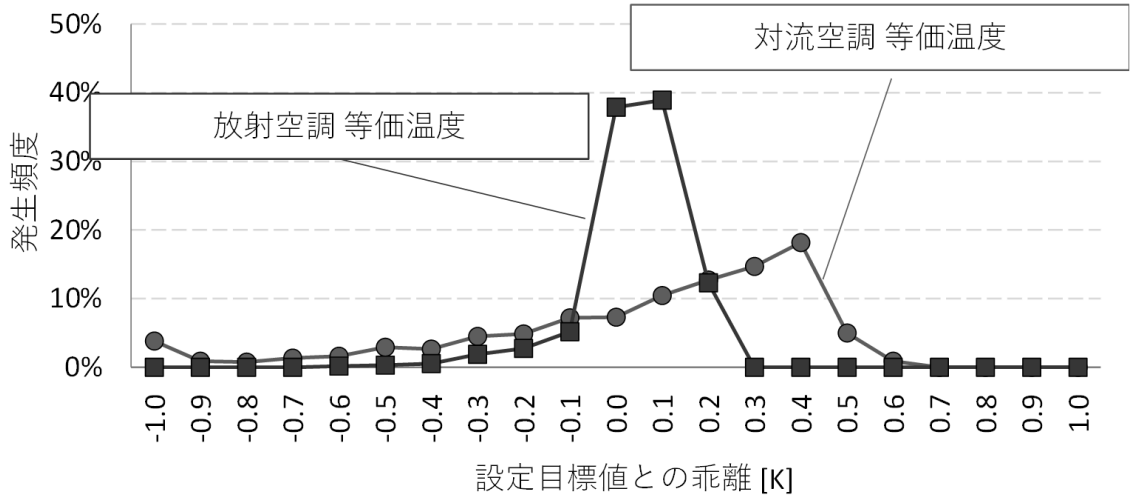


図 4.5 設定目標値との乖離（等価温度）

3. 第 4 章の研究目的

空調方式による室内環境の質の違いが存在することは推測されていても、それを実際に比較・評価した事例は見当たらない。温熱環境の空間的な不均一や時間的変動を伴う現実のオフィスにおいては、その度合いを示す手法が確立されていないためか、空調方式毎の室内温熱環境の快適性は執務者の印象から定性的に評価されている。

現実の建物における気流分布を含めた温熱環境の品質に関する研究は鹿島らの報告 [7]があるが、1983 年の調査を纏めたものであるため、対流空調に対する結果報告となっている。また、温熱環境の空間分布と時間変動を同時に評価した事例は見当たらない。

そこで、本研究では各種空調方式が導入された 4 か所の夏期オフィスにおける、机上の温熱環境を平面的に計測することで、温熱環境の偏在及び経時変化を明らかにし、マルチパッケージ型空調システム、躯体蓄熱放射空調、及び全面床吹出し空調の温熱受容性を考察する。

4. 実測調査方法

4.1 調査建物概要

1) N ビル（表 4.3）

N ビルにおいては逆梁工法によるスラブ表し天井内に冷温水配管を埋設することで躯体蓄熱放射空調を行う TABS (Thermally Activated Building System)が採用されている。TABS は本来、深夜電力を利用して空調開始前に躯体を冷やす方式であるが、本建物は竣工初年度の運用として新しい環境に対する居住者の不慣れに端を発する非受容を軽減しつつ、可能な限り躯体蓄熱を活用する方策として 18 ℃ の冷水を朝 9 時から夕方 18 時にかけて送水する運用を行っている。外気供給に関してはデシカント空調機で調湿した空気を OA フロアカーペット全面から染み出すシステムとしている。

2) T ビル（表 4.4）

T ビルにおいては、デシカント空調機により温湿度調整された空気を二重床内に吹き出し加圧することで、空調空気を OA フロアカーペット全面から染み出す、全面床吹出し空調が採用されている。

3) K ビル（表 4.5）

K ビルには一般的な天井隠蔽型のマルチパッケージ型空調機が導入されており、執務者は室中央に設置されたリモコンを操作することで設定温度と風量・風向の変更が可能である。また、吹出し口の形状は角型アネモである。

4) A ビル（表 4.6）

K ビルと同様に天井隠蔽型のマルチパッケージ型空調機（吹出し口形状：角型アネモ）が導入されているが、A ビルにおいては風量と風向のみ設定変更が可能であり、設定温度に関する操作は制限されている。

表 4.3 N ビル

建物名	N ビル
所在地	東京都渋谷区
敷地面積	1,556.80m²
延床面積	8,652.86 m²
階数	地下 2 階、地上 8 階
構造	SRC
空調方式	天井放射空調 全面床吹出し空調
竣工	2015 年
測定フロア	4 階
測定期間	2015 年 8 月 26 日~8 月 27 日

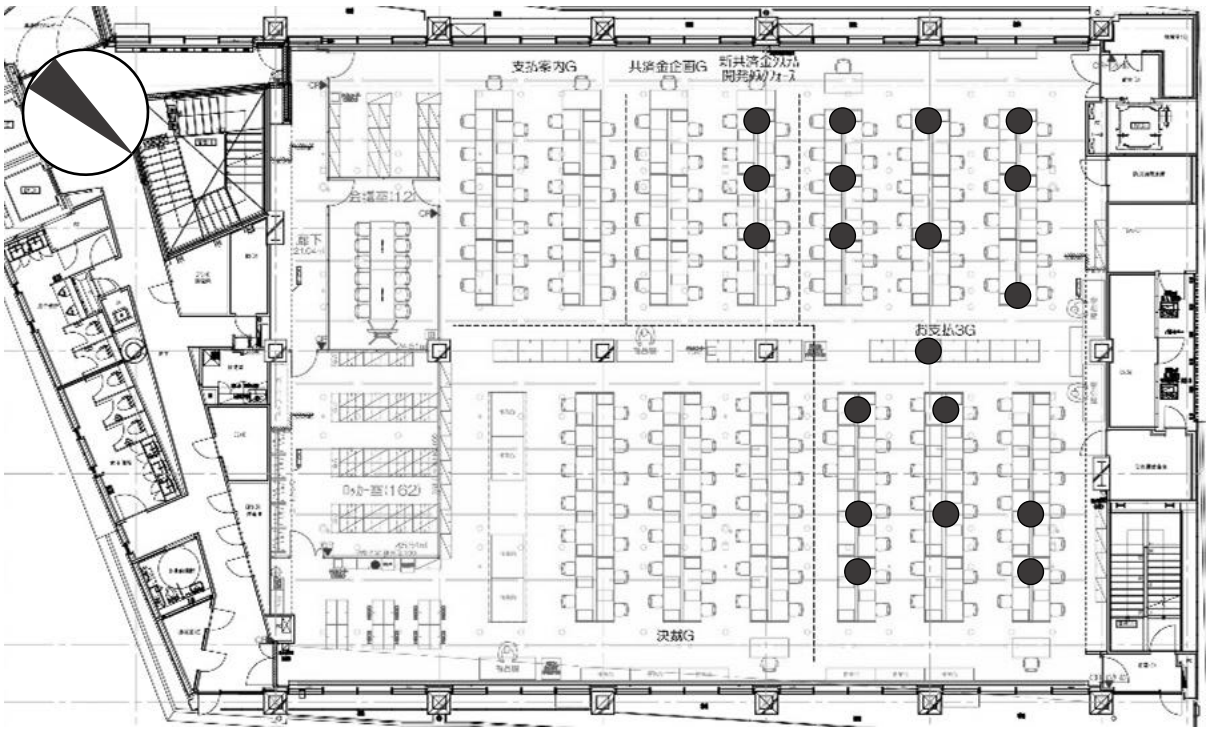


表 4.4 T ビル

建物名	T ビル
所在地	東京都立川市
敷地面積	15,218.23m²
延床面積	8,519.47m²
階数	地下 1 階、地上 5 階
構造	S
空調方式	全面床吹出し空調
竣工	2014 年
測定フロア	3 階
測定期間	2016 年 7 月 25 日~7 月 28 日

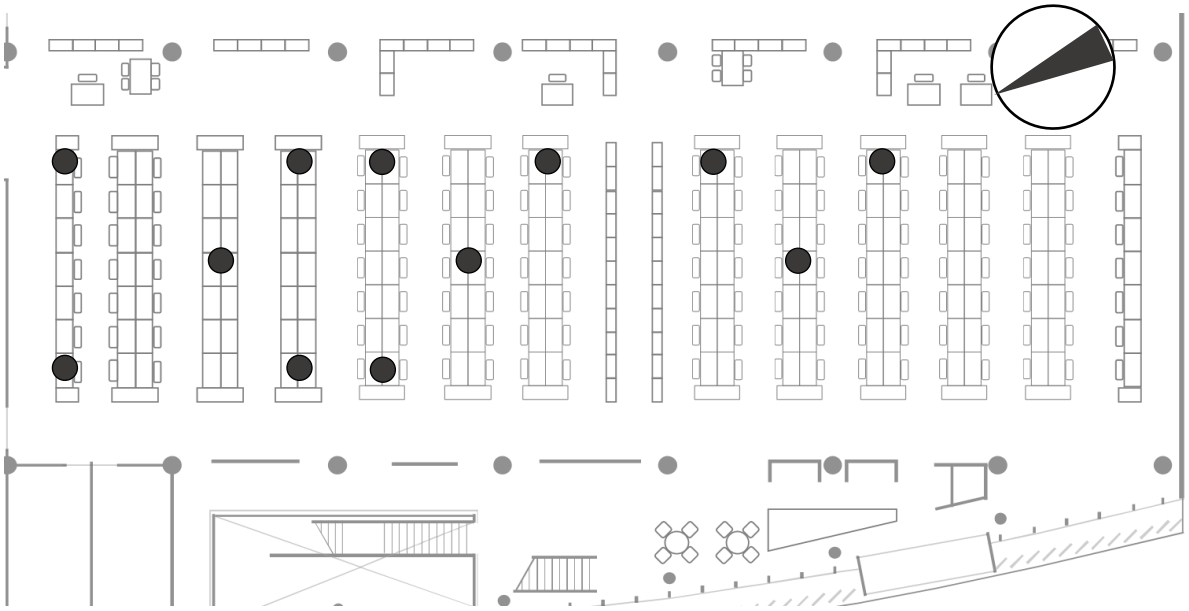


表 4.5 K ビル

建物名	K ビル
所在地	東京都千代田区
敷地面積	1,347.20m²
延床面積	9,638.88m²
階数	地下 1 階、地上 8 階
構造	RC
空調方式	マルチパッケージ型空調機 （天井隠蔽型）
竣工	2012 年
測定フロア	6 階
測定期間	2016 年 7 月 20 日~7 月 22 日

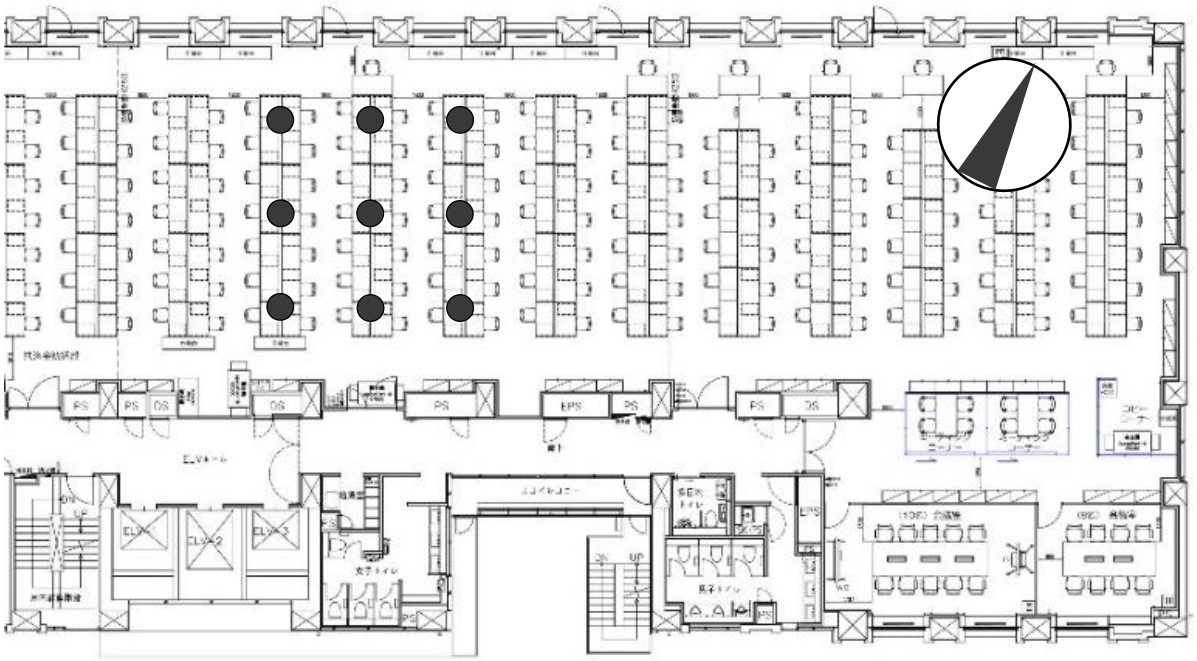
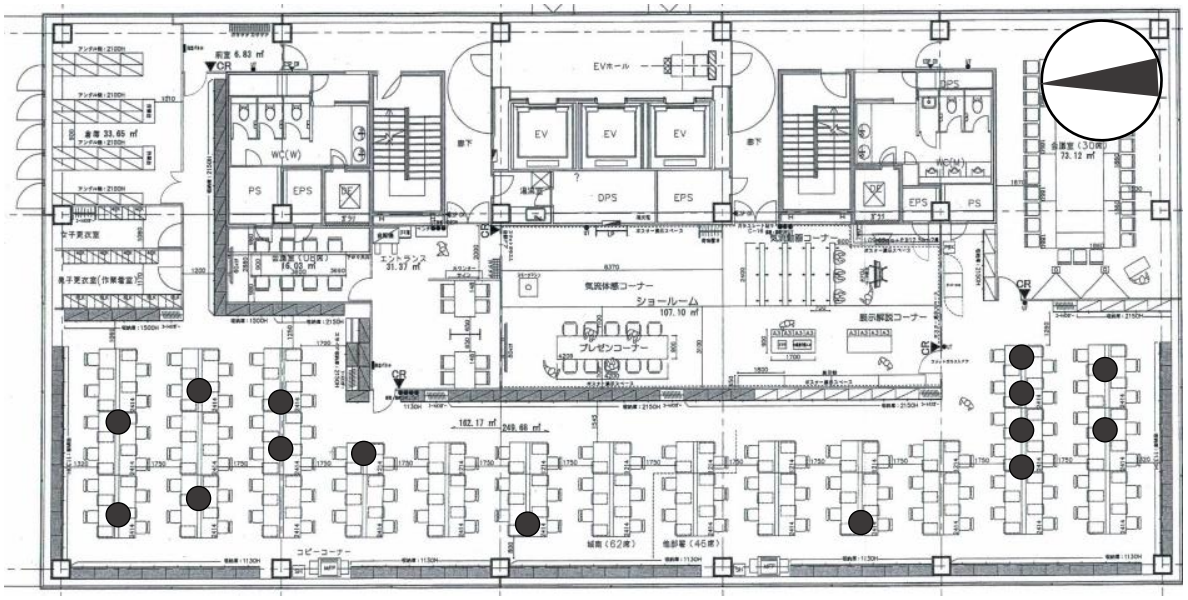


表 4.6 A ビル

建物名	A ビル
所在地	東京都大田区
敷地面積	2,053.65m^2
延床面積	11,527.38m^2
階数	地下 1 階、地上 11 階
構造	SRC
空調方式	マルチパッケージ型空調機 （天井隠蔽型）
竣工	1994 年
測定フロア	6 階
測定期間	2015 年 7 月 23 日~7 月 24 日



4.2 調査方法

本調査では表 4.7 に示す卓上型温熱環境記録装置を実際に働く執務者の机上に設置することで、室内温熱環境の平面的な分布を測定した。従来の温熱環境の測定では、乾球温度、グローブ温度、相対湿度、気流速度を同時に記録するために複数のセンサ及びデータロガーをパッケージ化した装置が使われるが、執務空間においては粗放な見た目で大きな装置の使用は執務者の業務の妨げになるため複数個所の設置は困難であった。そこで本研究では、記録装置の小型化と共に姿容を N ビル及び K ビルのマスコットキャラクターにすることで、温熱環境の測定に対する居住者からの協力を得られるように工夫を重ねた。また、従来の室内気流環境の測定に用いる熱線式風速計はセンサに通電するための電源を必要とするが、本装置は頭頂部に備えた熱線式エアフロセンサを電池で駆動させるため、設置の自由度が非常に高い。温度・湿度の測定は両耳部に取り付けたボタン電池型の温湿度ロガーで測定し、放射環境に関しては装置の上部に取り付けた直径 40mm のグローブ球を備えた温度センサにより測定する。また、データロガー本体と電池に関しては記録装置の胴体に格納している。

表 4.3 から表 4.6 に各オフィスにおける温熱環境を測定した執務者の座席位置を平面図上に示す。機器の設置には PC 排熱等の影響を受けないように注意した。

表 4.7 卓上型温熱環境記録装置[注 1)]

外観	
設置場所	個人用デスク
測定間隔	乾球温度：5min グローブ温度：5min 相対湿度：5min 風速：1min

4.3 調査結果

4.3.1 温熱環境分布

図 4.6 に一般的な執務時間（9:00～18:00）に卓上型温熱環境記録装置が捕捉した温熱環境を ASHRAE Standard 55-2013 Graphic Comfort Zone Method 上に示す。破線で示す領域は着衣量 0.5clo の条件における SET*基準の熱的受容域である。放射空調の N ビルと全面床吹出し空調の T ビルと比較して、マルチパッケージ型空調機の K ビルと A ビルでは温熱環境が広く分布している結果となった。特に T ビルにおいて測定された温熱環境は全て熱的受容域内にあり、N ビルにおいても湿度を低く制御することで、熱的受容域内に満足させることが可能であると思われる。

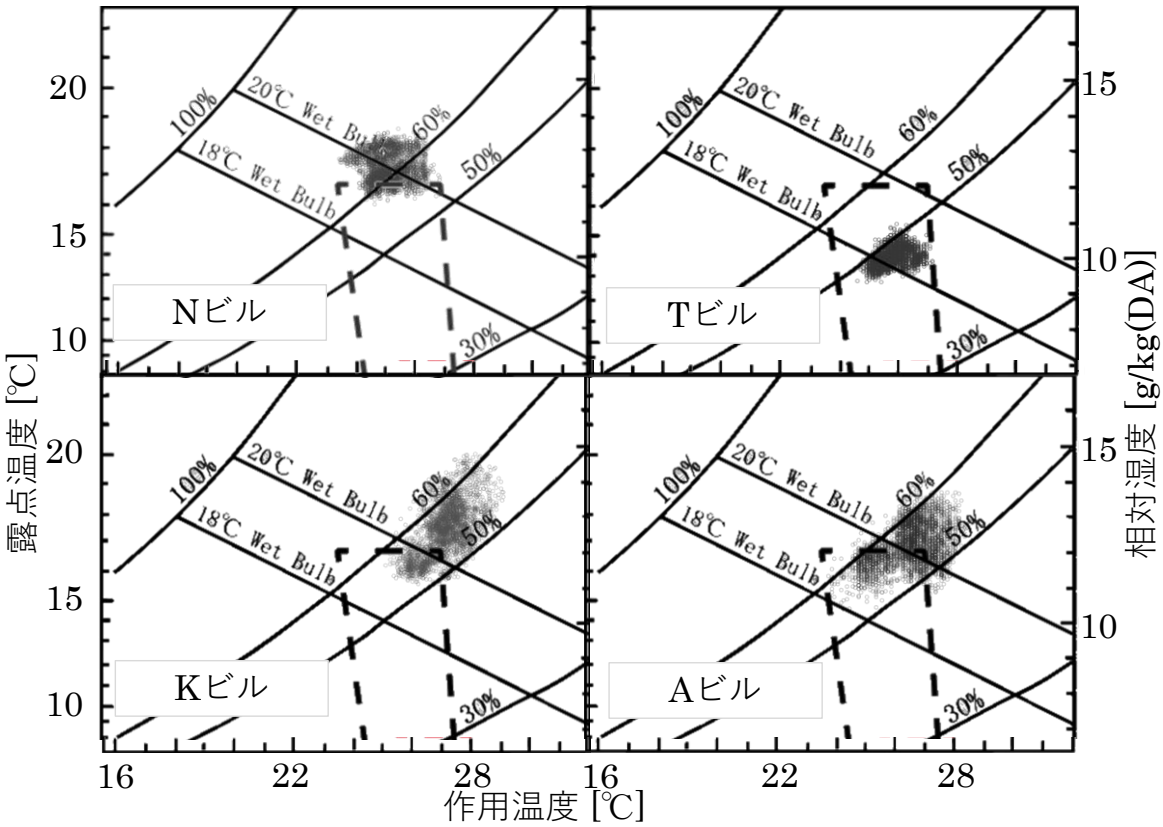


図 4.6 温熱環境の分布

4.3.2 気流速度

図 4.7 に各オフィスにおける風速の分布を箱ひげ図で示す。統計学的な外れ値を考慮して、ひげの長さは四分位範囲の 1.5 倍以内とした。執務時間中の各測定点全体を含む平均風速では、それぞれのオフィスにおいて 0.10m/s 程度と静穏な環境が実現できており、空調システムによる顕著な特徴は確認できなかった。一方で、風速の分布に着目すると、対流空調のオフィスでは箱ひげ図の四分位範囲が広く、特に A ビルでは 0.06m/s から 0.15m/s の間に広く風速が分布しており、さらに最大値（0.42m/s）と最小値（0.06m/s）の間に顕著な差異を確認した。対照的に、放射空調の N ビルと全面床吹出し空調の T ビルでは 0.10m/s 以下に風速が集中していることに加えて、最大値と最小値の差が小さいことを確認した。

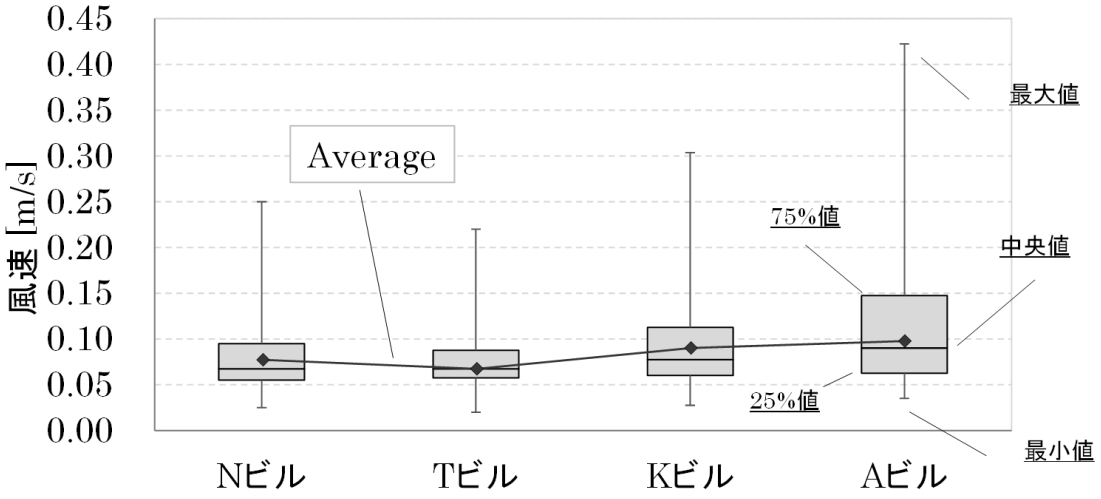


図 4.7 風速分布の箱ひげ図

Fanger らは、気流の乱流強度が熱的快適性に与える影響を検討しており、ドラフト感に関する不満足者率を式（4-2）に示す DR として提案している [8]。図 4.8 に各測定点における風速の 1 時間平均値に対する DR の関係をバブルチャートで示す。バブルの大きさは度数を表しており、放射空調、或いは全面床吹出し空調のオフィスと比較して対流空調のオフィスでは局所的に風速が高く、また気流の乱れの影響から DR が高くなる時間が存在することを確認した。

$$\mathrm{DR} = (34 - t_a)(V - 0.05)^{0.62}(0.37 \cdot T_u + 3.14) \quad \cdots (4-2)$$

$$T_u = 100 \cdot \frac{V_{sd}}{V} \quad \cdots (4-3)$$

ここに,

DR: ドラフトに関する不満足者率 [%]

T_u: 乱流強度 [%]

t_a: 空気温度 [°C]

V: 風速 [m/s]

V_{sd}: 風速の標準偏差 [m/s]

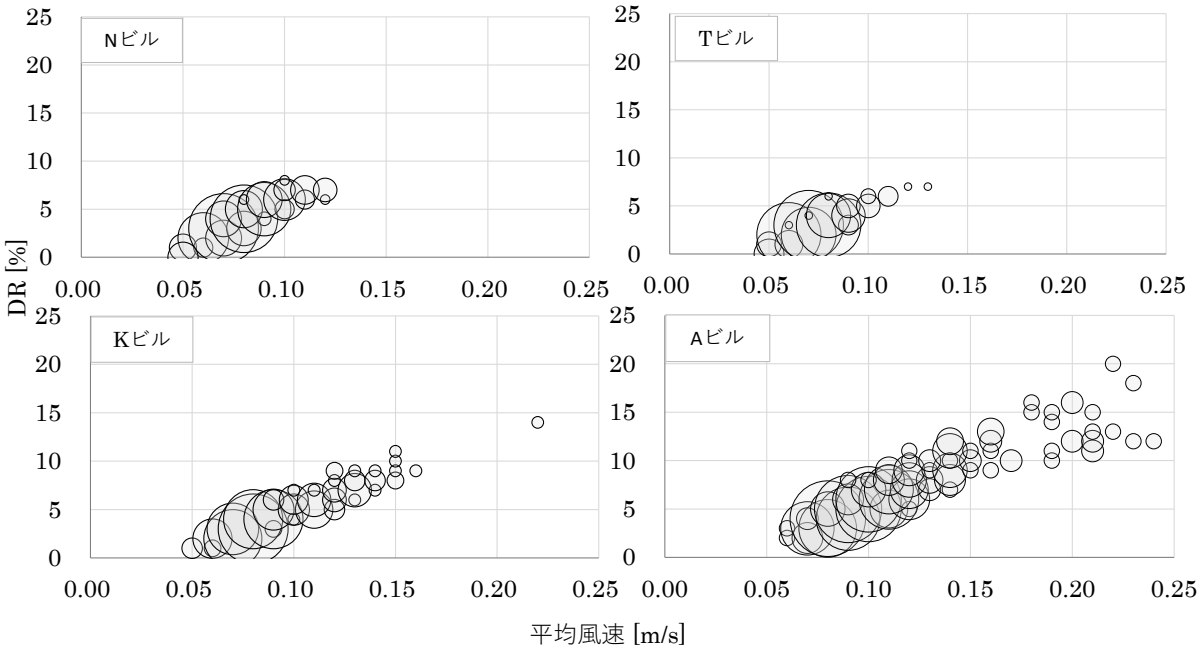


図 4.8 風速の 1 時間平均値に対する DR の関係

4.3.3 等価温度

本研究では、気流環境を含めた総合的な温熱環境の分布と変動を捉えるために、Madsen の等価温度 [9]による評価を行った。Madsen の等価温度は、実際の環境下で人間の顕熱損失と等量の熱損失を生じる均一環境の温度であり、式（4-1）で定義されている。ここで均一環境とは、空気温度と平均放射温度が等しく、静穏気流、上下温度分布のない環境を意味する。等価温度では人間の潜熱損失を扱えないため、湿度の影響を評価することはできないが、本調査では温熱環境の均斉度に特に作用する気流速度の影響を直接的に温度指標として表せる等価温度を用いて評価した。

図 4.9 に代表日 2 日間における、平面的な等価温度の平均値の経時変化を示す。Madsen の等価温度は風速が 0.10m/s より大きい環境で成立する式であるため、0.10m/s 以下の場合は静穏気流環境下と仮定して、式（4-4）の作用温度を用いて評価した。また、着衣量は夏期クールビズを想定した 0.5clo とした。T ビル、K ビル、A ビルにおける等価温度は、早朝に空調が稼働することで下降し、夜間は空調停止に伴い上昇しているが、執務時間中の挙動は全面床吹出し空調の T ビルが非常に安定しているのに対して、マルチパッケージ型空調機の K ビルと A ビルは上下に変動していることがわかる。特に K ビルにおいては空調の設定温度の変更が自由に行えるため、等価温度の上下変動の振幅が顕著に大きい結果となった。対照的に、躯体蓄熱放射空調の N ビルにおける等価温度は、執務時間外の夜間から下降を始め、早朝に最も低い値を記録した後に正午過ぎにかけて上昇する動きとなっている。これは、執務時間外の冷水供給停止後であっても、執務時間中に蓄熱された躯体が人体・照明・機器負荷の少ない室内に放熱を続けるからであり、一方で早朝から正午過ぎにかけた温度上昇後に安定状態に転ずるのは、冷水の供給開始後であっても躯体蓄熱を介する放射空調は室温変化の時定数が大きいためと思われる。

$$t_O = \frac{(t_a + t_r)}{2} \qquad \cdots (4-4)$$

ここに,

t_o ：作用温度 [°C]

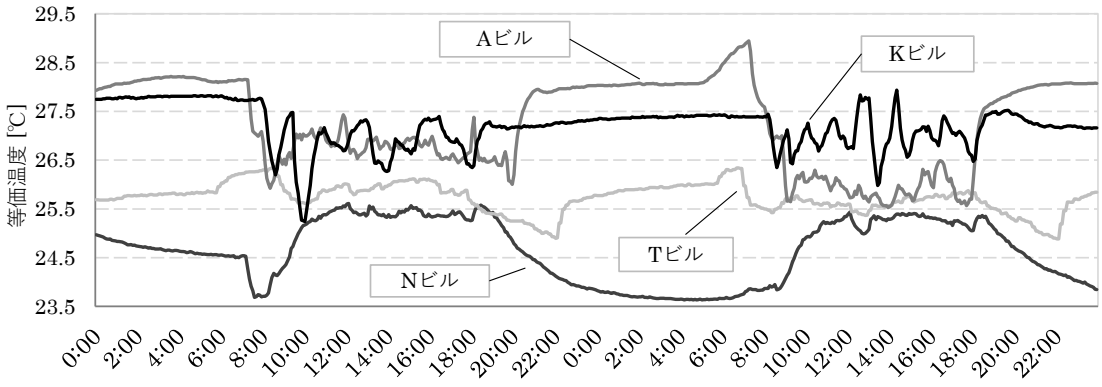


図 4.9 等価温度の経時変化

4.4 温熱環境の空間分布と時間変動

図 4.10 に執務時間中（9:00～18:00）に各測定点において記録された Madsen の等価温度の発生頻度を、図 4.11 に式（4-4）により定義する等価温度の設定目標値と実環境（局所）の乖離の発生頻度を示す。各オフィスにおいて、気流環境を含めて評価される等価温度の設定目標値は定めてなく、特にマルチパッケージ型空調機が導入されている K ビルと A ビルにおいては執務者のリモコン操作により温熱環境が刻一刻と変化するため、執務時間中（9:00~18:00）の等価温度の平均値を設定目標値と仮定した。等価温度の発生頻度は、K ビルと A ビルにおいては裾野の幅が広く、頂点が低い分布を形成しているのに対して、放射空調の N ビルと全面床吹出し空調の T ビルは裾野の幅が狭く頂点が高く形作られることから、安定した温熱環境を創出していることを確認した。

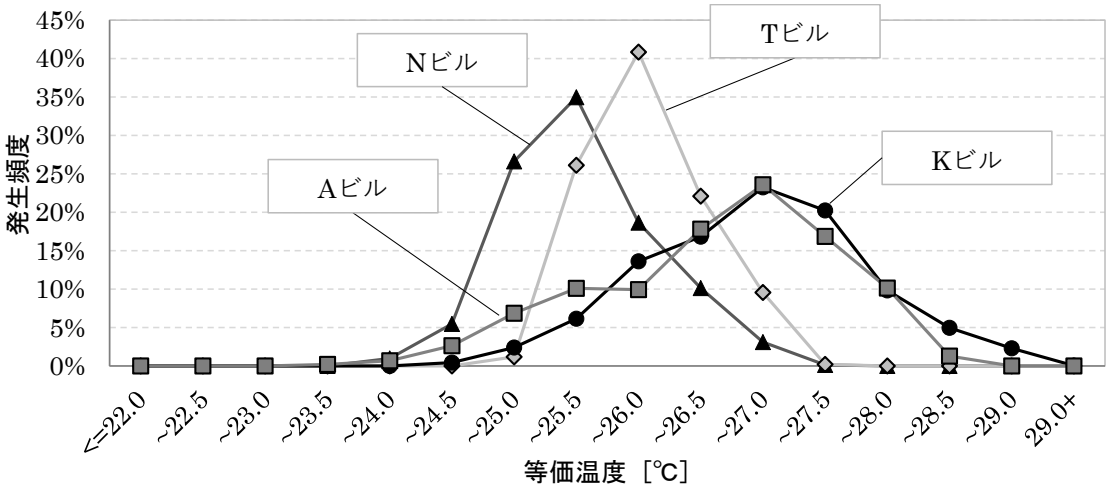


図 4.10 等価温度の発生頻度

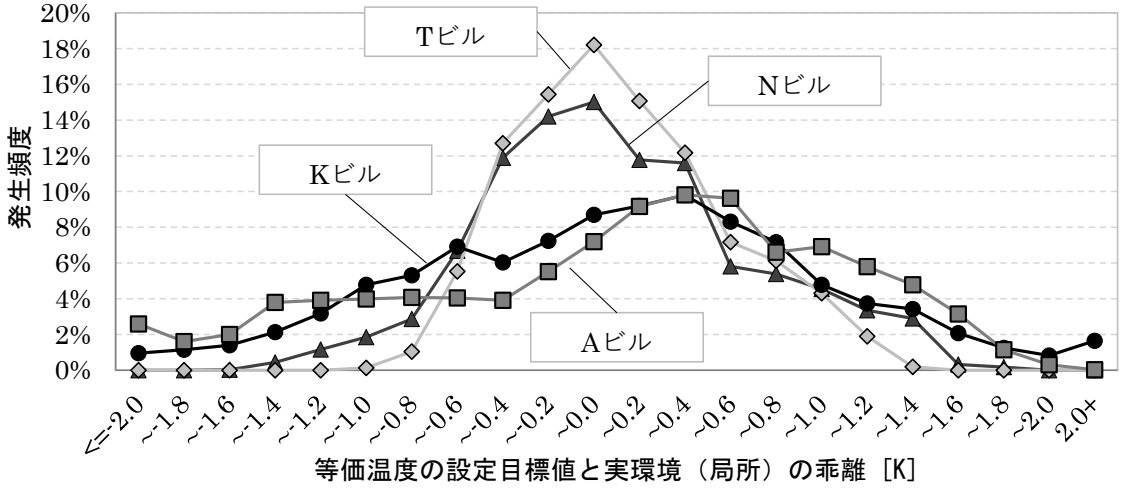


図 4.11 等価温度の発生頻度

$$Dt_{eq,local} = t_{eq,local,ins} - t_{eq,set} \quad \ldots(4-4)$$

$$Dt_{eq,planar} = t_{eq,plannar,ave,ins} - t_{eq,set} \quad \ldots(4-5)$$

ここに,

$Dt_{eq,local}$:	等価温度の設定目標値と実環境の乖離(局所)	[K]
$Dt_{eq,plamar}$:	等価温度の設定目標値と実環境の乖離(平面)	[K]
$t_{eq,local,ins}$:	各測定点における局所的な等価温度の瞬時値	[°C]
$t_{eq,plannar,ave,ins}$:	平面的な平均等価温度の瞬時値	[°C]
$t_{eq,set}$:	等価温度の設定目標値	[°C]

図 4.12 は代表日 1 日における温熱環境の空間分布と時間変動の経時変化を表現したグラフであり、横軸に式（4-5）による平面的な等価温度の設定目標値と実環境の乖離を、縦軸に平面的な等価温度の標準偏差を示している。温熱環境の安定性を視覚的に比較できるグラフであるため、スタビリティチャートという名称を付けた。T ビル、A ビル、K ビルについて、執務時間外の空調停止時には、等価温度が設定目標値よりも高い側に乖離しており、また平面的な標準偏差が低い右下の位置に分布が集中している。空調稼働時の日中は、等価温度が設定目標値付近に推移するのと同時に平面的な標準偏差は高くなるが、特にマルチパッケージ型空調機の K ビルと A ビルについてはその傾向が顕著であり、さらに設定目標値との乖離は暑い側から寒い側にかけて激しく変動していた。N ビルおける等価温度は、早朝に最も低い側に位置している。執務時間中は正午過ぎにかけて等価温度の平面的な分布は小さいながらも、緩やかに上昇が生じる結果となり、その後は T ビルと同様に非常に安定した温熱環境を実現していた。この推移は躯体蓄熱を介する放射空調の典型的な特徴であり、TABS 本来の運用として空調開始前に躯体を冷やす方式をとると、温度の変動幅はさらに大きくなると思われる。

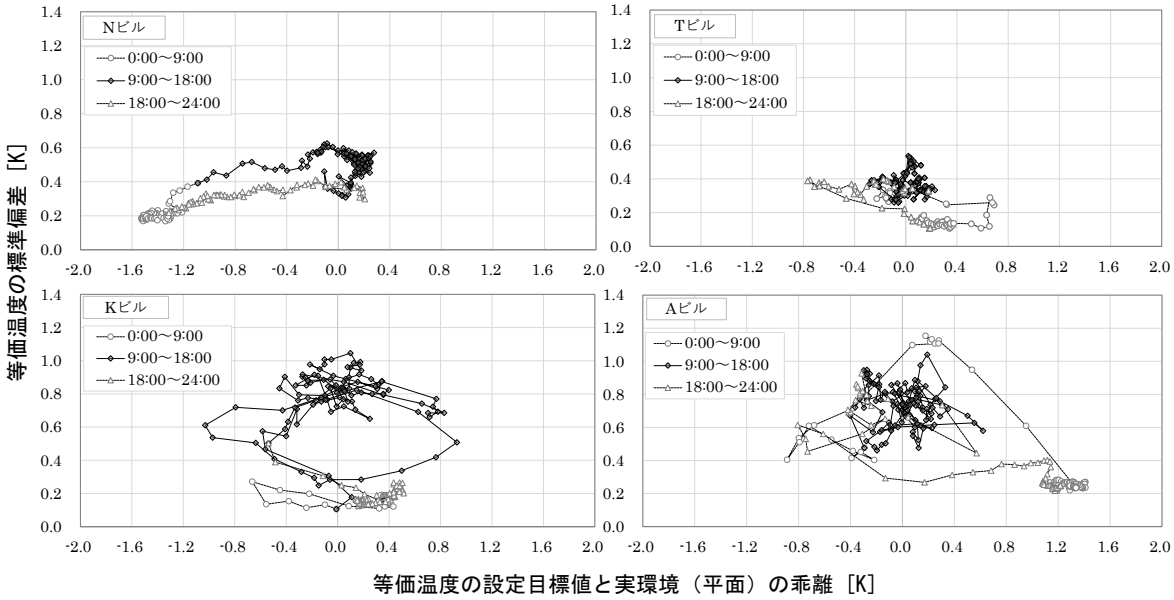


図 4.12 温熱環境の偏在と時間変動（スタビリティチャート）

4.5 温熱環境の受容性の考察

K ビルと A ビルにおいては、空間的な不均一と時間的変動の程度が大きい結果が示された。従って、例え居住空間の平均的な温熱環境が快適域であったとしても、マルチパッケージ型空調機が導入された空間では「暑がり」や「寒がり」といった熱的感受性の高い執務者が熱的偏在のある位置に配置される可能性が、放射空調や全面床吹出し空調より高まり、これは空調の本義である「不快の排除」といった視点では受容性の低下に繋がると解釈できる。一方で、居住者のウェルビーイング（身体的、精神的、社会的に良好な状態にあること）に主眼を置いた評価が近年注目されている。そのスタンダードである The WELL Building Standard[10、11]の「Optimization：さらなる快適性を実現するための項目」にはフリーアドレス制に関する基準があり、a）フロア間、部屋間または同一フロア内で最低 3℃の温度幅を持たせること、b）類似の作業を行っているオープンプランのオフィスでは、少なくとも席の 50%について温度環境を自由に選べるフリーアドレスとすること、の両条件を満足することで快適性が向上するとしている。The WELL Building Standard は近々日本にも導入されることが予想され、マルチパッケージ型空調機を用いることで温熱環境の不均一を敢えてデザインすることは、居住者の健康に配慮された建物であるという認証を得るための有効な手段になると思われる。

また、N ビルに導入された TABS は省エネルギー性と快適性が両立できるシステムとして期待がされているが、温熱環境が時間的に変動する傾向については、建築設備技術者と居住者の双方が理解しておく必要がある。TABS においては個人の温熱環境を自由に調節できるシステムとの併用が効果的であると思われ、例えば放射空調の静穏な気流環境下においては対流型パーソナル空調の環境選択幅が増大する結果が示されている[20]。このように、今後の環境設計のあり方として、温熱環境の空間分布と時間変動が居住者に受容される新たな手法が求められる。

5. 結論

実際のオフィスにおける平面的な温熱環境の分布を測定することで、マルチパッケージ型空調機、TABS による躯体蓄熱放射空調、全面床吹出し空調が形成する温熱環境の空間分布と時間変動を特徴づけた。結果を以下に纏める。

① 各オフィスにおける風速の平均値は 0.10m/s 程度であり、空調システムによる顕著な特徴は確認できなかったが、マルチパッケージ型空調機が導入された空間においては局所的に風速が高く、また気流の乱れの影響から DR が高くなる時間が存在することを確認した。

② 等価温度の発生頻度に着目すると、マルチパッケージ型空調機の空間では裾野の幅が広く、頂点が低い分布を形成しているのに対して、放射空調と全面床吹出し空調のオフィスは裾野の幅が狭く頂点が高く形作られることから、安定した温熱環境を室内全体に創出していることを確認した。

③ マルチパッケージ型空調機が形成する温熱環境は、放射空調、全面床吹出し空調と比較して空間的な偏在が大きく、時間的な変動も大きい結果を示した。また TABS により提供される温熱環境は、空間的な偏在が少ないのに対して、時間的には緩やかに変動している結果となった。

今後の環境設計のあり方として、熱的快適性と省エネ性を両立した建物を実現するためには、各種空調システムを導入した際の室内温熱環境の挙動を理解した上で、時間的な変動と空間的な分布が居住者に受容される新たな手法を構築する必要があると考えられる。

[参考文献]

1) Fanger, P.O., B.M. Ipsen., G. Langkilde., Tanabe, S.: Comfort limits for asymmetric thermal radiation, Energy and Buildings, 8, pp.225-236, 1985

2) Feaustel, H.E.: Hydraulic radiant cooling, 22, pp.193-205, 1995

3) Kitagawa, K., Hayano, H., Saito, T., Komoda, N., Tanabe, S.: Effect of Humidity and Air Movement on Thermal Comfort under a Radiant Cooling System Investigated in Subjective Experiments, J. Human and Living Environment, 4(1), pp.42-51, 1996 (in Japanese)

4) 塩谷正樹, 郡公子, 鬼頭則夫: スリットを有する天井放射パネルユニットの熱性能に関する研究, 日本建築学会環境系論文集, 第 78 巻, 第 683 号, pp.31-37, 2013.5

5) 伊藤清, 川島実, 荒井義人, 高橋満博, 村上宏次, 野部達夫: ペリメータにチルドビームを配置した天井放射空調システムの冷却性能検証, 日本建築学会環境系論文集, 第 81 巻, 第 723 号, pp.447-455, 2016.5

6) 鵜飼真成, 高橋満博, 村上宏次, 雨宮沙耶, 野部達夫: S ビルにおける室内温熱環境調査と執務者の受容性に関する考察, 日本建築学会環境系論文集, 第 81 巻, 第 724 号, pp.535-543, 2016.6

7) 鹿島昭一, 小原俊平, 寒河江昭夫, 戸河里敏: 事務所ビル室内における温度・気流分布の実態とその評価 室内温熱環境の品質と実態（2）, 日本建築学会計画系論文集, 第 735 号, pp.28-38, 1987.5

8) R. G. Nevins, E. D. Ward: Room air distribution with an air distributing ceiling, ASHRAE Transactions, Vol. 74, Part 1, No. 2072, pp.VI2.1-VI2.14, 1968

9) Madsen, T.L. Olesen B.W., Kristensen, N.K.: Comparison between Operative and Equivalent Temperature under Typical Indoor Conditions, Transactions, Vol.90, I, 1077-1090, 1984

10) 中野淳太: Well-Building について, パーソナル空調性能評価小委員会成果報告書, 空気調和・衛生工学会空気調和設備委員会・パーソナル空調性能評価検討小委員会, 空気調和・衛生工学会, 2017

11) International Well Building Institute: The WELL Building Standard (2015)

注

注 1) 乾球温度・相対湿度の測定には KN ラボラトリーズ製ハイグロクロン、グローブ温度の測定はエスペックミック製 RT-30s、風速の測定は芝浦電子製 F6201-1 型のセンサをそれぞれ使用した。付表 1 に各測定センサの精度を示す。乾球温度、相対湿度、グローブ温度の測定に使用したセンサの精度については、乾球温度 24.0℃、相対湿度 50.0%の環境において著者らが調べた、99%信頼度の数値を記載した。風速センサの精度ついては、メーカーが公表している出力特性線図から風速 0.10m/s 時の 99%信頼度における数値を読み取り、記載した。

付表 1 測定精度

測定項目	測定精度
乾球温度	±0.2[℃]
グローブ温度	±0.2[℃]
相対湿度	±1.6[%]
風速	±0.02[m/s]

第 5 章
確率論的温熱受容性評価法に関する研究

1. はじめに

室内温熱環境の条件はどのように定めるべきか、また、それをどのように実現するべきか。従来の空調設計では複数の人間を普遍的集団として捉えることで、空間の用途毎に最適な温熱環境の提供を目指してきた。夏期オフィスにおいては、代表的な人間の特性を着衣量 0.5clo、代謝量 1.1met とした上で、快適な温熱環境の理論的平均値を全体に課すものとして理解されてきたが、温熱環境に対する非受容は根絶しない。本論の第 2 章と第 3 章では、執務者は一般的な快適域においても非受容を発している事実を確認し、その背景の一因として、従来は正規分布として考えられていた要求温度の分布が実際には非対称の形状であることを指摘した。また、第 4 章においては代表的な 3 種類の空調方式が形成する温熱環境の比較を行い、放射空調或いは全面床出し空調が形成する空間は、マルチパッケージ型空調と比較して、均一かつ一定の温熱環境が実現できていることを明らかにした。しかしながら、放射空調の様に熱的な均斉度の高い空間を実現できるシステムを実際の執務空間に導入した際の快適性については、定性的な印象評価しかなされていないのが現状である。

2. 第 5 章の研究目的

第 1 章から第 4 章までの研究成果を踏まえて考案した、要求温度の分布と温熱環境の不均一性から執務者の温熱受容性を評価できる確率論的温熱受容性評価法（P-R チャート）の提案と、実際の建物の評価に適用することで、執務者が温熱環境に不満を抱える背景についての考察を行う。P-R チャートは実際の執務環境のように、人間を動き回る動的な存在として捉え、さらに温熱環境の空間的な不均一や時間変動についても考慮された、新しい評価法の概念であり、従来扱いが難しいとされていた執務者が自由に温熱環境を調整できるパーソナル空調の評価や、放射空調のような温熱環境の均斉度に特徴がある空間の評価に適用できると考える。

3. 確率論的温熱受容性評価法（P-R チャート）の概要

3.1 環境温度と要求温度の概念

以下に示す評価法の特色は、執務者が熱的中立を実現するために必要な要求温度の分布と、実際の執務空間における温熱環境（環境温度）の分布に対して乗法定理を用いることで、執務者一人一人の温熱環境に対する心理量を確率論的に扱う点である。

1)　環境温度

環境温度は、在室者が存在する可能性があるエリアの温熱環境を定量的に示すための指標で、実際に評価する室内環境と温熱的に等価な条件の仮想環境の空気温度として定義する。従来の快適環境の評価手法では、環境側の要素として空気温度、平均放射温度、相対湿度、風速を、人間側の要素として代謝量、着衣量を考慮しているが、環境温度は純粋に室内の物理環境として捉えたいので、環境要素から求まる等価温度と類似した指標になる。従って、評価対象空間に導入されている空調システムや温熱環境の設定目標値により、環境温度の分布は異なる形状をとる。

2)　要求温度

要求温度は在室者が熱的中立を実現するために室内環境に要求する環境温度として定義する。従って、要求温度は、評価対象空間で働く在室者の着衣量と代謝量から求まり、その分布は業務形態（デスクワークが多いか、或いは外回りが多いか、等）や男女比、着衣の制限等により異なる形状となる。

3.2 環境温度と要求温度を用いた確率論的温熱受容性評価法（P-R チャート）

これまでの研究成果を踏まえて、環境温度と要求温度を用いた温熱受容性の評価法を考案した。その概念図を図 5.1 と図 5.2 に示す。実際の執務空間における要求温度の分布は非対称の形状を成すことが想定されるが、ここでは簡単に説明するために正規分布としている。この受容性の評価法は、環境温度（Provided Temperature）と要求温度（Required Temperature）を用いることから、両者の頭文字をとって P-R チャートと名付けた。本理論の特徴は確率論的に温熱受容性を評価する点であるが、白線で示した中立線は環境温度と要求温度が等しく、つまり線上に位置する執務者は熱的に中立であり、室内温熱環境に満足していることを意味する。一方で、例えば代謝量や着衣量が高く、要求温度が低い執務者が 20%存在している場合を考える。環境温度の分布が高い側に 10%偏在しているとすると、要求温度が低い執務者 20%と高い環境温度の偏在 10%を掛け合わせた 2%程度の執務者が室内温熱環境を暑く感じ、不満を持つ可能性があると評価できる。また、放射空調を採用した居住空間の場合は、環境温度の偏在が少なくなるため、熱的な不満が発生する確率は減少することが予想される。

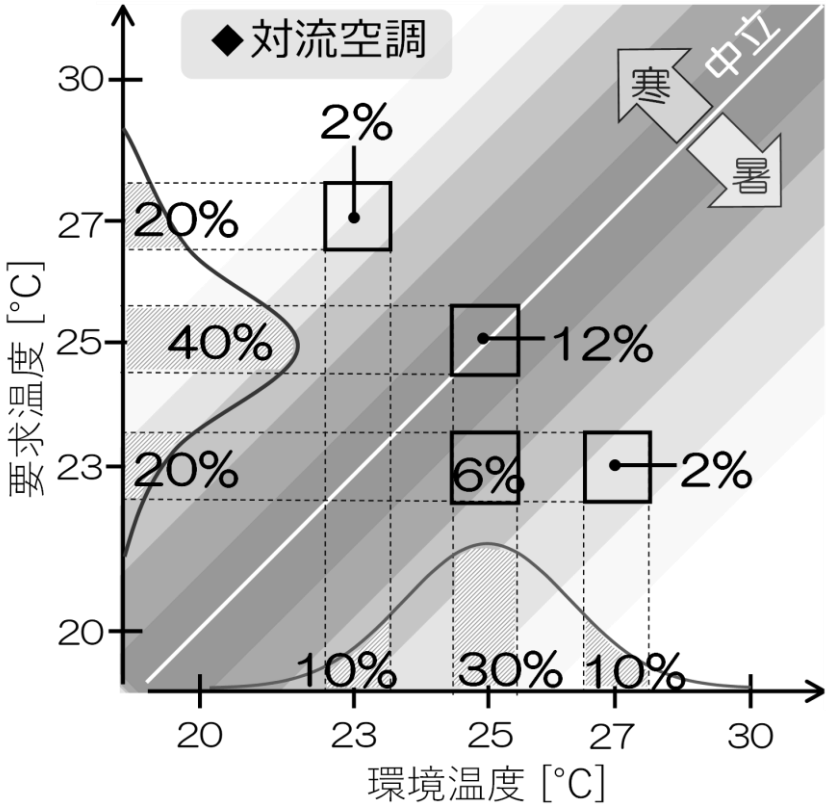


図 5.1　P-R チャートの概念図（一般的な空調システムを想定）

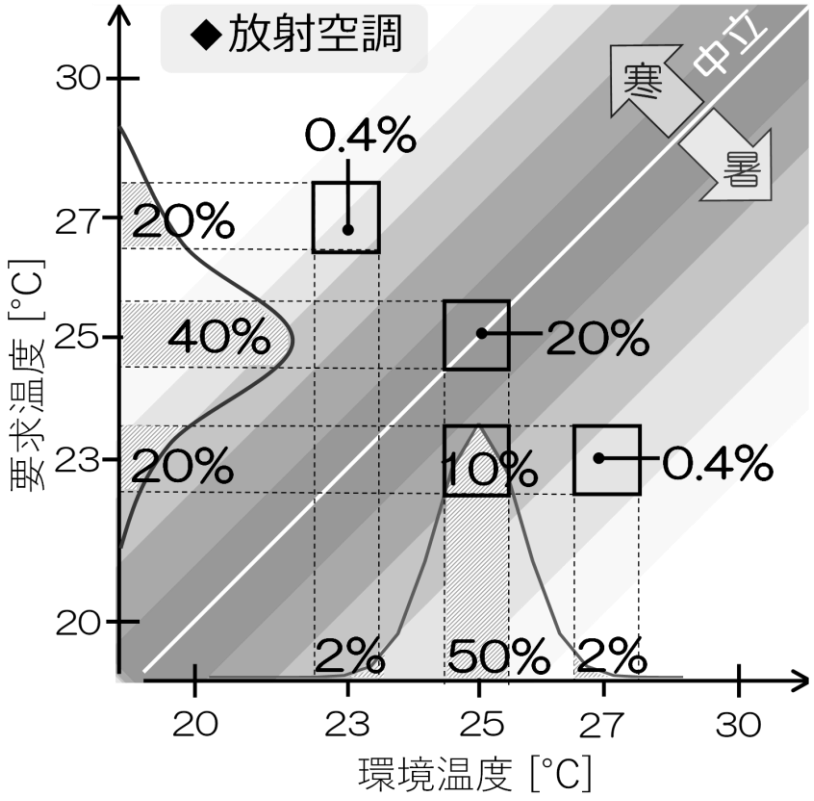


図 5.2　P-R チャートの概念図（放射空調を想定）

3.3 計算方法

1)　基本原則

環境温度 P、要求温度 R をそれぞれ確率変数とするとき、環境温度の累積分布関数を$F_P(p)$、要求温度の累積分布関数を$F_R(r)$と定義する。このとき、環境温度の確率密度関数を$f_P(p)$、要求温度の確率密度関数を$f_R(r)$とすると以下の関係が成り立つ。

$$F_P(p) = \int_{-\infty}^{p} f_P(p')\,dp' \qquad \cdots(5-1)$$

$$f_P(p) = \frac{d}{dp}F_P(p) \qquad \cdots(5-2)$$

$$F_R(r) = \int_{-\infty}^{r} f_R(r')\,dr' \qquad \cdots(5-3)$$

$$f_R(r) = \frac{d}{dr}F_R(r) \qquad \cdots(5-4)$$

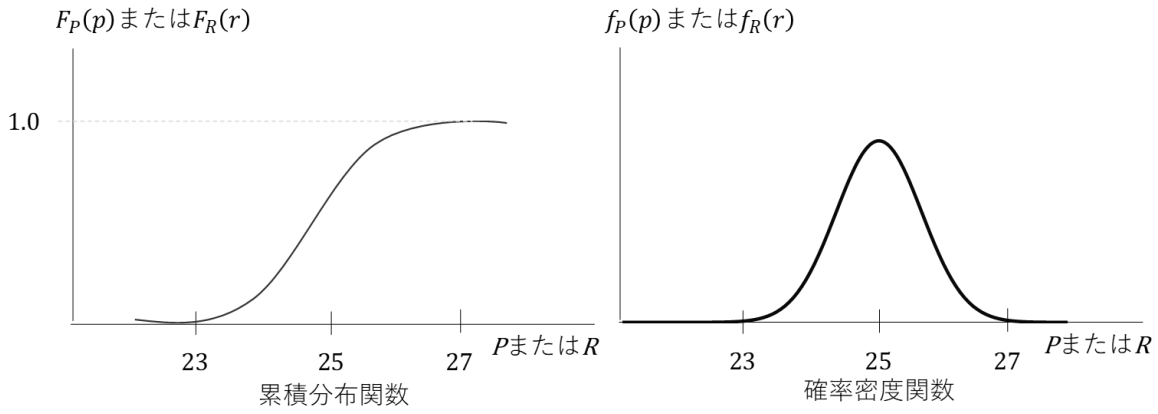


図 5.3　累積分布関数と確率密度関数の概念図

2)　環境温度と要求温度が居住者の「寒い」と感じる側に n℃以上乖離する確率

要求温度 R が r と $r+dr$ の間にある確率は $f_R(r)dr$ で与えられる。一方、環境温度 P が、$r-n$ より低くなる確率は $F_P(r-n)$ となる。P と R は独立であるから、この二つの事象が同時に生起する確率は責 $F_P(r-n)f_R(r)dr$ となり、これを R の全域にわたって積分することにより、居住者が「寒い」と感じる側に環境温度と要求温度が乖離する確率 U_c が求まる。

$$U_c = \int_0^{\infty} F_P(r-n)\, f_R(r)dr \qquad \cdots(5-5)$$

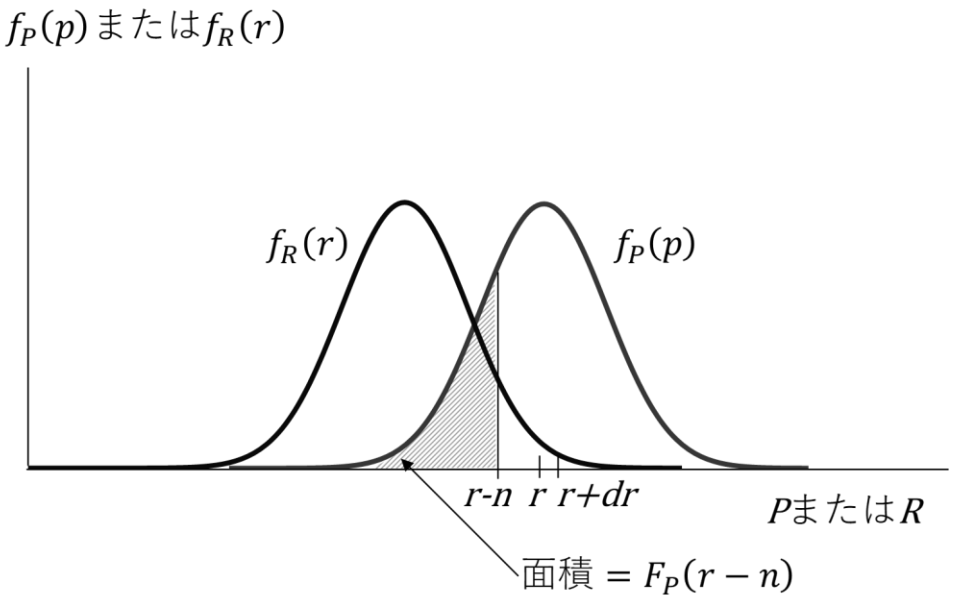


図 5.4　計算方法の概念図（寒い側）

3)　環境温度と要求温度が居住者の「暑い」と感じる側に n℃以上乖離する確率

環境温度 P が p と $p+dp$ の間にある確率は$f_P(p)dp$で与えられる。一方、要求温度 R が、$p-n$ より低くなる確率は$F_R(p-n)$となる。P と R は独立であるから、この二つの事象が同時に生起する確率は責$F_R(p-n)f_P(p)dp$となり、これを P の全域にわたって積分することにより、居住者が「暑い」と感じる側に環境温度と要求温度が乖離する確率U_hが求まる。

$$U_h = \int_0^{\infty} F_R(p-n)f_P(p)dp \qquad \cdots(5-6)$$

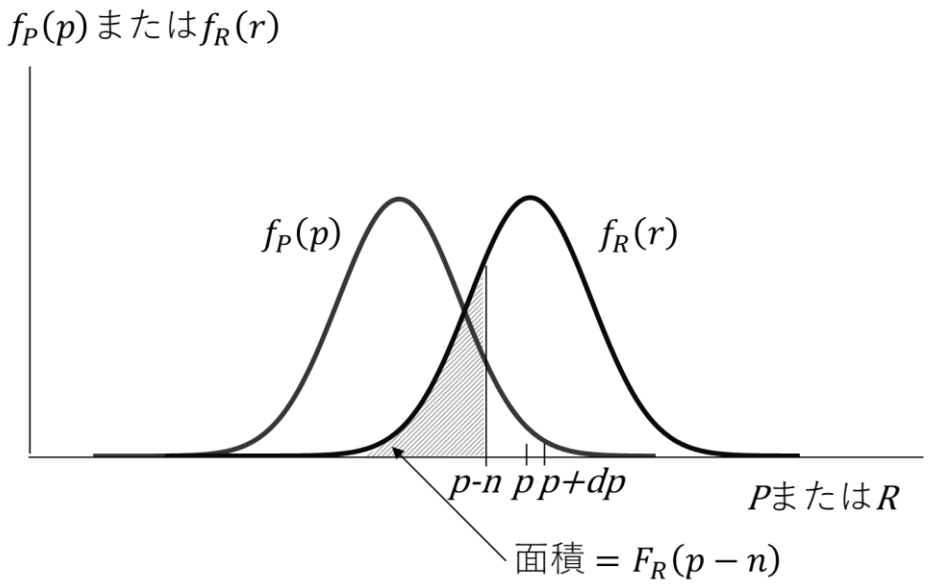


図 5.5　計算方法の概念図（暑い側）

4)　環境温度と要求温度の乖離が n℃未満の確率

環境温度と要求温度に n ℃ 以上の乖離が生起しない A は式（5-7）より求まる。

$$A = 1 - (U_c + U_h) \qquad \cdots(5-7)$$

5)　要求温度 R と環境温度 P の同時確立分布

要求温度 R のとる値を r_1、r_2、…、r_m、環境温度 P のとる値を p_1、p_2、…、p_n、とする。また、R が r_i（i=1、2、…、m）、かつ、P が p_j（j=1、2、…、n）の値をとるときの確率が c_{ij}、つまり、C（R=r_i、P=p_j）=c_{ij} であるとき、要求温度と環境温度のそれぞれの確率変数 R、P の同時確率密度関数は $f_C(r,p)$ となる。要求温度 R、環境温度 P の同時確立分布を表 5.1 に示す。

表 5.1　要求温度 R、環境温度 P の同時確立分布

R ＼ P	p_1	p_2	・・・	p_n	計 $f_R(r)$
r_1	c_{11}	c_{12}	・・・	c_{1n}	$c_{1\cdot}$
r_2	c_{21}	c_{22}	・・・	c_{2n}	$c_{2\cdot}$
・・・	・・・	・・・	・・・	・・・	・・・
r_m	c_{m1}	c_{m2}	・・・	c_{mn}	$c_{m\cdot}$
計 $f_P(p)$	$c_{\cdot 1}$	$c_{\cdot 2}$	・・・	$c_{\cdot n}$	1

6)　Unconformity Index (UCI)

P-R チャートでは、環境温度 P と要求温度 R の乖離が大きい程、執務者からの非受容が発生しやすい環境であると評価される。そこで、環境温度 P と要求温度 R の乖離の程度を示す指標として式（5-8）に示す Unconformity Index (UCI)を考案した。UCI は環境温度 P と要求温度 R が完全に等しくなる P=R の線形モデルからの残差平方和と定義する。従って、UCI の値が高い程、環境温度 P と要求温度 R の乖離が大きく、要求温度の低い執務者が環境温度の高い位置に配置される確率、或いは要求温度の高いものが環境温度の低い位置に配置される確率が上がると評価できる。

$$UCI = \sum\left((r-p)^2 \cdot f_c(r,p)\right) \qquad \cdots(5-8)$$

4. P-R チャートを用いた温熱環境の受容性に関する考察

4.1 評価対象建物

本節では第 4 章で調査した 4 事例の建物における温熱環境の受容性を P-R チャートを用いて考察する。対象建物の詳細については第 4 章を参照されたいが、以下に簡単に振り返る。

1) N ビル

N ビルにおいては逆梁工法によるスラブ表し天井内に冷温水配管を埋設することで躯体蓄熱放射空調を行う TABS (Thermally Activated Building System)が採用されている。本建物では 18 ºC の冷水を朝 9 時から夕方 18 時にかけて送水する運用を行っている。外気供給に関してはデシカント空調機で調湿した空気を OA フロアカーペット全面から染み出すシステムとしている。

2) T ビル

T ビルにおいては、デシカント空調機により温湿度調整された空気を二重床内に吹き出し加圧することで、空調空気を OA フロアカーペット全面から染み出す、全面床吹出し空調が採用されている。

3) K ビル

K ビルには一般的な天井隠蔽型のマルチパッケージ型空調機が導入されており、執務者は室中央に設置されたリモコンを操作することで設定温度と風量・風向の変更が可能である。また、吹出し口の形状は角型アネモである。

4) A ビル

K ビルと同様に天井隠蔽型のマルチパッケージ型空調機（吹出し口形状：角型アネモ）が導入されているが、A ビルにおいては風量と風向のみ設定変更が可能であり、設定温度に関する操作は制限されている。

4.2 P-R チャートの適用

P-R チャートによる評価を行うためには、対象建物における環境温度と要求温度の分布を把握しておく必要がある。本研究における環境温度は試験的に Madsen の等価温度と定義し、第 4 章の図 4.10 に示した分布をそれぞれの対象建物に使用した。要求温度に関しては、第 3 章で示したように、PMV の快適方程式に着衣量と代謝量の実測値を入力し、さらに風速 0.1m/s、相対湿度 50%としたうえで、PMV=0 となる作用温度（平均放射温度と空気温度が等しい値）とした。また、本来であれば要求温度の分布は評価対象建物毎に算出するべきであるが、本研究では試験的に第 3 章の図 3.6 に示した夏期における代表的な分布（男女比 7：3）を使用した。

1)　N ビル（躯体蓄熱放射空調）

図 5.6 に P-R チャートを N ビルに適用した結果を示す。後述の対流空調の K ビル及び A ビルと比較して、放射空調を採用している N ビルでは環境温度の均斉度が高いため、要求温度に近い環境温度の位置に多くの執務者が配置されている。

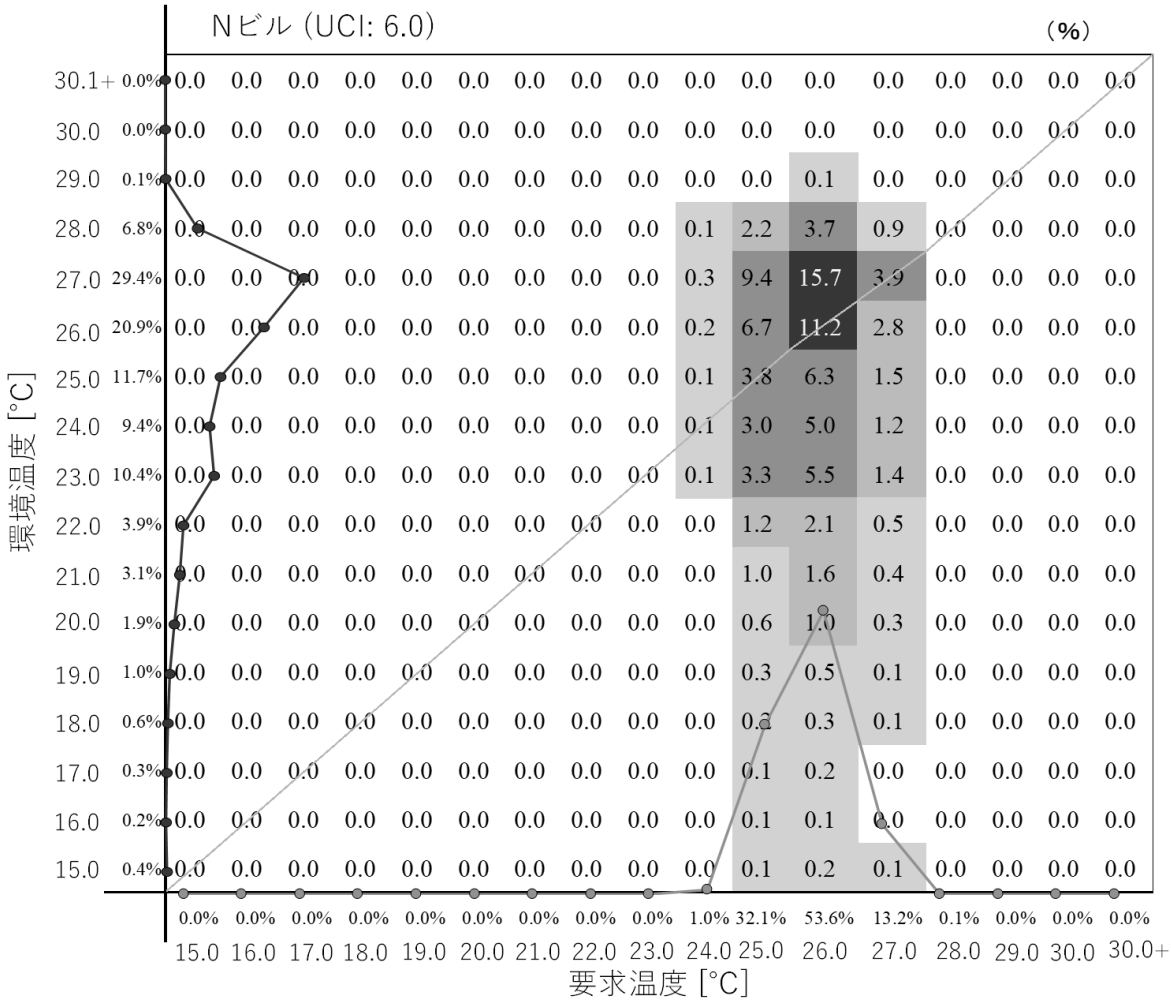


図 5.6　N ビルにおける P-R チャートの適用結果

2) T ビル（全面床吹出し空調）

図 5.7 に P-R チャートを T ビルに適用した結果を示す。N ビルと同様に、全面床吹出し空調の T ビルにおいても熱的に均一な環境を実現しているため、環境温度と要求温度の乖離が少ない結果となった。

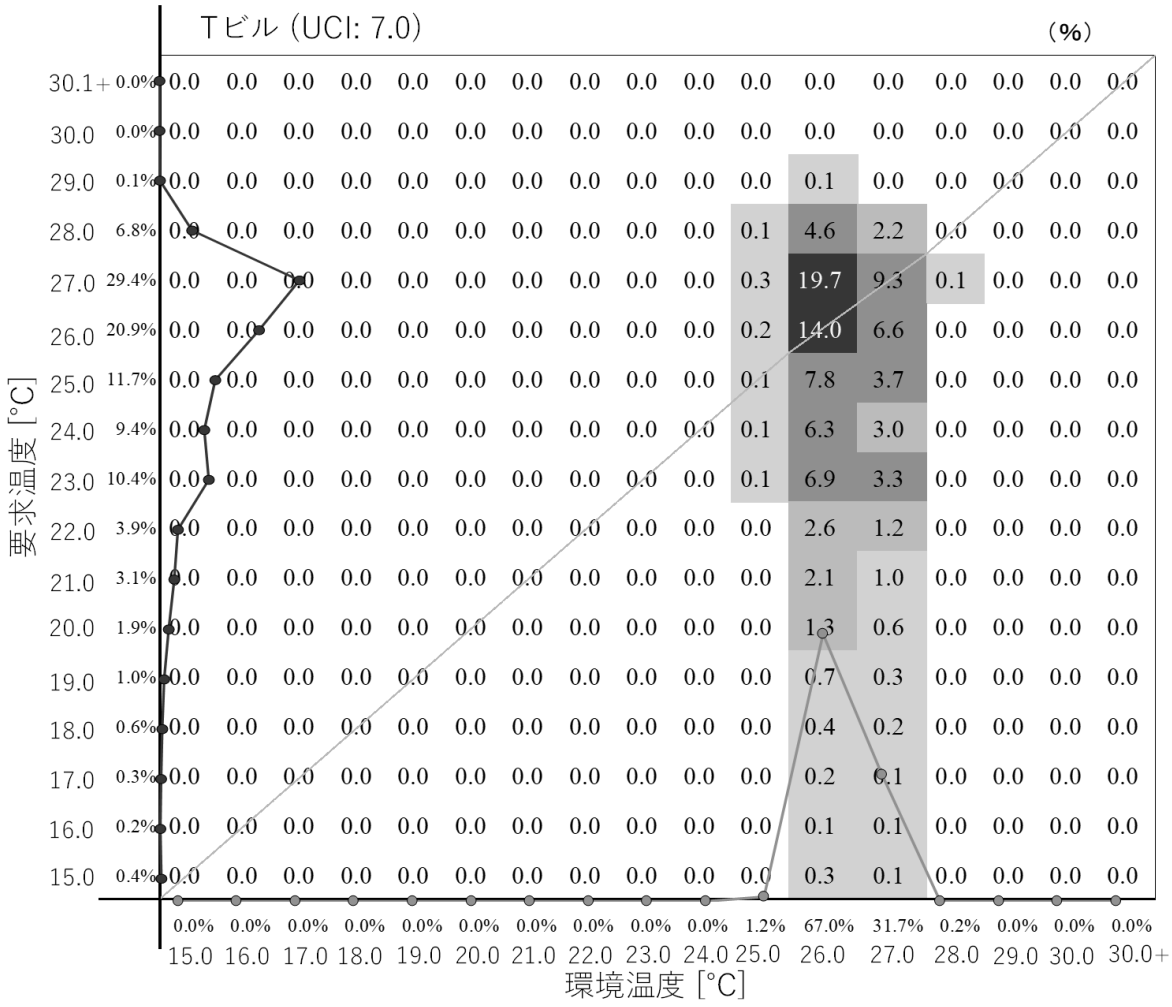


図 5.7　T ビルにおける P-R チャートの適用結果

3) K ビル（マルチパッケージ型空調）

図 5.8 に P-R チャートを K ビルに適用した結果を示す。対流空空調の K ビルにおいては温熱環境の偏在の影響を受けるために、要求温度とは異なる環境温度の位置に執務者が配置される可能性が、N ビル（放射空調）及び T ビル（全面床吹出し空調）よりも高まる結果となった。

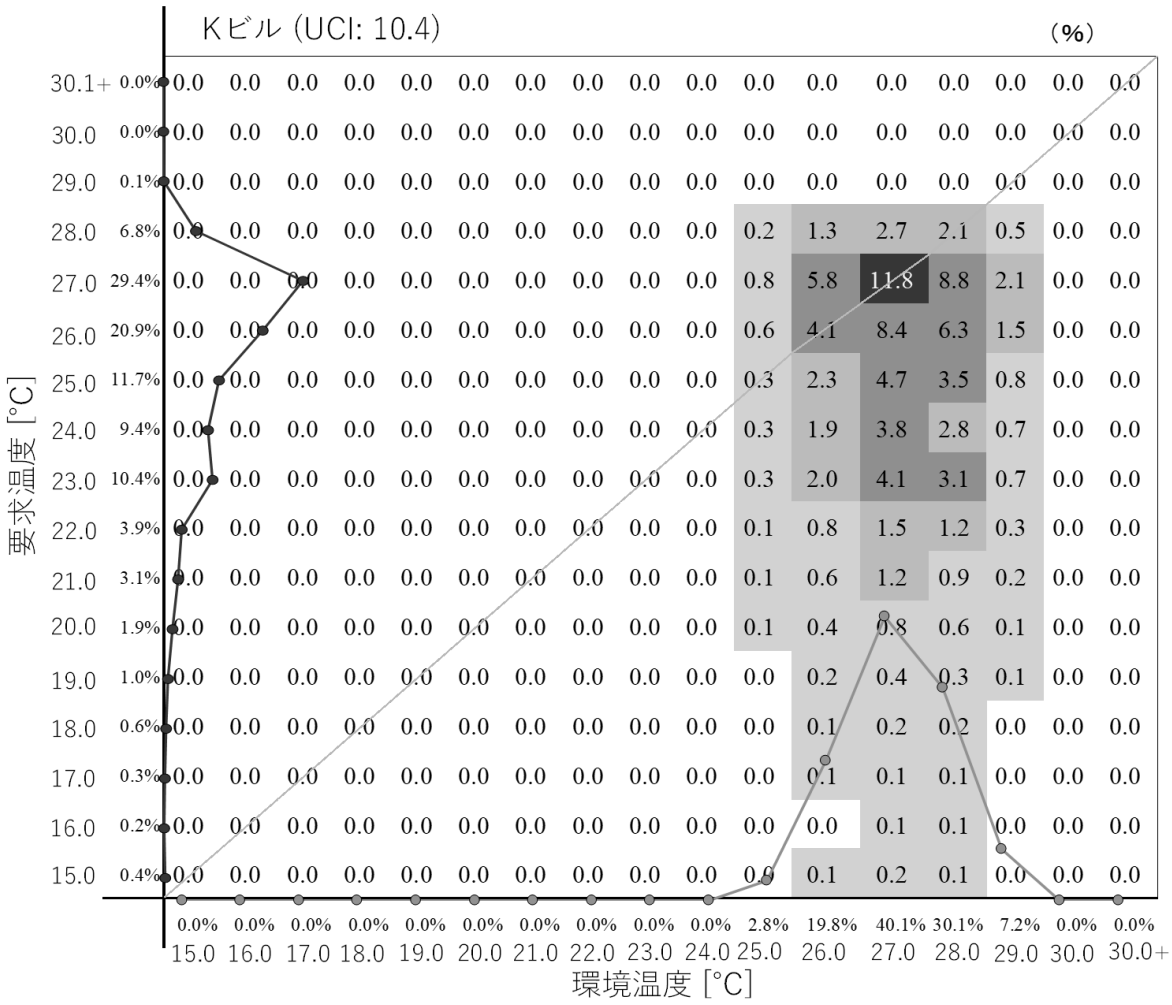


図 5.8　K ビルにおける P-R チャートの適用結果

4) A ビル（マルチパッケージ型空調）

図 5.9 に P-R チャートを A ビルに適用した結果を示す。対流空調の A ビルは K ビルと同様に環境温度と要求温度の乖離が大きいため、放射空調や全面床吹出し空調が採用された空間と比較して、熱的中立状態から外れた執務者が生じる可能性が高まると思われる。

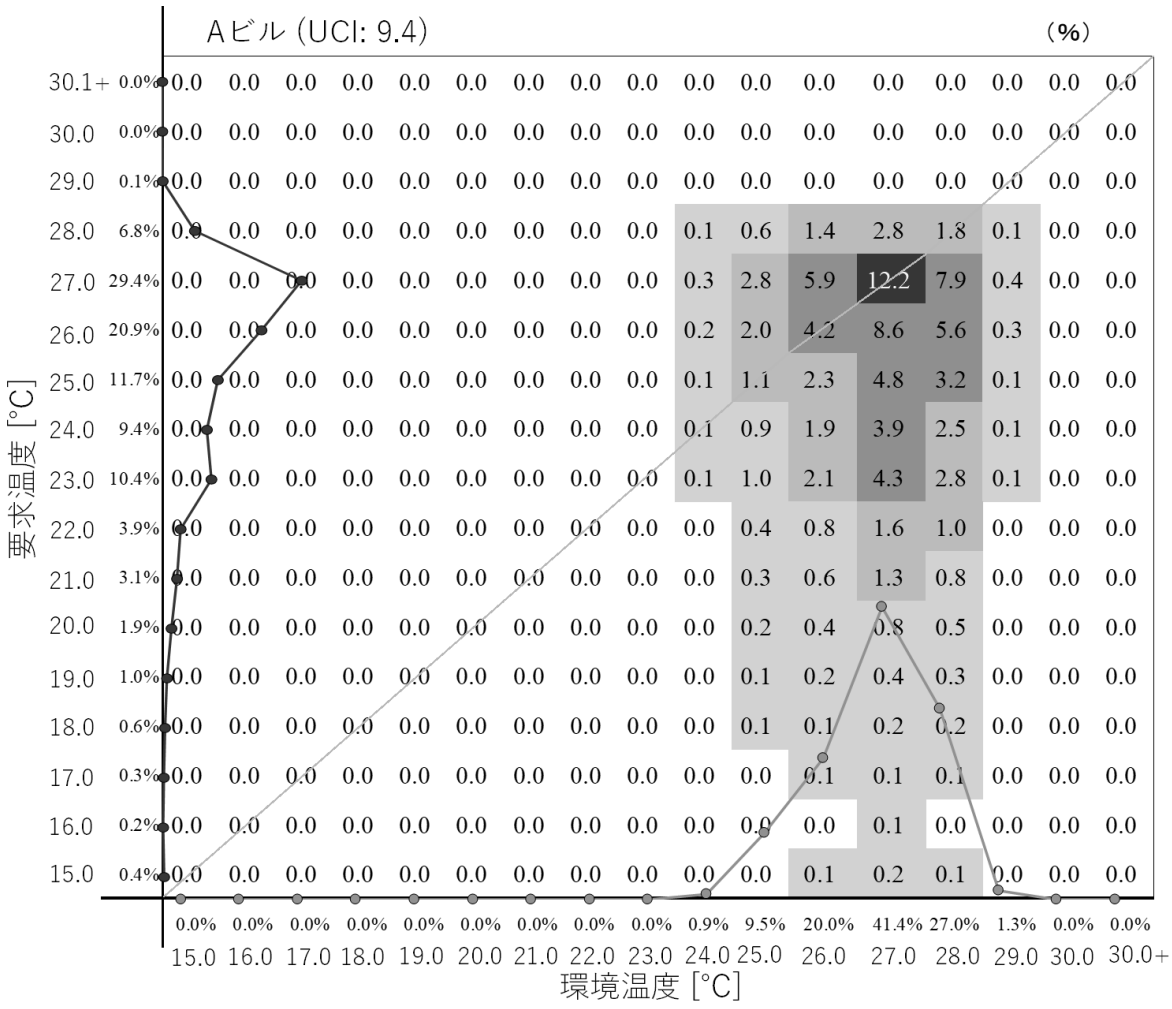


図 5.9　A ビルにおける P-R チャートの適用結果

4.3 環境温度と要求温度の乖離

P-R チャートの結果は環境温度と要求温度の乖離の頻度分布として表現することが出来る。環境温度と要求温度の乖離については、執務者が熱的中立を実現するために変更を要求する温度と捉えることができるため、変更要求温度という名称を付けた。変更要求温度は式（5-8）で定義され、具体的には表 5.1 に示した環境温度と要求温度のそれぞれの確率変数における同時確立分布より求めることが出来る。また、環境温度を下げたい要求はマイナス側、環境温度を上げたい要求はプラス側で評価される。

$$t_{change} = t_{required} - t_{provided} \quad \cdots (5-8)$$

ここに,

t_{change}： 変更要求温度 [°C]

$t_{required}$：要求温度 [°C]

$t_{provided}$：環境温度 [°C]

図 5.10 に 4 箇所の対象建物における変更要求温度の発生頻度を示す。全ての建物において環境温度を下げたい側に広く分布している結果となったが、N ビルと T ビルにおいては変更要求温度の最頻値は若干ではあるが環境温度を上げたい側に分布していた。温熱環境の均斉度に特徴のある N ビルと T ビルにおいては、吹出し口の直下等、局所的なクールスポットが原因となる「寒い側」の非受容が発生する確率を抑えることができるので、環境温度を低く設定することが可能になったと思われる。

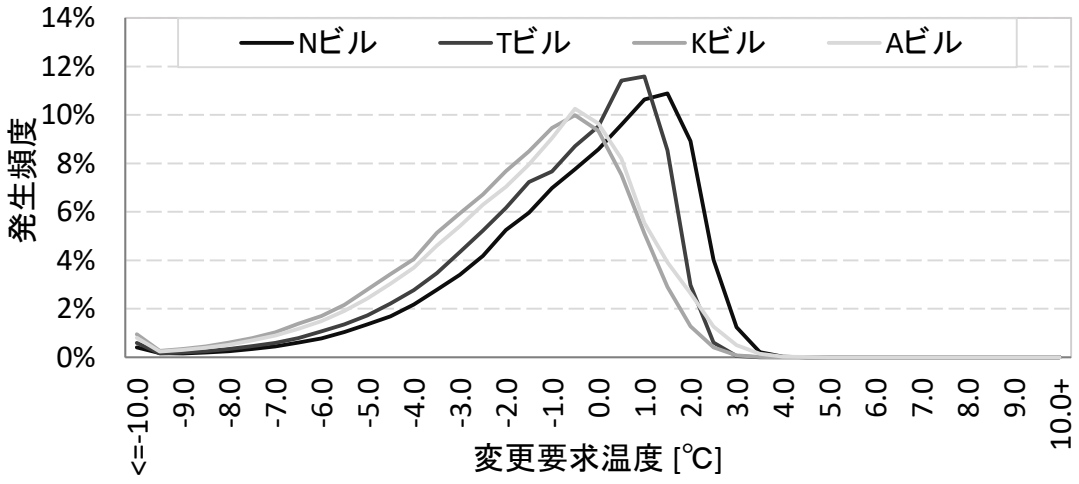


図 5.10　変更要求温度の分布（階級幅：0.5）

式（5-8）を用いて、環境温度と要求温度の乖離の程度を評価できる Unconformity Index (UCI) を算出した。表 5.2 に示す様に、熱的均斉度の高い空間が特徴の N ビルと T ビルの UCI はそれぞれ 6.0 と 7.0 であり、一般的なマルチパッケージ型空調機が導入されている K ビル（10.4）、A ビル（9.4）と比較して低い値となることから、環境温度と要求温度の乖離が少なく執務者からの非受容が発生する確率も低いと評価できる。

表 5.2　Unconformity Index (UCI)

	N ビル 躯体蓄熱放射空調	T ビル 全面床吹出し空調	K ビル マルチパッケージ	A ビル マルチパッケージ
UCI	6.0	7.0	10.4	9.4

図 5.11 に変更要求温度の最頻値との乖離を、表 5.3 に最頻値を軸とした左右の分布の面積比を示す。変更要求温度の分布は、温度を下げたい側に歪む非対称の形状であり、要求温度の最頻値を設計数値目標にする弊害としては、例え空間的に均一かつ時間的に一定の温熱環境が実現できたとしても、居住者からの「暑すぎる」非受容は「寒すぎる」非受容よりも多く発生し、時には強いクレームに発展することが予想される。従って、パーソナル空調の導入は、執務者の要求温度分布の非対称性に関わる問題を解決する有効な手段になると思われるが、対流空調が採用された空間においては、温熱環境の均斉度が高い空間と比較して温度を上げたい側の変更要求を持つ執務者の割合が増えることに注意が必要である。これは、空調の本義である「不快の排除」といった視点では受容性の低下に繋がり、また一般的な冷却機能のみを有するパーソナル空調導入時の親和性は低いと解釈することができる。

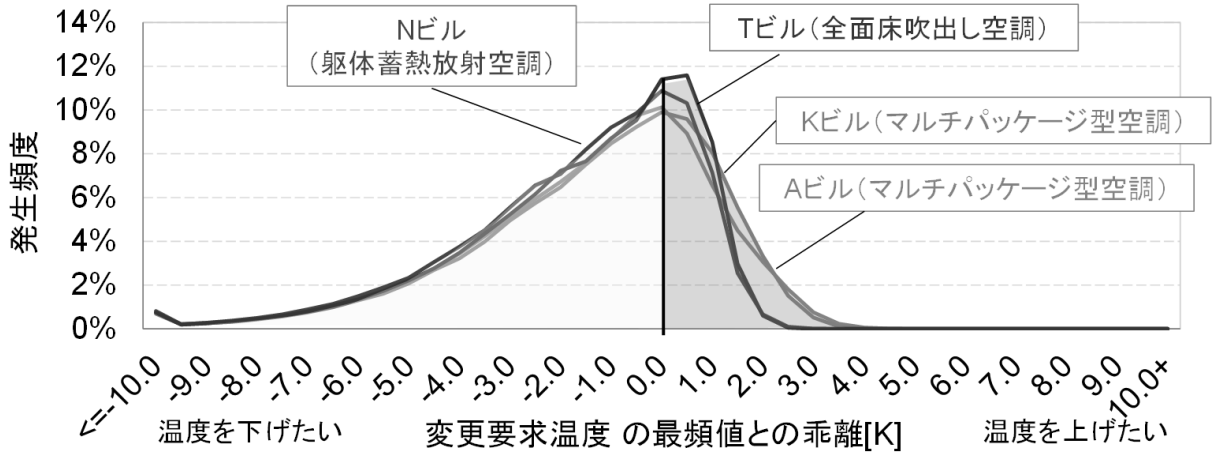


図 5.11　変更要求温度の最頻値との乖離（階級幅：0.5）

表 5.3　最頻値を軸とした左右の面積比（階級幅：0.5）

	N ビル 躯体蓄熱放射空調	T ビル 全面床吹出し空調	K ビル マルチパッケージ	A ビル マルチパッケージ
温度を 下げたい	78%	75%	70%	73%
温度を 上げたい	22%	25%	30%	27%

5. 結論

第 1 章から第 4 章までの研究成果を踏まえて確率論的温熱受容性評価法（P-R チャート）を考案した。また、P-R チャートを用いてマルチパッケージ型空調システム（対流空調）、放射空調、及び全面床吹出し空調の温熱受容性を考察した。結果を以下に纏める。

① P-R チャートの特色は、室内温熱環境の受容性について、物理環境的要素と人間的要素の両側面からアプローチすることで、執務者一人一人を取巻く環境に対する心理量を評価することである。本評価法は、従来扱いが難しいとされてきた放射空調のような温熱環境の均斉度に特徴のある空間の評価に適用できるものと考える。

② 環境温度と要求温度の乖離は、温度を下げたい側に歪む非対称の形状であるが、マルチパッケージ型空調システムの建物では温度を上げたい側にも若干広がる形状の分布となっていた。

③ 放射空調、全面床吹出し空調が導入された建物の環境温度は、マルチパッケージ型空調システム（対流空調）が採用されている建物と比較して、低い値となっていた。平面的に均一な温熱環境を実現できるシステムでは、吹出し口の直下等、局所的なクールスポットが原因となる「寒い側」の非受容が発生する確率を抑えることができるので、環境温度を低く設定することが可能になったと思われる。

④ 環境温度と要求温度の乖離（変更要求温度）は、温度を下げたい側に歪む非対称の形状であるため、たとえ変更要求温度の最頻値が 0℃となったとしても、執務者からの「暑すぎる」非受容は「寒すぎる」非受容よりも多く発生すると思われる。

⑤ 熱的均斉度の高い空間が特徴の N ビルと T ビルの UCI はそれぞれ 6.0 と 7.0 であり、一般的なマルチパッケージ型空調機が導入されている K ビル（10.4）、A ビル（9.4）と比較して低い値となることから、環境温度と要求温度の乖離が少なく執務者からの非受容が発生する確率も低いと評価できる。

⑥ 変更要求温度分布の非対称性が原因となる非受容を抑制するためには、パーソナル空調の導入は有効な手段になると思われる。しかし、対流空調が採用された空間においては、温度を上げたい側の変更要求も予想されることに注意が必要であり、一般的な冷却機能のみを有するパーソナル空調との親和性は低いと思われる。

第 6 章
確率論的温熱受容性評価法のパーソナル空調への応用

1. はじめに

本論文ではこれまでに、執務者からの非受容に着目した調査や一人一人の要求温度の分布に関する調査、また空調システムの均斉度に着目した評価を通して、確率論的温熱受容性評価法を提案し、執務者の温熱環境に対する受容度がどのように定まり、それが非受容申告（クレーム）というネガティブな評価に繋がるかというプロセスについて考察してきた。その主な研究成果を確率論的温熱受容性評価法（P-R チャート）による概念図を用いて簡単に整理する。

1)　図 6.1 に一般的な対流空調システムを用いて、環境温度の設定値を要求温度の平均値に設定した場合に予想される結果の概念図を示す。要求温度の分布は非対称の形状となることから、過度に「暑すぎる」或いは「寒すぎる」と感じる執務者が発生することが推察される。また、要求温度の最頻値は高い側にあることから、「寒すぎる」非受容が発生するリスクは「暑すぎる」非受容の発生するリスクよりも高まることが推察される。

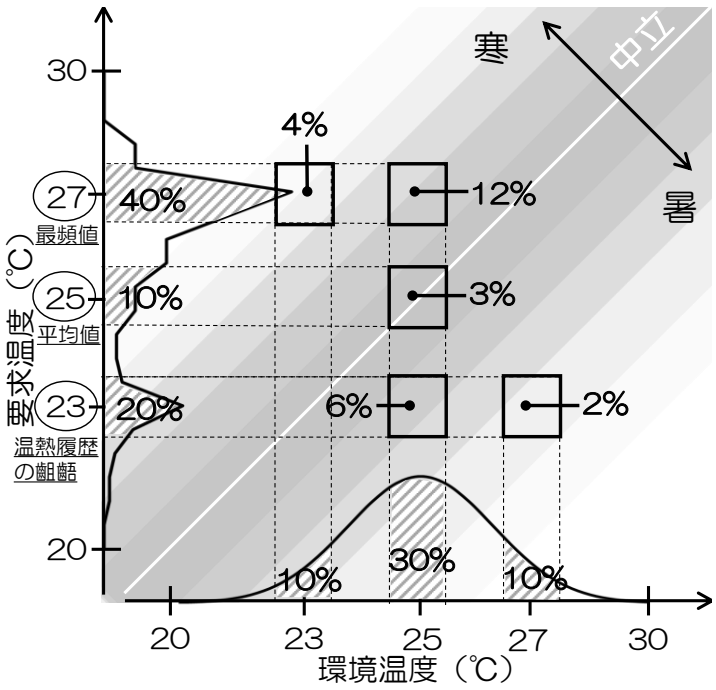


図 6.1　想定される概念図（対流空調）

2)　図 6.2 に放射空調のように温熱環境の均斉度に特徴のある空間を創出できるシステムを用いた場合に予想される結果の概念図を示す。温熱環境の偏在が少なくなるため、要求温度との乖離が大きい執務者が発生する確率は減少する。従って、放射空調が導入された空間では「暑がり」や「寒がり」といった熱的感受性の高い執務者が熱的偏在のある位置に配置されるリスクが対流空調よりも低くなり、これは空調の本義である「不快の排除」といった視点では受容性の向上に繋がると解釈できる。一方で、実際の執務空間における要求温度の分布が一様ではないことを鑑みると、放射空調や全面床吹出し空調などを用いて温熱環境をいくら精密に維持したところで、クレーム（非受容申告）に対する根本的な解消には至らないことも示唆される。

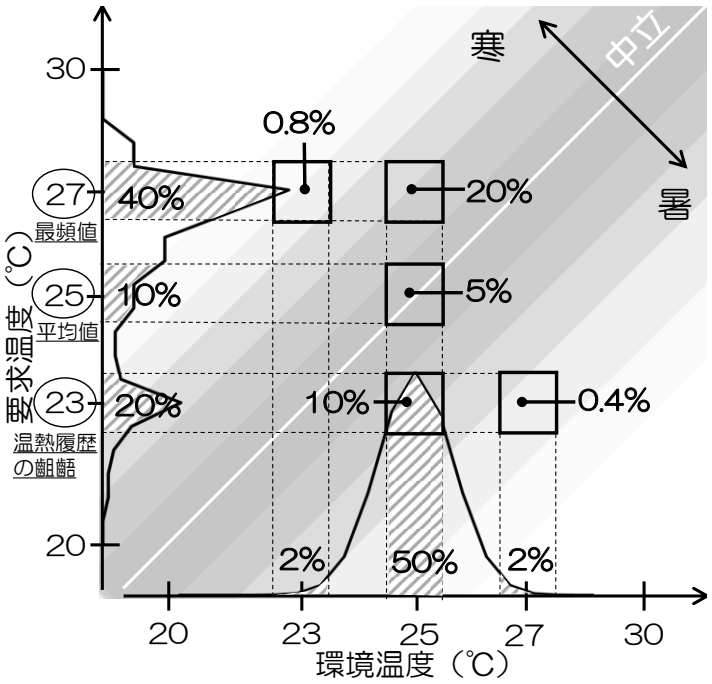


図 6.2　想定される概念図（放射空調）

3)　図 6.3 に放射空調のように温熱環境の均斉度に特徴のある空間を創出できるシステムを用いて、環境温度の設定値を要求温度の最頻値に設定した場合に想定される概念図を示す。これは従来の室内温熱環境における設計数値目標に近い値であると思われ、実際に熱的中立と感じる執務者の割合が多くなることが推察される。一方で、要求温度の最頻値を設計数値目標にする弊害としては、たとえ均一かつ一定の環境が実現できたとしても、執務者からの「暑すぎる」非受容は「寒すぎる」非受容よりも多く発生し、時には強いクレームに発展することが予想される。

4)　執務者の要求温度分布の非対称性が原因となる非受容を抑制するためには、パーソナル空調の導入は有効な手段になると思われる。図 6.3 にパーソナル空調を備えた場合に想定される結果の概念図を示す。環境選択権により、執務者自身が環境温度を要求温度に合わせるようにコントロールできるので、温熱環境に関わる非受容は大きく減少すると思われる。また、逆説的には図 6.4 に示す様に、パーソナル空調の環境制御範囲に応じて P-R チャート上の熱的中立域が拡大すると評価できる。

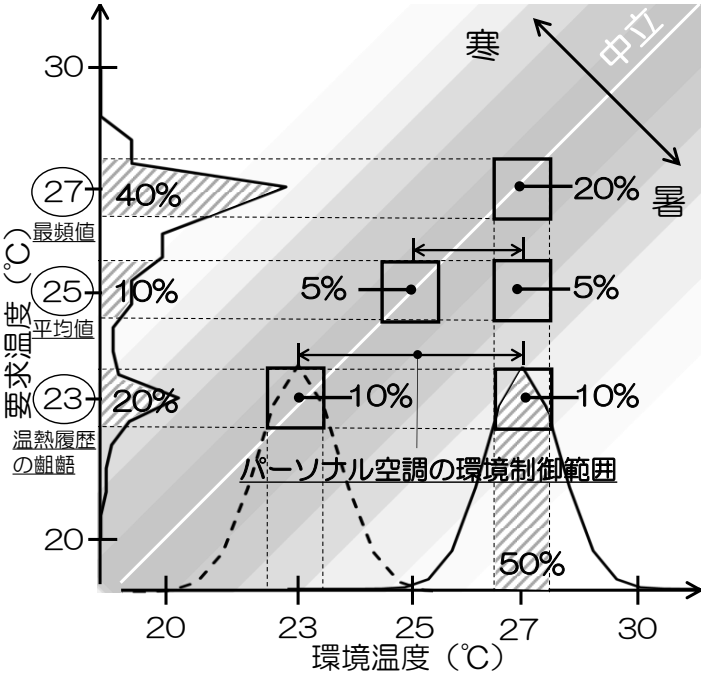


図 6.3　想定される概念図（パーソナル空調 1）

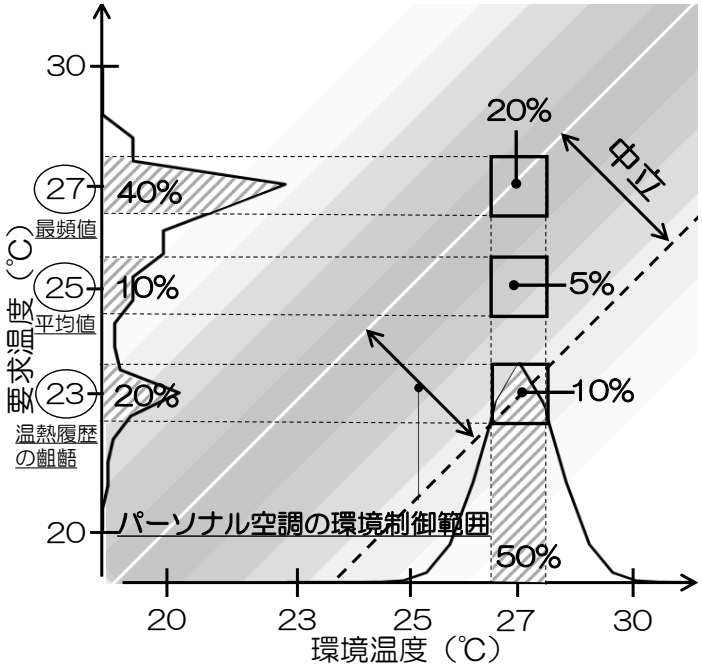


図 6.4　想定される概念図（パーソナル空調 2）

2. 第 6 章の研究目的

要求温度の非対称性が原因となる非受容を低減するためには、パーソナル空調の導入は極めて有効な手段であり、第 1 章で示したように実際に多くの研究事例が報告されている。しかしながら表 6.1 に示すように我が国におけるパーソナル空調の導入事例は少なく 2010 年以降であっても年に数件確認できる程度である。このように、昨今注目されているパーソナル空調が未だに主流の空調方式として定着しない要因としては、導入による効果や空間価値の向上が不明瞭であることが大きい。また、パーソナル空調に必要な環境選択幅とアンビエント域の基準が体系化されていない点も、システムの導入が進行しない大きな理由である。本章では、筆者自身が研究開発に関わったパーソナル空調であるクールチェアについて説明し、確率論的温熱受容性評価法を応用することで、執務者自身が温熱環境を自由に調整できる意義と理想的なアンビエント環境について考察する。

表 6.1　パーソナル空調の導入事例一覧 [1)]

（事例番号に該当するデータシートは巻末に付録）

件名	竣工年	空調方式	パーソナル空調名称	設置位置	事例番号
日比谷総合設備（株）事務所	1989（改修）	床吹出し空調	T&A 床吹出し空調システム	床	1
パナソニックマルチメディアセンター	1992	床吹出し空調	—	床	—
アジア経済研究所	1999	アンビエント域用ファン付き床吹出タスク域用パーソナル空調吹出口	—	机	2
仙北市立田沢湖病院	2003	—	—	天井	3
マブチモーター本社棟	2004	床吹出し空調	パーティションを利用したパーソナル空調	パーティション	4
南部医療センター	2006	—	—	天井	5
東京ガス横浜研究所	2006	単一ダクト＋床吹出し空調	—	机	6
鹿島赤坂別館	2007	マルチパッケージ型空調システム	ユニバーサルコンフォート	天井	7
大成技術センター研究本館	2007（改修）	全面床吹出空調システム	T-Personal Air	天井	8
京都幸ビル	2009（改修）	マルチ型パッケージエアコン ヒートポンプ式デシカント空気式放射空調	放射併用パーソナル空調システム	天井	9
TAK イーヴァック新砂本社ビル	2010	膜放射冷房システム	放射併用パーソナル空調システム	天井	9
大林組技術研究所本館 テクノステーション	2010	デシカント空調機 放射パネル 床吹出し口	O-TASK	机，床	10
			クールシャワー	天井	11
東京ガス港北 NT ビル アースポート	2010（改修）	ガス吸収冷温水機 デシカント空調機	クールチェア	椅子	12

オムロンヘルスケア 研究開発および本社新拠点	2011	アンビエント：単一ダクト CAV タスク：空冷 HP マルチ型パッケージ方式	―	天井	13
飯野ビルディング	2011	天井放射空調 デシカント空調	放射併用 パーソナル空調システム	天井	9
東急建設技術研究所	2012 (改修)	―	―	天井	14
清水建設新本社ビル	2012	天井放射空調 デシカント空調	パーソナル床吹出し口	床	15
工学院大学八王子キャンパス 総合教育等	2012	椅子吹出し空調 床吹出し空調	教室用空調椅子	椅子	16
愛知県立中央病院	2013	―	4 床病室用簡易型パーソナル空調システム	天井	17
読売新聞ビル	2013	単一ダクト VAV	―	天井	18
農大アカデミアセンター	2013	天井放射空調	パーソナル床吹出し口	床	15
立命館大学トリシア	2014	地中熱・太陽熱利用 躯体蓄熱空調システム	―	天井	19
浜松信用金庫 駅南支店	2014	環境選択式 タスクアンビエント空調システム	クール・ウォームソファ	ソファ	20
新大橋ビル	2014	膜放射空調 潜熱顕熱分離空調	4 要素空調方式	天井	21
大成技術センター ZEB 実証棟	2014	躯体放射冷房 外気処理兼用パーソナル床吹出空調	T-Personal Air Ⅲ	床	22
冨士機材中部支店	2014	床吹出し空調	―	床	23
大手門タワー・JX ビル	2015	天井放射空調 全熱交換機付潜顕分離空調 ヒートポンプデシカント空調	個別冷暖房付 オフィスデスク	机	24
東京ガス立川ビル (アースビル立川)	2015	全面床吹出し空調	パーソナル床吹出し口	床	15
アズビル株式会社 城南支社	2015	マルチ型パッケージエアコン	セル型空調システム 「ネクスフォート」	天井	25
ダイダン九州支社 スマートエネルギーラボ (エネフィス)	2016	天井放射空調 アクティブチルドビーム	―	天井	26
			クールスポット	天井	27
東テク本社	2017	マルチ型パッケージエアコン	セル型空調システム 「ネクスフォート」	天井	25
―	―	―	競技場用空調椅子 (カップホルダー同心円型吹出口)	椅子	28
―	―	―	競技場用空調椅子 (可変コアンダノズル型吹出口)	椅子	29
―	―	マルチ型パッケージエアコン	タスク・アンビエント一体型吹出口	天井	30

3. クールチェアの研究開発

3.1 開発の理念

表 6.1 と巻末付録のパーソナル空調の事例シートに示したように、パーソナル空調に関する既往の研究は非等温気流を用いたものが殆どであり、その構成は複雑である。近年開発されているものの多くもパーティションや天井、床下にシステムを組み込んだ建築設備一体型の方式が大半であり、操作性やオフィスのレイアウト変更に対応できない等の問題が懸念される。そこで筆者らは、等温気流発生装置を椅子に搭載し、体表面の対流熱伝達率を任意に調整可能なクールチェアの開発・研究を行ってきた[2)]。送風機能を椅子に具備する利点として、着衣と同様に断熱効果を有する椅子の座面あるいは背板から吸気・排気をとることで、身体に密着する部位に熱がこもらないように制御可能であること、人体に近い部分から気流を吹き出すことで、極めて高い自由度で任意の位置に好みの気流を当てることが可能になる、等が挙げられる。

3.2 クールチェア A 型

上記の開発理念のもとに実際のオフィスへの導入を目的として開発した椅子型タスクユニットの実用機（以下クールチェア A 型と記す。）を図 6.5 に示す。クールチェア A 型は両肘掛け、座面の各部に搭載した 3 台のファンから等温気流を吹き出すことにより、人体近傍の気流速度を調節できるモデルである。ユニットの ON-OFF 及び風量の調整は右肘掛け部側面のダイヤル式のスイッチにて行い、座面部ファンのみの使用や肘掛部のファンのみを使用するといった操作も可能である。座面部のファンからは少量の気流を一定の風量（12.0m³/h）で吹き出すことで、着席時の熱ごもりの解消が期待される。一方で両肘掛け部に搭載している小型ファンの風量は 5 段階（18.5~27.0m³/h）の間で調節可能であり、最大風量時の音圧レベルは FL+1100 で 47dB である（暗騒音：30dB）。風向は図 6.6 に示す可動型の肘掛けとボール状の吹出し口の角度を調整することで、使用者好みの気流環境を単純明快な操作で実現可能である。クールチェア A 型の諸元を表 6.2 に、各部の詳細図を図 6.7 に示す。バッテリーには大容量のリチウムポリマー電池を採用し、最大風量時の連続稼働時間は 10 時間であるが着席荷重感知スイッチにより離席した際に無駄な電力は消費しないため、充電せずに一週間の使用を可能とした。

このクールチェア A 型は ZEB 化改修を図るオフィスに 40 脚導入し 3 年間にわたり使用実態の調査を行った[3-7)]。表 6.3 にクールチェア A 型を実際に使用した執務者から得た代表的な意見を示す。手軽に涼しくなれる、空調が切れたときに効果を発揮するといった好評的な意見がある一方で、肘掛け部吹出し口の可動範囲が狭く意図した部位に気流を当てられない、背中に気流が当たらない、姿勢の変化によっては気流が届かない、椅子本来の機能である肘掛けの上下動が出来ない等、操作性に関する改善点が露呈した。また、騒音に関する意見やバッテリーの故障が多発する問題についてはファンを 3 つ搭載しているクールチェア A 型のハードウェア面に原因があり、椅子に組み込むユニットの軽装化の必要性が示唆された。

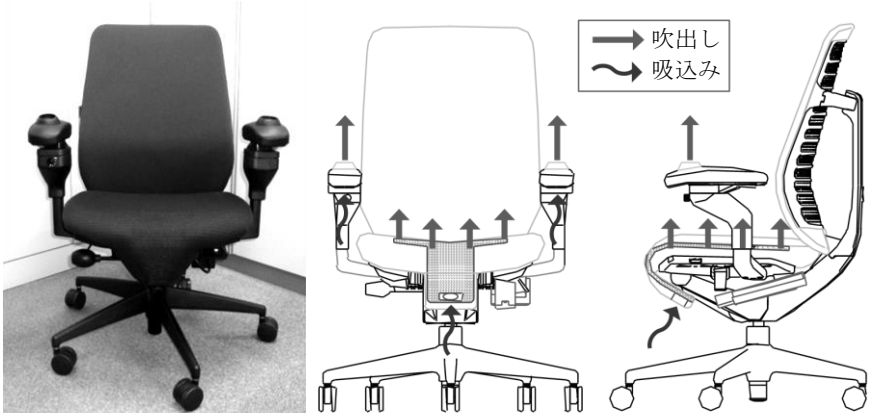


図 6.5　クールチェア A 型

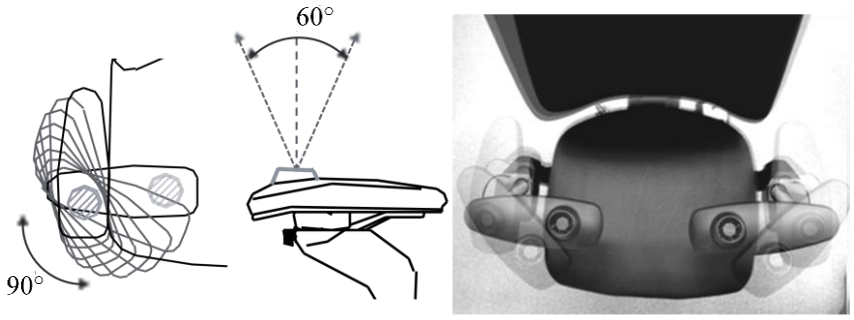


図 6.6　肘掛部ファンの可動域

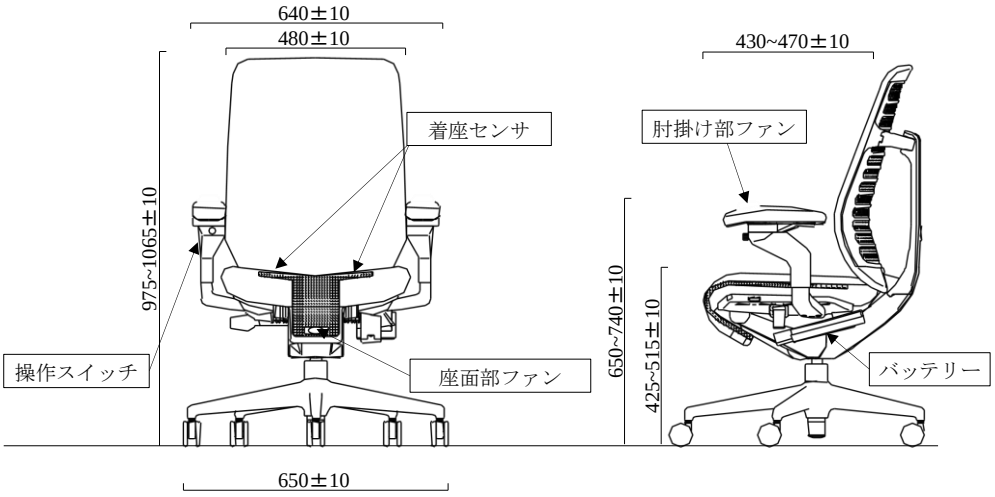


図 6.7　詳細図

表 6.2　クールチェア A 型の緒元

機能等		仕様
材質	背板部材	ポリプロピレン樹脂
	背板部クッション材	ウレタン
	座面部クッション材	ウレタン
送風機取付箇所		両肘掛け部，座面の下部
吹出し口の気流速度	肘掛け部	最大 5.5m/s
	座面部	0.3m/s
風量	肘掛け部	18.5～27.0m³/h　（左右合計）
	座面部	12.0m³/h
風量調節	肘掛け部	5 段階ダイヤル
	座面部	一定
ファン消費電力		最大 5W
連続稼働時間		最大風量時 10 時間
充電消費電力量		400Wh（充電時間 4 時間）
音圧レベル		最大風量時 47dB（暗騒音 30dB）
バッテリー		リチウムポリマー 5Ah, DC10.5～12.6V, 最大出力 20A

表 6.3　クールチェア A 型使用者の意見

好評な意見		手軽に涼しくなる
		空調が切れたときに効果を発揮する
		腋の下に当たる気流が気持ち良い
		着席荷重感知スイッチがあるから， 煩わしい操作がいらない
改善点	操作性に関して	吹出し口（肘掛け）の回転範囲が狭い
		背中に気流が届かない
		姿勢によっては気流が当たらない
		吹出し口（肘掛け）の上下動ができない
	椅子本体に関して	ファンの音がうるさい
		バッテリーの故障が多発
		バッテリーのもちが悪い
		肘掛けが大きくて机に椅子が入らない

3.3 メッシュチェアをベースとしたクールチェア B 型の開発

3.3.1 クールチェア A 型とメッシュチェアの熱的特性比較

本実験では、クールチェアの温冷感調節機能を送風機による噴流に依存するシステムからの低減を目指し、座面と背板が通気性に優れたメッシュ素材を用いた椅子（以下メッシュチェアと記す。）の熱的な特性を評価した。

1)　実験の概要

本実験は表 6.4 に示すクールチェア A 型及びメッシュチェア、また比較対象として、座面部・背板部のクッション材にウレタンを用いた一般的なオフィスチェアを評価対象とし、椅子の機能や素材による熱特性の違いをサーマルマネキンを用いて検証した。メッシュチェアには座面部・背板部に透過性の高いポリエステル弾性メッシュが使用されている。

実験は工学院大学地震防災・環境センター内、居住環境制御システム比較実験装置（KTC）にて実施した。表 6.5 に実験条件を示す。空気温度は冷房設定温度緩和時を想定した 28°C とし、相対湿度は 50%とした。放射温度は室温に等しく、室内気流は全面床吹出し空調による静穏気流とした。図 6.8 に実験時の様子を示す。本実験に用いたサーマルマネキンは全身が 22 分割（図 6.9、表 6.6）された発熱体であり、皮膚表面温度は式（6-1）を満たすように、環境との熱交換の収束値として制御されている。

サーマルマネキンの着衣量は夏期クールビズを想定した 0.51clo とし、背中が椅子の背板に密着する姿勢の状態で皮膚温度の時間変動が十分安定するまで計測した。また、クールチェア A 型着席時には、座面部、肘掛け部の両ファンを稼働し、肘掛け部からは最大風量でサーマルマネキンの胸部から顔面へ向けて気流を噴射した。

$$t_s = 36.4 - 0.054Q_t \qquad \cdots(6-1)$$

ここに,

t_s: 平均皮膚温度 [°C]

Q_t: 顕熱損失量 [W/m2]

表 6.4　実測対象椅子

クールチェア A 型	メッシュチェア	一般オフィスチェア

表 6.5　実験条件

空調方式		床吹出し，天井吸い込み
室内空気温度		28.0°C
平均放射温度		空気温度と等しい
相対湿度		50%RH
室内気流		静穏気流
サーマルマネキン	制御方法	コンフォート制御
	姿勢	椅座位
	着衣量	0.51clo

図 6.8　実験時の様子

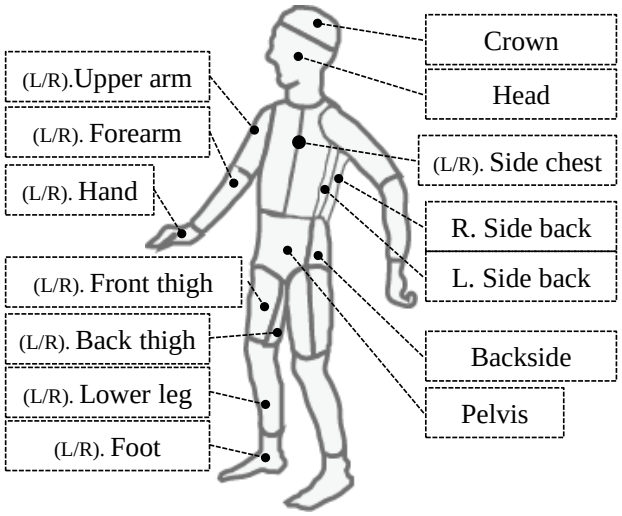


図 6.9　各部位の分割

表 6.6　各部位表面積

部位	表面積 [m²]
L. Foot	0.0520
R. Foot	0.0520
L. Lower leg	0.1140
R. Lower leg	0.1140
L. Front thigh	0.0962
R. Front thigh	0.0962
L. Back thigh	0.0962
R. Back thigh	0.0962
Pelvis	0.0451
Backside	0.0736
Head	0.0796
Crown	0.0524
L. Hand	0.0435
R. Hand	0.0435
L. Forearm	0.0409
R. Forearm	0.0409
L. Upper arm	0.0757
R. Upper arm	0.0757
L. Side chest	0.0893
R. Side chest	0.0893
L. Side back	0.0893
R. Side back	0.0893
All	1.6447

2)　実験結果

a.　皮膚温度

図 6.10 にサーマルマネキンの部位別皮膚温度を示す。クールチェア A 型では肘掛け部からの気流の影響で、Head が他の椅子と比較して顕著に低い結果となった。また、直接気流を向けていない Hand と Forearm においても皮膚温度の低下が見られるため、肘掛け部からの気流は広範囲へ拡散していると思われる。着席時に椅子と密着する Backside 及び Back thigh は座面部のファンの効果により、一般オフィスチェアと比較すると皮膚温度の低下が認められるが、最も低い数値を記録したのはメッシュチェアであった。

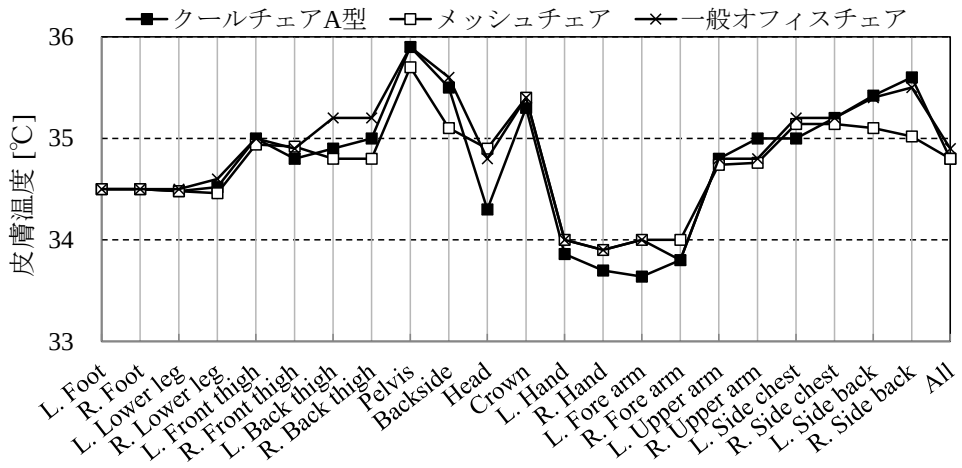


図 6.10　サーマルマネキン部位別皮膚温度

b.　等価温度

図 6.11 にサーマルマネキンによって測定されたデータと式 (6-2) 及び式 (6-3) から算出した、一般オフィスチェア着席時（着衣）を基準とした各部位の等価温度を示す。等価温度は実際の環境下でのサーマルマネキンの熱損失と等量の熱損失を生じる均一温熱環境時の作用温度と定義される [8]。ここで均一環境とは、空気温度と平均放射温度が等しく、静穏気流、相対湿度 50%、上下温度分布のない温熱環境を意味する。作用温度では人体が発熱体であるという点が考慮されていないため、クールチェア A 型の気流や、メッシュチェアの素材による冷却効果を評価できないため、等価温度を用いて各椅子を比較した。

全身に関して,

$$t_{eq} = t_s - 0.155\left(I_{cl} + \frac{I_a}{f_{cl}}\right)Q_t \qquad \cdots(6-2)$$

各部位に関して,

$$t_{eqi} = t_{si} - 0.155\left(I_{clI} + \frac{I_{ai}}{f_{cli}}\right)Q_{ti} \qquad \cdots(6-3)$$

ここに,

t_{eq}: 等価温度 [°C]
I_{cl}: 基礎着衣熱抵抗値 [clo]
I_a: 裸体時皮膚表面熱抵抗値 [clo]
f_{cl}: 着衣面積比 [−]

ここで，iは各部位を表す

I_aは、メッシュチェア着席時の裸体状態のサーマルマネキンのデータから算出し、各椅子の条件で同一の値を使用した。また、標準条件として一般オフィスチェア着席時（着衣）の温熱環境を基準と定めたので、一般オフィスチェアの等価温度は環境の作用温度である 28.0°C と等価となっている。メッシュチェアの等価温度は Backside で 21.2°C と、クールチェア A 型の座面ファン使用時である 25.7°C と比較して大幅に低い結果となった。また、その他の着席時に椅子と密着する部位である Back thigh、 Side back においてもメッシュチェアの等価温度が一番低く、通気性素材の効果が顕著に表れる結果となった。肌の露出部であり、クールチェア A 型の気流に直接暴露される Head、 Crown、 Hand、 Forearm においては、その冷却効果が見て取れるが、全身の等価温度に関してはクールチェア A 型が 27.2°C であるのに対してメッシュチェアが 27.0°C となり、通気性素材の着席時における熱抵抗の低さが全身の等価温度に与える影響は非常に大きいと言える。

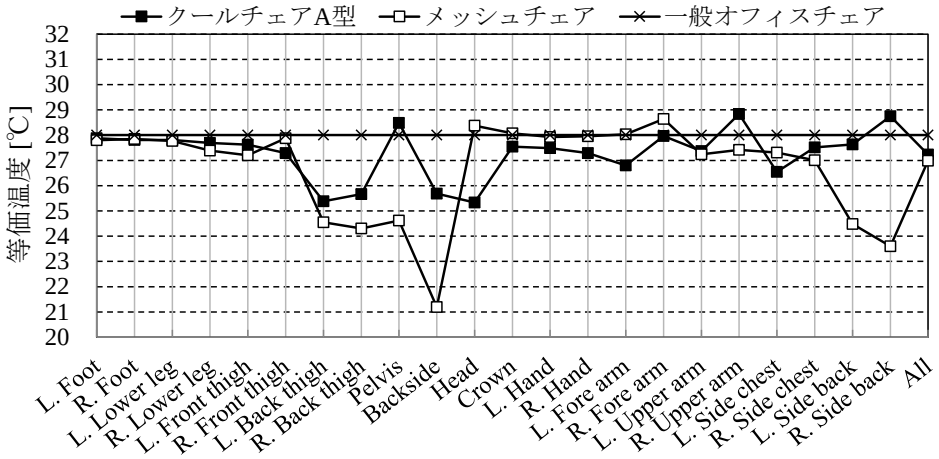


図 6.11　サーマルマネキン部位別等価温度

c.　クールチェア B 型

メッシュチェアの熱的な特性として、サーマルマネキンによる全身の等価温度はクールチェア A 型稼働時と同程度の値が示された。しかしながら、クールチェア A 型を自ら操作して獲得した環境と、メッシュチェアを与えられて得た環境とでは、同一の物理環境においてもその受容性は異なると推察できる。したがって、メッシュチェアに環境選択権を備えることで、在室者が受動的に温熱環境を与えられる状況の回避と同時に、通気性素材の長所である、身体の裏側からの放熱を最大限に助長するタスクユニットを目指したクールチェア B 型（図 6.12）を開発した。

クールチェア B 型は通気性素材である座面部と背板部に沿わせるように気流を吹き付けることで、着席時に熱がこもる臀部と人体からの主要な放熱面である背中を効率的に冷却可能である。図 6.13 に各部の詳細を、図 6.14 に給気装置の概要を示す。クールチェア A 型では左右の肘掛け部及び座面部に計三台の小型ファンを搭載していたが、クールチェア B 型では通気性素材の特性を効果的に利用することで小型の軸流ファン一台から給気を行うこととし、必要な電力も削減された。バッテリーには一般的なリチウムイオンによる USB モバイル電源を採用している。背板下部の給気装置からは座面と背板に沿わせて少量の気流を吹き出すが、両サイドに接続されたフレキシブルホースからは身体の任意の部位に気流を当てることが可能である。表 6.7 にクールチェ

ア B 型の諸元を示す。風量は座面部、背板部で各 2.0~3.0m³/h、フレキシブルホースが 10.0~15.0m³/h の範囲で座面部右側部のダイヤルにより無段階で調節可能であり、最大風量時の音圧レベルは FL+1100 で 44dB である（暗騒音：30dB)。ユニットの ON-OFF は USB モバイル電源にて行うが、着席荷重感知スイッチにより電源を入れたまま離席してもユニットは停止する。また、最大風量時の連続稼働時間は 12 時間であり、通常の使用状況下であれば 1 週間は充電不用である。

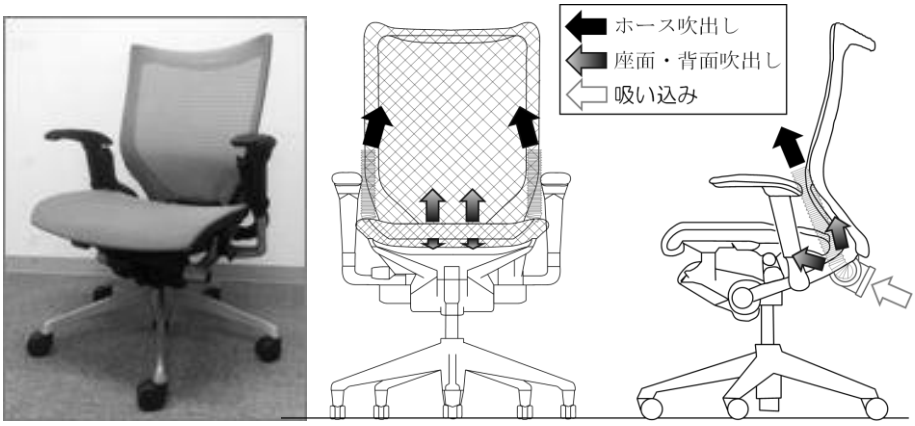
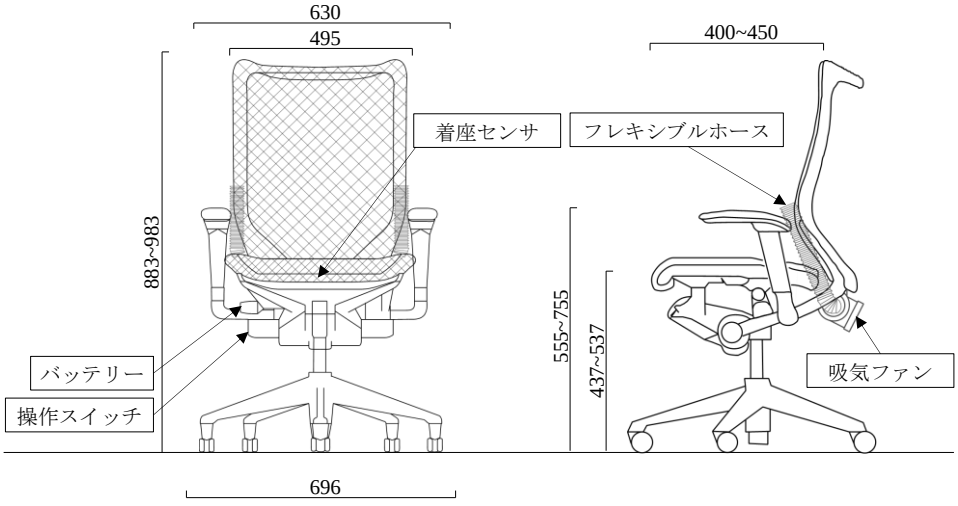


図 6.12　クールチェア B 型



給気ファン　フレキシブルホース　バッテリー　風量調節ダイヤル

図 6.13　詳細図

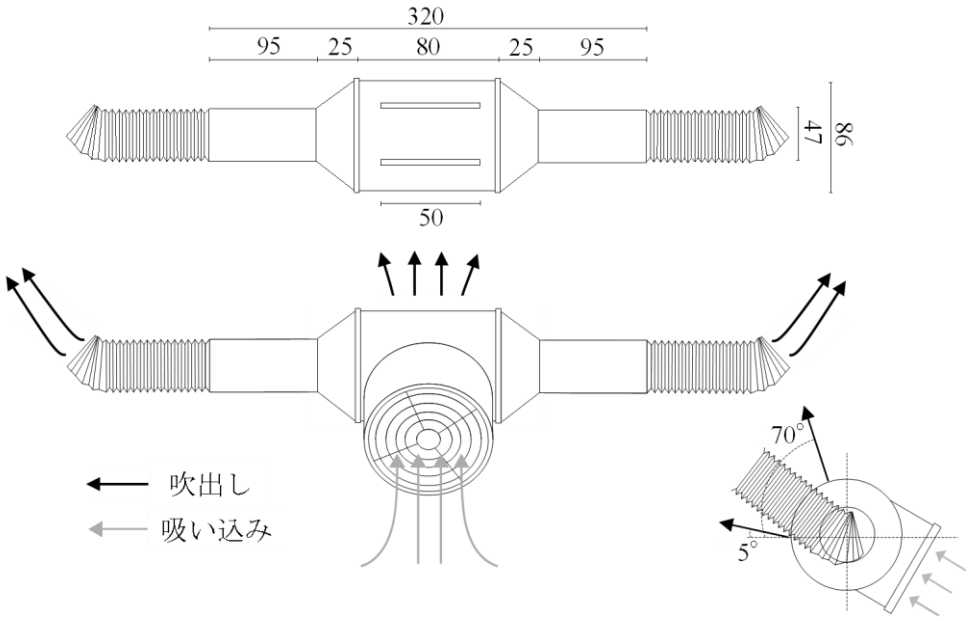


図 6.14　吸気装置概要

表 6.7　クールチェア B 型の緒元

機能等		仕様		
材質	背板部張り地	弾性ポリエステルメッシュ	メッシュ	7
			線径	2.0mm
	座面部張り地		目開き	2.0mm
			開孔率	25%
送風機取付箇所		背板の下部		
吹出し口の気流速度	フレキシブルホース	最大 3.0m/s		
	座面部	最大 3.4m/s		
	背板面	最大 3.4m/s		
風量	フレキシブルホース	10.0~15.0m³/h　（左右合計）		
	座面部	2.0~3.0m³/h		
	背板部	2.0~3.0m³/h		
風量調節		無段階ダイヤル		
ファン消費電力		最大 3W		
連続稼働時間		最大風量時 12 時間		
充電消費電力量		100Wh（充電時間 4 時間）		
音圧レベル		最大風量時 44dB（暗騒音 30dB）		
バッテリー		リチウムイオン 8.1Ah, DC5V, 定格出力 1.5A（代用可）		

3.4 クールチェア A 型とクールチェア B 型の熱的特性比較

3.4.1 実験の概要

本実験では三次元超音波風速計及びサーマルマネキンを用いて新たに開発したクールチェア B 型をクールチェア A 型と比較して評価した。また、環境試験室の条件については 3.3.1 節で述べた内容と等しいため、ここでは割愛する。クールチェアについては、A 型と B 型共に最大風量でサーマルマネキンの胸部から顔面へ向けて気流を噴射した。サーマルマネキンは背中が椅子の背板に密着する姿勢としたが、クールチェア B 型においては前傾姿勢時における体表面風速分布についても計測した。クールチェア A 型における熱的特性の評価は 3.3.1 節で述べているが、同一条件でも着衣熱抵抗は衣服の状態や気流吹出し角度の誤差により変化するため、再度計測を実施した。

1)　実験結果

a.　体表面風速

図 6.15 および図 6.16 に各クールチェアの体表面の風速分布を示す。クールチェア A 型は顔近傍で 0.7m/s、胸部で 0.9m/s であり、一方でクールチェア B 型は顔近傍で 1.0m/s、腰から背中にかけて 1.1~0.3m/s、座面下で 0.5m/s であった。

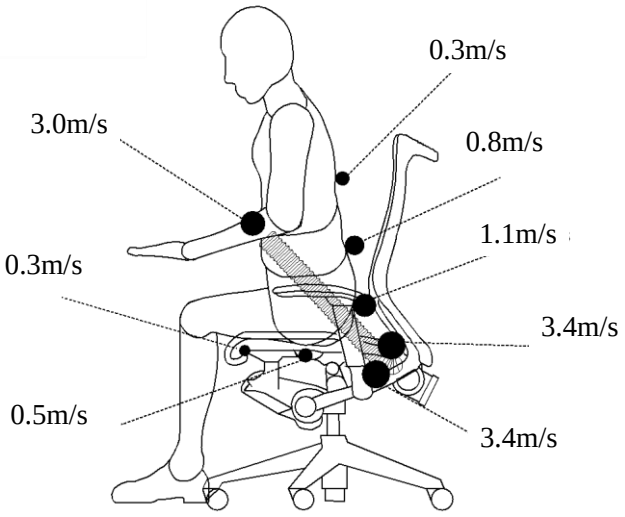
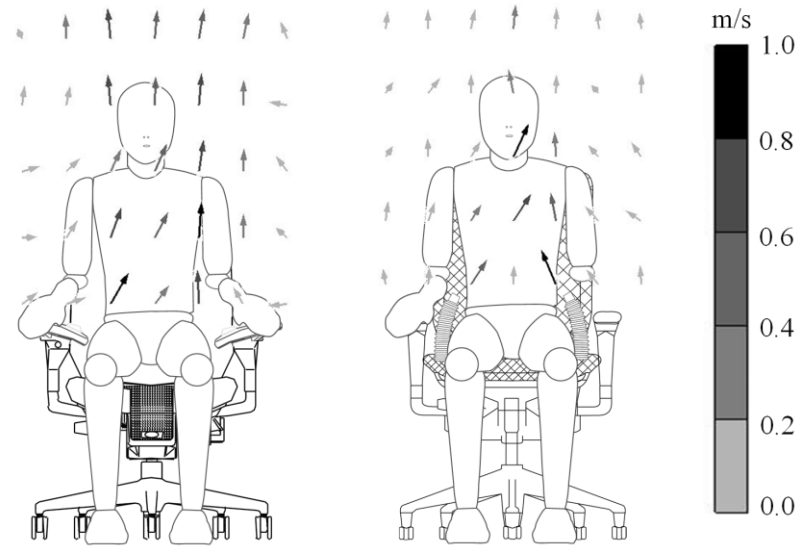


図 6.15　クールチェア B 型の体表面風速（側面）



クールチェア A 型　　クールチェア B 型

図 6.16　体表面風速（正面）

b.　等価温度

図 6.17 にサーマルマネキンデータと式（6-2）及び式（6-3）から、一般オフィスチェア椅座着衣時の熱抵抗を標準条件として算出した各部位の等価温度を示す。椅子との接触面である Backside や Side back といった部位において、クールチェア B 型の等価温度が顕著に低い結果となり、座面部と背板部に沿わせる気流の効果が認められた。また、気流を直接向けた Head や Chest についても等価温度の低下が見られ、また全身（All）ではクールチェア A 型が 27.2°C であるのに対してクールチェア B 型は 26.5°C であった。したがって、クールチェア B 型の通気性素材と気流を併用した冷却効果は、クールチェア A 型を上回ることが確認された。

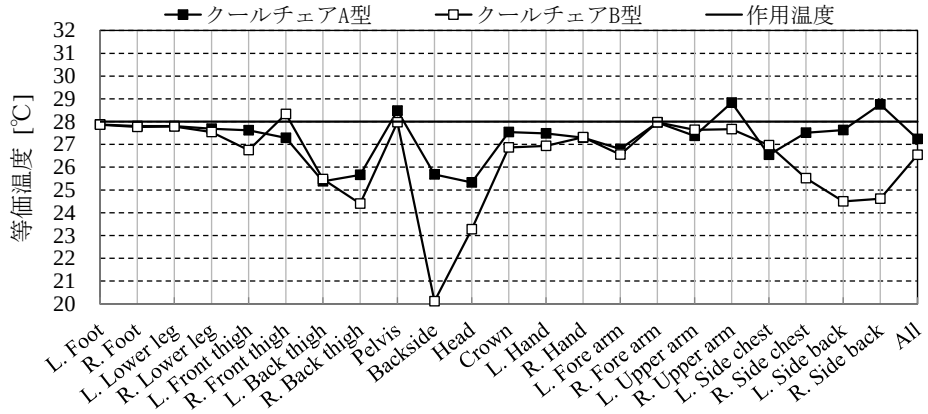


図 6.17　サーマルマネキン部位別等価温度

4. 確率論的温熱受容性評価法を用いたパーソナル空調の評価

4.1 クールチェアの評価

4.1.1 執務空間における標準的な変更要求温度分布の導出

クールチェアをオフィスビルに導入した際の有効性を評価するに先立ち、第 5 章の 4.3 節で示した 4 箇所の建物における P-R チャートの適用結果より、一般的な対流空調及び、温熱的な均斉度の高い空間を創出できる放射空調や全面床吹出し空調が採用された執務空間における標準的な変更要求温度の分布を算出した。

図 6.18 にそれぞれの建物における変更要求温度の分布を示す。放射空調の N ビルと全面床吹出し空調の T ビルでは、裾野の幅が狭く頂点が高く形作られることから、対流空調の建物と比較して温熱的な均斉度の高い環境を実現できている。

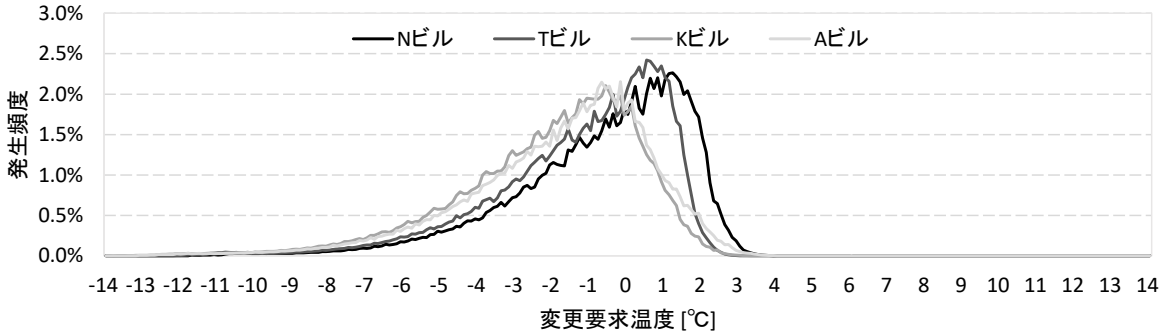


図 6.18　4 箇所の建物における変更要求温度の分布（階級幅：0.1）

温熱的な均斉度の高い空間を創出できる放射空調や全面床吹出し空調と一般的な対流空調の特性を比較するために算出した標準的な変更要求温度の分布を図 6.20 に示す。標準的な変更要求温度の分布は以下の 3 つのステップから算出した。

① 図 6.18 に示した 4 箇所の建物において、変更要求温度の最頻値との乖離の確率分布を求める（図 6.19）。
② 図 6.19 の確率分布において、マルチパッケージ型空調機が採用された K ビルと A ビルの平均値を一般的な対流空調の温熱的特性と定義する。
③ 図 6.19 の確率分布において、放射空調の N ビルと全面床吹出し空調の T ビルの平均値を温熱的均斉度の高い環境の標準的な特性と定義する。

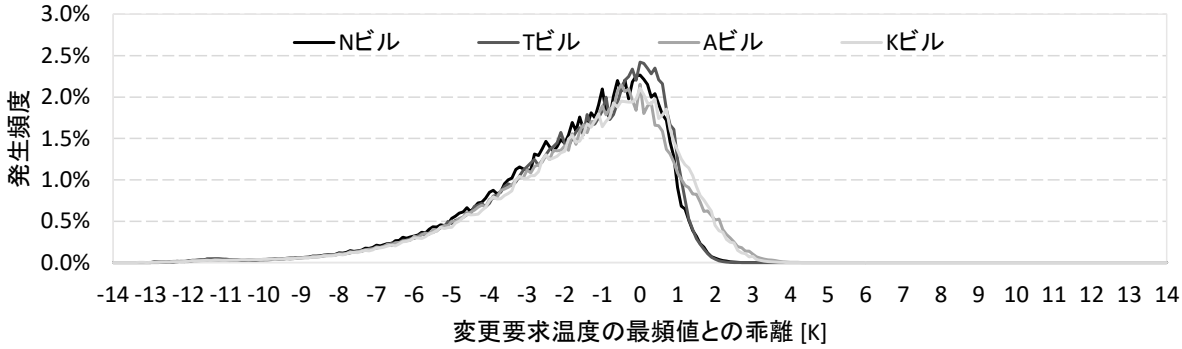


図 6.19　標準的な変更要求温度の分布（階級幅：0.1）

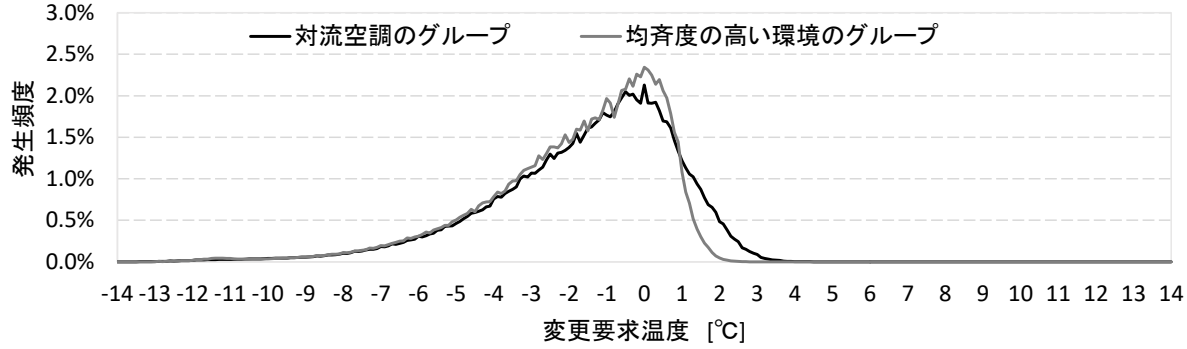


図 6.20　標準的な変更要求温度の分布（階級幅：0.1）

4.1.2 クールチェア導入時の最適なアンビエント環境と熱的中立を満足する執務者の割合

表 6.8 にクールチェア導入時の最適なアンビエント環境と熱的中立を満足する執務者の割合を示す。クールチェアの環境制御範囲は図 6.17 に示したサーマルマネキンによる全身等価温度と環境の作用温度の差と定義し、クールチェア A 型では-0.8℃、クールチェア B 型では-1.5℃であると仮定した。また、熱的中立を満足する執務者の割合については、図 6.20 の標準的な変更要求温度の確率分布におけるクールチェアの環境制御範囲で得られる最大値とし、最適なアンビエントの環境温度については確率論的温熱受容性評価法（P-R チャート）を逆算することで導出した。ここでは一例として、クールチェア B 型を熱的均斉度の高い環境に導入した際の評価を説明する。第 5 章で述べたように変更要求温度の確率密度関数は$f_C(r,p)$は、環境温度の確率密度関数$f_P(p)$、要求温度の確率密度関数$f_R(r)$の同時確率密度関数として定義した。クールチェア B 型を導入することで、熱的中立を満足できる執務者の割合は、環境制御範囲である 1.5℃に囲まれた変更要求温度の確率密度関数$f_C(r,p)$の面積となり、$\int_{n-1.5}^{n} f_C(r,p)$で表される。このとき、$\int_{n-1.5}^{n} f_C(r,p)$が最大となる n を求めると 0.6 となり、熱的中立を満足する執務者は 34%であった。これは変更要求温度の最頻値が-0.6℃となるように環境温度を設定することで、熱的中立を満足する執務者が最大の 34%となることを意味している。また、変更要求温度の最頻値が-0.6℃となる環境温度を P-R チャートから逆算すると 27.5℃となる。従って、環境制御範囲が-1.5℃のクールチェア B 型を熱的均斉度の高い環境に導入時に最適なアンビエント環境温度の設定目標値は 27.1℃であり、熱的

中立を満足する執務者の割合は 34%となる。以下に示す P-R チャートの階級幅は便宜上 1.0℃の見た目としてあるが、実際は階級幅 0.1℃の確率分布として計算している。

表 6.8　クールチェア導入時の最適なアンビエント環境と熱的中立を満足する執務者の割合

		一般的な対流空調	均斉度の高い環境
クールチェア A 型（制御範囲：-0.8℃）	アンビエントの環境温度	27.1℃	27.3℃
	熱的中立を満足する執務者の割合	18%	20%
クールチェア B 型（制御範囲：-1.5℃）	アンビエントの環境温度	27.3℃	27.5℃
	熱的中立を満足する執務者の割合	31%	34%

1) クールチェア A 型

図 6.21 から図 6.24 にクールチェア A 型（環境制御範囲：-0.8℃）を一般的な対流空調の空間及び温熱的均斉度の高い空間に導入した際の P-R チャートの結果と熱的中立を満足する執務者の割合をそれぞれ示す。クールチェア A 型導入時において、熱的中立を満足する執務者の割合が最も高くなるアンビエントの環境温度の条件は、対流空調が 27.1℃、温熱的均斉度の高い環境では 27.3℃となった。両者のアンビエント環境の条件に 0.2℃の差がある理由として、対流空調の環境では冷却機能のみのクールチェアでは温度を上げたい側の要求を満足させることができないので、アンビエントの環境温度を要求温度の最頻値（26.9℃）に近づけることで熱的中立を実現できる執務者の割合が最も高くなった。また、熱的中立を実現できる執務者の割合は対流空調の環境で 18%であるのに対して、温熱的均斉度の高い環境では温度を上げたい側の要求が少ないため 20%に向上する。従って、アンビエントの温熱環境によってもパーソナル空調の効果は異なり、放射空調や全面床吹出し空調のように、温熱的均斉度の高い環境を実現できるシステムとパーソナル空調の高い親和性を確認した。

2) クールチェア B 型

図 6.25 から図 6.28 にクールチェア B 型（環境制御範囲：-1.5℃）を一般的な対流空調の空間及び温熱的均斉度の高い空間に導入した際の熱的中立を満足する執務者の割合をそれぞれ示す。熱的中立を満足する執務者の割合が最も高くなるアンビエントの環境温度の条件は、対流空調が 27.3℃、温熱的均斉度の高い環境では 27.5℃となり、クールチェア A 型導入時よりも 0.2℃緩和される結果となった。一方で、熱的中立を満足できる執務者の割合は、一般的な対流空調で 31%、温熱的均斉度の高い環境では 34%であることを確認した。従って、クールチェア A 型と比較して、クールチェア B 型が導入された空間では、0.2℃のアンビエント環境温度の緩和が可能になり、さらに熱的中立を満足する執務者の割合は、対流空調の空間では 13%、温熱的均斉度の高い空間では 14%の向上が見込まれる。

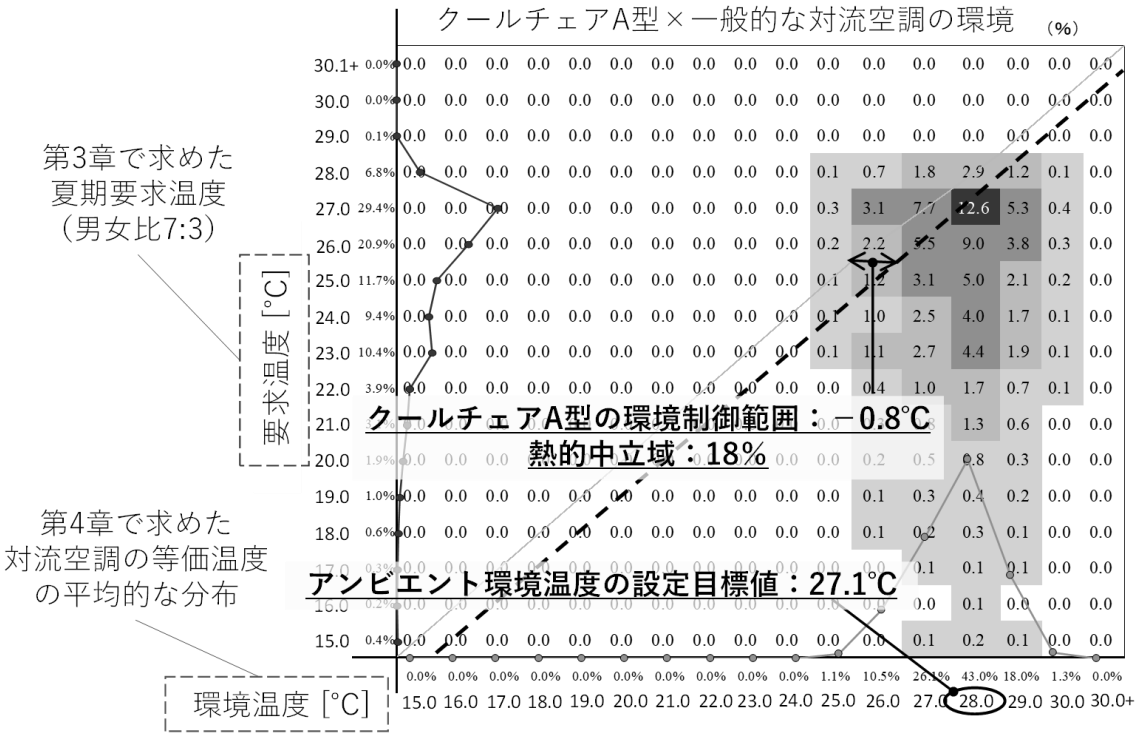


図 6.21　クールチェア A 型導入時の P-R チャート（一般的な対流空調の環境）

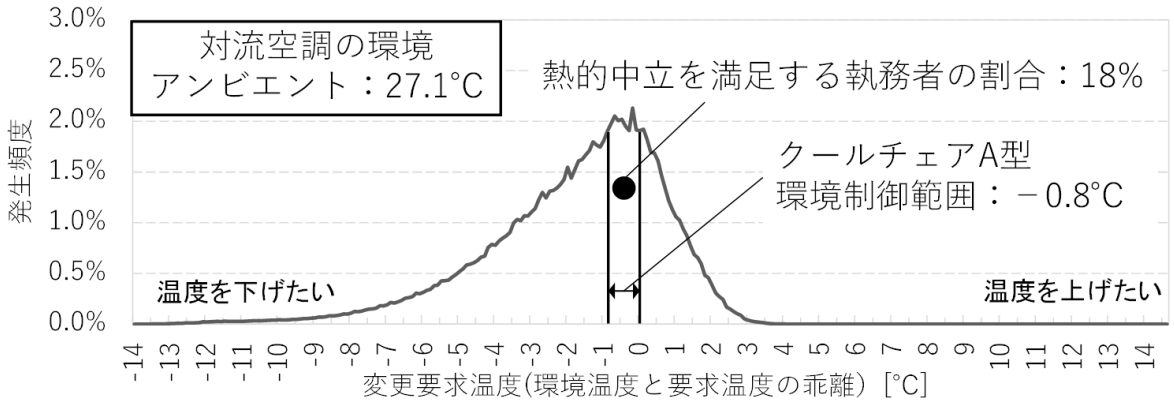


図 6.22　一般的な対流空調の環境における
クールチェア A 型導入時の熱的中立を満足する執務者の割合
（アンビエントの環境温度目標値：27.1℃）

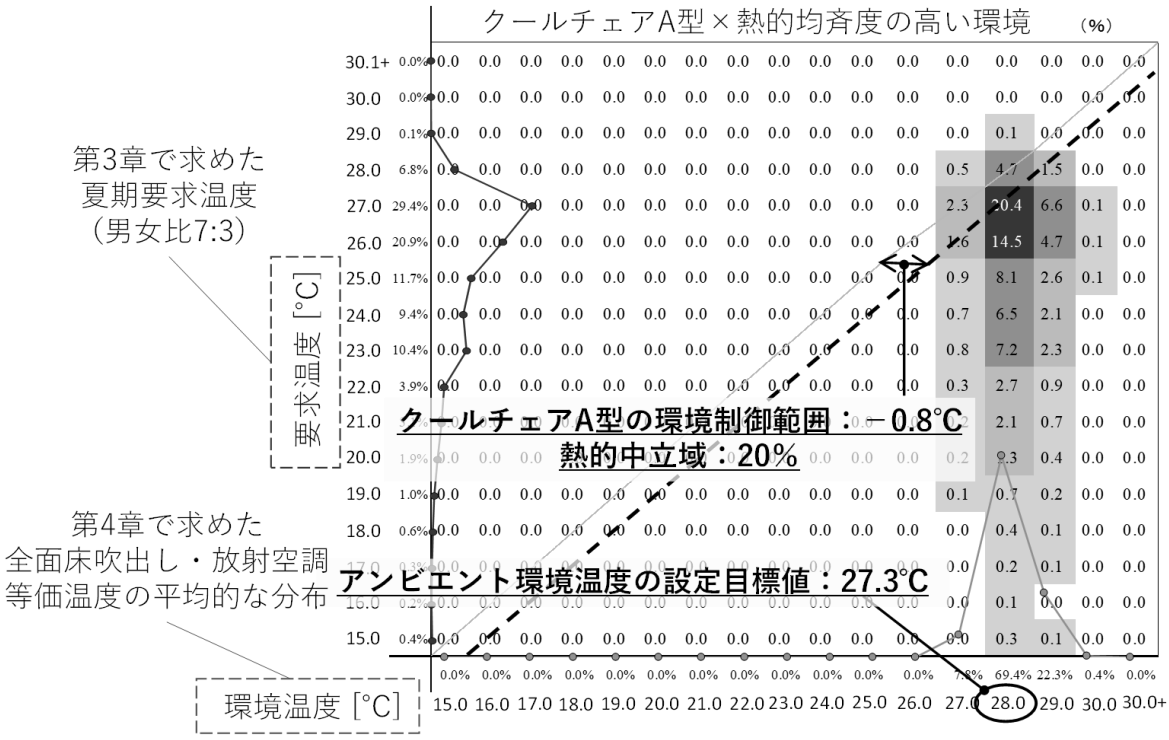


図 6.23　クールチェア A 型導入時の P-R チャート（熱的均斉度の高い環境）

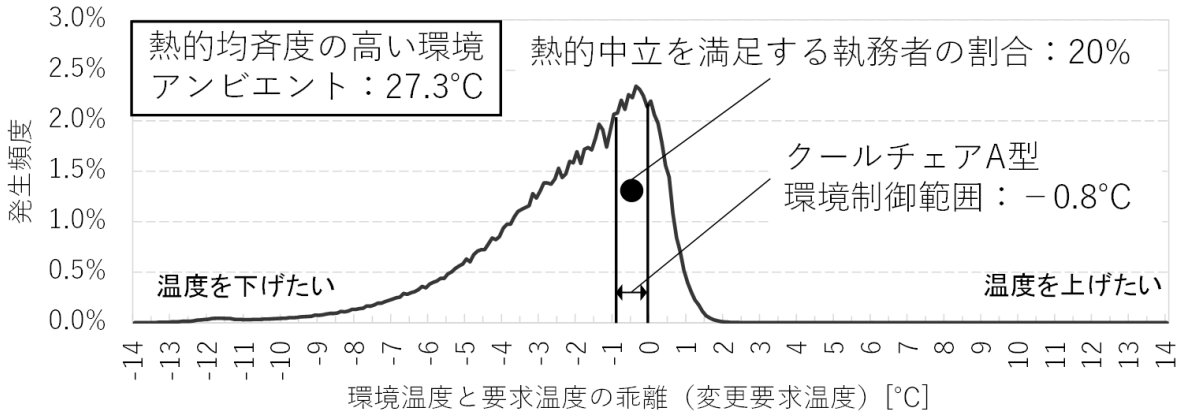


図 6.24　温熱的均斉度の高い環境における
クールチェア A 型導入時の熱的中立を満足する執務者の割合
（アンビエントの環境温度目標値：27.3℃）

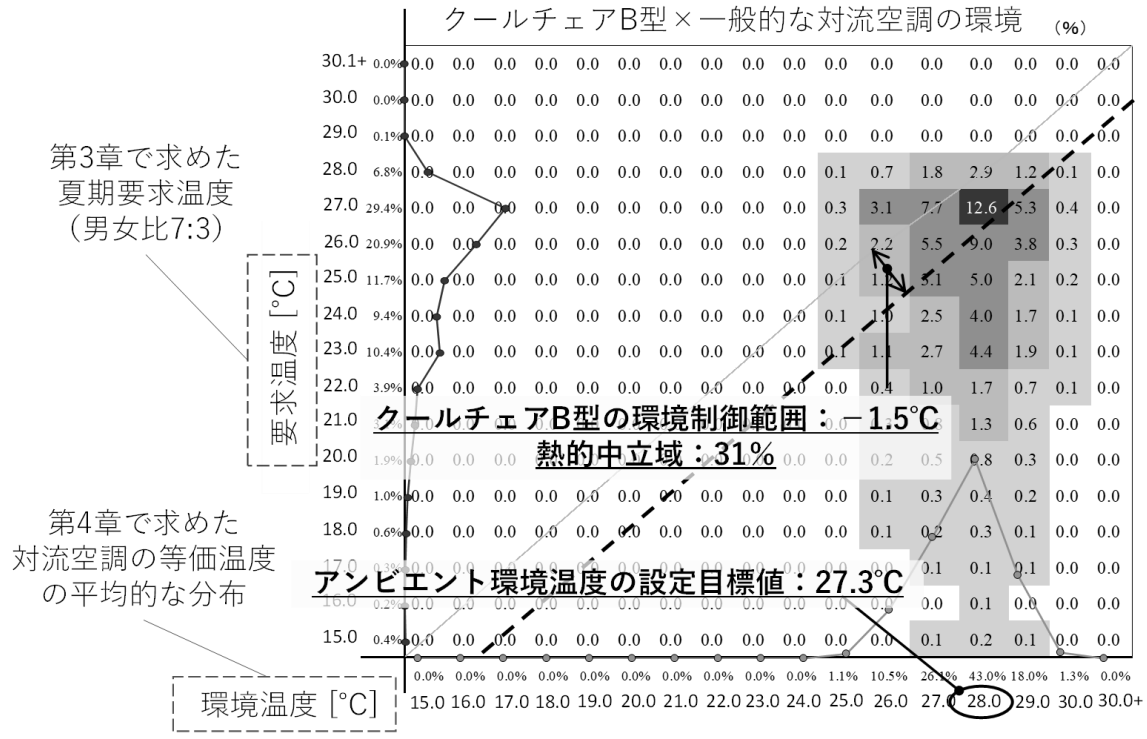


図 6.25　クールチェア B 型導入時の P-R チャート（一般的な対流空調の環境）

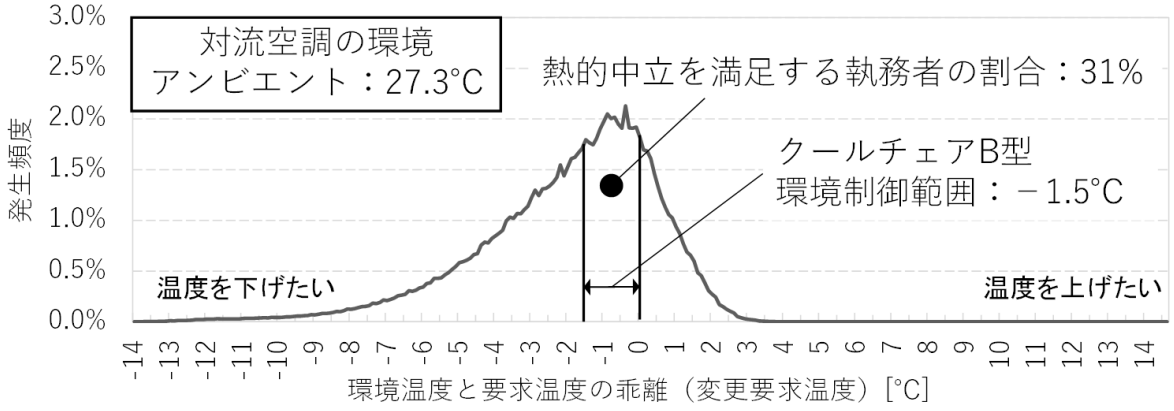


図 6.26　一般的な対流空調の環境における
クールチェア B 型導入時の熱的中立を満足する執務者の割合
（アンビエントの環境温度目標値：27.3℃）

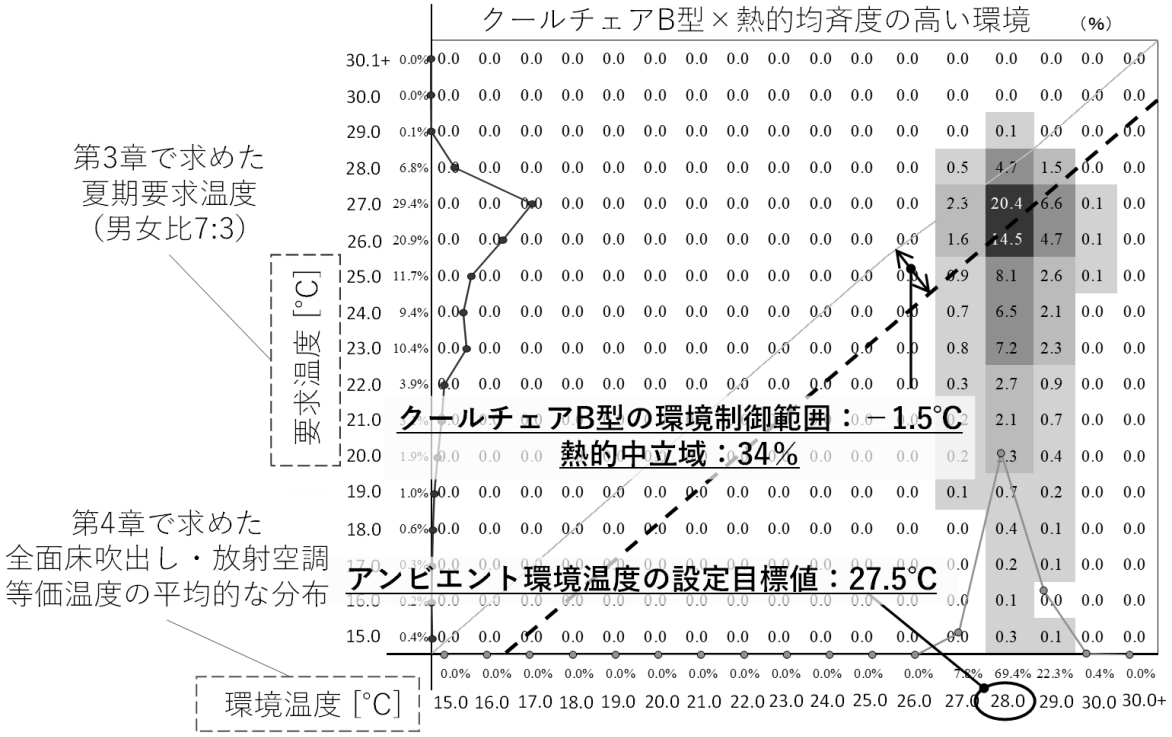


図 6.27　クールチェア B 型導入時の P-R チャート（熱的均斉度の高い環境）

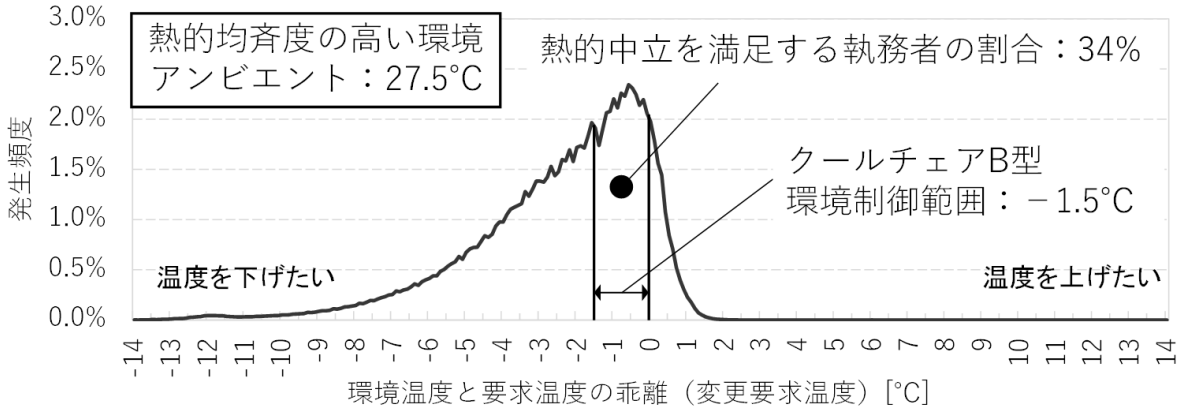


図 6.28　温熱的均斉度の高い空間における
クールチェア B 型導入時の熱的中立を満足する執務者の割合
（アンビエントの環境温度目標値：27.5℃）

4.2 パーソナル空調の環境選択幅とアンビエント環境に関する考察

パーソナル空調の導入により、熱的中立を満足する執務者の割合が 50%に達する条件と 75%に達する条件をそれぞれ導出した。表 6.9 に一般的な対流空調及び温熱的均斉度の高い環境にパーソナル空調を導入した際の検討結果をそれぞれ示す。この検討では、変更要求温度の確率密度関数$f_C(r,p)$を定積分した際に、50%と 75%になる最小の区間をパーソナル空調に必要な環境制御範囲と定義した。また、その際の環境温度の設定値は確率論的温熱受容性評価法を逆算することで導出した。

表 6.9　クールチェア導入時の最適なアンビエント環境と熱的中立を満足する執務者の割合

			熱的中立を満足する執務者の割合	
			50%	75%
一般的な対流空調	冷却＋加熱	アンビエントの環境温度目標値	26.3℃	25.9℃
		環境制御範囲	±1.4℃	±2.5℃
	冷却機能のみ	アンビエントの環境温度目標値	27.7℃	28.4℃
		環境制御範囲	−2.8℃	−5.0℃
均斉度の高い環境	冷却＋加熱	アンビエントの環境温度目標値	26.4℃	25.7℃
		環境制御範囲	±1.3℃	±2.2℃
	冷却機能のみ	アンビエントの環境温度目標値	27.7℃	27.9℃
		環境制御範囲	−2.6℃	−4.4℃

1) 50%の執務者が熱的中立を実現できるパーソナル空調の条件（冷却＋加熱）

図 6.29 と図 6.30 に冷却と加熱の両機能を有するパーソナル空調を導入した際に 50%の執務者が熱的中立を実現できるために必要な環境制御範囲とアンビエントの環境温度の条件を示す。アンビエントの環境温度目標値は対流空調で 26.3℃、温熱的均斉度の高い環境で 26.4℃となった。また、パーソナル空調に必要な環境制御範囲は対流空調の環境で±1.4℃であるのに対して、温熱的均斉度の高い環境では±1.3℃であることから、放射空調や全面床吹出し空調の様な環境では、より小さい能力のパーソナル空調で 50%の執務者が熱的中立を実現できると思われる。

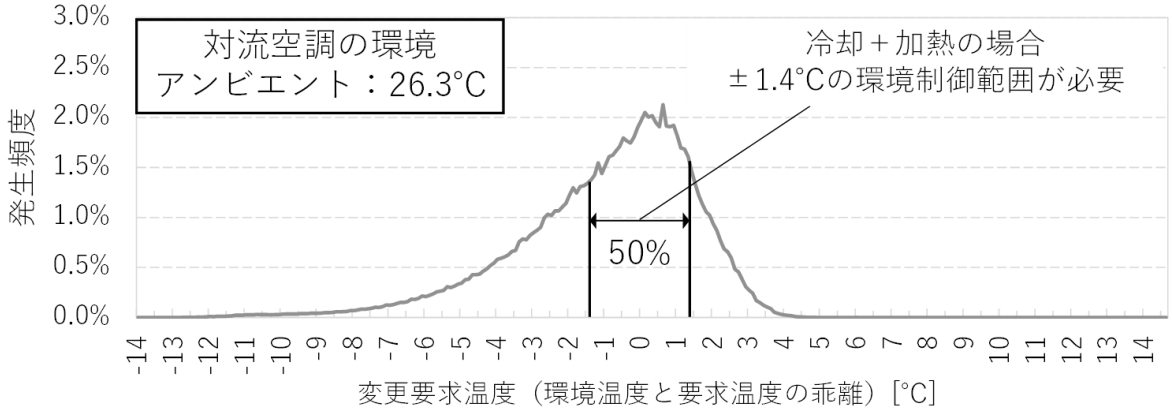


図 6.29 対流空調の空間におけるパーソナル空調導入時の熱的中立を満足する執務者の割合が 50%に達する条件
（アンビエントの環境温度目標値：26.3℃、環境制御範囲：±1.4℃）

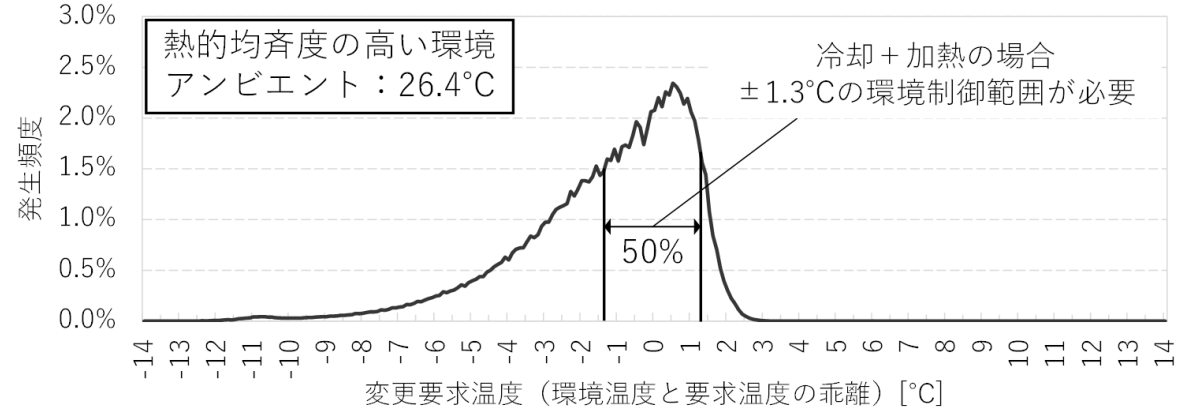


図 6.30 温熱環境の均斉度の高い空間におけるパーソナル空調導入時の熱的中立を満足する執務者の割合が 50%に達する条件
（アンビエントの環境温度目標値：26.4℃、環境制御範囲：±1.3℃）

2) 50%の執務者が熱的中立を実現できるパーソナル空調の条件（冷房機能のみ）

図 6.31 と図 6.32 に冷却機能のみを有するパーソナル空調を導入した際に 50%の執務者が熱的中立を実現できるために必要な環境制御範囲とアンビエントの環境温度の条件を示す。アンビエントの環境温度目標値は対流空調の環境と温熱的均斉度の高い環境のいずれにしても 27.7℃であり、冷却と加熱の両機能を有するパーソナル空調の導入時よりも高い環境温度の目標値が推奨される。また、パーソナル空調に必要な環境制御範囲は対流空調の環境で-2.8℃であるのに対して、温熱的均斉度の高い環境では-2.6℃であることから、放射空調や全面床吹出し空調とパーソナル空調の高い親和性が確認された。

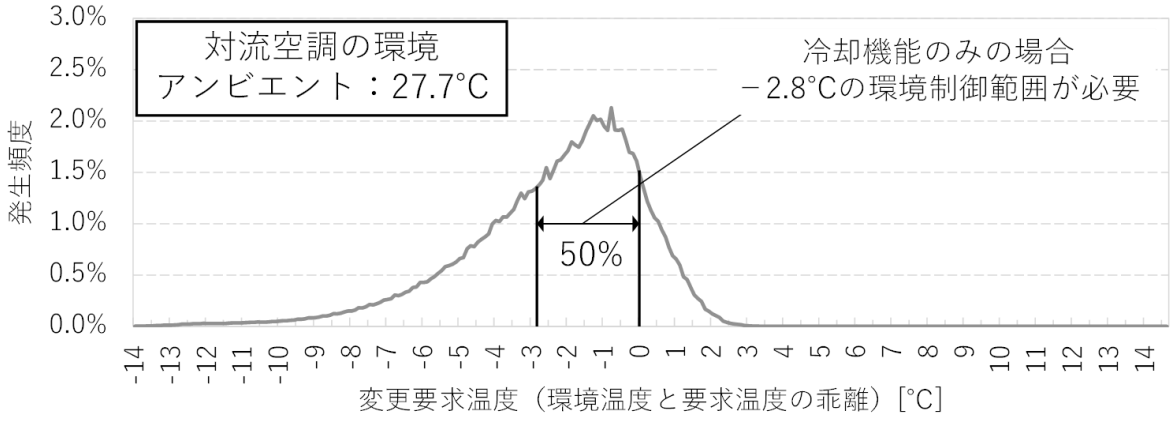


図 6.31 対流空調の空間におけるパーソナル空調導入時の熱的中立を満足する執務者の割合が 50%に達する条件
（アンビエントの環境温度目標値：27.7℃、環境制御範囲：-2.8℃）

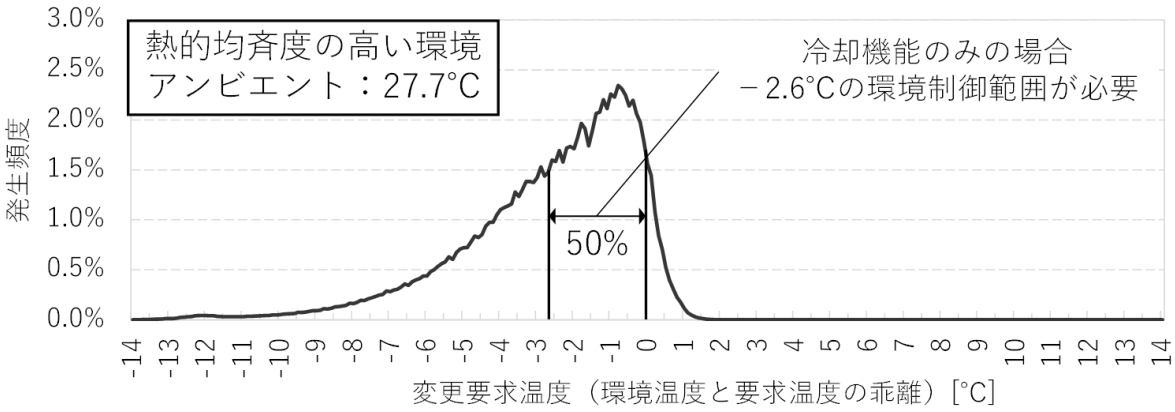


図 6.32 温熱環境の均斉度の高い空間におけるパーソナル空調導入時の熱的中立を満足する執務者の割合が 50%に達する条件
（アンビエントの環境温度目標値：27.7℃、環境制御範囲：-2.6℃）

3) 75%の執務者が熱的中立を実現できるパーソナル空調の条件（冷却＋加熱）

図 6.33 と図 6.34 に冷却と加熱の両機能を有するパーソナル空調を導入した際に 75%の執務者が熱的中立を実現できるために必要な環境制御範囲とアンビエントの環境温度の条件を示す。アンビエントの環境温度目標値は対流空調で 25.9℃、温熱的均斉度の高い環境で 25.7℃となった。また、パーソナル空調に必要な環境制御範囲は対流空調の環境で±2.5℃であるのに対して、温熱的均斉度の高い環境では±2.2℃であった。

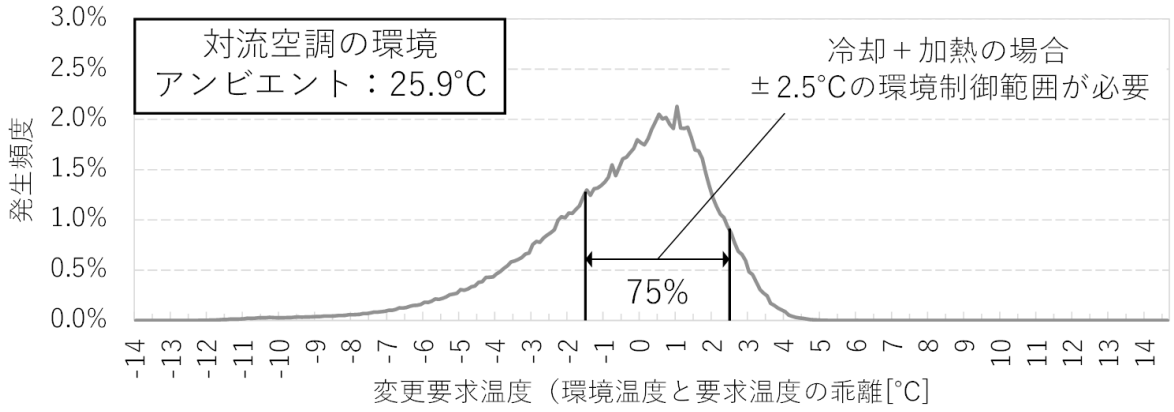


図 6.33 対流空調の空間におけるパーソナル空調導入時の熱的中立を満足する執務者の割合が 75%に達する条件
（アンビエントの環境温度目標値：25.9℃、環境制御範囲：±2.5℃）

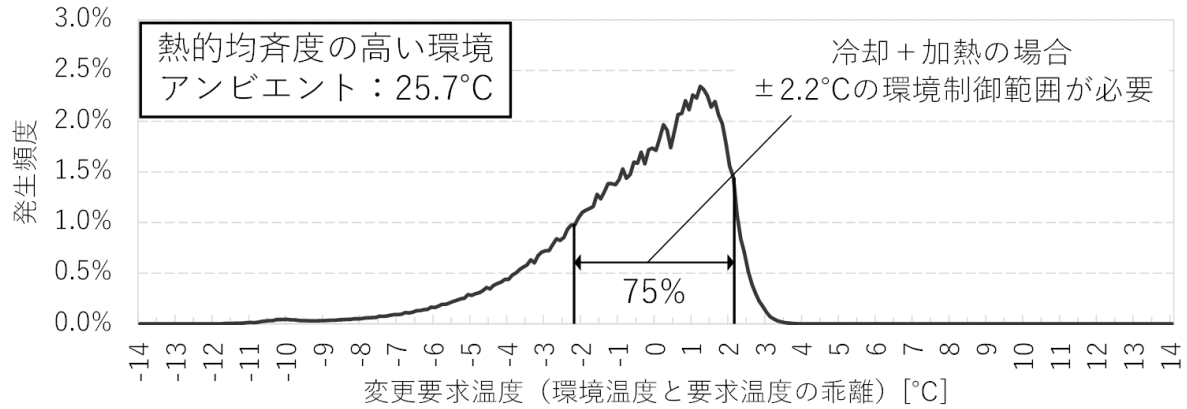


図 6.34 温熱環境の均斉度の高い空間におけるパーソナル空調導入時の熱的中立を満足する執務者の割合が 75%に達する条件
（アンビエントの環境温度目標値：25.7℃、環境制御範囲：±2.2℃）

4) 75%の執務者が熱的中立を実現できるパーソナル空調の条件（冷房機能のみ）

図6.35と図6.36に冷却機能のみを有するパーソナル空調を導入した際に75%の執務者が熱的中立を実現できるために必要な環境制御範囲とアンビエントの環境温度の条件を示す。50%の執務者に対する熱的中立を目指す条件と比較すると、アンビエントの環境温度は高い値に設定する必要があり、パーソナル空調に高い能力が求められる。特に対流空調の空間では温度を上げたい側の変更要求を持つ執務者の抑制が必要となり、アンビエントの環境温度は28.4℃と、かなりの高温側に設定しなくてはならない。パーソナル空調の制御範囲は-5.0℃であるため、タスク域に限れば23.4℃までの環境選択が可能となるが、オフィスで働く居住者は常に自席で執務を行うわけではなく、必要に応じてアンビエント域で作業を行う者も多くいる。執務形態にもよるが、28.4℃を目標としたアンビエント環境においてはタスク域外で働く必要のある居住者からの非受容が予想されるため一般的なオフィス空間に適用するのは難しいと思われる。一方で、温熱的均斉度の高い空間においては、アンビエントの環境温度の目標値は27.9℃、パーソナル空調に必要な環境制御範囲は-4.4℃であるため、タスク域外で働く執務者からの非受容を抑制しながら、より小さい能力のパーソナル空調で75%の執務者が熱的中立を実現できると思われる。

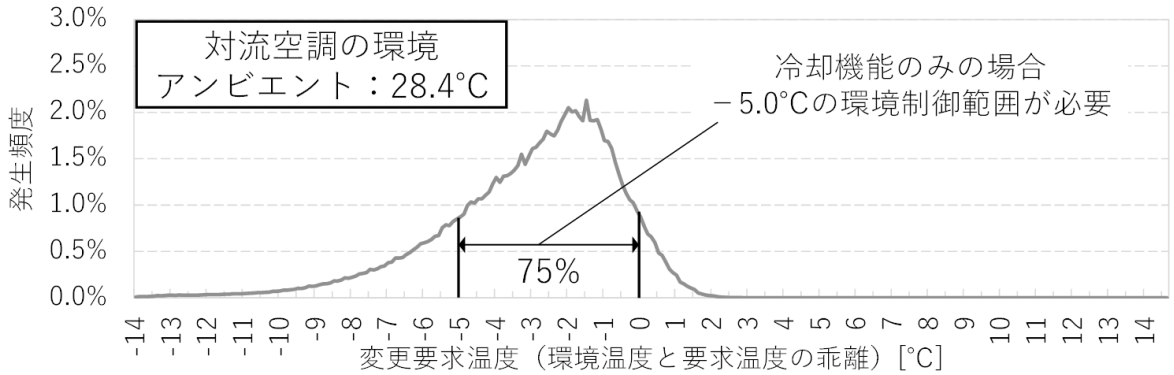


図 6.35 対流空調の空間におけるパーソナル空調導入時の熱的中立を満足する執務者の割合が 75%に達する条件
（アンビエントの環境温度目標値：28.4℃、環境制御範囲：-5.0℃）

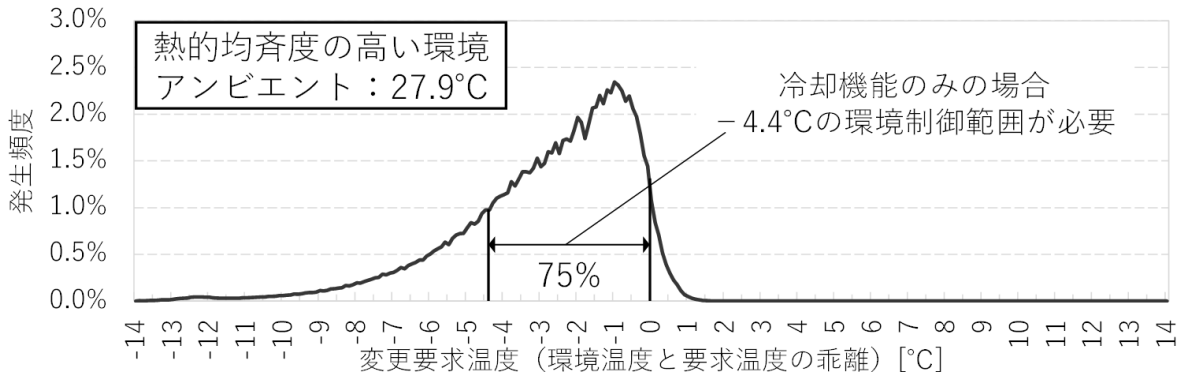


図 6.36 温熱環境の均斉度の高い空間におけるパーソナル空調導入時の熱的中立を満足する執務者の割合が 75%に達する条件
（アンビエントの環境温度目標値：27.9℃、環境制御範囲：-4.4℃）

5. 結論

昨今注目されているパーソナル空調が未だに主流の空調方式として定着しない要因としては、導入による効果や空間価値の向上が不明瞭であることが大きい。また、パーソナル空調に必要な環境選択幅とアンビエント域の基準が体系化されていない点も、システムの導入が進行しない大きな理由である。本章では等温気流を用いた椅子型タスクユニットの実用機として開発したクールチェアA型と、座面と背板に通気性の優れた素材を用いたメッシュチェアの熱特性をサーマルマネキンから評価した。次にメッシュチェアの着衣熱抵抗の低さに着目した新しいクールチェアB型の開発を行い、最後に確率論的温熱受容性評価法をパーソナル空調の評価に応用することで、執務者自身が温熱環境を自由に調整できる意義と理想的なアンビエント環境について考察した。

結果は以下のとおりである。

① サーマルマネキンの全身等価温度は、椅子型タスクユニットの実用機であるクールチェア A 型と比べメッシュチェアが低い結果となった。

② クールチェアの温冷感調節機能を送風機からの噴流に依存するシステムからの低減を目指し、メッシュチェアの特性を活かすことで効率的に人体を冷却できるクールチェア B 型を開発した。

③ クールチェア B 型のサーマルマネキンによる全身等価温度は、クールチェア A 型と比較して顕著に低い結果となった。従って、クールチェア B 型の通気性素材と気流を併用した冷却効果は、クールチェア A 型を大きく上回ると考えられる。

④ 確率論的温熱受容性評価法をパーソナル空調の評価に応用することで、クールチェア導入時の理想的なアンビエント環境と熱的中立を満足する執務者の割合を算出した。クールチェア A 型と比較して、クールチェア B 型が導入された空間では、0.2℃のアンビエント環境温度の緩和が可能になり、さらに熱的中立を満足する執務者の割合は、対流空調の空間では 13%、温熱的均斉度の高い空間では 14%の向上が見込まれる。

⑤ 確率論的温熱受容性評価法を用いて、熱的中立を満足する執務者の割合が 50%／75%に達するそれぞれ条件において、パーソナル空調に必要な環境制御範囲とアンビエントの設定環境温度について検討した。アンビエント環境の設定温度はそれぞれの条件において異なるが、執務者の 50%が熱的中立を実現できる空間を目指す場合、パーソナル空調に必要な環境制御範囲は対流空調の空間で 2.8℃、温熱的均斉度の高い空間では 2.6℃となった。また、執務者の 75%が熱的中立を実現できる空間を目指す場合、パーソナル空調に必要な環境制御範囲は対流空調の空間で 5.0℃、温熱的均斉度の高い空間では 4.4℃となることから、放射空調や全面床吹出し空調の様な静穏なアンビエント温熱環境においては、より小さい能力のパーソナル空調で熱的中立を満足する執務者の割合が向上することができると思われる。

[参考文献]

1) 鵜飼真成: パーソナル空調国内事例の生理, パーソナル空調性能評価小委員会成果報告書, 空気調和・衛生工学会空気調和設備委員会・パーソナル空調性能評価検討小委員会, 空気調和・衛生工学会, 2017

2) 野部達夫, 庄司睦美, 清水賢: 等温気流を用いた椅子型タスクユニットの開発 その 1 ユニットの仕様と被験者実験の概要, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 1251-1252, 2004. 08

3) 鷲巣和弘, 谷原達彦, 鈴木育野, 野部達夫：ZEB 化改修オフィスにおけるクールチェアの適用 その 1 クールチェア試作機の緒言, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 1253-1254, 2011. 08

4) 鈴木育野, 鷲巣和弘, 荒井博之, 野部達夫: ZEB 化改修オフィスにおけるクールチェアの適用 その 2 実際のオフィスにおける運用状況, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 1255-1256, 2011. 08

5) 村松一貴, 鷲巣和弘, 荒井博之, 今成岳人, 小川哲史, 丹羽勝巳, 野部達夫: ZEB 化改修オフィスにおけるクールチェアの適用 その 3 クールチェアとメッシュチェアの温冷感比較, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 915-916, 2012. 09

6) 鷲巣和弘, 村松一貴, 荒井博之, 今成岳人, 小川哲史, 丹羽勝巳, 野部達夫: ZEB 化改修オフィスにおけるクールチェアの適用 その 4 クールチェア使用時における心理量の性差に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 917-918, 2012. 09

7) 村松一貴, 鵜飼真成, 今成岳人, 小川哲史, 丹羽勝巳, 野部達夫: ZEB 化改修オフィスにおけるクールチェアの適用 その 5 改良型クールチェアの試作と性能評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 997-998, 2012. 08

8) 田辺新一, 長谷部ヤエ: 皮膚温度可変型サーマルマネキンによる室内環境評価法に関する研究, 日本建築学会計画系論文報告集, 第 448 号, pp. 1-8, 1993. 06

第 7 章
総括

1. 各章の総括

冷凍空調技術が確立してから約 100 年、大部屋執務空間における保健空調の使命は、複数の居住者が快適と感じる温熱環境の理論的平均値を全体に果すものとして理解されてきた。空調の導入期においては、季節や外気の条件に関わらず室内を快適な環境に保てる革新的技術として、世間からは大変な称賛を受けていたに違いない。しかしながら、空調が生活必需品として社会の隅々にまで普及した現代においては、室内温熱環境に不満を覚える機会はあっても、均一かつ一定の温熱環境に価値を感じることは少ないため、温熱環境を精緻にコントロールしたところで、執務者からの非受容申告（空調クレーム）は根絶しない。空調に慣れ親しんだ執務者からの非受容を根絶するためには、人の個人差や多様性を考慮した新たな設計手法の構築が必要であり、今後は従来の単一的な全体空調の考え方のみならず、局所的な空調とアンビエント空調の双方に関する多角的な熱的快適性に関する議論が必要となる。そのためには、人間を静的な存在として捉え、さらに居住空間の熱的な特性を平均値として便宜的に仮定する従来の姿勢からの脱却が求められる。

本論文のテーマは執務者各人の熱的嗜好の多様性を考慮した上で、温熱環境における空間分布と環境選択性を同時に評価できる手法の構築を目的とした。研究方法としては「温熱環境に対するリアルタイムの非受容に関する調査」、「執務者一人一人が熱的中立を実現するために必要とする要求温度の分布に関する調査」、「事務所ビルにおける温熱環境の空間的な不均一と時間変動に関する調査」に大別される。次に上記の実測調査研究により得られた知見を集約することで、執務者一人一人の温熱環境に対する心理量がどのように定まり、それが非受容というネガティブな評価に繋がるか、というプロセスの評価法を考案し、最後に筆者自身が研究開発に関わったパーソナル空調の評価を行うことで執務者が自由に温熱環境を調整できる意義について考察した。

以下に各章の概要を述べる。

第１章　序論

熱的快適性の基準とオフィス建築における空調システムの動向から、放射空調のような熱的偏在の少ない環境を創出できるシステムや、執務者自身の環境を自由に選択できるパーソナル空調のニーズを説明する。また、従来の熱的快適性評価の指標を両システムに適用した際の課題の整理を行うとともに、研究目的と本論文の構成を述べた。

第２章　空調の温熱的非受容に関する研究

工学的に快適とは「不快でない」という消極的な定義であるため、不快発生時の状況を解き明かすことは、一般的な快適を理解することと関連すると思われる。しかしながら、オフィスのような目的空間において、温熱環境に対する不満やクレーム（非受容申告）に関する情報収集は容易ではない。アンケート調査では執務者の一人一人から直接情報を収集できるというメリットがあるが、オフィスワーカーの瞬間的な不満は顕在化されにくい。そこで、執務者の机上に置いてクレームを簡単に記録できる装置「オストラコン（非受容申告装置）」を開発し、実際のオフィスで働く執務者が室内温熱環境に対して非受容と感じる瞬間を捉えることで、従来の物理環境調査

とアンケート調査からでは抽出できない室内温熱環境に対する不満を考察した。

執務者は ASHRAE が示す快適範囲においても非受容を発していることから、温熱環境をいくら精密に維持したところで室内環境に対する不満の根本的な解消には至らないことを示した。また、「暑すぎる」申告は朝の出社時や外回りからの帰社時に集中し、一方で「寒すぎる」申告は長時間の在室時に発生していた。非受容の背景には 2 種類の要因が考えられ、外部環境を経た温熱履歴の齟齬を抱えている執務者は空調に瞬発力を求め、一方で環境に順応している執務者は精緻な環境調整を求めていると思われる。

第３章　オフィスにおける執務者の要求温度に関する研究

温熱環境に対する不満が発生する背景には、男女の着衣差による至適温度の相違や、執務者各人の代謝量や温熱的履歴が異なる問題が挙げられる。そこで、第 3 章ではオフィスで働く執務者を対象とした着衣量に関するアンケート調査と代謝量の実測調査の結果から個々の執務者が熱的中立を実現するために必要とする要求温度の分布を導出した。

従来のオフィス等における室内温熱環境の設計条件は、複数の執務者が熱的に中立と感じる物理環境が正規分布に従うと仮定することで、その包括的な特性を満足させる平均値を設計数値目標に掲げてきたと思われる。しかしながら、本研究で得られた要求温度の分布は低い側に歪む非対称の形状であり、その平均値は一般的なオフィスにおける温度の設定値 26~27℃よりも大幅に低い 24.7℃であった。一方で、要求温度の分布のピークが 26.9℃であることから、従来使用されてきた温度設定の目標値は、複数の執務者が熱的中立を実現するために要求する温度の平均値ではなく、実際は最頻値を設備技術者が経験的に選択してきたのだと思われる。要求温度の最頻値を設計数値目標にする弊害としては、たとえ空間的に均一かつ時間的に一定の温熱環境が実現できたとしても、執務者からの「暑すぎる」非受容は「寒すぎる」非受容よりも多く発生し、時には強いクレームに発展することが予想される。

第４章　オフィスにおける温熱環境の均斉度に関する研究

空調方式による室内環境の質の違いが存在することは推測されていても、それを実際に比較・評価した事例は見当たらない。温熱環境の空間的な不均一や時間的変動を伴う現実のオフィスにおいては、その度合いを示す手法が確立されていないためか、空調方式毎の室内温熱環境の快適性は執務者の印象から主観的に評価されている。そこで筆者は、温熱環境の経時変化と偏在をリサージュ的に示すことで視覚的に比較可能な手法を考案した。第 4 章では各種空調方式が導入された 4 か所の夏期オフィスにおける、机上の温熱環境を平面的に計測することで、温熱環境の偏在及び経時変化を明らかにし、マルチパッケージ型空調システム、躯体蓄熱放射空調、及び全面床吹出し空調の温熱受容性を考察した。

マルチパッケージ型空調機が導入された空間では、空間的な不均一と時間的変動の程度が大きい結果を確認した。従って、たとえ居住空間の平均的な温熱環境が快適域であったとしても、マルチパッケージ型空調機が導入された空間では「暑がり」や「寒がり」といった熱的感受性に特徴のある執務者が熱的偏在のある位置に配置される可能性が、放射空調や全面床吹出し空調より

高まり、これは空調の本義である「不快の排除」といった視点では受容性の低下に繋がると解釈できる。

第５章　確率論的温熱受容性評価法に関する研究

第 1 章から第 4 章までの研究成果を踏まえて、執務者一人一人の温熱環境に対する心理量がどのように定まり、それがクレームというネガティブな評価に繋がるか、というプロセスの評価法を考案した。第 5 章では、要求温度の分布と温熱環境の不均一性から執務者の温熱受容性を評価できる確率論的温熱受容性評価法の提案を行う。この評価法は、従来扱いが難しいとされていた放射空調のような温熱環境の均斉度に特徴がある空間の評価や、執務者が自由に温熱環境を調整できるパーソナル空調の評価に適用できるものと考える。

確率論的温熱受容性評価法を実際の建物に適用した結果、環境温度と要求温度の乖離（変更要求温度）は執務者が温度を下げたい側に歪む非対称の形状であることが示された。変更要求温度分布の非対称性が原因となる非受容を抑制するためには、パーソナル空調の導入は有効な手段になると思われる。

第６章　確率論的温熱受容性評価法のパーソナル空調への応用

昨今注目されているパーソナル空調が未だに主流の空調方式として定着しない要因としては、導入による効果や空間価値の向上が不明瞭であることが大きい。また、パーソナル空調に必要な環境選択幅とアンビエント域の基準が体系化されていない点も、システムの導入が進行しない大きな理由である。第 6 章では、筆者自身が研究開発に関わったパーソナル空調であるクールチェアについて説明し、確率論的温熱受容性評価法を応用することで、執務者自身が温熱環境を自由に調整できる意義と理想的なアンビエント環境について考察した。

確率論的温熱受容性評価法を用いて、熱的中立を満足する執務者の割合が 50%／75%に達するそれぞれ条件において、パーソナル空調に必要な環境制御範囲とアンビエントの設定環境温度について検討した。アンビエント環境の設定温度はそれぞれの条件において異なるが、執務者の 50%が熱的中立を実現できる空間を目指す場合、パーソナル空調に必要な環境制御範囲は対流空調の空間で 2.8℃、温熱的均斉度の高い空間では 2.6℃となった。また、執務者の 75%が熱的中立を実現できる空間を目指す場合、パーソナル空調に必要な環境制御範囲は対流空調の空間で 5.0℃、温熱的均斉度の高い空間では 4.4℃となることから、放射空調や全面床吹出し空調の様な静穏なアンビエント温熱環境においては、より小さい能力のパーソナル空調で熱的中立を満足する執務者の割合が向上することができると思われる。

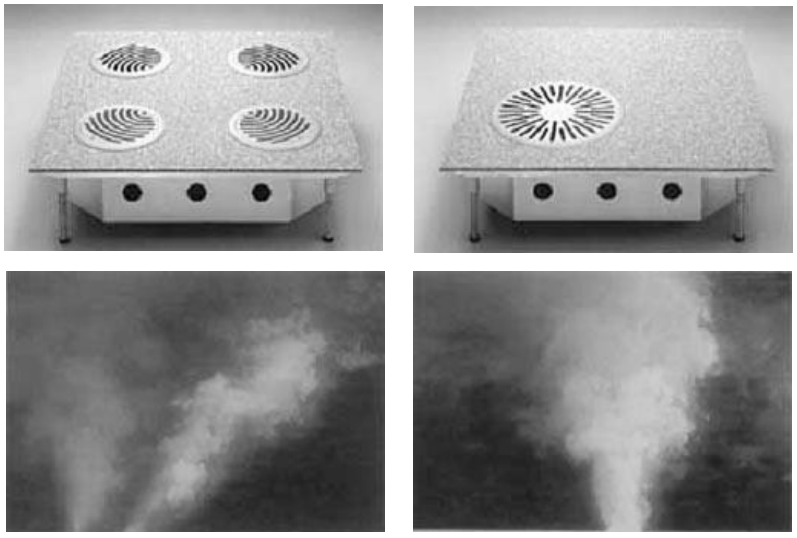
2. おわりに

本研究の成果により期待されるところは空調設計思想の抜本的な転換である。空調技術は成熟期を迎え、これまでの定石通りの設計ではエンドユーザーに空調の価値を認識させるのは難しい。ここに至り、昨今では個人毎に温冷感を調整できるシステムに期待が高まり、また省エネニーズも相まってパーソナル空調と放射空調を併用する手法が注目されているが、両システムの快適性を客観的に示す手法が無いためか、未だに主流の空調システムとして定着はしていない。

また、最近では働く人の健康と知的生産性に焦点を当てた認証制度である WELL (WELL Building Standard)が注目されており、近々日本にも導入されることが予想される。例えば、Well には「フリーアドレスの同一フロア間に対して、3℃以上の温度幅を持たせること」という項目があるが、米国でも明確なエビデンスに関しては得られているわけではない。空間内に温熱環境の不均一を敢えてデザインする手法は幅広い要求温度を持つ執務者からの非受容を根絶する有効な手段であるが、人間の行動シーケンスに配慮した温熱環境の設計がなされないとかえって執務者からの不満を誘発しかねない。本研究における知見を集約して考案した確率論的温熱受容性評価法の応用は、クールスポット等の採涼空間やパーソナル空調に必要な能力を合理的に決めることができるため、執務者の行動履歴・着衣量・代謝量・嗜好などを勘案した動的な設計も可能になると思われる。これは、均一かつ一定の温熱環境提供を標榜する従来の設計思想からの転換であり、多様なオフィスの使い方や執務者一人一人の快適性に対する受容度合いの齟齬に関する問題解決が期待される。

今後の空調設計は従来の思想とは異なる室内空間に対する思考や哲学が求められる時代となる。本研究の成果が空調新時代における設計に少しでも反映され、また空調技術の最終目標である「不満が顕在化しない環境」の実現に貢献することを願う。

Appendix

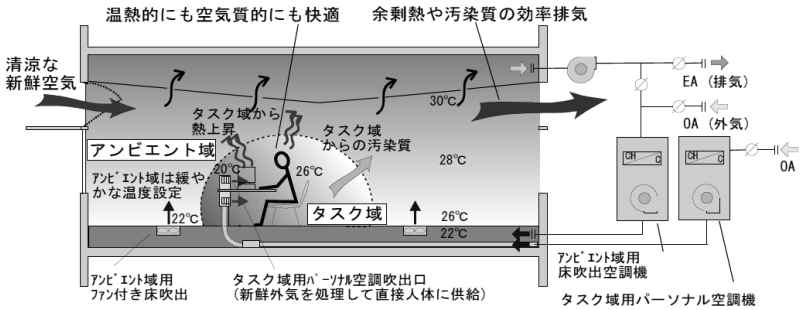
<table>
<tr><th colspan="3">パーソナル空調システム事例シート 1</th></tr>
<tr><td>名称</td><td colspan="2">T&A 床吹出し空調システム</td></tr>
<tr><td>機能</td><td colspan="2">冷房</td></tr>
<tr><td>パーソナル対応</td><td colspan="2">1 対複数人</td></tr>
<tr><td rowspan="4">空調方式</td><td rowspan="4">対流</td><td>非等温気流</td></tr>
<tr><td>外気供給機能有り</td></tr>
<tr><td>風量：32.5 CMH</td></tr>
<tr><td>人体到達気流速度：0.5 m/s</td></tr>
<tr><td>制御方法</td><td>手動</td><td>直接操作</td></tr>
<tr><td>環境制御範囲</td><td colspan="2">―</td></tr>
<tr><td>設置位置</td><td colspan="2">床</td></tr>
<tr><td colspan="3">本システムは，空調機からフリーアクセスフロア内に空調空気を送風し、フロアパネル内に取付けられた床吹出しユニットから室内へ空調空気を給気する。吹き出された空調空気は、OA 機器、人体等からの放熱により暖められ、タバコの煙や CO2 とともに上昇し天井面の吸込口から天井チャンバーを経由して空調機に戻る。ファンユニット方式とプレッシャー方式の 2 種類がある。
ファン方式であれば二重床高さ 150mm 有効 120mm で、プレッシャー方式ならば二重床高さ 100mm 有効 70mm で設置可能である。フロアパネルに設置された床吹出しユニットには方向性のあるグリルと、風量調整装置が設けられているため、居住者の好みに応じて風量・風向の調整が可能となる。レイアウト変更の際には、フロアパネルに取り付けられた床吹出しユニットの追加だけで簡単に対応可能である。
パーソナル用吹出口　アンビエント用吹出口
  </td></tr>
<tr><td>導入事例</td><td colspan="2">日比谷総合設備（株）事務所（1989 年改修）</td></tr>
<tr><td>参考文献</td><td colspan="2">日比谷総合設備：床吹出し空調システム，http://www.hibiya-eng.co.jp/technology/others/lineup/aircondition/yukafukidashi，20161021 アクセス</td></tr>
</table>

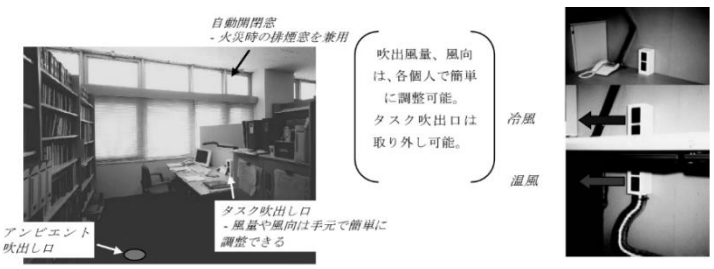
パーソナル空調システム事例シート 2		
名称	アジア経済研究所におけるパーソナル空調	
機能	冷房＋暖房	
パーソナル対応	1 対 1	
空調方式	対流	非等温気流
		外気供給機能有り
		風量：50 CMH（最大）
		―
制御方法	手動	直接操作
環境制御範囲	―	
設置位置	机上	

アジア経済研究所には自然換気と空調を併用するハイブリット換気システムが採用されている。省エネルギーを図りながら，居住域のみ空調を行うことで，居住域の熱的快適性を確保し，自然換気によりアンビエント空間の余剰熱，室内からの汚染質の排出を行うことにより空気質的快適性向上が期待される。

タスク吹出系統空調機はオールフレッシュ型とし，新鮮外気を拡散させることなく居住者に直接供給することが可能。各研究者の机上に設置されたタスク吹出口の風量は居住者の好みに応じて手動で調整可能（全閉～50 m³/(h・個)，冷房・暖房の両方を考慮して机上及び机下の両方に吹出口を設置)。

アンビエント吹出系統空調機はファン付き床吹出空調方式とし，各ゾーン・室毎に設けたサーモによりファン風量を制御。原則として緩やかな空調を目指す。CO2 濃度により外気導入量制御を図り，タスク空調による外気導入量の過不足にも対応。



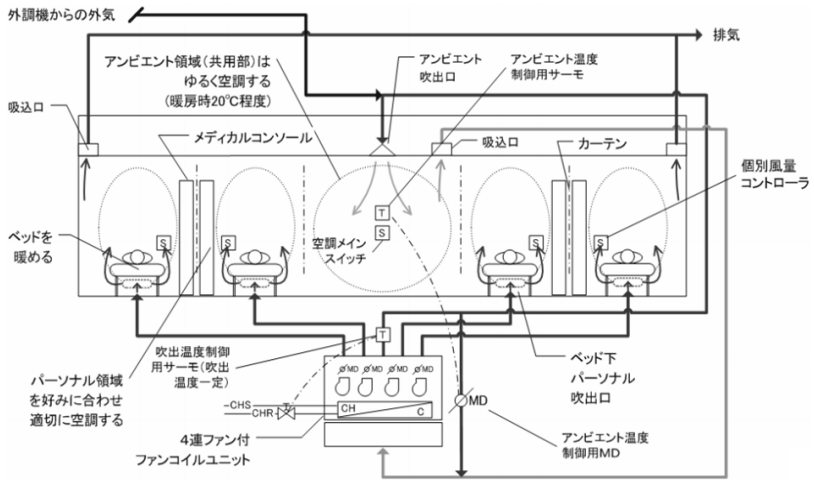


導入事例	アジア経済研究所（1999 年）
参考文献	近本智行：パーソナル空調小委員会報告書，pp39，空気調和・衛生工学会，2013-10

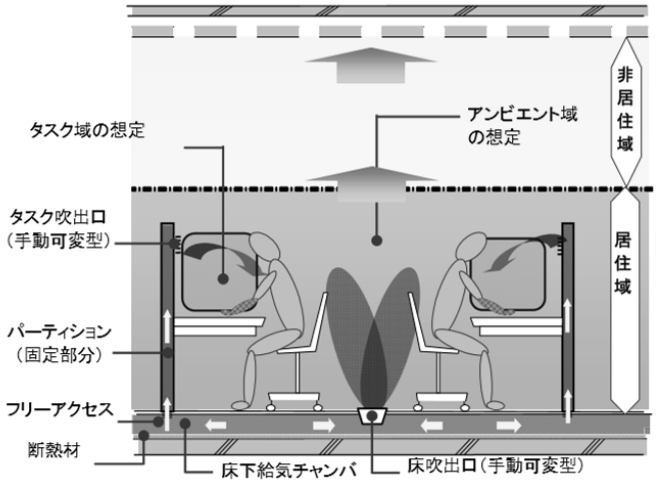
パーソナル空調システム事例シート 3		
名称	T 病院における 4 床病室のパーソナル&アンビエント空調システム	
機能	暖房	
パーソナル対応	1 対 1	
空調方式	対流	非等温気流
		外気供給機能無し
制御方法	手動	直接操作
環境制御範囲	―	
設置位置	天井	
完成年度	2003	

写真，図，解説など

この地域では、暖房期間は 10 月上旬から 5 月上旬と長く、冷房期間は 7 月から 8 月の間の約 2 週間と短い。本システムの基本は，病室に必要な外気を供給する外気処理用の一次空調機（外調機）と室内の温度制御を行う二次空調ユニットの組み合わせである。二次空調ユニットは４つのファンと切り替えダンパーを内臓するファンコイルユニットとし，１台で４床病室１室の各ベッド周辺のパーソナル領域と，共用部分であるアンビエント領域の空調を行う。このファンコイルユニットは，病室下の ISS に設置してメンテナンス性を高めた。パーソナル領域の空調吹出は，ベッド下部に給気するベッド下吹出口から行う。これは，T病院の立地環境では暖房を主体とするため，ベッドを温めつつ患者さんを包み込むような暖房を意図したものである。その吹出風量はベッド脇のメディカルコンソールに設置した風量コントローラで各ベッドに対応したファンを制御し，ベッド毎に H-M-L-OFF を選択することができる。



導入事例	仙北市立田沢湖病院（2003 年）
参考文献	村松宏：4 床病室におけるパーソナル&アンビエント空調システムの適用事例，日本建築学会大会学術講演梗概集選抜梗概，pp. 1073-1076，2006

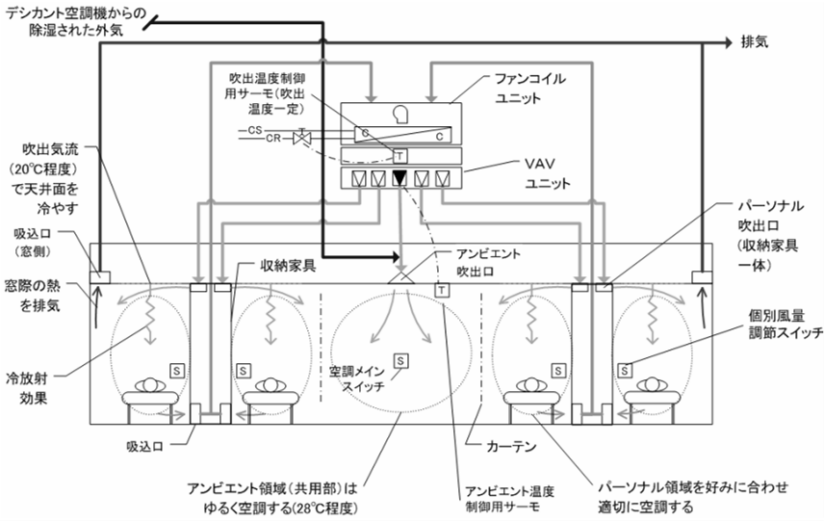
<table>
<tr><th colspan="3">パーソナル空調システム事例シート 4</th></tr>
<tr><td>名称</td><td colspan="2">パーティションを利用したパーソナル空調</td></tr>
<tr><td>機能</td><td colspan="2">冷房</td></tr>
<tr><td>パーソナル対応</td><td colspan="2">1 対 1</td></tr>
<tr><td rowspan="4">空調方式</td><td rowspan="4">対流</td><td>非等温気流</td></tr>
<tr><td>外気供給機能有り</td></tr>
<tr><td>風量：25 CMH</td></tr>
<tr><td>人体到達気流速度：0.4 m/s（胸部）</td></tr>
<tr><td>制御方法</td><td>手動</td><td>直接操作</td></tr>
<tr><td>環境制御範囲</td><td colspan="2">ー</td></tr>
<tr><td>設置位置</td><td colspan="2">パーティション</td></tr>
<tr><td colspan="3">本システムは，ユニバーサルオフィスレイアウト（パーティションの一部を床に固定しつつ，最大限フレキシビリティを持たせた FM を行う計画手法）と空調システムの融合を図ることで，パーティション自体を空調流路，床吹出し空調による差圧を動力としたパーソナル空調である。加圧式床吹出し空調システムを併用することから，給気温度や風量など，以下の条件を前提とした。
1) アンビエント用の床吹出し口とタスク用吹出し口からの給気風量の合計は，通常の空調計画での風量（75CMH／人）の範囲内に納まること（空調風量の増は，空調機のサイズアップなどにつながるため)。
2) タスク用の吹出しは，個別の動力は用いず，床吹出し空調で用いている床下～室内の差圧（8～16 Pa）を駆動力とすること（維持管理面への配慮)。
3）2）と同様に，タスク用の吹出し温度は，床吹出し空調からの給気を利用することから，18～22℃程度（夏期）となること。
 

</td></tr>
<tr><td>導入事例</td><td colspan="2">マブチモーター本社棟（2004 年）</td></tr>
<tr><td>参考文献</td><td colspan="2">柳井崇ほか：マブチモーター本社棟の空調設備計画，空気調和・衛生工学 81(9)，　767-772，　2007-09-05</td></tr>
</table>

パーソナル空調システム事例シート 5		
名称	N 病院における 4 床病室のパーソナル&アンビエント空調システム	
機能	冷房	
パーソナル対応	1 対 1	
空調方式	対流	非等温気流
		外気供給機能無し
制御方法	手動	直接操作
環境制御範囲	―	
設置位置	天井	
完成年度	2006	

写真，図，解説など

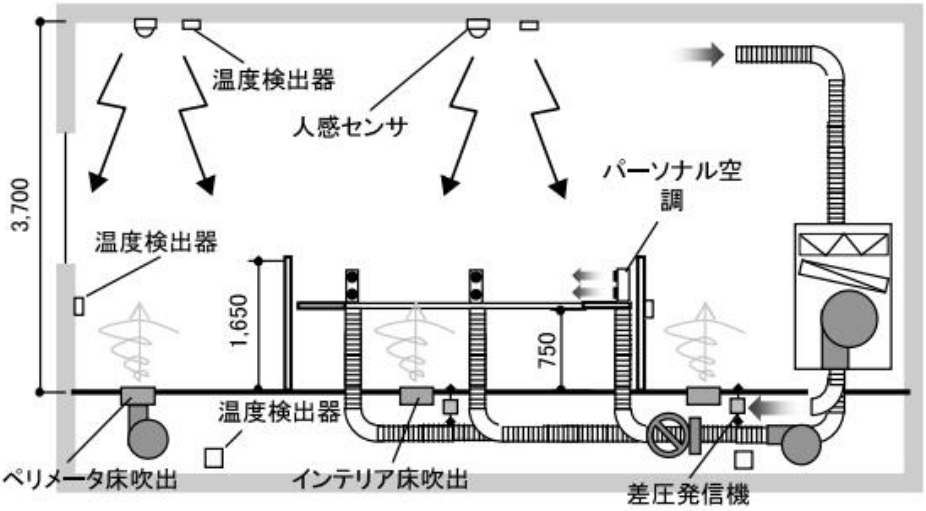
この地域では，冷房期間は 3 月中旬から 11 月下旬と長いが，暖房期間は，12 月から 2 月の間の約 2 週間と短く，最低気温は 10℃を下回ることはないため，病室では暖房は行っていない。本システムの基本は，外調機と二次空調ユニットの組み合わせであるが，年間を通じて湿度の高いこの地域の特性から，外調機にはデシカント空調機を採用し，除湿にかかるエネルギーの低減を図った。二次空調ユニットは，汎用ファンコイルユニットの吐出側に 5 つの可変風量装置（VAV）を持つユニットを接続したもので，1 台で床病室 1 室の各ベッド周辺のパーソナル領域と，共用部分であるアンビエント領域の空調を行っている。パーソナル領域の空調吹出は，収納家具上部のスリット状吹出口から天井面に沿うように行う。これは，本建物の立地環境では冷房のみのため，天井面を冷やしつつその冷放射効果を意図したものである。その吹出風量はベッド脇のメディカルコンソールに設置した風量コントローラーで各ベッドに対応した VAV を制御し，ベッド毎に H-M-L-OFF を選択することができる。また，H-M-L の風量設定は，ベッド毎に任意に設定可能である。



導入事例	南部医療センター（2006 年）
参考文献	村松宏：4 床病室におけるパーソナル&アンビエント空調システムの適用事例，日本建築学会大会学術講演梗概集選抜梗概，pp. 1073-1076，2006

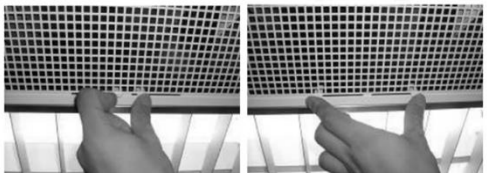
<table>
<tr><th colspan="3">パーソナル空調システム事例シート 6</th></tr>
<tr><td>名称</td><td colspan="2">東京ガス横浜研究所におけるパーソナル空調システム</td></tr>
<tr><td>機能</td><td colspan="2">冷房</td></tr>
<tr><td>パーソナル対応</td><td colspan="2">1 対 1</td></tr>
<tr><td rowspan="4">空調方式</td><td rowspan="4">対流</td><td>非等温気流</td></tr>
<tr><td>外気供給機能無し</td></tr>
<tr><td>風量：36 CMH</td></tr>
<tr><td>人体到達気流速度：　0.28m/s（胸部）</td></tr>
<tr><td>制御方法</td><td>手動</td><td>吹き出し口を操作し、風向・風量を調節する</td></tr>
<tr><td>環境制御範囲</td><td colspan="2">サーマルマネキン等価温度として−0.7℃</td></tr>
<tr><td>設置位置</td><td colspan="2">机上</td></tr>
<tr><td colspan="3">プロダクティビティ向上と省エネルギーに配慮した研究所の移転計画において，タスク・アンビエント空調を採用した。実験室と行き来する研究員のオフィスとして用いられる約 800m² の研究居室は，コミュニケーション・コラボレーションを誘発する仕組みを備えた，天井の高い大空間としている。クールビズに対応した冷房時 28℃室温のオフィスを実現するため，床吹出し空調とパーソナル吹出し口からのタスク空調のハイブリッド空調を採用した。

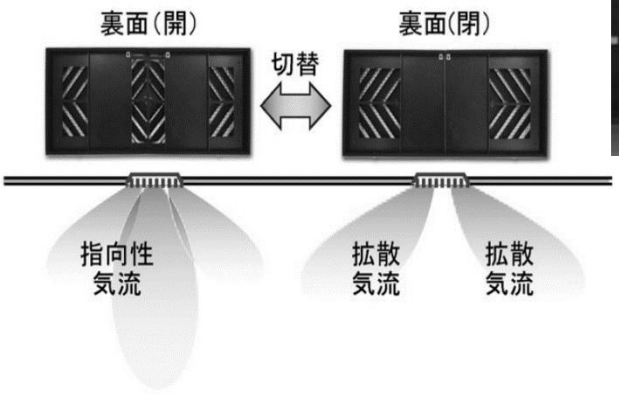
本館2F研究居室 平面

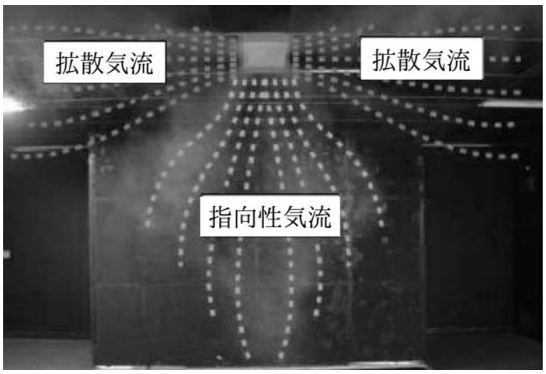
 
</td></tr>
<tr><td>導入事例</td><td colspan="2">東京ガス横浜研究所（2006 年）</td></tr>
<tr><td>参考文献</td><td colspan="2">丹羽勝巳ほか： タスク・アンビエント空調の実証とシミュレーション：空気調和・衛生工学 84(8)， 637-642， 2010-08-05</td></tr>
</table>

パーソナル空調システム事例シート 7		
名称	ユニバーサルコンフォート	
機能	冷房	
パーソナル対応	1 対 1	
空調方式	対流	非等温気流
		外気供給機能有り
		風量：（　　-　　）CMH
		人体到達気流速度：（　　-　　）m/s
制御方法	手動	直接操作（手動レバー）
環境制御範囲	-	
設置位置	天井	

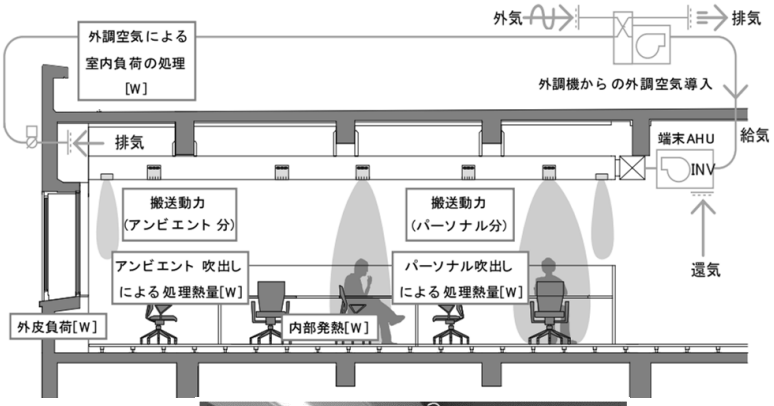
ユニバーサル・コンフォートは，個別分散型 HP パッケージ空調システムの高度利用に関するシステムの一つである気流可変型の吹出し口である。個別分散型 HP パッケージは圧縮機稼働時に低温の吹出し温度となるため，吹出し口の気流性状に対して十分な配慮が必要となる。これに対しユニバーサル・コンフォートは，ダクト接続タイプの室内機採用を前提とした専用の吹出し口であり，居住域でのドラフト感を抑えるための“拡散モード”と好みに応じて居住者が気流感を得られる“指向性気流モード”を切り替えることができる機能を有している。







導入事例	鹿島赤坂別館（2007 年）
参考文献	平岡雅哉ほか：鹿島赤坂別館の空気調和設備，空気調和・衛生工学 83(7)，521-526，2009-07-05

<table>
<tr><th colspan="3">パーソナル空調システム事例シート 8</th></tr>
<tr><td>名称</td><td colspan="2">T-Personal Air</td></tr>
<tr><td>機能</td><td colspan="2">冷房</td></tr>
<tr><td>パーソナル対応</td><td colspan="2">1 対 1</td></tr>
<tr><td rowspan="4">空調方式</td><td rowspan="4">対流</td><td>非等温気流</td></tr>
<tr><td>外気供給機能有り</td></tr>
<tr><td>風量：60,90,110 CMH の三段階で調節可能</td></tr>
<tr><td>人体到達気流速度：0.7 m/s （最大風量時，座位頭部付近）</td></tr>
<tr><td>制御方法</td><td>手動</td><td>自席パソコンの WEB 画面上で操作</td></tr>
<tr><td>環境制御範囲</td><td colspan="2">―</td></tr>
<tr><td>設置位置</td><td colspan="2">天井</td></tr>
<tr><td colspan="3">T-Personal Air は天井吹出し方式のパーソナル空調であり，従来のシステムよりフレキシビリティを高めつつ，新築のみならずリニューアル工事にも容易に対応できるようユニット化した特徴を持つ。個人が操作するパーソナル吹出口は自席パソコンから風向及び 風量の制御が可能であり，パソコンの ON/OFF やスタンバイモードとの連動により不在時はパーソナル吹出口を OFF とし,空調機側の風量を低減させることでエネルギーの削減を図っている。また，将来のオフィスレイアウト変更を想定し吹出しユニットは 800mm 単位の移設が可能となっている。空調ダクトをコアに，照明・スピーカー・センサなど，設備機器を一体ユニット化したシステムとなっており，施工性を向上させることでリニューアル工事にも適するシステムとした。
 

</td></tr>
<tr><td>導入事例</td><td colspan="2">大成建設技術センター研究本館（2007）</td></tr>
<tr><td>参考文献</td><td colspan="2">仁志出博一ほか：天井つり型パーソナル空調ユニット，空気調和・衛生工学 84(8)，659-665，2010-08-05</td></tr>
</table>

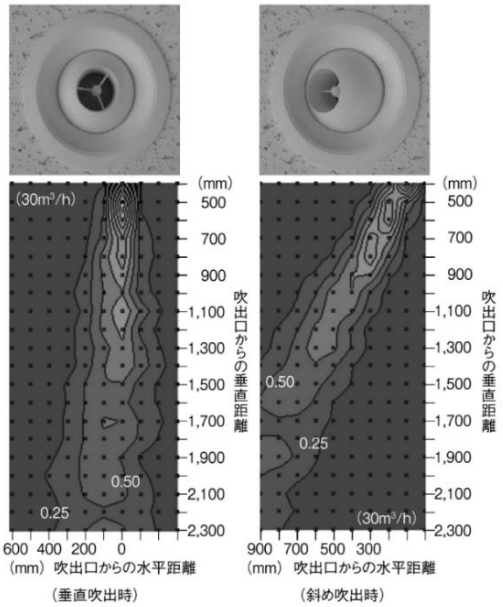
<table>
<tr><th colspan="4">パーソナル空調システム事例シート 9</th></tr>
<tr><td>名称</td><td colspan="3">放射併用パーソナル空調システム</td></tr>
<tr><td>機能</td><td colspan="3">冷房</td></tr>
<tr><td>パーソナル対応</td><td colspan="3">1 対 1</td></tr>
<tr><td rowspan="4">空調方式</td><td rowspan="4">対流</td><td colspan="2">非等温気流</td></tr>
<tr><td colspan="2">外気供給機能有り</td></tr>
<tr><td colspan="2">風量：表に示す</td></tr>
<tr><td colspan="2">人体到達気流速度（顔付近）：0.71 m/s（Type Ⅰ），
0.77 m/s（Type Ⅱ）</td></tr>
<tr><td>制御方法</td><td>手動</td><td colspan="2">WEB 操作等で風量調整が可能，吹出方向は球状ノズルを回転させて調整</td></tr>
<tr><td>環境制御範囲</td><td colspan="3">サーマルマネキン等価温度として，−1.6℃（Type Ⅰ），−1.8℃（Type Ⅱ）</td></tr>
<tr><td>設置位置</td><td colspan="3">天井</td></tr>
</table>

写真，図，解説など

執務者個人の気流感調整に用いるパーソナル気流ユニットは，少ない搬送動力で十分な気流感を与えられることが望ましいことから，小風量で指向性の高い吹出口を目指して開発を行なった。CPU の冷却にも用いられる DC ファンモーターを一体化した吹出口であり，意匠性と施工性を考慮してダウンライト型としている。風量調整は Web 操作等で行い，吹出方向は中央の球状ノズルを回転させることで調整する。気流感の少ない放射空調と組み合わせることで，個人の環境選択範囲を広げて，省エネルギーで温熱環境満足度が高いオフィス空間を提供できる技術と考えている。Type Ⅰはこれまで複数の建物に導入されてきた従来タイプであり，Type Ⅱは気流，消費電力，騒音の性能を向上した新タイプである。

	Type Ⅰ		Type Ⅱ		
風量	20CMH	30CMH	20CMH	30CMH	40CMH
消費電力	2.3W	3.3W	0.6W	1.2W	2.3W
発生騒音	24dB(A)	38dB(A)	20dB(A)以下	28dB(A)	34dB(A)
吹出経	41mm		45mm		
吹出風速	4.2m/s	6.3m/s	3.5m/s	5.2m/s	7.0m/s
外形寸法	114φ×185H		114φ×170H		

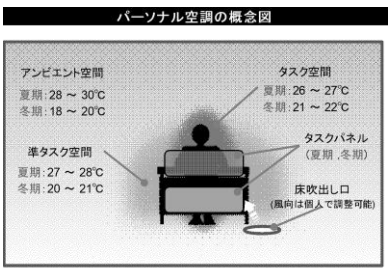
※発生騒音は吹出口の下方1.5mでの数値を示す

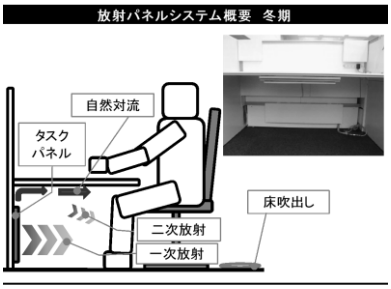


導入事例	京都幸ビル（2009 年改修），TAK イーヴァック新砂本社ビル（2010 年），飯野ビルディング（2011 年），他 13 事例
参考文献	粕谷敦ほか：放射併用パーソナル空調システムの性能評価，空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集，pp85-88, 2016

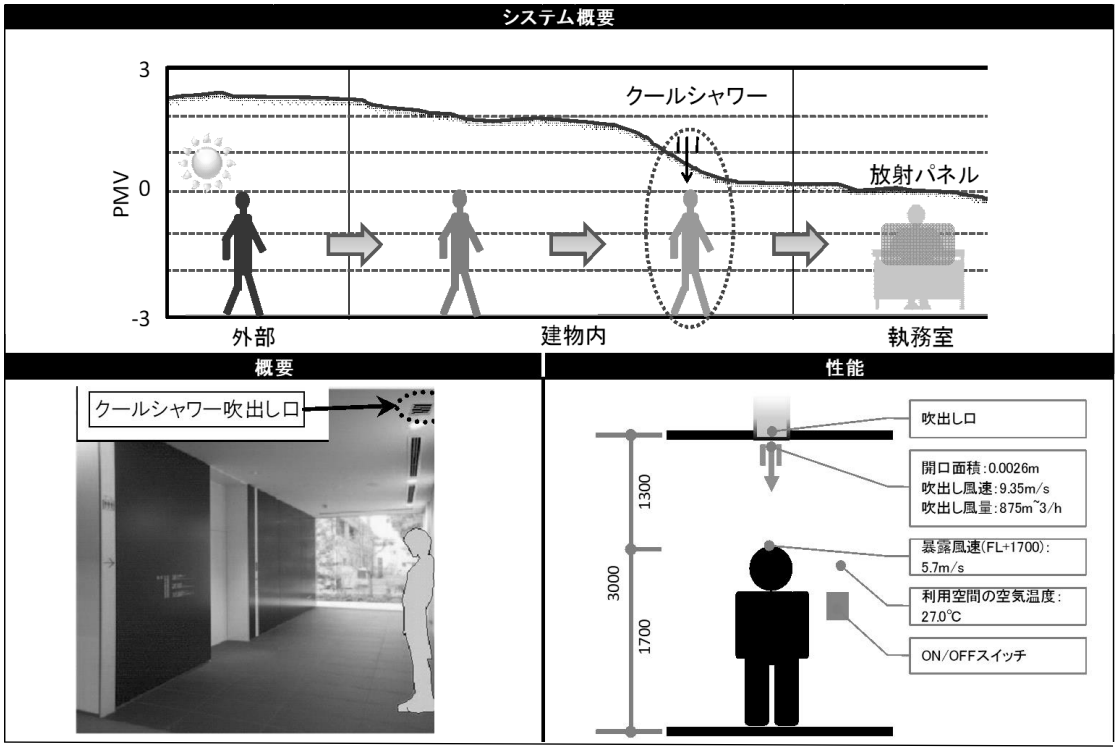
パーソナル空調システム事例シート 10			
名称	O-TASK		
機能	冷房＋暖房		
パーソナル対応	1 対 1		
空調方式	対流	非等温気流	
		外気供給機能有り	
	放射	冷水流量：2.0ℓ/min	
		冷水供給温度：夏期 15℃，冬期 40℃	
		パネル表面温度：夏期 20℃，冬期 31℃	
		冷却能力：約 60W	
		間接操作	パソコンソフトによる操作
環境制御範囲	冷却時：サーマルマネキン等価温度として−0.2℃		
設置位置	机（放射パネル），床（パーソナル床吹出し口）		

本システムは，タスク空間とアンビエント空間の間に準タスク空間を設けるタスク・アンビエント空調であり，置換換気方式の床吹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（タスク空間を処理）により形成されている。準タスク空間については，デシカント空調機により調湿された空気をパーソナル床吹出し口から供給しており，吹出し温度は準タスク空間の顕熱処理分を含めて設定している。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を設置している。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に下降気流が生じ，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 上の什器表面も冷却され，二次放射による冷却効果も期待できる。冬期においてはタスクパネルを机下に移動し、暖められた上昇気流（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暖める。自然対流により机下面が暖 められ、二次放射による更なる暖房効果が期待できる。

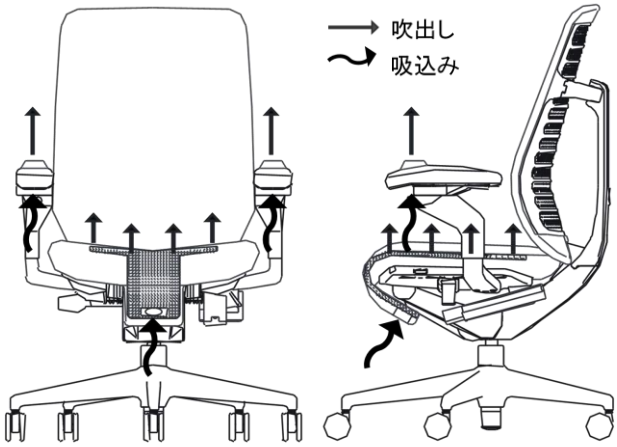




導入事例	大林組技術研究所本館テクノステーション（2010 年）
参考文献	伊藤，平山，野部，放射と自然対流によるタスク・アンビエント空調システム「O-TASC」，建築設備&昇降機（89），23-30，2011

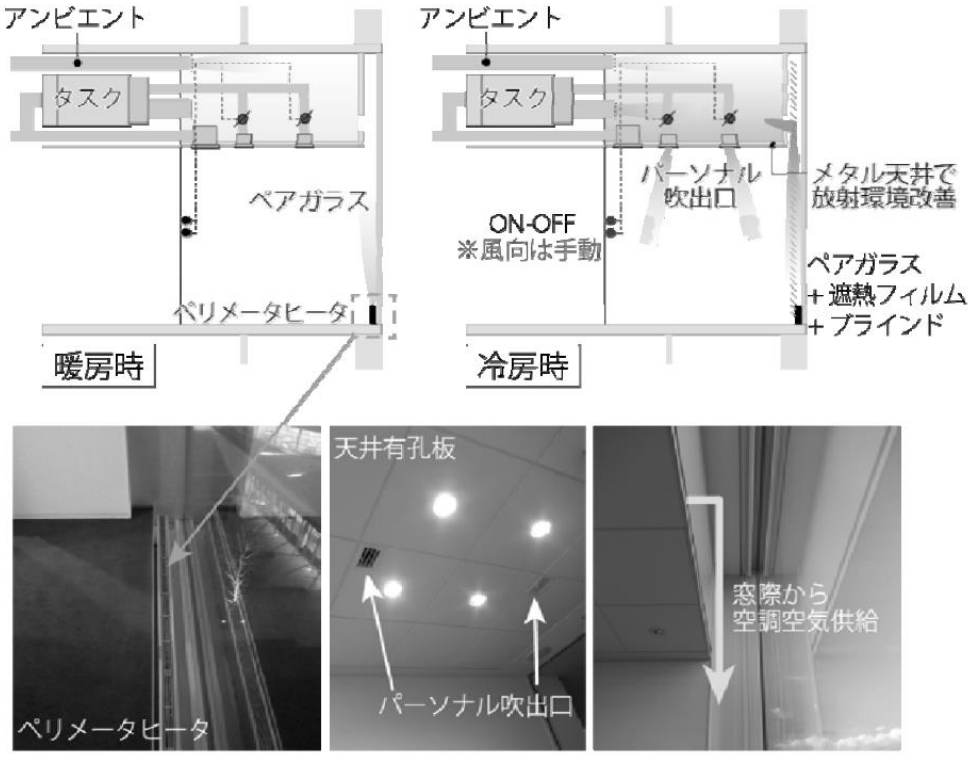
<table>
<tr><th colspan="4">パーソナル空調システム事例シート 11</th></tr>
<tr><td>名称</td><td colspan="3">クールシャワー</td></tr>
<tr><td>機能</td><td colspan="3">冷房</td></tr>
<tr><td>パーソナル対応</td><td colspan="3">1 対 1</td></tr>
<tr><td rowspan="5">空調方式</td><td rowspan="5">対流</td><td colspan="2">等温気流</td></tr>
<tr><td colspan="2">外気供給機能無し</td></tr>
<tr><td colspan="2">風量：　875　CMH</td></tr>
<tr><td colspan="2">人体到達気流速度：　5.7　m/s</td></tr>
<tr><td>間接操作</td><td>スイッチによる操作</td></tr>
<tr><td>環境制御範囲</td><td colspan="3">サーマルマネキン等価温度として−0.7℃</td></tr>
<tr><td>設置位置</td><td colspan="3">天井</td></tr>
<tr><td colspan="4">大林組技術研究所に導入された O-TASC 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システムであり，経路空間にはクールシャワーが設置されている。屋外暑熱空間から執務空間に至る経路空間を熱的緩衝ゾーンとみなし，執務者は外部環境において蓄熱された体内の熱をクールシャワーの気流により取り除くことができる。さらに，高い知的生産性が要求される執務室には，気流感による不快を取り除いた，放射と自然対流によるパーソナル空調が設置されている。クールシャワーとパーソナル空調には環境選択権が付与されており，この一連のシステムは人間のビヘイビアを考慮した動的な設計であると言える。
 
</td></tr>
<tr><td>導入事例</td><td colspan="3">大林組技術研究所本館テクノステーション（2010 年）</td></tr>
<tr><td>参考文献</td><td colspan="3">伊藤，平山，野部，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」，建築設備&昇降機 (89)，23-30，2011</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th colspan="3">パーソナル空調システム事例シート 12</th></tr>
<tr><td>名称</td><td colspan="2">クールチェア</td></tr>
<tr><td>機能</td><td colspan="2">冷房</td></tr>
<tr><td>パーソナル対応</td><td colspan="2">1 対 1</td></tr>
<tr><td rowspan="4">空調方式</td><td rowspan="4">対流</td><td>等温気流</td></tr>
<tr><td>外気供給機能無し</td></tr>
<tr><td>風量：最大 27.0 CMH（肘掛部左右合計），12.0 CMH（座面）</td></tr>
<tr><td>人体到達気流速度：0.9 m/s（胸部最大），
0.9 m/s（顔近傍最大）</td></tr>
<tr><td>制御方法</td><td>手動</td><td>直接操作</td></tr>
<tr><td>環境制御範囲</td><td colspan="2">サーマルマネキン等価温度として−0.8℃（最大風量）
発汗状態における被験者実験の官能評価では−3.5℃程度の効果を発揮</td></tr>
<tr><td>設置位置</td><td colspan="2">什器（椅子）</td></tr>
<tr><td colspan="3">クールチェアは両肘掛け，座面の各部に搭載した 3 台のファンから等温気流を吹き出すことにより，人体近傍の気流速度を調節できるタスクユニットである。ユニットの ON-OFF 及び風量の調整は右肘掛け部側面のダイヤル式のスイッチにて行い，座面部 ファンのみの使用や肘掛部のファンのみを使用するといった操作も可能である。座面部のファンからは少量の気流を一定の風量（12.0m3/h）で吹き出すことで，着席時の熱ごもりの解消が期待される。一方で両肘掛け部に搭載している小型ファンの風量は 5 段階（18.5～27.0m3/h）の間で調節可能であり，最大風量時の音圧レベルは FL+1100 で 47dB である（暗騒音：30dB）。風向は可動型の肘掛けとボール状の吹出し口の角度を調整することで，使用者 好みの気流環境を単純明快な操作で実現可能である。バッテリーには大容量のリチウムポリマー電池を採用し，最大風量時の連続稼働時間は 10 時間であるが着席荷重感知スイッチにより離席した際に無駄な電力は消費しないため，充電せずに一週間の使用を可能とした。

  </td></tr>
<tr><td>導入事例</td><td colspan="2">東京ガス港北 NT ビル（アースポート）（2010 年改修）</td></tr>
<tr><td>参考文献</td><td colspan="2">鵜飼真成他：等温気流発生装置を具備した事務椅子の冷却効果，空気調和・衛生工学会論文集 (223)，37-44，2015-10-05</td></tr>
</table>

パーソナル空調システム事例シート 13		
名称	オムロンヘルスケア新本社におけるパーソナル空調	
機能	冷房	
パーソナル対応	1 対 1	
空調方式	対流	非等温気流
		外気供給機能無し
		人体到達気流速度：0.76m/s（FL+1100）
環境制御範囲	PMV0.91 をから 0.31 に改善	
設置位置	天井	

オムロン新本社に設けられた集中思考室は，執務者が創造性を発揮できる環境として適正な温熱環境を確保するために，放射効果とパーソナル気流を組み合わせた空調方式が採用されている。集中思考室は小さな部屋であり，窓面積の占める割合が大きいため，設計段階から窓面からのほてり感，冷放射が想定された。そのため，室内の放射環境を改善する目的で，天井材に微細孔のあるメタル天井を採用し，天井チャンバ方式での空調システムを採用した。空冷ヒートポンプパッケージ機器の吹出空気を天井チャンバ方式で室内へ供給することで天井表面温度を下げ，放射効果のある空調システムとしている。天井チャンバ内に供給された吹出空気は，窓際から室内へ供給される。加えて，部屋の利用者が好みで開閉可能なパーソナル制気口を天井面に設置し，気流感を得ることで冷房時の温熱感が改善されるよう計画している。



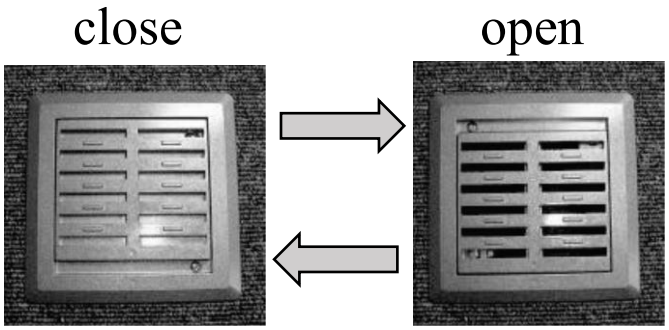
導入事例	オムロンヘルスケア研究開発および本社新拠点（2011 年）
参考文献	平岡雅哉ほか：オムロンヘルスケア研究開発および本社新拠点，建築設備士 44(6)，14-20，2012-06

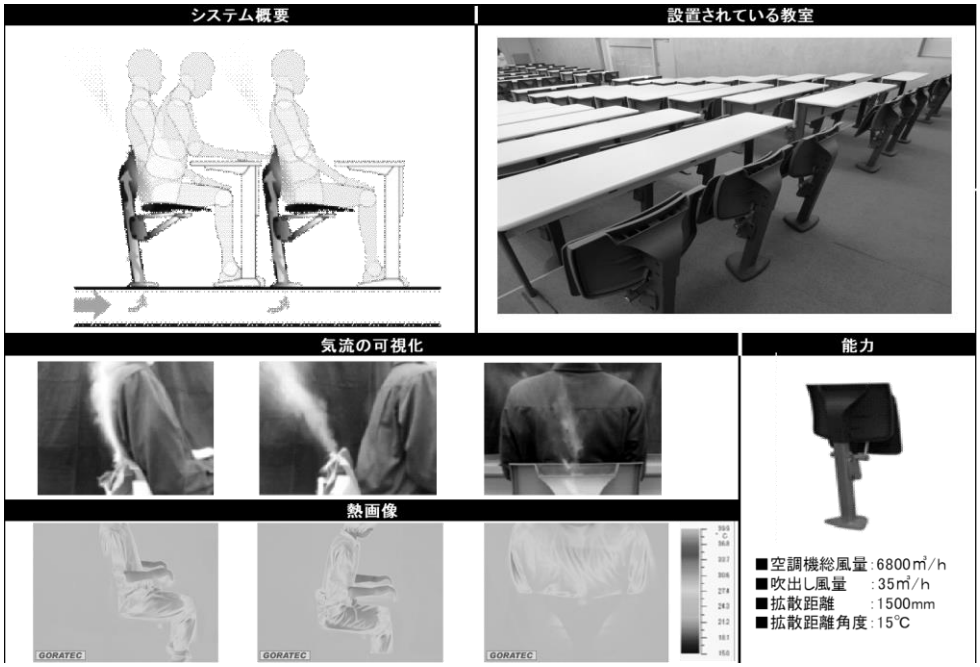
パーソナル空調システム事例シート 14		
名称	東急建設技術研究所におけるタスクアンビエント併用型吹出口	
機能	冷房	
パーソナル対応	1 対 1	
空調方式	対流	非等温気流
		外気供給機能有り
		アネモと PK の合計風量 200 CMH（PK1 在籍時），110 CMH（PK1 離席時） 250 CMH（PK2 在籍時），110 CMH（PK2 離席時） PK1 個当たりの風量：約 30CMH
		人体到達気流速度：0.6 m/s（PK1,FL+1250） 0.8 m/s（PK2,FL+1250）
制御方法	－	
環境制御範囲	－	
設置位置	天井	

タスクアンビエント併用型吹出口は主にタスク域の吹出しを目的としたパンカー部(以下，PK)アンビエント域の吹出しであるアネモ部で構成されている。PK は，冷房時はタスク域へ吹出し，暖房時は吹出し方向を変えて室内空気を攪拌する作用を期待している。アネモ部の形状は，システム天井用の小型アネモ(W217×H350)をベースとし，アネモコーンの吹出し角度を天井面に対して約 28°とした。ダクト接続は天井内の納まりを考慮し，150φ のダクトをチャンバーボックス(以下，CB)側面に接続して給気を行なう横差込型とした。仕様としては，PK1 個ﾀｲﾌﾟ(以下，PK1)と 2 個ﾀｲﾌﾟ(以下，PK2)の構成とし，設計吹出し風量(アネモと PK の合計風量)は，PK1 が在席時 200m³/h，離席時 110m³/h，PK2 が在席時 250m³/h，離席時 110m³/h である。

導入事例	東急建設技術研究所（1992 年竣工，2012 年設備改修工事）
参考文献	廣澤博嗣ほか：タスクアンビエント空調による室内環境と省エネルギーに関する効果検証 （第 1 報）タスクアンビエント併用型吹出口の気流性状の把握，空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集，pp169-172，2013

<table>
<tr><th colspan="3">パーソナル空調システム事例シート 15</th></tr>
<tr><td>名称</td><td colspan="2">パーソナル床吹出し口</td></tr>
<tr><td>機能</td><td colspan="2">冷房</td></tr>
<tr><td>パーソナル対応</td><td colspan="2">1 対 1</td></tr>
<tr><td rowspan="4">空調方式</td><td rowspan="4">対流</td><td>非等温気流</td></tr>
<tr><td>外気供給機能有り</td></tr>
<tr><td>風量：30 CMH</td></tr>
<tr><td>人体到達気流速度：約 0.7 m/s（膝下）</td></tr>
<tr><td>制御方法</td><td>手動</td><td>直接操作</td></tr>
<tr><td>環境制御範囲</td><td colspan="2">サーマルマネキンによる等価温度として−0.3℃</td></tr>
<tr><td>設置位置</td><td colspan="2">床</td></tr>
<tr><td colspan="3">スリット状の吹出し孔を有する板を 2 枚重ねた構造となっており，この上部の板をスライドさせることで開口面積を増減させ，風量を 0%あるいは 100%に調整する。吹出し口の材質は強度を確保するようにアルミダイキャスト材である。スリット孔には供給気流に方向性を持たせるように孔の切り込みを垂直方向に対して 15°の角度を設けている。吹出し口は各執務者の個人用デスクの足元に設置されており，執務者は着座状態にて自身の好みに合わせて，容易に気流の有無を選択することが可能である。空調機にて処理した空気を床下チャンバーから吹出すので，基本的には二重床主体の全面床吹出し口との併用である。二重床材上への本体の設置はフロアコンセントなどを設置するために設けられている切り欠き部分を吹出し口設置箇所として利用しているため、自由度の高い吹出し口レイアウトができる。開ける／閉めるという選択のみであるが、その非常にシンプルな性能が使用者にとって馴染みやすいシステムとなっており、冷房主体の設備ではあるが年間を通じて多くの頻度で使用されていることが確認されている。

 
</td></tr>
<tr><td>導入事例</td><td colspan="2">清水建設新本社ビル（2012 年），農大アカデミアセンター（2013 年），アースビル立川（2015 年）</td></tr>
<tr><td>参考文献</td><td colspan="2">佐藤ほか：「全面床吹出し空調」システムにおける個別空調対応とパーソナル空調用床吹出し口の開発　社団法人空気調和・衛生工学会 学術講演会論文集 H15
大塚ほか：ユビキタスパーソナル空調システム
空気調和・衛生工学 第 84 巻 第 8 号 47-51 2010.8</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th colspan="3">パーソナル空調システム事例シート 16</th></tr>
<tr><td>名称</td><td colspan="2">教室用空調椅子</td></tr>
<tr><td>機能</td><td colspan="2">冷房＋暖房</td></tr>
<tr><td>パーソナル対応</td><td colspan="2">1 対 1</td></tr>
<tr><td rowspan="3">空調方式</td><td rowspan="3">対流</td><td>非等温気流</td></tr>
<tr><td>外気供給機能有り</td></tr>
<tr><td>風量：35 CMH</td></tr>
<tr><td>制御方法</td><td colspan="2">着席時の姿勢の変化により，周囲の気流を調整</td></tr>
<tr><td>環境制御範囲</td><td colspan="2">冷房時：−0.6℃</td></tr>
<tr><td>設置位置</td><td colspan="2">椅子</td></tr>
<tr><td colspan="3">この教室用空調椅子は，着座時の姿勢変化で周囲の気流を調整する“環境選択型”の椅子である。「環境選択権」に着目し，着座時の姿勢を変えることによる気流の調整と，空調によって温度が変化した背もたれ自体への接触による調整という，空調環境の調節に関する 2 つの選択肢を有している。着座している個人個人の温熱環境における微調整を目的としている。
一般に，日本の，しかも教室のような高密度の空間では，床や天井から空調を吹き出すと必ず身体に気流があたることが考えられる。クリアゾーン（身体と吹き出し口との距離）が確保しにくい状況から，不快の原因となるドラフトを感じたり，場所により空調にムラが生じたりする。また空調を運用開始した後も，調整に時間を要することになる。今回の開発は，これらの問題を解決するために，「人とイス」という関係の中で個人レベルでの「環境選択権」のある，学校等の教室・講義室対象を対象とした新たな空調システムを目指した。
 
</td></tr>
<tr><td>導入事例</td><td colspan="2">工学院大学八王子キャンパス総合教育等（2012 年）</td></tr>
<tr><td>参考文献</td><td colspan="2">萩ノ脇祐子ほか：椅子吹出しと床吹出しの大学教室における温熱環境比較，学術講演梗概集 2013(環境工学 II)，999-1000，2013-08-30　一般社団法人日本建築学会</td></tr>
</table>

パーソナル空調システム事例シート 17		
名称	4 床病室用簡易型パーソナル空調システム	
機能	冷房＋暖房	
パーソナル対応	1 対 1	
空調方式	対流	非等温気流
		外気供給機能有り
制御方法	手動	ー
環境制御範囲	冷房時：周囲温度よりベッド上の温度を約 1℃下げることが可能	
設置位置	天井	

このシステムは，従来のパーソナル空調方式に比べ設置コストを大幅に削減し，大規模な病院から小規模な病院まで採用可能である。主な特長は，以下の通り。

（1）1 個の吹出ユニットのみでパーソナル性の実現が可能

従来の 4 床病室用パーソナル空調システムは，冷温水を使用する専用の空調機，個人用の吹出口および個　別のコントローラーが必要となるため，採用可能な病院規模が限定され，コスト高だった。同システムは，病院の一般的な空調方式を利用し，1 個の吹出ユニットを接続するのみで 4 人の入院患者に個別に，同時に供給することが可能。

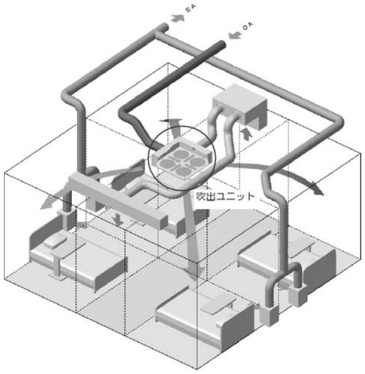
（2）省エネルギー性の向上と空調環境の改善

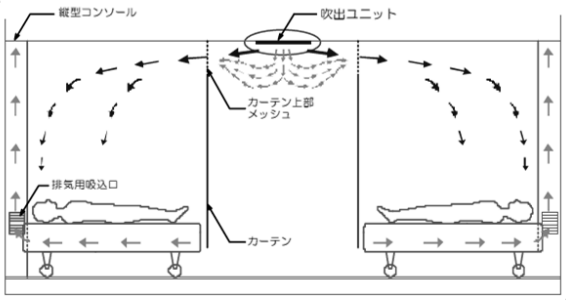
1）各ベッドへ空調空気を供給する円形の吹出口は，天井面に沿った気流を実現する水平吹出方式を採用。　吹　出口の誘引効果を利用し，吹出空気の到達距離と温度を制御でき，周囲温度よりベッド上の温度を約 1℃下げることが可能。

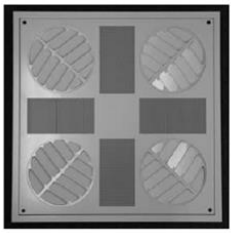
2）吹出ユニットを病室中央に配置するが，カーテン上部のメッシュ部分に気流を通過させるため，カーテンの開閉による空調効率に影響がない。

3）回転可能な吹出口による方向調節で気流感をなくすことも可能。

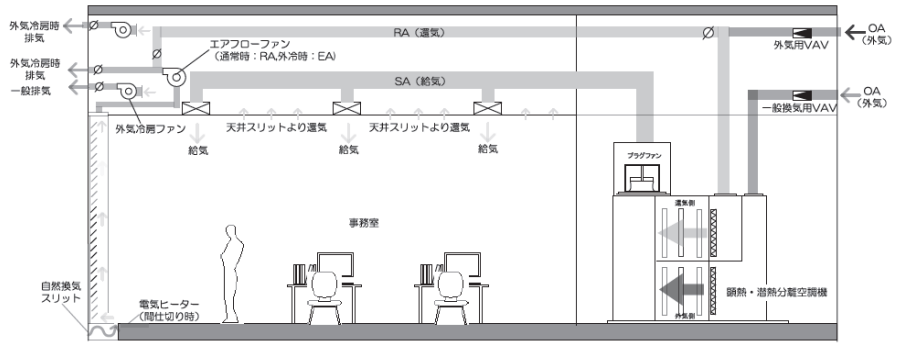
4）新鮮な外調空気をベッド方向に供給するため，ベッド周りの空気は病室通路部の空気よりも新鮮に保たれる。

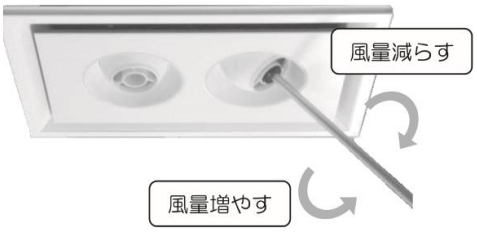






導入事例	愛知県立中央病院（2014 年）
参考文献	大成建設：4 床病室用簡易型パーソナル空調システムの開発， http://www.taisei.co.jp/about_us/release/2011/1299904286640.html 20150305 アクセス

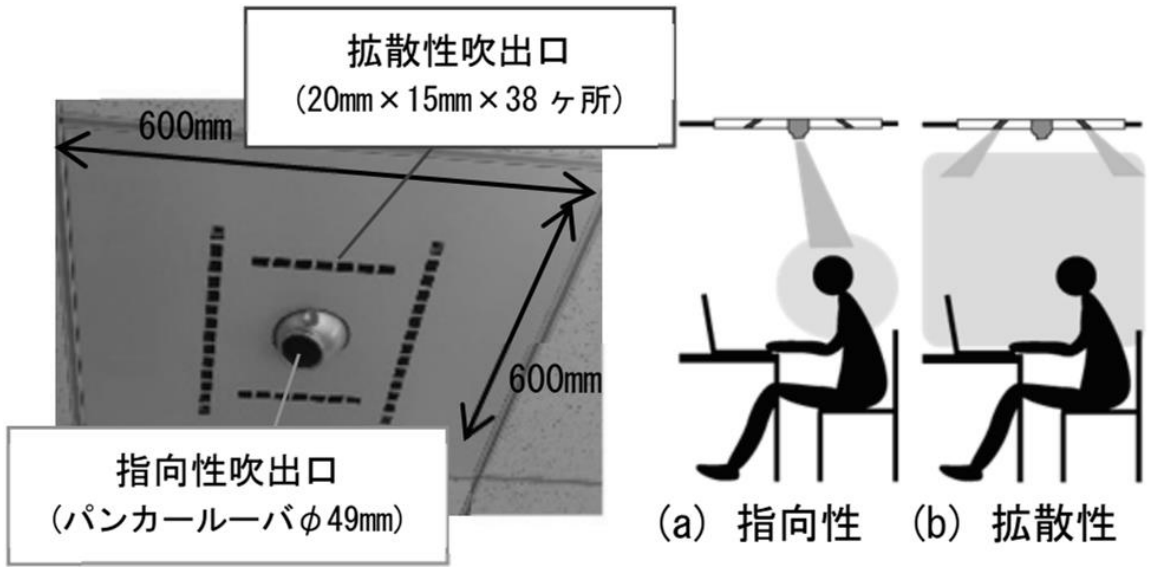
<table>
<tr><th colspan="3">パーソナル空調システム事例シート 18</th></tr>
<tr><td>名称</td><td colspan="2">読売新聞ビルにおけるパーソナル空調</td></tr>
<tr><td>機能</td><td colspan="2">冷房</td></tr>
<tr><td>パーソナル対応</td><td colspan="2">1 対 1</td></tr>
<tr><td rowspan="4">空調方式</td><td rowspan="4">対流</td><td>非等温気流</td></tr>
<tr><td>外気供給機能有り</td></tr>
<tr><td>風量：- CMH</td></tr>
<tr><td>人体到達気流速度：- m/s</td></tr>
<tr><td>制御方法</td><td>手動</td><td>直接操作</td></tr>
<tr><td>環境制御範囲</td><td colspan="2">-</td></tr>
<tr><td>設置位置</td><td colspan="2">天井</td></tr>
<tr><td colspan="3">本建物における各階事務室の空調方式は，単一ダクト VAV 方式（ペリメータはエアフロー方式）によるペリメータレス空調としている。空調機は顕熱潜熱分離型を採用し，夏期における快適性の向上および除湿再熱エネルギーの削減に配慮した。運用時間が長い業務形態を考慮し，搬送動力の低減が図れるよう各 VAV は人感センサによる制御とし，また中間期における外気冷房は空調機全風量を確保できる計画とし冷水消費量を低減することとした。さらに事務所の一部の室にはパーソナル吹出口を採用した。操作棒により居住者が任意に風量調整を行うことで気流を調整，室内の快適性向上が図れるように配慮した。
 



操作棒をパーソナルノズルの中央部に差し込み、操作棒を回転させます。
風量を増やす：操作棒のO方向（左）に回す
風量を減らす：操作棒のS方向（右）に回す</td></tr>
<tr><td>導入事例</td><td colspan="2">読売新聞ビル（2013 年）</td></tr>
<tr><td>参考文献</td><td colspan="2">吉田亨ほか： 読売新聞ビル：建築設備士 2014.7， 8-15，建築設備技術者協会， 2014.7</td></tr>
</table>

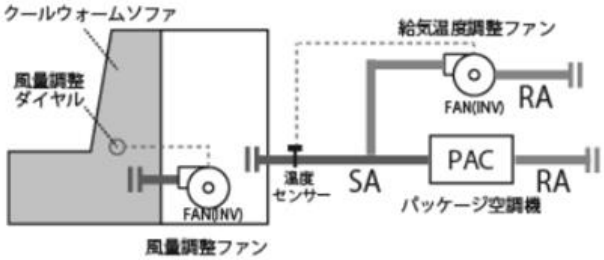
パーソナル空調システム事例シート 19		
名称	立命館大学トリシアにおけるパーソナル空調システム	
機能	冷房	
パーソナル対応	1 対 1	
空調方式	対流	非等温気流
		外気供給機能有り
		風量：57 CMH
		人体到達気流速度：1.4 m/s（首付近）
制御方法	手動	個人 PC による操作
環境制御範囲	–	
設置位置	天井	

本システムは，主に夏期における帰社時の体内蓄熱除去を目的としている。パーソナル吹出口は，1 人 1 台で，人体に直接気流が到達する指向性吹出口と，人体周りに気流が拡散する拡散性吹出口を 1 つの吹出パネルに集約したものである。指向性吹出口にはパンカールーバを採用することで吹出方向を自在に調節可能とした一方で，拡散性気流は 45°の角度で吹出すことでドラフト感を抑制した。気流性状（指向性・拡散性・OFF）は，個人 PC の操作で LAN を経由して切替が可能である。



導入事例	立命館大学トリシア（2014 年）
参考文献	近本智行：ヒューマンファクターによる暑熱感緩和とパーソナル空調制御・立命館大学，建築設備と配管工事，pp.32-39,2016.6

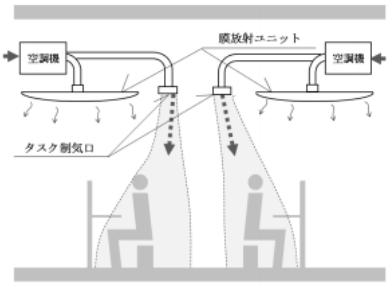
<table>
<tr><th colspan="3">パーソナル空調システム事例シート 20</th></tr>
<tr><td>名称</td><td colspan="2">クール・ウォームソファ</td></tr>
<tr><td>機能</td><td colspan="2">冷房＋暖房</td></tr>
<tr><td>パーソナル対応</td><td colspan="2">3 人掛け</td></tr>
<tr><td rowspan="3">空調方式</td><td rowspan="3">対流</td><td>非等温気流</td></tr>
<tr><td>外気供給機能無し</td></tr>
<tr><td>風量：320 CMH（最大）</td></tr>
<tr><td>制御方法</td><td>手動</td><td>直接操作</td></tr>
<tr><td>環境制御範囲</td><td colspan="2">冷却時：サーマルマネキン等価温度として−3.3℃（最大）</td></tr>
<tr><td>設置位置</td><td colspan="2">ソファ</td></tr>
<tr><td colspan="3">クール・ウォームソファは座面・背面からの吹き出し気流により，人が座っている時に空調送風(冷房・暖房)を当てる仕組みとなっている。そのため，人体近傍を局所的に空調することが可能であり，効率的に快適な局所環境をつくることが出来る。ソファは 3 人掛けであり，風量調整はダイヤルにて任意に調整が可能で最大風量は 1 基で 320m³/h となる。吹き出し温度は 22℃固定である。
本システムはソファに空調ダクトを接続し，座面・背面から空調風が染み出す仕組みとなっている。ソファのクッション材はポリエステルを網状に接触結合させたスプリング構造を持ち，クッション性・形状安定性に優れている。通気性が非常に高いため，座面・背面から均等に空調風を吹出すことが可能である。ソファへの給気はパッケージ空調機により行い，給気温度は給気温度調整ファンで室内空気を混合することで一定となるよう制御している。給気温度は人体に直接当たることを考慮して 22℃設定としている。

  </td></tr>
<tr><td>導入事例</td><td colspan="2">浜松信用金庫　駅南支店（2014 年）</td></tr>
<tr><td>参考文献</td><td colspan="2">井上大嗣ほか：クールウォームソファを用いたタスク・アンビエント空調に関する研究（第 1 報）クールウォームソファの概要と冷房時の実測結果及びサーマルマネキン・被験者実測結果，空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集，2015</td></tr>
</table>

パーソナル空調システム事例シート 21		
名称	4 要素空調方式	
機能	冷房	
パーソナル対応	1 対 1	
空調方式	対流	非等温気流
		外気供給機能有り
		風量：170 CMH
		人体到達気流速度：0.6 m/s（FL+1000）
制御方法	手動	パソコンやスマートフォンによる操作
環境制御範囲	28℃設定において，PMV 値 0.2 まで制御可能	
設置位置	天井	

4 要素空調方式は，人間の温熱感 6 要素のうち空調システムでコントロール可能な，温度・湿度・気流・放射の 4 要素をすべて利用できる空調方式である。膜放射空調，パーソナル空調，潜熱・顕熱分離空調の 3 つで構成されている。

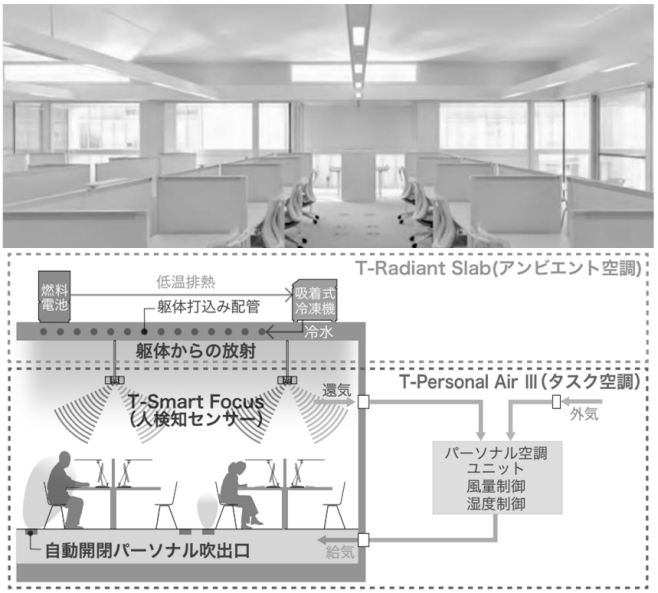
膜放射空調は，「天井フレーム」に取り付けた繊維素材の膜パネルを用い，膜を通して漏れる穏やかな気流により温度（室温）を調整するとともに，膜パネル自体が低温になることによる放射冷房で洞窟のような「ひんやり感」を実現する。タスク用吸気口の風量はスマートフォンや PC による操作が可能であり，個人の嗜好に応じて身の回りの気流を調整可能である。さらにデシカント空調機で湿度を調整することにより，室内設定温度の緩和を可能としている。

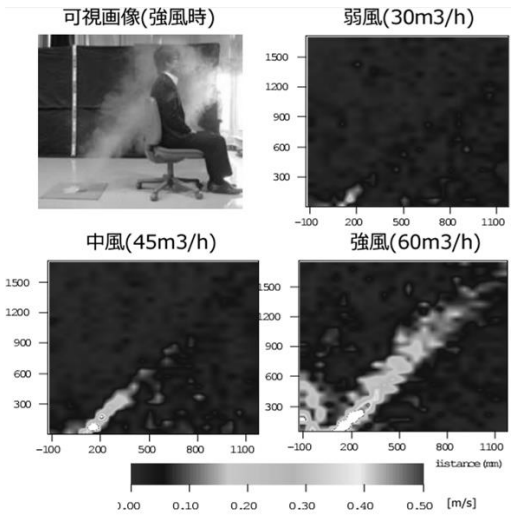


導入事例	新大橋ビル（2014 年）
参考文献	木幡悠士ほか：タスク・アンビエント対応の全空気式放射空調方式に関する研究，日本建築学会環境系論文集 80(710)，351-358，2015

パーソナル空調システム事例シート 22		
名称	T-Personal Air Ⅲ	
機能	冷房	
パーソナル対応	1 対 1	
空調方式	対流	非等温気流
		外気供給機能有り
		風量：60 CMH（最大）
		人体到達気流速度：0.3 m/s
制御方法	手動	自席 PC からの操作で吹出風量を調整可能 外気処理は人感センサによる在席情報に基づき，自動に最適化
環境制御範囲	—	
設置位置	床	

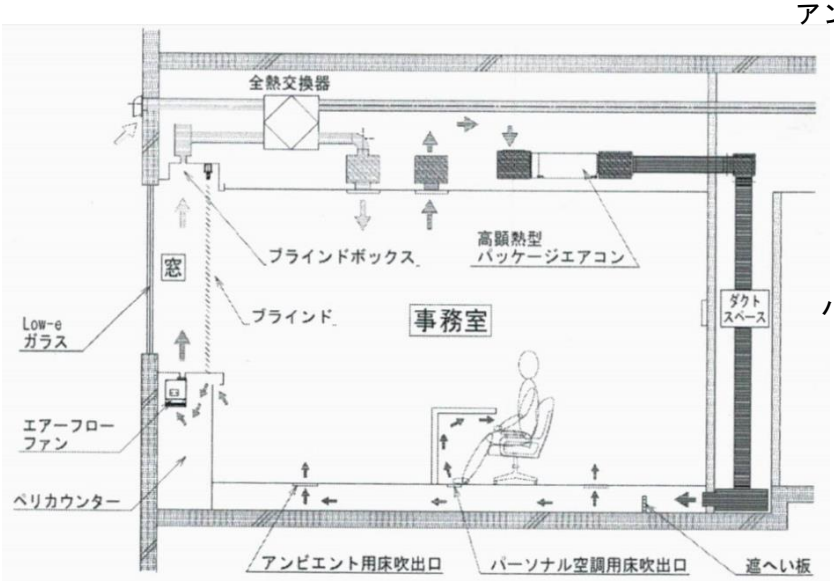
本システムでは，タスク空間の負荷処理の手法として、汎用的な外気処理パッケージ空調機とパーソナル床吹出ユニットを組み合わせることで、確実な除湿と個別風量の調節を可能とした。省エネの観点では、次世代人検知センサにより人がいる場所のパーソナル吹出口が自動的に開き、必要な外気導入量を適正に制御するシステムを組み込んでいる。風量に関しては自席 PC からの操作で調節可能なため、執務者一人一人の好みに応じた気流環境を実現できるシステムである。

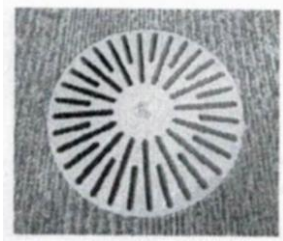


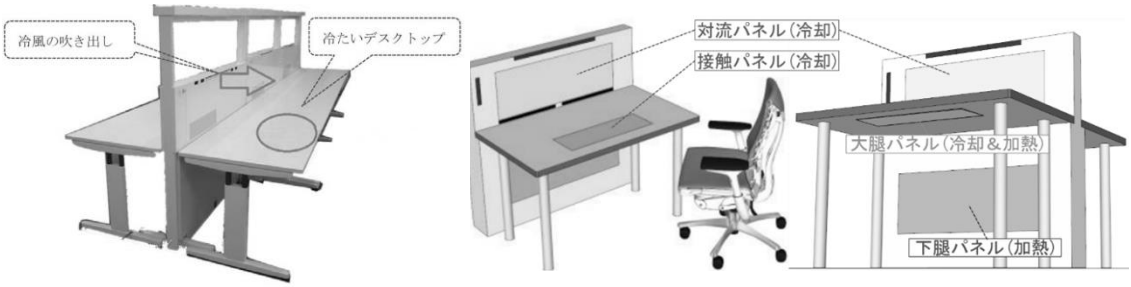


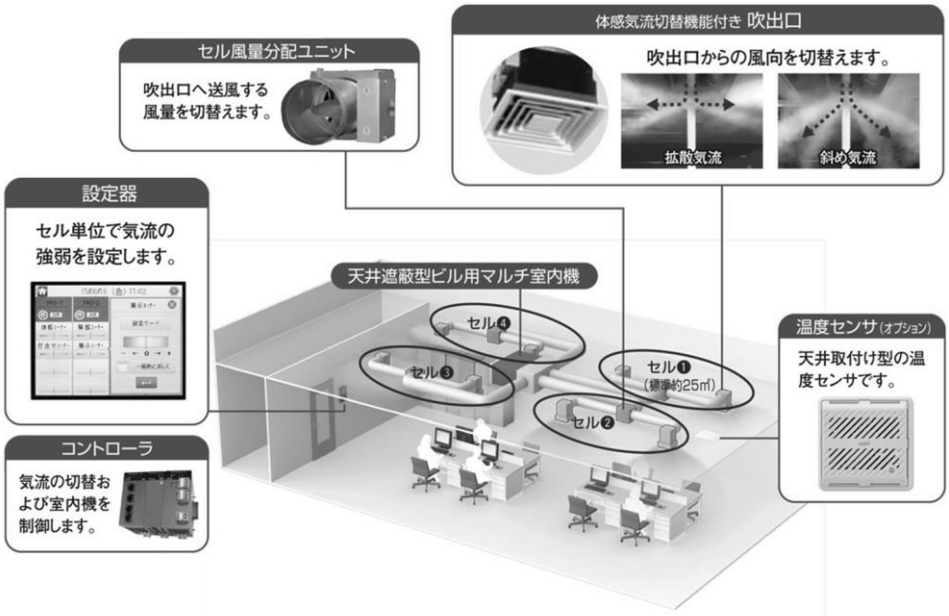
導入事例	大成技術センターZEB 実証棟（2014 年）
参考文献	吉田三香ほか：都市部における ZEB の実現に向けた実証研究 その 3 空調システムの概要と建物運用状況，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp. 1127-1128, 2015

<table>
<tr><th colspan="3">パーソナル空調システム事例シート 23</th></tr>
<tr><td>名称</td><td colspan="2">冨士機材中部支店におけるパーソナル空調</td></tr>
<tr><td>機能</td><td colspan="2">冷房＋暖房</td></tr>
<tr><td>パーソナル対応</td><td colspan="2">1 対 1</td></tr>
<tr><td rowspan="4">空調方式</td><td rowspan="4">対流</td><td>非等温気流</td></tr>
<tr><td>外気供給機能無し</td></tr>
<tr><td>風量：50 CMH</td></tr>
<tr><td>人体到達気流速度：0.5 m/s</td></tr>
<tr><td>制御方法</td><td>手動</td><td>直接操作</td></tr>
<tr><td>環境制御範囲</td><td colspan="2">-</td></tr>
<tr><td>設置位置</td><td colspan="2">床下</td></tr>
<tr><td colspan="3">本建物におけるアンビエント用床吹出し口は旋回流型としている一方で，パーソナル用床吹出し口は旋回流と斜め 60 度流を混合することで，適度に吹出し空気と誘引された空気の混合空気になり，さらに指向性を持つ気流が形成される。風向は自由に選択可能であり，例えば帰社直後など空調に過剰な環境変化を求める場合は，風向を人体手前に向けることで屋外行動に伴う熱的な履歴を瞬発的に取り除くことが可能である。一方で，熱的中立を実現している執務者等は，風向をデスク下部キャビネット側に向けることで気流が拡散し，人体プルームを利用した静穏な置換換気を形成することが可能である。パーソナル吹出し口 1 個当たりの風量は全開で最大 50m³/h 程度，最小で 15m³/h 程度であり，また冷房が苦手な人や，冬期の気流による不快感を防止する目的で吹出口を全閉にすることも可能である。

アンビエント床吹出し口（210φ）
 


パーソナル床吹出し口（130φ）
 </td></tr>
<tr><td>導入事例</td><td colspan="2">冨士機材中部支店（2014 年）</td></tr>
<tr><td>参考文献</td><td colspan="2">-</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th colspan="3">パーソナル空調システム事例シート 24</th></tr>
<tr><td>名称</td><td colspan="2">個別冷暖房付オフィスデスク</td></tr>
<tr><td>機能</td><td colspan="2">冷房＋暖房</td></tr>
<tr><td>パーソナル対応</td><td colspan="2">1 対 1</td></tr>
<tr><td rowspan="5">空調方式</td><td rowspan="3">対流</td><td>非等温気流</td></tr>
<tr><td>外気供給機能無し</td></tr>
<tr><td>風量：73 CMH（強），53（弱）</td></tr>
<tr><td>放射</td><td>パネル表面（天板裏）温度：約 20℃
（送水温度 16℃）</td></tr>
<tr><td>伝導</td><td>パネル表面（天板表）温度：約 22℃
（送水温度 16℃）</td></tr>
<tr><td>制御方法</td><td>手動</td><td>直接操作</td></tr>
<tr><td>環境制御範囲</td><td colspan="2">28℃の環境において，26℃と同等の快適性が得られる
（冷房時被験者実験の官能評価）</td></tr>
<tr><td>設置位置</td><td colspan="2">机</td></tr>
<tr><td colspan="3">本デスクは，天井や壁に這わせたパネルに冷温水を循環させる輻射空調の機能を応用したものである。特徴として，デスクトップに内蔵されたパネルに冷水を循環させることでデスクの表裏を冷やし，またパーティションにも冷水を循環させることでパーティションに取り込んだ空気を冷水で冷やしファンから送風することができる（冬季はデスクの一部に温水を循環させデスク下を温めることができる)。接触，対流，放射の 3 方式を組み合わせたパーソナル空調である。
①対流式：気流ファンがデスク正面に内蔵されており，吸込み口から誘引した空気をファンコイルにより冷却して吹出すことで気流による冷却効果が得られる。吹出し風量を調節可能である。
②放射式：デスクの天板裏に内蔵された冷却パネルに冷水を流すことにより，放射と自然対流による下半身の冷却効果が得られる。送水の ON/OFF の調節が可能である。
③接触式：デスク天板裏に冷却パネルが内蔵されている。放射式と同様にパネルに冷水を流すことでパネルを冷却し，使用者の前腕部がパネルに接触することで冷却効果が得られる。送水の ON/OFF の調節が可能である。
 
</td></tr>
<tr><td>導入事例</td><td colspan="2">大手門タワー・JX ビル（2015 年）</td></tr>
<tr><td>参考文献</td><td colspan="2">次世代テナントオフィスビルの設計および運用における検証（その 1～その 6），空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集，2015,2016</td></tr>
</table>

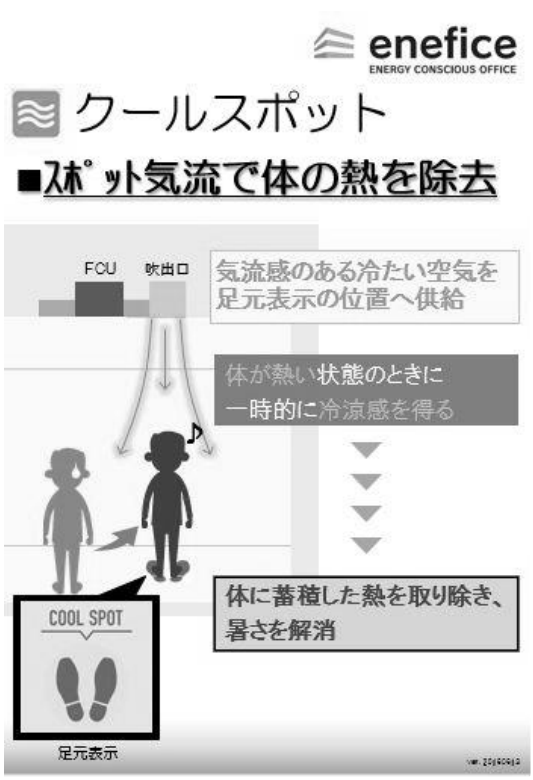
<table>
<tr><td colspan="5">パーソナル空調システム事例シート 25</td></tr>
<tr><td>名称</td><td colspan="4">セル型空調システム「ネクスフォート」</td></tr>
<tr><td>機能</td><td colspan="4">冷房</td></tr>
<tr><td>パーソナル対応</td><td colspan="4">効果範囲：吹出し口 1 台当たり約 20～25 ㎡</td></tr>
<tr><td rowspan="4">空調方式</td><td rowspan="4">対流</td><td colspan="3">非等温気流</td></tr>
<tr><td colspan="3">外気供給機能有り</td></tr>
<tr><td colspan="3">風量：(187.5～275) CMH</td></tr>
<tr><td colspan="3">人体到達気流速度：0.4～0.5 m/s（居住域）</td></tr>
<tr><td>制御方法</td><td>手動</td><td>間接操作</td><td colspan="2">タッチパネルによる操作</td></tr>
<tr><td>環境制御範囲</td><td colspan="4">サーマルマネキンによる等価温度として，−1.4℃</td></tr>
<tr><td>設置位置</td><td colspan="4">天井</td></tr>
<tr><td colspan="5">本システムは、天井隠蔽型のビル用マルチエアコンのダクトにモーターダンパと風向が切り替えられる吹出し口を設け空調ゾーニングを変えられる空調システムであり、温度設定ではなく気流の変化による快適性の向上をコンセプトとしている。吹出し気流は気流の強弱により拡散（天井に対して水平)、斜め、垂直と変更することができる。空調操作方法は室内に設置してあるユーザーインターフェース（下図）により、利用者が自由に操作（気流の強弱の変更）を行うことができる。これにより、環境選択権の提供による自己効力感の向上も目的としており、従来の空調とは異なりむやみな設定値の変更がされなくなり、温度設定値を抑制することができる。
 

※現在吹出しコーンは、風量により『水平吹きと斜め吹き』、『水平吹きと垂直吹き』が切り替わるコーンの 2 種類が開発済みである。</td></tr>
<tr><td>導入事例</td><td colspan="4">アズビル株式会社城南支社（2015 年）</td></tr>
<tr><td>参考文献</td><td colspan="4">鎌田将吾ほか：気流可変型吹出口を用いたオフィスの温熱環境評価，空気調和・衛生工学会大会学術論文集，pp.181-184，2016
アズビル株式会社：セル型空調システム，http://www.azbil.com/jp/product/building/cell-airflow-control/index.html，20161017 アクセス</td></tr>
</table>

パーソナル空調システム事例シート 26		
名称	パーソナル気流ユニット	
機能	冷房	
パーソナル対応	1 対 1	
空調方式	対流	等温気流
		外気供給機能あり
		最大風量：30 CMH
		人体到達気流速度：弱モード 0.14m/s　強モード 0.18m/s
制御方法	手動	タブレット操作で風量調整が可能
環境制御範囲	サーマルマネキン等価温度として，弱モード-0.8℃、強モード-1.6℃	
設置位置	天井	

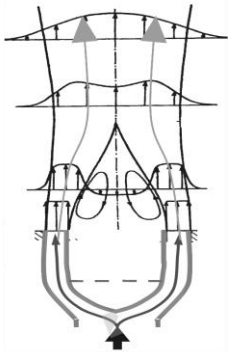
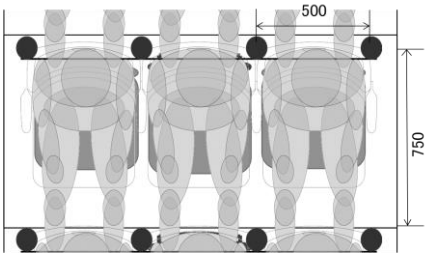
執務者個人の気流感調整に用いるパーソナル気流ユニットは，少ない搬送動力で十分な気流感を与えられることが望ましいことから，小風量で指向性の高い吹出口を目指して開発を行なった。CPU の冷却にも用いられる DC ファンモーターを一体化した吹出口であり，意匠性と施工性を考慮してダウンライト型としている。本事例は放射パネルと併設されている。最大吹出風量は 30m³/h であり，執務室に設置されたタブレット端末を操作して風量調整が可能である。人体に到達する気流速度は弱モードで気流 0.14m/s，強モードで気流 0.18m/s が得られる。

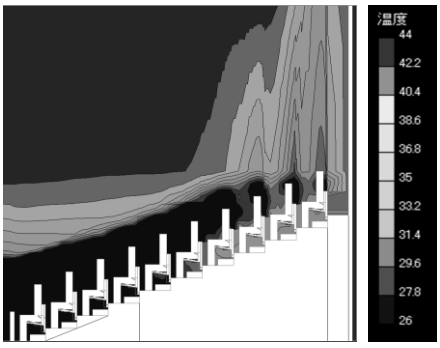
導入事例	ダイダン株式会社九州支社エネフィス（2016 年）
参考文献	香取尚樹ほか：スマートエネルギービルにおける放射空調システムの室内環境と執務者満足度，日本建築学会大会学術講演梗概集，中国，pp.989-990，2017.08

<table>
<tr><td colspan="4">パーソナル空調システム事例シート 27</td></tr>
<tr><td>名称</td><td colspan="3">クールスポット</td></tr>
<tr><td>機能</td><td colspan="3">冷房</td></tr>
<tr><td>パーソナル対応</td><td colspan="3">1 対 1</td></tr>
<tr><td rowspan="5">空調方式</td><td rowspan="5">対流</td><td colspan="2">非等温気流</td></tr>
<tr><td colspan="2">外気供給機能無し</td></tr>
<tr><td colspan="2">風量：　350　CMH</td></tr>
<tr><td colspan="2">人体到達気流速度：　1.0　m/s</td></tr>
<tr><td>間接操作</td><td>人感センサー</td></tr>
<tr><td>環境制御範囲</td><td colspan="3">サーマルマネキン等価温度で　−9.7 ℃</td></tr>
<tr><td>設置位置</td><td colspan="3">天井</td></tr>
<tr><td colspan="4">ダイダン株式会社九州支社に導入されたクールスポットは，建物のエントランスに設置されている。来客された方は外部環境において熱を体内に蓄熱しているので、その熱をクールスポットの気流により取り除くことができる。さらに，高い知的生産性が要求される執務室には，気流感による不快を取り除いた，放射と自然対流によるパーソナル空調が設置されている。クールシャワーとパーソナル空調には環境選択権が付与されており，この一連のシステムは人間のビヘイビアを考慮した動的な設計であると言える。
 

</td></tr>
<tr><td>導入事例</td><td colspan="3">ダイダン株式会社九州支社エネフィス（2016 年）</td></tr>
<tr><td>参考文献</td><td colspan="3">山口太郎ほか：スマートエネルギービルに適用する技術に関する研究（その 1）スマートエネルギービルのコンセプト，空気調和・衛生工学会学術講演論文集，pp. 301-304，2016</td></tr>
</table>

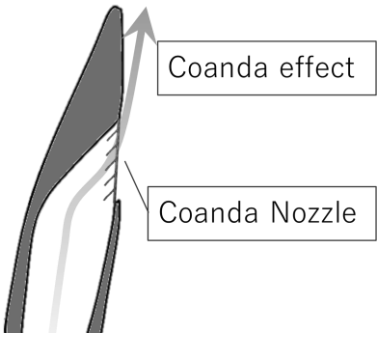
<table>
<tr><th colspan="3">パーソナル空調システム事例シート 28</th></tr>
<tr><td>名称</td><td colspan="2">競技場用空調椅子（カップホルダー同心円型吹出口）</td></tr>
<tr><td>機能</td><td colspan="2">冷房</td></tr>
<tr><td>パーソナル対応</td><td colspan="2">1 対 1</td></tr>
<tr><td rowspan="4">空調方式</td><td rowspan="4">対流</td><td>非等温気流</td></tr>
<tr><td>外気供給機能有り</td></tr>
<tr><td>給気温度：20℃</td></tr>
<tr><td>風量：60 CMH</td></tr>
<tr><td>環境制御範囲</td><td colspan="2">気温 44℃の酷暑環境において，居住域を 28℃程度に形成可能</td></tr>
<tr><td>設置位置</td><td colspan="2">カップホルダー</td></tr>
<tr><td>完成年度</td><td colspan="2">2013 年</td></tr>
<tr><td colspan="3">屋外競技場観客席の段床の最小寸法は火災予防条例により幅 750mm と制定されており，背板へ吹出し口を設置するための十分な幅が確保されていない。そのため既存の競技場椅子の寸法や配列を変更せずに大風量の冷風を上方へ吹出すためにはカップホルダーが設置されるスペースが最適であると判断した。本モデルはカップホルダーに給気機能を付加した吹出口を作成した。図に示す様に，カップホルダーの周りに 10mm 幅の同心円状の吹出し口を設け給気を行う。気流が人体へ干渉せず，尚且つ拡散せずに居住域上方まで吹き上げるために，同心円形状を採用した。観客が起立している状態を考慮した居住域を形成するため，同じ風量でも気流到達距離は高くまで到達する必要があることから吹出し口の形を同心円状とした。環状に噴出した噴流によって，内部には噴流に囲まれた負圧域が存在する。このために，噴流は中心に向かって曲げられ，中空噴流から中実噴流に移行することで，通常の円形ノズルよりも到達距離が高くなるという仕組みである。

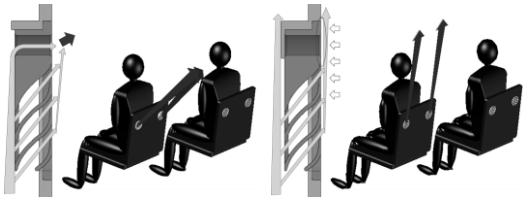
<table>
<tr><th>仕様</th><th>同心円型吹出口</th><th>同心円構造</th></tr>
<tr><td>外径
110mm
内径
90mm
給気口面積
1500mm^2
給気風量
60m^3/h
吹出し風速
9.8m/s</td><td> </td><td>  </td></tr>
</table>


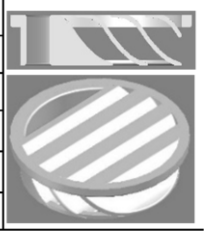

</td></tr>
<tr><td>参考文献</td><td colspan="2">矢田達也ほか：カップホルダーから給気する競技場用空調椅子の基本性能，学術講演梗概集 2014(環境工学 II)， 1295-1296， 2014-09-12　一般社団法人日本建築学会</td></tr>
</table>

パーソナル空調システム事例シート 29		
名称	競技場用空調椅子（可変コアンダノズル型吹出口）	
機能	冷房＋暖房	
パーソナル対応	1 対 1	
空調方式	対流	非等温気流
		外気供給機能有り
		風量：60 CMH（30 CMH×2）
		人体到達気流速度：下記に示す
制御方法	直接操作	
環境制御範囲	気温 36 度の環境にて居住域を約 31 度に形成可能。 また、ノズルを回転させることで風向の調整も可能。	
設置位置	椅子の背板裏	
完成年度	2015 年	

背板背面に直径 8 センチの円形で，その中にフィンを平行に配置したノズルを背板裏にはめ込み，そこから任意の角度へ吹出すという仕組みである。固定式でなく可変式のため，後部座席の着座者自らが風向調整を行うことができる。また，ノズルの角度に応じて，真上から真下まで 360 度気流の向きを変えることが可能である。ノズルを回転していくと徐々に開口部が開き，そこから出る気流によって強制的にベクトルを変化させ，コアンダ効果を打ち消すことで，気流の向きが変わるという仕組みである。それにより，上方への気流，下方への気流，着座者への気流を着座者個人が選択できる。さらに，背板内への冷気（暖気）の給気により，熱伝導による冷却（加熱）効果も期待できる。

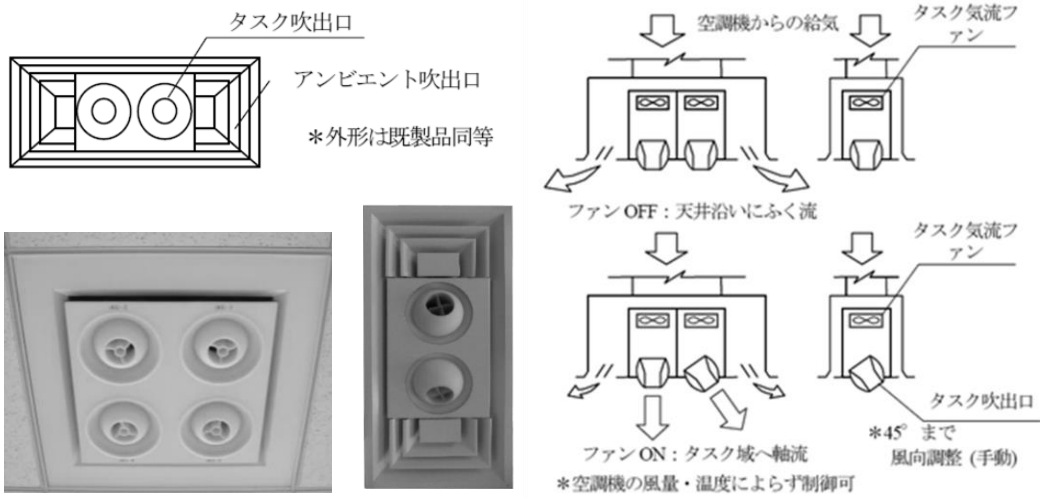




仕様		可変コアンダノズル
外径	90[mm]	
内径	80[mm]	
厚み	20[mm]	
開口部面積	2450[mm^2]	
給気風量	60[m^3/s]	
吹出し風速	6.0[m/s]	

		0°	30°	45°	180°
顔	[m/s]	0.02	0.32	0.17	
胸	[m/s]	0.02	0.43	0.75	
腹	[m/s]	0.03	0.21	0.60	
膝	[m/s]				0.08
脛	[m/s]				0.33
足首	[m/s]				0.63
ノズルの角度					

参考文献	鎌田他：屋外競技場用空調椅子のための可変コアンダノズルの開発(その 1, 2)，空気調和・衛生工学会学術講演梗概集 2015(環境工学Ⅱ)，2015-09-18 公益社団法人空気調和・衛生工学会

<table>
<tr><th colspan="3">パーソナル空調システム事例シート 30</th></tr>
<tr><td>名称</td><td colspan="2">タスク・アンビエント一体型空調吹出口</td></tr>
<tr><td>機能</td><td colspan="2">冷房</td></tr>
<tr><td>パーソナル対応</td><td colspan="2">1 対 1</td></tr>
<tr><td rowspan="4">空調方式</td><td rowspan="4">対流</td><td>非等温気流</td></tr>
<tr><td>外気供給機能有り</td></tr>
<tr><td>風量：200 CMH（最大風量）</td></tr>
<tr><td>人体到達気流速度：1.0 m/s（最大風量時，FL+1100）</td></tr>
<tr><td>制御方法</td><td>手動</td><td></td></tr>
<tr><td>環境制御範囲</td><td colspan="2">－</td></tr>
<tr><td>設置位置</td><td colspan="2">天井</td></tr>
<tr><td colspan="3">既往研究でも数多くの開発品・システムが報告されているが，本吹出口は，空調機・ダンパー等との連動制御がなくとも，吹出口単体でタスクアンドアンビエント空調が成り立つ。そのため，空調システムだけでなく，新築・改修を問わず採用が可能な，非常に汎用性の高い製品となっている。また，本開発品はファンを組み込んでいることに特長があり，アンビエントの室温調整のための風量とタスク気流のための風量が自律的に調整されるよう内部機構を工夫している。そのため，空調システムの影響を受けることなく，ユーザーの好みに応じて風量調整可能である点に優位性がある。
オフィスにおける基準寸法モジュールである 3,600[mm]×3,600[mm]四方に 4 人のオフィスワーカーが着席する執務環境下で機能することを設計条件として開発をしている。気流の到達距離や風向調整角度などは，本想定をクリアすることを目標としており，単体の吹出口ユニット 1 つにタスク吹出口 2 個付，もしくはタスク吹出口が 4 個付となるタイプを試作している。
 
</td></tr>
<tr><td>導入事例</td><td colspan="2">－</td></tr>
<tr><td>参考文献</td><td colspan="2">秋元考之：タスク・アンビエント一体型空調吹出口の開発，シンポジウム（東京）新設計条件適応空調システム―ZEB 時代の空調設計条件とは―，空気調和・衛生工学会，2015</td></tr>
</table>

Ⅰ．審査付論文

*印は本論文に直接関係するものを示す

No.	論文名	掲載誌	巻, 号, 頁	発行年	著者名
1*	事務所ビルにおける温熱環境の不均一性に関する研究	日本建築学会環境系論文集，日本建築学会	第 738 号, pp.739-746	2017.08	鵜飼真成 野部達夫
2*	S ビルにおける室内温熱環境調査と執務者の受容性に関する考察	日本建築学会環境系論文集，日本建築学会	第 724 号, pp.535-543	2016.06	鵜飼真成 高橋満博 村上宏次 雨宮沙耶 野部達夫
3*	等温気流発生装置を具備した事務椅子の冷却効果	空気調和・衛生工学会論文集，空気調和・衛生工学会	No.223, pp.37-44	2015.10	鵜飼真成 村松一貴 野部達夫

II. その他の研究論文

*印は本論文に直接関係するものを示す

No.	論文名	掲載誌	巻, 号, 頁	発行年	著者名
1*	クレーム発生のメカニズム	建築設備と配管工事	2017 年 8 月増刊号，pp.16-19	2017.08	野部達夫 鵜飼真成
2*	非受容申告リアルタイム記録装置「オストラコン」	建築設備と配管工事	2014 年 4 月号, pp.29-23	2014.04	野部達夫 鵜飼真成 青山禎二

III. 国際会議

*印は本論文に直接関係するものを示す

No.	論文名	掲載誌	巻, 号, 頁	発行年	著者名
1*	Comparison between thermal environmental stabilities of radiant and convective air-conditioning systems	Healthy Buildings 2017 Europe, Lublin Poland	INDEX: 0150	2017.06	Masanari Ukai Tatsuo Nobe
2*	Thermal Comfort Investigation of Air-Conditioning System with Variable Airflow in Office	Healthy Buildings 2017 Europe, Lublin Poland	INDEX: 0204	2017.06	Takuya Wakao Masanari Ukai Tatsuo Nobe
3	Simplified On-site Performance Evaluation Method for VRF Systems	Healthy Buildings 2017 Europe, Lublin Poland	INDEX: 0191	2017.06	Yasuhiro Sugata Mitsuhide Yasuda Masanari Ukai Tatsuo Nobe
4	Measurement Survey on Thermal and Acoustic Environment in Natural Ventilating Office Building	Healthy Buildings 2017 Europe, Lublin Poland	INDEX: P0217	2017.06	Gaku Tateyama Masanari Ukai Hiroshi Muramatsu Tatsuo Nobe
5*	Survey of Thermal Environmental Deviation in Offices	CLIMA 2016 - proceedings of the 12th REHVA World Congress	Vol.7, 163	2016.06	Masanari Ukai Goo Tsusaka Shogo Kamata Ryo Sekine Tatsuo Nobe
6	Evaluation of an Air Conditioning System Using Climate Properties in a Hospital	CLIMA 2016 - proceedings of the 12th REHVA World Congress	Vol.5, 482	2016.06	Ryo Sekine Tatsuo Nobe Masanari Ukai

7	Comparison of Primary Energy Consumption of DHC and VRF Systems Based on Realistic Heat Loads	CLIMA 2016 - proceedings of the 12th REHVA World Congress	Vol.5, 483	2016.06	Goo Tsusaka, Kenichi Yasuda Mitsuhide Yasuda Masanari Ukai Tatsuo Nobe
8	Development of Variable Coanda Nozzle for Air-Conditioning for Stadium Seats	CLIMA 2016 - proceedings of the 12th REHVA World Congress	Vol.5, 487	2016.06	Shogo Kamata Tatsuo Nobe Masanari Ukai Tatsuya Yada
9	Proposal of a method to extract typical partial load characteristics	CLIMA 2016 - proceedings of the 12th REHVA World Congress	Vol.6, 484	2016.06	Mitsuhide Yasuda Masanari Ukai Tatsuo Nobe
10*	A Study on Probabilistic Thermal Acceptability Evaluation	Proceedings of 8th Windsor Conference	INDEX: W16019	2016.04	Masanari Ukai Goo Tsusaka Tatsuo Nobe
11*	Usage Survey of Personal Underfloor Air Outlet System and Thermal Environment Acceptability	REHVA Annual Meeting and Conference 2015	INDEX: 32	2015.05	Masanari Ukai Yoshito Ara Mitsuhiro Takahashi Sei Ito Saya Amemiya Gouo Tsusaka Tatsuo Nobe
12	Development of Air Supply Nozzle for Stadium Chair	REHVA Annual Meeting and Conference 2015	INDEX: 34	2015.05	Tatsuya Yada Tatsuo Nobe Masanari Ukai
13*	Relationship between Thermal Environmental Acceptability and Individual Characteristics in an Office	REHVA Annual Meeting and Conference 2015	INDEX: 29	2015.05	Shiori Saito Tatsuo Nobe Masanari Ukai Yuta Ichikawa Shigeki Kametani
14*	DEVELOPMENT OF IMPROVED VERSION COOL CHAIR BASED ON MESH CHAIR	Roomvent 2014	pp.252-259	2014.10	Masanari Ukai Tatsuya Yada Tatsuo Nobe
15*	FIELD STUDY OF THERMAL ENVIRONMENTAL ACCEPTABILITY IN OFFOCE USING OSTRACON	Roomvent 2014	pp.126-133	2014.10	Yuta Ichikawa Masanari Ukai Shigeki Kametani Tatsuo Nobe
16*	FIELD STUDY OF THERMAL ENVIRONMENT ACCEPTABILITY IN OFFICES USING THE OSTRACON VOTING DEVICE AND SEAT OCCUPANCY SENSORS	GRAND RENEWABLE ENERGY 2014 Proceedings	INDEX: O-At-6-4	2014.07	Masanari Ukai, Yuta Ichikawa Tatsuo Nobe
17*	FIELD SURVEY ON UN-UNIFORMITY OF THERMAL ENVIRONMENTS IN OFFICE ROOMS	GRAND RENEWABLE ENERGY 2014 Proceedings	INDEX: O-At-6-5	2014.07	Yuta Ichikawa Masanari Ukai Ttsuo Nobe
18*	THE PERFORMANCE VERIFICATION OFDESICCANT AIR HANDLING SYSTEM OF S CORPORATE	GRAND RENEWABLE ENERGY 2014 Proceedings	INDEX: O-He-2-1	2014.07	Hiroya Koh, Masanari Ukai, Tatsuo Nobe
19*	Field Study of Thermal Environment Acceptability Using Ostracon Voting Device	Proceedings of 8th Windsor Conference	INDEX: W14008	2014.04	Masanari Ukai Yuta Ichikawa Tatsuo Nobe
20*	Investigation of Thermal Environmental Acceptability in Offices Using “Ostracon”	11th REHVA World Congress CLIMA of Prague	INDEX: 595	2013.06	Masanari Ukai, Teiji Aoyama, Tatsuo Nobe

21	Study on Acceptability in Unsteady Environment	9th International Meeting for Manikins and Modeling of Japan	INDEX: 37	2012.08	Masanari Ukai, Tatsuo Nobe

Ⅳ. 国内会議

*印は本論文に直接関係するものを示す

No.	論文名	掲載誌	巻, 号, 頁	発行年	著者名
1*	確率論的温熱受容性評価法を用いたパーソナル空調のアンビエント環境に関する考察	空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集	pp.445-448	2017.09	鵜飼真成 野部達夫
2*	都市における自然エネルギーと躯体熱容量を活用した自律安定型 ZEB に関する研究（第 4 報）躯体熱容量を活用したオフィスの特性	空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集	pp.325-328	2017.09	舘山岳 鵜飼真成 村松宏 富樫英介 野部達夫
3*	都市における自然エネルギーと躯体熱容量を活用した自律安定型 ZEB に関する研究（第 5 報）自然換気システムの評価と年間エネルギー消費傾向の検証	空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集	pp.329-332	2017.09	村松宏 舘山岳 鵜飼真成 富樫英介 野部達夫
4	クールチェア 2016 年型の物理性能と被験者による評価	空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集	pp.441-444	2017.09	土井裕介 鵜飼真成 田中康信 花園新太郎 野部達夫
5	統合型ハイブリッド VRF の最適運転制御を加えた省エネ運転オプションの事務所における導入効果	空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集	pp.397-440	2017.09	菅田恭弘 橋本篤 鵜飼真成 安田光秀 野部達夫
6	統合型ハイブリッド VRF のオンサイト測定法による店舗における運用状況評価	空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集	pp.393-396	2017.09	橋本篤 菅田恭弘 鵜飼真成 野部達夫
7	マルチパッケージ型空調機の小容量化による省エネ効果に関する研究, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集	空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集	pp.389-392	2017.09	安田光秀 鵜飼真成 野部達夫
8	スマートエネルギービルに適用する技術に関する研究（その 3）放射空調システムの室内環境と執務者満足度	空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集	pp.197-200	2017.09	香取尚樹 安田光秀 鵜飼真成 花園新太郎 山田正也 野部達夫
9*	再生可能エネルギーを活用したアースビル立川の省エネルギー性能に関する研究 第 7 報 夏期の室内環境および快適性に関するアンケート調査	空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集	pp.233-236	2017.09	津坂剛男 奥田篤 下白木諒 鵜飼真成 野部達夫
10	気流可変型空調システムの性能評価及び使用実態に関する調査	空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集	pp.57-60	2017.09	若尾拓哉 鵜飼真成 野部達夫

11	自然換気システムの効果的な評価	空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集	pp.1-4	2017.09	関根亮 鵜飼真成 野部達夫
12*	オフィスビルにおけるアンビエント域の温熱環境に関する考察	日本建築学会大会学術講演梗概集	pp.1039-1040	2017.08	鵜飼真成 野部達夫
13	再生可能エネルギーを活用したアースビル立川の省エネルギー性能に関する研究（その 6）夏期・中間期の室内温熱環境評価	日本建築学会大会学術講演梗概集	pp.1269-1270	2017.08	津坂剛男 奥田篤 下白木涼 鵜飼真成 野部達夫
14*	新発想ワークプレースによる環境志向オフィス（その 5）放射空調システムの温熱環境実測評価	日本建築学会大会学術講演梗概集	pp.1231-1232	2017.08	舘山岳 村松宏 井上瑞紀 青木亜美 鵜飼真成 富樫英介 野部達夫
15	新発想ワークプレースによる環境志向オフィス（その 6）自然換気システムに対する執務者評価	日本建築学会大会学術講演梗概集	pp.1233-1234	2017.08	井上瑞紀 青木亜美 村松宏 舘山岳 鵜飼真成 野部達夫
16	気流可変型空調システムの室内環境評価	日本建築学会大会学術講演梗概集	pp.1131-1132	2017.08	若尾拓哉 鵜飼真成 鎌田将吾 野部達夫
17	マルチパッケージ型空調機のダウンサイジングによる省エネルギー効果	日本建築学会大会学術講演梗概集	pp.1091-1092	2017.08	安田光秀 鵜飼真成 野部達夫
18	商業施設における統合型ハイブリッドシステムの運用状況評価	日本建築学会大会学術講演梗概集	pp.1089-1090	2017.08	橋本篤 菅田恭弘 鵜飼真成 野部達夫
19	クールチェア 2016 年型の研究開発	日本建築学会大会学術講演梗概集	pp.1037-1038	2017.08	土井裕介 田中康信 花園新太郎 鵜飼真成 野部達夫
20	スマートエネルギービルにおける放射空調システムの室内環境と執務者満足度	日本建築学会大会学術講演梗概集	pp.989-990	2017.08	香取尚樹 安田光秀 鵜飼真成 山田正也 花園新太郎 野部達夫
21	事務所ビルにおける統合型ハイブリッドシステムの運用実績	日本建築学会大会学術講演梗概集	pp.1087-1088	2017.08	菅田恭弘 橋本篤 鵜飼真成 野部達夫
22	マルチパッケージ型空調機における実運用時平均部分負荷特性の抽出方法に関する研究	空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集	pp.265-268	2016.09	安田光秀 菅田恭弘 鵜飼真成 野部達夫
23	統合型ハイブリッド VRF のシミュレーションによる最適制御の有効性評価に関する研究	空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集	pp.261-264	2016.09	菅田恭弘 安田光秀 鵜飼真成 野部達夫

24*	パーソナル空調システムの性能評価法に関する研究	空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集	pp.89-92	2016.09	矢田達也 鵜飼真成 野部達夫
25*	再生可能エネルギーを活用したアースビル立川の省エネルギー性能に関する研究 第 3 報 中間期における自然換気システムの室内環境測定およびアンケート調査	空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集	pp.273-276	2016.09	斉藤詩織 鵜飼真成 津坂剛男 武田晃成 下白木諒 野部達夫
26	確率論的温熱受容性評価に関する研究（第 4 報）夏期の執務空間における P-R チャートの適用	空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集	pp.185-188	2016.09	鵜飼真成 津坂剛男 斉藤詩織 野部達夫
27*	気流可変型吹出口を用いたオフィスの温熱環境評価	空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集	pp.181-184	2016.09	鎌田将吾 関根亮 鵜飼真成 野部達夫
28	都市における自然エネルギーと躯体熱容量を活用した自律安定型 ZEB に関する研究（第 1 報）建物概要と導入システム	空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集	pp.305-308	2016.09	村松宏 舘山岳 矢田達也 鵜飼真成 富樫英介 野部達夫
29	都市における自然エネルギーと躯体熱容量を活用した自律安定型 ZEB に関する研究（第 2 報）温熱環境実測評価	空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集	pp.309-312	2016.09	舘山岳 矢田達也 鵜飼真成 村松宏 富樫英介 野部達夫
30	都市における自然エネルギーと躯体熱容量を活用した自律安定型 ZEB に関する研究（第 3 報）計算モデルによる吸着式冷凍システムの運用法検討	空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集	pp.313-316	2016.09	富樫英介 村松宏 野部達夫 舘山岳 鵜飼真成 矢田達也
31	スマートビルへの改修に適用したゼロ・エネルギー化技術に関する研究（第 2 報）再生可能エネルギーループのエネルギー収支	空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集	pp.273-276	2016.09	若尾拓哉 津坂剛男 鵜飼真成 斉藤詩織 松田侑樹 山口太郎 田中康信 野部達夫
32	T ミュージアムにおける環境配慮技術（第 1 報）建物概要および多機能集熱塔について	空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集	pp.189-192	2016.09	吉川佳江 松本純一 岩下悟 岡本繁樹 有村哲郎 橋本翔 関根亮 矢田達也 鵜飼真成 野部達夫

33	T ミュージアムにおける環境配慮技術（第 2 報）蓄熱材陶片の蓄熱性能の検証	空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集	pp.193-196	2016.09	松本純一 吉川佳江 岩下悟 岡本繁樹 有村哲郎 橋本翔 関根亮 矢田達也 鵜飼真成 野部達夫
34	T ミュージアムにおける環境配慮技術（第 3 報）陶片蓄熱システムの運用状況	空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集	pp.197-200	2016.09	関根亮 鵜飼真成 吉川佳江 松本純一 岩下悟 岡本繁樹 有村哲郎 橋本翔 矢田達也 野部達夫
35	年間実負荷に基づく地域冷暖房方式と個別分散空調方式のエネルギー効率比較	空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集	pp.197-200	2016.09	津坂剛男 安田健一 諫早俊樹 安田光秀 菅田恭弘 鵜飼真成 野部達夫
36*	次世代空調システム実現に向けた「8 つのトライ」 ―8 つのトライとヒューマンファクター―	空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集	pp.21-24	2016.09	野部達夫 鵜飼真成
37	熱源水ループ配管の性能評価	日本建築学会大会学術講演梗概集	pp.1405-1406	2016.08	若尾拓哉 津坂剛男 鵜飼真成 斉藤詩織 松田侑樹 野部達夫
38	T 社ミュージアムにおける環境配慮技術（その 1）建物概要および多機能集熱棟について	日本建築学会大会学術講演梗概集	pp.1317-1318	2016.08	吉川佳江 松本純一 岩下悟 関根亮 矢田達也 鵜飼真成 野部達夫
39	T 社ミュージアムにおける環境配慮技術（その 2）蓄熱材陶片の蓄熱性能の検証	日本建築学会大会学術講演梗概集	pp.1319-1320	2016.08	松本純一 吉川佳江 岩下悟 関根亮 矢田達也 鵜飼真成 野部達夫
40	T 社ミュージアムにおける環境配慮技術（その 3）実測による陶片蓄熱システムの評価	日本建築学会大会学術講演梗概集	pp.1321-1322	2016.08	関根亮 矢田達也 鵜飼真成 吉川佳江 松本純一 岩下悟 野部達夫

41	等温気流を用いたオフィスチェア型パーソナル空調ユニットの開発	日本建築学会大会学術講演梗概集	pp.1281-1282	2016.08	山田正也 津坂剛男 鵜飼真成 野部達夫
42	マルチパッケージ型空調機の実運用時平均部分負荷特性抽出方法に関する検討	日本建築学会大会学術講演梗概集	pp.1267-1268	2016.08	安田光秀 菅田恭弘 鵜飼真成 野部達夫
43	気流可変型吹出口が形成する室内温熱環境の評価	日本建築学会大会学術講演梗概集	pp.1253-1254	2016.08	鎌田将吾 関根亮 鵜飼真成 野部達夫
44*	再生可能エネルギーを活用したアースビル立川の省エネルギー性能に関する研究（その 2）中間期・冬期の室内物理環境評価	日本建築学会大会学術講演梗概集	pp.1187-1188	2016.08	津坂剛男 下白木諒 武田晃成 斉藤詩織 鵜飼真成 野部達夫
45*	発想ワークプレースによる環境志向オフィス（その 1）対象オフィスの概要と環境技術	日本建築学会大会学術講演梗概集	pp.1167-1168	2016.08	村松宏 矢田達也 舘山岳 鵜飼真成 鎌田将吾 井上瑞紀 青木亜美 野部達夫
46*	新発想ワークプレースによる環境志向オフィス（その 2）自然換気システムの運用状況および温熱環境の実測評価	日本建築学会大会学術講演梗概集	pp.1169-1170	2016.08	矢田達也 舘山岳 鎌田将吾 鵜飼真成 村松宏 井上瑞紀 青木亜美 野部達夫
47*	新発想ワークプレースによる環境志向オフィス（その 3）自然換気システムの温熱環境に対する執務者評価	日本建築学会大会学術講演梗概集	pp.1171-1172	2016.08	舘山岳 村松宏 矢田達也 井上瑞紀 青木亜美 鵜飼真成 鎌田将吾 野部達夫
48	ワークプレースの転換が生む環境志向オフィス その 4 自然換気の評価 その2 自然換気システムの音環境に対する執務者評価	日本建築学会大会学術講演梗概集	pp.1173-1174	2016.08	井上瑞紀 舘山岳 鵜飼真成 鎌田将吾 青木亜美 矢田達也 村松宏 野部達夫
49*	着衣量と代謝量の実測調査に基づく執務者の要求温度分布に関する研究	日本建築学会大会学術講演梗概集	pp.321-322	2016.08	鵜飼真成 津坂剛男 鎌田将吾 関根亮 舘山岳 斉藤詩織 矢田達也 野部達夫

50*	執務者の属性と温熱環境受容性の相関に関する研究	日本建築学会大会学術講演梗概集	pp.243-244	2016.08	斉藤詩織 鵜飼真成 野部達夫
51	マルチパッケージ型空調機のオンサイト計測法に関する研究	日本建築学会大会学術講演梗概集	pp.1269-1270	2016.08	菅田恭弘 安田光秀 鵜飼真成 野部達夫
52*	オフィスにおける温熱環境のムラに関する実測調査	室内環境学会学術大会講演要旨集	pp.260-261	2015.12	鵜飼真成 斉藤詩織 矢田達也 鎌田将吾 野部達夫
53*	放射空調の温熱感に関する研究 第1報 対流空調と放射空調の空間性状比較実験の概要	日本建築学会大会学術講演梗概集	pp.1243-1244	2015.09	鵜飼真成 津坂剛男 高博也 雨宮沙耶 掛川秀史 中村卓司 村上宏次 熊野直人 野部達夫
54*	放射空調の温熱感に関する研究 第2報 気流均斉度が及ぼす影響	日本建築学会大会学術講演梗概集	pp.1245-1246	2015.09	津坂剛男 鵜飼真成 高博也 雨宮沙耶 掛川秀史 中村卓司 村上宏次 熊野直人 野部達夫
55*	放射空調の温熱感に関する研究 第3報 放射と湿度が執務者の満足度に与える影響	日本建築学会大会学術講演梗概集	pp.1247-1248	2015.09	雨宮沙耶 掛川秀史 中村卓司 村上宏次 熊野直人 鵜飼真成 高博也 津坂剛男 野部達夫
56	可変コアンダノズルを用いた屋外競技場のパーソナル空調	日本建築学会大会学術講演梗概集	pp.1289-1290	2015.09	鎌田将吾 鵜飼真成 野部達夫 矢田達也
57	温熱環境における自己効力感の因子分析	日本建築学会大会学術講演梗概集	pp.83-84	2015.09	市川勇太 斉藤詩織 鵜飼真成 野部達夫
58	コージェネ排熱を利用する排熱投入型吸収冷温水機の動特性に関する研究	日本建築学会大会学術講演梗概集	pp.1417-1418	2015.09	斉藤詩織 市川勇太 鵜飼真成 松田侑樹 野部達夫
59	クールウォームソファを用いたタスク・アンビエント空調に関する研究（その 1）クールウォームソファの概要と冷房時の実測結果	日本建築学会大会学術講演梗概集	pp.1275-1276	2015.09	井上大嗣 矢田達也 野部達夫 田中宏明 鵜飼真成

60	クールウォームソファを用いたタスク・アンビエント空調に関する研究（その 2）クールウォームソファの冷房時の実測及び性能評価	日本建築学会大会学術講演梗概集	pp.1277-1278	2015.09	矢田達也 鵜飼真成 井上大嗣 田中宏明 野部達夫
61	S 医療センターにおけるクールヒートトレンチの効果検証	日本建築学会大会学術講演梗概集	pp.567-568	2015.09	関根亮 高博也 斉藤詩織 鵜飼真成 村松宏 菅原華子 野部達夫
62*	確率論的温熱受容性評価に関する研究（第 1 報）環境温度と要求温度による評価法の提案	空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集	pp.5-8	2015.09	鵜飼真成 斉藤詩織 津坂剛男 雨宮沙耶 村上宏次 野部達夫
63*	確率論的温熱受容性評価に関する研究（第 2 報）オストラコンを用いた理論の検証	空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集	pp.9-12	2015.09	斉藤詩織 鵜飼真成 津坂剛男 雨宮沙耶 野部達夫
64*	確率論的温熱受容性評価に関する研究（第 3 報）放射空調と併用する対流型パーソナル空調への理論の試用	空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集	pp.13-16	2015.09	津坂剛男 鵜飼真成 斉藤詩織 高橋満博 村上宏次 野部達夫
65	屋外競技場用空調椅子のための可変コアンダノズルの開発（第 1 報）可変コアンダノズルの概要	空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集	pp.385-388	2015.09	矢田達也 鎌田将吾 鵜飼真成 野部達夫
66	屋外競技場用空調椅子のための可変コアンダノズルの開発（第 2 報）実験による冷房時の性能評価，空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集	空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集	pp.389-392	2015.09	鎌田将吾 矢田達也 鵜飼真成 野部達夫
67	マルチパッケージ型空調機の簡易なオンサイト測定法に関する研究（第 1 報）重み付け平均化法の提案	空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集	pp.185-188	2015.09	安田光秀 鵜飼真成 斉藤詩織 野部達夫
68	スマートビル構築のための要素技術検証とその最適化に関する研究（第 6 報）CGS 併用システムの排熱投入型ガス吸収冷温水機のガス消費量に関する研究 2	空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集	pp.149-152	2015.09	山口太郎 松田侑樹 斉藤詩織 鵜飼真成 野部達夫
69	クールウォームソファを用いたタスク・アンビエント空調に関する研究（第 1 報）クールウォームソファの概要と冷房時の実測結果及びサーマルマネキン・被験者実測結果	空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集	pp.393-396	2015.09	井上大嗣 田中宏明 矢田達也 鵜飼真成 野部達夫
70	S 医療センターにおけるグリーン化技術の取組み（第 1 報）地域特性を生かした環境負荷低減手法について	空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集	pp. 121-124	2015. 09	菅原華子 村松宏 関根亮 斉藤詩織 鵜飼真成 野部達夫

71	S 医療センターにおけるグリーン化技術の取組み（第 2 報）実測による自然換気の評価	空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集	pp.125-128	2015.09	関根亮 菅原華子 村松宏 斉藤詩織 鵜飼真成 野部達夫
72*	放射空調と一般空調の特性比較	室内環境学会学術大会講演要旨集	pp.264-265	2014.12	鵜飼真成 高博也 橋本祐 荒井義人 高橋満博 伊藤清 雨宮沙耶 野部達夫
73	ZEB に対応した空調システムに関する研究 第 1 報 空調システム概要とアンビエント空調の実験結果	空気調和・衛生工学会学術講演論文集	pp.113-116	2014.09	熊尾隆丈 山田正也 橋本翔 花園新太郎 野部達夫 鵜飼真成
74	ZEB に対応した空調システムに関する研究 第 2 報 イス設置型等温気流タスクユニットの被験者申告とサーマルマネキンによる実験	空気調和・衛生工学会学術講演論文集	pp.117-120	2014.09	花園新太郎 熊尾隆丈 山田正也 田中康信 野部達夫 鵜飼真成
75*	ZEB を目指した都市型超高層オフィスの研究 第 13 報 夏期におけるアンケート調査と受容度申告	空気調和・衛生工学会学術講演論文集	pp.189-192	2014.09	橋本祐 高橋満博 鵜飼真成 高博也 伊藤清 野部達夫
76*	温熱環境の受容に関する研究 第 3 報 中間期における室内温熱環境と非受容申告に関する調査	空気調和・衛生工学会学術講演論文集	pp.145-148	2014.09	市川勇太 斉藤詩織 鵜飼真成 山田正也
77*	温熱環境の受容に関する研究 第 4 報 執務者の属性が温熱環境受容に及ぼす影響	空気調和・衛生工学会学術講演論文集	pp.149-152	2014.09	斉藤詩織 鵜飼真成 市川勇太 野部達夫
78*	Field Study of Thermal Environment Acceptability in Offices Using Ostracn	Summaries of Technical Paper of Annual Meeting Air-Conditioning and Sanitary Engineers	pp.13-16	2014.09	Masanari Ukai Yuta Ichikawa Tatsuo Nobe
79*	室内温熱環境の受容度に関する研究 その5 大部屋執務室の温熱環境の分布と変動	日本建築学会大会学術講演梗概集	pp.1329-1330	2014.09	斉藤詩織 鵜飼真成 市川勇太 野部達夫
80*	持続可能な社会に向けた都市型超高層オフィスの研究 その17 夏期におけるアンケート調査と受容度申告	日本建築学会大会学術講演梗概集	pp.1055-1056	2014.09	橋本祐 高博也 鵜飼真成 高橋満博 荒井義人 野部達夫

81*	室内温熱環境の受容度に関する研究 その 3 個別申告型 1ch 型の調査結果	日本建築学会大会学術講演梗概集選抜梗概	pp.439-442	2014.09	市川勇太 鵜飼真成 野部達夫
82*	室内温熱環境の受容度に関する研究 その 4 個別申告型 2ch 型の調査結果	日本建築学会大会学術講演梗概集選抜梗概	pp.443-446	2014.09	鵜飼真成 市川勇太 野部達夫
83*	S 社本社の室内物理環境評価及び執務者心理申告	空気調和・冷凍連合講演会講演論文集	No.32	2014.04	高博也 橋本祐 鵜飼真成 荒井義人 高橋満博 雨宮沙耶 伊藤清 野部達夫
84*	オストラコンによるクールチェアの熱的受容度評価 その 1 クールチェアの諸元と評価の手法	空気調和・冷凍連合講演会講演論文集	No.30	2014.04	鵜飼真成 市川勇太 野部達夫
85*	オストラコンによるクールチェアの熱的受容度評価 その 2 パーソナル空調使用者の受容度申告	空気調和・冷凍連合講演会講演論文集	No.31	2014.04	市川勇太 鵜飼真成 野部達夫
86*	室内温熱環境の受容度に関する研究 その1 オストラコンの開発及び室内温熱環境と非受容申告	日本建築学会学術講演梗概集	pp.417-418	2013.08	市川勇太 鵜飼真成 鈴木育野 野部達夫
87*	室内温熱環境の受容度に関する研究 その2 オフィスにおける室内温熱環境非受容申告調査	日本建築学会学術講演梗概集	pp.419-420	2013.08	鈴木育野 市川勇太 鵜飼真成 野部達夫
88*	持続可能な社会に向けた都市型超高層オフィスの研究 その 9 室内温熱環境の快適性評価	日本建築学会学術講演梗概集	pp.1195-1196	2013.08	鵜飼真成 高博也 橋本祐 高橋満博 伊藤清 野部達夫
89*	ZEB 化改修オフィスにおけるクールチェアの適用（その 5：改良型クールチェアの試作と性能評価）	日本建築学会学術講演梗概集	pp.997-998	2013.08	村松一貴 鵜飼真成 今成岳人 小川哲史 丹羽勝巳 野部達夫
90*	温熱環境の受容に関する考察（第 2 報）オストラコンによる室内温熱環境と非受容申告に関する調査	空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集	pp.61-64	2013.09	市川勇太 鵜飼真成 鈴木育野 野部達夫
91*	ZEB 化改修オフィスへのクールチェアの適用（第 5 報）オストラコンによる在室者の受容度調査	空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集	pp.181-184	2013.09	鵜飼真成 村松一貴 今成岳人 小川哲史 丹羽勝巳 野部達夫
92*	ZEB 化改修オフィスへのクールチェアの適用（第 6 報）改良型クールチェアの性能評価	空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集	pp.185-188	2013.09	村松一貴 鵜飼真成 今成岳人 小川哲史 丹羽勝巳 野部達夫

93*	ZEB を目指した都市型超高層オフィスビルの研究（第 7 報）室内温熱環境の快適性評価	空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集	pp.117-120	2013.09	橋本裕 高橋満博 鵜飼真成 高博也 伊藤清 野部達夫
94	非定常環境における温冷感と受容度に関する被験者実験	日本建築学会学術講演梗概集	pp.43-44	2012.09	鵜飼真成 村松一貴 鷲巣和弘 野部達夫
95	温熱環境の受容に関する研究（第 1 報）受容のプロセスに関する実験的考察	空気調和・衛生工学会学術講演論文集	pp.925-928	2012.09	鵜飼真成 村松一貴 鷲巣和弘 野部達夫

謝辞

本論文は、筆者が工学院大学野部研究室に所属して以来、8年間に渡り取り組んだ、室内温熱環境の受容に関する研究成果を纏めたものです。野部研究室のメンバーをはじめとする、多くの方々にご指導とご協力を賜りました。記して謝意を表します。

工学院大学　野部達夫教授には卒業論文から修士論文、そして博士論文に至るまで多大なるご指導とご鞭撻を賜りました。野部教授からのご指導は、時に厳しく、必要に応じては更に厳しいものでしたが、研究に対する熱意は勿論のこと、魂を込めたものづくりの姿勢から、日本語力、大局観等、筆者が今後社会で活躍するために必要な数多くの資質を養うことができたと感じています。愛情あふれるご指導に深謝申し上げます。

工学院大学　柳宇教授、横山計三教授、芝浦工業大学　秋元孝之教授、早稲田大学　田辺新一教授にはご多忙の中、本論文の副査を引き受けていただきました。数多くのご指導とご助言を賜りましたこと、厚く御礼申し上げます。

工学院大学　中島裕輔教授、西川豊宏教授、富樫英介准教授からは、授業等で建築設備に関わる多くの知識を学ばせていただきました。また、博士後期課程在学中には、学位論文の完成に向けて多くの励ましの言葉を頂いたことに感謝申し上げます。

日本工業検査株式会社　青山禎二氏からは、本論文の第 2 章における非受容申告装置「オストラコン」の制作に多大なるご助言を頂きました。青山氏のお力添えなしには、本研究を進めることはできなかったかと存じます。本当に有難うございました。

工学院大学野部研究室秘書　青木玲子氏は雄々しい研究室における唯一の心のよりどころとなる存在でありました。我々が穏やかな気持ちで研究に取り組めるのも、青木氏の支えがあってからこそと実感しております。筆者に対しても多くの励ましとお気遣いの暖かいお言葉を頂きましたこと、感謝申し上げます。

清水建設株式会社　荒井義人氏、高橋満博氏、熊野直人氏、村上宏次氏、掛川秀史氏、雨宮沙耶氏、東京ガス株式会社　武田晃成氏、今成岳人氏、笹本太郎氏、奥田篤氏、株式会社日建設計村松宏氏、ダイダン株式会社　田中康信氏、山口太朗氏、花園新太郎氏、山田正也氏、アズビル株式会社　長尾泰司氏には実際の執務空間における貴重な実測の場を提供していただきました。また、研究打合わせ等、数多くの議論の場を設けていただき、大変貴重なご意見とご指摘を頂きましたことに、感謝の意を表します。

最後になりますが、一人息子として家業の占術を継ぐ身でありながら、博士後期課程への進学を許していただき、また愛情いっぱいに育て支えてくれた、父　鵜飼一成氏、母　鵜飼雅美氏、祖母　田口いくこ氏に心から感謝申し上げます。

学位取得後は皆様からのご縁とご恩を忘れずに、建築設備の奥義を極めるべく研究生活に邁進していく所存でございます。

2018 年 1 月

鵜飼真成