

居住者参加型空調制御方式に関する研究

**(Study on the control method of the air-conditioning system
using occupants' thermal requests)**

村上 昌史

(MURAKAMI , Yoshifumi)

名古屋大学大学院環境学研究科都市環境学専攻学位論文 博士（工学）

2008 年

目 次

| | |
|------------------------------------|----|
| 第1章 研究目的 | 1 |
| 1 研究の意義と目的 | 1 |
| 2 既往研究と本論文 | 4 |
| 2-1 居住者の快適性を考慮した制御方式に関する研究 | 4 |
| 2-2 室内温度管理支援システムに関する研究 | 6 |
| 2-3 ネットワーク環境を利用した合意形成支援システムに関する研究 | 7 |
| 2-4 インタラクティブ性を考慮した環境情報提供システムに関する研究 | 8 |
| 2-5 既往研究の問題点と本研究の位置づけ | 9 |
| 3 研究の範囲と適用 | 10 |
| 第2章 研究概要 | 11 |
| 1 研究概要と本論文の構成 | 11 |
| 2 最適温度管理・制御の概念 | 14 |
| 2-1 最適温度管理・制御の定義 | 14 |
| 2-2 室内環境条件 | 14 |
| 2-3 エネルギー性 | 15 |
| 2-3-1 温度条件緩和による省エネルギー効果 | 15 |
| 2-3-2 温度条件の緩和がエネルギー効率に及ぼす影響 | 15 |
| 2-4 温熱快適性 | 16 |
| 2-4-1 温度管理，制御と熱的満足感 | 16 |
| 2-4-2 生理的プロセス | 17 |
| 2-4-3 心理的プロセス | 18 |
| 2-4-4 行動的プロセス | 19 |
| 3 最適温度管理・制御の具現化 | 19 |
| 3-1 温度管理の課題と適正化 | 20 |
| 3-1-1 管理者 - 居住者の関係 | 21 |
| 3-1-2 居住者 - 居住者の関係 | 21 |
| 3-1-3 空調システム - 居住者の関係 | 21 |
| 3-2 居住者参加型空調制御システムの構築 | 22 |
| 3-2-1 居住者参加型空調制御システムの構成 | 22 |
| 3-2-2 合意形成アルゴリズム | 23 |
| 3-2-3 合意形成ロジック | 24 |
| 3-2-4 要望申告画面 | 26 |

| | |
|----------------------------------|--------|
| 3-2-5 フィードバック画面 | 27 |
| 4 対象フィールド | 30 |
| 4-1 D ビル 7F | 30 |
| 4-2 D ビル 1F | 32 |
| 4-3 T ビル | 32 |
| 5 測定項目およびその方法 | 33 |
| 5-1 温熱環境条件 | 33 |
| 5-2 エネルギー消費量 | 35 |
| 5-3 心理反応 | 37 |
| 第3章 オフィス温熱環境の実態調査 | 38 |
| 1 はじめに | 38 |
| 2 調査概要 | 38 |
| 2-1 実態調査 | 38 |
| 2-1-1 室内温熱環境調査 | 38 |
| 2-1-2 空調エネルギー調査 | 40 |
| 2-1-3 管理実態調査 | 40 |
| 2-1-4 居住者の実態調査 | 40 |
| 2-2 設定温度の変更に対するエネルギー消費量と温冷感の感度調査 | 41 |
| 2-2-1 空調エネルギー調査 | 41 |
| 2-2-2 温冷感調査 | 41 |
| 3 結果 | 42 |
| 3-1 室内温熱環境特性 | 42 |
| 3-2 空調エネルギー消費特性 | 42 |
| 3-3 温度管理実態 | 44 |
| 3-4 居住者特性 | 46 |
| 3-4-1 居住者属性と着衣量 | 46 |
| 3-4-2 職種と在席状況 | 47 |
| 3-4-3 室内環境に対する不満 | 47 |
| 3-4-4 寒暑時における行動 | 48 |
| 3-5 設定温度に対する空調エネルギーと居住者の温冷感 | 49 |
| 3-5-1 設定温度と空調エネルギー消費（空調処理熱量）の関係 | 49 |
| 3-5-2 設定温度と温冷感の関係 | 50 |
| 4 小括 | 55 |

| | |
|--|----|
| 第4章 合意形成ロジックによる設定温度緩和効果と快適性向上の評価 | 56 |
| 1 はじめに | 56 |
| 2 基本ロジックによる設定温度緩和と快適性向上の効果 | 57 |
| 2-1 実験概要 | 58 |
| 2-1-1 対象フロア | 58 |
| 2-1-2 実験条件 | 59 |
| 2-1-3 測定項目 | 59 |
| 2-2 結果 | 60 |
| 2-2-1 通常温度から開始した場合の「快適優先ロジック」の設定温度推移 | 60 |
| 2-2-2 通常よりやや高い温度から開始した場合の「快適優先ロジック」の設定温度推移 | 60 |
| 2-2-3 通常温度から開始した場合の「省エネ優先ロジック」の設定温度推移 | 62 |
| 2-2-4 居住者心理 | 62 |
| 2-3 本節のまとめ | 64 |
| 3 女性優先ロジックが設定温度制御と快適性に及ぼす影響 | 65 |
| 3-1 実験概要 | 65 |
| 3-2-1 実験条件 | 65 |
| 3-2-2 測定項目 | 65 |
| 3-3 結果 | 66 |
| 3-3-1 設定温度の推移 | 66 |
| 3-3-2 居住者心理 | 66 |
| 3-4 考察 | 67 |
| 3-5 本節のまとめ | 69 |
| 4 暖房ロジックによる設定温度緩和と快適性向上の効果 | 70 |
| 4-1 実験概要 | 70 |
| 4-1-1 実験条件 | 70 |
| 4-1-2 測定項目 | 71 |
| 4-2 結果 | 71 |
| 4-2-1 設定温度の推移 | 71 |
| 4-2-2 居住者心理 | 72 |
| 4-3 本節のまとめ | 72 |
| 5 合意形成ロジックの特性と、その特性による空調負荷の削減効果 | 73 |
| 5-1 時刻別コンディションの違いが合意形成による設定温度制御に及ぼす影響 | 73 |
| 5-1-1 検討概要 | 73 |
| 5-1-2 検討結果 | 73 |
| 5-2 日別コンディションの違いが合意形成ロジックによる設定温度制御に及ぼす影響 | 75 |
| 5-2-1 検討概要 | 75 |
| 5-2-2 検討結果 | 76 |

| | |
|-------------------------------------|--------|
| 5-3 各種制御ロジックが空調負荷に及ぼす影響 | 77 |
| 5-3-1 検討概要 | 77 |
| 5-3-2 各種制御ロジックにおける空調負荷特性 | 78 |
| 5-3-3 空調ベースライン消費量設定のための外気温度と空調負荷の関係 | 78 |
| 5-3-4 空調負荷削減効果の算定 | 80 |
| 5-4 考察 | 81 |
| 5-5 本節のまとめ | 83 |
| 6 小括 | 84 |
| 第5章 制御システムにおける居住者評価 | 86 |
| 1 はじめに | 86 |
| 2 空調制御への参加可能な環境に対する居住者の利便性とその参加状況 | 86 |
| 2-1 調査概要 | 88 |
| 2-2 調査項目および対象フロア | 88 |
| 2-3 結果 | 89 |
| 2-3-1 空調制御への参加可能な環境に対する利便性 | 89 |
| 2-3-2 居住者の空調制御への参加状況 | 89 |
| 2-3-3 申告方法が業務に与える影響 | 90 |
| 2-3-4 温熱環境に対する不満な状態が申告行為に与える影響 | 90 |
| 2-4 本節のまとめ | 92 |
| 3 気象条件や居住者に関する各種条件が要望申告に及ぼす影響 | 93 |
| 3-1 検討概要 | 94 |
| 3-2 検討方法 | 94 |
| 3-3 結果と考察 | 95 |
| 3-3-1 各種要因別における近傍温度と要望発生割合 | 95 |
| 3-3-2 申告発生モデル化の検討 | 97 |
| 3-4 本節のまとめ | 99 |
| 4 情報フィードバックが運転に対する納得感や合意性に及ぼす影響 | 100 |
| 4-1 調査概要 | 102 |
| 4-2 調査項目 | 102 |
| 4-3 結果 | 103 |
| 4-3-1 情報フィードバックの利用状況 | 103 |
| 4-3-2 運転状態に関する情報が居住者心理に及ぼす影響 | 104 |
| 4-3-3 周囲の申告状況に関する情報が居住者心理に及ぼす影響 | 105 |
| 4-4 考察 | 106 |
| 4-5 本節のまとめ | 108 |
| 5 小括 | 109 |

| | |
|-----------------------------------|-----|
| 第6章 居住者の要望申告に基づくシミュレーションモデルの開発 | 110 |
| 1 はじめに | 110 |
| 2 シミュレーションモデルの開発 | 111 |
| 2-1 居住者行動予測を目的とするシミュレーション技術の現状 | 111 |
| 2-2 モデル概要 | 112 |
| 2-3 居住者申告シミュレーション | 113 |
| 2-3-1 居住者モデル | 113 |
| 2-3-2 スケジュールモデル | 113 |
| 2-3-3 温熱環境に対する申告発生モデル | 114 |
| 2-3-4 温熱環境予測モデル | 115 |
| 2-3-5 合意形成モデル | 115 |
| 2-4 エネルギーシミュレーション | 115 |
| 2-4-1 設定温度スケジュール生成 | 116 |
| 2-4-2 エネルギーシミュレーション | 116 |
| 2-5 基本条件設定 | 116 |
| 2-5-1 対象建物の設定 | 116 |
| 2-5-2 空調システムの設定 | 117 |
| 2-5-3 気象条件設定 | 119 |
| 2-5-4 省エネルギー評価 | 120 |
| 3 居住者申告シミュレーションの検討 | 121 |
| 3-1 検討概要 | 121 |
| 3-1-1 「居住者申告シミュレーション」の特性把握 | 121 |
| 3-1-2 各種パラメータの感度分析 | 121 |
| 3-1-2 計算条件 | 121 |
| 3-2 結果と考察 | 123 |
| 3-2-1 試算結果 | 123 |
| 3-2-2 各種条件が設定温度制御に及ぼす影響 | 124 |
| 3-3 本節のまとめ | 126 |
| 4 設定温度の緩和制御による省エネルギー効果の検討 | 127 |
| 4-1 検討概要 | 127 |
| 4-1-1 設定温度の緩和温度が省エネルギー効果に及ぼす影響の検討 | 127 |
| 4-1-2 「TRNSYS」を用いた省エネルギー効果の検討 | 127 |
| 4-1-3 空調モデルの概要 | 127 |
| 4-1-4 エネルギー評価方法 | 128 |
| 4-1-4 TRNSYS の計算条件 | 129 |
| 4-2 結果と考察 | 129 |
| 4-2-1 設定温度の緩和温度が省エネルギー効果に及ぼす影響 | 129 |

| | |
|-------------------------------|---------|
| 4-2-2 「TRNSYS」を用いた省エネルギー効果の検討 | 130 |
| 4-3 本節のまとめ | 130 |
| 5 小括 | 131 |
| 第7章 結 論 | 132 |
| 1 本論文のまとめ | 132 |
| 2 今後の展望 | 135 |
| 2-1 残された課題 | 135 |
| 2-2 実用化に向けた展開 | 136 |
| 謝 辞 | 137 |
| 発表論文リスト | 139 |
| 参考文献 | 142 |

序 文

空間の利用効率や管理効率を重視する集中監視・管理システムが登場して以来、オフィス居住者は自身の取り巻く環境とその設備に対して、設定はおろか要望すら言えない“単なる発熱体”と位置づけられてしまっている。またこうした経済的合理性を優先した温度管理の仕組みは、市場から高く評価される一方で、その仕組みによるしわ寄せは居住者だけでなくビル管理者にも集中してしまっている。例えば、ビル管理の現場ではビル管理者は居住者の不満のはけ口として日々クレームに追われ、そのハードクレームの好みに変えられてしまったオフィス環境では、居住者全体の快適感が損なわれるだけでなく、エネルギー消費量の増加を引き起こしてしまっている。こうした経済的に合理的な仕組みが、エネルギー性や快適性の観点から見た温度管理の適正化を阻害してしまっているのがオフィス環境の現状である。

ところで、昨今の地球温暖化に対する意識の高まりから、わが国では抜本的な省エネルギー対策の強化が進められており、その中で建物エネルギー消費量の約 50% を占める空調用エネルギー消費量への対策は重要課題とされている。このような状況の中で、環境省はすべてのオフィスビルに対して、冷房温度 28℃、暖房温度 20℃ を推奨しており、さらにこうした環境でも快適に過ごせるように“COOL BIZ”や“WARM BIZ”といった着衣量の調節を奨励している。この設定温度緩和による省エネルギー施策では、その単純明快なコンセプトが国民に受けて話題を呼んだが、その運用方法は現場任せの点が多く、単純にビル管理者が設定温度 28℃ にしただけではオフィス居住者からの理解を得られず反感を買ってしまい、結果として、多くの建物でこの緩和施策が実施されていないのが現状のようである。

こうした状況を鑑みれば、居住者の意向を無視した、一方的とも呼べる集中管理システムによる温度管理のあり方自体を、抜本的に見直すべきときにあると筆者は考える。その代替方法として、例えば、“単なる発熱体”と揶揄されてきた居住者を温度管理の場に参加させて、温熱環境に対する意見や要望を聞きだすと同時に、省エネルギー運転に対する理解を促し、居住者間や管理者との意見を調整する温度管理の方法が挙げられる。この居住者の参加を前提とする温度管理の方法は、ビル管理のサービス享受者である居住者の納得感が得られる点で非常に有用であり、温度管理の本来あるべき姿の一つとして十分に検討の価値がある。ところが現実の問題として、通常業務に従事する居住者やビル管理者にとって、参加による負担が大きいとその実効性が損なわれてしまう恐れがあり、その実効性を確保するためには居住者の温度管理への参加に対する負担を極力抑え、さらに管理者の手間を省くため、一連のプロセスを自動化する制御システムが必要となってくる。

そこで本研究では、殆どのオフィスに普及している情報インフラを活用することで、居住者の空調制御への手軽な参加を可能にし、さらに居住者の温熱環境に対する合意を促す仕組みを施すことで、居住者間の合意の下で最適な温度条件を見出すことのできる「居住者参加型空調制御方式」の提案を行う。特に、本論文ではその制御方式の評価、検証を行うため、「居住者参加型空調制御システム」の試作開発を行い、実際のオフィスに適用した際の居住者心理に及ぼす影響と温度条件の適正化による省エネルギー効果についての検討を行う。こうした制御システムへの取り組みが、省エネルギーでありながら、快適なオフィス環境の構築に役立つことを願うものである。

論文概要

本研究は、居住者間の合意の下で設定温度を調節することのできる「居住者参加型空調制御方式」を提案し、フィールド実験を通じて、居住者の心理状態と省エネルギー効果について検討したものである。本論文は全7章で構成され、それぞれ下記のような内容になっている。

第1章 研究目的

第1章では、研究の目的および研究の位置付けを述べる。まず最初に、地球規模で急務な課題である温暖化問題と、その対策としての温度条件の適正化に関する重要性、また現在の空調システムの管理方法に関する諸問題を、居住者・管理者・空調システムの関係性から示し、このような複数の居住者からの温熱環境に対する要望情報を空調制御に利用する研究が極めて少ないことを、国内外の既往研究に対する調査結果より明らかにしている。

第2章 研究概要

第2章では、研究概要として、

- (1) 制御システムとそのコアとなる制御ロジックの開発
- (2) 実際のフィールドに適用した実証評価
- (3) 簡易シミュレーションを用いた総合評価

について検討を進め、合意形成ロジックによる「環境フィードバック」と運転状態への納得感を高める「情報フィードバック」による省エネルギー効果、快適感向上の検証を本論文の研究概要として明らかにしている。

また、このような研究に不可欠となる設定温度の最適管理・制御方法とそれに関連する居住者の温熱的満足感や空調エネルギー消費量について知見を整理し、その最適管理・制御手法を実現するための居住者環境制御システムに関するシステム仕様と、設定温度の最適化プロセスに関する仮説を導出している。

第3章 オフィス温熱環境の実態調査

第3章では、オフィス環境の実態を把握するとともに、最適な設定温度を管理・制御を目的とし、設定温度に対する居住者の心理特性とエネルギー消費特性についての調査を行う。具体的には、前者に関しては現状フロアに関するアンケート調査や温熱環境、エネルギー調査を行い、後者に関しては設定温度を変更させた場合の居住者の温冷感やエネルギー消費量をリアルタイムに収集、検討することで、現状の温度管理の問題点を明らかにし、本制御システム導入による可能性について考察している。

第4章 合意形成ロジックによる設定温度緩和と快適性向上の効果

第4章では、本提案システムを業務形態や居住者特性の異なるオフィスに適用した際の、居住者の温熱環境に対する要望より設定温度を調節する合意形成ロジックに関して、各種制御ロジックが設定温度制御や、温熱的満足感や設定温度の緩和効果に及ぼす影響についての検討を試みている。

まず最初に、基本ロジックである「快適優先ロジック」、「省エネ優先ロジック」の開発を行い、実験対象フロアに適用した際の温熱的満足感や設定温度の制御結果について検討を行っている。

次に、冷房に苦しむ女性の快適性向上を目的とし、女性の要望に重み付けを行うことで女性の要望を優先する「女性優先ロジック」の開発を行い、実験対象フロアに適用した際の温熱的満足感や設定温度の制御結果について検討を行っている。

次に、省エネルギーを期待して暖房温度を低くする場合に発生する室内温度と設定温度の乖離状態に対して、上昇した室内温度に対して設定温度を追従させることで、不要な暖房運転を抑え、要望に応じた即座に温熱環境を変化させる状態を保つことのできる「暖房ロジック」の開発を行い、実験対象フロアに適用し、その際の温熱的満足感や空調エネルギー消費量について検討を行っている。

最後に、こうした合意形成ロジックの検討で得られた実験結果に基づいて、マクロ的な視座より合意形成された温熱環境に関する特性、設定温度の緩和効果とそれに伴う空調負荷削減効果について考察を試みている。

第5章 制御システムにおける居住者評価

第5章では、制御システムの利便性や情報フィードバックの有用性など制御システム全般に対する居住者の反応について調査、考察を行っている。

まず最初に、空調制御への参加可能な仕組みに対する利便性と、それに関する参加状況について、ペーパーアンケートや要望申告の履歴情報に基づいて検討を行っている。

次に、居住者の行動別、性別、外気条件別に近傍温度と要望申告発生割合の関係を整理した。その結果、外気条件、性別の要望申告に及ぼす影響の大きさを確認し、性別や外気条件に基づく要望申告発生モデルの構築を試みている。

次に、本提案システムを実際のオフィスに適用した際の、情報フィードバックが居住者心理に及ぼす影響について検討を試みている。

第6章 シミュレーションによる省エネルギー効果確認と適用条件の検討

第6章では、本提案システムの実システムへの設計や運用での支援ツール開発を目的とし、本提案システムとそれに反応する居住者の行動の再現を可能とするシミュレーションプログラムの開発を行っている。またさらに実証実験で検討の難しい条件に関して、シミュレータを利用して、各種パラメータによる感度分析を行うことで制御システムの制御挙動や省エネルギー効果について検討を行っている。

まず最初に、前章までの実測データに基づいて居住者自身の挙動を予測するシミュレーションの開発を試みている。

次に、このシミュレーションにより男女構成比、開始温度、外気条件によって感度分析する場合の設定温度の緩和効果について検討を行っている。

最後に、TRNSYS をベースとしたエネルギーシミュレーションを構築し、前節で求めた設定温度の制御履歴が省エネルギー効果にどの程度影響を及ぼすかについて、ビルマルチ方式と、中央熱源方式で検討を行っている。

第7章 結論

本章では本研究の成果を取り纏め結論を述べると共に、今後の展望について述べている。

第1章 研究目的

1 研究の意義と目的

地球温暖化に対する意識の高まりから、わが国では抜本的な省エネルギー対策の強化が求められている¹⁾。特に民生業務部分の多くを占める業務ビルでは、空調用エネルギー消費量が建物全体エネルギー消費量の約50%を占めており、そのエネルギー対策は重要な課題である。このような状況の対策として、環境省はすべてのオフィスビルに対して夏の設定温度 28℃、冬の設定温度 20℃を推奨し、さらにこのような環境でも快適に過ごせるように“COOL BIZ”や“WARM BIZ”といった着衣量の調節を奨励している²⁻³⁾。これは、例えば冷房に関して言えば、長年の慣行である夏のスーツ姿を軽装にすることで、快適感を損なわずに冷房温度を 28℃まで高めることができ、ひと夏で約 290 万 ton の二酸化炭素を削減できるといった算段に基づいて導出されている。しかしながら 28℃の環境下で快適に過ごすには、軽装といえども風速 0.4m/秒程度の気流を確保できることが前提とされており⁴⁻⁵⁾、開口部からの気流を手軽に利用できない多くのオフィス形態では、冷房温度 28℃は極めて不快な温度環境を形成しやすく、オフィス本来の機能である知的生産性の低下を懸念する声が大きくなりつつある⁴⁴⁻⁴⁵⁾。

また、単純に設定温度 28℃の環境下といっても、建物の構造、天候状態、居住者の個体差によって体感温度に大きな差が生じることから、すべての建物において冷房温度一律 28℃での運用は合理的といえない。特に、環境管理の目安として現場で最も利用される室内温度に関して、居住域近傍より離れた箇所、例えば天井面や壁面などに温度センサが設置されているため、建物によってはセンサ温度が居住域状態を示すとは限らず、その“ずれ”が居住者の強い反感を招いてしまうことが実際の現場で常態化している。

以上に述べた様に、急速な勢いで推進される温度条件緩和による省エネルギー施策は、社会的慣習であったスーツ姿の縛りを緩め、着衣量の男女格差を是正した点では評価されるが、実際のビルでの導入や運用に関しては現場任せの点が多いため、居住者に十分な理解を得ないまま冷房温度を 28℃に設定したことによって居住者からの反感を招いてしまったり、居住者からの反感を予見して自粛してしまったりしている事態が多く発生し、当初の期待ほど普及していないのが現状である。例えば、2005 年に実施されたアンケート調査によれば認知度こそ 95.8%に達していたが、例年より冷房温度を高くしていたオフィスが 32.7%しか達していなかったことがその事実を示しており、“COOL BIZ”の盛り上がりが国民の理解を得られないまま単なるブームとして過ぎ去ってしまうのではないかと懸念され始めている¹⁰⁾。しかしながら、室内温度条件の緩和による省エネルギー手法は、わが国の大半を占める既設ビルに対して大掛かりな改修工事を必要とせず、あらゆるオフィスで手軽に利用できるといった普及性の点で優れており、省エネルギー対策に一刻の猶予もないわが国においてはこの利点を活用していく検討もまた新たなエネルギーシステムを開発していくのと同様、非常に重要な課題である。

ところで、オフィスの温度管理の実態を鑑みると、室内温度の状態が適正に運用されているとはいえず、まだまだ快適性やエネルギー性の向上に余地があると考えられる。例えば、同一空間内に複数の居住者が同居する我が国のオフィス形態において、空調の強弱は社会的地位の高い居住者や発言力のある居住者などの意見に左右されやすく、女性や派遣社員などの日常業務の中で周囲に対して発言しづらい立場の居住者は毛布や個別ヒーターを駆使して体温調節を図るなど負担を強いられる状況も少なくない。また一方で、温度管理を担当する管理者の立場からすれば温度センサの示す室内温度と時々発生する苦情（以下、クレームとする）ぐらいの情報でしかオフィスの状況を把握できないため、居住者からのクレームに対して適切な意見かどうかを十分に見極めることもできないまま、ただ闇雲に身勝手な居住者のクレームに対応したり、発生するクレームを予見して安全側に設定温度を設定したりすることが日常的に行われており、その結果、居住者全体の快適感が損なわれ、エネルギー消費の増加を誘発してしまっているのが実態である。

こうした実態に対して、ビル管理者から気軽に温熱環境に対する意見・要望を聞き出すことができ、さらには不満を抱く恐れのある居住者に対して運転状況に対する理解を促したりすることができれば、特定の居住者の好みに偏った温度条件を居住者全体の納得できる方向に調整することができ、省エネルギーや快適性の向上につながると期待できる。そのためにはビル管理者と居住者の相互やり取りの中で温度条件を繰り返し調整していくことが必要であり、こうした相互のやり取りを繰り返し実施することで、お互いの立場や周囲に対する理解が深まり、居住者自身の温熱環境に対する理解や納得感を高めることができる。ところが実際の温度管理において、居住者と管理者の情報伝達手段が非常に未熟であるため、不満を抱きやすい居住者の説得はおろか、居住者全体の温熱環境に対する率直な意見を気軽に聞き出すことすら非常に困難な状況にある。さらに天候や居住者の状況によっては、その時々最適な温度条件も変動するため、逐次、ビル管理者がその変化に対応したのでは負担が大きく、このプロセスの自動化が不可欠となっている。

そこで本研究では居住者間やビル管理者との情報伝達の仕組みが未熟なために引き起こされている空調制御・管理システムの問題点を解決するため、殆どのオフィスに普及している情報インフラ（業務用のイントラネット）を活用することで、その情報伝達性を高め、居住者の温熱環境に対する合意を促し、居住者との相互理解の中から温度条件を調節することのできる居住者参加型の空調制御方式を提案することを目的とする。この制御システムを「居住者参加型空調制御システム」と呼ぶこととし、各居住者の利用するパーソナルコンピュータ（以下 PC とする）を介して申告された温熱環境に対する要望情報を空調制御へフィードバックさせる「環境フィードバック」と、省エネルギー、周囲状況、運転状況に関する諸情報を提供する「情報フィードバック」の二つのプロセスを繰り返し実行することで、合意の取れた環境に近づけることを可能としている。こうしたプロセスを実現する「居住者参加型空調制御システム」の概念図を図 1.1 に示す。

また、本論文の中で取り扱う「合意形成」の考え方について、ここで定義しておく。「合意形成」とは、例えば、合意形成マネジメント協会¹²⁴⁾の定義によると「多様な価値観の存在を認めながら、人々の立場の根底に潜む価値観を掘り起こして、その情報を共有し、お互いに納得できる解決策を見出していくプロセス」とされており、その定義に従えば、本研究の場合では「多様な要求をもった居住者間で

納得できる温度条件を決定した上で、その温度条件を空調制御に反映させること」となる。しかしながら、この仕組みを実際のオフィスで運用する場合、時々刻々と最適な温度条件が変化するため、逐次、全員の意見を聞きだして合意を得た上で温度条件を変化させていたのでは、通常業務に従事する居住者やビル管理者の負担は非常に大きいものとなり、継続的な利用が困難となる恐れがある。そこで、本論文では実用性を優先して「合意形成」を「温熱環境に対する要望を総括して空調制御にフィードバックするプロセスと、周囲の要望状況やそれに基づく空調制御に関する情報をフィードバックするプロセスを繰り返し実行し、周囲の要望に基づいて現在の温熱環境が形成されることを認識、納得させることで、最終的に居住者間で納得できる温熱環境を見出すプロセス」と解釈し、こうした一連のプロセスを実現するアルゴリズムを「合意形成アルゴリズム」、温熱環境に対する要望を集約し、温度条件を決定するルールを「合意形成ロジック」と定義する。

本論文の目的を以下に示す。本論文では「居住者参加型空調制御システム」の試作開発を行い、実際のオフィスに適用した際の居住者心理に及ぼす影響と温度条件の適正化による省エネルギー効果について検討を行う。

1. 居住者の温熱環境に対する要望を集約して設定温度を決定するルールとして「合意形成ロジック」の開発を行い、それを実際のオフィスに適用することで、設定温度の緩和効果と居住者の心理効果を明らかにする。また、合意形成ロジックに関して、居住者の個体差、特に性差による特性を利用するなど実際の利用形態を想定した応用型の制御ロジックを幾つか開発し、その検討を行う。
2. 居住者の空調制御への参加と、運転状況の理解やその状況に対する納得感の向上を支援するユーザーインターフェイス（図 1.1 の IF）を設計、開発し、実証実験を通じて、本制御システムへの参加状況と、その情報コンテンツが居住者の納得感に及ぼす影響について検討を行う。また、こうした一連の制御プロセスの中で、居住者間で納得できる温熱環境を見出せたか、つまり「合意形成」されたかについても検討を行う。
3. 本制御システムの実システムへの適用と運用を支援するツールとして、シミュレータの開発を試みる。また、本シミュレータによって、そのシミュレータの基本特性を把握し、実証実験では評価できなかった条件下での制御挙動や空調エネルギーの削減効果についても検討を行う。

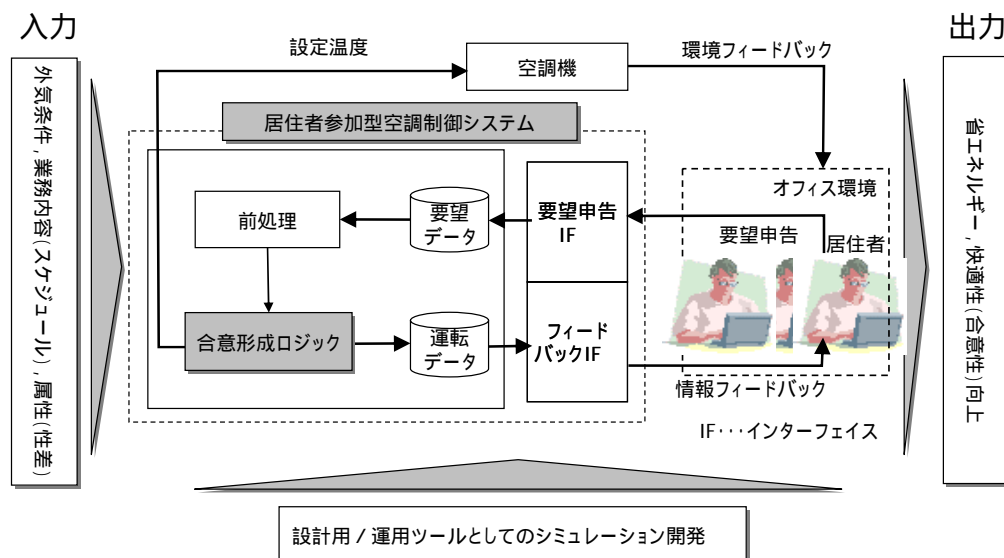


図 1.1 居住者参加型空調制御方式の概念図

2 既往研究と本研究

本論文で目指すところは、日常業務に従事するオフィス居住者の心理的反応を活用して室内温度条件の適正化を図り、居住者の快適性と省エネルギー性の両立を満たす新しい制御システムの開発にある。オフィスフロアの室内温度条件の適正化を担う制御・管理システムに関しては、オフィス空間の利用効率や管理効率を重視した経緯があって集中制御システムが普及しているが、居住者の快適感が十分に考慮されていないものがほとんどで、居住者にとっての心理的抵抗が大きいといった課題があった⁴⁸⁻⁵⁰⁾。近年ではオフィス居住者の快適感も考慮した省エネ制御システムに関する研究が国内外で増え続けている傾向にある。また昨今、急速に発展してきた情報化技術を利用したインタラクティブな情報提供システムや、集団意思決定の支援システムに関する研究も増加の傾向にある。以下に国内外の研究動向について概説する。

2-1 居住者の快適性を考慮した制御方式に関する研究

省エネルギーと快適性に深く関わりのある環境制御システムでは、省エネルギーを目的として様々な方式が研究・開発されてきたが、快適性に関して十分に考慮されてこなかったため、居住者に心理的な抵抗感を引き起こしたりしていた。多くのフィールド調査より居住者が不満に感じる要因として、居住者自身が周囲の環境をコントロールできないこと^{23) 24) 51)}、居住者自身の期待感に反する制御動作（管理者によって勝手に設定が変更されてしまう⁵²⁾。またその変更に対して何の説明がない^{19) 50)}など）などが挙げられており、現在では居住者の快適性を考慮した制御方式に関する研究が多くなってきている。

ここでは国内外の代表的な研究について述べ、動向を概説する。その研究の多くはパーソナル制御方式などの個人特性に適應するものや温熱環境評価指標を組み込んだ制御方式に関するものが多いが、近年では自然換気や昼光などの自然エネルギーを活用する研究も多くなってきている。

・パーソナル空調制御方式に関する研究

パーソナル制御ではタスク環境近傍を個人の要望に応じて設定温度や風量などを制御し、一方でアンビエント空間の環境条件を緩和することができるので、空間全体での省エネルギー効果も期待できる⁴⁰⁾。特に空調に限っていえば、暑熱環境下では気流⁶⁴⁻⁶⁵⁾を、寒冷環境下では放射⁶⁶⁻⁶⁷⁾を利用することでその効果を実現できる。ただし、初期コスト、レイアウトやスペースの問題などから適用できる空間に制限が多い。さらなる改良が進んで多くの建物で手軽に利用できることが期待されるが、省エネルギー対策を急務にする我が国の状況下では既存の空調システムに対して気軽に適用できる省エネルギー制御方式もまた求められている。

・窓の開閉や着衣量調節など環境調整行動の特性を活かした空調制御方式における研究

身の回りの温熱環境を自由に操作できる状況であれば、暑熱環境下でも窓の開閉や着衣量の調節を駆使することで居住者は快適感を維持できるといった Adaptive Model が提唱され^{18-21) 31-35) 78-79)}、その特性を利用した制御方式に関する研究が行われている³⁵⁻³⁷⁾。この制御方式では外気温度に応じて快適温度条件が変化する Adaptive Model の特性に従って²⁷⁻²⁹⁾、外気温度の変化に応じて設定温度を自動的に調節していくといったものである。しかしながら個人が自由に身の回りの環境を操作できる個室部屋の空間に適用が限られており、我が国で広く普及している島型レイアウトには適さない。

・居住者の嗜好性を学習する環境制御方式に関する研究

空調・照明・ブラインド制御に関して居住者の環境に対する操作履歴を学習し、居住者の好みの状態に近づけていく環境制御方式が提案されている⁶⁸⁻⁷⁰⁾。特に、ブラインド制御は昼光利用によって照明エネルギーを削減できるものの、同時に発生する窓面のまぶしさに強い拒否反応を示す居住者が多いといった課題に対して、居住者の操作履歴から省エネルギーと快適性の折り合いのついた制御条件を遺伝的アルゴリズムによって学習させていくことで、居住者の強い拒否反応を緩和させる制御方式を提案している。ただし、この制御システムも上記と同様、個室部屋を対象に開発されており、島型のレイアウト方式を多く採用する日本のオフィス形態には適用が制限される。

・温熱環境快適指標を用いた空調制御方式に関する研究

温熱環境六要素である気温・湿度・気流・放射・着衣量・代謝量と、人の平均的な温冷感を関連付けた温熱環境快適指標 PMV(Predicted Mean Vote)^{11-13) 46)}を用いた空調制御方式が提案されている。PMV は平均的な人間の暑さ寒さの感覚量（以下、PMV 値とする）を上記の温熱環境量の関数として表現されているため、目標とする PMV 値に対する温度条件を逆関数として算出することが容易となっており、この制御方式ではその温度条件に設定温度を逐次調整している。PMV 制御の方式としては温度、湿度、放射、気流センサなどが統合された環境センサから PMV を演算する方式と、建物方位や、屋外の外気温、日射量から壁面から人体に影響を及ぼす放射温度をシミュレーションによって予測し、温湿度センサと併せることで簡易的に PMV を予測する方式¹⁷⁾などがある。いずれの方式にしても、推定される PMV は環境センサより得られたセンサ近傍の状態に基づいて予測された平均的な熱的快適感でしかなく、実際の居住者自身の快適感を保証するものではないといった課題がある。

・自然換気・シーリングファンを用いた空調制御方式に関する研究

冷房温度 28.0 の状況でも快適に過ごすことため、シーリングファンや自然換気などを組み合わせた空調制御方式が提案されている³⁸⁻⁴⁰⁾。シーリングファン⁷⁰⁾や自然換気³⁸⁾を利用することで気流を確保し、涼感を得ることで温度条件の緩和が期待でき、さらに自然換気による冷房負荷の削減も期待できる。しかしながら外気温の低くなる中間期にしかその効力を発揮できないなど、現状としてはその用途には限定が伴う。

以上、居住者の快適性を考慮した室内環境制御方式に関する研究を概説した。居住者自身の要望を利用する制御方式に関しては、近傍環境を自由に操作できる個室部屋での検討やパーソナル制御方式に関する研究が多く、我が国で多い複数の居住者が同居する島型のオフィス形態での検討例は見られなかった。また個人の近傍環境を自由に操作できない島型のオフィス形態などでは PMV などの温熱環境評価指標に基づいた制御方式や、シーリングファンや自然換気と併用した制御方式などの検討が見られた。図 1.2 は室内環境制御方式を個人の要望の適応性と対象となる制御レベルをまとめたものである。複数の居住者が同居するオフィス形態は我が国で最も多く存在するにも関わらず、温熱環境に対する要望や心理的反応を利用した制御方式に関する研究は存在しない。

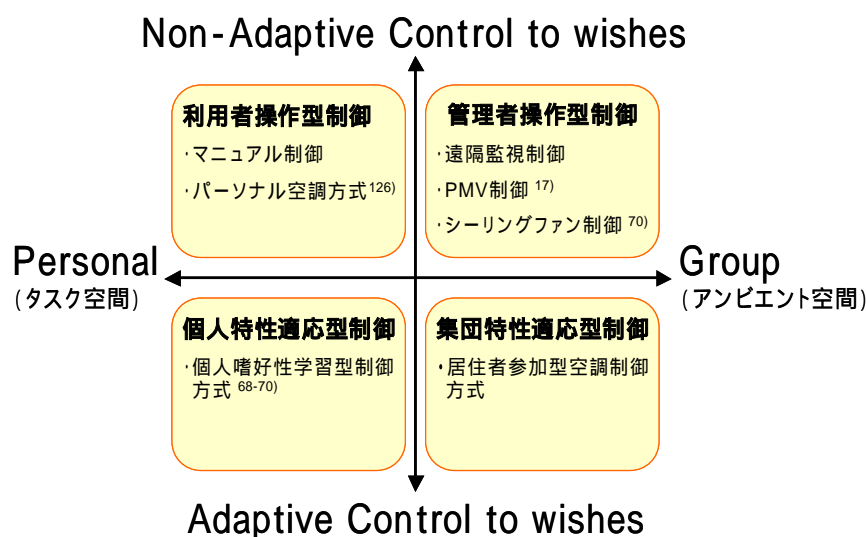


図 1.2 室内環境制御の位置付け

2-2 室内温度管理支援システムに関する研究

ビル管理者の実務として居住者からのクレームへの対応に多くの時間を割いていることが知られているにも関わらず、温度管理を適正化する支援システムに関する研究は非常に少ない。

・名古屋大学における研究

伊藤⁸²⁾らは、ビル管理者にとって使いやすいBEMS (Building Energy Management System) を検討するため、ビル管理者に対してヒアリング調査を行い、その中で居住者からの室内温度に対する苦情への対応にビル管理者は振り回されているといった実態を明らかにしている。また、こうした実態を改善すべく、ファジー理論を用いた室温管理支援システムの提案を行っている。

・NTT ファシリティーズにおける研究

高草木¹⁶⁾は、温熱環境指標である PMV を使って室内温熱環境のばらつきを考慮した居住者の不満足度分布を導き出している。これは、クレーム対応に追われるビル管理者に対して、PMV に基づいて予測した不満足度分布を示すことで、管理者はそのクレームの居住者の不満の強さを簡易的に推定でき、温度管理の意思決定に役立てるものとなっている。しかしながら、本研究のような居住者の心理状態をダイレクトに空調制御に活用することを目的とはしていない。

・山武 における研究

徐¹⁴⁻¹⁵⁾は設備システムの効率運転支援を主眼とする従来の BEMS に対して、居住者の要望情報を加味した室温管理支援システムの提案を行っている。電子調査票を通じて収集した要望情報を用いて設定温度にフィードバックする管理システムの概念についてまとめているが、具体的な方法論までは至っていない。

以上、室内温度管理支援システムについて概説した。伊藤⁸²⁾らによって温度管理の自動化が指摘されて 15 年程度経っているものの、その自動化は未完成な状態にあり、またこうした技術に関する学術レベルでの検討がほとんど存在していないのが現状である。

2-3 ネットワーク環境を利用した合意形成支援システムに関する研究

合意形成とは合意形成マネジメント協会の定義¹²⁴⁾に従えば「多様な価値観の存在を認めながら、人々の立場の根底に潜む価値観を掘り起こして、その情報を共有し、お互いに納得できる解決策を見出していくプロセス」とされており、住民参加型の公共政策における意思決定の場面で多く使われ発展してきた言葉であるが、最近ではマンションの立替などの共有資産に関する集団意思決定や会議での集団意思決定など幅広く活用されるようになってきた¹⁰⁰⁾。また一方でインターネット技術の登場により合意形成の場が必ずしもワークショップや会議などの対面環境下でなくても、時間や空間の制約を受けず気軽に参加できるインターネット・コミュニティ上でも実現可能となってきた¹⁰³⁾。従来では単純に関係者間の情報交換を促すだけのものが多かったが、近年では関係者間の情報交換のパターン、タイミングなどに関して専門家のアドバイスがルール化され、合意の形成を支援する合意形成支援システムに関する研究が増加してきている。ここでは国内外での研究動向について概説する。

・ 京都大学における研究

阿草・林ら¹⁰⁰⁾は災害発生時のまち全体の対応策を話し合うワークショップにおいて、住民の意見を反映させやすい手法であるグランド KJ 法を用いた合意形成支援システムを開発し、実際のワークショップに適用することで住民の合意形成への参加意識に及ぼす影響と効率性について検討を行っている。結果として、PC による支援システムを利用したとしても住民の合意形成への参加意識には大きな変化はなく、ワークショップを取りまとめるファシリテーターへの負担を軽減させることができると報告している。

・ 名城大学における研究

木下ら¹⁰⁴⁾は参加者間の意思を調節する合意形成支援モデルとして AHP (Analytic Hierarchy Process) を用いた集団的意思決定手法を提案している。AHP とは主観的な評価から個人の代替案に対する価値観や意識構造のモデル化を行い、意思決定を図る手法のことであり、参加者全体の意思決定に対するストレスを最小限に抑える集団意思決定ストレス法¹⁰⁵⁾や、自己主張の強い参加者と協調性の強い参加者のパターンをモデル化し、全体効用を高めるグループ効用理論による手法など種々の手法が提案されている。

・ 名古屋工業大学における研究

伊藤ら^{96-97) 101)}は、参加者の立場や潜在的な意識を構造化させ、参加者の代わりにネットワーク上で関係者との合意形成を図るエージェント型の合意形成支援システムを開発している。これは先に述べた AHP によって、参加者の代替案に対する意向をエージェントに伝え、それぞれのエージェント間で説得を繰り返しながら合意形成を図るといったもので、人の判断を介在しないため複雑な課題に対する合意形成には適さないと考えられる。

・ 北陸先端科学技術大学における研究

國藤ら^{98) 102-103) 106-107)}は、合意形成を行う状況、たとえば実際の対面での環境とネットワークを介した環境の違いが合意形成の結果に及ぼす影響について検討を行い、ネットワークを介することで欠落しやすい情報 (アウェアネス) を組み込んだ合意形成支援システムの構築を行っている。例えば、文字情

報だけのコミュニケーションの場合、相手の表情などの社会的情報が欠如してしまうため、立場の違いを意識せずに済む反面、本音が飛び出しやすくなってしまい良好な印象を維持したままでの議論が難しく、その一方でテレビ会議室のように対面における臨場感をそのまま提供したのでは相手の視線がストレスとなってしまう質の高い合意に至らないことを指摘しており、結果として相手の視線を意識させずに議論できる合意形成支援システムの提案を行っている。

以上、合意形成支援システムに関する研究について概説した。上記の合意形成支援システムに関して、専門的アドバイザーとして参加者の意識構造をモデル化し、様々な参加者間の価値観を擦り合わせることで合意の形成を支援するシステムが多い。しかしながら、本研究のように参加者間の環境に対する合意形成の結果をリアルタイムで自動制御に活用させる研究は存在しない。

2-4 インタラクティブ性を考慮した環境情報提供システムに関する研究

省エネルギーに関する情報提供は国民の省エネ意識を高める方法として有力視されており、コマーシャルやキャンペーンなど一方的な情報提示と異なり、居住者の属性・行動パターンに応じたインタラクティブな情報提供では、利用者の意見・考え方に基づいて適切に情報コンテンツを絞り込むことができるため、居住者一人一人に環境問題の当事者意識を高め、さらに省エネ行動の誘発が期待できる。特に、居住者自身にエネルギー利用に対する電力料金が課せられる住宅の場合では経済面から省エネ行動に対するインセンティブが発生しやすいので、居住者の省エネ行動に対する電力料金の削減効果をインタラクティブに提示するだけでも環境行動につながると指摘されている⁷²⁻⁷⁷⁾。一方、本研究の対象であるオフィスビルなどでは、居住者の省エネ行動にインセンティブが働きづらいことや居住者の環境設備に対する設定は制限されているため、自発的な省エネ行動は期待できない。このため管理者もしくは制御システムは居住者にとってインタラクティブに機能を果たし、省エネ運転に対する理解の促しから省エネ運転を誘導していくと同時にその受容可能な条件を見極め運転することが必要と考えられる。ここでは居住者の機器使用に対する運転状態やエネルギー消費状況をインタラクティブに提供する情報システムについて概説を行う。

・省エネセンターにおける研究

省エネセンターでは各家庭で利用される電力使用量を可視化できる省エネナビやエネルギー状況に応じて生活に関わる省エネルギー行動についてアドバイス情報を提供する HEMS(Home Energy Management System)⁹³⁾⁹⁴⁾を推奨しており、全国的な実証実験を通じて地域による効果の差はあるものの概ね 2% ~ 8% の省エネ効果を検証している。これは住宅の場合では居住者がエネルギーを利用すると同時に電力料金を支払う義務が課せられているため、居住者自身に省エネ行動に対するインセンティブが働きやすいことが影響していたためと指摘されている。

・京都大学における研究

伊藤ら⁹⁵⁾は、省エネ行動に対するインセンティブが働きづらい公共空間において、省エネ意識の向上から省エネ行動実践への動機付ける方法として、居住者の省エネ行動に対する心理・感情要素を加味した省エネ行動支援システムの提案を行っている。例えば、居住者の省エネ行動を自動で検知して、その行為に対して強調して賞賛したりすることで省エネに対する正しい知識を感情の変化をきっかけに刷

り込ましていく試みを行っている。結果としては、省エネルギーに対する正しい知識や意識の向上にはつながったが、共用空間での省エネ行動の生起までは至らなかったと報告している。

・EPFL (Ecoles Polytechniques fédérales) における研究

Morel⁵⁰⁾らは、昼光利用による省エネ効果が期待されるが同時に居住者からの拒否感が高いブラインド制御に対して、居住者の操作履歴より居住者のブラインド制御に対する受容できる条件を見極め、制御パラメータを自動調整する制御システムの提案を行っている。Morel らによれば居住者の操作に対する制御システムのインタラクティブな反応が自動制御の拒否感を緩和させることができると指摘している。

2-5 既往研究の問題点と本研究の位置づけ

以上に述べたように、居住者の要望を用いる環境制御方式については、居住者近傍の環境を自由に操作できる個室部屋やパーソナル空調制御方式などの検討が多く存在し、同一空間に複数の居住者が同居するオフィス形態における検討は現在のところ存在しない。これは、居住者の個人差を解消するタスク空調方式に対して、アンビエント型空調方式では個人差の問題を解決するには限界があることと関係していると考えられる。

しかしながら、省エネルギー対策に一刻の猶予もない我が国の状況下において、パーソナル空調や床吹出し空調などといった新築に適した空調制御方式だけでなく、わが国のストック建物で普及しているアンビエント型空調方式とも親和性が高く、居住者の快適性を配慮できる省エネルギー制御方式の検討もまた求められる。こうした状況に対して、本研究の目的は、個人差の存在しない完全中立状態の温熱環境を提供することにはなく、我が国の業務形態に適した島型のオフィス形態において、個人差が存在することを前提にしながらも、各個人がお互いの存在や価値観を認めた上で、省エネルギーで、合意のとれた温熱環境を提供することにある。そのためには、個人個人の温度特性を評価するだけでなく集団としての取扱いが必然的であるが、それぞれの要望から居住者の集団特性を評価し、合意の下で、その特性に適應するような制御を行う試みは現在のところほかに存在しない。

また、合意形成支援システムに関する研究の多くは、参加者の意識構造のモデル化から参加者間の価値観の擦り合わせを支援することに主眼を置いた研究が主であり、参加者間の合意形成の結果をリアルタイム制御に活用する試みはほとんど存在しない。

環境情報提供システムの研究に関して、近年では住宅を中心に省エネ行動に対する効果を表示できるHEMSに関する研究が盛んに行われているのに対して、本研究で対象とするオフィスビルではビル管理者を対象にしたエネルギー管理支援システム(BEMS)に関して居住者とのインタラクティブ性を考慮した情報提供に関する研究は存在しない。

以上の既存研究から居住者の要望情報から、居住者集団の熱的特性に設定温度を適應させる空調制御システムの構築とその効果について検討する。このような検討は限られたセンサ情報より居住者の心理状況を必死に予測する取り組みと異なり、居住者自身の心理状況をリアルタイムに集積、評価することで実態に即した温度管理を行い、快適性と省エネの向上を図るといった新しい試みである。

3 研究の範囲と適用

本論文では、同一空間に複数の居住者が同居するオフィス空間において、個人の使用する PC から環境に対する要望を集積し、空調制御に活用するといった“居住者参加型空調制御システム”の構築と、同制御方式が省エネルギー、快適性向上に及ぼす影響を明らかにすることが目的である。また居住者全員がネットワークに接続された PC（端末）を利用して、業務に従事する一般のオフィスを前提に検討を試みる。

第2章 研究概要

1 研究概要と本論文の構成

本論文の研究目的を達成するための研究概要を図 2.1 にフローチャートで示すとともに、本制御システムの機能ブロックと各章構成の関係を図 2.2 に示す。

オフィス居住者の心理的反応を活用する新しい空調制御システムの構築には、居住者の温熱環境に対する要望を収集し、居住者の参加意識を高め、さらに運転状況への納得感を高めることのできるインタラクティブな「ユーザーインターフェイス」の開発と、居住者からの温熱環境に対する要望に基づいて快適性と省エネルギーを両立させる制御ロジック、特に同一空間に複数の居住者が居住するオフィス形態において居住者の要望を束ねる「合意形成ロジック」の開発が必要である。本章では研究概要を示すと共に、オフィスにおける温度管理とその諸問題を、オフィス空間を運営するサービス供給側（管理者）とオフィス空間で実際に居住するサービス享受者（居住者）との観点から概説を行い、その諸問題を解決する手段として「居住者参加型空調制御システム」のあり方について述べる。

日常業務に従事するオフィス居住者の心理反応を実験室で再現させることは難しいと考えられるため、本制御システムの評価としてはフィールドでの実証評価が不可欠である。温度、湿度など基本的な温熱環境因子に加えて、フィールド環境でしか評価できない社会的因子も含めた複雑な要因による居住者の心理的反応の測定を、既存情報インフラを活用することで簡単化できる。本研究では居住者の要望を用いて温熱環境を制御するシステムの構築を目的とし、各種制御ロジックの開発を行い、実際のオフィスに適用させる際の温熱的満足感とエネルギー消費量について検討を行う。また、フィールド環境では様々な制約を受けるため、フィールド環境で評価が困難な実験条件に関しては、本制御システムの挙動を再現できるシミュレータを開発し、シミュレータを用いてその有効性について検討を行う。

第3章では、オフィス環境の実態を把握するとともに、設定温度に対する居住者の心理特性とエネルギー消費特性についての調査を行う。具体的には、前者に関しては現状フロアに関するアンケート調査や温熱環境、エネルギー調査を行い、後者に関しては設定温度を変更させた場合の居住者の温冷感やエネルギー消費量の反応をリアルタイムに収集、検討することで、現状の温度管理の問題点を明らかにし、本制御システム導入による可能性について考察する。

第4章では、種々の合意形成ロジックを開発し、実際のオフィスビルに適用を行い、その際の設定温度の制御結果と居住者の満足感についての検討を試みる。具体的には、合意形成ロジックとして、「基本ロジック」と様々な状況に対応できるようにバリエーションを含め「女性優先ロジック」、「暖房ロジック」の開発を行い、中央熱源方式の2つのフロア、個別熱源方式の1つのフロアの建物フロアにおい

て，夏季と冬季を併せて延べ5度の実証実験を行い，各種制御ロジックによる設定温度の緩和効果，空調負荷削減効果と居住者の快適性向上効果について考察を試みる。

第5章では，居住者の空調制御の参加や情報フィードバックを可能とするユーザーインターフェイスが，居住者の空調制御への参加意識や合意形成に与える影響を把握することを目的とし，居住者の申告状況と制御システムに対する心理反応の調査を試みる。

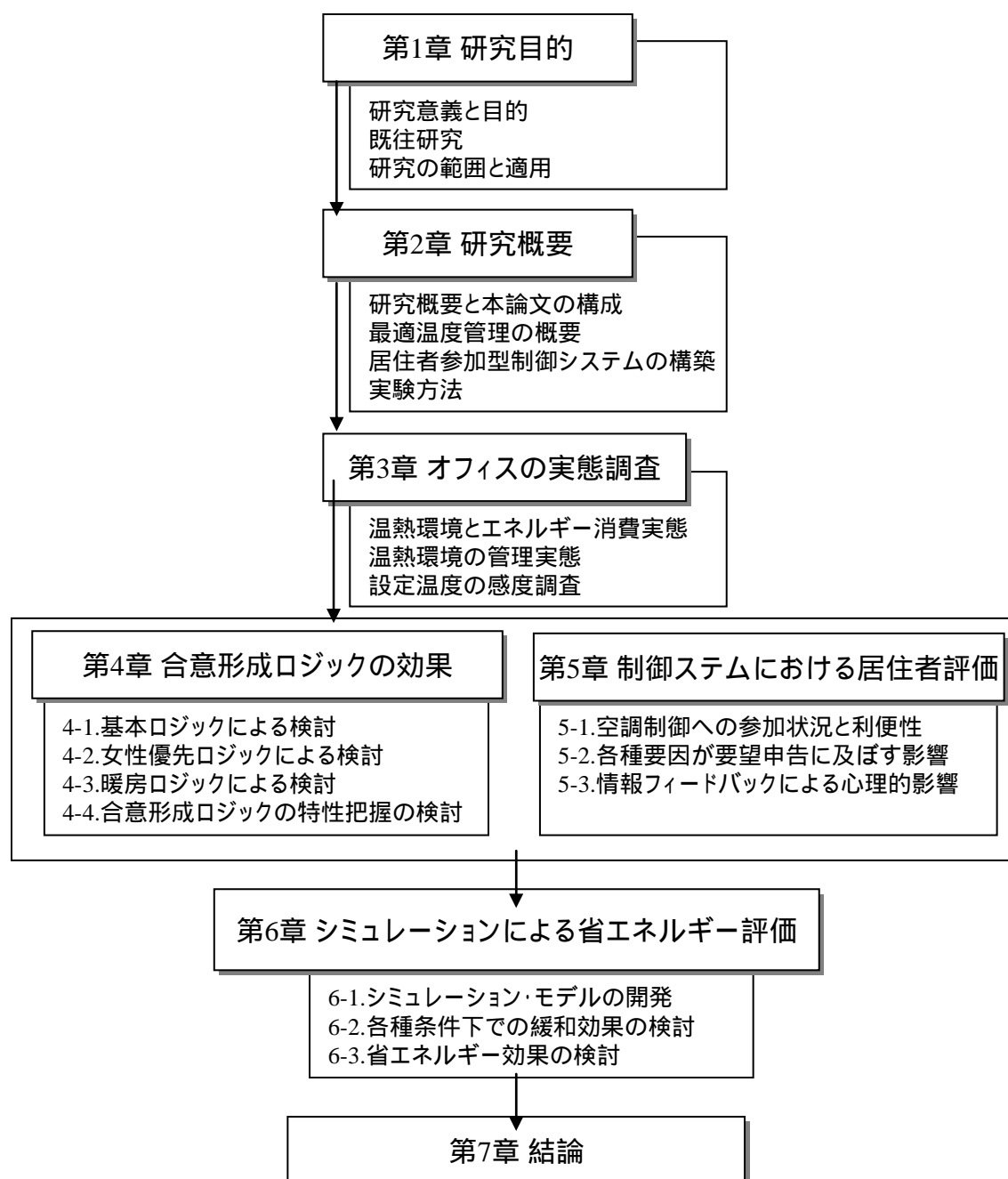


図 2.1 本論文の構成図

第6章では、本提案システムの実システムへの設計や運用での支援ツール開発を目的とし、本提案システムとそれに反応する居住者の行動の再現を可能とするシミュレーションプログラムの開発を行った。またさらに実証実験で検討の難しい条件に関しては、シミュレータを利用して、各種パラメータによる感度分析を行うことで制御システムの制御挙動や省エネルギー効果について検討を行っている。

以上、本論文では、「居住者参加型空調制御システム」を試作開発し、その制御システムを実際のフィールドに適用することで、合意形成ロジックによる設定温度の緩和効果や快適性の向上効果について明らかにし、またその際に周囲の申告状況や運転状況を情報としてフィードバックすることで、居住者間での合意性向上効果についての知見を明らかにすることを目的とする。

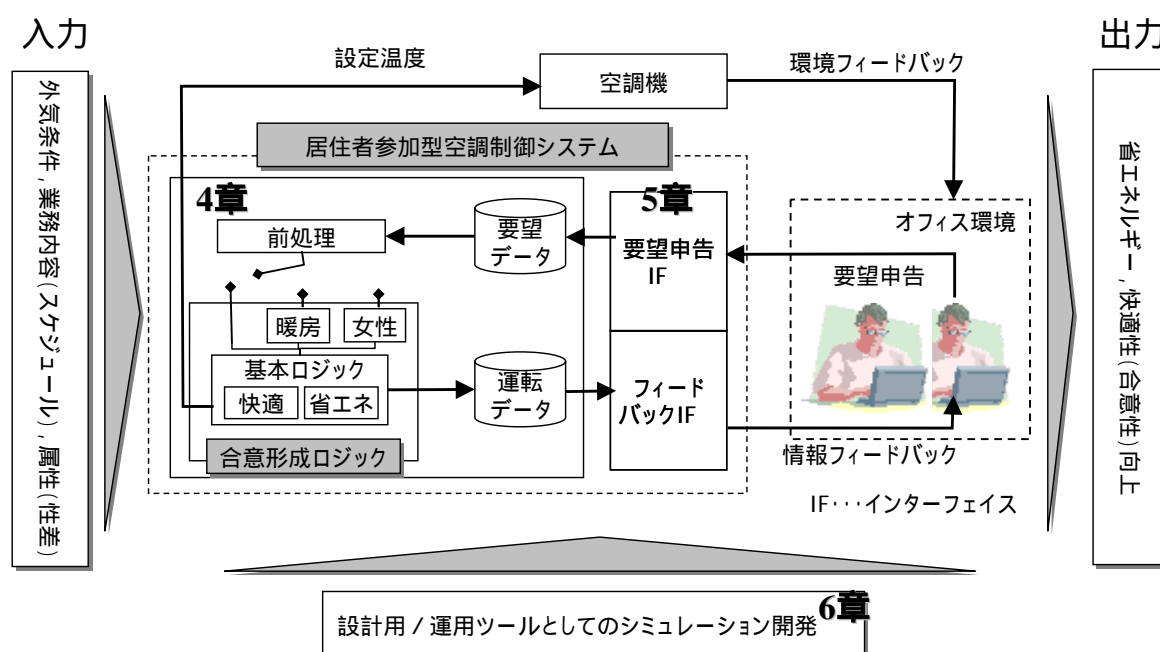


図 2.2 本制御システムの機能構成図と本論文の構成図

2 最適温度管理・制御の概念

2-1 最適温度管理・制御の定義

室内温度はオフィスで執務する居住者が健康的で快適に過ごすために重要な環境要因であり、従来では「平均的な居住者にとって暑くも寒くもない、言わば温熱的中立状態」を目標として管理、制御されてきた。昨今では省エネルギーに対する社会的な関心の高まりから、「居住者の執務生産性や快適性を損なわない範囲で可能な限りエネルギーを節約できる温度状態」に管理・制御することが望まれており、こうした管理・制御に関する概念を最適な温度条件を決定する、いわゆる最適化問題の一種として捉えると、以下のように定義することができる。

$$\text{Min} \quad : \quad E(\quad) \quad (2.1)$$

$$\text{Sub to} \quad : \quad PD(\quad) \leq PD_0 \quad (2.2)$$

$$17.0 \leq \quad \leq 28.0 \quad (2.3)$$

ここで、

$E(\quad)$: 空調エネルギー消費量

\quad : 室内温度

PD : 不満を感じる居住者の割合(%)

PD_0 : 運用の上で目標とする不満率 (%)

上記の問題は式(2.3)のビル管理法や建築基準法で規定されている室内温度条件と式(2.2)の不満を感じる居住者の割合(PD)が目標値(PD_0)以下となる条件の両方を満たす状況において、空調エネルギー消費量が最小となる温度条件を決定するといった最適化問題に帰着されている。式(2.3)の制約条件は居住者の健康や衛生面より設定されており、式(2.2)の条件をほぼ包含しているため、実際問題としては居住者の温熱快適性とエネルギー性のトレードオフ関係をバランスよく保つように室内温度条件を決定することが課題となる。ここでは以上の最適化問題に関わる各条件について最適温度管理・制御の観点から概説する。

2-2 室内環境条件

快適環境の最適設計と適切な温度管理を行うため、室内環境条件は空調システムの対象である室内環境の状態を規定するものであり、ビル管理者は図中の条件範囲内で設定温度を操作し、快適性とエネルギー性のバランスを図る必要がある。この環境条件は法規的な規定と国際的な推奨基準に分かれる。前者に関しては上記の式(2.3)に対応しており、建築基準法、ビル管理法において室内温度 17.0 ~ 28.0 , 室内湿度 40% ~ 70%の範囲が規定されている。後者に関しては国際規格 ISO7730⁴¹⁾で世界基準として推奨されており、夏季の場合での不満率 10%未満を満たす温度条件は約 23.0 ~ 26.0 , 冬季の場合では約 20.0 ~ 24.0 が推奨されている(図 2.3)。

また昨今では省エネルギーに対する社会的要求が高まりを見せており、着衣量を調節した場合の温度条件の緩和について多くの検討がなされている³⁹⁾。その室内温度の条件緩和についてまとめたのが図 2.4 である。図 2.4 によれば、たとえ'Cool Biz'によって着衣量を調節できたとしても、冷房 28.0 で快適に過ごすためには clo 値が 0.5 で 0.4m/秒以上の気流を、clo 値が 0.6 で 0.8m/秒以上の気流を必要としており、事実上、その適用にはシーリングファンや通風などの併用などが前提となっている。

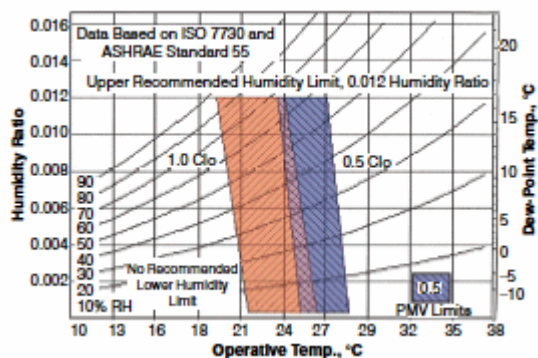


図 2.3 ASHRAE55-2004 の室内環境条件

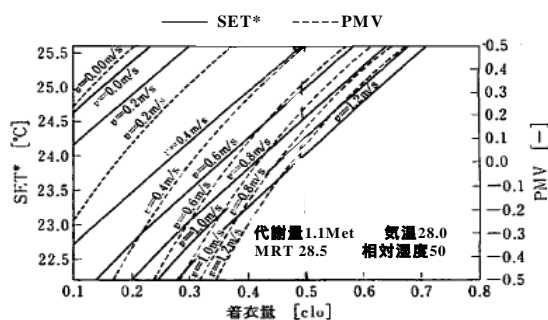


図 2.4 設定温度緩和における室内環境条件

2-3 エネルギー性

冷房であれば温度条件を高く設定することで、暖房であれば温度条件を低く設定することで、建物全体の熱負荷が削減され、それと連動して空調システム全体のエネルギー消費量を削減することができる。省エネルギーを急務な課題とする我が国の状況を鑑みれば、こうした温度条件の緩和手法はすべての建物で手軽に適用でき、即効性の高い省エネ手法として期待は非常に大きい。ここではその期待される効果や温度条件緩和に関して注意すべき点についてまとめる。

2-3-1 温度条件緩和による省エネルギー効果

省エネルギーセンターの試算結果²²⁾によると、冷房温度を 26.0 から 28.0 に変更すれば 17.0%の冷房エネルギーが削減でき、暖房温度 23.0 から 20.0 に変更すれば、暖房エネルギー消費量は 18.5%削減できるとされている。つまり、空調エネルギー消費が建物全体のエネルギー消費の約 50%を占めることを考慮すれば、設定温度 1.0 の変更だけで建物全体で 3.0%～4.0%程度のエネルギー消費量の削減が期待できることになる。この効果は、その他の初期投資や大掛かりな工事を必要とする最新型の省エネルギー制御と比較してもそんな色なく(表 2.1)、どのような建物にでも手軽に適用できるといった普及性の面で非常に優れた手法といえる。参考として表 2.1 に各種省エネ制御手法²⁵⁾の効果について示す。

表 2.1 各種省エネ手法と省エネ効果

| 省エネ制御項目 | 導入前(MJ/m ² ・年) | 導入後(MJ/m ² ・年) | 省エネ率 |
|------------|---------------------------|---------------------------|-------|
| 熱源最適運転制御 | 713 | 605 | 4.8% |
| 変風量制御 | 264 | 182 | 3.6% |
| 変流量制御 | 107 | 51 | 2.5% |
| 明るさ・人感照明制御 | 714 | 525 | 8.4% |
| その他 | 449 | 449 | 0.0% |
| | 2247 | 1812 | 19.4% |

2-3-2 温度条件の緩和がエネルギー効率に及ぼす影響

室内の熱負荷は空調や熱源システムを介してエネルギー消費量に変換されるが、そのエネルギーへの変換効率率は空調設備機器の部分負荷特性や外気温度特性⁴³⁾に依存する。これより温度条件緩和によりもたらされる低負荷状態はエネルギー変換効率の低下を引き起こす可能性があるため、温度条件の緩和による省エネルギー効果は空調システム全体で評価する必要がある。

2-4 温熱快適性

温度管理の最適化を試みる場合の温熱快適性（式(2.2)に相当する部分）として、オフィス環境で働く居住者の心理状態に基づいて評価されることが望ましい。しかしながら、現場のビル管理者が居住者全員の心理状態を聞き出して温度管理にフィードバックすることは現実として困難であり、その代替策として温熱環境評価指標を利用しながら温度管理・制御することが推奨されている。ところが標準的な定常状態にある居住者を評価するために開発されてきた上記の指標では、居住者の実態に即さないといった問題が存在し⁸⁰⁻⁸¹⁾、実際の温度管理ではビル管理者が自身の経験と勘に頼って、クレームの発生しないように安全側に運用しているのが一般的である。こうした経験と勘に頼った温度管理が常態化している一方で、昨今のオフィスでは情報インフラが普及し、従来では期待されながらも実現困難とされていた居住者の心理状態の把握が比較的容易となってきた。本論文ではこうした情報インフラを活用することで、居住者のリアルタイムでの心理状態を収集し、居住者集団の温熱快適性を要望率として評価し、温度管理や空調制御にフィードバックさせる試みを行っている。また、室内温度管理・制御における温熱快適性の評価尺度として温冷感を用いられることが通例とされてきたが、ビルの温度管理・制御サービスを享受する居住者にとって見れば、「暑い」「寒い」を評価する温冷感は間接的な評価尺度でしかなく、サービス全体を享受して最終的に覚える満足感によって評価する方が実態に即している。そのため、本論文では、温熱快適性の評価として、快適感や寒暑感に加え、温熱的満足感を用いる。

ここでは、居住者の温熱的満足感を管理・制御に組み入れるために、まずは現状の温度管理・制御において温熱的満足感の発生するプロセスについて文献調査より概説してみる。

2-4-1 温度管理，制御と温熱的満足感

図 2.5 に温度管理・制御における居住者の心理状態と身の回りの温熱環境との関係を示す。サービス享受者である居住者が覚える温熱的満足感は、様々なプロセスを経由して最終的に得ることができる。そのプロセスは Auliciems⁸³⁾ の心理-生理モデルによれば、大きく以下の3つに分けられる。

まず、身の回りの温熱環境に対して体温を維持するために人体が反応する生理的プロセスが存在する。その生理的プロセスの結果として生じる温冷感や温熱環境に対する期待感とのギャップより温熱的満足感が生起する心理的プロセスがあり、そのギャップを少しでも埋めるために身の回りの温熱環境を調節する行動的プロセスが存在する。ただし、上記の心理的プロセスが、常に、生理的プロセスに対して従属的な関係であるとは限らない。例えば、過渡状態において、生理状態が中立状態に戻っていないのに心理状態が快適になるという先行現象も指摘されており、こうした過渡状態における心理状態と生理状態の関係を説明するのに久野の二次元温冷感モデルが存在する¹²⁷⁾。本論文の中ではここまでの詳細な検討は行わずに、こうしたプロセスの結果として得られる居住者の申告履歴や最終的な温熱的満足感を中心に検討を進める。

以下では、これらの生理的プロセス、心理的プロセス、行動的プロセスについて詳細を列挙する。

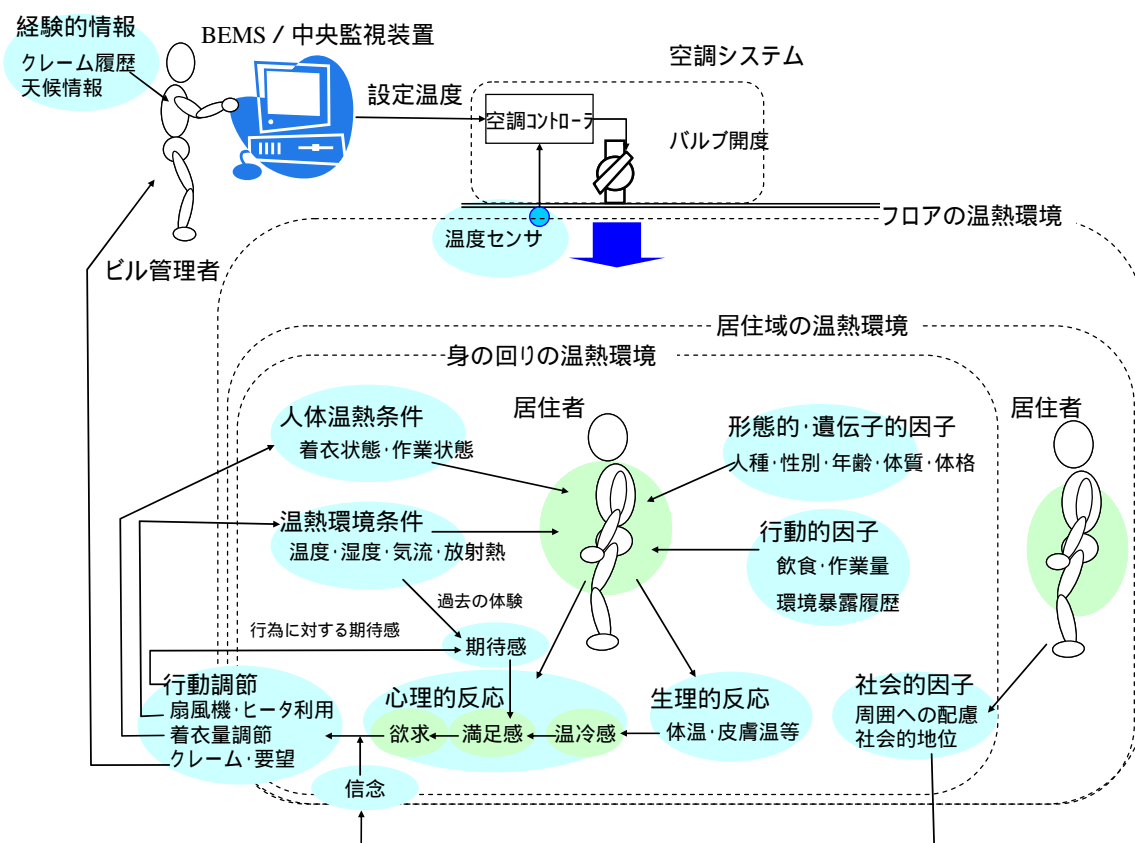


図 2.5 室内温度管理・制御と温熱快適性の関係

2-4-2 生理的プロセス

温熱環境と人体との熱平衡とその際に生じる生理的な諸反応は、種々の要因が複雑に絡まって形成されるが、大きく分けると人種、性別、年齢などを背景とする人体側要因と、温熱環境要素である気温、湿度、気流、放射により形成される温熱側要因、体温 - 皮膚温度調節系に基づく皮膚温度変化や、発汗などの人体反応系が存在する。以上の要因が相互にかつ複雑に影響し合い、温熱環境と人体との間に熱的平衡状態あるいは遷移状態を形成し、これらが総合的に人体に作用し、温熱環境に対する生理的反応と、それに伴う心理的反応を生じさせている。

以上の人体と温熱環境との間に形成される熱収支は式(2.4)で表わされ、これは食物の分解、酸化より得るエネルギー量（代謝量 $M(W/m^2)$ ）の一部を外部への機械仕事 $W(W/m^2)$ として消費し、その残ったエネルギー量と人体から周辺環境へと放熱あるいは吸熱の熱平衡状態を保つことで、人体は一定の体温を維持し、自身に必要な生体活動を維持している。

$$L = (M - W) - Ere - Cre - Ed - Es - R - C \dots\dots\dots (2.4)$$

- ここで、 Ere : 呼吸による潜熱損失量 (W/m^2)
 Cre : 呼吸による顕熱損失量 (W/m^2)
 Ed : 人体皮膚面からの伝導損失量(W/m^2)
 Es : 人体皮膚面からの潜熱損失量 (W/m^2)
 R : 人体皮膚面からの放射熱損失量 (W/m^2)

- C : 人体皮膚面からの対流熱損失量 (W/m²)
 L : 人体の熱収支バランス量 (W/m²)

以上の人体と温熱環境との間に形成される定常状態での熱平衡と7段階の温冷感申告を関連付けた温熱環境評価指標として Fanger^{11-13) 46)}により開発された PMV (Predicted Mean Vote) が存在する。これにより温度、湿度、放射、気流の環境要因と、着衣量、代謝量などの人的要因を変数とし平均と想定される居住者の暑さ寒さの感覚量を式(2.5)より予測することができる。また PMV と温熱環境に対する不満率の関係を式(2.6)で表し、予測不満率 PPD(Predicted Percent Dissatisfied)を示した。PMV と同様、これにより環境要因と人的要因より温熱環境に対する不満率を予測することができる。

$$PMV = L (0.303e^{-0.036M} + 0.028) \cdot \dots \cdot (2.5)$$

$$PPD = 100 - 95 * \text{Exp}(-0.3353 * PMV^4 - 0.2179 PMV^2) \cdot \dots \cdot (2.6)$$

以上の指標において、人種、地域、加齢、性差などの個体差、日常生活の中で発生する空間の移動、食事などの非定常的な状態、それに伴う着衣量や代謝量の変動に関する影響については考慮されていない。しかしながら、実際のオフィス環境における温度管理ではオフィスごとに居住者構成やその特性が異なったり変動したりすることを考慮しながら、管理、制御することが必要である。以下ではこの要素の詳細について列挙してみる。

属性差に関しては人種差、地域差、加齢、性差の4種類が存在するが、わが国では人種によるばらつきが非常に小さく、しかもオフィスのほとんどが東京、大阪、名古屋といった気候の類似性の高い地域に集中しているため、人種や地域性の違いを考慮する状況は少なく、むしろ女性の社会進出や高齢化社会の進捗状況を鑑みれば、性差と加齢による考慮の方が現代オフィスでは重要となってきた。特に女性の冷房病による健康被害も数多く報告⁸⁶⁾されており、女性比率の高いフロアや時間帯では高めに温度設定するなど、フロアごとで変動する男女構成を着目した温度管理が必要である。一方、高齢者に関しては暑さ寒さの感覚を導く体温調節反応が鈍いために温冷感の許容範囲が広く我慢強いとされており、中庸な温度域では加齢による影響を特別考慮する必要はないとされている⁸⁷⁾。

非定常性に関しては業務における空間移動や飲食など居住者自身の行動によって生じる場合と環境変化によって生じる場合があり、特に温度差のある空間の移動や食事などによる影響は大きく、その影響は場合によっては数時間ほど続くとされている。このため居住者の移動が多いフロアでは、内勤で働く居住者と外勤のため空間移動の多い居住者との間には、代謝量などの違いが影響して体感温度にばらつきが生じやすく、そのため温度管理・制御としては空間移動のために一時的に過渡状態にある居住者の苦情を、居住者全体の要望と思い込まないように注意して温度管理・制御する必要がある。

2-4-3 心理的プロセス

温熱環境に対する心理的な諸反応、特に温熱的満足感は生理的プロセスを経て生じられる温冷感だけでなく温熱環境に対する期待感との関係より形成され、実際に体感する環境が居住者の期待する温熱環境に合致する場合に高い満足感を得ることができる^{55-58) 83)}。その一方でそれらが合致しない場合に不満を覚え、その差を埋めるために窓の開閉や着衣量の調整などを駆使して身の回りの温熱環境を(以下、環境調整行動とする)調節したりする。また温熱環境に対する期待感には環境調整行動に対する環境変

化を期待して生起する短期的なものから、日常生活の中で潜在的に擦り込まれながら長期的に形成されるものまで様々なレベルで存在する⁴⁹⁻⁵⁰⁾⁸³⁾。環境制御に関して言えば、設定操作などによって環境変化の期待感が一時的に高まり、その期待に対する制御の反応が居住者の温熱的満足感に大きく影響を及ぼすと言われており⁵¹⁾、そのため、操作に対する制御の反応を意図的に鈍らせる場合には、その運転条件に対する意図を伝え、運転の意図に対する理解を促すことが必要とされている⁴⁹⁾。また管理効率を高めるために普及している集中監視制御システムにおいて、居住者は個人の期待する温熱環境に調節できないことに不満を抱き⁵¹⁾⁶²⁻⁶³⁾⁸²⁾、不満のはけ口をビル管理者に向ける場合があるとされている⁵³⁾。さらに管理者が居住者に対して事前連絡なしで居住者の期待や想定に反した温度設定を行った場合に強い反感を招きやすいと指摘されている⁵³⁾。これらも居住者の期待感と実際の温熱環境とのギャップによって不満が引き起こされた現象の事例である。

本論文では居住者の温熱環境に対する要望を設定温度制御に反映できるシステムを構築すると同時に、要望申告に対して一時的に高まる期待感と温熱環境に反映されるまでのタイムラグによって引き起こされる居住者の不満を緩和するため、適宜、運転状態に関する情報をフィードバックすることを試みている。

2-4-4 行動的プロセス

心理的プロセスで述べたように、居住者は期待する温熱環境と体感する温熱環境とのギャップが大きい場合に、そのギャップを埋めるために着衣・代謝量の調節²⁸⁾、窓の開閉³¹⁻³²⁾、滞在環境の選択³⁴⁾、室温変更などを駆使して快適感を維持する習性がある。不満を感じてから環境調整行動へ遷移する過程には、期待する温熱環境を実現するための行動計画を立案するプロセスが存在し、そのプロセスには人工知能分野の表現を借りれば、信念が環境調整行動による環境変化を推論し、その推論された調整行動の中から実質的な行動を選択するプロセスが大きな役割を果たしている¹¹³⁾。信念とは、完全にすべての情報を把握できない状況下において、部分的な情報や経験に基づいて事実を推論していき、その推論結果に基づいて意思決定を行う際の心的状態を指し、これらの信念の個人差が行動選択の個人差につながるとされている。同一空間内に複数の居住者が同居するオフィス形態に関して言えば、設定温度の変更や窓の開閉などの行為を手軽に取ることができない上に、さらに集団生活の中で身の回りの居住者との社会的要因が作用するため、信念によっては着衣量の調節や個別ヒーターや扇風機の利用など手軽で他人に迷惑の掛からない行為を選択する居住者が存在すれば、ビル管理者に対して苦情を訴えて温熱環境を思い通りにする居住者も存在する。こうした信念の差が温熱環境に対する不満を感じる際の行動選択の差につながり、後者のような居住者の存在するオフィスでは、居住者全体として満足度の低い状態になっている場合がある。

本論文では、こうした信念の持ち主に対してフィードバック情報を提供することで、個人の思い込みを解消させ、さらに周囲への協調性を促す試みを行う。

3 最適温度管理・制御の具現化

以上、最適温度管理・制御に関しての概念とそれに関連する温熱快適性とエネルギー性について概説した。その概念を実際の最適管理・制御で実現化させるためには、温度管理、制御の現状と問題点を把握し、その改善策をビル管理者と居住者の観点から提案することが必要となる。ここではまず温度管理の現状とその現状に対する適正方法について概説を行い、その温度管理の適正方法として居住者参加型

空調制御システムを提案する。

3-1 温度管理の課題と適正化

第2節で述べたように集中管理制御システムによる最適な温度条件は式(2.7)のように定義される。理想を言えば、式(2.7)にある不満状態には、業務に従事する居住者の心理状態を用いるべきと考えられるが、残念ながら現実の温度管理ではそうになっていない。これは、温度管理に関わるプレーヤーとして、設定温度を管理するビル管理者、その設定温度に対して温熱環境を制御する空調システム、その環境状態を享受する居住者が存在するが、集中管理制御システムの構造上、それぞれのプレーヤー間での情報伝達性が低いため、それぞれが独立して機能しており、居住者の心理状態を温度管理にフィードバックすることはおろか、心理状態を聞きだすことすら十分できない状況にあるためである。そのため、現状としては、式(2.7)の定義を式(2.8)のように近似的に扱って運用せざるを得ないのが実情である。

“最適な温度状態” = “不満が基準値以下で省エネを満たす室内温度条件”・・・・・・(2.7)

“予測不満率が基準値以下で、省エネを満たす設定温度”・・・・・・(2.8)

上記の式(2.7)と式(2.8)の行間には“室内温度条件”“設定温度”と“不満の少ない温度条件”“予測不満率の小さい温度条件”という大胆な近似が仮定されているが、この近似が必ず成立するものではなく、この近似が成立しない場合（例えば、温度管理の目安と利用される温度センサが居住域温度と合致しない場合や、ビル管理者の熟練度が低いため居住者の心理状態の予測精度が低い場合）では、居住者の不満を引き起こしたり、エネルギーロスの増加を引き起こしたりしてしまっている。結局のところ、こうした当事者間の情報伝達性（管理者 - 居住者、空調システム - 居住者、居住者 - 居住者）の低い温度管理の仕組みが、適切な温度管理を阻害していると考えられ、こうした事態に対して、本論文では先ず、図 2.6 に示すように情報インフラを活用することで当事者間の情報伝達性を高め、次に、居住者の温熱環境に対する心理状態を環境制御にフィードバックさせる「環境フィードバック」と、運転状態などの情報を居住者に対して提供する「情報フィードバック」といった2つのプロセスを繰り返し実施することで相互間に存在する”ずれ“を調整し、最適な温熱環境を形成する試みを行う。以下に、これらの関係性とそこで存在する”ずれ“とその適正方法について詳細を列挙する。

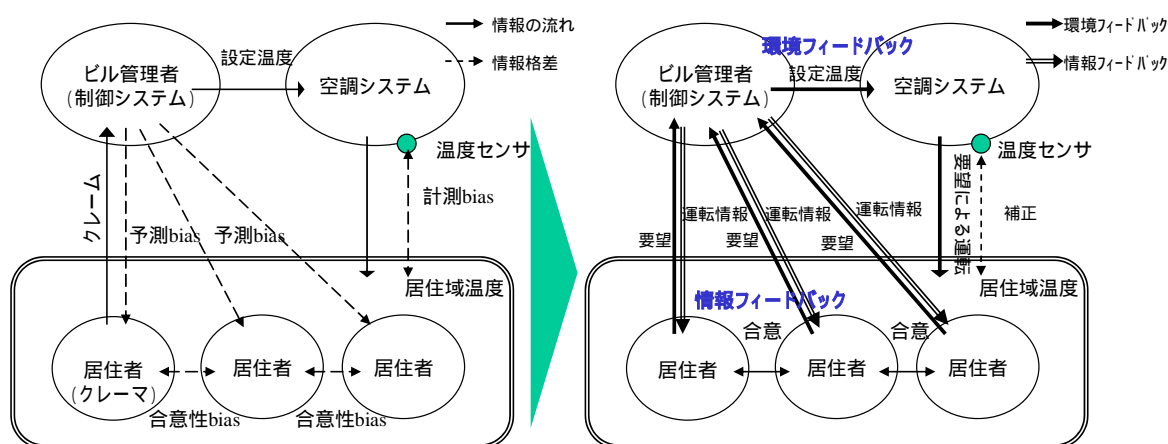


図 2.6 温度管理における情報の流れ（左側：現状の管理体制，右側：調節後の管理体制）

3-1-1 管理者 - 居住者の関係

管理者と居住者との間には情報の非対称性が存在し、ビル管理者と居住者の保有する情報の偏りが設定温度の効率的な管理・制御を阻害している。例えば、ビル管理者は居住者の心理的状态を保有できないため、センサ情報やクレーム情報より居住者の心理的状态を予測して運転しなければならない¹⁶⁾⁵²⁾が、その予測にはビル管理者の勘に頼るところが多く、その誤差が大きい場合に居住者の不満を招きかねない。特に女性の社会進出や高齢化社会により性別や年齢層の多様化、特に体温調節機能や好み温度のばらつきが大きくなっているため、居住者のクレーム情報だけでは居住者の心理状態の適切な予測が難しくなっている。また他方で居住者は個人の心理状態や身の回りの温熱環境情報を保有するが、空調システムの運転状態や省エネルギーに関する情報を保有することができない。そのため、想定外の運転や期待に反する運転に対して不満を覚える傾向にある。こうした情報の偏りに対して、本論文では居住者と管理者との情報伝達性を高め、相互の情報交換の中で少しずつ情報格差を是正することで、温度管理・制御の効率化を目指す。具体的には居住者自身を身の回りの環境に対する情報を発信するセンサと位置づけ、管理者はクレームの情報だけでなく居住者全体の心理情報を収集して、居住者間の合意の下で、環境制御にフィードバックさせることを試みる（環境フィードバック）。また居住者には先に 2-4-3 で述べたような居住者からの要望に対する応答や、2-4-4 で述べたような空調システムに関する運転情報や周囲の申告情報などを提供することで個人の思い込みを解消させ、さらに周囲への協調性を促すことで、居住者の不満の緩和を図る（情報フィードバック）。このような温度管理の調整作業はビル管理者にとって非常に負担が大きくなってしまいうため、一連のプロセスを自動化する試みを行う。

3-1-2 居住者 - 居住者の関係

2-4-4 で述べたように、居住者間では社会的背景と立場、個人の信念や価値観、温冷感特性の格差が存在する。例えば、集団内で自分の意見や判断が多数派に属すると思いついでいる人は自分自身の行動や判断に対する合意性を過大評価し⁸⁸⁻⁹⁰⁾、異なる意見の持ち主の判断を一般的でないと過小評価する（False Consensus 効果⁹⁰⁾ もしくは 合意性バイアス⁹⁰⁾とも呼ばれる）傾向があり、個人の予想する全体意見の分布が実際の分布と異なることが指摘されている⁸⁸⁾。つまり“自分が暑いと感じるから周囲の人のほとんども暑いと感じているはずだ”といった思い込みが、個人の感覚に従ったクレームを正当化させていると考えられる。またその一方で、集団内での居住者間の立場や地位などの違いが、居住者の発言行動の差に影響を及ぼすことが知られており²⁾、集団内での社会的地位の低い集団（例えば、派遣社員）などは温熱環境に対する意見を具申しづらいため、着衣量の調節や個別ヒーターや扇風機の利用など手軽で他人に迷惑の掛からない行為が余儀なくされる。

こうした個人の思い込みや社会的地位の差より発生する合意性バイアスに対して、本論文では複数の温熱環境に対する要望に基づいて設定温度を調節すると同時に、全体意見の分布情報をフィードバックすることによって完全ではないがその思い込みを解消させ、温熱環境に対する合意形成を促す。また社会的地位の差に影響されて要望を申告しづらといった課題に対して、ネットワークを介したコミュニケーション（computer-mediated communication , CMC⁹¹⁻⁹²⁾とも呼ばれる）の活用によって参加者の匿名性を高め、その社会的抑制の影響を緩和させ積極的な参加を促す試みを行う。

3-1-3 空調システム - 居住者の関係

空調システムで測定する温熱環境と居住者の身の回りの温熱環境との間には情報格差が存在してお

り、センサ情報には設置位置などセンサ精度だけでは対処できない測定誤差が存在する。例えば、レイアウトの自由度を優先するため、環境センサは居住域と離れた天井面、壁面や空調機器内部に設置される場合が多く、センサの示す環境状態と居住域近傍の環境状態に乖離が生じやすくなっている。またオフィス環境では大掛かりな計測装置を設置できないことやコスト面での制約を受けて入力パラメータが簡便化されるため、その簡便化が予測誤差を引き起こし、結果として居住者の不満を招く場合がある。

先に述べたように、本論文では居住者自身は身の回りの温熱環境に対する情報を発信する環境センサと位置付け、居住者の要望情報を評価することで近傍環境とセンサ情報の格差について補正を試みる。

3-2 居住者参加型空調制御システムの構築

以上の実態とその適正方法を踏まえて、居住者参加型空調制御システムの構築について述べる。まず3-1 で述べた居住者、管理者、空調システム間に存在する情報格差を調整、補正を目的として、既設の情報インフラを活用するシステム構成について述べ、次いで居住者の温熱環境に対する要望を用いた合意形成手法と、それに伴う設定温度の調整方法について述べる。そして居住者各個人に対して制御システム挙動に対する納得感の向上、居住者の思い込み解消、省エネ意識向上などを目的とする情報フィードバックに関して説明する。

3-2-1 居住者参加型空調制御システムの構成

図 2.7 に居住者参加型空調制御システムのシステム構成図を示す。ネットワーク化されたオフィス環境に対して、オフィス系、設備系のネットワークと通信できるサーバーを設置することで、居住者の利用する個人端末（以下 PC とする）、空調システム、サーバーのそれぞれがサーバーを介してネットワーク上で接続され、相互的な情報交換が可能となる。さらに既設の情報インフラに対してサーバーを導入するだけでこうしたシステムを構築することができるので、その他の省エネルギー型の設備機器の導入に比べて、比較的、大掛かりな工事を必要としないシステム構成となる。

以上のシステム構成により、サーバーに集積された居住者の要望と、快適性、省エネを考慮した制御ロジックに基づき空調システムの設定温度を調節する「環境フィードバック」と同時に、制御履歴や周囲の申告状況、予測エネルギー消費量などの空調制御に関する「情報のフィードバック」が可能となり、制御システムに対する参加意識向上や、居住者の思い込み解消、省エネ意識向上を促すことによって居住者の温熱環境に対する合意形成を促す。

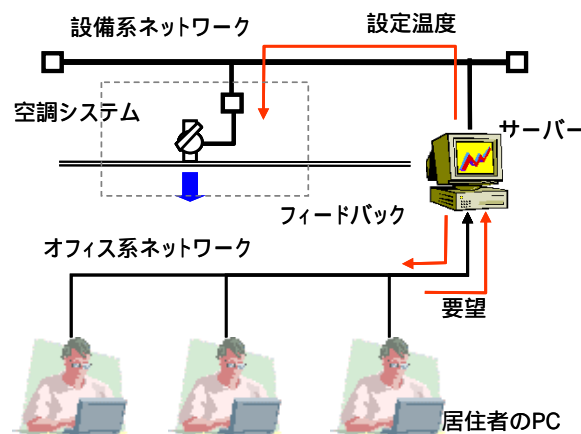


図 2.7 居住者参加型空調制御システムの構成

3-2-2 合意形成アルゴリズム

居住者の要望を総括して温熱環境を制御するには、合意の下で設定温度を決定する制御ルールが必要である。そのルールを合意形成ロジックと呼んでいる。その制御ロジックを含めたアルゴリズム全体の基本フローチャートを図 2.8 に示す。サーバーは一定の時間間隔で居住者の在室人数と温熱環境に対する要望を集積し、その在室人数に対する要望数の割合(以下、要望率とする)と制御ロジックに従って設定温度を変更させ、その際の制御状態に関する情報を更新する。

要望率は“温度を上げてほしい”、“温度を下げてほしい”の要望数を在室人数 N (人)で除することで得られ、例えば、“上げてほしい”の要望数 u (人)の温度上昇要望率 U (%)は式(2.9)より得られる。

$$U = \frac{u}{N} \times 100 \quad (2.9)$$

要望データの取り扱いに関して、その概要を図 2.9 に示す。サーバーはそれぞれの要望を一定時間、バッファリングしながら集積している。こうすることで、任意のタイミングで申告される要望のタイミングのずれを調節することができることや、一日に何度も申告しなくても済むようになり、居住者の申告に対する負担を軽減させることができる。また、こうしたサーバーに保持された要望データに関して、保持期間中であっても居住者の要望が制御に反映された場合は居住者の要望が満たされたと判断してリセットされる。また、要望の取り扱いとして一人一票方式を採用しており、要望の保持期間中に以前と同じ居住者より同じ申告を受け付けたとしても要望数にカウントされないようにしている。

在室人数に関して時々刻々と変動することが予想されるため、サーバーはリアルタイムに居住者の在席状況を把握して、制御に反映させる必要がある。本制御システムでは、サーバーからの居住者 PC に対するコマンドの応答によって起動する PC を確認し在室者数として代用する方法と、情報セキュリティへの懸念より目視する方法によって定期的に在室者を測定する方法を採用している。

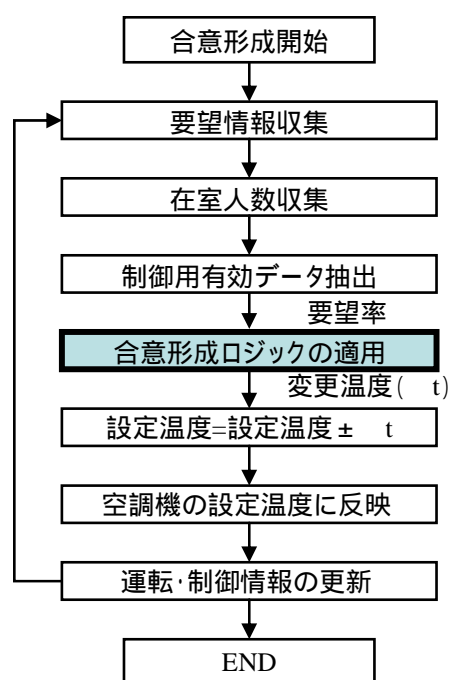


図 2.8 合意形成アルゴリズムのフロー

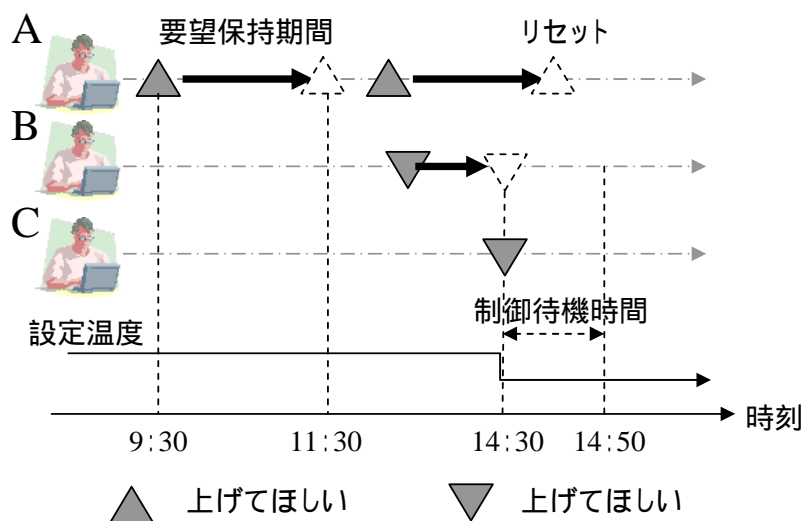


図 2.9 要望情報の取り扱いの例

3-2-3 合意形成ロジック

合意形成ロジックでは，居住者の「上げてほしい」と「下げてほしい」の要望率に基づいて設定温度を決定しており，本制御システムの中核をなしている。その決定のプロセスには快適性や省エネルギーを基本として，居住者の業務形態や属性，空調システムの特性を考慮する必要がある，そのため用途や状況に応じた様々なバリエーションを必要とする。そのバリエーションとしては，以下に説明する基本ロジック（「快適優先ロジック」，「冷房・省エネ優先ロジック」）を中心に，そのロジックを適用する前処理の部分で工夫を凝らして対応する。ここでは基本ロジックである「快適優先ロジック」，「冷房・省エネ優先ロジック」に加え，「女性優先ロジック」，「暖房ロジック」について述べる。

a) 基本ロジック

合意形成ロジックの基本ロジックとして，居住者の要望を重視した「快適優先ロジック（図 2.10）」と，冷房エネルギーの削減を目的とした「冷房・省エネ優先ロジック（図 2.11）」を考案した。居住者からの温熱環境に対する要望の割合が図中の ・ ・ の領域に位置する場合，現状の設定温度に対して，所定温度だけ上昇，維持，下降の変更がなされる。要望が少ない場合は多くの居住者が現状の温熱環境に対して満足していると判断し，「快適優先ロジック」では設定温度を変更させないが，「冷房・省エネ優先ロジック」では積極的に冷房エネルギーを削減するため設定温度を上昇させる。また図中の傾きは任意に変更することが可能であり，目的に応じてその制御パラメータを調節することもできる。

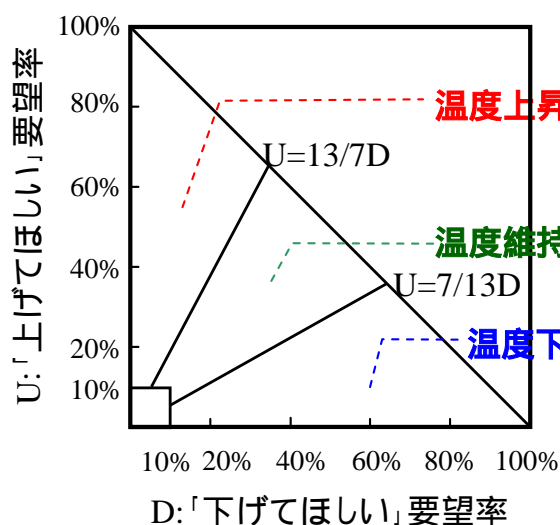


図 2.10 快適優先ロジック

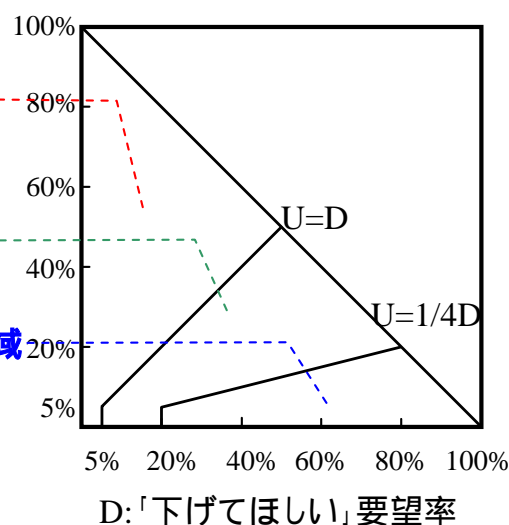


図 2.11 冷房・省エネ優先ロジック

b) 女性優先ロジック

冷房の強いオフィスでは冷えに弱い女性に対して負担を強い場合が多い。そこで「女性優先ロジック」では，女性の要望を優先的に制御に反映させやすくするために，合意形成ロジックの前処理として女性の要望に対して重み付けを行う。例えば，“上げてほしい”の要望に関して女性の要望に対する重み係数 $w_f(-)$ を用いることで式(2.10)のように女性の要望を強めることができる。

$$u' = W_f u_f + u_m \quad (2.10)$$

ここで

u : 重み付け後の“上げてほしい”要望数(人)

u_f : 女性の“上げてほしい”要望数(人)

u_m : 男性の“上げてほしい”要望数(人)

その重みは女性の優先度合いや女性の占める割合なども考慮されるべきであることから，重み係数 $W_f(-)$ は男性全体に対する女性全体の優先度 $p(-)$ と男性，女性それぞれの在室人数 N_m, N_f (人) を用いた式 (2.11) で求められる。例えば，男性 N_m と女性 N_f の構成比が 3:2 となるオフィスにおいて，ビル管理者が優先度 p を 2.0 と設定する場合，式 (2.11) より重み係数 W_f は 3.0 となるため，女性の要望は 3.0 倍されて扱われる。

$$W_f = \frac{N_m}{N_f} p \quad (2.11)$$

また，式 (2.10) の居住者の重み付けを行うことで，在室人数よりも要望数が大きくなりすぎる場合が発生する。例えば，男性 18 人，女性 12 人（合計 30 名）に対して優先度 p を 2.0 と設定する場合，重み係数 W_f は 3.0 となるが，この状況下で女性全員が「上げてほしい」と申告した場合，36 票の要望が申告されたことになるため要望率が 100% を超えてしまう。そこで式 (2.12) のような在室人数の補正を行う。この場合，在室人数 N' は 42 人として扱われる。

$$N' = W_f N_f + N_m \quad (2.12)$$

c) 暖房ロジック

冬季に暖房しかできないオフィスでは，設定温度を低くすることで省エネルギー効果が期待できるが，その一方で内部発熱などによって室内温度が上昇し，設定温度との乖離が大きくなってしまうため，上記の合意形成ロジックに基づいて所定温度だけ設定温度を変更したとしても即座に温熱環境の変化につながらない，つまり温熱快適性を維持できない場合がある（図 2.12 左）。たとえば，図 2.12 の左図に示すように 11:30 に設定温度の上昇が合意形成ロジックによって行われたとしても，室内温度と設定温度が乖離しているため所定の設定温度を変更したとしても室内温度の変化にまでつながらない。そこで「暖房ロジック」では，合意形成ロジックの前処理として，暖房が停止しているにもかかわらず設定温度より高くなった室内温度に対して暖房が稼動しない範囲で設定温度を追従させ，その乖離を是正させる（図 2.12 右）。こうした前処理によって暖房エネルギーの節約を行いつつも，要望に応じた設定温度の変更に対して即座に温熱環境を変化させることができるので快適性の維持も同時に期待できる。

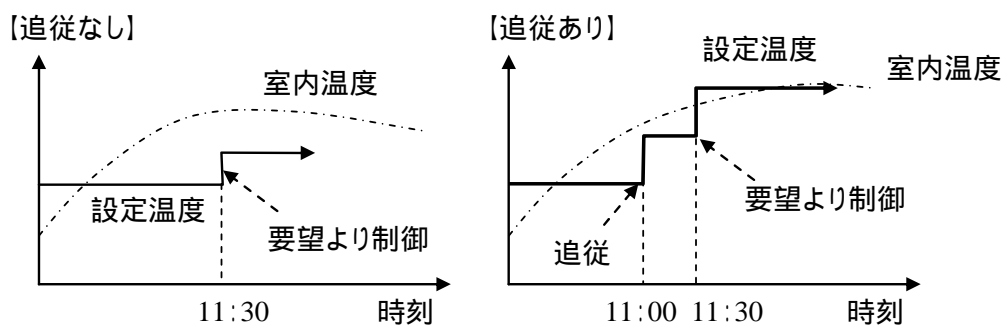


図 2.12 暖房ロジックの概念図

(左：暖房ロジックなし，右：暖房ロジックありの場合の設定温度と温度の関係)

| 要望 | 快適感 | 寒暑感 |
|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| <input type="checkbox"/> 上げてほしい | <input type="checkbox"/> 非常に快適 | <input type="checkbox"/> 非常に暑い |
| | <input type="checkbox"/> 快適 | <input type="checkbox"/> 暑い |
| | <input type="checkbox"/> やや快適 | <input type="checkbox"/> やや暑い |
| | <input type="checkbox"/> どちらでもない | <input type="checkbox"/> どちらでもない |
| <input type="checkbox"/> 下げしてほしい | <input type="checkbox"/> やや不快 | <input type="checkbox"/> やや寒い |
| | <input type="checkbox"/> 不快 | <input type="checkbox"/> 寒い |
| | <input type="checkbox"/> 非常に不快 | <input type="checkbox"/> 非常に寒い |

図 2.13 要望申告画面

3-2-4 要望申告画面

本提案する制御システムでは，居住者の参加つまり温熱環境に対する要望がトリガーとなって稼動するため，居住者が気軽に申告できることを十分考慮して設計する必要がある。さらに 3-1-2 の課題より居住者全員に対して平等の参加機会を提供することに配慮しなければならない。そのためには 各人が業務を遂行しながら不満を覚えた際に気軽に申告でき，社会的地位の差に影響されず要望を感じる際に申告できることが望ましい。こうした状況を踏まえて居住者個人の業務で利用する PC より匿名で申告してもらう方法を採用する。ただし，サーバーに収集される要望情報には，パソコンの識別情報が付与されており，個人を特定できるようにしている。

図 2.13 に要望申告画面を示す。居住者の温熱環境に対する要望は，居住者各自の PC にある専用アプリケーションもしくは WEB ブラウザを通じて申告され，サーバーに集積される。居住者が温熱環境に対する不満を感じる際にいつでも申告できるように，前者ではタスクバー上に専用のアイコンを，後者ではデスクトップ上にショートカット用のアイコンを配置しており，それらのアイコンより図 2.13 の申告画面を起動させ，『要望』2 段階，『寒暑感』7 段階，『快適感』7 段階などを申告してもらう。温熱環境に対する要望方法として，居住者の要望する設定温度の絶対値を申告する方法と現状の温熱環境に対する相対的な要望を申告する方法が存在するが，家庭用のエアコンの温度設定に慣れている居住者にとって，前者の方法では家庭用エアコンでの体験が先入観となってしまう，現状の温熱環境に対する要望にバイアスが掛かることが予想されるため，後者の McIntyre⁴²⁾ の Preference 尺度（温度を上げてほしい～そのままでもいい～温度下げてほしい）を基本尺度とし，「そのままでもいい」を除いた「温度を上げてほしい」，「温度を下げてほしい」といった，現状の温熱環境に対する相対的な評価尺度を用いた。設定温度の制御に関しては要望情報だけに基づいて行われており，図中の「快適感」，「寒暑感」に関しては評価用として扱われ，制御には利用しない。

3-2-5 フィードバック画面

3-1 で述べたように居住者に対する情報フィードバックは制御システムと居住者の情報格差によって生じる居住者の不満を緩和させることを目的とする。その目的にはさらに細かく分けると、個人の申告情報とその扱われ方を提示することで、制御システムの運転状態や制御に対する納得感を高めるもの、周囲の申告状況の提示によって個人の思い込みを解消させて運転と制御に対する納得感を高めるものと、エネルギー情報を提示することで、省エネルギー運転であることを意識させるものが存在し、それぞれの情報を適切なタイミングで提供することが望まれる。そこで表 2.2 に情報フィードバックのタイミングと期待効果の関係をまとめたものを示す。周囲の申告状況、制御履歴、エネルギー情報など居住者全員に共通して関わる基本情報に関してはタイミングと関係なく常に情報提供が必要であるが、居住者個人の要望に関してその提示するタイミングも重要となってくると考えられる。

表 2.2 情報フィードバックのタイミングと期待効果

| 情報項目 | 表示タイミング | 期待効果 |
|-----------|------------------|---|
| 周囲の申告情報 | 寒暑を感じたとき 申告直前 | 自分と異なる意見を認識させ、各人の要望による運転に納得してもらう。 |
| 省エネ情報 | - | 省エネへの達成感と運転の意図を気づかせる。 |
| 運転制御・情報 | 寒暑を感じたとき | 運転状況を把握させ、納得感を高める。 |
| 個人の要望申告情報 | 申告して直ぐ後 | 運転状況を把握させ、運転に対する納得感を高める。 |
| | 制御実行後 | ・要望が採用された場合： 要望の制御反映を伝え、参加意識を高める。 ・要望が採用されなかった場合： 反映されなかった理由を伝え、納得感を高める。 |

以上の内容を踏まえて、周囲の申告状況、制御履歴、エネルギー情報など居住者全員に関わる基本情報を提示するフィードバック画面と、基本情報に加え個人の要望データの状況と制御状況に応じてその提示するタイミングと内容を変化させるフィードバック画面を開発した。図 2.14 に前者の基本情報を中心としたフィードバック画面を、図 2.16 に後者の基本情報に加えて個人の要望状態を適宜フィードバックするフィードバック画面を示す。

図 2.14 では最新制御履歴、エネルギー使用状況、現在のフロア全体の申告割合など居住者全員に共通して関わりのある基本情報を提示しているのに対して、図 2.16 では図 2.14 の情報に加えて個人の要望状態に応じて、画面の右側から左側へと所定のタイミングでフィードバック情報をスクロールするようになっている。また、図 2.16 では要望を申告する画面と同一の画面内に表示することで、申告する際に同時に周囲の申告状況や制御状況を確認できるようにしている。省エネルギーに関する情報は、図 2.16 中の詳細ボタンを選択することで表示されるようにしている。

図中の省エネルギー量、省エネルギー率に関して、その算出方法を以下に示す。

手順 1:

式(2.13)に示す設定温度、外気温度、熱負荷との関係式に、外気温度（収集できない場合は天気予報から予想される外気温度）と実験当日の設定温度を適用することで、時刻 $k(k:0 \text{ 時} \sim 24 \text{ 時}$ までの任意の時刻を時間単位で表記した実数)の、合意形成ロジックによる設定温度と、通常運用での設定温度に対する熱負荷 $H_{k,t}(\text{kW})$ 、 $H_{kb}(\text{kW})$ をそれぞれ制御ステップ $T(\text{s})$ で算出する。

手順 2 :

それらの熱負荷を積算することで制御時の設定温度に対する日積算熱負荷量 $H_{sum,t}(kJ)$ と通常運用時の日積算熱負荷量 $H_{sum,b}(kJ)$, 日積算熱負荷量の省エネルギー量 $H(kJ)$ と省エネルギー率(%)を簡易的に求める(図 2.15)。

式(2.13)は時系列式モデルとして表現され, そのモデル構築は 2002 年の実測データに基づいて導出したものである³⁰⁾³¹⁾。これは, 実測データとして得られたコイルの処理熱量を $H_k(kW)$, 外気温度を $t_o()$, 室内温度を $t_{set}()$ と見立てて, これらの実測データを式(2.13)に当てはめ, 最尤推定法より最適パラメータ列 a, b, c を導出している。そのモデル構築の際に確認した実測値と予測値の比較結果を図 2.17 に示す。時系列でもほぼ合致する傾向が得られ, 期間積算負荷でも誤差 4.0% 以内にあった。また, モデル構築の際には内部発熱も考慮して検討しているが, 今回の検討では内部発熱を測定していなかったため, c_0 に固定値を与えて検討した。

$$H_k = \sum_{i=0} a_i t_{o,k-i} + \sum_{j=0} b_j t_{set,k-j} + c_o \quad (2.13)$$

ここで,

- H_k : 時刻 k における熱負荷 (kW)
- $t_{o,k}$: 時刻 k における外気温度 ()
- $t_{set,k}$: 時刻 k における設定温度 ()
- a, b, c : 熱負荷を予測するための係数ベクトル(-)

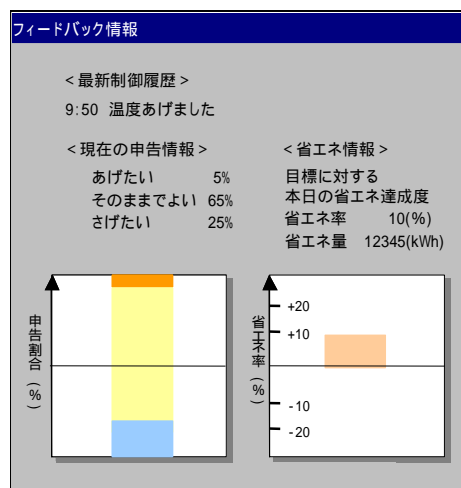


図 2.14 基本情報に関するフィードバック画面

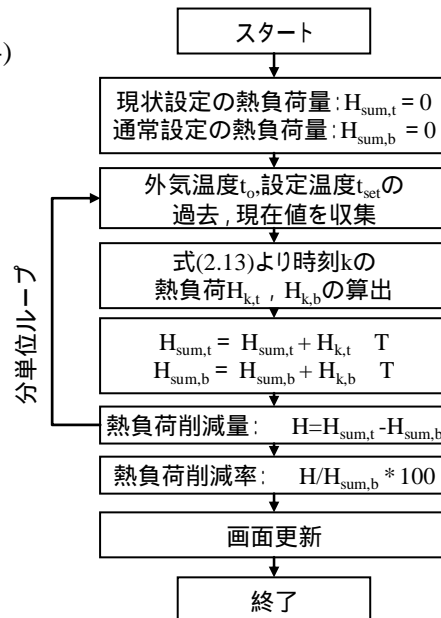


図 2.15 省エネルギー量の算出フロー

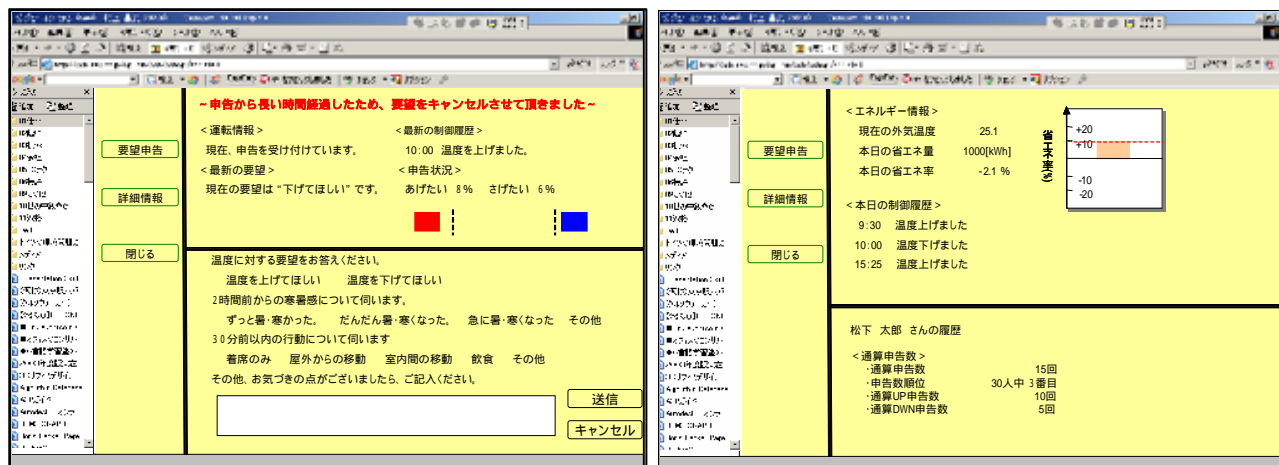


図 2.16 個人状態に応じて変化するフィードバック画面（左：申告画面，右：詳細画面）

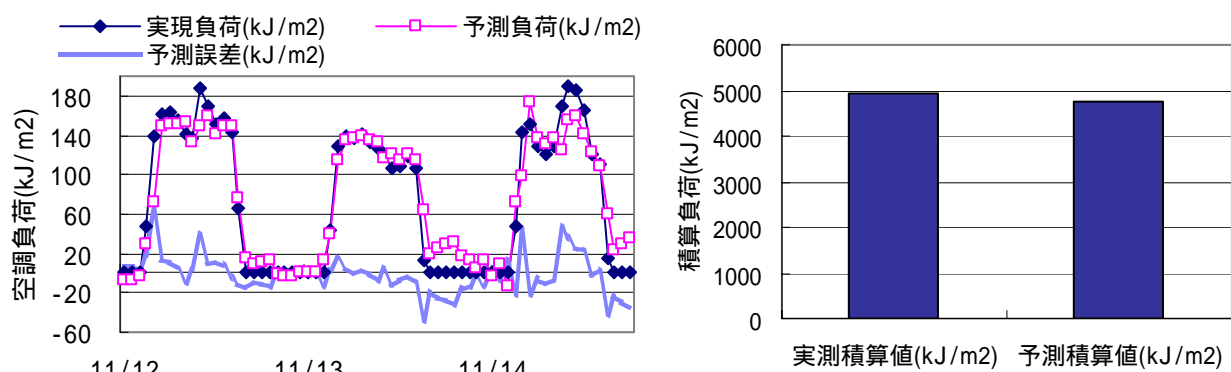


図 2.17 統計モデルの予測精度と実測精度の比較（左側：代表日，右側：期間積算）

4 対象フィールド

本研究では、中央熱源方式と個別分散熱源方式の空調システムを有する建物において、男女構成や業務形態の異なる3つの建物フロアを本システムの対象フィールドとして抽出した。表2.3に対象フロア概要を示す。

表 2.3 対象フロア概要

| | Dビル7F | | Tビル |
|----------------------------|--|--------------------|--|
| 所在地 | 大阪府内 | | 東京都内 |
| 延床面積(m ²) | 22,275 | | 14,711 |
| フロア面積(m ²) | 855 (実験ゾーン：636) | 346 (実験ゾーン：216) | 790 (実験ゾーン：311) |
| 原単位(MJ/(m ² 年)) | 2,494 | | 2,268 |
| 熱源システム | 中央熱源方式 | | 個別分散熱源方式 |
| 空調システム | エアハンドリングユニット (ライン型吹出方式) ファンコイルユニット (ライン型吹出方式) | | ビル用マルチ室内機 (天井カセット方式) 外調機 (アネモ型吹出方式) |
| 賃貸形態 | 自社ビル | | テナントビル (関連会社入居) |
| 対象者(人) | 04年度：46(男性：34,女性12) 05年度：40(男性：32,女性8) | 37(男性：17,女性20) | 23(男性20,女性3) |
| 職種 | 男性：事務職 女性：事務職 | 事務職 | 男性：開発職 女性：事務職 |
| 着衣量(夏) | 全体：0.64±0.22 | 全体：0.62±0.17 | 全体：0.69±0.18 |
| | 男性：0.64±0.24 | 男性：0.60±0.15 | 男性：0.70±0.20 |
| | 女性：0.62±0.08 | 女性：0.64±0.19 | 女性：0.64±0.19 |
| 着衣量(冬) | | | 全体：1.16±0.32 |
| | | | 男性：1.20±0.32 |
| | | | 女性：0.90±0.22 |

4-1 Dビル7F

図2.18にDビル7Fのフロア平面図を示す。Dビルは地上8階建ての鉄骨鉄筋コンクリート構造であり、中央に共用部を有する中央コア型を採用している。居住エリアはコアを挟んで東西に配置されており、そのうちの東側エリアを実験対象としている。対象フロアの東面には連続した窓があり、窓にはベネチャンブラインドが設けられている。

対象フロアには商品開発を担当する3つの部署が入っており、東西方向に配置された什器によって各部署のスペースが分けられている。オフィスレイアウトは業種別にデスクの配置がされたオープンタイプを採用している。

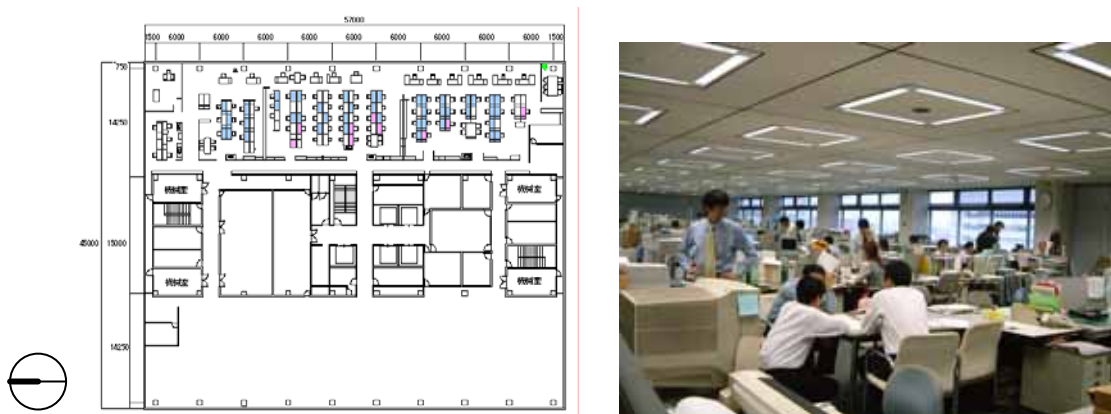


図 2.18 Dビル7F 平面図とフロアの様子

Dビル 7F の東エリアにおける空調システムとして、ペリメータには天井吹出しのファンコイルユニット方式(以下 FCU:Fan Coil Unit)を、インテリアには南北 2 方向の空調機(以下 AHU:Air Handling Unit)とその末端には 9 系統の変風量吹出し単一ダクト方式(以下 VAV:Variable Air Volume)を採用している。FCU の吹き出し口・吸い込み口は天井内部に設置され、FCU 本体に内蔵された温度センサと設定温度が合致するように吹出し温度と風量を制御している(表 2.5)。AHU は吹出し温度が温度設定と合致するように冷温水流量と、VAV の要求風量を満たすように給気風量を制御している。AHU では 4 管式であるため冷水と温水の同時運転は可能であるが、再熱除湿運転は行っておらず、冷房期ではなりゆきで除湿され、暖房期では空調機内で水を噴霧させて加湿している。各部屋の末端に設置する VAV は天井に設置されたセンサ温度に応じてその吹き出す風量を調節している。夏季では 26.0、冬季では 24.0 の設定温度一定運転で運用されている。図 2.19 に吹き出し口と室内温度(RA)センサの配置図を示す。VAV の吹き出し口は照明の配置に沿ったライン形状であり、室内温度(RA)センサは天井面に設置されている。

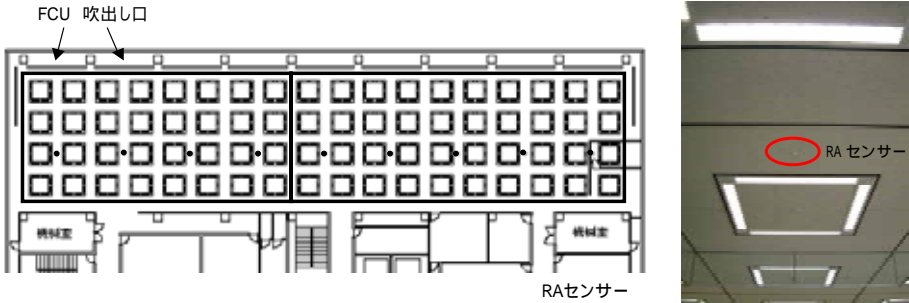


図 2.19 吹き出し口と室内温度(RA)センサの配置図

熱源システムの構成とその機器リストを図 2.20、表 2.4 に示す。熱源装置として温水単効用吸収式冷凍機、ガス吸収式冷温水機、アイスチラーより構成されるとともに、コジェネレーションシステムと氷蓄熱システムのエネルギーシステムが併用された複雑なシステム構成となっている。

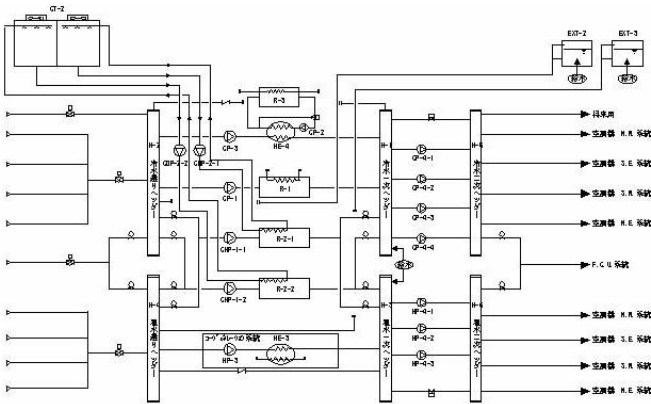


図 2.20 熱源システム概要図

表 2.4 Dビル空調・熱源機器リスト

| 記号 | 名称 | 仕様 | |
|--------|-----------|-------------|---------|
| HE-3 | 温水回収用熱交換器 | 交換熱量(kW) | 800.0 |
| R-1 | 吸収式冷凍機 | 冷凍能力(kW) | 530.0 |
| R-2 | 冷温水発生機 | 冷却能力(kW) | 420.0 |
| | | 加熱能力(kW) | 770.0 |
| R-3 | アイスチラー | 冷却能力(kW) | 420.0 |
| HE-4 | 熱交換機 | 交換熱量(kW) | 700.0 |
| AHU-SE | 南東空調機 | 冷房能力(kW) | 55.8 |
| | 送風機 | 暖房能力(kW) | 37.8 |
| | | 給気風量 (m3/h) | 10000.0 |
| AHU-NE | 北東空調機 | 冷房能力(kW) | 47.7 |
| | 送風機 | 暖房能力(kW) | 32.0 |
| | | 給気風量 (m3/h) | 8500.0 |
| FCU | ファンコイル | 冷房能力(kW) | 5.5 |
| | | 暖房能力(kW) | 8.8 |
| | | 風量 (m3/h) | 15.5 |

4-2 D ビル 1F

図 2.21 に本建物フロアの平面図を示す。実験対象フロアは D ビルの一階にある。実験対象である居住エリアはフロアの北西側（図中左下側）に配置されている。対象フロアの北面，西面には連続した窓があり，D ビル 7F と同様その全体に内側ブラインドが設けられている。対象フロアには事務系の 2 つの部署が入っており，フロア中央に東西方向に設置された高さ 1.55m のパーティションによってそれらのスペースが 2 分割されている。オフィスレイアウトは業種別にデスクの配置がされたセミオープンタイプを採用している。

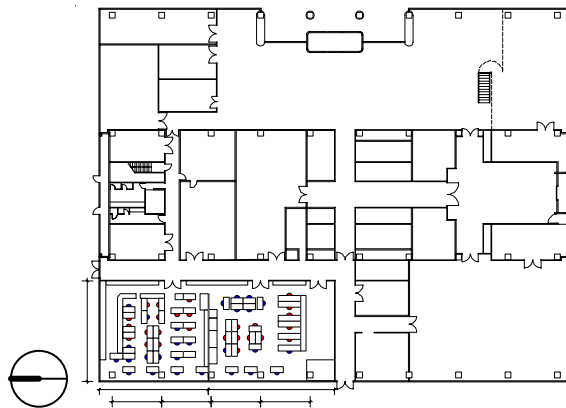


図 2.21 D ビル 1F 平面図

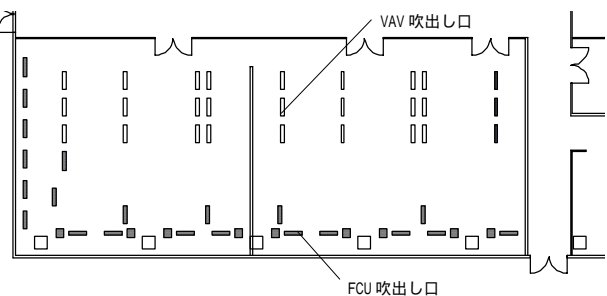


図 2.22 D ビル 1F 吹き出し口の配置図

熱源設備は D ビル 7F と共通である。空調方式はペリメータと室の南側で廊下に接する部分には天井吹出しのファンコイルユニット方式を，インテリアには空調機 1 台に対して 4 系統の変風量吹出し単一ダクト方式を採用している。通常，夏季では 26.0 の設定温度一定運転で運用されている。図 2.22 に吹出し口の配置図を示す。ただし，室内温度センサはチャンバー内の天井裏に設置されているため，位置を確認できなかった。

4-3 T ビル

図 2.23 に本建物フロアの平面図を示す。本建物は地上 9 階建ての鉄骨鉄筋コンクリート構造であり，南東側に共用部を有する片寄せコア型を採用している。実験対象である居住エリアはフロアの北西側に配置されている。対象フロアの北西面には連続した窓があり，大阪 D ビル 7 階同様，その全体に内側ブラインドが設けられている。対象フロアには研究や商品開発を担当する部署が入っており，おおよそ南北方向に配置された高さ 1.1m のパーティションによって各部署のスペースが分けられている。オフィスレイアウトは業種別にデスクの配置がされたオープンタイプを採用している。

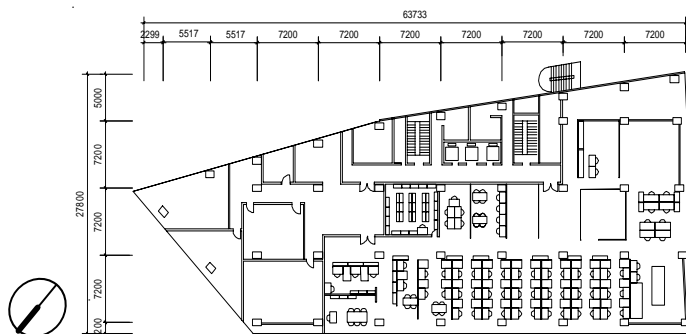


図 2.23 T ビル 8F 平面図とフロアの様子

T ビルの空調機システムは外気負荷を処理する外調機 2 台と室内負荷を処理する空冷ヒートポンプパッケージ型空調方式のビル用マルチエアコン(以降、ビルマル)4 台より構成され、さらにペリメータでは外皮負荷を処理するためインテリアと別系統のビル用マルチエアコンが 2 台(PAC3,PAC4)設置されている。外調機は外気温度に応じてコンプレッサーの能力を 0% ,50% ,100%と段階的に制御されており、冷房と暖房の切り替えも外気温度に応じて自動的に行われている。それに対して、室外機の冷房、暖房の切り替えは中央監視装置で判断して行われている。通常、夏季では 25.0℃、冬季では 24.0℃ または 25.0℃ の設定温度一定運転で運用されている。図 2.24 に外調機の吹出し口と吸込み口、ビルマルの室内機について配置図を、表 2.5 に機器リストを示す。

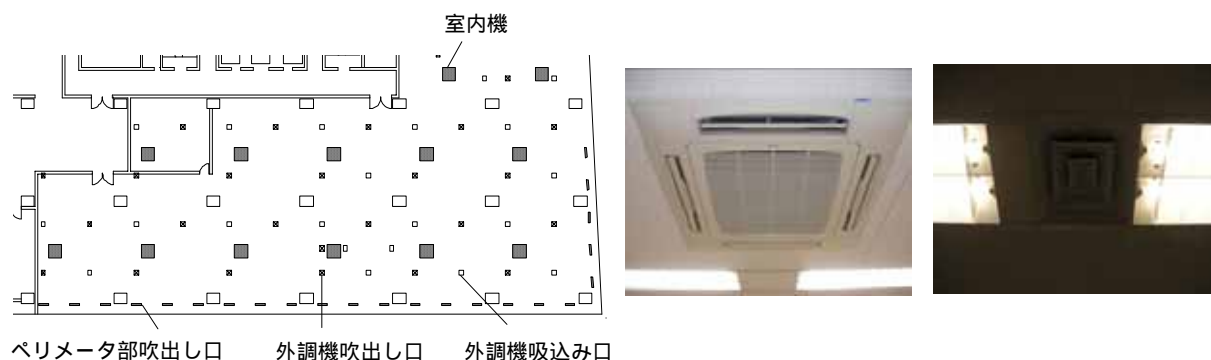


図 2.24 T ビル吹出し口の配置図とその写真（真中：室内機，右：外調器の吹出し口）

表 2.5 T ビル空調機の機器リスト

| 記号 | 名称 | 仕様 | | 記号 | 名称 | 仕様 | |
|------|---------|-----------|--------|------|---------|-----------|-------|
| PAC | 外調機 | 冷却能力 (kW) | 15.5 | PAC3 | 室内機・室外機 | 冷却能力 (kW) | 101.0 |
| | | 暖房能力 (kW) | 15.6 | | | 暖房能力 (kW) | 113.0 |
| | | 風量 (m3/h) | 2000.0 | | | 風量 (m3/h) | 900.0 |
| PAC1 | 室内機・室外機 | 冷却能力 (kW) | 61.5 | PAC4 | 室内機・室外機 | 冷却能力 (kW) | 40.0 |
| | | 暖房能力 (kW) | 69.0 | | | 暖房能力 (kW) | 40.0 |
| | | 風量 (m3/h) | 900.0 | | | 風量 (m3/h) | 900.0 |
| PAC2 | 室内機・室外機 | 冷却能力 (kW) | 56.0 | | | | |
| | | 暖房能力 (kW) | 63.0 | | | | |
| | | 風量 (m3/h) | 900.0 | | | | |

5 測定項目およびその方法

実験期間を通して、環境についてはフロア居住域の温湿度、外気温湿度の計測を、設備については空調機回り温湿度、室内側の吸込み温湿度などの計測を行った。計測インターバルは、東京 T ビルでの BEMS による設備計測のみ 1 時間であり、それ以外は基本的に 1 分としている。

以下に、それぞれの対象建物フロアにおける計測項目の詳細について整理する。

5-1 温熱環境条件

壁面や天井面など居住域より離れた箇所に設置されている空調機の温度センサでは、居住域近傍の温熱環境を評価することが難しいため、空調機の室内温度以外に居住域近傍にメモリ内蔵型の温湿度計を補足的に設置し、居住者近傍温熱環境の評価を行っている。

図 2.25～図 2.27 に各ビルの温度測定点、表 2.6 にその測定名称を示す。D ビル 7F では図 2.25 中の黒

丸で示す 26 点(インテリア 14 点, ペリメータ 12 点), D ビル 1F では図 2.26 中の黒丸で示す 20 点(インテリア 14 点, ペリメータ 6 点), T ビルでは図 2.27 中の黒丸で示す 18 点の, 床上 1200mm の温度計および温湿度計 (T&D 社 おんどり Jr) を設置し, 室内温度もしくは湿度を 1 分間隔で測定している。基本的に座席の島ごとに 1 個~2 個の温度計を設置したのに対して, 湿度分布は温度分布と比べてばらつきが小さいため, フロア全体で 2~5 の代表点に温湿度計を設置している。

表 2.6 温度測定点と図中記号

| | インテリア温度 | ペリメータ温度 | 室内温度 |
|--------|------------------------|---------|---------|
| D2ビル7F | i1 ~ i12 | p1 ~ p4 | R1 ~ R4 |
| D2ビル1F | i-r1 ~ r6 i-c1 ~ c6 | p1 ~ p6 | s1 ~ s2 |
| Tビル | i1 ~ i17 | - | i18 |

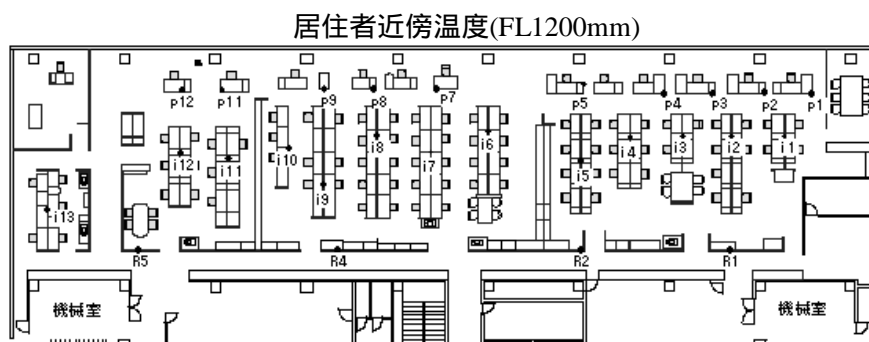


図 2.25 Dビル7F 温度測定点の配置図

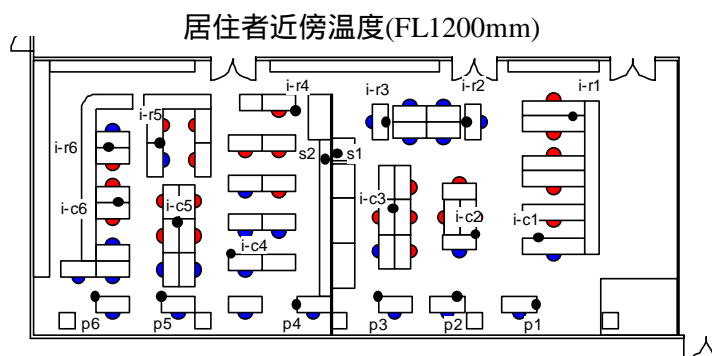


図 2.26 Dビル1F 温度測定点の配置図

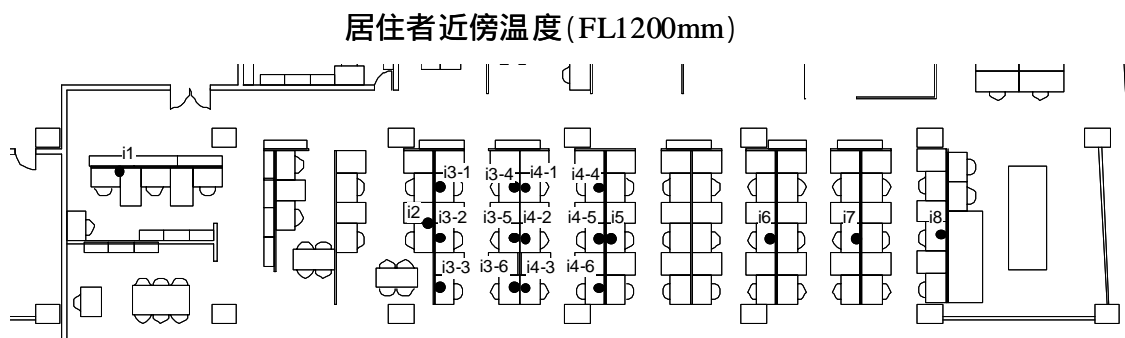


図 2.27 Tビル 温度測定点の配置図

5-2 エネルギー消費量

設定温度緩和が空調機の処理熱量やエネルギー消費量に及ぼす影響を把握するため、空調機の制御状態やエネルギー消費量などの情報を BEMS より収集している。中央熱源方式である D ビルでは、フロアの処理熱量に基づいてエネルギー評価を行う。電気式のビルマルチ型空調システムである T ビルでは対象フロアの外調機、室外機、室内機の消費電力量に基づいて評価を行う。D ビルでは表 2.7～表 2.8 に示す空調機まわりの測定点を、T ビルでは表 2.9 に示す空調機まわりの測定点を 1 分間隔で測定している。また、本論文におけるエネルギー評価に関して、コイルや熱源などの処理熱量に関する熱量ベースのエネルギー単位として(kJ)を、電力消費量に関するエネルギー単位として(kWh)を用いることで区別している。また、1 次エネルギー評価のエネルギー単位としては(kJ) , (MJ)を用いている。

表 2.7 D ビル 7F 空調機まわりの測定点

| 測定項目 | 単位 | 記号 | 測定箇所 | 計測器 |
|------------|---------|------------------|-------|------------|
| 排気温湿度 | /RH | t_e, RH_e | 排気ダクト | トキメック製 |
| 吸込み温湿度 | /RH | t_s, RH_r | 室内 | |
| 給気温度 | | t_s | AHU | |
| 給気露点温度 | | t_{sc} | 給気ダクト | 日本特殊陶業製 |
| 外気温湿度 | /RH | t_o, RH_o | 屋上 | Honeywell製 |
| 排気・給気風量 | m^3/s | V_e, V_s | AHU | |
| 外気取入量 | m^3/s | V_o | AHU | |
| 温水入口・出口温度 | | t_{hi}, t_{ho} | 配管 | トキメック製 |
| 冷水入口・出口温度 | | t_{ci}, t_{co} | 配管 | |
| 冷水流量 | m^3/s | W_h, W_c | | |
| 給気ファンインバータ | % | Inv_s | AHU | - |
| 還気ファンインバータ | % | Inv_r | AHU | |

表 2.8 D ビル 1F 空調機まわりの測定点

| 測定項目 | 単位 | 記号 | 測定箇所 | 計測器 |
|------------|-----|-------------|------|--------|
| 吸込み温湿度 | /RH | t_r, RH_r | 室内 | トキメック製 |
| 給気温度 | | t_s | AHU | |
| 給気ファンインバータ | % | Inv_s | AHU | - |

表 2.9 T ビル空調機まわりの測定点

| 測定項目 | 単位 | 記号 | 測定箇所 | 計測器 |
|----------|-----|-------|------|-------------------|
| 外調機消費電力量 | kWh | Pu | 外調機 | WHモニター 松下電器産業製 |
| 室内機消費電力量 | kWh | Pc | 室内機 | |
| 室外機消費電力量 | kWh | Po | 室外機 | |
| 吸込み温度 | | t_r | 室内機 | - |

7F インテリアの空調負荷を 7F 空調機の水まわりの処理熱量と合致すると仮定すれば、式(2.14) , 式(2.15)より算出することができる。

$$q_c = \rho_w * c_w * W_c * (t_{co} - t_{ci}) * T * 10^{-3} \quad (2.14)$$

$$q_h = \rho_w * c_w * W_h * (t_{hi} - t_{ho}) * T * 10^{-3} \quad (2.15)$$

ここで、

| | |
|----------|--------------------|
| q_c | : 冷水まわりの処理熱量(kJ) |
| q_h | : 温水まわりの処理熱量(kJ) |
| c_w | : 水の比熱(J/g) |
| ρ_w | : 水の密度 (g/ m^3) |
| t_{ci} | : 冷水の入口温度 () |
| t_{co} | : 冷水の出口温度 () |
| W_c | : 冷水流量(m^3/s) |
| W_h | : 温水流量(m^3/s) |
| T | : 計測ステップ(s) |

また 1F の空調負荷に関しては 7F と異なり計測項目が制限されているため、式(2.14) , 式(2.15)を用いて処理熱量を算出できない。そのため、インバータ出力値 $Inv(\%)$ から算出する給気風量 $V_s(m^3/s)$ と

外気と還気の混合空気のエントルピー h_{mix} (kJ/kg DA)より算出を行っている。図 2.28 は D ビル 1F と特性を有する D ビル 7F 空調機に関して、実測データに基づいた給気風量のインバーター出力値 $Inv(\%)$ と外気取入量 V_o (m³/s) の関係を示したものである。OA ダクトのダンパー開度が固定されているため、外気取入量 V_o (m³/s) が給気風量 V_s (m³/s) と強い相関関係にあることが確認される。

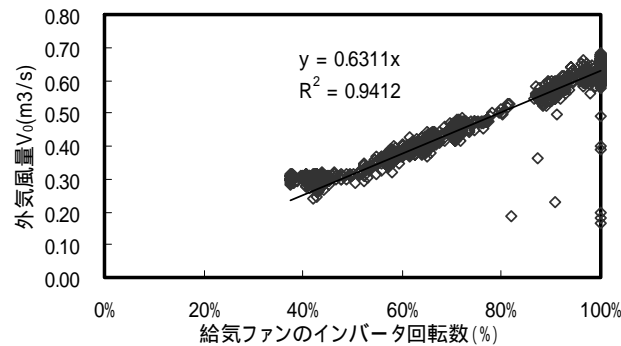


図 2.28 D ビル 7F の給気ファンのインバーター回転率と外気風量の関係

図 2.28 の関係式に基づくことで外気取入量 V_o (m³/s) が求められ、式(2.18)により得られた混合空気のエントルピー h_{mix} (kJ/kg DA) と吹出し空気のエントルピー h_s (kJ/kg DA) との関係から冷水処理熱量 q_c (kJ) が求められる。

$$q_c = \rho_a * V_s * (h_{mix} - h_s) * T * 10^{-3} \quad (2.16)$$

$$h_{mix} = (V_o * h_o + (V_s - V_o) * h_r) / V_s \quad (2.18)$$

$$V_s = V_{max} * Inv \quad (2.19)$$

$$V_o = 0.631 * Inv \quad (2.20)$$

ここで、

| | |
|-----------|---------------------------------|
| q_c | : 冷風まわりの処理熱量(kJ) |
| V_{max} | : 吹出し風量の最大値 (m ³ /s) |
| h_{mix} | : 外気と還気の混合空気エントルピー(kJ/kg) |
| h_s | : 吹出し空気エントルピー(kJ/kg) |
| h_o | : 外気空気エントルピー(kJ/kg) |
| ρ_a | : 空気の密度 (kg/ m ³) |

T ビルでは電気式の空調システムであるため、それぞれの機器使用電力量を比較することでエネルギー評価を行うことができる。

$$P_{sum} = P_u + P_c + P_o \quad (2.21)$$

ここで、

| | |
|-----------|--------------------|
| P_{sum} | : 空調エネルギー消費量 (kWh) |
| P_u | : 室内機電力量 (kWh) |

| | |
|-------|----------------|
| P_c | : 室外機電力量 (kWh) |
| P_o | : 外調機電力量 (kWh) |

5-3 心理反応

要望の申告以外の主観量として、T ビルの夏季実験では毎日の実験終了時に、T ビルの冬季実験と D ビルの夏季実験では実験条件の終了日に、その期間を通じての温熱環境に対する満足感、快適感、寒暑感の 7 段階尺度を測定した。

表 2.10 に本実験で用いる心理評価尺度を示す。要望申告の尺度としては、McIntyre⁴²⁾の Preference 尺度（温度をあげてほしい～そのままでよい～温度を下げてほしい）に用いて、温熱環境に対する要望状態を把握するとともに、要望を空調制御にフィードバックする実験では、「そのままでよい」を除いた 2 尺度（温度をあげてほしい～温度を下げてほしい）を用いた。

表 2.10 心理評価尺度

| 要望 | 快適感 | 寒暑感 | 満足感 |
|---------|---------|---------|---------|
| 上げてほしい | 非常に快適 | 非常に暑い | 非常に満足 |
| | 快適 | 暑い | 満足 |
| | やや快適 | やや暑い | やや満足 |
| そのままでよい | どちらでもない | どちらでもない | どちらでもない |
| 下げてほしい | やや不快 | やや寒い | やや不満 |
| | 不快 | 寒い | 不満 |
| | 非常に不快 | 非常に寒い | 非常に不満 |

第3章 オフィス温熱環境の実態調査

1 はじめに

前章で述べた設定温度の最適管理，制御を施すためには，まず，実際のオフィスビルにおける設定温度の管理状態とそれに関わるエネルギー消費状態を把握するとともに，その温度条件を変化させた場合の居住者の示す心理反応やエネルギー消費特性を把握することが必要である。

そこで本章では中央熱源方式である D ビルと，個別分散型熱源方式である T ビルの実験対象フロアを対象とし，夏季，冬季それぞれを含めて延べ 6 回の調査を行い，温度管理のあり方について考察を試みる。

2 調査概要

調査は前章で述べた実験対象フロアである D ビル，T ビルにおいて，冷房・暖房時期にそれぞれ 1 週間ほど行われた。調査内容としては，温熱環境，空調エネルギー消費，ビル管理，居住者に関する実態調査と，設定温度を変更させた場合の居住者の温冷感と空調エネルギー消費量の感度調査に大きく分けられる。表 3.1 にその調査概要を示す。調査は D ビル 7F，T ビルの対象フロアを中心に，夏季，冬季で行われた。

表 3.1 調査概要

| 調査名称 | 対象フロア | 調査期間 | 実態調査 | | | | 感度調査 | |
|----------|-------|--------|------|------|-----|---------|---------|-----|
| | | | 温熱環境 | 温度管理 | 居住者 | 空調エネルギー | 空調エネルギー | 温冷感 |
| Dビル7F04夏 | Dビル7F | 2004.7 | | | | | | |
| Dビル7F05夏 | | 2005.8 | - | - | | | - | - |
| Dビル7F冬 | | 2005.1 | - | - | - | | | |
| Dビル1F06夏 | Dビル1F | 2006.7 | | - | | | | |
| Tビル05夏 | Tビル | 2005.7 | | | | | | |
| Tビル06冬 | | 2006.1 | | - | | | | |

2-1 実態調査

2-1-1 室内温熱環境調査

複数人の要望情報を総括して温度条件を決定する本制御システムを評価するには，要望行為に影響を及ぼす温度条件が居住者間で同一であることが望ましく，そのためには温熱環境にばらつきが大きいことを確認することが必要となる。そこで，本調査では対象フロアの温度実態，特に温度分布についての調査を行った。室内温熱環境の計測は上下 4 点～5 点に小型温湿度計を具備した計測器具と一緒に定期的に所定の場所に移動しながら空間全体の温湿度分布を計測する移動計測と，平面空間を代表する箇所の机の上に温湿度計を設置し，平面温度分布を常時計測する平面分布計測より構成される。前者の移動計測は 10 時 30 分，14 時，16 時よりそれぞれ 1 時間かけて複数の計測器具と一緒に移動しながら空間全体に渡って行われ，一つの計測点に対して計測点間の移動に 5 分間，温度が安定するまでの待機時間に 5 分間，温度が安定してからの計測に 5 分間を費やし，評価には計測の 5 分間平均の温度を用いた。後者の平面分布計測に関しては 1 分間間隔で連続計測を行った。移動計測に関する計測器具の写真

と概念図を図 3.1 に示す。D ビル 7F , D ビル 1F , T ビル移動計測の計測点を図 3.2 ~ 図 3.4 に示し、平面分布の測定点に関しては前章の図 2.25 ~ 図 2.27 において示す。移動計測に関する設定条件を表 3.2 に示す。

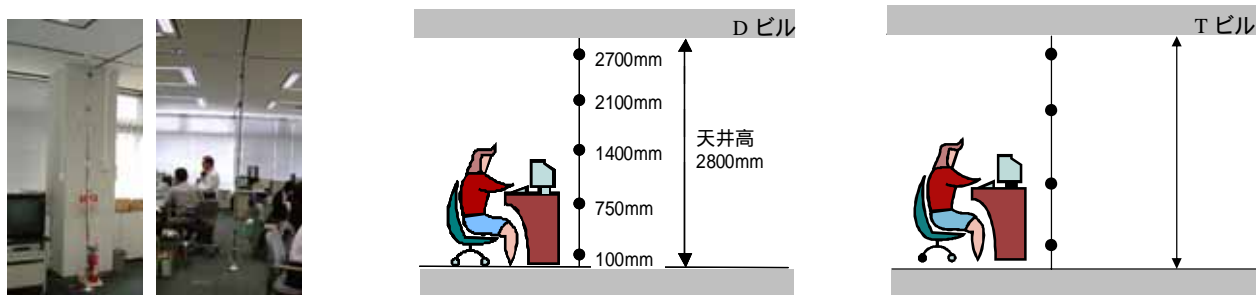


図 3.1 移動計測の測定風景と D ビル , T ビル計測点概要

表 3.2 移動計測の設定条件

| | 移動計測箇所 | 上下高さ測定点 | 空調機の温度条件 | 測定日 |
|-------|---------------|----------------------------------|----------------|------------------------|
| Dビル7F | 南北6点 × 東西 5点 | 5点 (100,750,1400,2100,2700mm) | AHU24 ,FCU26 | 2004/7/7 |
| Tビル | 南北 6点 × 東西 4点 | 4点 (100,850,1550,2300mm) | 室内機25 室内機24 | 2005/7/19 2006/1/12 |
| Dビル1F | 南北8点 × 東西4点 | 5点(100,700,1400,2100,2700mm) | AHU26 ,FCU26 | 2007/7/21 |

AHU・・エアハンドリングユニット FCU・・ファンコイルユニット

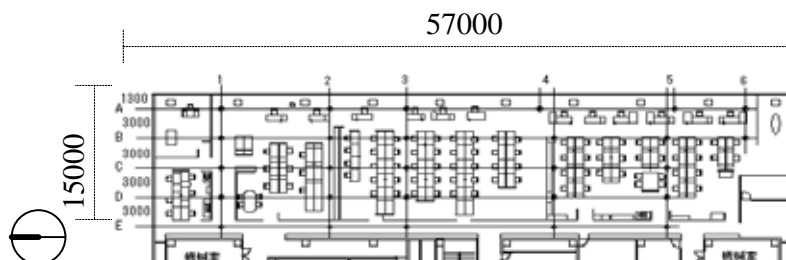


図 3.2 D ビル 7F の移動計測の計測点 (図中の が移動計測の測定点)

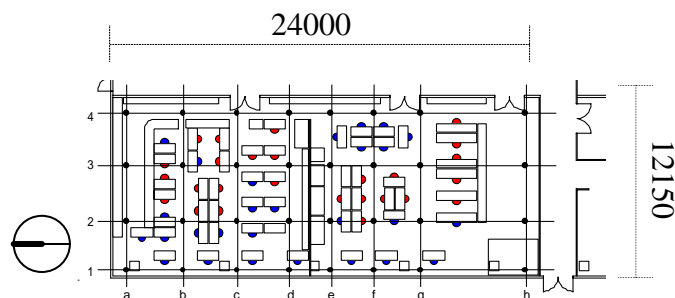


図 3.3 D ビル 1F の移動計測点 (図中の が移動計測の測定点)

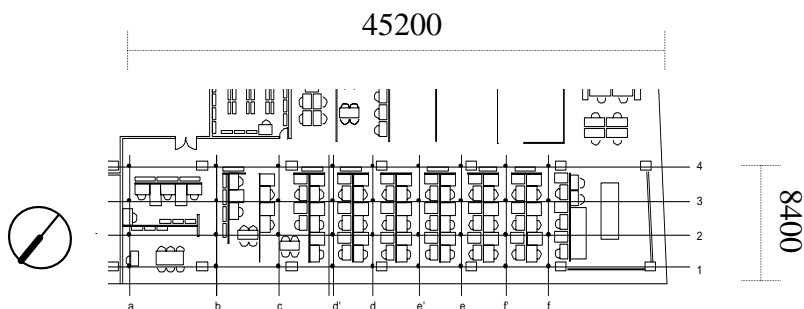


図 3.4 T ビルの移動計測点 (図中の が移動計測の測定点)

2-1-2 空調エネルギー調査

空調エネルギーの消費特性は空調システムや季節に大きく影響することが予想される。そこで、Dビルではインテリアの空調負荷を賄う空調機の冷温水処理熱量、Tビルでは室内機、室外機や外調機の消費電力量について調査を行い、そのエネルギー消費特性の実態把握を試みた。表 3.3 に空調機エネルギー消費量の調査条件を示す。

表 3.3 空調機エネルギー消費量の調査条件

| | 測定項目 | 空調機の温度条件 | 測定日 |
|----------|-----------------------|--------------------|-----------|
| Dビル7F04夏 | 冷温水入口・出口温度 | AHU25.5 FCU25.5 | 2004/7/28 |
| Dビル7F05冬 | 冷温水流量 外気温度、吸込温度 | AHU25.5 FCU25.5 | 2005/1/25 |
| Tビル05夏 | 室内機消費電力量 室外機消費電力量 | 25.0 | 2005/7/29 |
| Tビル06冬 | 外調機消費電力量 外気温度、吸込温度 | 24.0 | 2006/1/31 |

2-1-3 温度管理の実態調査

温度管理の適正化を図るには、その管理方法に関する実態を把握することが必要である。そこで、温度管理の実態調査としてビル管理者のヒアリング調査と過去の設定温度の履歴分析を行った。表 3.4 にその調査項目を示す。管理形態と管理方針についてはヒアリングによる調査を、設定温度の管理履歴については BEMS(Building Energy Management System)に格納された履歴データに基づいて調査を行った。

表 3.4 管理実態調査項目

| 項目 | 詳細 | 調査方法 |
|------|-----------------|---------|
| 管理形態 | 管理方式、管理点 | ヒアリング |
| 管理方針 | 通常、クレーム発生時 | |
| 管理履歴 | 代表フロアの温度履歴のトレース | BEMSデータ |

2-1-4 居住者の実態調査

温度管理の適正化を図るには、上記の温度管理方法の実態把握だけでなく、それに対する居住者の反応も調査することが必要である。そこで、居住者の実態調査として各フロアの居住者を対象にペーパーアンケートを実施した。その調査項目を表 3.5 に示す。質問項目としては、大きく分けて属性、業務内容、着衣状態、空調運転に対する不満、不満を感じた場合の行為などである。空調運転に対する不満として、夏季では昨年までの7月～8月を、冬季では昨年までの12月～2月を想定して回答してもらった。アンケート用紙は調査の開始時に配布を行い1週間ほどで回収を行った。

表 3.5 アンケート調査項目

| 項目 | アンケート詳細 |
|-------------|-------------------|
| 属性 | 性別、年齢、身長、体重 |
| 業務内容 | 職種、在席状況 |
| 着衣状態 | 通常のオフィス内での着衣状態 |
| 空調運転に対する不満 | 冷暖房の効き方、冷暖房に対する不満 |
| 不満を感じた場合の行為 | 不満を感じた場合の行為 |

2-2 設定温度の変更に対するエネルギー消費量と温冷感の感度調査

ビル管理者が日常的に操作する設定温度は、オフィス環境に享受する居住者の温冷感と、空調エネルギー消費のトレードオフ関係に大きく影響を及ぼすため、常にそのトレードオフ関係を意識して最適に設定されることが望まれる。しかしながら、既存調査の中で温度管理の最適化の観点に立って設定温度に対する居住者の温冷感とエネルギー消費量の関係を調査した事例は多くない。そこで本調査では表 3.6、表 3.7 のスケジュールに従って、中央熱源方式である D ビルと個別分散型熱源方式である T ビルそれぞれでの設定温度の変更に対するエネルギー消費量と温冷感の感度調査を行った。

表 3.6 D ビル スケジュール条件

| 場所 | 測定日 | 設定温度 |
|-------|-----------------|------|
| Dビル7F | 2004/7/30 | 24.0 |
| | 2004/7/26 | 27.0 |
| | 2004/7/28 | 25.5 |
| | 2004/7/29 | 28.0 |
| | 2005/1/26 | 24.0 |
| | 2005/1/25,27,31 | 25.5 |
| | 2005/1/28 | 27.0 |
| Dビル1F | 2006/9/25 | 25.0 |
| | 2006/9/27 | 26.0 |
| | 2006/9/26,28 | 28.0 |

表 3.7 T ビル スケジュール条件

| | 測定日 | 設定温度 |
|-----|-----------------|------|
| Tビル | 2005/7/22 | 24.0 |
| | 2005/7/29 | 25.0 |
| | 2005/7/25,26,28 | 26.0 |
| | 2005/7/27 | 28.0 |
| | 2006/1/31,2/1,2 | 22.0 |
| | 2006/1/25,30 | 24.0 |
| | 2006/1/26,27 | 26.0 |

2-2-1 空調エネルギー調査

空調エネルギー消費量に関しては、2-1-2 と同様、中央熱源方式の D ビルでは空調機の冷温水処理熱量を、個別分散型熱源方式である T ビルでは室内機、室外機および外調機の消費電力量を、空調エネルギー消費量として評価を行った。

2-2-2 温冷感調査

設定温度を変化させた場合の居住者の温熱環境に対する反応を把握するため、それぞれの設定温度での温熱環境に対する要望(温度を上げたい～そのままでよい～温度を下げたい)、寒暑感 7 段階、快適感 7 段階を測定した。申告方法に関して定時(9:30,11:00,13:30,15:00,16:30)になると居住者の PC 上に図 3.5 の申告画面が自動的に起動し申告を促す方法(以下、スケジュール申告実験とする)とペーパーアンケートで申告してもらう方法がある。D ビル 06 夏以降では情報セキュリティ上の問題を懸念してペーパーアンケートに切り替えている。申告受付時間として 20 分間を設定しており、それ以降は自動的に図の申告画面が PC 画面から自動的に消えるように設定した。同時に前章の図 2.25～図 2.27 に示した箇所に設置された温度計を用いて、居住域近傍温度を測定した。

| 要望 | 快適感 | 寒暑感 |
|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| <input type="checkbox"/> 上げてほしい | <input type="checkbox"/> 非常に快適 | <input type="checkbox"/> 非常に暑い |
| <input type="checkbox"/> そのままでよい | <input type="checkbox"/> 快適 | <input type="checkbox"/> 暑い |
| <input type="checkbox"/> 下げてほしい | <input type="checkbox"/> やや快適 | <input type="checkbox"/> やや暑い |
| | <input type="checkbox"/> どちらでもない | <input type="checkbox"/> どちらでもない |
| | <input type="checkbox"/> やや不快 | <input type="checkbox"/> やや寒い |
| | <input type="checkbox"/> 不快 | <input type="checkbox"/> 寒い |
| | <input type="checkbox"/> 非常に不快 | <input type="checkbox"/> 非常に寒い |

図 3.5 温冷感申告画面

3 結果

3-1 室内温熱環境特性

図 3.6 に、D ビル 7F04 夏、D ビル 1F06 夏、T ビル 05 夏、T ビル 06 冬における床上 750mm ~ 850mm の平面温度分布と、ある断面の上下温度分布の代表的な計測結果を示す。図中の室内温度は計測期間 5 分間にわたり 10 秒または 30 秒間隔で記録した計測値の平均値である。

D ビル 7F04 夏に関して床上 750mm の平面温度分布では、設定温度 26.0 に対して 24.0 ~ 25.0 に存在しており、設定温度より低い温熱環境であった。窓近傍に近づくに従い室内温度が若干であるが高くなる傾向は確認されるが、インテリアの範囲内であれば部屋側と窓近傍側の温度差が概ね 1.0 以内にあることが確認された。また上下温度分布に関しても、窓近傍以外のすべての断面において温度差が 0.5 以内の範囲に存在し、良好な温熱環境が形成されていた。

D ビル 1F06 夏に関して床上 750mm の平面において、インテリアでは設定温度 26.0 に対して 25.0 ~ 26.5 と D ビル 7F04 夏と比較して幅広い温度域が存在しており、特に g1 を中心に温度分布が高い傾向にあった。これは g1 付近の吹き出し口が居住者によって閉じられていたためであり、ここでは示さないが実験開始前に吹き出し口を調節することで温度分布を改善した。また上下温度分布に関しては居住域である 100mm ~ 2100mm では 0.5 以内にあり、特に問題はなかった。

T ビル 05 夏に関して、D ビル 7F04 夏と対照的に設定温度 25.0 に対して 25.5 ~ 26.5 に存在し、設定温度より高い温熱環境であったが、D ビル 7F04 夏と同様に平面内での温度差や上下温度差が概ね 0.5 以内の範囲に存在しており、平面温度分布と上下温度分布はほとんど存在していなかった。

T ビル 06 冬に関して、朝型の冷え込みを過ぎた昼下がりでは暖房が室内全体に行き届いていたため、床上 850mm の平面での温度差は 0.5 以内になっており、平面での温度差は存在していなかった。一方、上下分布に関して、室内側から窓近傍側へのすべての計測点で、1.5 ~ 2.5 のほぼ同様の温度差が存在しており、部屋の高さ方向に関して安定した温度境界層が形成されていたことが確認された。これは対象フロアの室内機の吹き出し方式が、天井吸い込み、天井吹き出しであったため吹き出し空気による攪拌性能が低かったことや、床近傍が暖める前に天井近傍温度が温まった段階で、室内機は十分に暖まっていると判断してしまい、温風を吹くのを弱めたのが原因と推測される。

以上より、D ビル 1F06 夏を除いたフロアにおいて、インテリア平面では温度分布がほとんど存在していなかったことを確認した。また、D ビル 1F06 に関しても、上記に述べたように、吹き出し口の調整を図り、実験に問題がないように温度分布の改善を行った。

3-2 空調エネルギー消費特性

図 3.7 に中央熱源方式である D ビル 7F、個別分散熱源方式である T ビルの夏季や冬季の代表日における空調エネルギー消費量と設定温度および外気温度の推移を示す。D ビル 7F04 夏に関して、東側に面した D ビル 7F では午前中に冷房処理熱量の緩やかなピークが現れて、外気温度の下がった 18 時では急激な冷水処理熱量の減少が確認された。D ビル 7F05 冬の空調処理熱量は、夏季の冷水処理熱量に比べて非常に小さく、さらに外気温度の下がった 13:00 以降で冷水処理熱量と同時に温水処理熱量が出現していた。これは、D ビルでは 4 管式の空調機方式を採用していたため、南側系統の空調機で冷水が、北側系統の空調機で温水が同時に流れていたためと考えられる。

T ビル 05 夏では一日の中で冷房の電力消費量に大きな変動がなかったのに対して、T ビル 06 冬では躯体の冷え込んだ朝型にピークが出現していた。また、T ビルでは夏季と冬季で大きな差異は認められ

なかったものの、Dビル7Fでは冷房と暖房でのエネルギー消費量に大きな差異が認められた。この原因を特定することはできなかったが、Tビル06冬では室内温度が設定温度より高くなっていたにも関わらず、室内機の電力消費量が下がっていなかったことを考えると、Tビル06冬では暖房負荷が小さかったにもかかわらず、暖房運転が行われ続けていたと推測される。

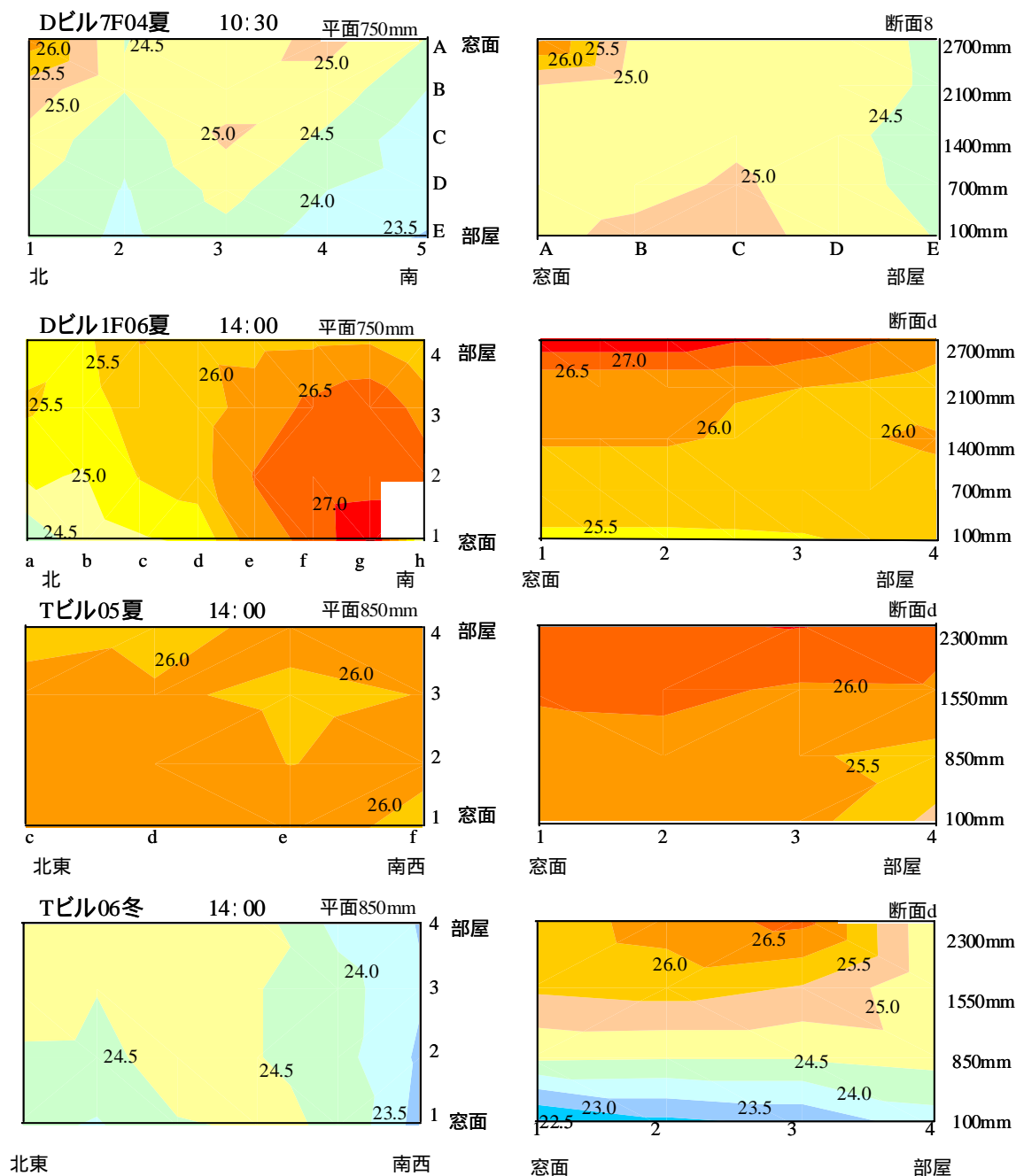


図 3.6 平面および上下温度分布

(左側は床上 750～850mm の温度平面分布，右側は上下温度分布図
上から D ビル 7F04 夏，D ビル 1F06 夏，T ビル 05 夏，T ビル 06 冬)

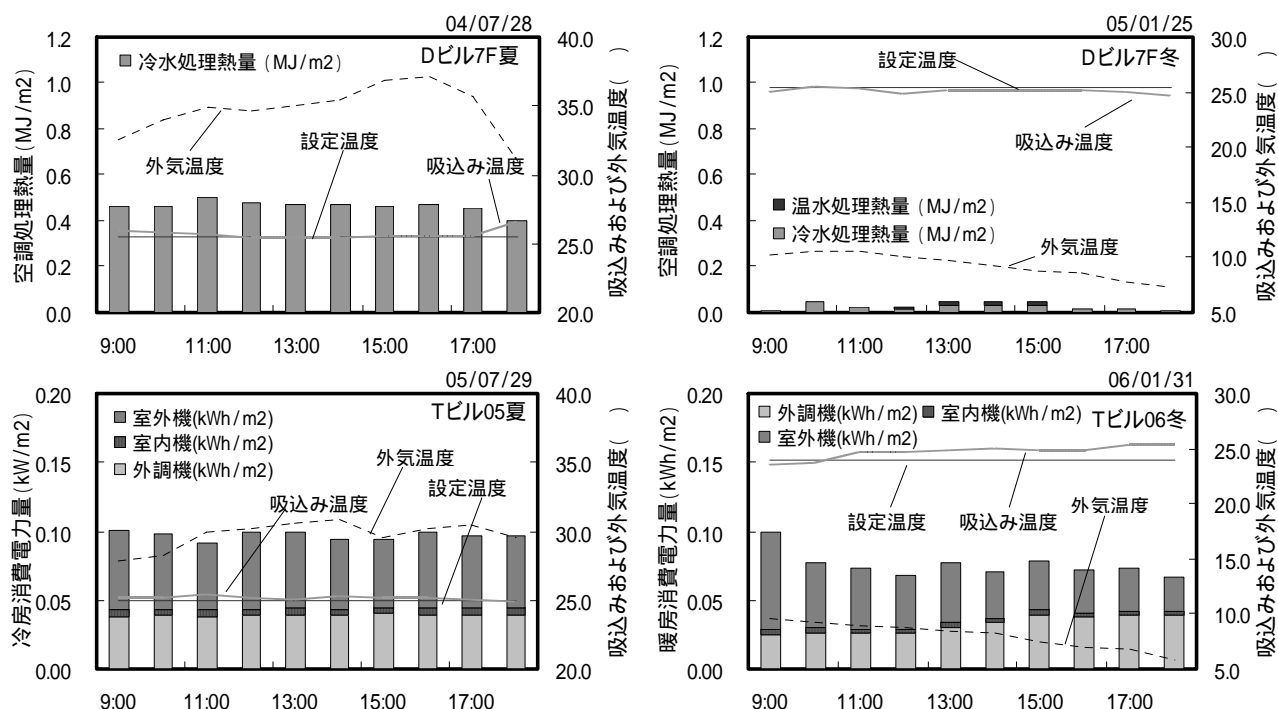


図 3.7 空調エネルギー消費量及び冷温水処理熱量の推移

(左上：Dビル7F04夏，右上：Dビル7F05冬，左下：Tビル05夏，右下：Tビル06冬)

3-3 温度管理実態

表 3.8 に D ビルと T ビルのビル管理者に対して行ったヒアリング調査の結果を示す。管理方式に関して、D ビル、T ビルではともに中央監視装置と BEMS (Building Energy Management System) が設置されており、管理者を介した集中管理の形態であった。T ビルでは個別空調方式を採用していたが、運用管理上、各テナントでの温度変更は禁止設定とされていた。D ビル、T ビルともに 1 名～2 名ほどのビル管理者が中央監視室で待機しており、電話によって温度管理や設備の異常を含めたクレームに対応していた。温度管理の基本方針として、D ビルでは会社全体の方針に従い省エネルギー運転に心がけていた。T ビルでは D ビルに比べてテナントの意向を重視した運用がなされていたが、テナントビルの多くは自助努力として省エネルギー活動に取り組んでおり、従来よりも省エネルギー側に温度設定するように心がけていた。

表 3.8 ビル管理者のヒアリング結果

| | | Dビル | Tビル |
|------|---------|--------------------------------|---|
| 管理形態 | 管理方式 | 集中監視 | 集中監視 |
| | 温度管理点 | 約350点 | 約90点 |
| | BEMSの活用 | 社内の省エネ推進会議に活用 | あまり見ない |
| | クレーム発生時 | 管理者が電話で対応 | 管理者が電話で対応 |
| 管理方針 | 基本方針 | 自社ビルのため、会社方針より設定温度を省エネ側に心がけている | テナントビルのため、テナントの意向を重視している。ただし、テナントの多くは自助努力で温度を省エネ側に心がけている。 |
| | クレーム発生時 | クレームの意向を反映 | クレームの意向を反映 |

図 3.8 に D ビルと T ビルの代表的なフロアにおける、2006 年の 1 月～2 月と 7 月～9 月の毎日(1 月の代表時刻として 0 時)の設定温度と外気温の推移を示す。これらの設定変化は基本的に居住者のクレー

ムがトリガーとなって、行われていた。代表的な設定温度の推移を示すフロアと省エネルギー運転を推進するフロアを選定している。

D ビル夏に関して、D ビル 7F 南東、D ビル 6F 南西では 8 月上旬に設定温度が 1 回ほど変更され、そのまま設定温度 26.0 で安定して推移していた。また、D ビル 3F 北西では設定温度が変更されず、そのまま 28.0 で安定して推移しており、フロアによって設定温度の推移に異なる傾向が認められた。

D ビル冬に関して、D ビル 3F 北西、D ビル 6F 南西では 1 回程度しか設定温度が変更されなかった。この場合、図 3.7 で示すように空調負荷がほとんど発生していなかったことを考慮すると空調の行われない均衡状態であったが、クレームが発生するほどの不満状態でなかったものと推測される。

T ビル 05 夏に関して、T ビル 3F では 7 月当初で 27.0 であった設定温度が徐々に下がり、8 月に入ってから 9 月後半まで 25.0 で推移していた。T ビル 7F に関しては、7 月後半で設定温度 25.0 まで下がっていたが、8 月に入って設定温度を 27.0 に設定し直し、暑さのピークが予想される 8 月中旬～下旬にかけて一時的に設定温度が 26.0 に下がったものの、その他では 27.0 で推移していた。T ビルの 6F では設定温度 20.0 ～28.0 と幅広く存在しており目まぐるしく設定を変更する傾向にあった。また、いずれのフロアにおいても「酷暑期」である 8 月上旬には設定温度が低く設定される傾向が認められた。

T ビル 06 冬に関して、T ビル 7F では設定温度が 3 回ほどしか変更されておらず安定して推移していたのに対して、3F と 6F では設定温度が目まぐるしく変化していた。3F と 6F における設定温度の変動を大局的に見ると、1 月上旬で 22.0、1 月中旬に 25.0 ～28.0 と比較的高い値を示し、その後、2 月上旬まで徐々に低下する傾向を示したが、2 月中旬で再び設定温度が高くなり、またその直後に外気温度の急上昇の影響を受けて、設定温度が再び下がる傾向にあった。これより「厳寒期」の 1 月中旬～下旬では設定温度が高く設定され、その後も外気状態によって設定温度が変更される傾向にあった。

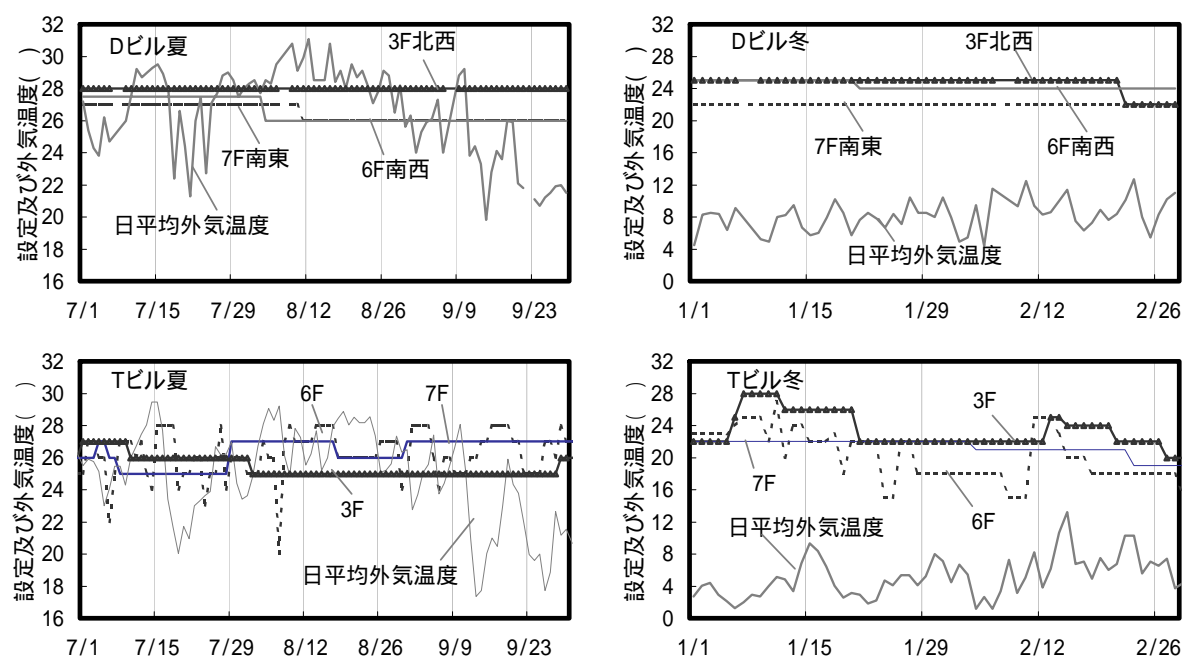


図 3.8 外気温度と設定温度の推移

(左上 : D ビル 7F 夏 , 右上 : D ビル 7F 冬 , 左下 : T ビル 05 夏 , 右下 : T ビル 06 冬)

以上より D ビルにおいて、冬季で設定温度の変更がほとんど行われていなかったが、夏季では季節当初の 7 月で 27.0 ～ 28.0 と省エネルギー側に設定されており、暑さのピークを迎える 8 月上旬で快適側に変更され、そのままの設定で推移する傾向にあった。これは、夏季当初に省エネルギー側の設定を試みたが、一度、クレームが発生してしまうと快適側に変更してしまい、省エネルギー側に戻すきっかけが得られないまま、そのままの状態が終わってしまったものと推測される。

また、T ビルでは夏季と冬季の両シーズンで設定温度が比較的高い頻度で変更される傾向にあり、外気温度の動きがきっかけに変更される傾向が認められた。特に、「酷暑期」や「厳寒期」では快適側に設定される傾向が認められた。

3-4 居住者特性

表 3.9 に各フロアにおけるアンケート回答者人数及び回収率を示す。D ビル 7F 及び D ビル 1F では本アンケート調査を夏季にのみ実施したのに対し、T ビルでは夏季と冬季それぞれで実施した。T ビル 06 冬に関して、アンケート回収率が低かったことより季節に影響されない質問項目に関しては、夏季の結果で補足した。また各オフィスの総居住者人数は D ビル 7F が約 60 名と最も多く、次いで D ビル 1F が約 50 名、T ビルが約 30 名だった。また D ビル 7F、T ビルでは男性の割合が高かったが、D ビル 1F では女性の割合が高かった。

表 3.9 居住者実態調査アンケート フロア別の回収率及び回答者数

| | Dビル7F | | Tビル05夏 | Dビル1F06 | Tビル06冬 |
|----------|-------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|
| | 2004 | 2005 | | | |
| アンケート回答者 | 46名 男性:34名 女性:12名 | 40名 男性:32名 女性:8名 | 23名 男性:20名 女性:3名 | 37名 男性:17名 女性:20名 | 14名 男性:12名 女性:2名 |
| 回収率 | 約75% | 約75% | 約80% | 約70% | 約50% |

3-4-1 居住者属性と着衣量

表 3.10 に回答者の男女人数と平均年齢、体重、身長などの居住者属性と着衣状況を男女別、フロア別に示す。D ビル 7F に関して、2004 年度と 2005 年度で居住者がほとんど重複していたため、2005 年度に関して人数だけを示した。平均年齢について、D ビル 7F、T ビル共に男性は約 40 歳前後、女性は約 30 歳前後と同様の傾向であった。女性の多い D ビル 1F では年齢に関する回答が少なく、有効な回答結果を得ることができなかった。平均体重、身長については、各フロアでほぼ同様な値を示した。調査では腕まくりやカーディガンなどを含めた上着の着衣状態を確認しており、それらを含めて着衣量の推定を行った。また女性に関して制服の着用が義務付けられており、各フロアでほぼ同様の値を示した。T ビルの男性に関して作業服の着用が義務付けられていた。2005 年夏季以降でクールビズが推奨されており、2006 年度に実験を実施した D ビル 1F において男性の多くはネクタイを付けずに半袖襟付きシャツを着用していた。

表 3.10 フロア別の男女構成比，平均年齢・体重・身長

| | Dビル7F04(05) | | | Tビル05夏(冬) | | | Dビル1F06 | | |
|------------|-------------|-----------|-----------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | 全体 | 男性 | 女性 | 全体 | 男性 | 女性 | 全体 | 男性 | 女性 |
| 人数 | 46(40) | 34(32) | 12(8) | 23 | 20 | 3 | 37 | 17 | 20 |
| 年齢[歳] | 33.3±10.5 | 37.2±10.9 | 27.5±7.2 | 35.7±10.6 | 40.0±10.7 | 32.5±12.2 | - | | |
| 体重[kg] | 67.3±10.6 | 69.2±9.0 | 47.0±2.2 | 67.1±9.0 | 59.1±5.5 | - | 61.1±12.4 | 67.0±10.1 | 47.7±5.1 |
| 身長[cm] | 170.8±6.2 | 172.5±3.9 | 161.8±8.3 | 164.2±26.3 | 166.2±28.9 | 155.3±3.1 | 165.0±6.5 | 169.4±4.4 | 160.2±4.3 |
| 夏 着衣量(clo) | 0.64±0.22 | 0.64±0.24 | 0.62±0.08 | 0.69±0.18 | 0.70±0.20 | 0.63±0.11 | 0.62±0.17 | 0.60±0.15 | 0.64±0.19 |
| 冬 着衣量(clo) | - | | | 1.16±0.32 | 1.20±0.32 | 0.90±0.22 | - | | |

()の中身は2005年度の人数

3-4-2 職種と在席状況

表 3.11 に業務内容，正社員の割合，9 時～17 時での社内滞在率と社内滞在中の在席率をフロア別に示す。いずれのフロアにおいて社内滞在率が 80%以上あり，ほとんどの居住者が 9 時～17 時では社内滞在中にいたことが分かる。平均在席率は事務系である D ビル 7F，D ビル 1F で 49.5%，56.1%であり，技術職である T ビルで 55.4%であった。野辺²⁵⁾らの調査結果よれば，事務系で 47.3%，技術系で 36.9%である。対象フロアの中では野辺らの調査結果よりも比較的高い傾向を示した。これは，今回の調査結果が，アンケートによる自己申告によることや，T ビルでは PC 作業を中心とするシステムエンジニア系の職種であったことが，在席率が高かったことに関係していたと考えられる。正社員率に関して男性の全員が正社員であったのに対して，女性の正社員率は女性社員の少ない T ビルを除いて 30%～40%であった。全体の正社員率として，D ビル 7F で 83%，T ビルで 96%，D ビル 1F で 65%となっており，D ビル 1F では女性の人数割合が高いために正社員率が低かったと考えられる。

表 3.11 フロア別の職種，在席率，正社員率

| | Dビル7F04(05) | | | Tビル05夏(冬) | | | Dビル1F06 | | |
|------------|-------------|------------|----------|-----------|-------|-------|---------|-------|-------|
| | 全体 | 男性 | 女性 | 全体 | 男性 | 女性 | 全体 | 男性 | 女性 |
| 職種 | 事務職 | | | 技術職 | | | 事務職 | | |
| 人数(人) | 46(40) | 34(32) | 12(8) | 23 | 20 | 3 | 37 | 17 | 20 |
| 正社員率(%) | 83%(88%) | 100%(100%) | 33%(37%) | 96% | 100% | 67% | 65% | 100% | 35% |
| 社内滞在率(%) | 82.0% | 82.1% | 81.7% | 85.9% | 84.5% | 95.0% | 81.1% | 75.6% | 85.5% |
| 社内中の在席率(%) | 60.4% | 57.9% | 67.5% | 64.6% | 64.5% | 65.0% | 69.2% | 53.8% | 81.5% |
| 在席率(%) | 49.5% | 47.5% | 55.1% | 55.4% | 54.5% | 61.8% | 56.1% | 40.6% | 69.7% |

()の中身は2005年度の人数

3-4-3 室内環境に対する不満

例年の冷房・暖房について図 3.9 に「冷房・暖房の効きすぎ」を，図 3.10 に「冷房・暖房の不十分」を，図 3.11 に「冷房・暖房に対する不満」をフロア別にそれぞれ示す。また上述の温熱環境の調査結果の中で，D ビル 7F04 ではおよそ 24.0 から 25.0 と他のフロアと比較して若干低く，T ビル 05 夏ではおよそ 25.5 から 26.5 と比較的やや高く，D ビル 1F06 では 25.0 とやや低い温度から 26.5 と幅広く温度域が存在する傾向を示したが，これらの温度特性は例年も存在していたと予想され，それらの温度特性を留意して結果を考察する。

「冷房の効きすぎ」と感じる居住者の割合について、比較的、近傍温度の低かった D ビル 7F04 では約 50%と最も高く、次いで D ビル 1F06 で 40%、比較的、近傍温度の高かった T ビル 05 夏では約 20%と最も低かった。また、いずれにフロアにおいても女性の方が「冷房の効きすぎ」と感じる居住者の割合が高かった。一方、T ビル 06 冬において、「暖房の効きすぎ」と感じる居住者の割合が非常に低かった。これはアンケート調査を実施する直前（2005 年 12 月）に記録的な寒波に見回れ、その際の体験が居住者の心理状態に影響していた可能性が考えられる。「冷房・暖房の不十分」及び「冷房・暖房に対する不満」を感じる居住者の割合については、どのフロアでも 70%以上と非常に高く T ビル 05 夏ではほぼ 100%に近かった。

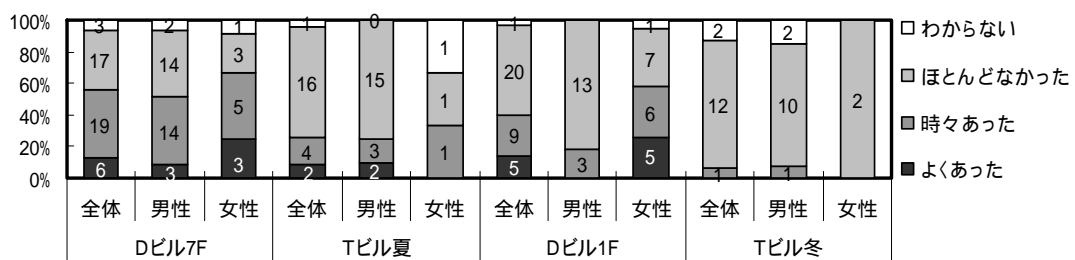


図 3.9 フロア別「冷房・暖房の効きすぎ」の有無について

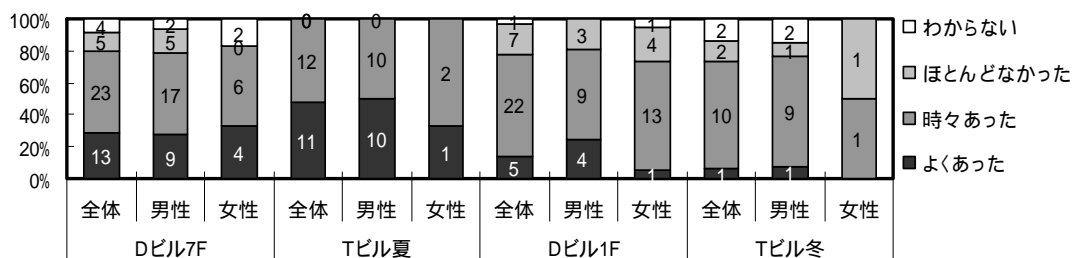


図 3.10 フロア別「冷房・暖房の不十分」の有無について

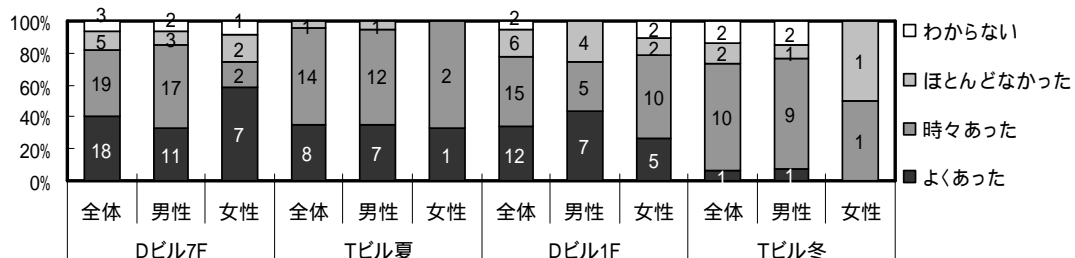


図 3.11 フロア別「冷房・暖房に対する不満」の有無について

3-4-4 寒暑時における行動

図 3.12 に冷房環境に対して暑さを覚えた場合の行動を、図 3.13 に寒さを覚えた場合の行動を、男女別、雇用形態別に集計した結果を示す。ただし、アンケート調査では複数回答を許可した。また、これらの結果は 2005 年の T ビル 05 夏、D ビル 7F05 と 2006 年の D ビル 1F06 でのアンケート結果によるものである。

着衣量の調整に関して、「暑い」と感じた場合では 2 割前後の居住者しか調整していなかったのに対して、「寒い」と感じた場合では男性で 4 割弱、女性で 8 割弱の居住者が毛布や上着を利用していた。

扇風機や個別ヒータなどの個人環境の調整方法として、男性の 4 割が扇風機や団扇を活用し、女性の 4 割が冷房運転中にも関わらず足元の個別ヒータを利用しており、その利用割合に関して正社員の方が

多かった。これは、正社員の方が会社に長い期間、在籍していたことや、社内での取り扱うことのできる権限が多いことに影響していたと推測される。また、ダイキン工業で実施されたオフィス調査⁸⁴⁾⁸⁵⁾では、冷房時のヒータ利用は女性の5%～10%であったと報告されており、今回の実験フィールドでは、比較的多かったものと考えられる。

3-4-3 より女性は「冷房不十分」と同程度かそれ以上で「冷房の効きすぎ」と回答していたにもかかわらず、管理者へ連絡する女性は「暑い」と感じた場合で約2割であったのに対して、「寒い」と感じた場合ではほとんど存在しなかった。これは、ほとんどの女性が冷房中に「寒い」と感じたとしても、ビル管理者への連絡よりも着衣量の調節や、個別ヒータを利用することを選択していたためと推測される。また、女性全体で非正社員の割合が高かったのに対して、管理者に連絡する女性のほとんどが正社員であった。この原因を特定することはできなかったが、非正社員であった女性社員が何らかの要因で管理者への連絡が困難な状況であったことを示している。

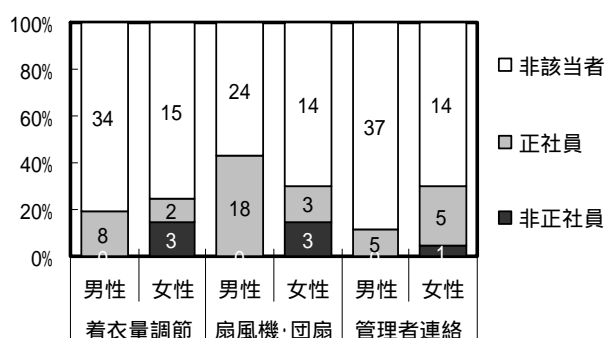


図 3.12 「暑い」と感じた場合の行動

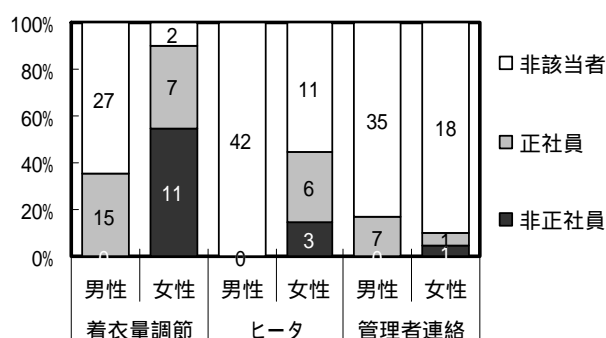


図 3.13 「寒い」と感じた場合の行動

3-5 設定温度に対する空調エネルギーと居住者の温冷感

3-5-1 設定温度と空調エネルギー消費（空調処理熱量）の関係

図 3.14 に対象フロア別の設定温度と9時～17時の積算空調エネルギー消費量（以下、日積算空調処理熱量もしくは日積算空調消費電力量とする）の関係および平均外気温を示す。Dビル7F04夏に関して、設定温度を24.0 から、25.5、27.0、28.0 に変化させることで、外気温補正なしで9.5%、15.2%、21.3%の冷水処理熱量が削減されていた。また、Dビル7F05冬に関して、Dビル7F04夏と比べてエネルギー消費量が非常に小さく、設定温度に対する影響を確認することはできなかった。Tビル05夏に関して、設定温度24.0 から25.0、26.0、28.0 に変化させることで、外気温補正なしで13.7%、25.1%、41.0%の冷房消費電力量の削減効果が認められた。また、Tビル06冬に関して、設定温度26.0 から24.0、22.0 に変化させることで、外気温補正なしで1.1%、17.7%の暖房消費電力量の削減効果が認められ、その効用は22.0 と24.0 の間で大きいものであった。これは、24.0 でほぼ最大能力で運転していたことを示している。

以上より冷房温度を1.0 変更させることで平均して6%～10%程度の空調処理熱量、および空調消費電力量の変動が認められた。また、暖房温度を1.0 変更させることでTビル06冬では条件によっては平均して8%程度の削減が認められたが、Dビル7F05冬では効果が小さく確認できなかった。

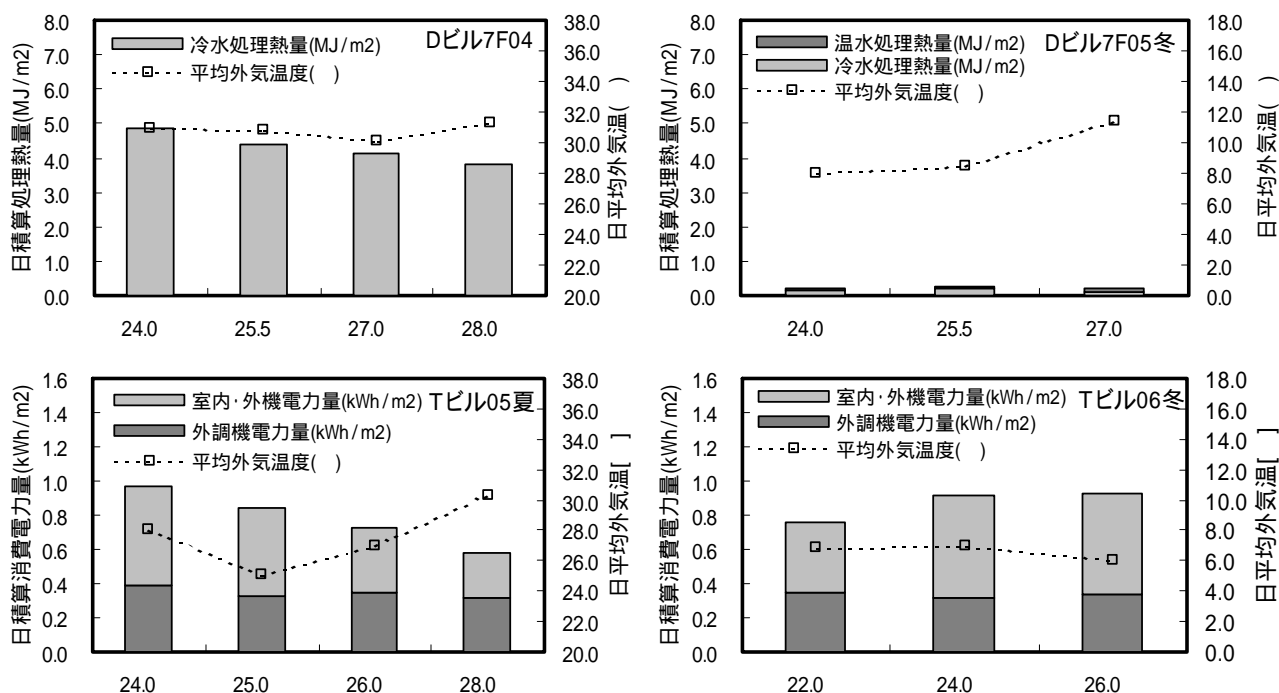


図 3.14 設定温度と空調エネルギー消費量の関係

(左上：Dビル7F 夏，右上：Dビル7F 冬，左下：Tビル05 夏，右下：Tビル06 冬)

3-5-2 設定温度と温冷感の関係

図 3.15 に D ビル 7 F，図 3.16 に T ビルの季節別，設定温度を変更した場合の居住者近傍温度，温度変更要望率の変化の推移を示す。「上げてほしい」，「下げてほしい」の温度変更要望率とは，各時間帯で実施したスケジュール申告の全回答者に対して，「上げてほしい」，「下げてほしい」と申告した居住者の割合を示す。居住者近傍温度とは，前章の図 2.25～図 2.27 に示した測定点における室内温度の平均値を示す。

D ビル 7 F 04 夏に関して，設定温度 28.0 とした 7/29 では「下げてほしい」の申告割合が最も高く，設定温度を 24.0 とした 7/30 では，「上げてほしい」の申告割合が最も高い傾向にあった。また，設定温度 24.0 と 28.0 の中間に位置する設定温度 25.5，27.0 の 7/28，7/26 に関して，「上げてほしい」，「下げてほしい」の要望割合は，概ね設定温度 24.0 と 28.0 の要望割合との間に位置しており，これより設定温度の変化に対して居住者の温冷感は適切に反応していたと考えられる。

また，D ビル 7 F 05 冬に関して，設定温度 24.0 とした 1/26 に関しては，居住者近傍温度が設定温度より 1.0 ～ 2.0 程度高くなっていたため，「上げてほしい」の申告割合は高くなかった。設定温度 25.5 とした 7/27 では，居住者近傍温度が設定温度より 1.0 程度低くなった 15：00，16：30 で「上げてほしい」の申告割合が高かった。設定温度 28.0 とした 1/28 では「下げてほしい」の申告割合が高かった。

T ビル 05 夏に関して，設定温度 24.0 とした 7/22 では，「上げてほしい」と「下げてほしい」の申告数が少なかったのに対して，設定温度 28.0 とした 7/28 では，平均して 8 割以上の居住者が「下げてほしい」と申告していた。また，全般的に「下げてほしい」の申告割合が高く，その割合も設定温度と関係していたことが認められた。

T ビル 06 冬に関して，設定温度 26.0 とした 1/26，1/27 では居住者近傍温度が 26.0 付近と他の日に比べて高い傾向だったにもかかわらず，午前中の「上げてほしい」の申告割合が高かった。また，設

定温度 22.0 とした 1/31 ~ 2/2 では, 居住者近傍温度が 24.0 ~ 26.0 に存在しており, 設定温度と居住者近傍温度の乖離が確認された。これは, 機器発熱や外調機では室内の暖房負荷に対して過剰に温風が吹いており, その結果, 設定温度以上に部屋が暖められたためと考えられる。

D ビル, T ビルのいずれの条件においても設定温度と居住者近傍温度との乖離は存在しており, D ビルでは設定温度の方が居住者近傍温度より高く, T ビルでは居住者近傍温度の方が設定温度より高い傾向にあった。詳細には示さないが, これは夏季では室内機より吹出す冷風が室内で攪拌される前に室内にショートサーキットで吸い込まれてしまい, 室内機の内部に設置されている温度センサーが誤検知していたためと推測される。また, 冬季では機器発熱や外調機の過剰な暖房供給が余剰熱となって部屋の温度が設定温度よりも暖められたためと考えられる。

また, すべての条件において, 終日で設定温度が同じだったにもかかわらず, 「下げてほしい」と「上げてほしい」の要望割合の変化する傾向が見られた。この変化より, たとえ同じ設定温度で設定したとしても, 居住者近傍温度によっては居住者の温冷感が再現されない傾向が認められた。

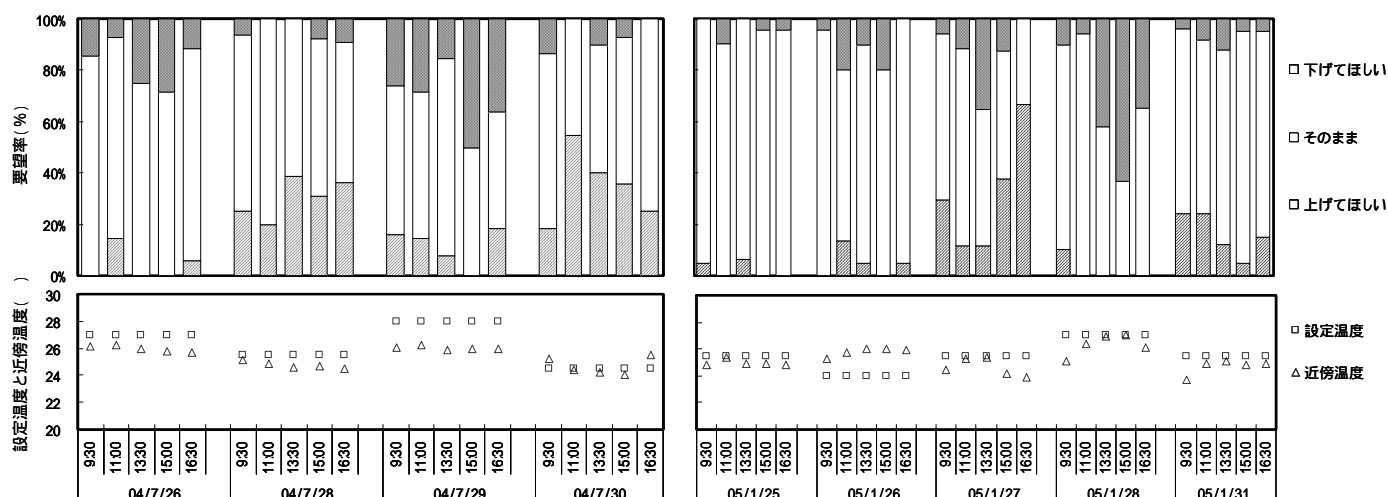


図 3.15 D ビル 7F の設定温度, 居住者近傍温度, 温度変更要望率の推移 (左: 夏季, 右: 冬季)

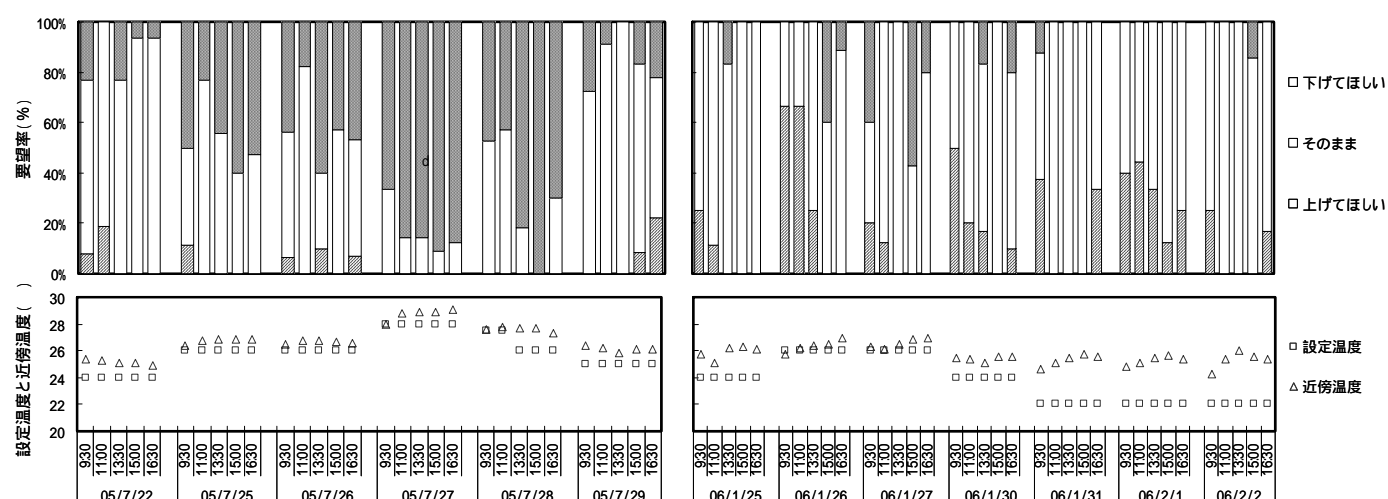


図 3.16 T ビルの設定温度, 居住者近傍温度, 温度変更要望率の推移 (左: 夏季, 右: 冬季)

図 3.17, 図 3.18 に D ビル, T ビルの季節別の, 設定温度と「上げてほしい」, 「下げてほしい」といった温度変更要望率の関係を示す。図中の曲線は, 設定温度を第 2 章で述べた式(2.6)の PPD に適用して算

出される予測不満率の曲線と平均要望率を折れ線で表した曲線である。予測不満率を計算するのに際しての計算条件を表 3.12 に示す。相対湿度は実測結果に基づいて D ビルで 40% , T ビルで 50%とした。着衣量に関しては, 先の調査結果に座位状態での椅子の断熱性を考慮して 0.15(clo)を付与した²¹⁾。風速は 0.1(m/s), 放射温度は室内温度と合致するものと仮定した。

表 3.12 PPD の計算条件

| | Dビル | Tビル |
|----------|-----------------|-----|
| 室内温度() | 設定温度 | |
| 放射温度() | 室内温度と同じと仮定 | |
| 相対湿度(%) | 40% | 50% |
| 風速(m/s) | 0.1(m/s) | |
| 着衣量(clo) | 調査着衣量 + 0.15clo | |
| 代謝量(Met) | 座位状態を仮定して1.2Met | |

図 3.17 より, D ビル夏ではそれぞれの設定温度において「上げてほしい」,「下げてほしい」の要望率に 20% ~ 40%程度 of ばらつきが認められた。また, D ビル冬では設定温度 24 で「下げてほしい」のばらつきが 20%, 設定温度 27.0 で 60%程度 of ばらつきが認められた。図中の曲線である予測不満率に関して, 夏季では予測不満率の最小値が 24.0 付近に位置していたにもかかわらず, 平均要望率の最小値は 27.0 付近に存在しており, 平均要望率を最小とする設定温度とは最大 3.0 程の温度差が存在していた。これは, 予測不満率では中立温度が 24.0 付近であるにもかかわらず, 実際では, 設定温度 24.0 付近で「上げてほしい」の申告割合が高かったためであり, これより, 予測不満率と実態とでは大きく異なることが明らかになった。冬季では 24.0 付近で予測不満率と平均要望率が合致する傾向にあったが, 設定温度が高くなるにつれて, その差異は大きくなっていった。

図 3.18 より, T ビル夏ではそれぞれの設定温度において,「下げてほしい」の要望率に対するばらつきが大きく, 特に, 設定温度 26.0 では 80%程度 of ばらつきが認められた。T ビル冬ではそれぞれの設定温度に対して, 20% ~ 40% of ばらつきが認められた。予測不満率と平均要望率に関しては, D ビルと異なり, 比較的, 合致する傾向にあった。

以上より T ビル, D ビルにおいて, それぞれの設定温度に対しての温度変更要望率のばらつきが大きかったことが確認された。次に, そのばらつきの要因を特定するため, 設定温度と居住者近傍温度との関係, 居住者近傍温度と温冷感申告との関係に着目して分析を進める。

図 3.19, 図 3.20 に D ビル, T ビルの季節別の, 居住者近傍温度と温度変更要望率の関係を示す。ここでの温度要望変更率とは, それぞれの測定ごとの全申告者に対する「上げてほしい」,「下げてほしい」の申告総数の割合を表す。また, 図 3.17, 図 3.18 で算出した予測不満率も併せて示す。図 3.19, 図 3.20 より T ビル 05 夏では, 居住者近傍温度に対する温度変更要望率の関係と, 予測不満率の关系到合致する傾向が認められたが, それ以外の条件下では居住者近傍温度と温度変更要望率とが合致する傾向は認められなかった。このばらつきは, 室内環境以外の環境要因の影響も考えられるが, いずれにしろ居住者とその取り巻く周辺環境の日常生活での変動が複雑に影響して生じたものと考えられ, 温度条件に基づく予測不満率では十分に居住者の実態を予測できないことが明らかになった。

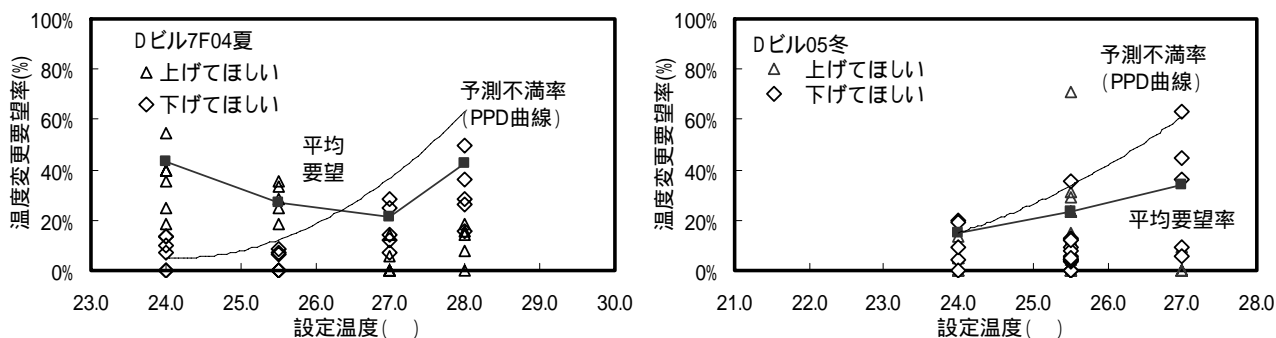


図 3.17 D ビル 設定温度と温度変更要望率の関係 (左：夏，右：冬)

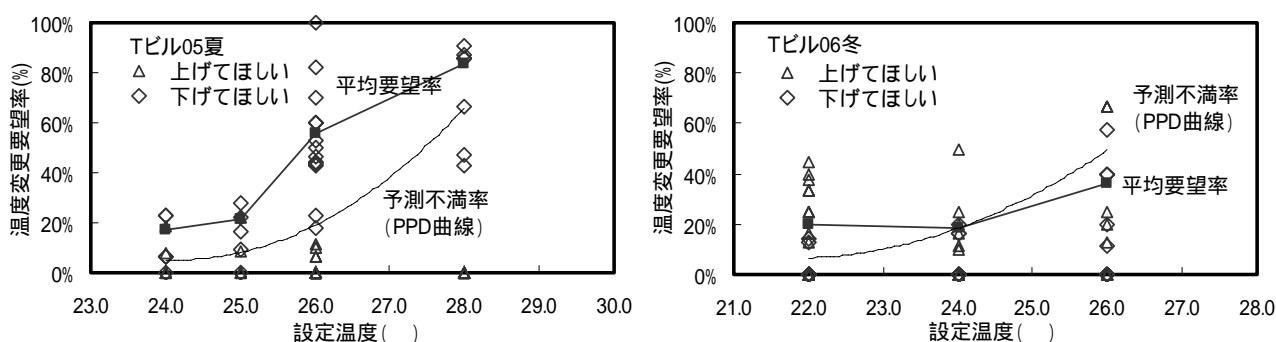


図 3.18 T ビル 設定温度と温度変更要望率の関係 (左：夏，右：冬)

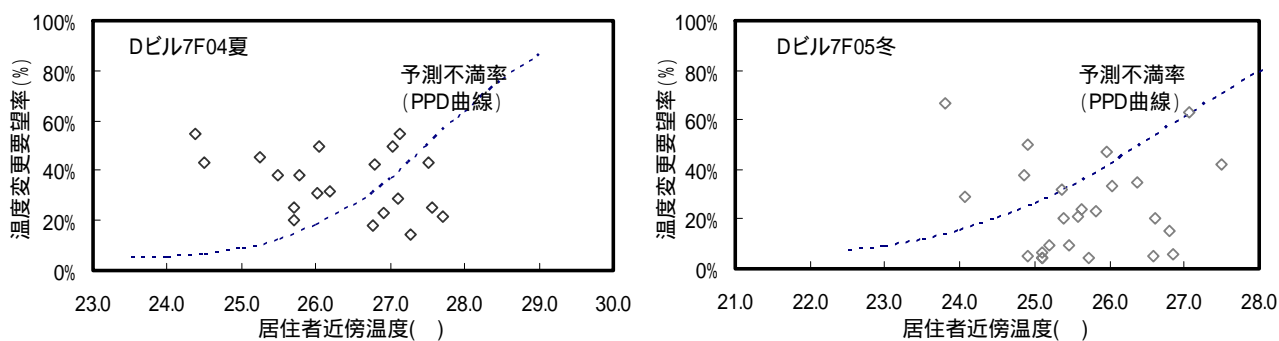


図 3.19 D ビル 居住域温度と温度変更要望率の関係 (左：夏，右：冬)

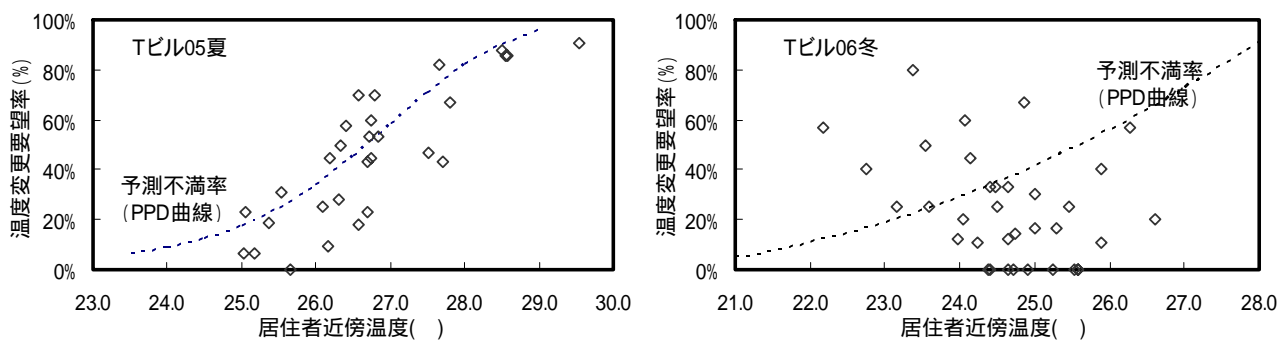


図 3.20 T ビル 居住域温度と温度変更要望率の関係 (左：夏，右：冬)

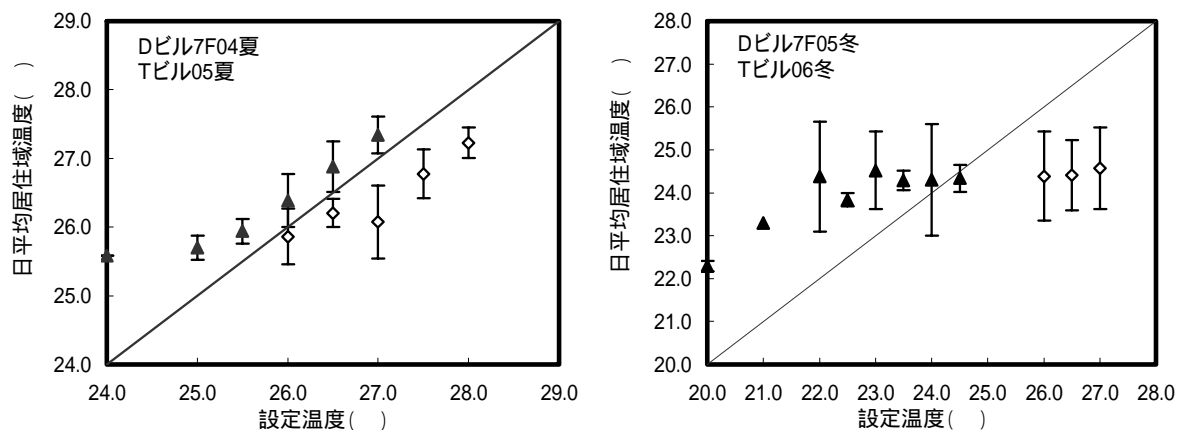


図 3.21 近傍温度と設定温度の関係(左:夏季, 右:冬季)

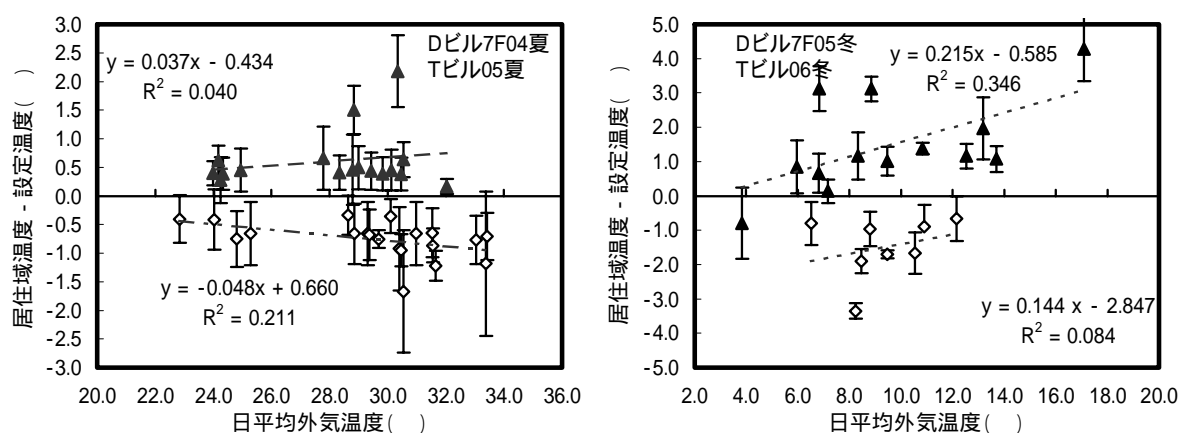


図 3.22 日平均外気温度と近傍・設定の温度差との関係 (左:夏季, 右:冬季)

図 3.21 に D ビル, T ビルの季節別の, 設定温度と居住者近傍温度の関係を示す。夏季の D ビル 7F に関して, いずれの設定温度においても設定温度が居住者近傍温度よりも 1.0 程度高かった傾向が認められた。夏季の T ビルに関して, いずれの設定温度においても居住者近傍温度の方が設定温度より高い傾向にあった。次に, 冬季の D ビルに関して, 設定温度 24.0 では居住者近傍温度の方が高かったが, 設定温度 25.5 や 27.0 では居住者近傍温度の方が低い傾向にあった。冬季の T ビルに関しては, 夏季と同様, 居住者近傍温度の方が設定温度より高い傾向にあった。図 3.22 に設定温度と居住者近傍温度の温度差を検討するため, 日平均外気温度に対する日平均近傍と設定との温度差の関係を示す。この結果には, 次章の実験結果のうちで設定温度変更後 1 時間のデータを除いた設定温度と居住者近傍温度も含めている。夏季の D ビルでは, 日平均外気温度が高くなるに従い, 近傍温度と設定温度の差が大きくなる傾向にあった。これは変風量方式である D ビルでは, 外気温度が高くなるに従い, 室内負荷を賄おうと風量が増加し, その結果, 吹き出し空気が床近傍にまで届き, その冷えた空気が床近傍で滞留してしまうため温度差が大きくなったと考えられる。一方, 夏季の T ビルでは外気温度に影響されている傾向は確認できなかった。これは, D ビルと異なり室内負荷に対して風量に変化しなかったためと考えられる。冬季の T ビルに関して, 外気温度が高くなるに従い温度差が大きくなる傾向が確認された。これは, 外気温度が高くなるに従い暖房負荷が小さくなっていたにもかかわらず, 外調機が一定の割合で温風を吹き続けたためと考えられる。

4 小括

本章では設定温度とその管理方法に寄って形成される温熱環境と空調エネルギー消費量についての実態調査と同時に、設定温度の変化させた場合の居住者心理とエネルギー消費量に与えた影響について感度分析を行い、以下の実態を明らかにした。

対象フロアでの温熱環境と空調エネルギー消費特性

- 1) 対象フロアの温度分布に関して、冷房期ではほとんどの場合で大きな温度分布が存在せず、良好な温熱環境が形成されていた。
- 2) 集中熱源方式であるDビルと個別分散型熱源方式であるTビルにおいて、夏季ではエネルギー消費特性に大きな差異は認められなかったのに対し、冬季ではDビルでほとんど消費されていないといった傾向の違いが認められた。これは冬季のインテリアゾーンで空調負荷そのものが小さいにも関わらず、Tビルでは過剰に暖房を供給していたためと考えられ、冬季ではTビルの空調システムで温度設定の改善が必要であることが明らかになった。

設定温度を変動させた場合の居住者の快適性と省エネルギー性の感度分析

- 1) 設定温度の空調処理熱量、空調電力消費量に与えた影響について調査したところ、設定温度と空調処理熱量に明確な相関関係が認められ、設定温度を1.0 緩和することでほとんどの条件で6%～10%程度の空調処理熱量、および空調消費電力量の削減効果が得られることが確認された。
- 2) 同じ設定温度だとしても居住者の示す温冷感の変動する傾向が認められ、設定温度一定の温度管理では快適性の面から適切な温度管理が難しいことが明らかになった。また、この変動要因を把握するため、設定温度と近傍温度、居住者の近傍温度と温冷感の関係について調査を試みたところ、どちらの関係に対してもばらつきが確認され、そのばらつきが居住者特性や建物特性にも影響される傾向が確認された。以上より、快適性の観点からの最適な設定温度条件は、建物条件や居住者条件より異なり、さらに時々刻々と変動していたことが明らかになった。

設定温度の管理実態

- 1) 温度管理に関して、それぞれのフロアと季節で設定温度の傾向が異なることを明らかにした。また、夏季や冬季のはじめに省エネルギーを意識した設定温度に心がけたとしても、「酷暑期」、「厳寒期」に耐えられずに設定が途中で快適側に変更され、場合によって季節が終わるまでその設定が維持され、エネルギーロスが発生していたことを示した。

冷房、暖房において空調に対する不満を覚える居住者の割合は高く、特に、女性の5割～6割は冷房の効きすぎに対して不満を覚えていた。それにもかかわらず、ビル管理者に「寒い」とクレームを言う女性は極めて少なく、そのほとんどが毛布や個別ヒータで対応していたことが明らかになった。また、「暑い」と感じた場合は男性、女性にかかわらず、ビル管理者にクレームを言う傾向が認められ、その中でクレームを発生する女性に正社員が多いことが明らかになった。いずれにしろ、設定温度は特定の居住者に支配されていたと考えられ、対象フロアにおいて、居住者間で合意のとれた温熱環境が形成されていなかったことが示された。

第4章 合意形成ロジックによる設定温度緩和効果と快適性向上の評価

1 はじめに

居住者の要望を近傍環境にフィードバックさせるプロセスは、図 4.1 に示すように、居住者の要望申告がトリガーとなって、環境に対する要望情報や様々な設備情報に基づいて設定温度が決定され、空調システムを介して最終的に居住者の近傍環境に反映される流れとなっている。こうした「環境フィードバック」に関する一連のプロセスが繰り返し実行されることで、合意の取れた温熱環境が形成されると考えられる。特に、これらのプロセスの中で中核をなす合意形成ロジックは、相反する居住者の要望データに基づき設定温度を決定する「基本ロジック」と、オフィスの特性や用途に合わせた「応用ロジック」より構成されており、「基本ロジック」と「応用ロジック」を組み合わせることで、様々な状況に対応することが可能となる。

本章では、こうした合意形成ロジックについて、実際のオフィスビルに適用を行い、その際の設定温度の制御結果と居住者の満足感についての検討を試みる。その手順として、まず「基本ロジック」である「快適優先ロジック」と「冷房・省エネ優先ロジック」についての検討を試みる。次に、冷房に苦しむ女性の快適性向上を目的とし、女性の要望に重み付けを行うことで女性の要望を優先する「女性優先ロジック」について検討を行う。そしてその次に、省エネルギーを期待して暖房温度を低くする場合に発生する室内温度と設定温度の乖離状態に対して、上昇してしまった室内温度に対して設定温度を追従させることで、不要な暖房運転を抑えつつも、要望に応じて即座に温熱環境を変化させる状態を保つことのできる「暖房ロジック」について検討を行う。そして最後に、こうした合意形成ロジックの検討で得られた実験結果に基づいて、マクロ的な視座より合意形成された温熱環境に関する特性、設定温度の緩和効果とそれに伴う空調負荷削減効果について考察を試みる。

- 1) 基本ロジックが設定温度の緩和効果と快適性に及ぼす影響
- 2) 女性優先ロジックが設定温度の制御結果と女性の快適性に及ぼす影響
- 3) 暖房ロジックが設定温度の緩和効果と快適性に及ぼす影響
- 4) 合意形成ロジックの特性と、その特性による空調負荷の削減効果

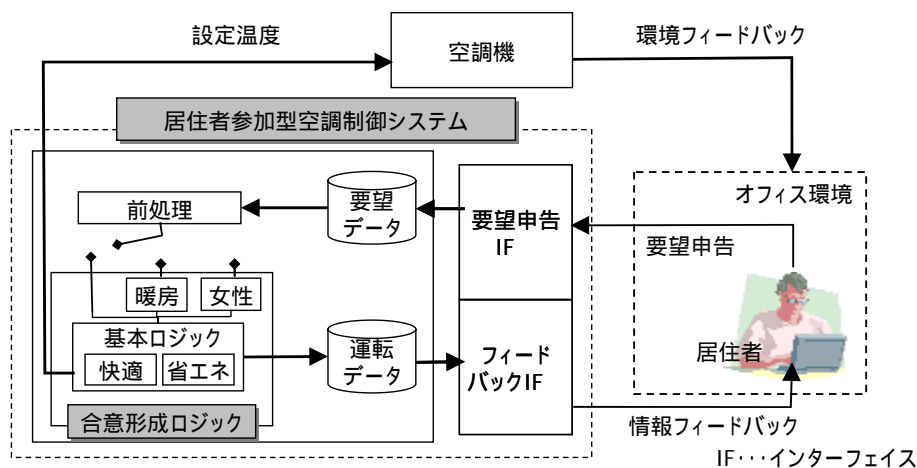


図 4.1 居住者参加型空調制御システムと合意形成ロジックの機能構成

2 基本ロジックによる設定温度緩和と快適性向上の効果

合意形成の基本ロジックでは「上げてほしい」、「下げてほしい」といった温熱環境に対する要望のトレードオフ関係を二次元で表現し、その平面上で表現される制御パラメータを適宜変更することで、快適性と省エネルギーの両立を図ることができる。図 4.2、図 4.3 に「快適優先ロジック」と「冷房・省エネ優先ロジック」のチャート図を示す。第 2 章で述べたように、図中の U 、 D の領域は、居住者からの温熱環境に対する要望の割合がそれぞれの領域に位置する場合、現状の設定温度に対して所定温度だけ上昇、維持、下降の変更がなされることを意味している。図 4.2 では、 U 、 D の領域がほぼ同様の面積割合で分割されているのに対して、図 4.3 では D の面積割合が大きく分割されている。これらの面積割合の違いが、図 4.3 では冷房温度を上げる期待値を高め、冷房エネルギー消費量の削減を優勢にしている。

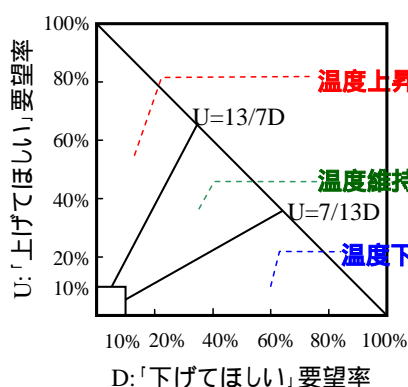


図 4.2 快適優先ロジック

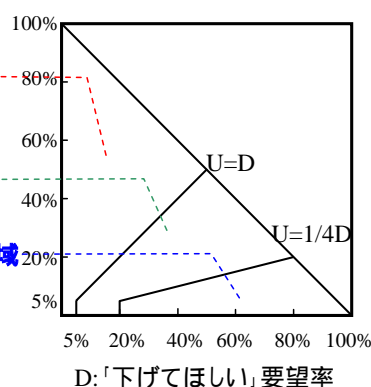


図 4.3 冷房・省エネ優先ロジック

これらの基本ロジックを用いた省エネルギー運転・制御に関する考え方を図 4.4 に示す。図 4.4 の具体的な方法としては、「居住者の要望（不満）がなければ、設定温度を省エネルギー側に調節する」といった積極的な方法と「省エネルギーを満たすがやや不満を示すと予想される設定条件より制御を開始させ、居住者の要望に応じて設定温度を調節する」といった慎重な方法が存在し、前者の考え方を反映させたのが「冷房・省エネ優先ロジック」であり、後者の考え方を反映させたのが「快適優先ロジック」である。また、「快適優先ロジック」では開始温度を操作することで、居住者の快適性を重視する運転モードに設定することができる。

本節では基本的な制御ロジックである「快適優先ロジック」と、冷房エネルギーの省エネルギーを目的とした「冷房・省エネ優先ロジック」を異なる特性を有するオフィスビルに適用することで、合意形成ロジックそれぞれの快適性向上の効果と設定温度の緩和効果について検討を行う。

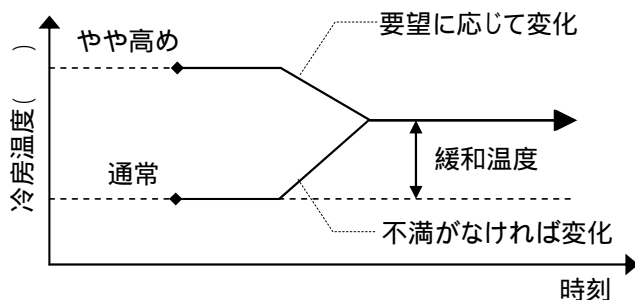


図 4.4 合意形成ロジックを用いた省エネルギー手法に関する概念図

2-1 実験概要

実験はTビル, Dビル1Fそれぞれを対象に夏季1シーズン, Dビル7Fを対象に夏季2シーズン, 延べ4シーズンで行われ, 各種の制御ロジックが設定温度の制御と居住者の満足感に及ぼす影響について検討を行った。

2-1-1 対象フロア

図4.5～図4.7にDビル7F, Dビル1F, Tビルの平面図を, 図中の枠内にあるインテリア・ゾーンを実験対象とした。表4.1に建物概要と居住者属性を示す。第2章でも述べたが, 空調システムに関して, Dビルのインテリアでは4管式のエアハンドリングユニットが採用され, Dビル7Fでは南北方向に9系統, Dビル1Fでは4系統のVAV(Variable Air Volume)システムが設置されていたのに対して, Tビルのインテリアでは南北方向に2系統のマルチ型パッケージエアコンと外調機が併用されていた。ペリメータの空調システムに関して, Tビル, Dビルでは外皮負荷を処理するため別系統のマルチ型パッケージエアコンとFCU(Fan Coil Unit)が設置されており, 実験ではインテリアへの影響を抑えるため, ゾーン間での温度差が生じないようにインテリアと同じ設定温度で運転させた。また, 第3章の事前調査の段階で, 吹出し口からの風が, 直接, 居住者に当たらないように吹出し口の向きを調節した。居住者属性に関してDビル1Fでは居住者の半数が女性であったが, それ以外のフロアでは男性が居住者の大半を占めていた。業務形態に関して, Tビルは開発職, Dビルは事務職であり, 主にPCを利用した業務であり, 室内外の移動が少なく, 業務形態の違いによる温冷感への影響の差は小さいと考えた。着衣量に関して, 女性は制服着用が義務付けられており, Tビルの男性は作業服を, Dビルの男性の多くはネクタイを付けずに半袖襟付きシャツを着用していた。

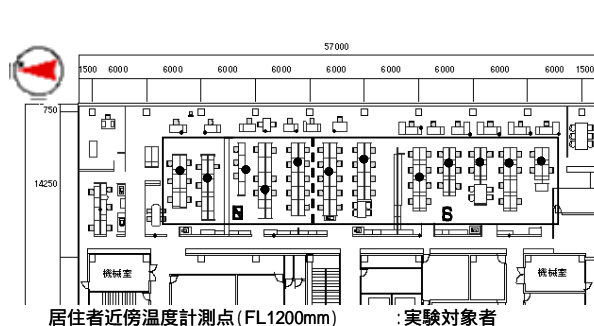


図 4.5 Dビル7F対象フロアの平面図

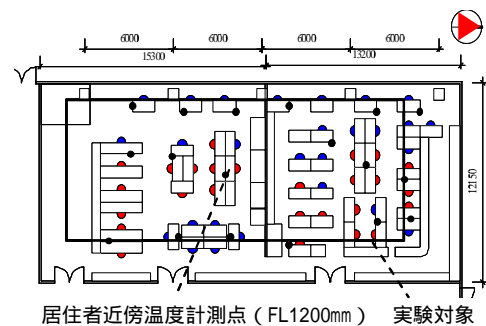


図 4.6 Dビル1F対象フロアの平面図

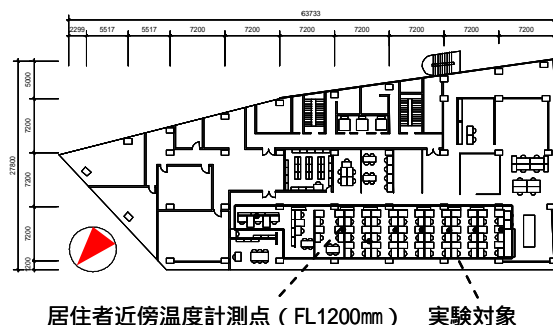


図 4.7 Tビル対象フロアの平面図

表 4.1 対象フロアの概要および居住者属性

| | Dビル7F | Dビル1F | Tビル |
|--------|---|----------------|------------------|
| 所在地 | 大阪府内 | | 東京都内 |
| 空調システム | エアハンドリングユニット(VAV方式) ファンコイルユニット | | ビル用マルチ室内機 外調機 |
| 対象者(人) | 04年度:46(男性:34,女性12) 05年度:40(男性:32,女性8) | 37(男性:17,女性20) | 23(男性20,女性3) |
| 職種 | 男性:事務職 女性:事務職 | 事務職 | 男性:開発職 女性:事務職 |
| 着衣量(夏) | 全体:0.64±0.22 | 全体:0.62±0.17 | 全体:0.69±0.18 |
| | 男性:0.64±0.24 | 男性:0.60±0.15 | 男性:0.70±0.20 |
| | 女性:0.62±0.08 | 女性:0.64±0.19 | 女性:0.64±0.19 |
| 着衣量(冬) | | | 全体:1.16±0.32 |
| | | | 男性:1.20±0.32 |
| | | | 女性:0.90±0.22 |

2-1-2 実験条件

表 4.2 に実験条件を示す。D ビル, T ビルにおける通常運用での設定温度条件を基準条件 (D ビル夏季は 26.0 , T ビルの夏季は 25.0) として設定した。省エネ優先ロジックの適用以外に, 省エネルギー効果を期待して運転開始時の設定温度を基準温度に対して冷房で+2.0 に設定する実験条件を設けた。実験期間として, D ビル 7F04, T ビルでは夏季全体を, D ビル 1F では酷暑期を, D ビル 7F05 では酷暑が緩まった夏日を想定した。居住者から任意に申告された要望を毎分評価し, 合意形成ロジックをもとに 0.5 刻みで設定温度を変更させる方法をとった。居住者が申告してから一定時間後, 居住者自身が温熱環境に馴化する場合 (2 時間) や, 合意形成によってその要望が満たされた場合に, その要望が薄れると考えられ, 居住者の環境に対する要望はリセットするものとした。設定温度が変更され温熱環境が安定するまで (20 分間), 要望の申告は収集されるが制御の判定は行わない。申告方法として D ビル 1F ではデスクトップ上に, それ以外のフロアではタスクバー上にアイコンを常駐させる方法をとった。実験アナウンスに関しては, 先入観を持たさないために, 制御システムの利用方法 (申告方法, フィードバックの閲覧方法, 実験期間) 程度に留めた。

表 4.2 制御実験の実験条件

| 実験名称 | 対象フロア | ロジック | 開始温度 | 実験日数 | 実験期間 | 備考 |
|------------|-------|-------|------|------|---------------------------|-------|
| 快適25T | Tビル | 快適優先 | 25 | 3 | 2005. 8/9,10,11 | |
| 快適27T | Tビル | 快適優先 | 27 | 4 | 2005. 9/1,2,5,6 | |
| 省エネ25T | Tビル | 省エネ優先 | 25 | 3 | 2005. 9/12,14,15 | 上限値26 |
| 快適26D7F04 | Dビル7F | 快適優先 | 26 | 6 | 2004. 8/19,24,9/7,8,9,10 | |
| 快適28D7F04 | Dビル7F | 快適優先 | 28 | 5 | 2004. 8/ 20,23,9/13,14,15 | |
| 省エネ26D7F04 | Dビル7F | 省エネ優先 | 26 | 6 | 2004. 8/25,26,27,9/1,2,3 | 上限値28 |
| 快適26D7F05 | Dビル7F | 快適優先 | 26 | 5 | 2005. 9/14,15,21,22,26 | |
| 快適28D7F05 | Dビル7F | 快適優先 | 28 | 4 | 2005. 9/16, 20,29,30 | |
| 快適26D1F | Dビル1F | 快適優先 | 26 | 5 | 2006. 7/24,25,26,27,28 | |
| 快適28D1F | Dビル1F | 快適優先 | 28 | 5 | 2006. 7/31,8/1,2,3,4 | |

2-1-3 測定項目

居住域近傍の温熱環境として, T ビルでは図 4.7 中の黒丸で示す 8 点, D ビルでは図 4.5, 図 4.6 中の黒丸で示す 12 点の, 床上 1200mm の室内温度を 1 分間隔で測定した。吸込温度やエネルギー消費量な

どの空調機に関する情報を BEMS より収集した。要望の申告以外の主観量として、T ビル、D ビル 7F05 では毎日の実験終了時に、D ビル 1F の夏季実験では実験条件の終了日に、その期間を通じての温熱環境に対する満足感、快適感、寒暑感の 7 段階尺度を測定した。

表 4.3 測定項目とその条件

| 実験対象 | 物理量 | | | 心理量 | |
|---------|------|-----------|-----------------------|------|------------------|
| | 近傍温度 | 外気 / 吸込温度 | エネルギー消費量 | 申告ログ | アンケート |
| Dビル7F04 | 1分間隔 | 1分間隔 | 冷水処理熱量 | | |
| Dビル7F05 | | | | | 毎日 17:30 |
| Dビル1F | | | | | 実験条件終了日 17:30 |
| Tビル | | 1時間間隔 | 室内機・室外機・ 外調機の消費電力量 | | 毎日 17:30 |

2-2 結果

2-2-1 通常温度から開始した場合の「快適優先ロジック」の設定温度推移

図 4.8 に T ビルでの「快適 25T」、D ビル 1F、7F で「快適 26D」での代表的な結果を示す。実験中の温熱環境に対する要望率（「上げてほしい」、「下げてほしい」の要望割合）、吸込温度、合意形成ロジックによって決定された設定温度、居住者近傍の平均温度とその標準偏差の時間的推移を示す。

T ビルでは「上げてほしい」と「下げてほしい」の申告が多く発生し、設定温度が上がったり下がったりしたが、この間、居住者近傍温度はその目まぐるしく変化する設定温度に追従できずに、結果的には 25.5 ～ 26.0 の範囲で安定的に推移していた。

次に、D ビル 1F、D ビル 7F04 では、「上げてほしい」と「下げてほしい」の要望が散発的にしか発生しておらず、すべての日で設定温度は制御されなかった。これは、居住者近傍温度が 25.0 ～ 26.0 前後で推移しており、居住者自身が不満を感じるほど暑くも寒くもなかったためと考えられ、これより通常の運用で用いられる設定温度条件は、快適性の面からすれば比較的妥当であったことを示す。これに対して、D ビル 7F05 では 5 日間の実験の中で 2 日ほど男性を中心に「上げてほしい」の申告が集中して設定温度の上昇がしていた。これは、居住者近傍温度は 26.0 近傍で推移していたが、実験期間での外気温度が 26.0 ～ 27.0 と夏季としては比較的、低くなっており、その影響で寒さを感じていたことが原因と考えられる。

以上より外気が低くなっていた「快適 26D7F05」の条件を除き、「快適優先ロジック」を通常温度で適用した場合では、「上げてほしい」、「下げてほしい」のそれぞれの要望が発生し、その結果、設定温度は変更されなかったり、変更されたとしても間もなくそれに反する要望によって設定温度が戻されたりしており、均衡状態にあったことが示された。

2-2-2 通常よりやや高い温度から開始した場合の「快適優先ロジック」の設定温度推移

図 4.9 に T ビルでの「快適 27T」、D ビル 1F、7F で「快適 28D」の代表的な結果を示す。実験中の温熱環境に対する要望率（「上げてほしい」、「下げてほしい」の要望割合）、吸込温度、合意形成ロジックによって決定された設定温度、居住域平均温度とその標準偏差の時間的推移を示す。

T ビルでは多くの日で、午後に「下げてほしい」の要望が多く発生し設定温度は下がったが、終日、基準温度 25.0 より高い温度で推移する傾向にあった。D ビル 1F、D ビル 7F04 でも T ビルの制御結果

と同様、多くの日で、午後に「下げてほしい」の要望が多く発生し設定温度は下がったが、終日、基準温度 26.0 より高い温度で推移する傾向にあった。また、夏季の暑さが緩まった時期の D ビル 7F05 では要望自体が少なく、午後を中心に「下げてほしい」の要望が発生し設定温度が下がる日もあったが、設定温度 28.0 のまま推移する日も多く見られた。

以上より開始温度を基準温度よりやや高く (+2.0) して「快適優先ロジック」を適用した場合において、すべての日で設定温度が基準温度に対して高い温度域で制御されており、日によってその効果は異なるが、設定温度の緩和が安定的に行われていたことが認められた。

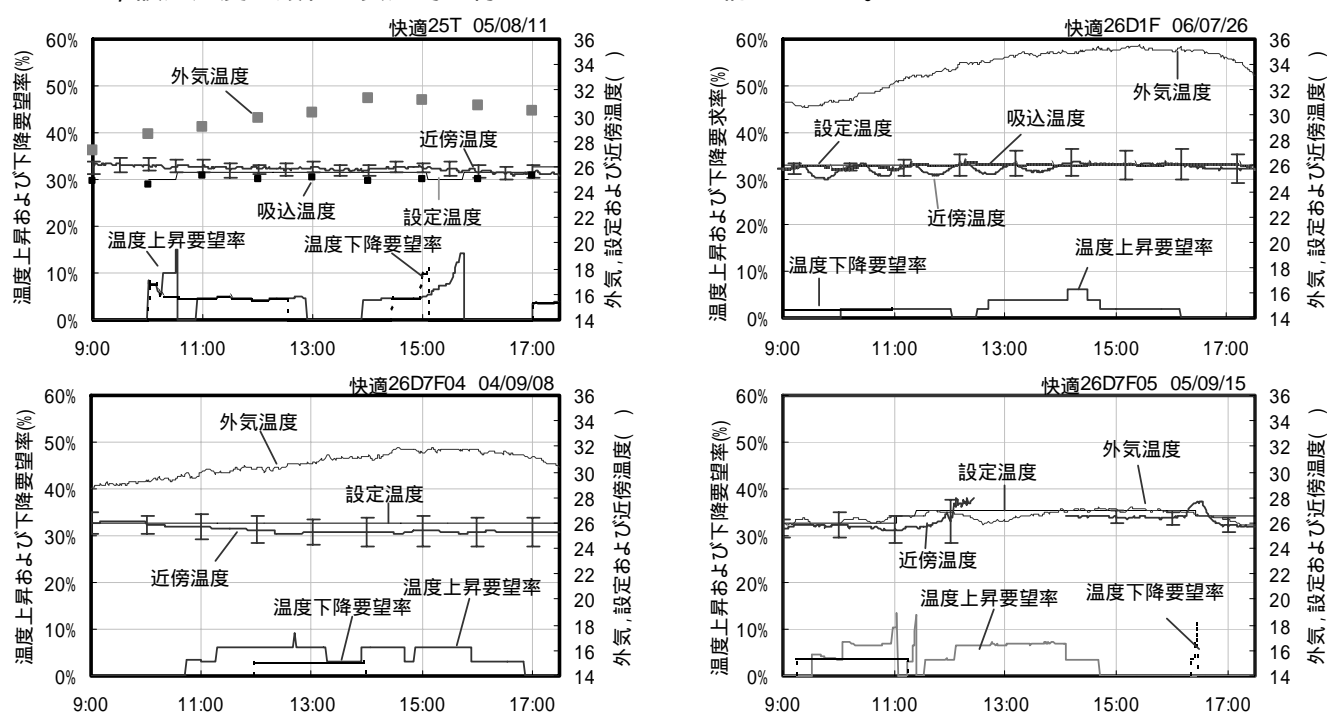


図 4.8 通常温度条件で開始した場合の「快適優先ロジック」の設定温度と要望率の時間的推移

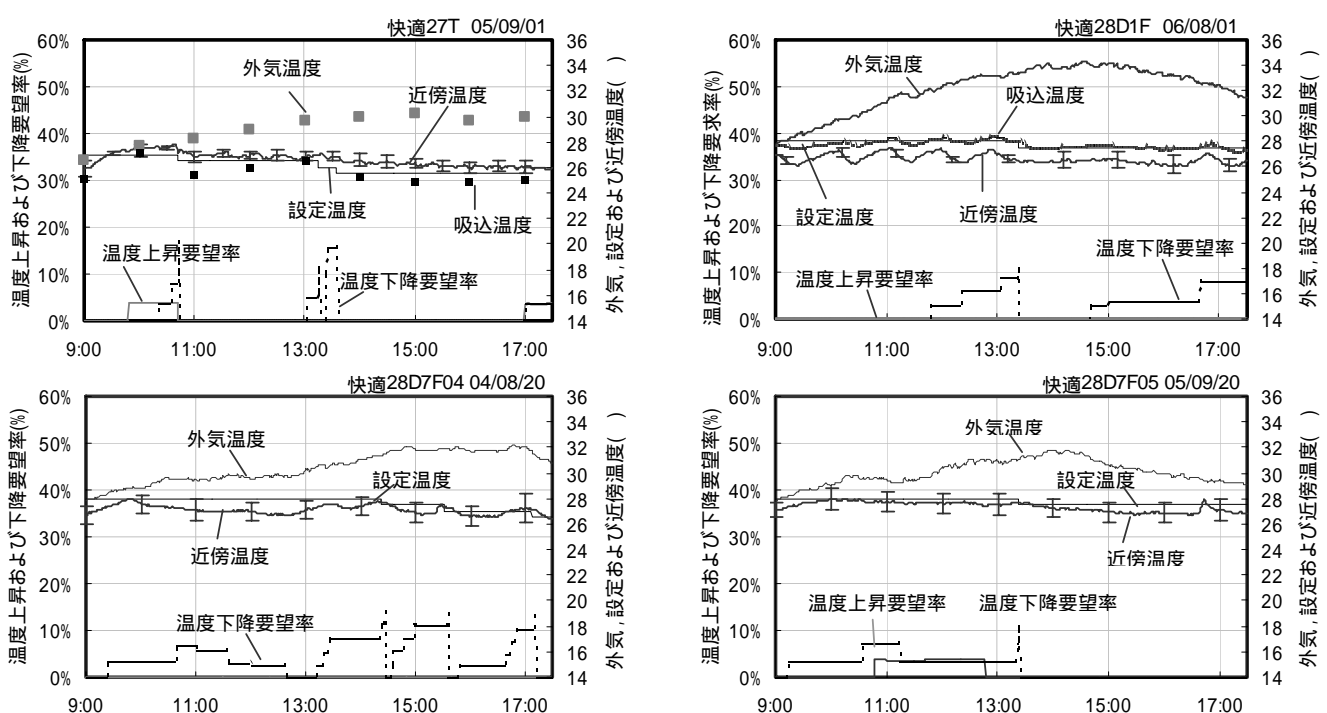


図 4.9 通常+2.0 の温度条件で開始した場合の「快適優先ロジック」の設定温度と要望率の時間的推移

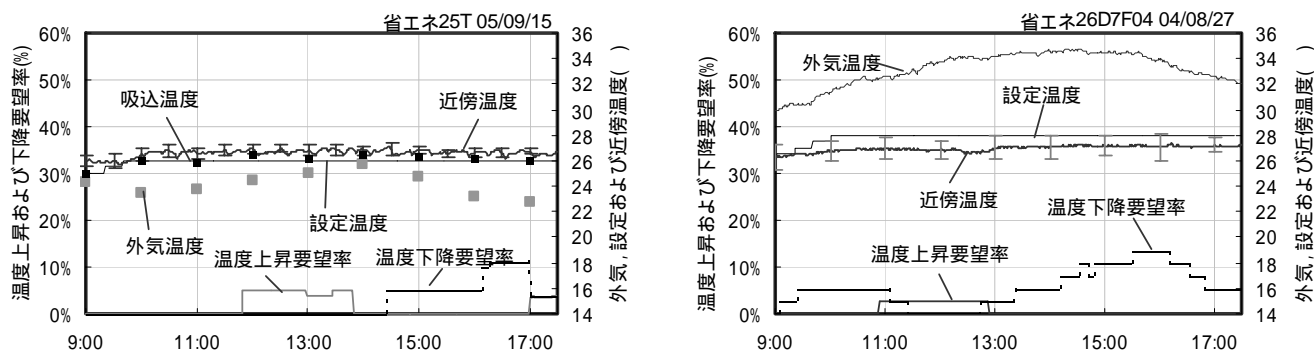


図 4.10 通常温度条件で開始した場合の「省エネ優先ロジック」の設定温度と要望率の時間的推移

2-2-3 通常温度から開始した場合の「省エネ優先ロジック」の設定温度推移

図 4.10 に T ビルでの「省エネ 25T」、D ビル 7F での「省エネ 26D」での代表的な結果を示す。実験中の温熱環境に対する要望率（「上げてほしい」、「下げてほしい」の要望割合）、吸込温度、合意形成ロジックによって決定された設定温度、居住者近傍平均温度とその標準偏差の時間的推移を示す。

T ビルでは全日ともに「下げてほしい」の要望率が温度下降制御の基準値である 20%に達成しなかったために、設定温度は午前中に上限値の 26.0 まで達し、そのまま推移していた。D ビルでも同様、「下げてほしい」の要望率が 20%を超える日は存在したが、ほとんどの日で温度下降制御の基準値の 20%を超えることがなく、午前中に上限値の 28.0 まで達し、そのまま推移していた。

以上より要望が少なければ設定温度が上昇する「省エネ優先ロジック」を適用した場合では、ほとんどの日で設定温度が午前中に上限値まで上昇しそのまま推移しており、日々の変動にも影響されず、安定的に設定温度が緩和されていたことが認められた。

2-2-4 居住者心理

図 4.11 に D ビル 7F05、T ビルにおいて、毎日の実験終了後に実施した一日通じての満足感、寒暑感に関するアンケート結果と実験期間中の平均居住域温度とその標準偏差を示す。「快適 25T」ではシステムの不具合によりデータ欠損が生じたため、他の実験条件と比較してデータ数が少なかった。

寒暑感に関して「快適 28D7F05」では、暑い側の申告が多かったのに対して、「快適 26D7F05」ではやや寒い側の申告が多かったが、全体としては暑くも寒くもないと申告する居住者が多かった。また、「快適 25T」での寒い側の申告割合が顕著に大きかったのに対して、「快適 27T」、「省エネ 25T」では両者の間に顕著な差異は確認できなかった。この違いは平均居住域温度を反映したものだと思われ、「快適 25T」では他の条件と比べて居住者近傍温度が低かったのに対して、「快適 27T」と「省エネ 25T」では顕著な差はなかった。

満足感に関して、「快適 26D7F05」と開始温度を 2.0 高くした「快適 28D7F05」では、開始温度が異なり居住者の近傍温度が異なるにもかかわらず、顕著な差が確認できなかった。これは、酷暑期間を過ぎて気候が緩やかになっていたため、多少の近傍温度が高くて過ごしやすくなっていたと考えられる。「快適 25T」と開始温度を 2.0 高くした「快適 27T」では制御ロジックは同じだったにもかかわらず「快適 25T」の方で不満側の申告割合が大きかった。これは「快適 25T」では本章の 2-2-1 で述べたように「上げてほしい」と「下げてほしい」の要望がきっこうしていたため、設定温度が制御されたにもかかわらず、結果としてどちらの要望に対しても温熱環境が変更されなかったためと考えられる。これより「快

適 25T」のデータ数が比較的少なかったので一概には言えないが、「快適 27T」のように開始温度を高くする方が、要望に従って温熱環境が変更されることで満足感が高まり、さらに省エネルギー効果が期待できると考えられる。また寒暑感に顕著な違いのなかった「快適 27T」、「省エネ 25T」では、比較的、「省エネ 25T」に不満側の申告割合が大きかった。両実験条件とも設定温度の緩和による省エネルギー効果が期待できるにもかかわらず、満足感に関しては「快適 27T」の満足側の申告割合が大きかった。これは開始温度を積極的に省エネ側に設定する「快適 27T」と、要望がなければ積極的に設定温度を省エネ側に設定する「省エネ 25T」での制御方法の違いが要因と考えられる。そこで要望申告が温熱環境への満足感に影響すると考え、図 4.12 に「快適 27T」と「省エネ 25T」のアンケート結果を申告した居住者(以下申告者とする)と申告していない居住者(非申告者とする)とに分けて整理したものを示す。非申告者に関しては、「快適 27T」の方がやや満足側の申告割合が大きい傾向にあったが、顕著な違いは確認できなかった。一方、申告者に関しては顕著に「省エネ 25T」で不満側の申告割合が多かった。

図 4.13 に D ビル 7F05 と T ビルにおいて、要望申告を行った居住者の近傍温度と申告後から実験終了までの平均近傍温度との差(以下、申告後平均変化温度とする)と実験終了後の満足感の関係を示す。D ビルでは、「上げてほしい」の要望に関して、申告後平均変化温度と実験終了後の満足感の間にばらつきは大きい为正の相関が確認され、申告後平均変化温度が 0.0 以上の場合に不満と申告する居住者は確認されなかった。また、「下げてほしい」の要望に関しても、同様に申告後平均変化温度と実験終了後の満足感に負の相関が確認され、申告後平均変化温度が-0.5 以下で不満側の申告は確認されなかった。これは、T ビルでも「上げてほしい」の要望に関してサンプル数が少ないこともあり傾向を確認できなかったが、「下げてほしい」の要望に関しては同様の傾向が認められた。これらの傾向より、各個人の要望通りに温度が変更された場合では、さほど不満を覚えていなかったことが示された。

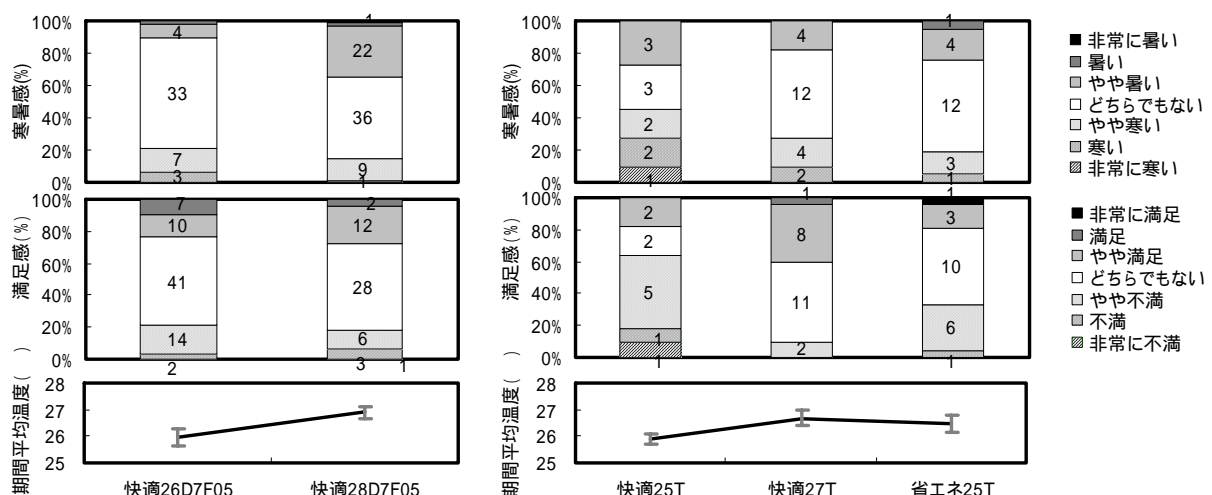


図 4.11 実験終了時の満足感、寒暑感と日平均温度(左: D ビル 7F05, 右: T ビル)

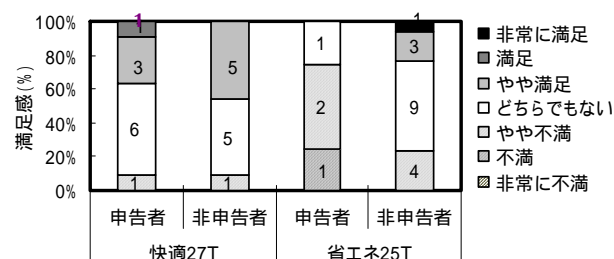


図 4.12 T ビル申告者別実験終了の満足感

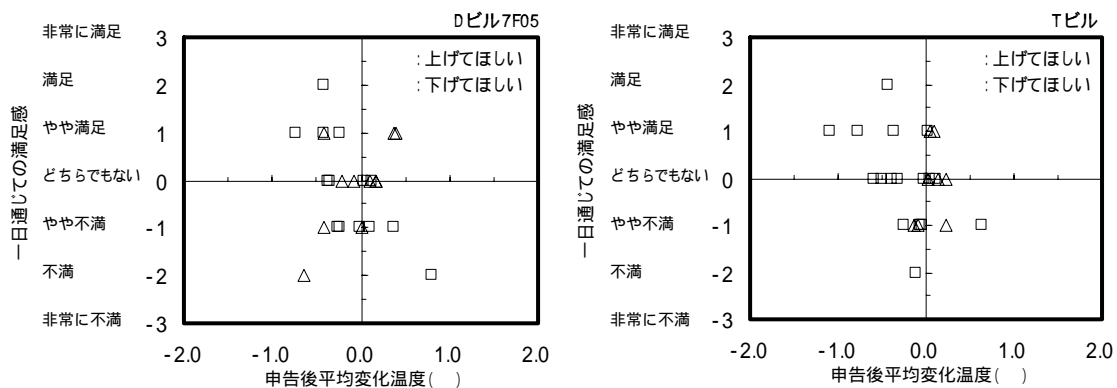


図 4.13 申告後変化温度と実験終了時の満足感(左：T ビル，右：D ビル 7F05)

2-3 本節のまとめ

本節では，合意形成ロジックの基本ロジックである「快適優先ロジック」と「冷房・省エネ優先ロジック」を3つの実験フロアに，延べ4つの夏季シーズンで適用を行い，その際の設定温度の制御結果や心理量を測定することでその有効性について検討を行った。さらに開始温度を変更することで，開始温度が本制御システムに及ぼす影響について検討を行った。以下に得られた知見をまとめる。

1) 「快適優先ロジック」を通常温度より開始した場合では，「上げてほしい」と「下げてほしい」の要望が混在して発生していたため，ほとんどの場合で設定温度の制御は行われることはなかった。たとえ，制御が行われたとしても，設定温度が上下の特定方向に偏って制御されることは稀であり，結果として居住者近傍温度が大きく変動することがほとんどなかった。

2) 「快適優先ロジック」をやや高い温度（今回であれば通常温度より+2.0 高い）より開始した場合，基準温度に対する設定温度の緩和効果が期待でき，さらに要求に対して温熱環境をフィードバックすることができるため満足度が高い結果となった。また，酷暑期を過ぎて気候が緩やかになった場合では，要望がほとんど発生しなくなるため，設定温度が開始温度のまま，終日推移する日も存在した。

3) 「省エネ優先ロジック」では，2)のロジックと同様に設定温度の緩和による省エネルギー効果が期待できるが，要望に対する温熱環境の変化が乏しいため居住者は不満を感じる傾向が認められた。

4) 要望を申告しなかった居住者のほとんどは，温熱環境に対して不満がなかったためであることが確認された。また，要望を申告する居住者にとって，要望通りに温熱環境が変化するかどうか居住者の満足感に影響を及ぼしていたことが認められた。

以上より，1)～3)の実験条件の中で，2)の「快適優先ロジック」をやや高い温度より開始する条件では，居住者の不満を抑えながら設定温度の緩和効果が得られ，省エネルギーと快適性のバランスを両立させる運転方法として効果的と考えられる。

3 女性優先ロジックが設定温度制御と快適性に及ぼす影響

第3章の実態調査でも述べたように、冷房の強いオフィスでは冷えに弱い女性が、毛布や個別ヒータによって体温調節することが常態化しており、その負担も大きいと考えられる。「女性優先ロジック」では、女性の要望を優先的に制御に反映させやすくするために、合意形成ロジックの前処理として女性の要望に対して重み付けを行う。例えば、“上げてほしい”の要望に関して、女性の要望に対する重み係数 $W_f(-)$ を用いることで式(4.1)のように女性の要望を強めることができる。

$$u' = W_f u_f + u_m \quad (4.1)$$

ここで、 u を重み付け後の“上げてほしい”要望数(人)、 u_f を女性の“上げてほしい”要望数(人)、 u_m を男性の“上げてほしい”要望数(人)とする。その重みは女性の優先度合いや女性の占める割合なども考慮されるべきであることから、重み係数 $W_f(-)$ は男性全体に対する女性全体の優先度 $p(-)$ と男性、女性それぞれの在室人数 N_m 、 N_f (人)を用いた式(4.2)で求められる。

$$W_f = \frac{N_m}{N_f} p \quad (4.2)$$

また、式(4.2)の居住者の重み付けを行うことで、在室人数よりも要望数が大きくなりすぎる場合が発生する。例えば、男性18人、女性12人(合計30名)に対して優先度 p を2.0と設定する場合、重み係数 W_f は3.0となるが、この状況下で女性全員が温度上げてほしいと申告した場合、36票の要望が申告されたことになるため要望率が100%を超えてしまうことになる。そこで式(4.3)のような在籍人数の補正を行う。この場合であれば、在室人数 N' は42人として扱われる。

$$N' = W_f N_f + N_m \quad (4.3)$$

3-1 実験概要

実験はDビルの1Fを対象に夏季1シーズン行われ、女性優先ロジックが設定温度の制御と環境に対する満足感に及ぼす影響について検討を行った。

3-2-1 実験条件

本実験は、女性からの多くの申告を期待してDビル1Fを対象に、表4.4に示す実験条件に基づいて行われた。通常運用で時々見られる居住者近傍温度が低くなった状況下において女性が抱える負担を減らすことを目的としたため、開始温度は通常運用の26.0とした。条件を女性に対する「女性26D1F」では男性に対する女性の要望の優先度 p を2.0とした。また、アナウンスとしては先入観を与えないために制御システムの導入時に行った利用方法に関する程度のものに留めた。実験期間中の着衣量の調節や個別ヒータの使用に関しては、実際のオフィス環境を想定してその使用を許可した。

3-2-2 測定項目

測定項目としては、前節の表4.3におけるDビル1Fと同様であり、居住者近傍温度、申告ログ、設定温度の履歴と、実験条件の終了後に満足感、寒暑感、快適感について測定を行った。

表 4.4 実験条件

| 実験名称 | 女性26D1F |
|-------|---------------------|
| 対象フロア | Dビル1F |
| ロジック | 女性優先 |
| 開始温度 | 26 |
| 実験日数 | 5 |
| 実験期間 | 2006. 8/7,8,9,10,11 |
| 備考 | 優先度:2.0 |

3-3 結果

3-3-1 設定温度の推移

図 4.14 に T ビルでの冷房時におけるロジック適用実験の代表的な結果を示す。実験中の温熱環境に対する要望率（「上げてほしい」、「下げてほしい」の要望割合）、吸込温度、合意形成ロジックによって決定された設定温度、居住者近傍温度とその標準偏差の時間的推移を示す。また、式(4.2)の重み付けの効果を検証するため、図 4.14 に式(4.2)より女性の要望を重み付けた「重付温度上昇要望率」および「重付温度下降要望率」に加え、式(4.2)の重み付けを行わず、8/10 の要望データに基づいて算出された「温度上昇要望率」、「温度下降要望率」および「設定温度」を、「仮想温度上昇要望率」、「仮想温度下降要望率」及び「仮想設定温度」として図中に示す。

「仮想温度上昇要望率」とは式(4.2)の重み付けを行わないと仮定した場合での、要望データと式(4.1)に基づいて算出された「上げてほしい」の要望率を指す。また「仮想温度下降要望率」も同様に算出される。この場合、仮想設定温度の変化に対して実際の温熱環境の変化を再現できないため、実際の居住者が示す反応と異なる可能性はあるが、女性の要望を優先した場合の制御への反映のしやすさを評価する際の基準値として参考になる。図 4.14 に示す女性の要望を優先した際の設定温度は、10:15、12:30 頃に 2 度変更されていたのに対して、女性の要望を優先しない場合の仮想設定温度は 10:30 頃に 1 度しか変更されていなかった。この傾向は日によって異なるが、女性の要望を優先することで、比較的、高い頻度で設定温度が変更されたことが確認された。

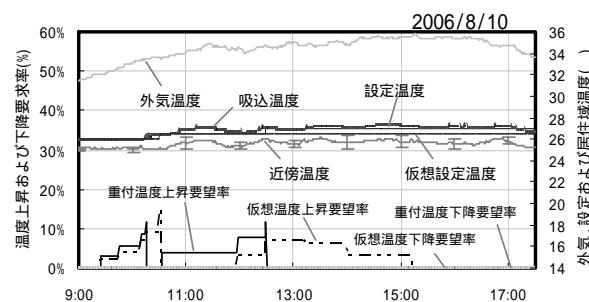


図 4.14 「女性優先ロジック」適用時における設定温度と要望率の時間的推移

3-3-2 居住者心理

図 4.15 ,図 4.16 に要望申告を行った居住者の近傍温度と申告後から実験終了までの平均近傍温度との差（以下、申告後平均変化温度とする）と満足感の関係を示す。「上げてほしい」の要望に関してサンプル数が少ないこともあり傾向を確認できなかったが、「下げてほしい」の要望に関しては申告後平均変化温度と実験終了後の満足感に負の相関が確認され、申告後平均変化温度が-0.5 以下で不満側の申告は確認されなかった。つまり、これは自分の要望通りに近傍温度が変更された場合では比較的、不満

を覚えなかったことを示す。

次に、「女性優先ロジック」の居住者心理に及ぼす影響について検討するため、「快適 26D1F」「女性 26D1F」の実験期間の最終日に実施した期間を通じての満足感に関するアンケート結果を男女別にまとめたのが図 4.15 である。「快適 26D1F」と「女性 26D1F」では、男性の申告内容に差異は確認できなかったが、女性に関しては「女性 26D1F」での不満側の申告が少ないことが確認された。そこで自分自身の申告に対して室内環境が変化した場合に満足感が高まると考え、女性の要望申告とその申告後平均変化温度の関係を度数分布でまとめたのが図 4.16 である。図 4.16 より申告数の多かった「上げてほしい」の要望に対して、「女性 26D1F」では申告後平均変化温度 0.5 以上の度数が「快適 26D1F」に比べて大きい傾向にあった。このことから「女性優先ロジック」によって、女性の要望が制御に反映されやすくなり、その結果、温熱環境が要望通りに変化していたことが不満側の申告の減少につながったと考えられる。



図 4.15 D ビル 1F 実験終了時の満足感の男女比較

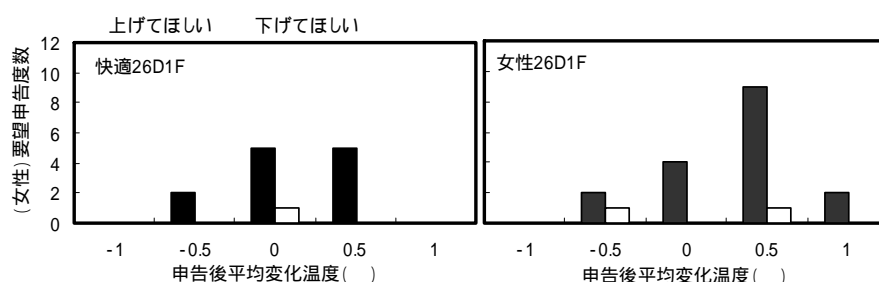


図 4.16 女性の申告後変化温度の度数分布（快適 26D1F, 女性 26D1F）

3-4 考察

各個人の要望情報によって温熱環境を制御するシステムにおいて、男女構成など居住者特性が設定温度の制御に影響を及ぼすと考えられる。そこで居住者近傍温度と要望申告発生割合の関係をを用いて、男女構成比が男性の構成割合が非常に高かった T ビルと、男性と女性の構成割合がほぼ等しかった D ビル 1F での制御結果に及ぼした影響について考察する。図 4.17 に T ビルと D ビル 1F それぞれにおける、すべての居住者の在室時間に対する要望申告の発生時間の割合（以下、申告発生割合とする）を居住者の近傍温度別に整理したものを示す。実験期間中の 9 時から 17 時までの 1 時間単位で在室時間数と要望申告の発生した時間数を近傍温度別に集計し、在室時間数に対する要望申告時間数の割合を近傍温度別に求めた。近傍温度に関しては 1 時間の平均値を用いた。また図中の曲線は、居住者の近傍温度と申告発生割合の関係をプロビット曲線で近似したものである。プロビット曲線は環境の刺激に対する反応の発生割合のモデルとして馴染みやすく、例えば、外気温度に対する窓の開閉状態を予測するモデルなどに活用されたりしている²⁶⁾。

図 4.17 より女性の割合が多い D ビル 1F では、女性の割合が少ない T ビルに比べ、「上げてほしい」

の申告発生割合が高く、特に近傍温度が 25.0 付近でその割合は最も高い値を示した。この特性が「女性 26D1F」において、8/10 の午前中のように居住域温度が 25.0 付近であった場合に設定温度の上昇につながったと考えられ、このことから設定温度の上昇制御に関しては、男女構成比が設定温度の制御に影響を及ぼしていたと考えられる。また一方、「下げてほしい」の申告発生割合に顕著な違いは確認できず、近傍温度 26.5 以上での「下げてほしい」の申告発生割合は両フロアともに高い値を示した。この特性は「快適 27T」と「快適 28D1F」の両フロアで同様に確認された設定温度の下降傾向を説明しており、このことから設定温度の下降制御に関しては、男女構成比と設定温度の制御には関連性が低かったと考えられる。

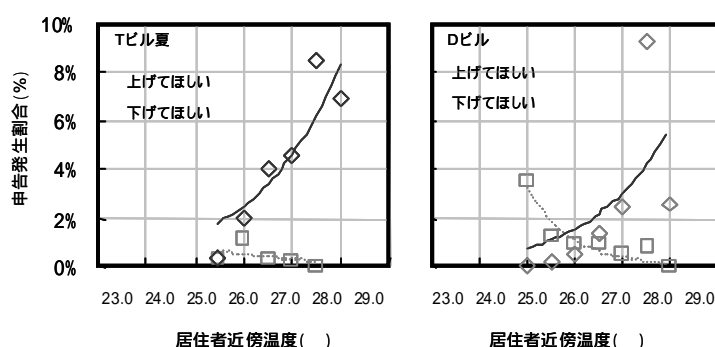


図 4.17 建物別の居住者近傍温度と要望申告割合（左側：T ビル夏，右側：D ビル 1F）

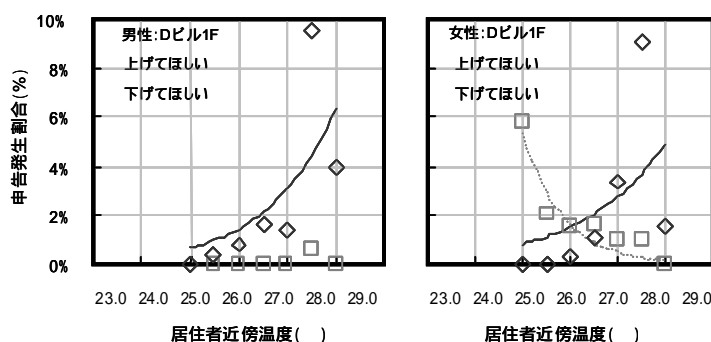


図 4.18 D ビル男女別の居住者近傍温度と要望申告割合（左側：男性，右側：女性）

次に「女性優先ロジック」において、女性の要望申告の優先が居住者全体の申告特性に及ぼす影響を検討するため、図 4.18 に D ビル 1F での男性と女性それぞれの近傍温度と要望申告発生割合の関係を、図 4.19 に女性の申告発生割合、女性の要望を優先しない通常の場合の申告発生割合、女性の優先度 p を 2.0 とする場合の申告発生割合と居住者近傍温度の関係を示す。優先度 p が 2.0 の場合、女性の近傍温度別の申告度数分布を 2 倍したものと、男性の度数分布を合算することで、女性優先を考慮した全体の度数分布が求まり、在室時間を用いて仮想的な申告発生割合を求めた。

図 4.18 より男性では、「下げてほしい」の申告発生割合が居住者近傍温度に対して単調増加傾向であったのに対して、「上げてほしい」申告は近傍温度にかかわらず、ほとんど発生していなかった。一方、女性に関しては、近傍温度に対する申告の反応性が高く、「上げてほしい」と「下げてほしい」双方の申告発生割合が近傍温度に従って変化する傾向にあった。以上の関係からも男性と女性とでは「上げてほしい」の要望申告に対する反応の違いが確認された。

図 4.19 より「下げてほしい」の申告発生割合に関して、通常と女性優先の場合とでは顕著な差がなく、このことから「下げてほしい」の要望に関しては、女性の要望を優先したとしてもさほど効果的でなかったと考えられる。一方、「上げてほしい」の申告発生割合に関しては、女性優先の場合の方が通常の場合と比べ高い値を示しており、特に、近傍温度 25.0 付近において通常の場合と比べ 0.9%の申告発生割合の上昇が確認された。この上昇分は 25.0 前後の居住者近傍温度において設定温度の上昇制御の発生する期待値が 3.2 回/日から 4.1 回/日の上昇、つまり 0.9 回/日の上昇分に相当する。これは、50 人の居住者が 1 日 9 時間、在室するオフィスにおいて、近傍温度 25.0 付近であれば温度上昇要望に関する申告発生割合が、女性の要望優先の考慮が無い場合では 3.6%，有る場合では 4.5%であるため、「快適優先ロジック」を適用した場合の上昇制御の開始基準値が 10%であることを考慮すれば、以下のように制御の発生する期待回数が算出される。

女性優先が無い場合： $9(\text{時間/日}) \times 50(\text{人}) \times 3.6(\%) / (50(\text{人}) \times 10(\%)) = 3.2 \text{ (回/日)}$

女性優先が有る場合： $9(\text{時間/日}) \times 50(\text{人}) \times 4.5(\%) / (50(\text{人}) \times 10(\%)) = 4.1 \text{ (回/日)}$

以上より、女性の要望を優先したことによって、「上げてほしい」の要望は助長され、その結果、女性にとって不満の少ない温熱環境につながったと考えられる。

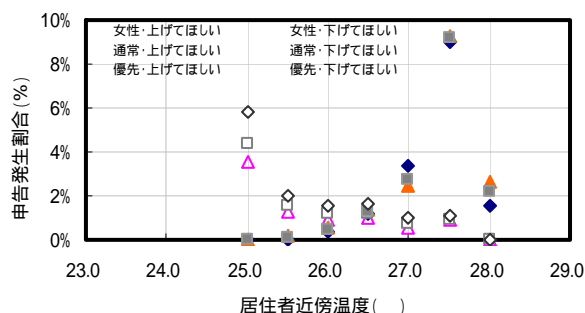


図 4.19 通常，女性優先，女性の申告発生頻度の比較

3-5 本節のまとめ

本節では、「女性優先ロジック」を男性と女性の人数構成比がほぼ等しいDビル1Fに適用し、その際の設定温度の制御結果や心理量を測定することでその有効性について検討を行った。また、近傍温度と要望申告発生割合の関係について、男性の構成割合が高いTビルとの比較検討を行うことで男女構成比が、本制御システムに与える影響について検討を行った。以下に得られた知見をまとめる。

- 1) 女性の要望を優先することによって、女性の要望が比較的、温熱環境に反映されるようになり、その結果、温熱環境に対する不満の減少が認められた。この場合で男性の満足感に顕著な違いは認められず、今回の検討では男性の不満感の上昇は確認できなかった。
- 2) 近傍温度と要望申告発生割合の関係について、男性の構成割合の高いTビルの場合ではいずれの近傍温度においても「上げてほしい」の要望がほとんど発生しておらず、男性と女性の人数構成比がほぼ等しいDビル1Fとでは要望申告特性に異なる傾向が認められた。

さらに、近傍温度と要望申告発生割合の関係を男女別に整理してみたところ、「下げてほしい」の要望申告に関してはその反応に顕著な違いが確認されなかったが、「上げてほしい」の要望申告に関しては、近傍温度 25.0 付近でその反応に顕著な違いが認められた。

こうした男女の要望申告特性の違いより、男女構成割合が合意形成による上昇制御に影響を及ぼす可能性が示された。

4 暖房ロジックによる設定温度緩和と快適性向上の効果

昨今ではパソコンなど内部発熱機器の普及によりインテリア空間での内部発熱が急増したため、インテリア空間の大きい建物では冬季でも冷房運転が当然として行われている。第3章でも述べたように、対象フロアであるDビルでも厳寒期間にもかかわらずインテリアの熱負荷を賄う空調機では冷房運転が主体であり、散発的に暖房運転が行われているのが実態であった。こうした状況において暖房エネルギー消費量の削減を目的として仮に設定温度を20.0としたら、かえってエネルギーを利用して室内温度を冷やそうとするので、無理に設定温度を20.0に近づけることは得策ではないと考えられる。またさらに、Dビルの冬季でのエネルギー消費量は夏季と比較して格段に小さく、調査した時の運用状態が最適な状態に近く、現状のままで運用することが得策と考えた。

その一方でTビルの冬季では暖房主体で運用がなされており、さらに暖房エネルギーが夏季と同じくらい消費されており、居住者からの不満でない範囲で設定温度を低くすることで、高い省エネルギー効果が期待できる。しかしながら冬季に暖房しかできないTビルのようなオフィスでは、第3章でも述べたように内部発熱などによって室内温度が上昇し、設定温度との乖離が大きくなってしまう。この場合、図4.20左に示すように合意形成ロジックに基づいて所定温度だけ設定温度を変更したとしても即座に温熱環境の変化につながらず、熱的快適感を維持できない場合がある。

こうした課題に対して、図4.20の右図に示すように、暖房が停止しているにも関わらず設定温度より高くなった室内温度に対して暖房が稼働しない範囲で設定温度を追従させ、その乖離を是正させることで、暖房エネルギーの節約を行いつつも、要望に応じた設定温度の変更に対して即座に温熱環境を変化させることができるので快適性の維持も同時に期待できる。

本節では、「基本ロジック」の前処理として、上昇してしまった室内温度に対して設定温度を追従させる「暖房ロジック」を開発し、Tビルに適用する際の、設定温度の制御結果と居住者の満足感について検討を行う。

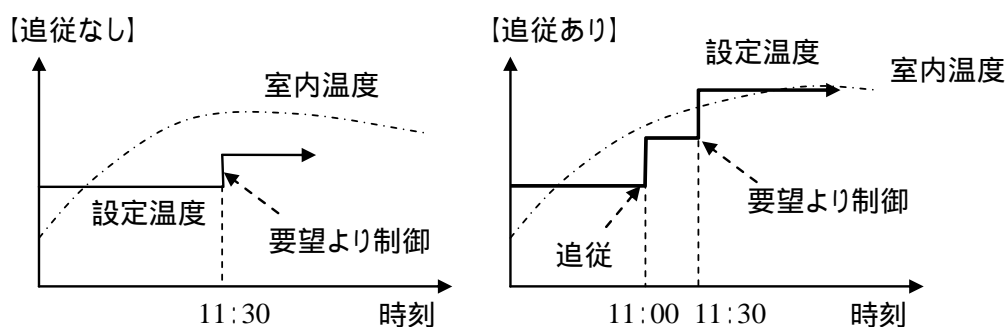


図 4.20 暖房ロジックのイメージ

(左：暖房ロジックなし，右：暖房ロジックありの場合の設定温度と温度の関係)

4-1 実験概要

実験は東京都内にあるTビルの8Fフロアを対象に行われ、暖房ロジックが設定温度の制御と居住者の満足感に及ぼす影響について検討を行った。

4-1-1 実験条件

本実験は表4.5に示す実験条件に基づいて行われた。Tビルにおける通常運用での設定温度条件24.0

を基準条件として設定した。省エネルギー効果を期待して開始温度を基準温度に対して-4.0 に設定する実験条件を設けた。暖房運転においては、暖房が停止している条件下において、吸込温度が設定温度よりも 1.0 以上高くなった場合、室内温度に追従するため、0.5 刻みで設定温度を上昇させた。また暖房の運転状態の判定に関しては、吹出温度の 35.0 を閾値として行われた。申告方法として、T ビルではタスクバー上にアイコンを常駐させる方法をとった。アナウンスとしては、上記同様、制御システム導入した際の制御システムの操作方法と、実験期間に関する情報に留めた。

4-1-2 測定項目

測定項目としては、前節の表 4.4 における T ビル 1F に記載した居住者近傍温度、申告ログ、設定温度の履歴と、実験条件の終了後に満足感、寒暑感、快適感に加えて、空調機の吸込温度、吹出温度を 1 分間隔で測定した。

表 4.5 制御実験の実験条件

| 実験名称 | 対象フロア | ロジック | 開始温度 | 実験日数 | 実験期間 | 備考 |
|-------|-------|------|------|------|---------------------|--------|
| 快適24T | Tビル | 快適優先 | 24 | 4 | 2006. 2/7,8, 9,10 | 暖房ロジック |
| 快適20T | Tビル | 快適優先 | 20 | 4 | 2006. 2/21,22,23,24 | |

4-2 結果

4-2-1 設定温度の推移

図 4.21 に「快適 24T」、「快適 20T」の実験の代表日一日の実験結果を示す。実験中の温熱環境に対する要望率、合意形成ロジックおよび吸込温度への追従により決定された設定温度、室内機の吸込・吹出平均温度、居住者近傍平均温度およびそれぞれの標準偏差の時間的推移を示す。「快適 24 T」では、部屋全体が十分に温まっていない午前中に「上げてほしい」の要望が発生し、日によっては合意形成により設定温度が上昇していた。冬季では窓面の輻射熱に影響されて窓近傍の居住者より多くの申告発生が予想されたが、本実験での申告の多くは窓より 5m 以上離れた部屋側の居住者より行われており、本結果においては窓からの輻射による申告への影響は確認できなかった。

また部屋全体が温まった午後では、ほとんどの日で「上げてほしい」の要望が発生しなくなり、むしろ温風を吹き続ける室内機に対して「下げてほしい」の要望が散発ではあるが発生していた。一方、「快適 20 T」では、すべての日で午前中に吸込温度に追従するため設定温度が上昇し、それ以降では吸込温度より 0.5 ほど低い温度域で推移していた。その結果として吹出温度の推移から暖房がほとんど停止していたことが確認され、さらに吸込温度と設定温度の位置関係から設定温度は、「上げてほしい」の要望によって即座に暖房運転が再開できる状態だったことが確認された。また「快適 20T」では「快適 24T」と比較して申告が発生しなかったため合意形成による設定温度の変更は行われなかった。この違いは実験条件の差異よりもむしろ 2/7 と比較して午前中の外気温度が高く、朝方の冷え込みが緩やかであったことが影響していたためと考えられる。

以上より内部発熱の発生などのため、日中、部屋が暖まることの多い冬季では、「快適 20T」のように開始の設定温度をやや低くすることで暖房の停止時間を長く保つことが期待でき、また同時に吸込温度に対して設定温度を追従させることによって、「上げてほしい」の要望に対して即座に暖房を開始できる状態で維持できると考えられる。

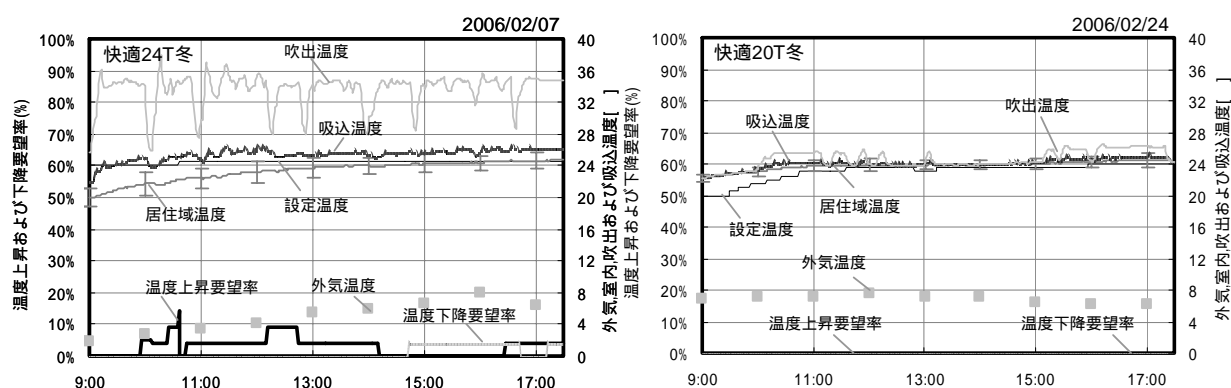


図 4.21 T ビル（冬季）ロジック適用時の温度と要望

4-2-2 居住者心理

図 4.22 に T ビルの冬季における実験終了後に実施した満足感、寒暑感に関するアンケート結果と実験期間中の居住者近傍平均温度とその標準偏差を示す。居住域温度は「快適 20T」の方が低かったにもかかわらず、両実験条件ともに不満側の申告はなく、また満足感や寒暑感の申告割合に関しても顕著な差異は確認できなかった。4-2-1 で述べたように「快適 20T」では省エネルギー効果が期待でき、さらに居住者の満足感に関して「快適 24T」との差異が確認できなかったことから、冬季では「快適 20T」のように開始温度を低く設定することで、満足感を維持しつつ省エネルギー効果が期待できると考えられる。

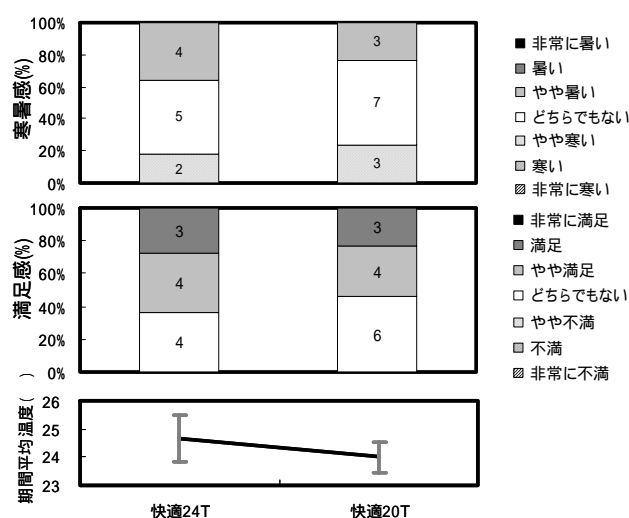


図 4.22 T ビル（冬季）実験終了時の満足感、寒暑感と期間平均温度

4-3 本節のまとめ

本節では、「暖房ロジック」を T ビルに適用し、その際の設定温度の制御結果や心理量を測定することでその有効性について検討を行った。以下に得られた知見をまとめる。

- 1) 日中に上昇する吸込温度に設定温度を追従させる「暖房ロジック」を、やや低い温度（例えば 20.0 ）から開始することで、暖房の停止時間を長く保たせ、さらに暖房を即座に開始できる状態に保持することが確認された。つまり、「暖房ロジック」を用いることで、快適性を維持した状態で、不要な暖房運転を節約することができたと言える。
- 2) また、機器発熱など日中の室温上昇とともに不満は解消され、要望はほとんど発生していなかった。

5 合意形成ロジックの特性と、その特性による空調負荷の削減効果

本章の第2節～第4節では、延べ5つのシーズンで実証実験を行い、合意形成ロジックによる快適性の向上効果と設定温度の緩和効果を確認することができた。しかしながら、その一方で同じ制御ロジック、日々のコンディションの違いによってその制御挙動が必ずしも合致しないといった傾向も見られ、その緩和効果が変動的であることも同時に認められた。これは、日常業務に従事する居住者の申告行為自体が、必ずしもその時々近傍環境だけに影響されるのではなく、非定型的な業務状況や屋外条件の変動などにも影響されていたためと考えられ、本制御システムはこうした変動に対してもダイナミックに適応していたものと考えられる。また、こうした緩和効果によって最終的に得られる空調負荷削減効果は外気状態に影響されることは周知の事実として知られている。

本節では、こうした変動が期間全体の設定温度の緩和効果に及ぼす影響を把握するため、時刻変動と日変動といった二つの時間スケールに着目して、前節までの実験結果に基づき分析、考察を進める。また、設定温度の緩和効果が実際の空調負荷削減に与えた効果についても検討を試みる。

- 1) 時刻別のコンディションの違いが合意形成ロジックによる設定温度制御に及ぼす影響
- 2) 日別のコンディションの違いが合意形成ロジックによる設定温度制御に及ぼす影響
- 3) 制御ロジックが空調負荷削減効果に及ぼす影響

5-1 時刻別コンディションの違いが合意形成による設定温度制御に及ぼす影響

5-1-1 検討概要

日中のほとんどをオフィス空間で過ごす居住者は、出勤時間、会議時間、昼食時間など常に時間スケジュールに従って行動するため、要望申告といった行為自体も時刻の影響を大きく受けると予想される。また、こうした要望申告は業務スケジュールなどの時間要因や外気条件などの環境要因だけでなく、サーカディアン・リズムなどの体内リズム等の影響も十分に考えられるが、ここでは先ず、合意形成ロジックの評価を目的として、時刻別の環境状態や申告状態が設定温度制御に及ぼす影響についての分析、考察を進める。具体的な分析方法としては、時刻別に制御結果や環境条件の整理を行い、時刻別のコンディションの違いが様々な要因が作用したその最終結果である設定温度の制御結果について分析、考察に進めた。その整理の際、散発的に発生した要望申告ではその特徴を把握することは難しいと考え、実験別、時刻別の設定温度、要望申告割合、外気温度の平均値を用いて、検討を行った。

5-1-2 検討結果

図4.23にDビル7F、1Fの「快適26」とTビル夏の「快適25」における1時間毎の要望申告割合、外気温度の平均値と標準偏差を示す。ここでの要望申告割合とは、各時刻での全在席者数に対する「上げてほしい」、「下げてほしい」の要望数の割合を示す。図4.24、図4.25では同様に、「快適28（Tビル夏では快適27）」、「省エネ26（Tビル夏では省エネ25）」における時刻別の設定温度、要望申告割合、外気温度の平均値と標準偏差を示す。図4.23より「快適26（快適25）」ではTビル夏を除いて居住者近傍温度、設定温度に大きな変化は認められなかった。Dビル7F04では、「上げてほしい」と「下げてほしい」の要望に関して、各時間帯で発生割合に大きな違いは認められなかったのに対して、Dビル7F05、Dビル1Fでは午前中で「上げてほしい」の要望が多く発生しており、午後になって減少する傾向にあった。また、Tビルでは9時に「下げてほしい」が、その後の10時に「上げてほしい」が別々の日ではあるが、それぞれの時間帯に集中的に発生し、午後になって「下げてほしい」が多く申告されていた。

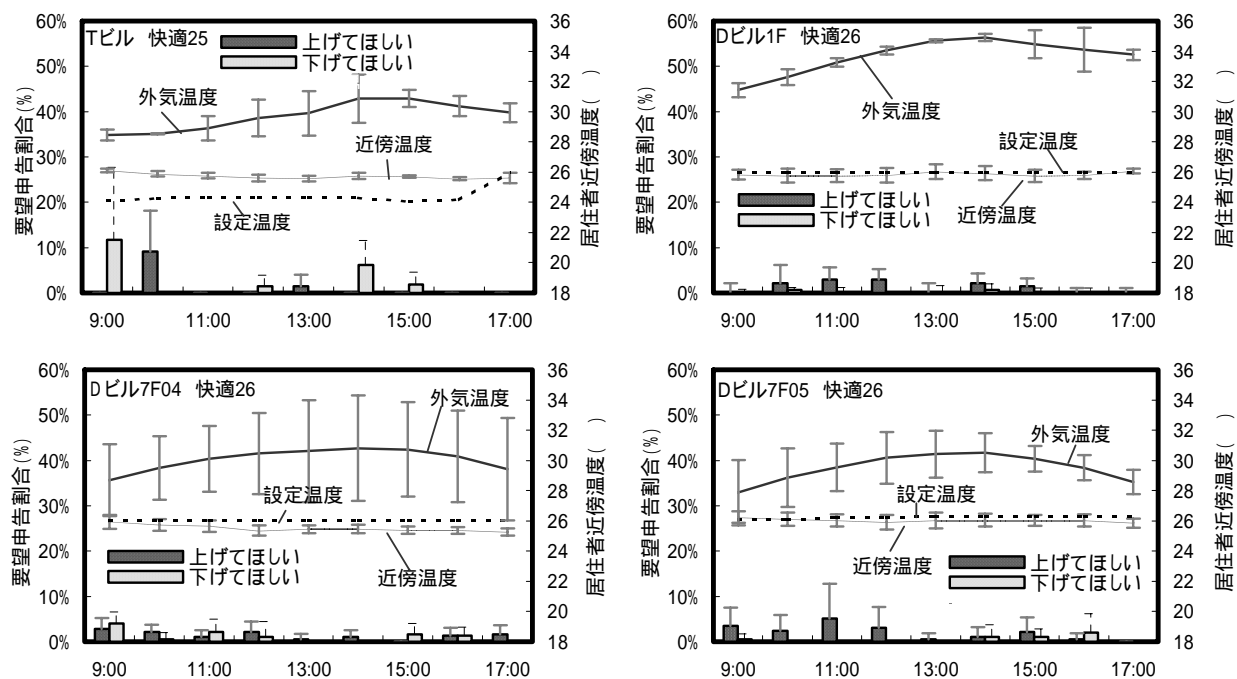


図 4.23 「快適 26 (快適 25)」における設定温度，外気温度と温度要望割合の平均値と標準偏差

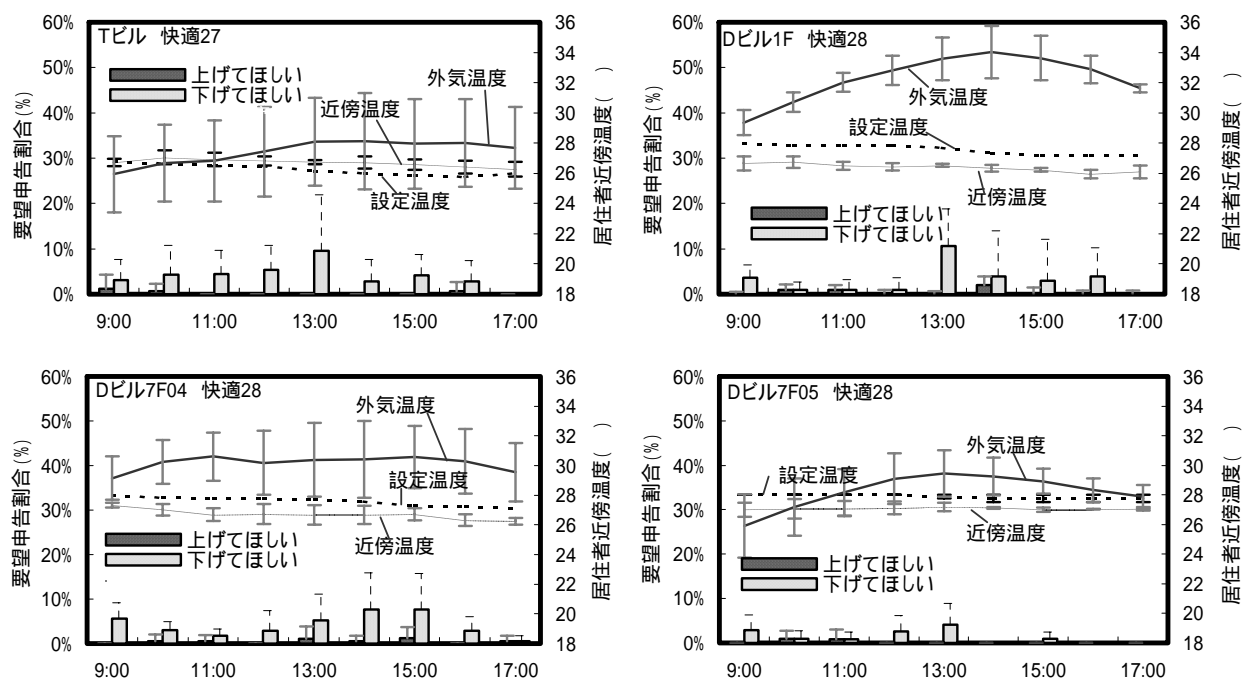


図 4.24 「快適 28 (快適 27)」における設定温度，外気温度と温度要望割合の平均値と標準偏差

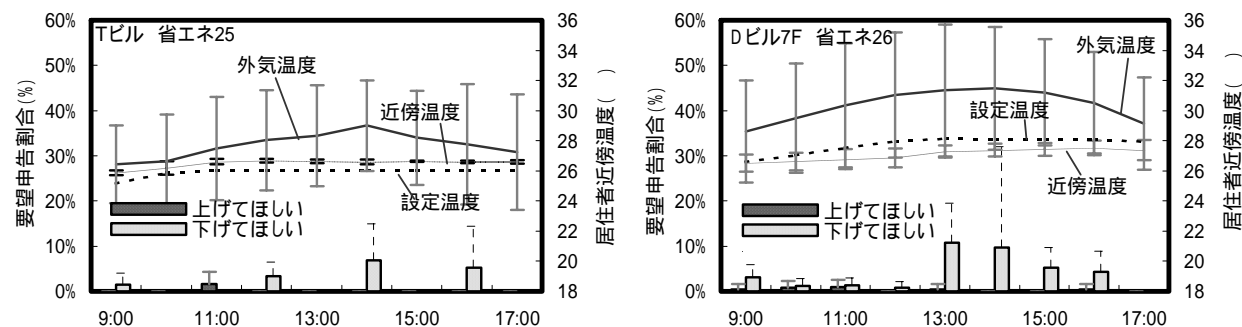


図 4.25 「省エネ 26 (省エネ 25)」における設定温度，外気温度と温度要望割合の平均値と標準偏差

図 4.24 より「快適 28」では D ビル 1F, D ビル 7F04 では, 13 時から 15 時あたりで, 「下げてほしい」の要望申告が集中して発生し, 設定温度が下がる傾向にあったことが確認できる。また, T ビル, D ビル 7F05 に関しても, 「下げてほしい」の要望申告が必ずしも午後には集中していなかったが, 13 時で「下げてほしい」の申告割合がピークになっており, それに伴って設定温度が下げる傾向にあった。これは昼食やそれに伴う室内外の移動, 外気温度の上昇に影響されて体温が上昇したためなど様々な要因が考えられるが, 今回の結果からは原因の特定までは至っていない。図 4.25 より「省エネ 26 (省エネ 25)」では, 10 時までに所定の設定温度まで高くなり, そのままで推移していたことが確認された。

以上より, ほとんどのフロアにおいて, 居住者近傍温度が約 26.0 ~ 27.0 と比較的高い場合では 13 時かその後に「下げてほしい」の申告が多く発生していたのに対して, 居住者近傍温度が約 25.0 前後と比較的低い場合では午前中に「上げてほしい」の要望申告が多く発生する傾向にあった。これらの特性によれば, 「下げてほしい」申告の少ない午前中に温度を高め設定して省エネルギーを図り, 午後前後になって発生した要望に応じて設定温度を下げる「快適 28 (快適 27)」は, 午前から午後にかけて要望申告が少なれば設定温度を上昇させる「省エネ 26 (省エネ 25)」と比較して, 快適性の面で妥当的な制御方法であったと考えられる。

図 4.26 に T ビル冬の「快適 24T」, 「快適 20T」における 1 時間毎の要望申告割合, 外気温度の平均値と標準偏差を示す。「快適 24T」では午前中に「上げてほしい」の要望が発生し, 近傍温度や外気温度が上昇した午後では「下げてほしい」の要望が発生していた。それに対して, 「快適 20T」では「快適 24T」と比較して明け方の外気温度が高かったためか, 終日, 近傍温度は 22.0 ~ 24.0 前後で推移していたにもかかわらず, 要望は発生していなかった。

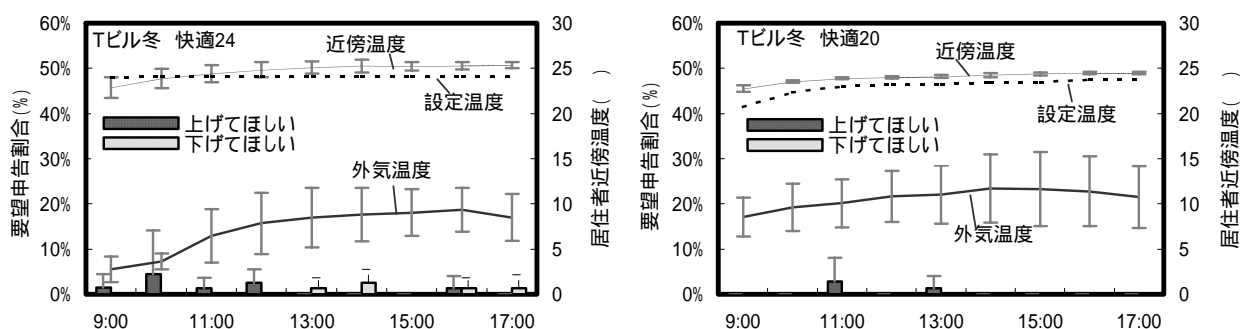


図 4.26 T ビル冬における設定温度, 外気温度と温度要望割合の平均値と標準偏差

5-2 日別コンディションの違いが合意形成ロジックによる設定温度制御に及ぼす影響

5-2-1 検討概要

毎日, 同じ設定温度で空調システムを運転させたとしても, 「暑く感じる日もあったり, 寒く感じる日もあったり」することは日常的に体験する事柄である。こうした日常的な感覚の違いを空調制御にダイナミックに適應させることが本制御システムの利点であるが, その一方で, こうした感覚の違いが期間全体の設定温度の緩和効果に必ずしも有利に働くとは限らない。

本検討では, 日別コンディションの違いに大きく影響を及ぼすと考えられる外気状態に着目し, 外気状態が設定温度の制御結果に与える影響について考察を行う。また, 現時点での外気状態が居住者の温冷感に直接的な影響を与えるとは考えにくく, 外気の暴露履歴や躯体を通じて伝熱された熱が放射熱として間接的に影響するものと考えられるため, 外気状態として日別に平均化された外気温度を用いて, 平均的な傾向を把握することとして検討を進めることとした。

5-2-2 検討結果

図 4.27 ~ 図 4.29 に夏季で各実験条件において 9 時 ~ 17 時の平均外気温（以下，日平均外気温とする）に対する設定温度と居住域近傍温度の平均値（以下，日平均設定温度，日平均近傍温度とする）の関係を示す。「快適 26（T ビル夏では快適 25）」の実験条件下では T ビル夏を除いた多くの場合で日平均設定温度は制御の開始温度 26.0 と合致しており，日平均室内温度も 26.0 前後で推移する傾向にあった（図 4.27）。また T ビル夏に関しては，日平均設定温度は開始温度より低い値で推移していたが，日平均近傍温度は設定温度に追従していなかった。

やや高めの温度条件より開始する「快適 28（T ビル夏では快適 27）」では，D ビルに関しては日平均外気温が高くなるにつれて日平均設定温度が緩やかに低くなる傾向にあり，それに連動して日平均近傍温度も低くなっていた（図 4.28）。日平均外気温 30.0 以下では「快適 26」と比較して近傍温度が 1.0 程度高いのに対して，日平均外気温が 34.0 まで高くなると温度差がほとんど認められなかった。この特性の要因を特定するところまでは至っていないが，恐らく，放射や居住者の非定常性など居住域近傍温度以外の様々な環境要因が影響して「下げてほしい」の要望申告が増加したためと考えられ，これより居住者の要望情報を空調制御にフィードバックさせる本制御システムでは，温度センサでは検知できない変動要因に対してダイナミックに設定温度を適応させていたことが認められた。また，この傾向は，通常の設定温度 26.0 が外気温 30.0 以上の酷暑期間の温熱環境に合わせて温度調整されていたことを示す一方で，従来の設定温度 26.0 一定の制御法では外気温が低くなった場合に過剰な冷房運転を行っていたことも示している。

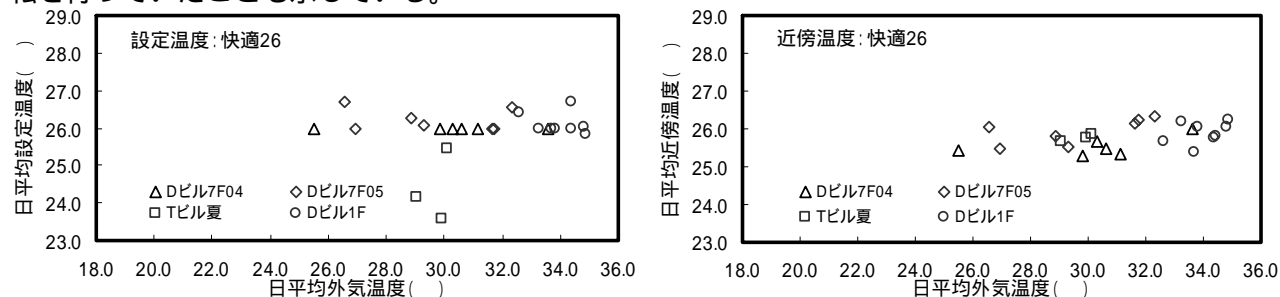


図 4.27 快適 26 における日平均外気温と設定温度及び近傍温度の関係（左側：設定温度，右側：近傍温度）

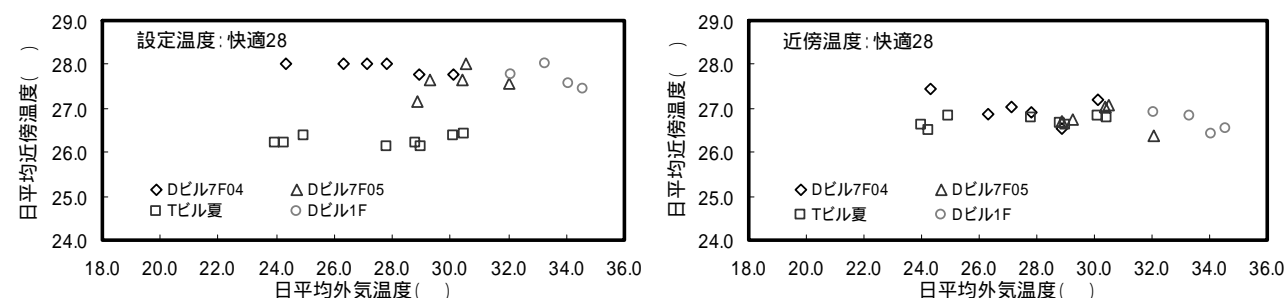


図 4.28 快適 28 における日平均外気温と設定温度及び近傍温度の関係（左側：設定温度，右側：近傍温度）

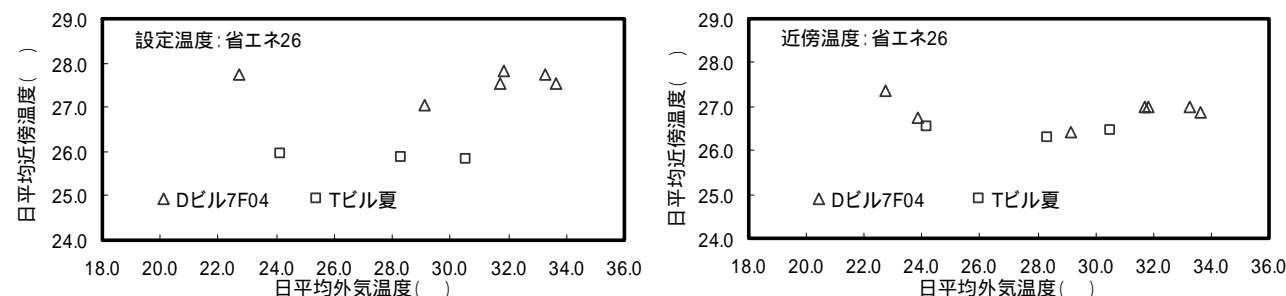


図 4.29 省エネ 26 における日平均外気温と設定温度及び近傍温度の関係（左側：設定温度，右側：近傍温度）

要望が少なければ目標温度に対して強制的に設定温度を変化させる「省エネ 26」では、日平均近傍温度と設定温度に関して日平均外気温度との相関は確認されず、平均近傍温度は 26.5 ～ 27.5 の範囲で推移していた。(図 4.29)

以上の図 4.27～図 4.29 の検討において、T ビルと D ビルでは日平均設定温度の差が 1.0 ほどあったが、日平均近傍温度に関しては概ね一致する傾向にあった。これは、居住者の要望情報を空調制御にフィードバックできる本制御システムでは、温度センサからでは判断できない居住者近傍の環境を居住者の要望情報より評価することで、T ビルと D ビルの特性差に適応していたことを示す。

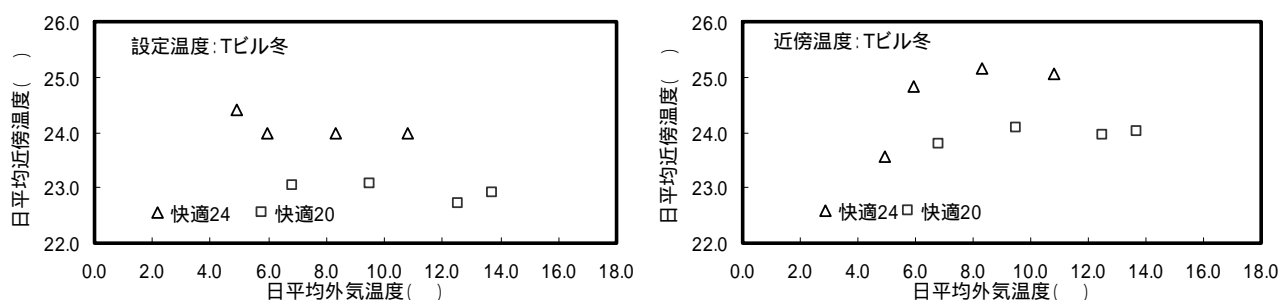


図 4.30 T ビル冬における日平均外気温度と設定温度及び近傍温度の関係(左側:設定温度,右側:近傍温度)

図 4.30 に冬季の 9 時～17 時の平均外気温度(以下、日平均外気温度とする)に対する設定温度と居住域近傍温度の平均値の関係を示す。外気温度が 6.0 以上では「快適 20」と「快適 24」では、外気温度に関係なく日平均設定温度と近傍温度はほとんど一定の傾向を示した。これより冬季では断熱性などによっても異なるが、外気温度がある程度(6.0 以上)大きい場合では外気温度の違いが設定温度の緩和効果に及ぼす影響は小さかったものと考えられる。

5-3 各種制御ロジックが空調負荷に及ぼす影響

5-3-1 検討概要

前節までの設定温度の緩和効果が空調負荷の削減効果にどのような影響を与えるかを把握するため、制御ロジック別の空調負荷の整理を進め、さらに空調負荷削減効果についての考察を行う。特に、季節変動の大きい空調システムの空調負荷は気象条件に影響されやすいため、制御システム導入による空調負荷の削減効果を評価するには、気象条件による影響を補正する必要がある。また、気象条件の補正方法として様々な方式が提案されているが、気象条件として日平均外気温度を利用した簡易的な補正方法でも、十分な相関が得られることが知られており³⁰⁾、制御システム導入前後で同一気候条件を仮定した場合の空調負荷量を予測、比較することでその負荷削減効果を評価することができる。その制御システム導入以前の空調負荷を「空調ベースライン消費量」と定義し、本検討では、空調ベースライン消費量に着目して、以下の手順で空調負荷量データの解析、考察を進める。

- 1)各種制御ロジックにおける空調負荷特性
- 2)空調ベースライン消費量設定のための外気温度と空調負荷の関係
- 3)2)の特性式に基づいて外気温度補正された制御ロジックごとの空調負荷削減効果

5-3-2 各種制御ロジックにおける空調負荷特性

合意形成ロジックによる設定温度の緩和効果が空調処理熱量や空調消費電力量に及ぼす影響について検討を行う。図 4.31 に実験対象期間に対する平均空調処理熱量および空調消費電力量の時間的推移を示す。ここでの空調消費電力量とは室内機、室外機、外調機の消費電力の総和を指す。D ビル 7F04 において、9 時ではやや高い温度で開始した「快適 28」の処理熱量は比較的小さかったが、10 時になると設定温度を積極的に緩和させる「省エネ 26」の方が、空調処理熱量が小さくなり、そのまま推移する傾向にあった。この結果は、概ね設定温度の挙動と合致する傾向にあった。D ビル 7F05 においても同様の傾向が見られ、設定温度の緩和効果が高かった「快適 28」では「快適 26」に比べて空調処理熱量が小さかった。T ビル夏も D ビル 7F04 と同様の結果が得られており、9 時、10 時では「快適 27」の方が消費電力量は小さかったが、11 時以降では「省エネ 25」の方が小さくなっていた。また T ビル冬に関して、終日、「快適 20」の方が「快適 24」より消費電力量が小さい傾向を示し、空調消費電力量の削減効果が認められた。ここでは示していないが、「快適 20」の午後には室内機と室外機が停止しており、図に示す消費電力としてほとんど外調機だけの消費電力量だけになっていた。

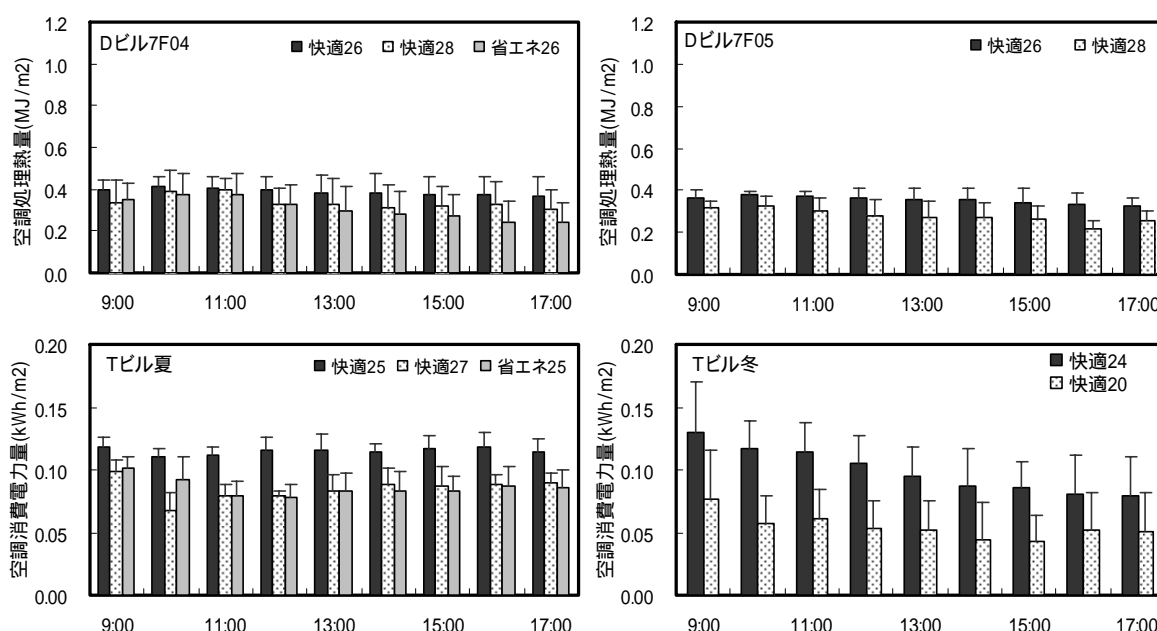


図 4.31 各制御条件における冷水処理熱量および空調消費電力量
(左上：D ビル 7F04，右上：D ビル 7F05，左下：T ビル夏，右下：T ビル冬)

5-3-3 空調ベースライン消費量設定のための外気温度と空調負荷の関係

図 4.32～図 4.33 に各実験条件において 9 時～17 時の日平均外気温度に対する床面積あたりの積算空調処理熱量または積算空調消費電力量（以下、日積算空調処理熱量、日積算空調消費電力量）の関係を示す。図中の太線は本制御システム導入以前の積算空調処理熱量と日平均外気温度の回帰式を表し、図中のそれ以外の線は制御システム導入以降の回帰式を表す。表 4.6 に制御システム導入以前の日積算空調処理熱量と日平均外気温度との回帰式とその決定係数を示す。

図 4.32～図 4.33 表 4.6 より制御システム導入以前の日積算空調処理熱量や日積算空調消費電力量は、日平均外気温度と高い相関関係にあり、これらの特性を利用することで気象条件を補正した空調負荷削減効果を算出できることが確認された。また、表 4.5 に示した回帰式を本制御システム導入以前の空調

ベースライン消費量の予測式として設定した。

Dビルにおいて「快適 28」の空調負荷の回帰直線は外気温 33.0 前後で「快適 26」での空調負荷と交差した（図 4.32）。これは本節の図 4.27，図 4.28 の日平均外気温と日平均近傍温度の関係と合致している。Tビルにおける「快適 25」の結果に関して，同様の傾向が確認できなかった。また，この原因についても現段階では特定できていない。しかし，「省エネ 26」や「省エネ 25」の実験結果から得られる回帰式は，制御システム導入以前の回帰直線とほぼ平行しており，これは本節 2-2 の結果と同様，外気温と関係なく空調負荷削減効果が得られていたことを示している。

また，図 4.33 より冬季に関して夏季と同様，制御の開始温度を変更することで，空調消費電力量の削減効果が期待できることが確認された。

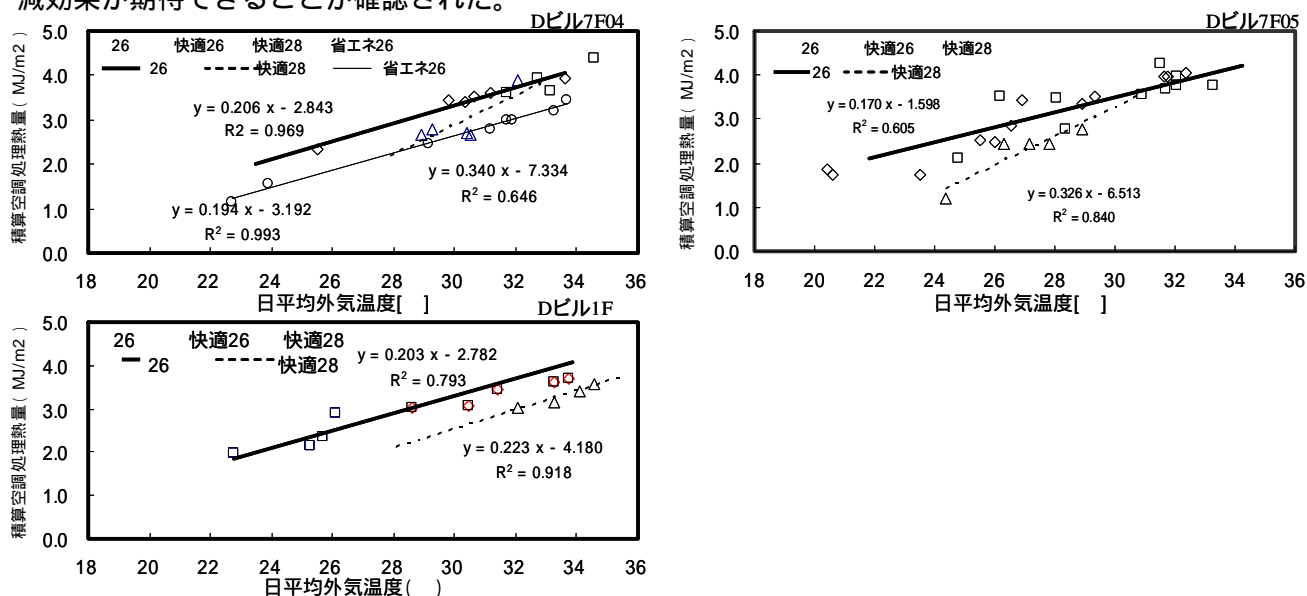


図 4.32 Dビルにおける日平均外気温と冷水処理熱量の関係
(左上：Dビル7F04，右上：Dビル7F05，左下：Dビル1F)

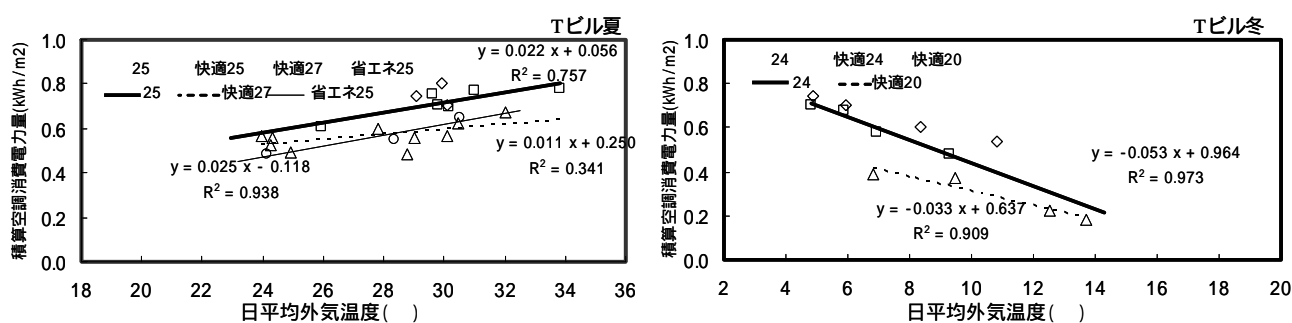


図 4.33 Tビルにおける日平均外気温と空調消費電力量の関係(左側：冷房，右側：暖房)

表 4.6 各実験下におけるベースライン予測式

| 実験条件 | 回帰式 | 決定係数 |
|---------|------------------------|-------|
| Dビル7F04 | $y = 0.206x - 2.843$ | 0.942 |
| Dビル7F05 | $y = 0.170x - 1.60$ | 0.778 |
| Dビル1F | $y = 0.158x - 1.60$ | 0.958 |
| Tビル夏 | $y = 0.0220x + 0.0558$ | 0.870 |
| Tビル冬 | $y = -0.0530x + 0.964$ | 0.930 |

5-3-4 空調負荷削減効果の算定

5-3-3 より得られた空調ベースライン消費量の予測式や各実験条件での回帰式を用いることで気象条件を補正した，制御システムを導入する以前と各実験条件での期間積算空調処理熱量，空調消費電力量を計算し，各実験条件における空調処理熱量と空調消費電力量の削減効果を試算した。気象条件としては HASP の大阪標準気象データを利用した。以下にその算出手順を示す。

手順 1：

HASP の大阪標準気象データから，夏季 7 月～9 月，冬期 1 月～2 月の 9 時～17 時の平均外気温度を求める。図 4.34 にその出現頻度分布を示す。

手順 2：

各実験条件と空調ベースライン予測式に手順 1 で求めた日平均外気温度を代入し，各実験条件もしくは制御システム導入以前の日積算冷水処理熱量（日積算空調消費電力量）を算出する。

手順 3：

手順 2 の処理を夏季では 7 月～9 月，冬期では 1 月～2 月の平日すべての日で行い，各実験条件と，空調ベースライン消費量となる日積算冷水処理熱量（日積算空調消費電力量）を期間すべてで算出し，期間の全日分を足し合わせる。

手順 4：

手順 3 で求めた各実験条件と，空調ベースライン消費量となる期間積算冷水処理熱量，空調消費電力量を用いて，制御システム導入以前に対する各実験条件での省エネルギー効果を算出する。その効果を表 4.7 に示す。

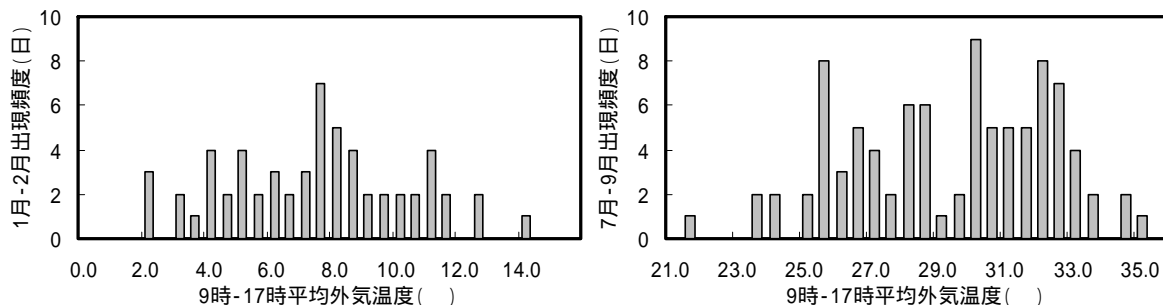


図 4.34 大阪標準気象データにおける期間の日平均外気温度の出現グラフ

（左側：1 月～2 月，右側：7 月～9 月）

表 4.7 より制御システム導入以前の設定温度一定の制御法と比較して 10%～30%の空調処理熱量または空調消費電力量の削減効果を得られた。最も大きな効果を得られたのは，T ビル冬の「快適 20」の実験条件で，31.4%の削減効果が示された。効果が比較的小さかったのが D ビル 7F04, D ビル 7F05 の「快適 28」で 12.0%～13.7%であった。D ビル 1F の「快適 28」で比較的に効果が大きく 30%以上の削減効果を得られた。これは，空調負荷の算出する過程で推定が多く含まれており，誤差が大きかったためとも考えられ，本検討ではデータとして比較的，信頼性の高い D ビル 7F の結果を重視することにした。また強制的に設定温度を緩和する D ビル 7F04 の「省エネ 26」では 25.4%と高い効果を示した。T ビル夏では，D ビル 04 と比較して，「省エネ 25」の効果が「快適 27」より低い傾向を示したが，これは，T ビル夏の「省エネ 25」では，設定温度の上昇を 26.0 までしか許可しておらず，事実上，1.0 程度しか設定温度が緩和されていなかったためと考えられる。

表 4.7 天候補正後の各実験の空調負荷削減効果

| 実験名称 | Dビル7F04 | | | Dビル7F05 | | Dビル1F | | Tビル夏 | | | Tビル冬 | |
|-------------------------------------|---------|-------|-------|---------|-------|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|
| | 26 | 快適28 | 省エネ26 | 26 | 快適28 | 26 | 快適28 | 25 | 快適27 | 省エネ25 | 24 | 快適20 |
| 空調処理熱量(MJ/m2)または 空調消費電力量(kWh/m2) | 292.7 | 252.5 | 228.5 | 310.4 | 273.1 | 290.2 | 215.4 | 64.3 | 52.6 | 56.4 | 34.2 | 23.5 |
| 空調負荷削減率(%) | | 13.7% | 25.4% | | 12.0% | | 25.8% | | 18.3% | 15.1% | | 31.4% |

5-4 考察

以上の検討より、各種の合意形成ロジックが居住者の快適性向上や空調負荷削減に有効的であることを示した。ここでは、合意形成ロジックの空調負荷削減効果と満足感向上の効果とそれに関する特徴を、実際のオフィスに適用する際の運転条件ごとにまとめ、以下の条件での適用条件について考察を試みる。

- 1) 冷房時に省エネルギーを優先する場合
- 2) 冷房時に快適性を優先する場合
- 3) 暖房時に省エネルギーを優先する場合

冷房時に省エネルギーを優先する場合

本章の中で冷房の省エネルギーを目的とする制御方法として、開始温度を高く(+2.0)して「快適優先ロジック」を適用する方法と、「省エネ優先ロジック」を利用する方法を提案、実験を行い、その中で得られた効果についてまとめたのが表 4.8 である。空調負荷削減効果については、D ビル 7F04, 05, T ビルの結果をまとめたものを示すのに対して、不満率についてはT ビルの実験終了後のアンケート結果のみをまとめたものを示す。制御ロジックごとの快適性向上を比較する場合、同じ居住者を対象に比較検討する方が妥当な結果が得られると考え、すべての実験条件での検討結果を有する T ビルを検討の対象とした。また、ここでの不満率は、実験終了後のアンケート回答数に対しての、「やや不満」、「不満」、「非常に不満」と回答した居住者の合計値の割合を指す。表 4.8 に示すように「快適 28(T ビルでは快適 27)」と「省エネ 26(T ビルでは省エネ 25)」では、「快適 28」の方が実験終了後に不満と回答する居住者は少ない傾向にあった。この効果の違いに関して、本章第 2 節の図 4.13 に示したように、居住者の要望に対する近傍環境の変化が影響していたためである。一方で、空調負荷削減効果に関しては「省エネ 26」の方が高い傾向が認められた。これは、図 4.29、図 4.30 に示したように、日平均外気温が高くなるに従い、「快適 28」の設定温度の緩和効果が「省エネ 26」に比べて小さくなっていたことが要因しており、その同様の傾向は図 4.31 の日平均外気温と空調処理熱量の関係からも確認された。

以上より冷房の省エネルギーを目的とする場合において、省エネルギーを最優先する場合では、「省エネ優先ロジック」が有効的であり、省エネルギー性と快適性のバランスを図る場合には開始温度をやや高くして適用した「快適優先ロジック」が有効的であると言える。

表 4.8 冷房の省エネルギーを優先する運転での冷房負荷(電力消費量)削減効果と不満率

| | 快適28(27) | 省エネ26(25) |
|--------------------|------------------|---------------|
| 空調負荷(電力消費量)削減効果(%) | 12.0% ~ 18.3% | 15.1% ~ 25.4% |
| 不満率(%) | 9% | 33% |
| 空調負荷データ | Tビル, Dビル7F04, 05 | Tビル, Dビル7F05 |
| 不満率のデータ内容 | Tビル夏:n=21人 | Tビル夏:n=21人 |

冷房時に快適性を優先する場合

本章の中で冷房時の快適性を優先する制御方法として、「快適優先ロジック」、「女性優先ロジック」の提案、実験を行い、その中で得られた効果についてまとめたのが表 4.9 である。また、参考値として省エネルギーを目的とした実験条件である「快適 28」の結果についても併せて示す。不満率については、図 4.15 の D ビル 1F を代表フロアとし、実験終了後のアンケート結果をまとめたものを示した。

「快適 26」で不満率が最も高くその多くは女性であった。その一方で「快適 28」では男性の不満率が比較的、高い傾向を示した。「女性優先」によって女性の不満割合は減少傾向にあり、その一方で男性の不満申告はほとんど変動していなかった。これは、女性の要望を優先することで行われた上昇制御が 0.5 ~ 1.0 程度であり、この程度の変化に対して男性が不満を覚えなかったためと考えられる。

以上より冷房時の快適を優先、例えば、居住者全体の不満率を低減するためには、男性の多いフロアでは開始温度を低めに、女性が多いフロアで高めに設定して、「快適優先ロジック」を適用するのが有効的である。また、女性の快適性を男性に比べて優先しつつも、居住者全体のバランスを保持する場合では、開始温度を単純に高めに設定するのではなく、「女性優先ロジック」を適用する方が有効的である。

表 4.9 冷房時の快適性を重視する運転時の不満率

| | 快適26 | 女性優先 | 快適28 |
|-----------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| 不満率(%) | 41% (男性:25%, 女性:52%) | 27% (男性:23%, 女性:30%) | 31% (男性:44%, 女性:22%) |
| 不満率のデータ内容 | Dビル1F:n=37人 (男性:16人, 女性:21人) | Dビル1F:n=33人 (男性:13人, 女性:20人) | Dビル1F:n=39人 (男性:16人, 女性:23人) |

暖房時に省エネルギーを優先する場合

本章の中で冷房の省エネルギーを目的とする制御方法として、開始温度を低く(-4.0)して「暖房ロジック」を適用する方法を提案、実証実験を行い、その中で得られた効果についてまとめたのが表 4.10 である。開始温度を低くした「快適 20」を適用した場合でさえも実験時の終了アンケートで不満と申告した居住者は一人もおらず、さらに開始温度を低く設定することで本検討以上の省エネルギーが可能といえる。

以上より冷暖運転が併用できない空調システムにおいて、「暖房ロジック」は省エネルギー性と快適性の両方の面で有効的であり、さらに開始温度を低く設定することで本検討以上の省エネルギー効果が期待できる。

表 4.10 暖房負荷削減効果と不満率

| | 快適24 | 快適20 |
|------------------------|------------|------------|
| 空調負荷(電力消費量) 削減効果(%) | - | 31.4% |
| 不満率(%) | 0% | 0% |
| 空調負荷データ | Tビル | Tビル |
| 不満率のデータ内容 | Tビル冬:n=11人 | Tビル冬:n=13人 |

5-5 本節のまとめ

第2節～第4節の検討の中で合意形成ロジックが設定温度緩和に効果的であるものの、それが変動的であり、その特性とその期間全体での効果が不明確であったため、本節ではマクロ的な視座より合意形成された温熱環境に関する特性、設定温度の緩和効果とそれに伴う空調負荷削減効果について考察を試み、さらに合意形成ロジックを適用する際の状況別にその効果をまとめ、考察を試みた。

1)時刻別コンディションの違いが設定温度制御に及ぼす影響の検討

時刻別に、実験条件別に平均化した設定温度、要望申告割合、外気温度を整理してみたところ、夏季では「下げてほしい」の要望については13時～15時にその発生割合の最大値が出現しており、「上げてほしい」の要望については10時～11時にその発生割合が大きくなる傾向が見られた。この特性に従い、「快適28」では午前中に設定温度が緩和され、午後に設定温度が下降する傾向にあった。また、冬季では躯体の冷えた明け方において、「上げてほしい」の要望が多く発生していたが、日中になると不満が解消され、ほとんど要望が発生していなかった。

2)日別コンディションの違いが設定温度制御に及ぼす影響の検討

日別コンディションの違いとして、「日平均外気温度」に着目し、実験別に日平均外気温度と日平均近傍温度の関係について検討を行った結果、「快適26」、「省エネ26」では外気温度に対する近傍温度の変化は認められなかったが、「快適28」では緩やかであるが負の相関関係が認められた。こうした特性より、「快適28」では日平均外気温度が高い場合で設定温度の緩和効果が小さくなり、外気温度が低い場合では設定温度の緩和効果が大きくなることが明らかになった。

3)制御ロジックの空調負荷削減効果

実験別に日平均外気温度と日積算空調負荷の関係式を作成し、その関係式に対して標準気象データを当てはめることで、気象条件の影響を補正した期間積算空調負荷の推定を試みた。この結果によれば、通常の設定温度条件での運転に対して、「省エネ26」で15.1%～25.4%、「快適28」で12.0%～18.3%、「快適20」で31.4%の空調負荷の削減効果が得られた。

4)実オフィスへの適用に際しての運転条件の整理

冷房時に省エネルギーを優先する場合

冷房時に省エネルギーを最優先する場合では、「省エネロジック」が有効的であり、快適性とのバランスを維持する場合には開始温度をやや高めにした「快適優先ロジック」が有効的である。

冷房時に快適性を優先する場合

居住者全体の不満率を低減するためには、男性の多いフロアでは開始温度を低めに、女性が多いフロアで高めに設定して、「快適優先ロジック」を適用するのが有効的である。女性の快適性を男性に比べて優先しつつも、居住者全体のバランスを保持するには「女性優先ロジック」が有効的である。

暖房時に省エネルギーを優先する場合

冷暖運転が併用できない空調システムでは、「暖房ロジック」は省エネルギー性と快適性の両方の面で有効的である。

6 小括

本章では、居住者の要望情報に基づいて設定温度を決定する合意形成ロジックについて、幾つかの制御ロジック（快適優先ロジック，省エネ優先ロジック，女性優先ロジック，暖房ロジック）を開発、実際のオフィスビルに適用を行い、その際の設定温度の制御結果と居住者の満足感に基づいて、空調負荷削減効果や居住者の快適性向上効果について検討を行った。また、実際の建物に合意形成ロジックを適用することを想定し、その状況別に効果をまとめ、制御ロジックの適用方法についても検討を行った。以下に得られた知見についてまとめる。

1) 各種制御ロジックの特徴

快適優先ロジック

通常温度より開始した場合（以下、「快適 26」）では、要望の申告自体が非常に少なく、さらに「上げてほしい」と「下げてほしい」の要望が混在して発生していたため、ほとんどの場合で設定温度の制御は行われることはなかった。たとえ、制御が行われたとしても、設定温度が上下の特定方向に偏って制御されることは稀であった。

やや高い温度（以下、「快適 28」）より開始した場合、基準温度に対する設定温度の緩和効果が期待でき、さらに居住者の要望を温熱環境に反映させることができるため満足度が高い結果となった。また、外気補正を行った上での空調負荷削減効果として、通常の設定温度条件での運転に対して、7月～9月の冷房期間全体で 12.0%～18.3%が期待できる。

省エネ優先ロジック

「省エネ優先ロジック」を適用した場合（以下、「省エネ 26」）、設定温度の緩和による省エネルギー効果が期待できるが、要望に対する温熱環境の変化が乏しいため居住者は不満を感じる傾向が認められた。7月～9月の冷房期間全体で 15.1%～25.4%が期待できる。

女性優先ロジック

女性の要望を優先することによって、女性の要望が比較的、温熱環境に反映されるようになり、その結果、温熱環境に対する不満の減少が認められた。この場合で男性の満足感に顕著な違いは認められず、今回の検討では男性の不満感の上昇は確認できなかった。

暖房ロジック

日中に上昇する吸込温度に設定温度を追従させる「暖房ロジック」を、やや低い温度（例えば 20.0 ）

から開始することで、暖房の停止時間を長く保たせ、さらに暖房を即座に開始できる状態に保持できることが確認された。つまり、「暖房ロジック」を用いることで、快適性を維持した状態で、不要な暖房運転を節約することができた。1月～2月の暖房期間全体で31.4%が期待できる。

2) 各種要因が設定温度の制御に及ぼす影響

男女構成割合

近傍温度と要望申告発生割合の関係について、「下げてほしい」の要望申告に関しては、男女間で顕著な違いは確認されなかったが、「上げてほしい」の要望申告に関しては、やや低めの温度帯（近傍温度25.0 付近）で女性の要望申告割合が比較的高い傾向が確認された。

こうした男女間の特性の違いより、男女構成比によっては合意形成ロジックによる上昇制御の傾向が異なる可能性が示された。

時刻別コンディション

夏季では「下げてほしい」の要望については13時～15時にその発生割合の最大値が出現しており、「上げてほしい」の要望については10時～11時にその発生割合が大きくなる傾向が見られ、その申告と連動して設定温度が制御されていた。

冬季では躯体の冷えた明け方において、「上げてほしい」の要望が多く発生していたが、日中になると不満が解消され、ほとんど要望が発生していなかった。

日別コンディション

日別コンディションの違いとして、「日平均外気温度」に着目し検討を行った結果、「快適26」、「省エネ26」では外気温度に対する近傍温度の変化は認められなかったが、「快適28」では緩やかであるが負の相関関係が認められた。こうした特性より、「快適28」では日平均外気温度が高い場合で設定温度の緩和効果が小さくなり、外気温度が低い場合では設定温度の緩和効果が大きくなることが明らかになった。

3) 実オフィスへの適用に際しての運転条件

冷房時に省エネルギーを優先する場合

冷房時に省エネルギーを最優先する場合では、「省エネロジック」が有効的であり、快適性とのバランスを維持する場合では開始温度をやや高めにした「快適優先ロジック」が有効的である。

冷房時に快適性を優先する場合

居住者全体の不満率を低減するためには、男性の多いフロアでは開始温度を低めに、女性が多いフロアで高めに設定して、「快適優先ロジック」を適用するのが有効的である。女性の快適性を男性に比べて優先しつつも、居住者全体のバランスを保持するには「女性優先ロジック」が有効的である。

暖房時に省エネルギーを優先する場合

冷暖運転が併用できない空調システムでは、「暖房ロジック」は省エネルギー性と快適性の両方の面で有効的である。

第5章 制御システムにおける居住者評価

1 はじめに

前章では、種々の合意形成ロジックを開発し、実際のオフィスビルに適用することで、居住者の快適性や設定温度の緩和に効果的であることを示した。ところが、こうした居住者の参加をトリガーとする制御システムに関して言えば、居住者が空調制御に参加し、合意形成がなされてはじめて、その本来の機能が発揮されるため、制御システムの窓口に対応するユーザーインターフェイスもまた、制御ロジックと同様、極めて重要な機能と位置づけられる。また、前章の検討の中で、居住者の参加状況（申告状況）はユーザーインターフェイスの他、外気条件、居住者属性など様々な条件によって異なる傾向が見られ、こうした特性による影響の違いを整理しておくことは、制御システムの挙動を予測するのに役立つと考えられる。

そこで、本章では空調制御の参加や情報フィードバックを実現するユーザーインターフェイスとその他の各種要因が、居住者の空調制御への参加意識や合意形成に与える影響を把握することを目的とし、居住者の申告状況と制御システムに対する心理反応の調査を試みる。以下にその調査ポイントを示す。

- 1) 空調制御への参加可能な環境に対する居住者の利便性とその参加状況
- 2) ユーザーインターフェイス以外の各種条件が1)の参加状況に及ぼす影響
- 3) 「情報フィードバック」が居住者間の合意性や運転状態に対する納得感に及ぼす影響

2 空調制御への参加可能な環境に対する居住者の利便性とその参加状況

居住者の空調制御への参加を認められなかった従来の制御システムに対して、本制御システムでは、各個人の PC から手軽に要望を申告でき、合意形成によって身の回り温熱環境を変更させることができるため、利便性の向上が期待できる。ところが、空調制御への参加（申告）行為自体に負担が大きいと、業務に悪影響を及ぼしてしまい、反って、その利便性を失いかねない。そのため要望申告画面は居住者の業務への負担など十分に配慮されて、設計されなければならない。図 5.1、図 5.2 に本研究の中で開発した要望申告画面を示す。実証実験では、タスクバー上に要望申告画面用のアイコンを配置させ、要望申告の一連の操作を単純化した方法（以下、アイコン型とする。図 5.1）と、操作性は前者に比べて劣るが標準的な Web ブラウザを活用することで制御システムの汎用性を高めた方法（以下、Web 型とする。図 5.2）を用いた。図 5.1 に示す個人のパソコンにあるタスクバー上に配置されたアイコンは、左図のように個人の要望申告状態に応じて変化し、直感的に個人の申告状態を理解させるものとなっている。例えば、「上げてほしい」と申告を行い、サーバー内で「上げてほしい」といった要望状態に保持されている間はアイコンが の状態で表示されている。図 5.2 に示す標準的な Web 技術を用いた画面では、図 5.1 の申告画面よりアイコンで要望状態を表示できないなど操作性の面で機能の制限を受けることになるが、あらゆるネットワーク環境においてセキュアな環境を提供することが可能となり、制御システム

の汎用性を高めることができる。また、操作性に関して前者の方法ではアイコンクリックによって「要望申告画面の起動」、「要望項目の選択」、「送信」と3つの動作で済むのに対して、後者の方法では、「Webブラウザ起動」、「お気に入り選択」、「要望項目の選択」、「送信」と4つの動作が必要となる。

以上より、本節では以下の点を中心に調査を行い、居住者の参加状況とそれに関わる特性について検討を行う。

- 1) 空調制御への参加可能な環境に対する利便性
- 2) 本制御システムの参加状況（要望申告状況）とその特性
- 3) 申告方法が業務に与える影響

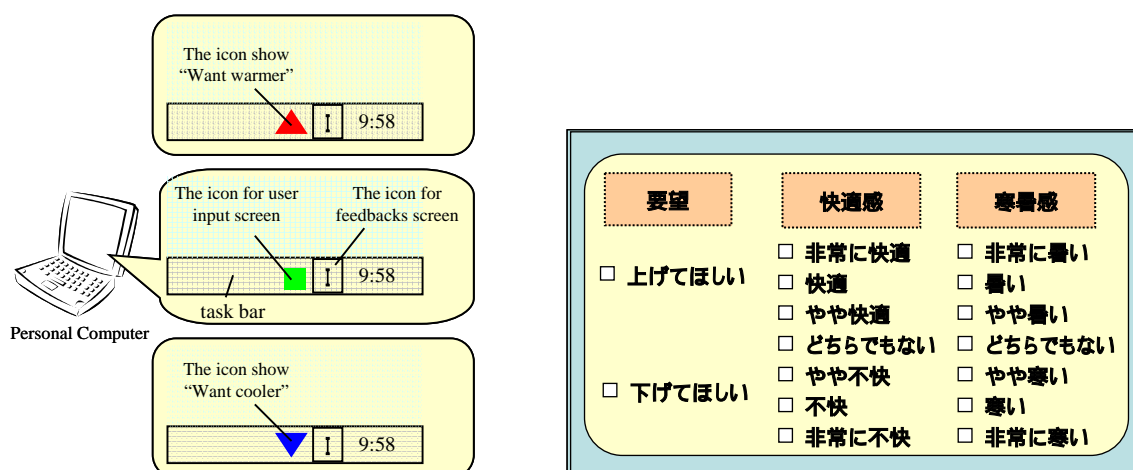


図 5.1 アイコン型要望申告画面

（左側：タスクバー上に配置された起動用アイコン，右側：要望申告画面）

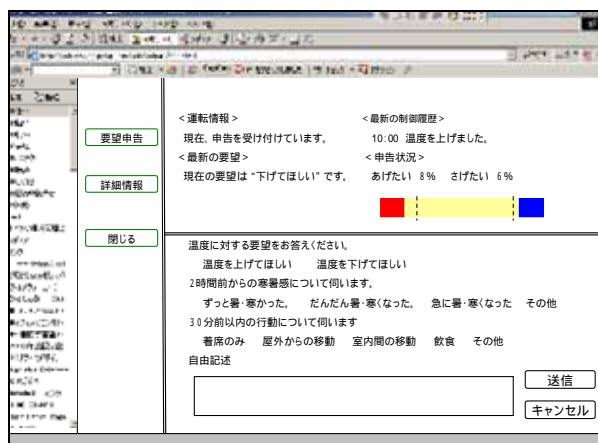


図 5.2 Web 型要望申告画面

2-1 調査概要

調査は、第4章で実験を実施したDビル7F(04年と05年)、Tビル(夏と冬)、Dビル1Fの実験条件を対象に、それぞれの実験期間の終了後に行われたペーパーアンケートの調査結果と、サーバーに格納される居住者の申告履歴に基づいて行われた。アンケート調査ではそれぞれの実験期間終了後に、アンケート用紙を配布し、1週間ほどで回答してもらった。実験はアイコン型をDビル7Fの04年と05年、Tビルの夏と冬に適用し、Web型をDビル1Fに適用して行われた。

2-2 調査項目および対象フロア

アンケート調査項目を表5.1、要望申告に関する履歴情報および測定項目を表5.2に示す。アンケート調査項目としては、「制御システムの有効性」、「申告方法が業務に及ぼした影響」、「申告タイミング」の3項目を中心に検討を行った。表5.2の各種制御履歴に関してサーバーで演算した制御結果をデータベースに記憶させて収集を行い、温熱環境測定に関して第2章の図2.23～図2.25に示す温湿度計を用いて収集を行った。表5.3に各対象フロアにおけるアンケート時期と回答数を示す。回答率に関して約40%～90%と通常のアンケート調査に比べて低くはなかったが、Tビル冬では対象人数が少なかったため10名ほどしか回答が得られなかった。このためアンケート評価に関して、基本的にTビル冬を除いたDビル7F、Tビル夏、Dビル1Fを中心に行うこととした。

表 5.1 アンケート調査項目

| 項目 | アンケート詳細 | Dビル7F04 | Dビル7F05 | Tビル夏 | Tビル冬 | Dビル1F |
|---------|----------------------|---------|---------|------|------|-------|
| 有効性 | 制御システムの有効性 | | | | | |
| 業務への影響 | 申告方法が業務へ及ぼす影響 | | | | | |
| 申告タイミング | 寒暑感を覚えたときに必ず申告していたか？ | | × | × | | |

表 5.2 要望申告に関する履歴情報および測定項目

| 測定項目 | 測定周期 | 備考 |
|---------|---------|----------------------------------|
| 要望申告履歴 | 1分 | 「上げてほしい」、「下げてほしい」 個人識別番号、申告日時 |
| 居住者近傍温度 | 1分 | 図2.23～2.25に示す温度計測点 |
| 在室時間 | 1時間～2時間 | 在室状態、個人識別番号、日時 |
| 設定温度 | 1分 | 設定温度、空調識別番号、日時 |

表 5.3 アンケート時期と回答数

| 対象フロア | 調査期間 | 対象人数 | 回答者数 | 回答率 |
|---------|------------|------|------|-----|
| Dビル7F04 | 2004年10月中旬 | 46名 | 24 | 52% |
| Dビル7F05 | 2005年10月中旬 | 40名 | 22 | 55% |
| Tビル夏 | 2005年9月中旬 | 23名 | 19 | 83% |
| Tビル冬 | 2006年2月下旬 | 23名 | 10 | 43% |
| Dビル1F | 2006年9月中旬 | 37名 | 34 | 92% |

2-3 結果

2-3-1 空調制御への参加可能な環境に対する利便性

空調制御への参加可能な環境に対する利便性について調査するため、本制御システムに対する有効性を実験条件別にまとめたのが図 5.3 である。図 5.3 より「有効でなかった」といった消極的な回答はほとんどなく、D ビル 1F ではほぼ全員の居住者が「有効だった」と回答し、T ビル、D ビル 7F04、05 では約 60%の居住者が「有効だった」と回答していた。次に D ビル 1F06 以外で「分からない」といった回答割合が高かった原因を把握するため、「有効だった」と回答した居住者と、「分からなかった」や「有効でなかった」と回答した居住者それぞれで、実験期間通じての総要望数に対する採用された要望数の割合（以下、要望採用率とする）を求めたのが図 5.4 である。図 5.4 より対象フロアにおいて、制御システムを「有効だった」と回答した居住者の要望採用率は「分からなかった」や「有効でなかった」と回答した居住者の要望採用率より高い傾向にあった。これは、第 4 章でも述べたように、居住者の要望に基づいた設定温度の変更が居住者の満足感を向上させ、結果として、有効性の実感につながったためと考えられる。

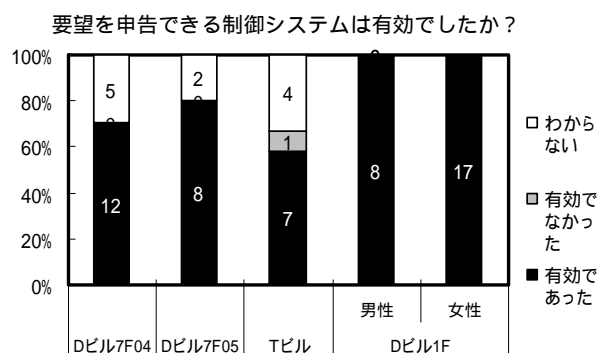


図 5.3 対象フロア別の本制御システムの有効性

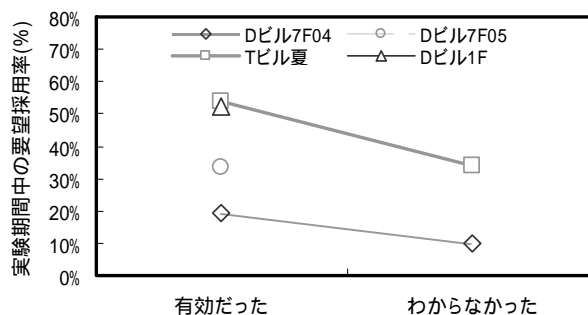


図 5.4 「有効」、「有効でなかった（わからなかった）」と回答した居住者の要望採用率

2-3-2 居住者の空調制御への参加状況

居住者の申告状況を把握するため、居住者の要望申告割合別の度数分布を作成したのが図 5.5 である。ここでの要望申告発生割合は、要望申告の発生した時間数を全在室時間数で除することによって算出されたものであり、単位時間当たりにおける申告割合を表す。この割合では近傍温度の影響を考慮せずに、全室時間に対する要望の発生割合にだけに着目して検討を行った。図 5.5 より要望申告発生割合が高くなるに従いその度数は減少する傾向にあった。また、申告を行わなかった居住者の割合は全体の 25%、また要望申告発生割合 3% 以下では居住者全体の約 50% に及んでいた。この 3% の割合とは近傍温度状態によっても異なるが、1 日 8 時間労働の居住者であれば、 $8 \text{ 時間} / \text{日} \times 3\% = 0.24 \text{ 回} / \text{日}$ よりおよそ 4 日間で 1 回申告する程度に相当した。これより、空調制御に参加可能な制御システムにおいて、居住者のほとんどは 1 週間の中で「暑い」「寒い」と感じたときに必要に応じて要望を申告する程度のものであることが明らかになった。その一方で、要望申告発生割合が 10% を超える (0.8 回 / 日を超える) ヘビーユーザーも存在していたことが明らかになった。

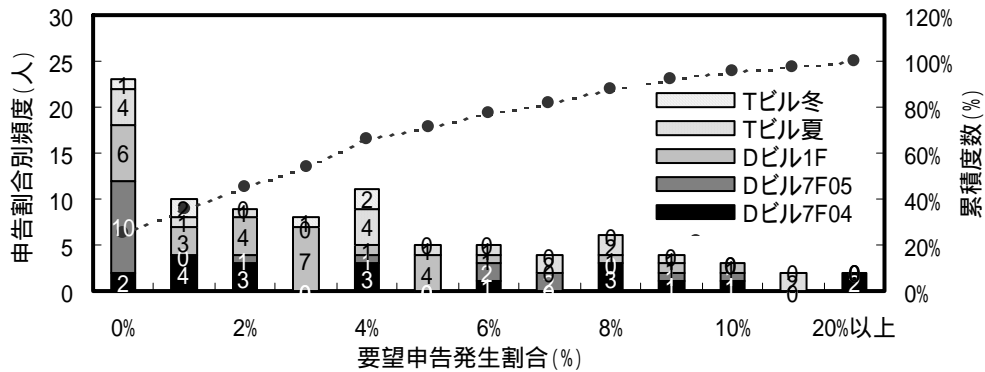


図 5.5 要望申告発生割合別の頻度分布

2-3-3 申告方法が業務に与える影響

居住者の申告方法が執務状況に与える影響を評価するため、申告方法が業務に及ぼした影響についての回答結果を申告方法別（アイコンタイプとWEBタイプ）に集計したのが図 5.6 である。図 5.6 よりアイコンタイプとWebタイプでは9割以上で「業務への差し障りはない」と回答していたが、Webタイプでは1割ほどの居住者が「場合によって業務へ差し障りある」と回答していた。先に述べたようにタスクバー上に要望申告画面用のアイコンが常駐しているアイコンタイプでは1動作で画面を起動できるのに対して、Webタイプではインターネット用ブラウザの起動、お気に入りの選択と2動作が必要であり、この操作性の違いが居住者心理に影響を及ぼしたと考えられる。またここでは示さないが、面倒と回答した居住者の多くがPCを苦手としている50歳代の居住者であったことから、年齢の高い居住者に対してPCよりもスイッチなどの直感的に操作できるユーザーインターフェイスが必要と考えられる。

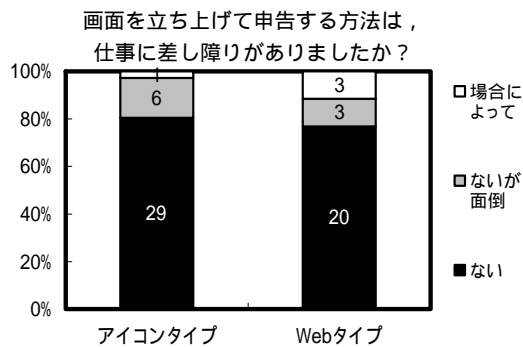


図 5.6 申告方法が業務に及ぼす影響

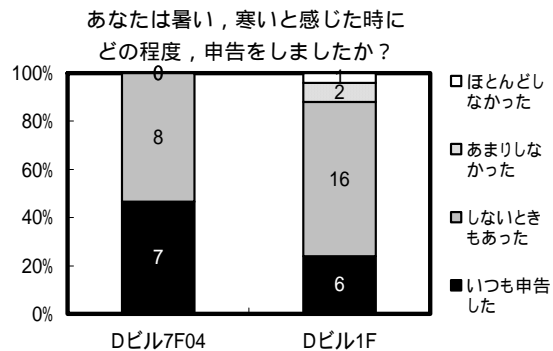


図 5.7 寒暑感を覚えた際の申告状況（申告者のみ）

2-3-4 温熱環境に対する不満な状態が申告行為に与える影響

「暑い」、「寒い」といった温熱環境に対する不満が申告行為へのきっかけとなることは容易に想像できるが、同時に内面的に不満を感じていたとしても申告行為に至らない場合も想像できる。こうした申告行為につながらないことがどの程度の頻度で発生しているかを把握しておくことは、システムの挙動を把握するのに有効である。

図 5.7 に寒暑感を覚えた際の申告状況に関して、Dビル7F04、Dビル1Fの回答結果を、図 5.8 に第3章で調査したスケジュール申告における近傍温度別の温冷感申告と、任意申告における近傍温度別の要

望申告発生割合の関係を比較して示す。図 5.8 の近傍温度別のグラフに関しては、近傍温度 0.5 ずつにその温冷感申告や要望申告を集約したものである。図 5.7 より居住者は寒暑を感じた際に「いつも申告した」の回答が 20%～40%を占める一方で、「申告しないときもあった」の回答が 50%を占めることが認められた。図 5.8 より T ビル冬を除いた D ビル 7F04、T ビル夏、D ビル 1F の任意申告における要望申告割合は、スケジュール申告と同様、居住者近傍温度に応じて申告発生割合が変化していたことが確認された。また、T ビル冬に関しては、申告自体が少なかったため、これらの傾向は確認できなかった。

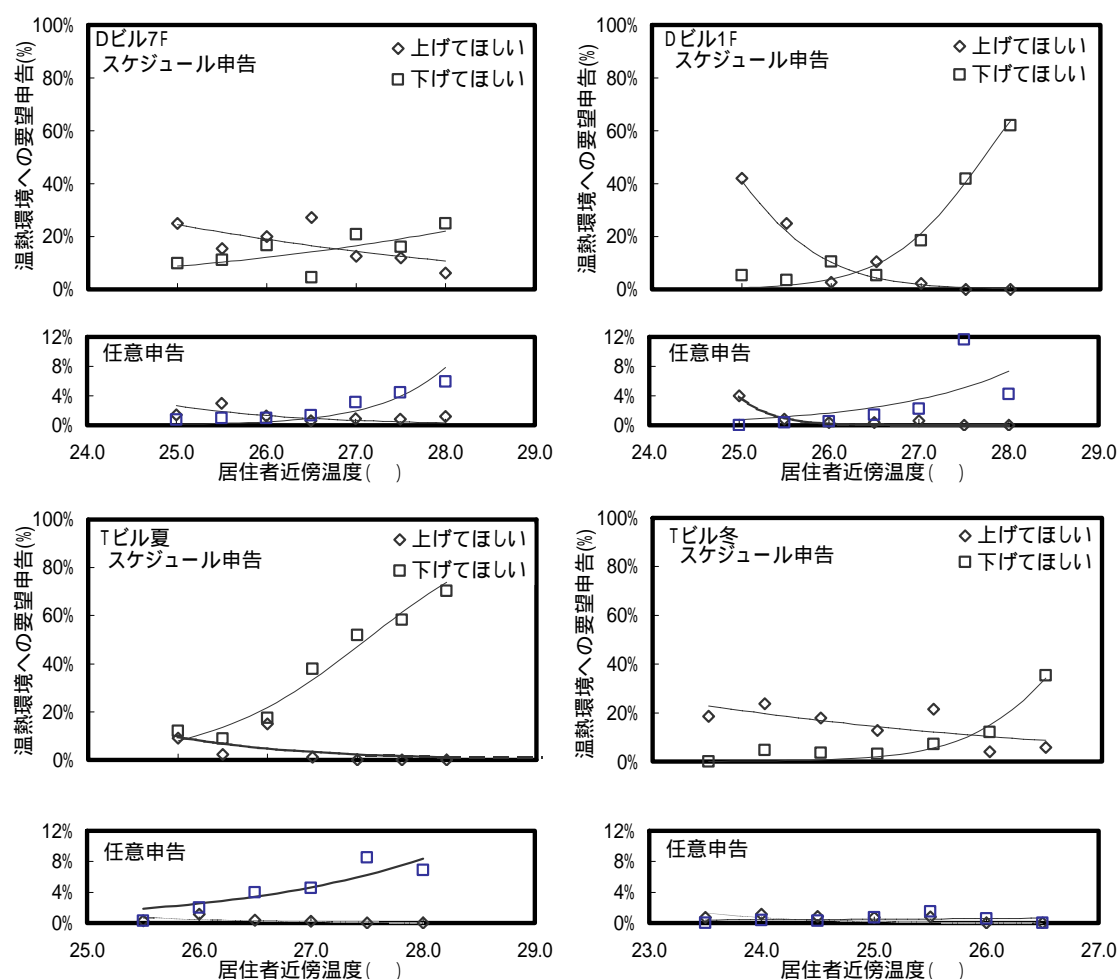


図 5.8 各対象フロアにおける温冷感と要望申告割合の比較

図 5.9 に、ある居住者近傍温度に対するスケジュール申告で得られた要望率と、その同じ近傍温度の条件下における任意申告で得られた要望発生割合との関係を散布図で示す。図 5.9 より温熱環境に対する要望率と要望申告発生割合との間に相関関係が認められた。図中の回帰式によれば、例えば、温熱環境に対する要望率が 40%だった場合、要望申告割合は約 4.4%であったことになる。これは、居住者 50 人が 8 時間勤務するオフィスにおいて、居住者 20 人(=50 人×40%)が温熱環境に対して要望を感じていたのに対して、要望申告は 17.6 回(=50 人×4.4 回/時間×8 時間)発生したことになる。つまり不満を覚えていた居住者は 1 日に平均 1 回弱程度の割合で申告していたと考えられる。このことより、温熱環境に対して要望を感じていたとしても、申告しなかった日も存在していたと考えられる。

以上より、空調制御に申告可能な制御システムの申告特性として、図 5.7、図 5.9 の結果から居住者自

身が「暑い」、「寒い」と内心で感じていたとしても、必ずしも申告行為につながらないといった傾向が認められ、その申告頻度は平均して 1.0 回 / 日弱程度であった。また、図 5.6 で示したように 80% 近くの居住者が申告操作性に対して、特に問題を感じていなかったといった事実を考慮すれば、日常業務に従事する居住者は、多少の「暑い」、「寒い」を感じたとしても、必ずしも申告行為にまで至らず、その環境に対して容認していたものと考えられる。また、申告方法の異なる D ビル 1F とその他のフロアでは、要望申告発生割合と温熱環境に対する不満率との関係に明確な違いは認められなかった。Web 型の要望申告画面は、図 5.6 より、若干であるがその操作性の低下が認められたものの、申告発生割合に対して顕著な影響はなかったものと考えられる。

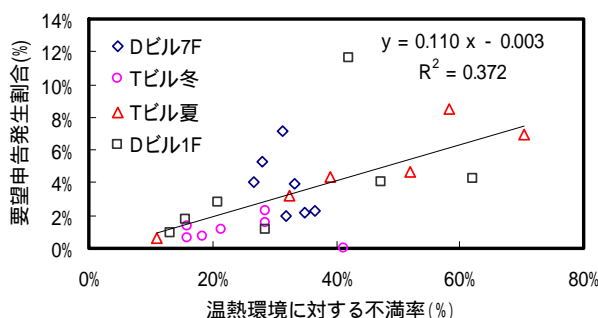


図 5.9 温熱環境に対する不満率と要望申告発生割合の関係

2-4 本節のまとめ

本節では空調制御への参加可能な制御システムに対する利便性と、それに関する参加状況についてペーパーアンケートや、要望申告の履歴情報に基づいて検討を行った。以下に得られた知見についてまとめる。

- 1) 空調制御への参加可能な本制御システムの有効性に関して、「有効でない」と回答した居住者はほとんど存在しておらず、6 割以上の居住者がその有効性を実感していた。また、有効性を感じていた居住者の多くは、自分自身の要望が制御に比較的、採用される傾向にあった。
- 2) 申告に対する操作性に関して、アイコン型、Web 型のいずれの申告方法についても 9 割近くの居住者で業務に差し障りがなく、そのほとんどが操作自体に面倒さはなかったという回答が得られた。また、比較的、操作性の低さが認められた Web 型の要望申告画面であったが、申告発生割合に対して顕著な影響は確認できなかった。
- 3) 要望申告の発生割合に関して、実験期間を通じて一度も利用しなかった居住者が約 50% 程度存在しており、要望申告の発生割合が 3% 以下の居住者が全体の約 50% を占めていた。さらに、事前調査で得られた温熱環境に対する要望率と申告発生割合の関係より、不満を感じる居住者の要望申告発生割合は平均して 1.0 回 / 日弱程度であり、「上げてほしい」、「下げてほしい」と要望を感じていた居住者が必ずしも要望申告を行っていたとは限らないことが明らかになった。

3 気象条件や居住者に関する各種条件が要望申告に及ぼす影響

居住者が要望申告を発生する要因として、性差、室内温熱環境、屋外条件、屋内外の移動や食事など温冷感に影響を及ぼす行為など様々な要因が挙げられる。そのような中で居住者の業務形態や属性などに関する因子に基づいて、要望申告発生の特性を整理しておくことは、システムを設計する段階でその挙動を予測するのに役立つと考えられる。さらに実用性を考慮して可能な限り少ない因子で説明できることが望ましい。そこで本節では表 5.4 に示す因子に着眼して、要望発生割合について検討を試みた。

表 5.4 要望申告発生割合に検討を試みる各種因子

| 項目 | 検討因子 |
|--------|-------------------|
| 温熱環境因子 | 居住者近傍温度 / 外気温度 |
| 属性因子 | 男性 / 女性 |
| 行動履歴因子 | 在席 / 昼食 / 屋外からの入室 |

(a) 温熱環境因子

温熱環境因子としては居住者の近傍温度と外気温度に注目して分析を行った。外気温度は室内で執務する居住者とその取り巻く温熱環境との熱収支に、直接的な関係は存在しないが、現実問題として屋外から躯体を伝わってきた熱が放射熱となって温冷感に影響を及ぼしたり、屋外の移動の際に体内に取り込まれた熱が影響を及ぼしたりするため重要な因子と考えられる。また湿度や気流などにその他の温熱環境因子に関しては、通常のオフィスであれば適正範囲内で成り行きに運転されており、ビル管理としての管理対象とならないため検討より外した。

(b) 属性因子

属性に関しては室内間だけでなく室内外間でも移動の多い男性と、内勤を主体とする女性とではその特性が異なると予想されるため、男性と女性の性差に着目して分析を進めた。

(c) 行動履歴因子

行動履歴因子に関しては、在席、昼食、屋外からの移動に着目して分析を進めた。これは、野部¹²⁵⁾らの調査によれば日常業務は在席による作業、会議、出張の作業分類より構成され、これらの構成比を変えることで営業職、事務職、研究職の業務内容を説明できるとされており、これらの因子がこれらの作業分類と関わりが深く、居住者の温冷感への影響が大きいと考えられるためである。また本来であれば、会議やコピー用紙回収などに伴う室内間の移動にも影響されると予想されるが、同じ空調された空間内での移動であることや、居住者の室内間移動を正確に把握することが難しいため、行動履歴としては“在席”として扱った。また昼食に関して、昼食後は食後の消化による代謝量の上昇のほかに、食堂までの移動であったり、外気温度の上昇に同調して体温が上昇したりすることも考えられるため、厳密な食事による影響を評価することは難しい。そのため、様々な要因が複雑に絡み合う日常生活の中で最終的に得られた結果に対しての検討を行うこととした。また、食堂やそこに行くまでの通過する温熱環境や食事量にも影響を受けるため、一概に他の建物への適用は難しい面もあるが、それに関しては今後さらにデータ蓄積を行うことで精度を高めていくこととし、本検討では本実験での結果に基づいて考察を行う。

3-1 検討概要

本検討では、第4章の実証実験で得られたすべての要望申告データと、それらの発生に影響した各種要因との関係性について分析・評価を行う。ただし、第4章でも述べたが、暖房時では居住者の反応が少なく分析・評価が難しかったため、本検討は冷房期に限ることとした。

3-2 検討方法

本検討は、各種要因別に居住者近傍温度と要望申告発生割合との関係についてまとめる段階と、それらの関係式の特徴を示すパラメータに着目して分析・評価を進める段階より構成される。

(a) 要因別要望申告発生割合

表5.4に示す要因に関して、それぞれ要因に対して以下のような水準や仮定を設定し、整理を行った。

・外気条件別

気象庁では日単位ごとの夏の強さを示す水準として、「猛暑日」、「真夏日」、「夏日」を設定しており、日最高外気温度が35.0以上の日を「猛暑日」、30.0～35.0の日を「真夏日」、25.0～30.0の日を「夏日」としている。本検討においても以上の水準に基づいて要望データの分類分けを行った。

・在席／昼食／屋外からの入室

ある時点において在室状態にある居住者の要望データに関して、その所定時間以前の行動状態が「在室」、「昼食」、「屋外からの入室」によって分類分けを行う。また、屋外からの移動に伴う温冷感の影響は数時間ほど続くとされているが、今回の場合、室内に入室してから1時間の要望申告データを「屋外からの入室」として扱った。また、居住者の入室タイミングに関しては居住者のパソコンの起動状態より決定した。昼食に関しては12時～12時45分まで昼休みであるため、12時45分から2時間の要望データを「昼食」として扱った。昼休み中の要望データに関しては分析の対象に含めなかった。最後に、上記以外の条件を満たす要望データをすべて「在室」として扱った。

(b) 回帰モデルの適用

身の回りの環境を刺激とする場合の居住者の反応を線形モデルで表現することは難しく、こうした事象においてはプロビット曲線やシグモイド関数などが利用されることが多い²⁶⁾。本検討においても、近傍温度別の要望発生割合に対して式(5.1)のプロビット曲線を当てはめ、最小二乗法によって要望発生割合の誤差二乗和が最小となるようなパラメータ a 、 c を決定した。

$$P = \frac{\exp(a(x - c))}{1 + \exp(a(x - c))} \quad (5.1)$$

ここで

- | | |
|-----|---|
| P | : 近傍温度 x () に対する要望発生割合(%) |
| x | : 近傍温度() |
| a | : 曲線の滑らかさを表すパラメータ。パラメータ a の絶対値が大きい場合、近傍温度に対して曲線が急激に変化しているのに対して、小さい場合では曲線が近傍温度に対して緩やかであることを表す。 |

c : 曲線が変化する室内温度条件を表すパラメータ。 $P=1/2$ とする近傍温度。
 c が大きい場合では、高い温度域で要望が集中していたことを表し、 c が小さい場合では、低い温度域で集中していたことを表す。

3-3 結果と考察

3-3-1 各種要因別における近傍温度と要望発生割合

図 5.10 に「猛暑日」、「真夏日」、「夏日」の外気条件の 3 水準ごと、「在席」、「昼食」、「入室」の事前行動別に近傍温度と要望発生割合の関係を示す。これらの実験データでは近傍温度の適用範囲が狭いなどサンプル数が少ないため確定的なことは言えないが、今回の検討で居住者の要望申告の特性や傾向を把握することは可能と考えられ、以下では、これらを念頭に置いて考察を進める。

「下げてほしい」の要望申告に関して、「猛暑日」では、「在席」、「昼食」、「入室」のいずれの行動においても居住者近傍温度 27.0 ～ 28.0 付近で要望発生割合の曲線が急激に変化していたのに対して、「真夏日」、「夏日」に外気条件が緩やかになるに従い、要望発生割合の曲線が緩やかになっていた。これは「下げてほしい」の要望申告が外気条件に大きく影響を受けていたことを示す。事前行動別に関しては「猛暑日」、「夏日」では「入室」の場合が最も大きいと予想されるが、実際では「昼食」、「入室」、「在席」の順に要望発生割合が高い傾向にあった。これは、対象フロアの業務形態として、日中の出入りが少なく、実測データのほとんどが朝方の出社時によるものであったためと考えられる。「上げてほしい」の要望申告に関して、「猛暑日」、「真夏日」、「夏日」といずれも大きな差異は確認できなかった。また入室後の要望申告割合が居住者近傍温度 25.0 ～ 26.0 付近で急激に高くなる傾向にあった。これに関して原因を特定するところまでには至らなかったが、予想としては外気温度 30.0 以上と高い温度環境から室内に入室した際に急激な温度変化に寒さを感じていたか、入室してしばらく経ってから汗が冷たくなって人体より熱を奪ったためと考えられる。

各種要因が要望申告に及ぼした影響を評価するため、プロビット曲線の特性を示すモデルパラメータ a 、 c について検討を行う。図 5.11 に行動履歴別と外気条件別に対するモデルパラメータ a 、 c をまとめた結果を示す。「下げてほしい」曲線のモデルパラメータに関して、行動履歴別では僅かな差異が確認されたが非常に小さいものであった。「上げてほしい」曲線のモデルパラメータに関して、「座席後」、「昼食後」の差は小さかったが、「入室後」とその他の差は大きかった。これは先に述べた入室後の要望申告割合が居住者近傍温度 25.0 ～ 26.0 付近で急激に高くなっていた傾向に影響されたためと考えられる。

次に、外気条件別の「下げてほしい」のモデルパラメータに関して、外気温度条件が高くなるに従ってパラメータ a は大きく、パラメータ c は小さくなっていた。これは外気温度条件が高い場合では、居住者近傍温度が低くても「下げてほしい」の要望割合が高かったのに対して、外気温度条件が低い場合では、居住者近傍温度が高くても「下げてほしい」の要望申告割合が比較的、低かったことを示す。外気条件別の「上げてほしい」のモデルパラメータに関して、入室後の条件を除いて外気温度条件に影響される傾向にあったが、パラメータ a については明確な相関関係が得られなかった。また、外気温度条件が高くなるに従い、「下げてほしい」と「上げてほしい」との差がパラメータ a では広がり、パラメータ c については狭くなる傾向にあった。これは外気温度が低くなるに従って「上げてほしい」、「下げてほしい」の要望が申告されなくなってきたことを表す。

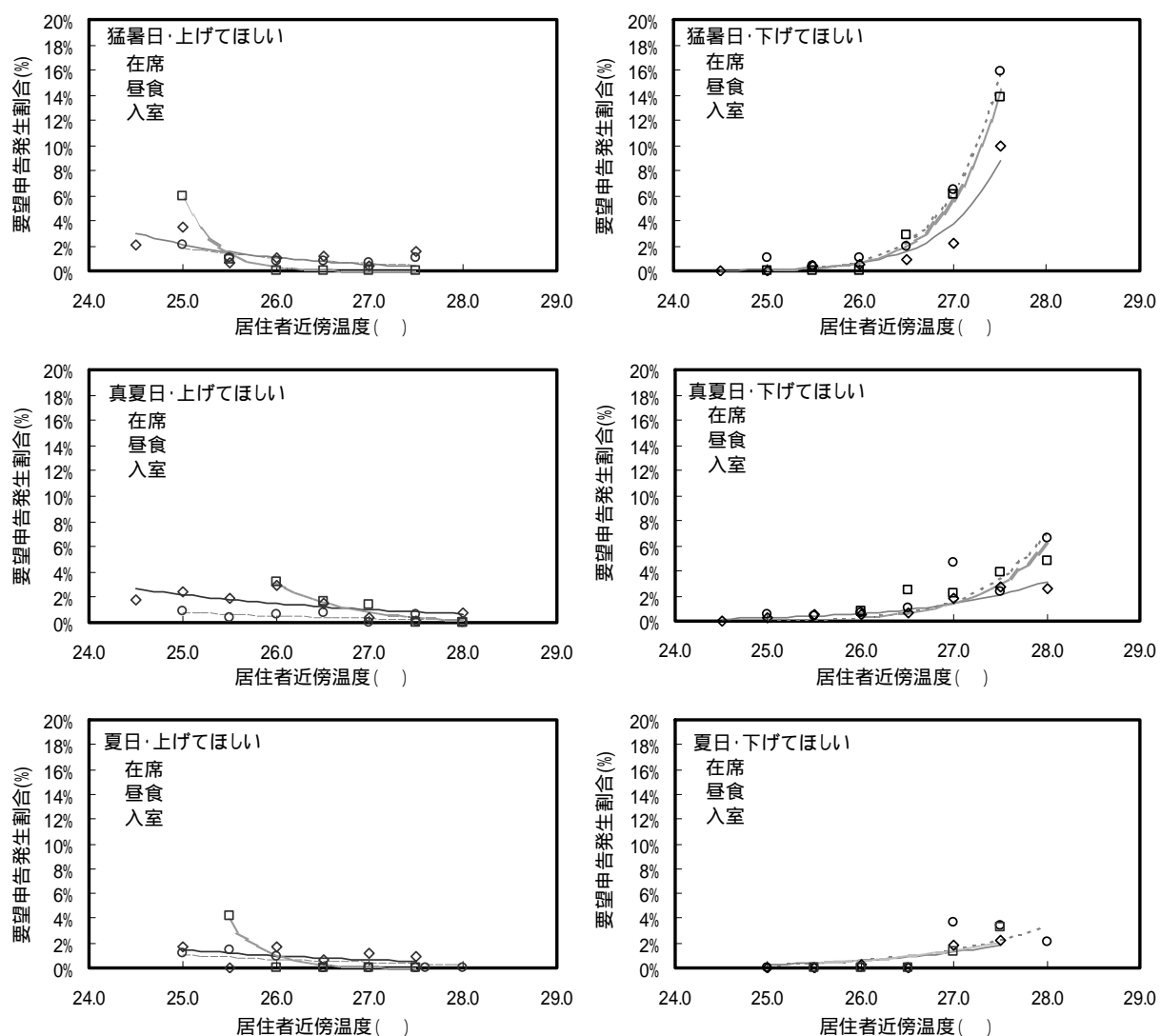


図 5.10 猛暑日，真夏日，夏日ごとに近傍温度別の要望発生割合
 (上から猛暑日，真夏日，夏日，左側は上げてほしい，右側は下げてほしい)

図 5.12 に図 5.11 の結果を男女別に分けたものを示す。居住者からの反応のなかった条件に関しては評価の対象より除いている。図 5.12 より「下げてほしい」のパラメータに関して，男性と女性のいずれの結果についても，外気温度条件との相関関係が確認された。「上げてほしい」のパラメータに関して，男性は「昼食後」，「在室後」のどちらの条件においても，ほとんど外気温度に影響されていなかった。これに対して，女性は「在席後」の条件において外気温度との相関関係が確認された。

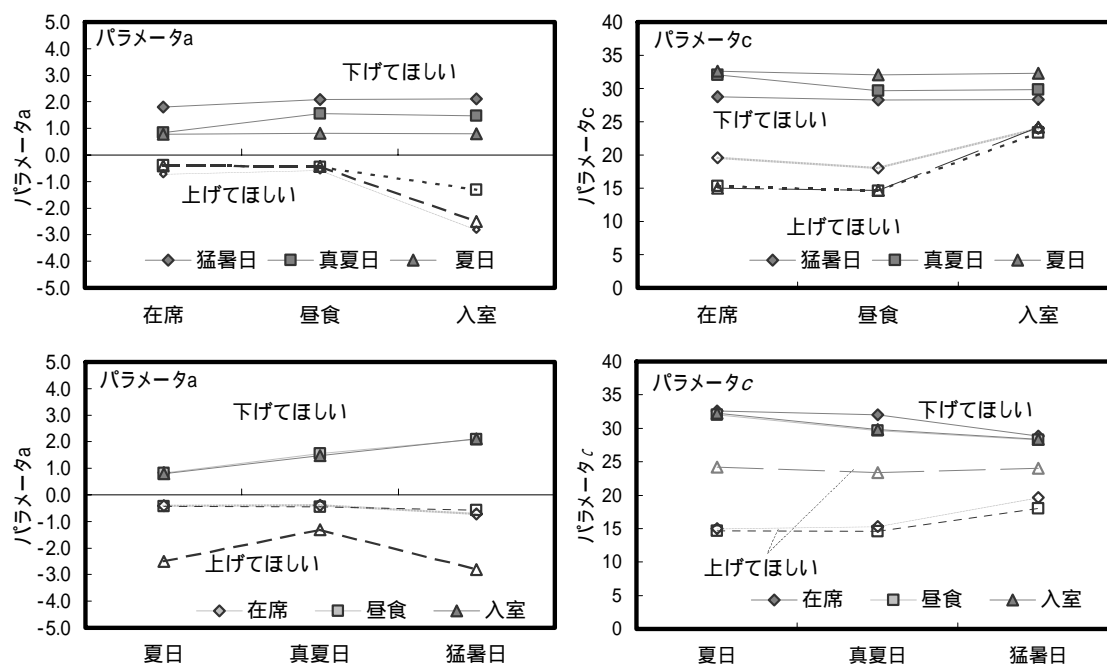


図 5.11 行動履歴別，外気条件に対するプロビット曲線のパラメータ a, c の影響
(上側は行動別，下側は外気温度別，左側はパラメータ a , 右側はパラメータ c に関するグラフである)

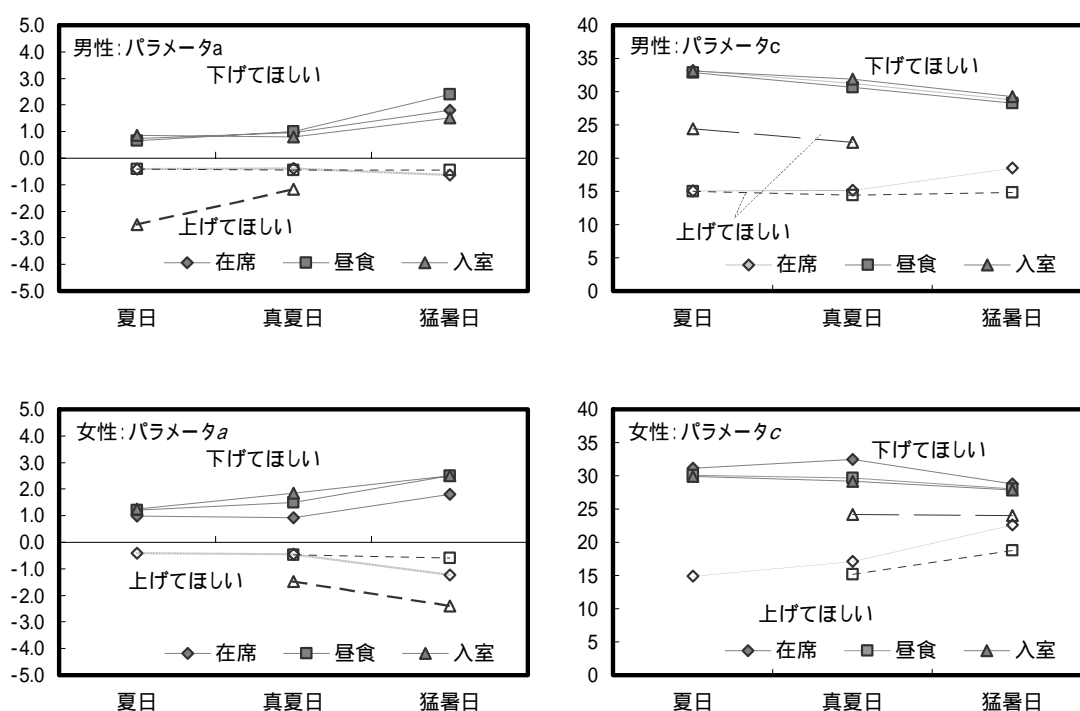


図 5.12 男女別プロビット曲線のパラメータ a, c の影響 (上側は男性，下側は女性)

3-3-2 申告発生モデル化の検討

ここでは，3-3-1 で得られた関係式のモデル化を試みる。モデル化では可能な限り少ないパラメータでの表現に努め，汎用性を高めることに注意を払った。また「猛暑日」，「真夏日」，「夏日」といった各水準で集約した外気温度条件に関して，一般的な表現を重視して，実験を実施した 9 時～17 時の時間帯

での平均外気温をモデルの入力条件として組み込むことにした。図 5.13 に 9 時～17 時の平均外気温とパラメータ c の関係式の一部を，図 5.14 にパラメータ a と c の関係式を，表 5.5 に各種条件下でのすべての関係式を一覧で示す。

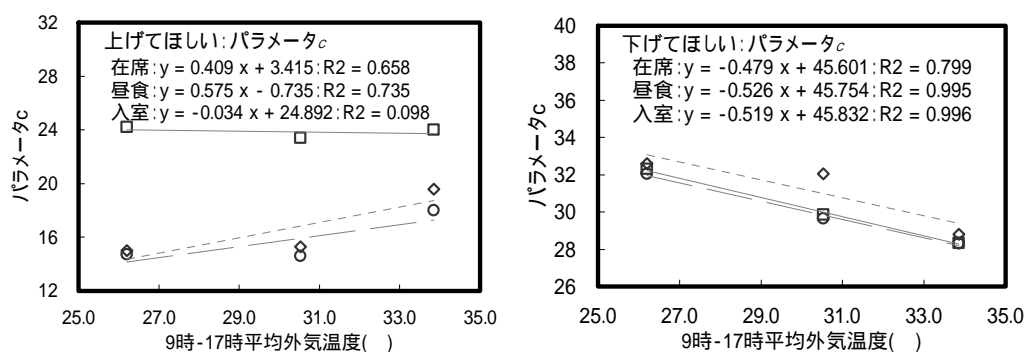


図 5.13 9 時～17 時の平均外気温とパラメータ c の関係

(左側：上げてほしい，右側：下げてほしい)

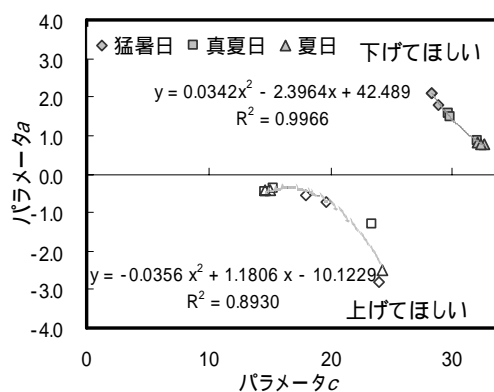


図 5.14 パラメータ a と c の関係

表 5.5 各種条件下でのパラメータ a , c の条件式

| 要望 | 行動履歴 | パラメータ a | パラメータ c | | |
|--------|------|--|---|---|---|
| | | | 全体 | 男性 | 女性 |
| 上げてほしい | 在席 | $a = -0.0356c^2 + 1.1806c - 10.1229$ $R^2 = 0.8930$ | $c = 0.409x + 3.415$ $R^2 = 0.658$ | $c = -0.032x + 15.690$ $R^2 = 0.158$ | $c = 0.982x - 11.455$ $R^2 = 0.902$ |
| | 昼食 | | $c = 0.575x - 0.735$ $R^2 = 0.735$ | $c = 0.163x + 10.653$ $R^2 = 0.745$ | - |
| | 入室 | | $c = -0.034x + 24.892$ $R^2 = 0.098$ | - | - |
| 下げてほしい | 在席 | $a = 0.0283c^2 - 2.0355c + 37.048$ $R^2 = 0.9948$ | $c = -0.479x + 45.601$ $R^2 = 0.799$ | $c = -0.569x + 48.266$ $R^2 = 0.980$ | $c = -0.277x + 39.175$ $R^2 = 0.331$ |
| | 昼食 | | $c = -0.526x + 45.754$ $R^2 = 0.995$ | $c = -0.604x + 48.824$ $R^2 = 0.991$ | $c = -0.259x + 37.115$ $R^2 = 0.838$ |
| | 入室 | | $c = -0.519x + 45.832$ $R^2 = 0.996$ | $c = -0.500x + 46.500$ $R^2 = 0.931$ | $c = -0.270x + 37.139$ $R^2 = 0.944$ |

xは平均外気温を表す

図 5.13 より入室後の「上げてほしい」条件を除いて、9 時～17 時の平均外気温とパラメータ c との決定係数は、0.66～0.99 と非常に高く相関関係が認められた。さらに表 5.5 より男性と女性の条件においても、男性の入室後の「上げてほしい」の条件と女性の入室後の「下げてほしい」以外で決定係数が 0.75～0.99 と非常に高く、9 時～17 時の平均外気温で十分、パラメータ c の変動を説明できることが認められた。また、図 5.14 よりパラメータ a とパラメータ c との決定係数が 0.89～0.99 と高い傾向が得られ、それらの関係式よりパラメータの集約化を図った。

設計や運用の段階では居住者各個人の行動履歴までを把握することができないため、実用的には可能な限り単純なパラメータの方が望まれる場合も存在する。図 5.15 にすべての行動履歴を集約した場合での 9 時～17 時の平均外気温とパラメータ c の関係を示す。パラメータ c は外気条件との高い相関が得られた。

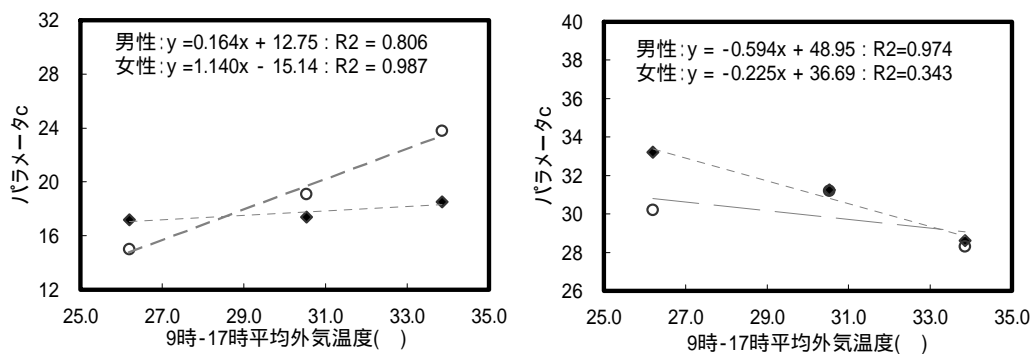


図 5.15 9 時～17 時の平均外気温とパラメータ c の関係
(左側：上げてほしい、右側：下げてほしい)

3-4 本節のまとめ

本節では、居住者の要望を申告する要因として、行動履歴、外気条件、性差に着目して、その各種条件が要望申告発生に及ぼす影響について整理、考察を行った。以下に得られた知見をまとめる。

- 1) 近傍温度と要望発生割合をプロビット曲線で近似させることで、二つのパラメータで曲線の形状を表現することが可能であることが示された。
- 2) 行動別の要望申告発生割合の関係を求めたが、「入室時」の「上げてほしい」を除き、行動別の要望申告発生割合に顕著な違いは確認できなかった。この原因として行動データの精度が挙げられ、データ収集方法について、今後、工夫する必要があると考えられる。
- 3) 外気温度は「上げてほしい」、「下げてほしい」の要望申告発生割合に対して、感度の高いパラメータであることが認められた。この傾向は居住者の申告発生が外気温度に大きく依存していることを示しており、回帰式で得られたパラメータと外気温度に強い相関関係が認められた。

4 情報フィードバックが運転に対する納得感や合意性に及ぼす影響

第2章でも述べたように居住者とビル管理者との間には情報の非対称性が存在し、空調設備の運転状態を把握できない状況が、居住者の不満を引き起こす場合が存在する。特に、相反する要望情報に基づいて温熱環境を制御する本制御システムでは、要望を申告してから温熱環境の反映までには少なからずのタイムラグが存在し、要望どおりに反映されないことへの苛立ちが居住者の不満を引き起こす可能性は非常に高い。こうした制御システムの制御状態と居住者心理との間に存在する情報格差に対して、運転や周囲の申告状況に関する情報を居住者にフィードバックすることで、こうした情報格差が是正されて、多少なりの不満解消につながると期待できる。また、自分と異なる要望を有する居住者の存在を認識させることで、「合意形成ロジック」による運転に対して納得感を高めることができ、結果として、合意の取れた温熱環境の形成が可能となる。こうした情報フィードバックの期待される効用として、以下の3つが存在する。

- 1) 個人の申告情報とその扱われ方を提示することで、運転や制御に対する納得感を高めてもらう。
- 2) 自分と異なる居住者の価値観を認識させることで、運転に対しての納得感を高め、合意の形成を図る。
- 3) 省エネ運転に関するエネルギー情報を提示することで、省エネルギーの達成感を与えると共に、省エネルギーを意図した運転であることを意識させる。

また、このような情報は居住者の心理状態に対してタイミングよく、理解しやすく効果的に提示されなければ有効的に機能しない。そこで情報フィードバックの機能とそれに対する期待効果をまとめたものを表5.6に示す。居住者全員に共通する周囲の申告情報、省エネ情報、運転・制御情報に関しては、個人特定を必要とせずブロードキャスト方式で情報が提供される。個人の要望申告情報に関しては個人特定を伴うユニキャスト方式で情報が提供される。

表 5.6 情報フィードバックの機能と期待効果

| 情報項目 | 表示タイミング | 期待効果 |
|-----------|------------------|---|
| 周囲の申告情報 | 寒暑を感じたとき 申告直前 | 自分と異なる意見を認識させ、各人の要望による運転に納得してもらう。 |
| 省エネ情報 | - | 省エネへの達成感と運転の意図を気づかせる。 |
| 運転制御・情報 | 寒暑を感じたとき | 運転状況を把握させ、納得感を高める。 |
| 個人の要望申告情報 | 申告して直ぐ後 | 運転状況を把握させ、運転に対する納得感を高める。 |
| | 制御実行後 | ・要望が採用された場合： 要望の制御反映を伝え、参加意識を高める。 ・要望が採用されなかった場合： 反映されなかった理由を伝え、納得感を高める。 |

図5.16～図5.17に本提案システムにおける情報フィードバック画面を示す。タスクバー上に配置されたアイコンは、図5.16の左図のように個人の要望申告状態に応じて変化し、直感的に個人の申告状態を理解させるものとなっている(図5.16左図)。例えば、「上げてほしい」と申告を行い、サーバー内で「上げてほしい」といった要望状態に保持されている間はアイコンが の状態で表示されている。また右図のフィードバック画面はタスクバー上のアイコンより起動され、周囲の申告状況や、省エネ情報、運転情報を提示している。

図5.17では図5.16より操作性など機能制限を受けることになるが、あらゆるネットワーク環境にお

いてセキュアな環境を提供するため、標準的な WEB 技術を活用したフィードバック画面を用いている。要望申告画面とフィードバック情報が一つの画面内に配置されており、省エネ情報など詳細な情報に関しては「詳細情報」ボタンを選択することで閲覧することができる。またフィードバック画面では個人の要望申告状態に応じて画面の右側から左側へその情報をスクロールすることを行っている。スクロール内容を表 5.7 に示す。

以上より、本節では以下の点を中心に調査を行い、運転状態や周囲への申告状況に関する情報が、居住者の合意性や納得感に及ぼす影響について検討を行う。

- 1) 情報フィードバックの利用状況とその必要性
- 2) 運転や個人の要望状態に関する情報が居住者心理に及ぼす影響
- 3) 周囲の申告状況に関する情報が居住者心理に及ぼす影響

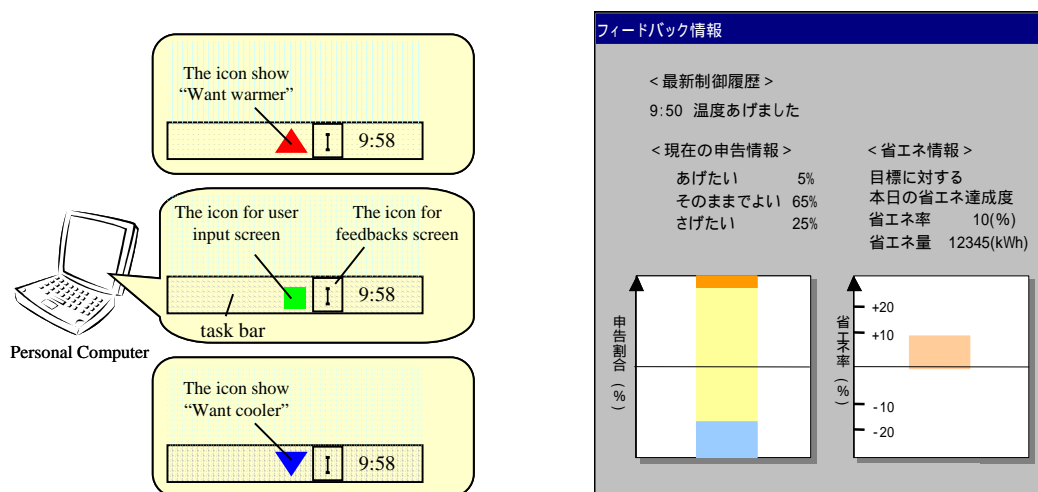


図 5.16 アイコン型情報フィードバック画面

(左側：タスクバー上のアイコン型の情報画面，右側：ブロードキャスト型の情報画面)

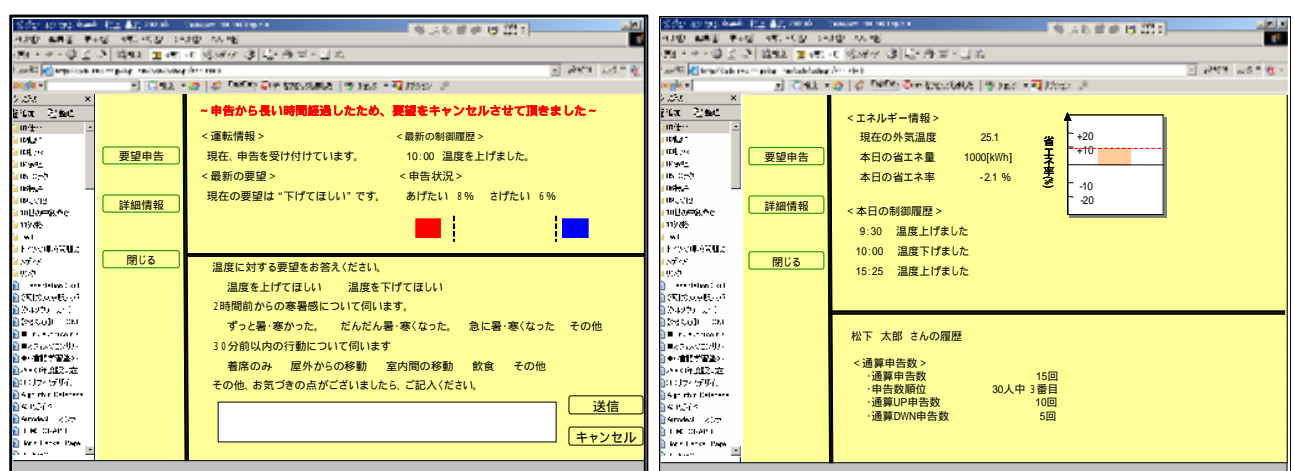


図 5.17 Web 型情報フィードバック画面 (左：申告画面，右：詳細画面)

表 5.7 スクロール項目と内容

| 項目名 | スクロール内容 |
|-----------|--|
| 要望通りに制御 | 「あなたの要望は満たされましたのでリセットいたします」 |
| 要望の時間切れ | 「申告されてから長い時間が経ちますので申告をリセットさせていただきます」 |
| 要望と逆方向に制御 | 「申し訳ございません。あなたと反対の要望が多かったため反対方向に制御されました」 |

4-1 調査概要

調査はDビル7F(04年と05年),Dビル1F,Tビル(夏と冬)において,各シーズンの終了後に実施するアンケートによって行われた。このアンケートは本章の第1節の中で実施されたアンケートと同時に併せて行われた。実験概要を表5.8に示す。第1節の条件と同様,Tビル冬のアンケート結果の回収数が少なかったため,情報フィードバック検討には含めなかった。アイコン型の場合ではタスクバー上に配置されたアイコン画面よりフィードバック画面を起動させて閲覧できるのに対して,Web型の場合ではショートカットよりフィードバック画面を起動させることで閲覧できるようにした。評価方法としては実験終了後にペーパーアンケートを実施して,心理量の測定を行っていた。男女構成比がほぼ等しいDビル1Fに関しては,男女での特性差を評価するため,男女別にデータを整理した。

表 5.8 フィードバック画面の適用条件

| 対象フロア | 調査期間 | 申告方法 | 対象人数 | 回答者数 | 回答率 |
|---------|------------|-------|------|------|-----|
| Dビル7F04 | 2004年10月中旬 | アイコン型 | 46名 | 24 | 52% |
| Dビル7F05 | 2005年10月中旬 | | 40名 | 22 | 55% |
| Tビル夏 | 2005年9月中旬 | | 23名 | 19 | 83% |
| Tビル冬 | 2006年2月下旬 | | 23名 | 10 | 43% |
| Dビル1F | 2006年9月中旬 | Web型 | 37名 | 34 | 92% |

4-2 調査項目

表5.9に実験後アンケートでの情報フィードバックに関わる評価項目を示す。アンケートはDビル7F(04年と05年),Dビル1F,Tビル(夏と冬)の各シーズンでの実験終了後に,被験者全員に対してアンケート用紙を配布して行われ,1週間~10日程度で回答してもらった。

表 5.9 情報フィードバックに関わる評価項目

| 項目 | アンケート詳細 | Dビル7F04 | Dビル7F05 | Tビル夏 | Tビル冬 | Dビル1F |
|-----------|---------------------------|---------|---------|------|------|-------|
| 必要性 | フィードバックの必要性 | | | | | |
| 必要な項目 | 申告率,省エネ率,運転状況の必要性 | | | | | |
| | 個人要望の取り扱いの必要性 | × | × | × | × | |
| 閲覧タイミング | 閲覧タイミング | | | | | |
| 周囲申告状況の影響 | 周囲状況を見ての納得性 周囲状況を見ての行動 | × | | | | |
| 制御の実感 | 制御の実感 | | | | | |

4-3 結果

4-3-1 情報フィードバックの利用状況

情報フィードバックの利用実態を把握するために、対象フロア別に情報フィードバック利用者数を集計したものが図 5.18 であり、その閲覧タイミングについてまとめた結果が図 5.19 である。図 5.18 より D ビル 7F04, D ビル 7F05, T ビル 夏で約 60% ~ 80% と高い割合で情報フィードバック画面が閲覧されていたことが確認された。それに対して、D ビル 1F 閲覧者の割合が比較的低い傾向にあった。これは、基本的な運転情報表示画面と要望申告画面を併用した Web 型の情報フィードバック画面において、図 5.17 に示す「詳細画面」を情報フィードバック画面と捉えてアンケートに回答した居住者が多かったためと考えられる。図 5.19 より、「申告直前」と「申告直後」における利用割合は 20% ~ 30% しかなかったが、寒暑時における利用割合は 40% ~ 50% に達していることが確認された。

次に、情報フィードバックの必要性を感じていた居住者の傾向を把握するため、情報フィードバックの必要性についての回答結果をまとめたものと、要望申告発生割合と閲覧者との関係をまとめたものを、図 5.20 と図 5.21 に示す。図 5.20 よりすべての対象フロアにおいて約 80% 以上の居住者が情報フィードバックの必要性を感じていたことが確認された。図 5.21 より要望申告発生割合が 2% 以下の居住者では情報フィードバック画面の閲覧する割合が低かったのに対して、要望申告発生割合 3% 以上の居住者ではフィードバック画面を利用する傾向が認められた。これより制御システムへ参加機会の多い居住者ほど情報フィードバックの必要性を実感していたことが明らかになった。

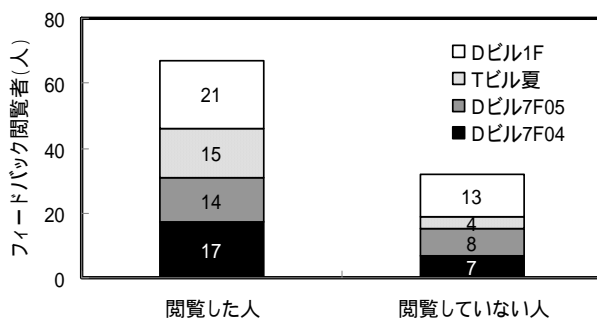


図 5.18 フィードバック画面の閲覧者数

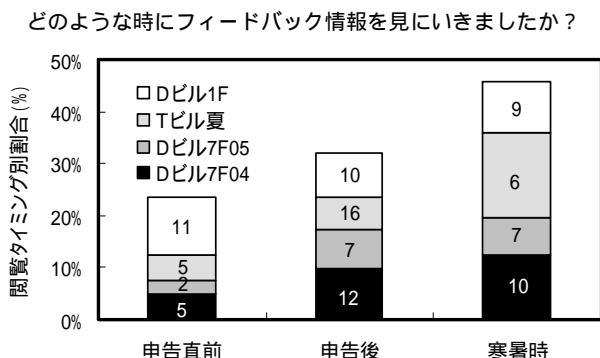


図 5.19 フィードバック画面の閲覧タイミング
(閲覧者のみ)

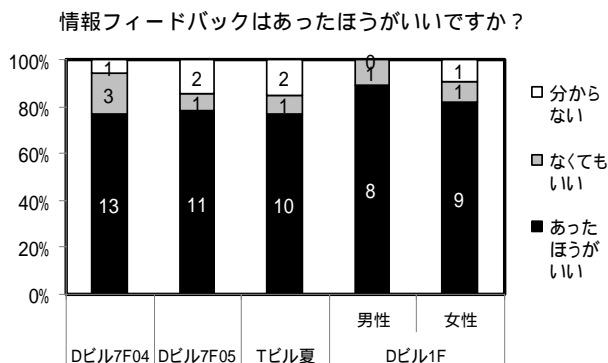


図 5.20 情報フィードバックの必要性
(閲覧者のみ)

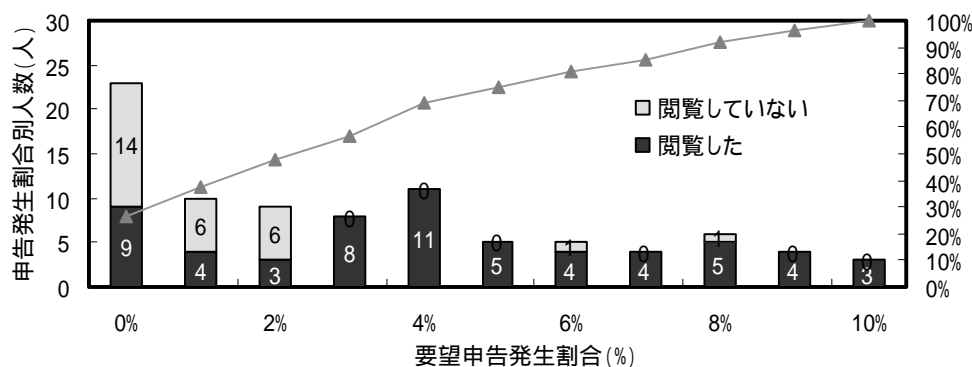


図 5.21 要望申告発生割合と閲覧者との関係

4-3-2 運転状態に関する情報が居住者心理に及ぼす影響

運転状態に関する情報が居住者の心理状態に与える影響を把握するため、「最新制御履歴」、「省エネ情報」、「最新の要望」の必要性に関してまとめたものが図 5.22 である。ここでは、図 5.18 で閲覧していた居住者に限定して集計を行った。また、「最新の要望」の集計数が少なかったのは D ビル 1F でしか質問していなかったためである。図 5.22 より、居住者の日常生活の中で、直接的な関連性が結びつきづらい「省エネ情報」で若干低い傾向にあったが、いずれの情報においても 7 割以上の居住者がそれらの情報の必要性を感じていたことが認められた。

次に、個人の要望状態に応じて情報コンテンツを変化させる提示方法が居住者心理に与えた影響を評価するために、図 5.23 にそれらの情報コンテンツの必要性についての集計結果を示す。また、情報フィードバック画面を見て自分自身の要望が採用されたことを実感できたかどうかについての回答結果をまとめたのが図 5.24 である。図 5.23 より「要望通りに制御」、「要望の時間切れ」を必要と回答した居住者の割合は低かったのに対して、「要望と逆方向に制御」を必要と回答した居住者の割合が高く、特に女性に関して言えば、ほぼ全員がその必要性を感じていた。これより「要望通りに制御」された情報よりも、「自分の意に反する方向への制御」に関心が比較的高かったことが明らかになった。また、これらの情報フィードバックでは、運転状態と各個人の要望状態の組合せに応じて、その情報コンテンツを変化させてみたが、図 5.22 の結果に比べて、その必要性を感じていた居住者の割合は同程度か、むしろ低い傾向にあった。これは、居住者自身で「制御履歴」や「個人要望状態」から個人にとって必要な情報を解釈して読み取り、個人の知りたい情報を十分入手できていたと考えられ、これよりフィードバック画面の情報コンテンツとしては、最新の制御履歴や要望の最新履歴などの基本的な情報だけでも十分な効果が期待できることが明らかになった。図 5.24 より D ビル 1F に比べて、D ビル 7F04 で情報フィードバックによって自分自身の要望の採用が実感できたと感じた居住者は少なかった。これは、第 1 節でも述べたように、D ビル 7F では居住者の要望の採用される割合が比較的低かったことが原因と考えられる。

フィードバック情報画面に以下の各項目はあったほうが良いですか？

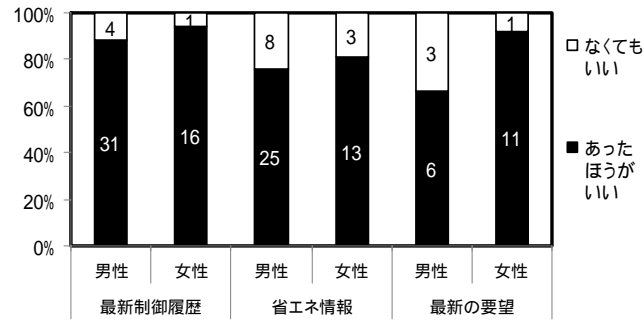


図 5.22 制御情報、省エネ情報に関する必要性(閲覧者のみ)

あなたの要望状態が変化した場合にスクロール表示される以下の項目はあったほうが良いですか？

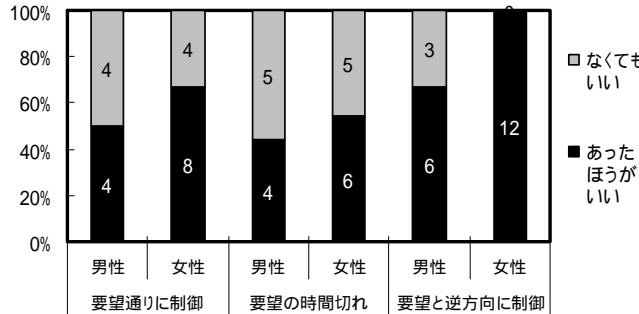


図 5.23 個人要望状態に対応した情報の必要性

フィードバック画面を見ることで、要望が採用されている実感はありますか？

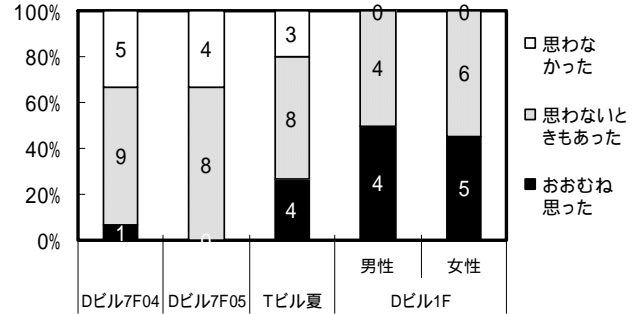


図 5.24 フィードバック情報による
要望の採用に対する実感

4-3-3 周囲の申告状況に関する情報が居住者心理に及ぼす影響

図 5.25 に周囲申告状況情報の必要性についてまとめたものである。図 5.25 よりいずれのフロアにおいても周囲への申告に関する情報の必要性が約 8 割以上を超えていた。これは、居住者の周囲の申告状況に対する関心が高かったことを示している。

周囲の申告状況の項目はあったほうが良いですか？

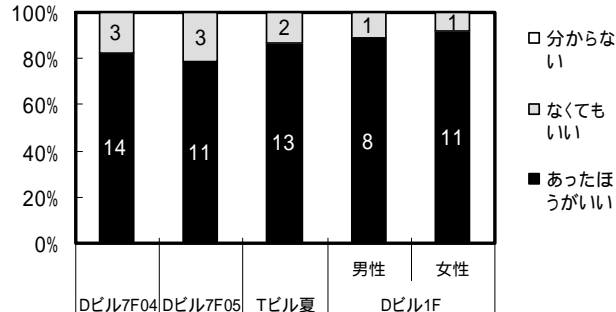


図 5.25 周囲の申告情報の必要性

周囲の申告状況を見ての運転に対する納得感や、自分と異なる意見の要望の存在が申告に与えた影響について検討するために、それらに関して行ったアンケート結果を図 5.26、図 5.27 にまとめて示す。図

5.26 より男性が多く占める T ビルと、D ビル 1F の男性では、約 60% 程度しか周囲の状況を見ても運転に納得できていなかったのに対して、D ビル 1F の女性では、全員が納得していたことが認められた。また、図 5.27 より周囲の申告状況を見て、約半数以上の居住者が個人の申告に影響なかったと回答していたのに対して、申告を思いとどまったり、積極的に申告するようになったりする居住者も存在していたことが明らかになった。

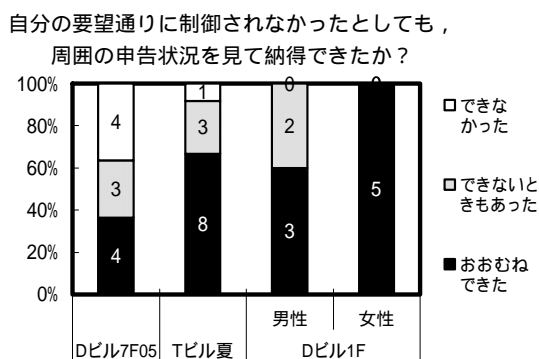


図 5.26 周囲の申告状況を見ての
運転に対する納得性（閲覧者のみ）



図 5.27 自分と異なる「申告割合」を
見ることでの申告への影響

4-4 考察

第 1 章で本論文内での「合意形成」とは「温熱環境に対する要望を総括して空調制御にフィードバックするプロセスと、周囲の要望状況やそれに基づく空調制御に関する情報をフィードバックするプロセスを繰り返し実行し、周囲の要望に基づいて現在の温熱環境が形成されることを認識、納得させることで、最終的に居住者間で納得できる温熱環境を見出すプロセス」と定義しており、その定義に従えば「居住者の要望を空調制御にフィードバックすると同時に、情報フィードバックを駆使して、それらの情報をお互いに共有する中で納得性を高める」ことができ、はじめて「合意形成」をなしえと考えられる。

ところで、第 3 章の実態調査では、実際のオフィスにおいて、寒暑時にビル管理者に連絡する居住者（以下、クレーマとする）と、冷房に寒いと感じながらもビル管理者に連絡せずに毛布や個別ヒーターで寒さを凌いでいた女性（以下、苦寒女性とする）などの様々なプレーヤーが存在していたことを報告した。「クレーマ」のビル管理者を介した設定温度の変更が、いつも居住者間で合意形成に基づいたものとは考えづらく、居住者間に少なからずの合意性バイアスが潜在していたと考えられる。こうした様々なプレーヤーが居住するオフィス環境に対して、本制御システムを導入した際の上記プレーヤーがどういった反応を示したかについての検討は、本制御システムの意義に関わる重要な検討項目である。

ここでは、「クレーマ」、「苦寒女性」と、それ以外の居住者の中で実験期間中に要望を申告しなかった「無申告者」、要望を申告し、さらにフィードバック画面を閲覧していた「申告者」の各種プレーヤー別に制御システムに対する反応を整理し、合意形成されていたかについて考察する。

図 5.28 に各種プレーヤーの要望申告割合の平均値と標準偏差を、図 5.29 に各種プレーヤー別の、制御システムの有効性に関するアンケート結果を、図 5.30 に実験期間中の温熱環境に対する満足感に関するアンケート結果を示す。図 5.28 より「クレーマ」の申告発生割合は比較的高く、「苦寒女性」の申告割合は低かった。また、図 5.29 より「クレーマ」、「苦寒女性」、「申告者」とともに約 80% がその有効性を

認めていた。管理者への連絡を通じて即座に設定温度を変更することに慣れている「クレーマ」にとって、居住者全体の合意の下で温熱環境を変更する本制御システムでは必ずしも個人の要望が通らないため、抵抗感を示すと予想されたが、今回の検討では比較的、本制御システムの有効性を認めていたと言える。「苦寒女性」に関しては申告する割合は比較的低かったが有効性を認めていた。本制御システムを利用していなかった「無申告者」では「分からない」といった回答結果が比較的多かった。その一方で、図 5.30 より「無申告者」の約 40%は温熱環境に満足しており、約 50%が「わからない」と申告していた。ここでは示していないが、図 5.29 で「有効だった」と回答した「無申告者」のほとんどは温熱環境に満足していた。つまり、「無申告者」の多くは温熱環境に対して不満が少なかったために、申告していなかったものと推測される。また、「クレーマ」、「苦寒女性」の約 60%が温熱環境に対して満足していたのに対して、「申告者」は約 40%程度の居住者しか満足していなかった。

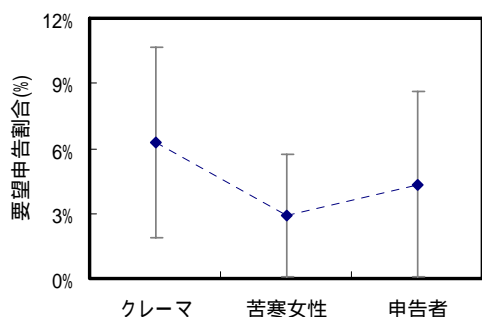


図 5.28 プレーヤー別の要望申告発生割合

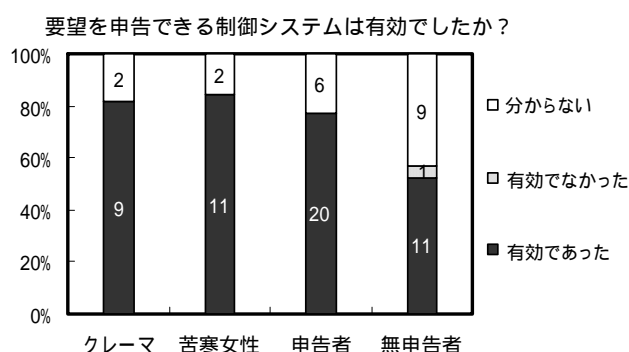


図 5.29 プレーヤー別の制御システムの有効性

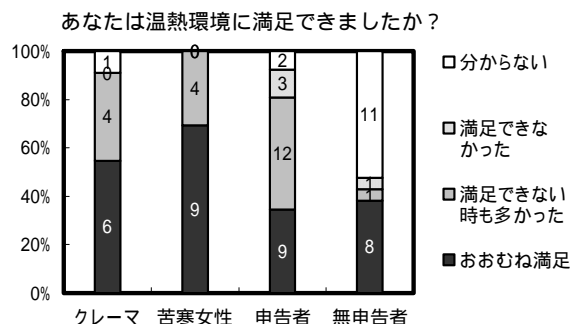


図 5.30 プレーヤー別の温熱環境に対する満足感

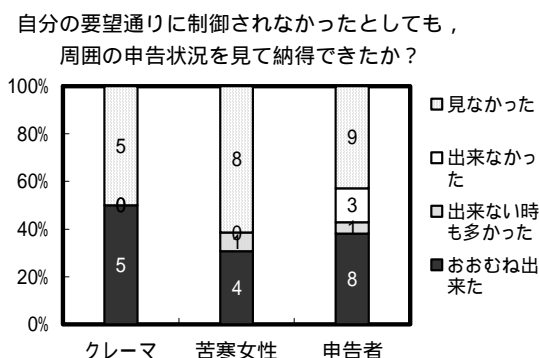


図 5.31 周囲への申告状況による納得性

図 5.31 にプレイヤー別に、「自分の要望通りに制御されなかったとしても、周囲の申告状況を見て概ね納得できたか」に関するアンケート結果を示す。図 5.31 では「見なかった」の「申告者」が多い結果となった。これらの居住者の中で、そのほとんどが、その他の設問項目では情報フィードバック画面を利用したと回答していたことから、恐らく設問にある状況に遭遇しなかったもの（気付かなかった）と推測される。こうした状況に遭遇した居住者に限って言えば、図 5.31 より「クレーマ」、「苦寒女性」で納得する居住者の割合が非常に高く、「申告者」で納得できない居住者の割合が比較的高かった。このことから、「クレーマ」、「苦寒女性」のように不満を覚えた場合になんらかの行為を選択していた居住者、つまり日常より温熱環境に対して敏感だったと推測される居住者に関しては、周囲への要望状態を

見ることで納得感が得られ、制御システムの有効性を実感していたと考えられる。一方、「申告者」に関しては図 5.29 より有効と認めていた居住者が多かった反面、図 5.31 より周囲への申告状況を見ても納得できない居住者も存在していた。しかしながら、「申告者」に関しては温熱環境に対して満足していた居住者が半数以下であったのに対して、周囲への申告状況を見ての納得感が 6 割近くに及んでいたことより、不満を覚えながらも周囲の状況を見ることで納得感の向上につながっていたものと考えられる。

4-5 本節のまとめ

フィードバック画面が居住者心理に及ぼす影響について、アンケートによって居住者心理を測定することで検討を行った。以下に得られた知見をまとめる。

- 1) フィードバック画面と要望申告発生割合の関係よりその相関関係が認められ、要望を頻繁に申告する居住者はフィードバックを利用していたことが示唆された。
- 2) フィードバック画面の必要性は 8 割近くの居住者が感じており、その中でも「最新の申告状況」、「最新の制御履歴」の重要性は高く、ついで「省エネ情報」となっていた。これより個人の要望の扱われ方とそれの取り巻く周囲の申告状況について感心が高かったことが示された。特に、「自分の要望と異なる方向に制御がなされた場合の通知」に関しては、女性の全員がその必要性を認めていた。
- 3) 周囲の申告状況を見て男性の多くと女性のほとんどが納得感を示した。これは、少なからずとも自分の異なる要望を持つ居住者を含め周辺居住者の存在を認知した上で、その周辺居住者の要望に基づいた運転結果に対して納得していたと判断でき、個人を含めて周辺の居住者の要望で決定された運転状況に対して合意を示したと言える。
- 4) 第 3 章の事前のアンケートの中で管理者にクレームを上げていた「クレーマ」と、冷房中寒くてもクレームを言わずに毛布などで凌いでいた女性を「苦寒女性」とに分類して検討したところ、両者カテゴリーの居住者のほとんどは制御システムの有効性を認めていた。これは、日常の中で身の回り温熱環境に対して不満を覚えていた両者にとって身近に要望を申告できることが非常に有効的で働いたためと考えられる。その一方で、この結果の中で、普段では身の回りの環境に対して高い関心を示していなかった居住者は比較的、納得できていなかった傾向が示された。

5 小括

本章では空調制御の参加や情報フィードバックを実現するユーザーインターフェイスとその他の各種要因が、居住者の空調制御への参加意識や合意形成に与える影響を把握することを目的とし、居住者の申告状況と制御システムに対する心理反応の調査を試みた。以下に得られた知見を示す。

1) 空調制御への参加可能な環境に対する居住者の利便性とその参加状況

空調制御への参加可能な本制御システムの有効性に関して、「有効でない」と回答した居住者はほとんど存在しておらず、6割以上の居住者がその有効性を認めていた。

申告に対する操作性に関して、アイコン型、Web型のいずれの申告方法についても9割近くの居住者で業務に差し障りがなく、そのほとんどで操作自体に面倒さはなかったという回答が得られた。

要望申告の発生割合に関して、実験期間を通じて一度も利用しなかった居住者が約20%程度存在しており、要望申告の発生割合が3%以下の居住者が全体の約50%を占めていた。また、不満を感じる居住者の要望申告発生割合は平均して1.0回/日弱程度であった。

2) ユーザーインターフェイス以外の各種条件が1)の参加状況に及ぼす影響

行動別の要望申告発生割合の関係を求めたが、「入室時」の「上げてほしい」を除き、行動別の要望申告発生割合に顕著な違いは確認できなかった。この原因として行動データの精度が挙げられ、データ収集方法について、今後、工夫する必要があると考えられる。

外気温度は「上げてほしい」、「下げてほしい」の要望申告発生割合に対して、感度の高いパラメータであることが認められた。

3) 「情報フィードバック」が居住者間の合意性や運転状態に対する納得感に及ぼす影響

フィードバック画面と要望申告発生割合の関係よりその相関関係が認められ、要望を頻繁に申告する居住者はフィードバックを利用していたことが示唆された。

フィードバック画面の必要性は8割近くの居住者が感じており、その中でも「最新の申告状況」、「最新の制御履歴」の重要性は高く、ついで「省エネ情報」となっていた。これより個人の要望の扱われ方とその取り巻く周囲の申告状況について比較的感心が高かったことが示された。

3) 周囲の申告状況を見て男性の多くと女性のほとんどで運転状態に対する納得感を示した。これは、少なくとも自分の異なる要望を持つ居住者を含め周辺居住者の存在を認知した上で、その周辺居住者の要望に基づいた運転結果に対して納得していたと判断でき、個人を含めて周辺の居住者の要望で決定された運転状況に対して合意していたと言える。

4) 普段、管理者にクレームを上げていた「居住者」と冷房中寒くてもクレームを言わずに毛布などで凌いでいた女性のほとんどが、本制御システムの有効性を認めていた。

第6章 居住者の要望申告に基づくシミュレーションモデルの開発

1 はじめに

前章までの検討の中で、本制御システムが居住者の快適性向上や空調負荷の削減効果に有効であることを示した。ところが、同じ合意形成ロジックを適用したとしても、居住者特性や建物特性によって、その削減効果は変動的であるため、建物によっては当初の期待ほどの効果が得られないといった恐れも存在する。このため、設計段階で対象建物での期待効果を十分に見極めておくことは、制御システム導入に際して、きわめて重要な意思決定の判断材料となる。また、運用段階においても、その削減効果は日常の運用条件によって変動的であるため、運用の中で、適宜、その効果を提示することは運用者の意思決定を助け、さらには居住者へのフィードバック情報としても、現状の運転に対する達成感を与える点で有効的である。こうした本制御システムの設計、運用のそれぞれ段階での意思決定を行う際に、制御システムの効果予測は非常に有効的な機能となりうる。ところが、この効果予測には何らかの予測モデルが必要となるが、第2章の第3節で検討したような統計モデルの利用にはBEMSでエネルギーデータを蓄積しなければならず、すべての建物での適用は難しい。また、設計段階でエネルギーデータを入手することも基本的には難しい。

そこで本章では、こうした設計段階～運用段階での効果予測を支援するため、本制御システムの制御挙動や効果を予測するシミュレータの基本開発を試みる。こうしたシミュレータは、実システムに導入する際の省エネルギー効果試算のほか、実証実験では評価できなかったシステムの制御挙動を把握することができるようになり、幅広い検討が可能となる。図6.1に開発～運用におけるシミュレーションの役割とその構成についてまとめたものを示す。

a) 開発／評価フェーズ

開発・評価フェーズでの目的は、実証実験において評価困難な実験条件での検討を補うことにある。緩和効果に対して影響の大きかった男女構成比、外気条件、空調システム条件などの各種パラメータを入力条件として、設定温度の制御履歴や省エネルギー効果を予測できるシミュレータが必要となる。

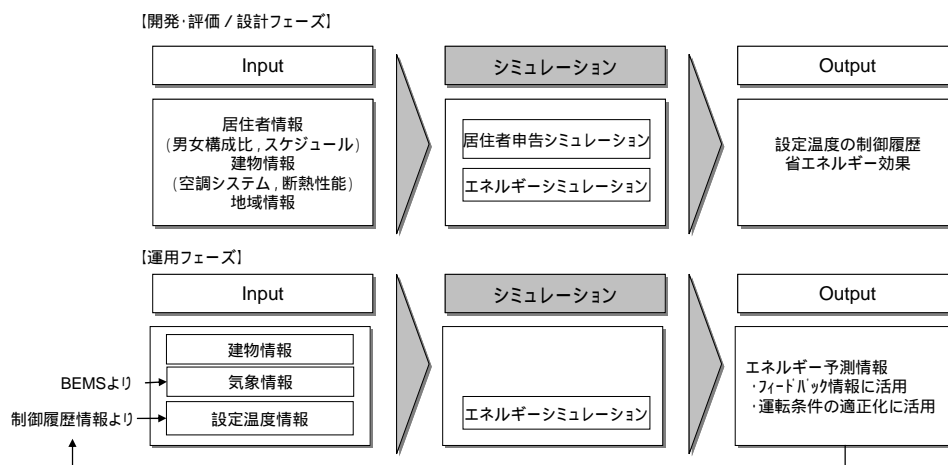


図 6.1 各フェーズでのシミュレーションの構成（上側：開発・設計フェーズ，下側：運用フェーズ）

b) 設計フェーズ

設計フェーズでの目的は、制御システム導入前にその導入効果を試算し、導入に値するかを検証することであり、対象建物の特性に合わせて効果を予測することが必要となる。そのため、入力条件としては、建物情報をカスタマイズできる自由度の高いシミュレータが必要となる。

c) 運用フェーズ

運用フェーズでの目的は、ビル管理者の運用支援、居住者の参加による効果をリアルタイムで表示することであり、その即応性とリアリティー性がビル管理者の正確な意思決定や居住者の参加意識の向上に役立つ。そのため、BEMSなどで収集した気象情報を使って、リアルタイムに効果予測できるシミュレータが必要となる。

こうした開発～運用フェーズで利用可能なシミュレータの開発を目的に、本論文ではこのシミュレータの基本開発を行い、その特性の把握を試みる。まず、前章までに得られた実測データを手掛かりに本制御システムの挙動を再現できるシミュレータの開発を試みる。本シミュレータの開発では、居住者の反応とそれに基づく制御挙動を再現する「居住者申告シミュレーション」と、設定温度の制御挙動に基づいて最終的なエネルギー消費量を予測する「エネルギーシミュレーション」に分割して開発を進める。次に、その基本特性を見極めるため、先の「居住者申告シミュレーション」を用いて、設定温度の制御結果に影響の大きかった男女構成比、開始温度、外気条件での感度解析を行い、さらに「エネルギーシミュレーション」を用いて、設定温度の緩和効果を最終的なエネルギー消費量の削減量にまで変換することを試みる。また、こうした過程により得られた緩和効果を空調システム別に整理を行い、システム特性と省エネルギー効果の関係についても考察を試みる。

以上より本章では、以下の手順に従い検討を進める。

- 1) 居住者申告とエネルギーシミュレーションの練成モデルの開発
- 2) 「居住者申告シミュレーション」による設定温度の緩和効果に及ぼす影響の検討
- 3) 「エネルギーシミュレーション」による省エネルギー効果に及ぼす影響の検討

また、本章での検討では冷房エネルギーの省エネルギー効果についての検討を行う。これは、第5章でも述べたように冬季では要望申告がほとんど発生しなかったために、検討できるほどデータを収集できなかったためである。冬季の検討に関しては今後の課題とする。

2 シミュレーションモデルの開発

2-1 居住者行動予測を目的とするシミュレーション技術の現状

居住者各人が身の回りの温熱環境を認知し、その環境に対して意思を持って情報を発信するエージェントとして取り扱う本制御システムでは、その制御挙動を再現するためには居住者の各個人の環境との相互的なやり取りを再現することが必要である。こうした事象に対して照明やPCなどと同様、居住者を単なる発熱体としてしか取り扱うことのできない従来型のエネルギーシミュレーションでは検討が難しく、居住者と温熱環境の相互的なモデルと従来型のエネルギーシミュレーションをリンクさせる試みが必要となる。

こうした各個人の行動を予測することで集団全体での挙動を予測するシミュレーション技術は、社会シミュレーション¹⁰⁹⁾とともに発展してきており、昨今では個人と環境、個人間の相互作用を再現し、

集団全体の挙動を予測するマルチエージェント型のシミュレーションの研究が盛んになっている¹⁰⁸⁾。環境工学分野においても居住者と環境との相互作用をモデル化する試みは、計算機の処理能力の増加に伴い増加する傾向にある。例えば、Fidsk⁷⁾は次時刻の窓の開閉行為を屋外環境条件を入力条件としたマルコフ過程で確率的に取り扱えと仮定し、居住者の窓の開閉行為を考慮したシミュレーション方法を提案している。また、Neashm, Reinhart¹¹⁵⁻¹²⁰⁾は個室部屋における人工照明と昼光照明の選択が、屋外環境条件だけでなく個人の嗜好性によって影響されることを考慮するため、居住者の反応を確率的に扱った照明エネルギーシミュレーション「LightSwitch2002」を提案している。国内では谷本¹¹⁰⁻¹¹²⁾や藤井¹¹³⁾らが住宅での窓の開閉と冷房の選択に関する環境調整行動の個人モデルを構築し、住宅の熱負荷計算における冷暖房スケジュールのあり方について検討を行っている。

これらの検討は個別部屋における居住者個人と環境空間の関係に限って行われており、本研究の対象とする各個人の環境空間に対する反応から居住者全体の集団特性をマクロ的に把握するものではない。本シミュレーションでは居住者各個人の業務スケジュールや、環境に対する認知、申告の行動までを再現し、居住者全体の集団特性について評価を試みている。

2-2 モデル概要

本研究のシミュレーションモデルは、居住者各人の要望申告を予測し、その申告と合意形成ロジックに基づき設定温度を算出する「居住者申告シミュレーション」と、そこで得られた設定温度に対する省エネルギー効果を評価する「エネルギーシミュレーション」より構成される。図 6.2 にシミュレーションモデルの概念図を示す。「居住者申告シミュレーション」に関して、建築伝熱計算に基づいて設定温度に追従する室内温度を予測する「温熱環境モデル」と、時刻 $k-1$ の室内温度に対して確率的に発生する要望情報を入力条件として「合意形成モデル」によって設定温度を決定する「居住者モデル」との間には、室内温度とその温度条件の反応より決定される設定温度の相互的なやり取りが計算ステップごとに行われる。また、居住者の室内温度に対する要望の発生過程を確率的に取り扱うため、一度の試行で一意にその特性を得ることは難しい。そのため、モンテカルロ法¹³⁰⁾によって 1000 回程度(999 回)の試行を繰り返し実行し、時間ステップごとの設定温度の頻度分布を求め、各時刻の設定温度の中央値と片側 5%の特異値を「エネルギーシミュレーション」に引き渡す。「エネルギーシミュレーション」では、その設定温度の特異値に対するエネルギー消費量を「TRNSYS」より予測し、その省エネルギー効果を算出している。

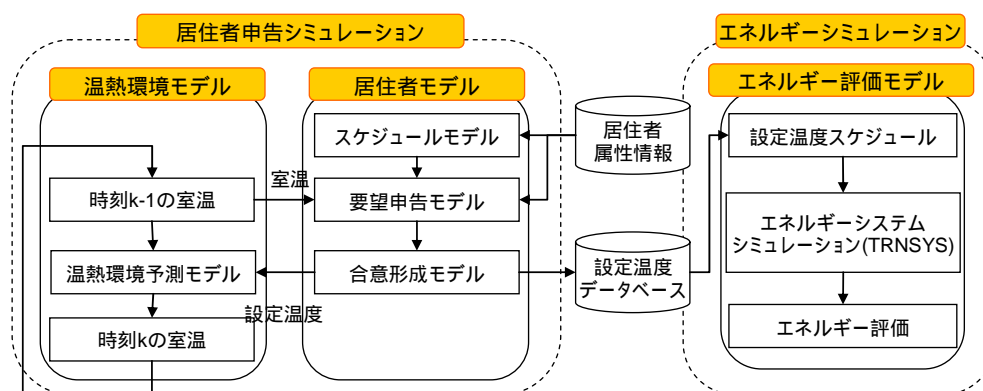


図 6.2 居住者-温熱環境相互モデルとエネルギー評価モデルの関係図

2-3 居住者申告シミュレーション

「居住者申告シミュレーション」は居住者モデルと温熱環境モデルより構成されており、室内温度と設定温度のモデル間での相互的なやり取りを毎時刻繰り返し実施することで設定温度が決定される。

2-3-1 居住者モデル

居住者モデルは、スケジュールモデル、要望申告モデル、合意形成モデルより構成される。スケジュールモデルでは、居住者の業務形態によってその居住者のオフィスに在室するスケジュールデータを生成する。要望申告モデルでは在席・在室状態にある居住者に対して、前ステップの室内温度を入力条件として与え、要望申告の発生を乱数に基づいて決定する。合意形成モデルでは、第2章で述べたような合意形成アルゴリズムと同じモデルが組み込まれており、要望情報に基づいて設定温度が決定される。

2-3-2 スケジュールモデル

スケジュールモデルとして、定時時間帯での在室スケジュールを生成するモデルと、出社、退社時間を規定するモデルが男女別に存在する。スケジュールデータの形態として、従来のシミュレーションでは時刻ごとの在室率を入力条件として与えられることが多かったが、本検討では各個人の行動をシミュレーションすることを前提とするため、居住者一人一人がそれぞれの時刻での業務スケジュールを保有する形式となっている。図 6.3 に各個人のスケジュール生成フローを示す。

(1) 在室スケジュール

昨今の女性の社会進出より総合職に従事する女性が増えてきているが、まだまだ事務職に従事する女性が多くを占めると考えられ、ほぼ定時時間に出勤、退社を行い、昼食時間を除いて事務所に在室するものとする。男性の定時時間中のスケジュールは図 6.4 に示す各時刻の確率分布に規定され、すべての男性は毎時刻に図中の確率分布から業務内容を確率的に決定する。また、定時時間以前や以降の残業時間中は必ず在室することとする。また、図 6.4 の業務スケジュールは、研究・開発職である T ビルと事務職である D ビルの男性の 1 時間ごとのスケジュールを平均化して生成したものである。

(2) 出社、退室

出勤、退社時間は図 6.5 の確率分布によって規定される。本モデルでは図中の確率分布から出勤、退出時間を確率的に決定し、各人の勤務時間を決定する。

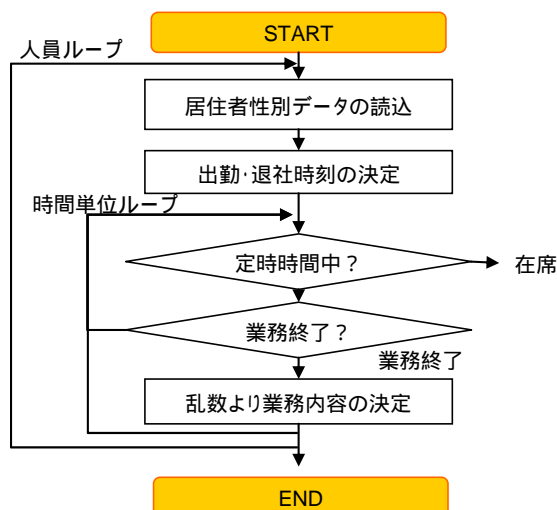


図 6.3 スケジュール生成フロー

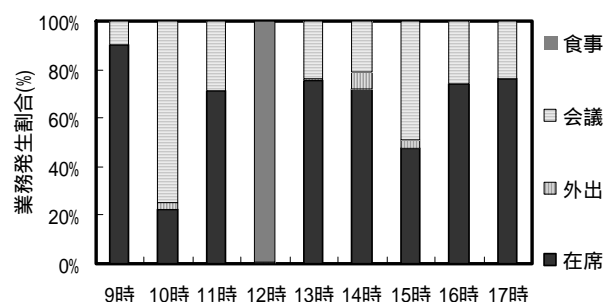


図 6.4 男性の業務スケジュール

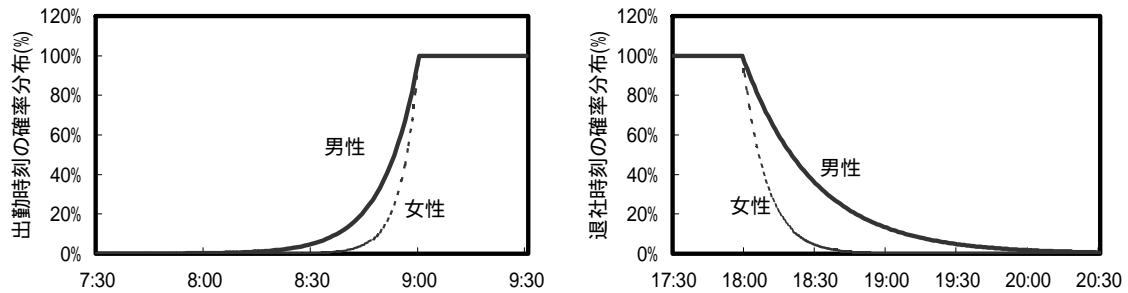


図 6.5 出勤時刻と退社時刻の確率分布

2-3-3 温熱環境に対する申告発生モデル

前章の居住者近傍温度と要望申告発生割合の関係式である式(6.1)に対して、乱数を与え、その乱数に対して、関係式を比較することで申告の発生を決定する。また、その際のモデルパラメータ a, c に関しては、第 5 章で求めた日平均外気温度との回帰式(6.2)～式(6.7)より求める。居住者の要望申告は室内温度と外気温度に影響されるものとし、事前の業務状態や過去の申告状況、周囲への申告状況に関する情報フィードバックを閲覧することによる申告への影響はないものとする。また、居住者自身の学習、居住者間のコミュニケーションについては考慮しないものとする。また、個体差に関して、PMV 値のばらつきを正規分布で表現した Rohles¹²⁹⁾ のモデル (表 6.1)によれば、PMV 値+1～+3 の範囲で標準偏差 0.50～0.78 (表 3.12 の条件であれば、室内温度にして 2.1～3.8 に相当する) のばらつきが存在するとされている。今回の検討において、個体差が大きくなりすぎると属性差などの影響を十分評価できない可能性があるため、個体差として式(6.2)～式(6.7)の居住者の反応温度に関するパラメータ c に平均 0.00、標準偏差 0.50 の正規分布に従う白色雑音項 を付与することとする。

$$P = \frac{\exp(a(x - c))}{1 + \exp(a(x - c))} \quad (6.1)$$

ここで

P : 近傍温度()に対する要望発生割合(%)

x : 近傍温度()

a : 曲線の滑らかさを表すパラメータ。パラメータ a の絶対値が大きい場合、近傍温度に対して曲線が急激に変化しているのに対して、小さい場合では曲線が近傍温度に対して緩やかであることを表す。

c : 曲線が変化する室内温度条件を表すパラメータ。 $P=1/2$ とする近傍温度。

c が大きい場合では、高い温度域で要望が集中していたことを表し、 c が小さい場合では、低い温度域で集中していたことを表す。

t_o を 9 時～17 時の平均外気温度とした場合、パラメータ a, c は式(6.2)～式(6.7)より導出が可能となる。また、その試算結果が図 6.6 である。

上げてほしい :

$$\text{男性} : c = 0.164 * t_o + 12.75 + \varepsilon \quad (6.2)$$

$$\text{女性: } c = 1.140 * t_o - 15.14 + \varepsilon \quad (6.3)$$

$$a = -0.0312 * c^2 + 1.0010 * c - 8.4687 \quad (6.4)$$

下げてほしい :

$$\text{男性: } c = -0.594 * t_o + 48.95 + \varepsilon \quad (6.5)$$

$$\text{女性: } c = -0.225 * t_o + 35.69 + \varepsilon \quad (6.6)$$

$$a = 0.0659 * c^2 - 4.363 * c + 72.993 \quad (6.7)$$

表 6.1 PMV 値とそれぞれでの標準偏差¹²⁹⁾

| PMV | +3 | +2 | +1 | 0 | -1 | -2 | -3 |
|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 標準偏差 | 0.50 | 0.67 | 0.78 | 0.85 | 0.57 | 0.73 | 0.81 |

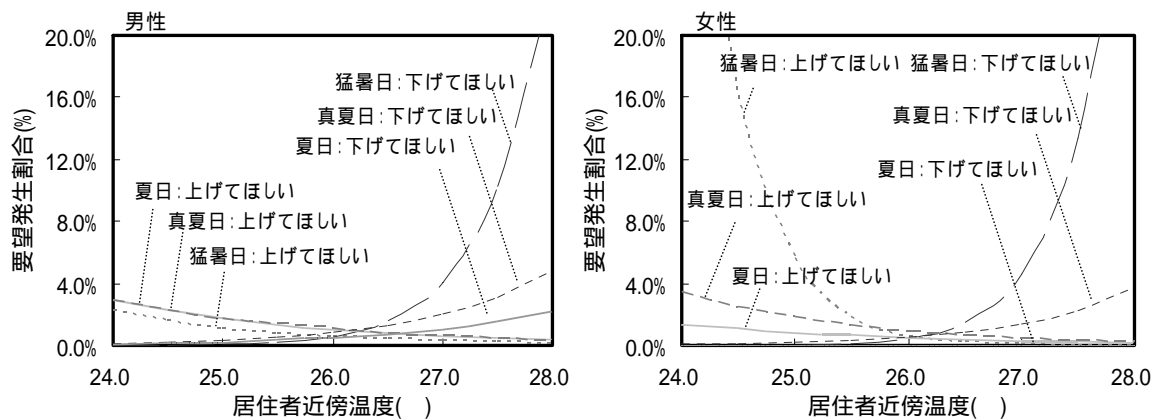


図 6.6 近傍温度と要望申告割合の関係 (左側: 男性, 右側: 女性)

2-3-4 温熱環境予測モデル

本検討でのシミュレータは, 外気条件, 男女構成, 開始温度が設定温度制御に及ぼす影響について評価することを目的とするため, 設定温度と室内温度の関係は簡単なほうが望ましい。そのため, 温熱環境予測モデルでは, “設定温度” モデルを単純化させるため基本的に“室内温度”と“設定温度”が合致すると想定した。ただし, 設定温度が変更されてから室内温度は 20 分間かけて設定温度に線形的に近づくものとする。また, 室内空間は温度分布を考えず, 完全混合を仮定する。

2-3-5 合意形成モデル

合意形成モデルでは, 第 2 章で述べたような合意形成アルゴリズムと同じモデルが組み込まれており, 要望情報に基づいて設定温度が決定される。ただし, 居住者の在席人数のカウント方法に関しては, 実験と異なり計算ステップごとカウントするものとした。

2-4 エネルギーシミュレーション

「エネルギーシミュレーション」は設定温度スケジュール生成モデルと空調システムシミュレーションより構成されており, 「居住者申告シミュレーション」を繰り返し試行することで得られた設定温度の頻度分布より, 統計的に特徴的なデータを抽出し, その設定温度に基づいて空調エネルギー消費量を予測する。

2-4-1 設定温度スケジュール生成

2-3 の「居住者申告シミュレーション」を繰り返し試行することで生成される設定温度の頻度分布より、統計的に特徴的なデータを抽出し、設定温度のスケジュールデータを構築する。図 6.7 にその生成手順を示す。図中の左側は、「居住者申告シミュレーション」の繰り返し計算によって得られる代表的な試行結果を表し、右上の図はその試行結果より時刻 k における設定温度を抽出して、作成した頻度分布である。この頻度分布より分布の中央値と片側 5% の設定温度を、特異値として各時刻で求め、それを一日のスケジュールとしてつなぎ、まとめたのが右下の図である。

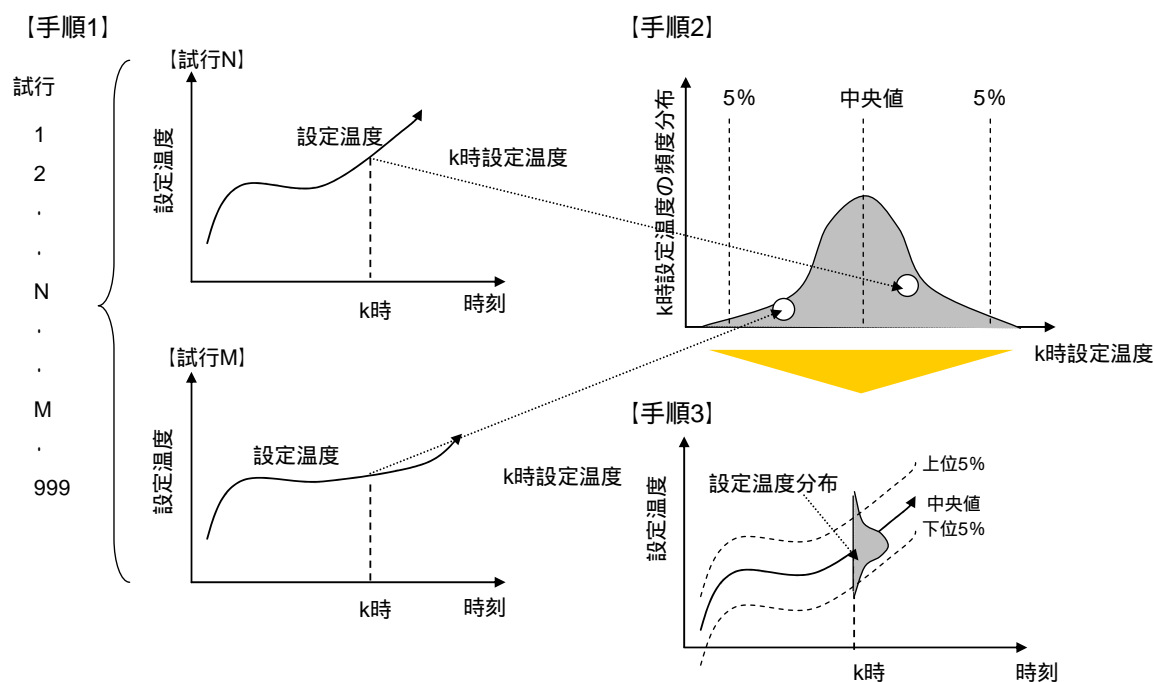


図 6.7 設定温度スケジュール生成手順

2-4-2 エネルギーシミュレーション

2-4-1 で得られた設定温度のスケジュールに基づき、システムシミュレーションを利用してエネルギー消費量を計算する。システムシミュレーションとしては TRNSYS を利用した。TRNSYS¹²²⁾は、米国ウィスコンシン大学ソーラー研究所(SEL)を中心に開発されてきたエネルギーシミュレーションであり、建物、空調システムを 600 種類以上のライブラリを組み合わせることで構築できることが特徴である。特に、タイムステップや設定温度の変更に関する自由度は、計算ステップ、設定温度の固定を前提とする HASP / ACSS¹²¹⁾などと比較して優れており、短時間での設定温度の変更を前提する本制御システムを評価する場合では TRNSYS を用いることが妥当だと考えた。

2-5 基本条件設定

2-5-1 対象建物の設定

対象建物の標準フロアとして、D ビル 7F の東エリアを採用した。その平面図を図 6.8 に、居住者、機器や照明発熱の基本条件を表 6.1 に示す。居住者は 85 名在籍するものとし、男女構成に関しては各種検討の中で変更する。照明機器、OA 機器の内部発熱をそれぞれ 20W/m^2 と設定し、居住者の内部発熱として座位状態を仮定して顕熱 88W/人 、潜熱 22W/人 とした。表 6.2、表 6.3 にフロア負荷条件と、各種壁面の構成を示す。物性値や各部材の構成に関しては、TRNSYS の推奨値を採用した。ゾーニングに関して、ペリメータとインテリアに分割して熱負荷計算を行った。

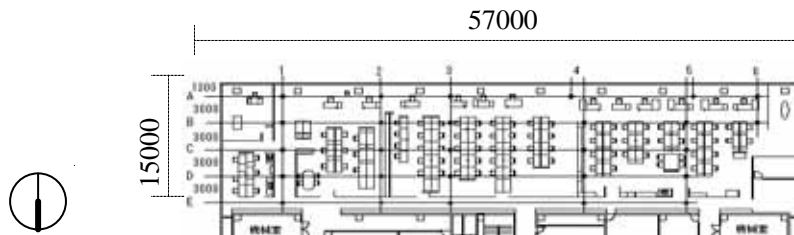


図 6.8 対象フロアの平面図

表 6.2 フロア負荷条件

| | フロア条件 |
|-------|----------------------------------|
| 面積 | 855 (m ²) |
| 窓面高さ | 1.8(m) |
| 在籍者 | 85名(事務職) |
| 機器発熱 | 20 (W/m ²)*在室率 |
| 照明発熱 | 20(W/m ²)*在室状態 |
| 人体発熱 | 顕熱88(W/人)*在室人数 潜熱22(W/人)*在室人数 |
| 外気導入量 | 2550(m ³ /h) |
| 隙間換気 | 0.015(1/h) |

在室状態・・在室 1, 不在 0

表 6.3 各種壁面の構成

| 外壁 | 外壁構成 |
|--------|-----------|
| レンガ | 0.24(m) |
| 断熱材 | 0.10(m) |
| プラスタ | 0.015(m) |
| 内壁 | 内壁構成 |
| 石膏ボード | 0.012(m) |
| ロックウール | 0.050 (m) |
| 石膏ボード | 0.012(m) |
| 天井・床 | 天井・床構成 |
| 石 | 0.060(m) |
| ロックウール | 0.040(m) |
| コンクリート | 0.240(m) |
| 窓種類 | 窓特性 |
| フロート | 0.006(m) |

2-5-2 空調システムの設定

3-1 の対象建物で得られる熱負荷に対して TRNSYS を用いることで、空調エネルギー消費量の算出を試みる。表 6.4 に対象建物の空調システム仕様を示す。空調システムとして中央熱源方式と、ビルマルチ空調方式の二つのモデルを設定した。空調設計能力や風量に関して、本来であれば最大熱負荷計算に基づいて行われるべきであるが、本検討では実際の D ビルの設計情報があるため、D ビルの代表フロアの設計情報を参考に設定を行った。また機器能力としては TRNSYS の推奨値を参考に設定した。熱源のシステム構成として、中央熱源方式ではガス吸収式冷凍機 1 台（ガス焼きボイラを含む）の単純な熱源構成を想定し、ビルマルチ方式では室外機と外調機の併用を想定した。

表 6.4 中央熱源方式とビルマルチ方式の空調能力一覧

| | 中央熱源方式 | ビルマルチ方式 |
|-----------|---|---|
| 設計能力 | 100kW | |
| 設計風量 | 往:17000(m ³ /h) 還:15000(m ³ /h) | |
| 設計外気取入量 | 3000(m ³ /h) | |
| 熱源方式 | 温水吸収式冷凍機 | 空気式ヒートポンプ |
| 熱源機器能力 | 熱源1台:100kW | 外調機2台:15kW×2 室外機3台:23kW×3 |
| 熱源機器消費電力 | 熱源電力:4.26kW 冷却塔:4.24kW | - |
| 性能(定格COP) | 熱源:1.2 | 外調機:4.2 室外機:4.2 |
| 制御特性 | 熱源機器能力制御: ・0~100% 風量制御: ・25~100% 2次側ポンプ能力制御: ・0~100% | 外調機: ・外気温度26 以上で100% ・外気温度20 以上で50% ・外気温度20 以下で0% 室外機: ・13~100%の能力制御 |
| 行きファン特性 | 定格能力:17000m ³ /h 消費電力量:24.0kW | 室内機:12台 定格能力:8.3kW×12 消費電力量:0.15kW×12 |
| 還りファン特性 | 定格能力:15000m ³ /h 消費電力量:8.0kW | |
| 2次側ポンプ特性 | 定格能力:230l/min 消費電力量:2.3kW | - |

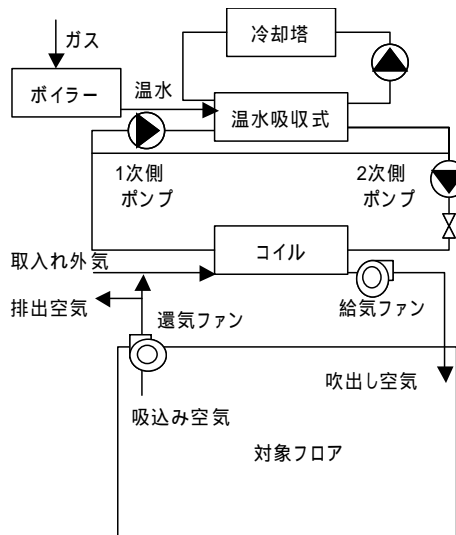


図 6.9 中央熱源方式のシステム構成図

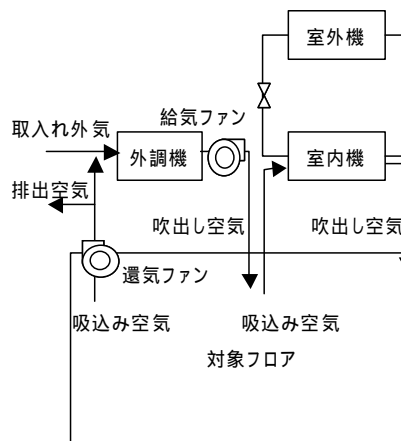


図 6.10 ビルマルチ方式のシステム構成図

(a) 中央熱源方式

図 6.9 にシステム構成図を示す。対象建物として、代表フロア一つに対して熱源 1 台を想定しており、温水吸収式 1 台（ガス焚きボイラーを含む）の単純な熱源構成を仮定した。空調システムに関して、実際の D ビルでは、空調機が南北系統に 1 台ずつ、ファンコイル 11 台が設置されているが、モデルを単純化するために空調機 1 台とした。図 6.11 に熱源機の特性を示す。これらの冷凍機的能力特性式は、TRNSYS の推奨値を参考に作成したものである。図 6.12 にファンの性能曲線を示す。ファンの消費電力特性として、D ビルの実測データを用いた。室温制御方式として VAV (Variable Air Volume) 制御を想定しており、室内温度が設定温度を満たすようにファンの出力が 25% ~ 100% の範囲内で制御されるものとした。また、その制御方式として、給気温度が設定温度 17.0 を満たすようにバルブ開度を調節し、それに連動して、2 次ポンプ流量が調節されるものとした。また、給気温度は固定とし、ロードリセット制御はないものとする。熱損失に関してダクト内で一様の熱損失があるものと考え、一定の発熱量を与えた。

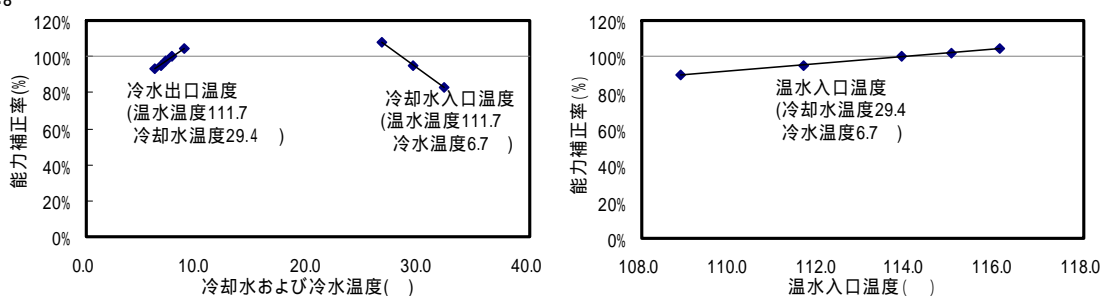


図 6.11 熱源能力特性図（左側：冷却水，冷温水との関係，右側：蒸気温度との関係）

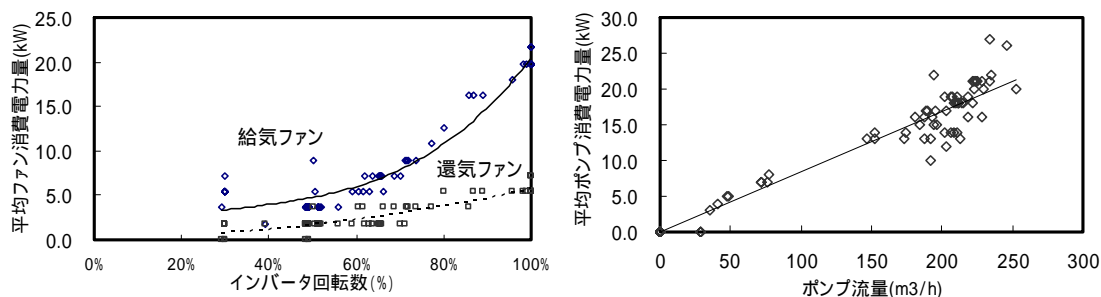


図 6.12 ファン・ポンプの消費電力特性（左側：ファン，右側：ポンプ）

(b) ビルマルチ空調方式

システム構成図を図 6.10 に示す。ビルマルチでは空冷式ヒートポンプの室内機 12 台，室外機 3 台，外調機 2 台より構成され，それぞれに対応する機種能力特性を技術カタログ¹²³⁾から見つけ出し，定格値に対して補正のための特性式を生成している(図 6.13)。また離散的に与えられた負荷特性に関して線形的に内挿して補った。

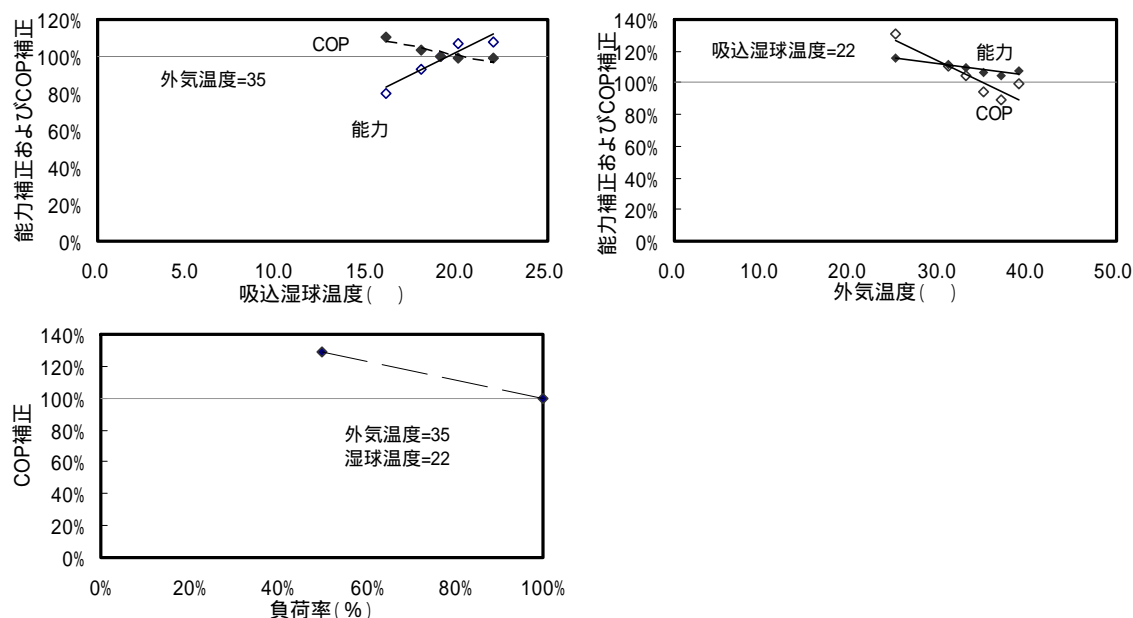


図 6.13 空冷 HP 能力特性図（左上：湿球温度，右上：外気温度，左下：負荷率）

2-5-3 気象条件設定

気象条件として TRNSYS で扱われる大阪気象データの 7 月～9 月分を用いた。また，本シミュレーションでは，居住者全員の行動パターンを短い時間間隔で繰り返すことが必要であり，莫大な計算負荷を必要とする。そこで冷房期全日でのシミュレーションを行わず，代表日においてシミュレーションを施し，その特性を把握することとする。代表日としては図 6.14 に示す 9 時～17 時の平均外気温度の頻度分布に基づき，分布の 4 分位点である上位 25%，中央値，下位 25%である 8/26，9/6，9/15 と，ピークの出現する 8/31 を代表日として設定し，それらの条件を「夏上」，「夏中」，「夏下」，「ピーク」とした。

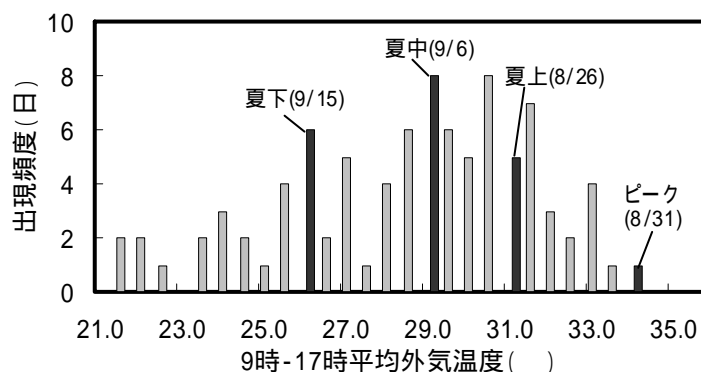


図 6.14 9 時～17 時の平均外気温度の頻度分布(7 月～9 月)

2-5-4 省エネルギー評価

電気とガスが混在する省エネルギー評価を行う場合，１次エネルギーでの評価が必要となる。表 6.5 に中央熱源方式とビルマルチ方式のエネルギー評価の項目を示す。省エネルギー評価に際しては，表中の項目に対して１次エネルギー換算をして評価を行う。なお，消費電力に対する１次エネルギー換算係数を 9.97(MJ/kWh)とした。またガス焚きボイラーの温水発生効率を 0.8 とした。

表 6.5 省エネルギーの評価項目

| | 中央熱源方式 | ビルマルチ方式 |
|-----|------------------|----------------------------------|
| 熱源系 | 温水入力消費熱量 | 外調機消費電力量 室外機消費電力量 室内機消費電力量 |
| | 熱源消費電力(1次側ポンプ含む) | |
| | 冷却塔・ポンプ消費電力量 | |
| 搬送系 | 2次側ポンプ消費電力量 | |
| | 給気・還気ファン消費電力量 | |

3 居住者申告シミュレーションの検討

3-1 検討概要

前節のシミュレーションモデルを用いることで、居住者個人の申告反応を時々刻々と予測し、その際の設定温度の推移結果を検討することが可能となる。ここでは、まず「居住者申告シミュレーション」を試算し、そのシミュレーションの特性を把握する。その次に、各種因子に対する設定温度の制御結果を感度分析することで、その因子に対するシステム特性の影響を把握し、さらに設定温度の緩和効果に及ぼす影響について検討を行う。

- 1) 「居住者申告シミュレーション」の特性把握
- 2) 男女構成比、外気条件、開始温度が設定温度制御に及ぼす影響

3-1-1 「居住者申告シミュレーション」の特性把握

居住者の要望申告行為を確率的に扱う「居住者申告シミュレーション」では、一連の試行を繰り返し実施することで、その特徴を表した頻度分布が得られる。ところが、こうした繰り返し計算は、計算負荷が大きく計算コストも必要になってくる場合がある。そこで、先ず、こうした繰り返し計算が有効であり、本シミュレーションが比較的妥当なものであることを示さなければならない。

本検討では、999 回の試行した計算例よりそのばらつきの程度を把握し、一度の試行で十分な結果が得られるかについて検討を行う。また、実測での設定温度の制御結果と比較することで本シミュレーションの妥当性について検討を行う。表 6.6 に計算条件に従い、本シミュレーションの試算を行う。

3-1-2 各種パラメータの感度分析

「居住者申告シミュレーション」を用いて、前節までの検討の中で本制御システムへの影響が認められた男女構成比、開始温度、外気条件についての感度分析を行う。表 6.7 は感度分析で検討した因子とその水準を示したものである。また、適用ロジックとして「快適優先ロジック」を用いた。「冷房・省エネ優先ロジック」に関しては、前章までの検討の中で各種要因に大きく影響を受けず、その効果の変動性が認められたため、今回の検討対象としていない。

表 6.6 試算の計算条件

| | 条件 |
|---------|-----------------|
| 男性割合 | 50% |
| 繰り返し計算数 | 1000 |
| 開始温度 | 26 , 28 |
| 外気条件 | ピーク, 夏上, 夏中, 夏下 |
| 適用ロジック | 快適優先ロジック |
| 時間 | 9:00 - 18:00 |

表 6.7 各種計算条件と水準

| 検討項目 | 条件水準 |
|------|--------------------|
| 男性割合 | 100%, 90%, 50%, 0% |
| ロジック | 快適優先ロジック |
| 開始温度 | 28 , 26 , 24 |
| 外気条件 | ピーク, 夏上, 夏中, 夏下 |

3-1-2 計算条件

スケジュールに関しては、一日一回、居住者全員に対して一様乱数を発生させて、図 6.4、図 6.5 のスケジュールに関する確率分布に従って、出社、帰社時刻や定時時刻内での業務内容を決定した。居住者温熱環境-相互作用モデルの計算フローを図 6.15 に示す。本モデルによって、モンテカルロ計算法を利用し、999 回の繰り返し計算を施すことで、設定温度の分布を得ることができる。制御周期である 10 分間隔ごとに居住者全員に対して一様乱数を発生させて、式(6.1)と居住者の近傍温度との関係より居住者

の要望申告の発生を予測した。また，合意形成ロジックに関しては，「快適優先ロジック」を適用しており，その適用条件に関してもほぼ第 4 章での実験と同様であり，設定温度の変化幅を 0.5 ，要望の保持時間を 2 時間とした。実験と異なる点としては，在席者人数の計測に関して実証実験では 1 時間～2 時間周期で人数のカウントを行っていたが，本シミュレーションでは計算ステップごとでカウントを行った。

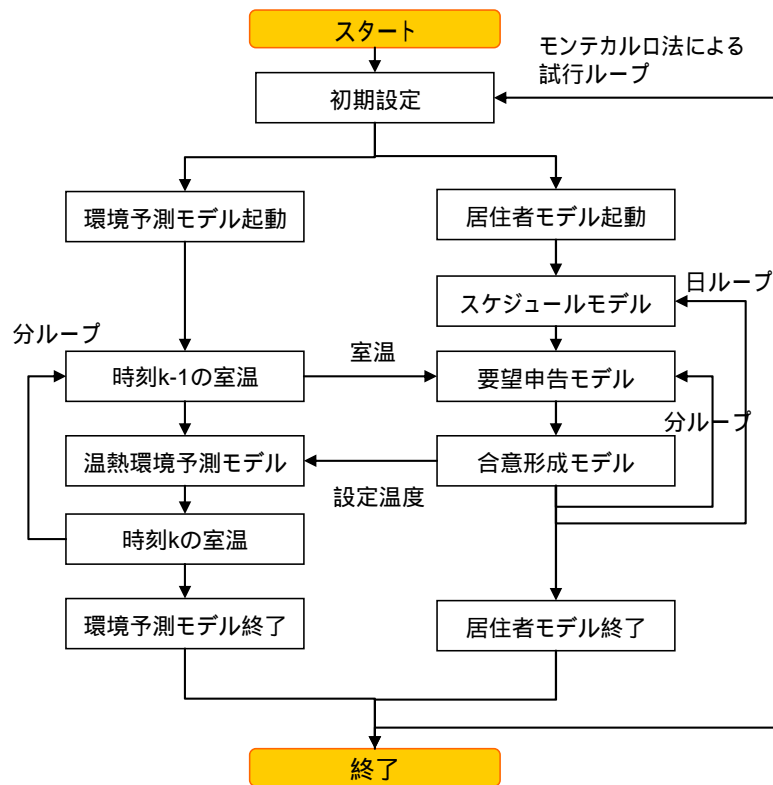


図 6.15 居住者温熱環境-相互作用モデルの計算フロー

3-2 結果と考察

3-2-1 試算結果

要望申告の発生を確率変数として取り扱うことによる設定温度への影響を把握するため、999 回の試行計算を行い、そこで得られた設定温度の頻度分布について検討を行った。図 6.17 は、計算ステップごとに得られた設定温度の頻度分布より、その中央値と上位 5%、下位 5% の設定温度を抽出し、その設定温度を時系列順に、つなぎあわせたものである。999 回の試行で得られた設定温度の日平均値と 1 日の終了時の設定温度（以下、終値とする）の頻度分布を示したのが図 6.18 である。また、図 6.17、図 6.18 には、外気条件を「夏上」とした場合の代表的な計算結果を示している。「快適 26」では、26.0 で開始した温度が上昇していき、設定温度の終値が 26.0 ～ 27.0 に、「快適 28」では 26.5 ～ 27.5 に推移していた。図 6.18 より、日平均設定温度では「快適 26」、「快適 28」の両方とも正規分布に近い形状が得られ、1.0 程度のばらつきが確認された。また、設定温度の終値では 1.5 程度のばらつきが確認された。こうした結果より、試行ごとに設定温度の計算結果にばらつきが見られ、一度の試行では十分にその特性を表現できないことが明らかになった。これは、不確定要素である申告行為のタイミングが設定温度の制御結果に影響を与えていたことを示しており、こうした不確定要素を含む場合の特性把握として、モンテカルロ法による検討が必要不可欠であったことが示された。

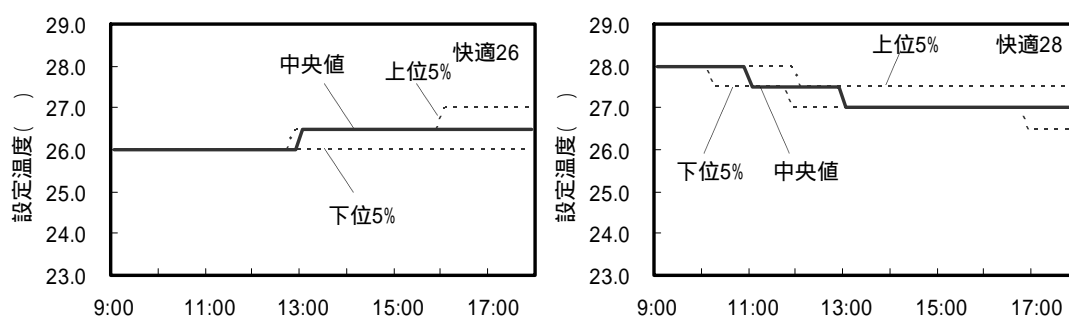


図 6.17 「快適 26」、「快適 28」における中央値、上位 5%、下位 5%を示す条件下での設定温度の推移
(男性割合 50%、夏上、左側：快適 26、右側：快適 28)

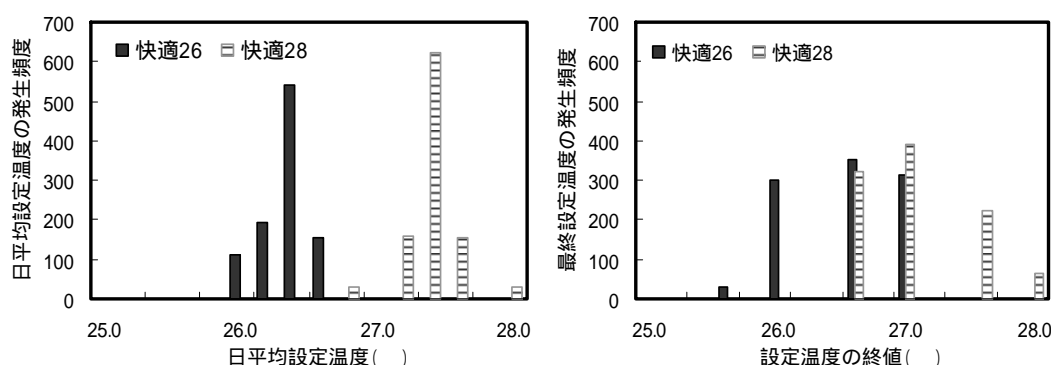


図 6.18 「快適 26」、「快適 28」における日平均設定温度と終値の頻度分布
(男性割合 50%、夏上、左側：日平均設定温度、右側：終値)

次に、計算結果の妥当性を検証するため、図 6.19 に第 4 章の実験で得られた日平均外気温度と設定温度との関係式と、シミュレーションで得られた関係式について比較した結果を示す。シミュレーションの計算条件としては、「ピーク」、「夏上」、「夏中」、「夏下」の外気条件で男性割合を 50%とする。比較のための実験値として D ビルの結果を用いた。「快適 26」では実験値と同様、外気温度に対してほぼ横

ばい傾向にあり，実験値と比較してやや高かったが概ね合致する傾向にあった。「快適 28」では外気温度に対して緩やかな傾きを示しており，設定温度の実験値と比較して，やや低い値を示しているが，傾向としては概ね合致していた。以上より，「居住者申告シミュレーション」の計算結果の妥当性が示された。

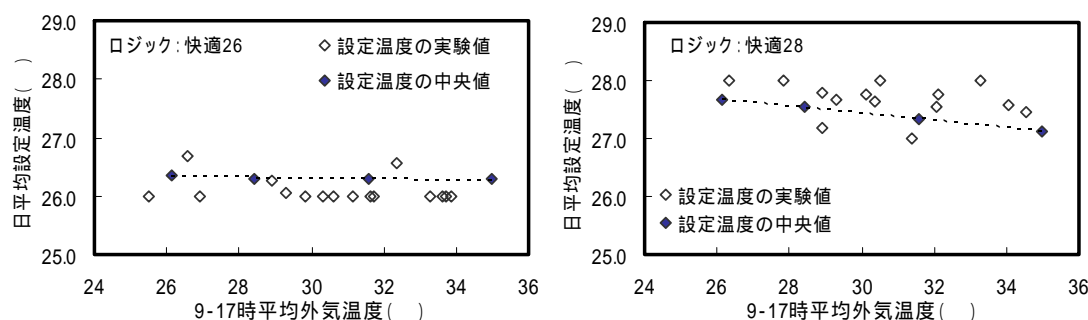


図 6.19 「快適 25」「快適 27」における実験値と計算値の比較

(男性割合 50%，左側：快適 26，右側：快適 28)

3-2-2 各種条件が設定温度制御に及ぼす影響

次に，男女構成比，開始温度，外気条件などの各種因子が設定温度の制御に与える影響を把握するため，各時の設定温度分布の中央値を，各種条件別に示したのが図 6.20 である。また，各種条件別に中央値における日平均設定温度を示したのが表 6.8 である。図 6.20 では「ピーク」，「夏上」，「夏下」での結果を示した。

外気条件に関して，「ピーク」では男女構成にかかわらず，設定温度の上昇，下降の双方の制御が頻度高く行われ，一日の終了時の設定温度が 25.0 ～ 27.0 に集中する傾向にあった。それに対して，「ピーク」から「夏上」や「夏下」と暑さが緩やかになるに従い，設定温度の終値にばらつきが発生していた。これは，第 5 章の第 2 節で述べたように外気条件が低くなるに従い，居住者の要望申告発生割合が減少していたことに影響していたと考えられ，外気の状態が緩やかになるほど，設定温度の緩和効果が高まることが確認された。

開始温度に関して，28.0 で開始した「快適 28」では，第 4 章で述べた実証実験と同様，設定温度が下降する傾向にあったが，ほとんどの条件において設定温度の中央値が 26.0 を上回り，安定的して設定温度の緩和効果が得られていた。それに対して，26.0 で開始した「快適 26」では，設定温度制御の頻度は他の開始温度条件と比較して低く，終値は 26.0 ～ 26.5 内に推移していた。これは実証実験と同様の結果であり，快適域の範囲内にある 26.0 近傍では居住者自身の要望申告発生が少なく，ほとんどの場合で設定温度の制御に至らなかったと考えられる。設定温度を 24.0 で開始した場合に関して，設定温度が上昇していき終値が「ピーク」で 25.0 ～ 26.5，夏季下で 24.5 ～ 25.5 に落ち着いていた。この検討に関しては実証実験で検討できなかったが，シミュレーション結果によれば，設定温度の緩和効果としては期待できないが，開始温度を低く設定した条件においても居住者の要望申告が制御信号となって居住者の不満の少ない方向に温度条件が変更されることが認められた。

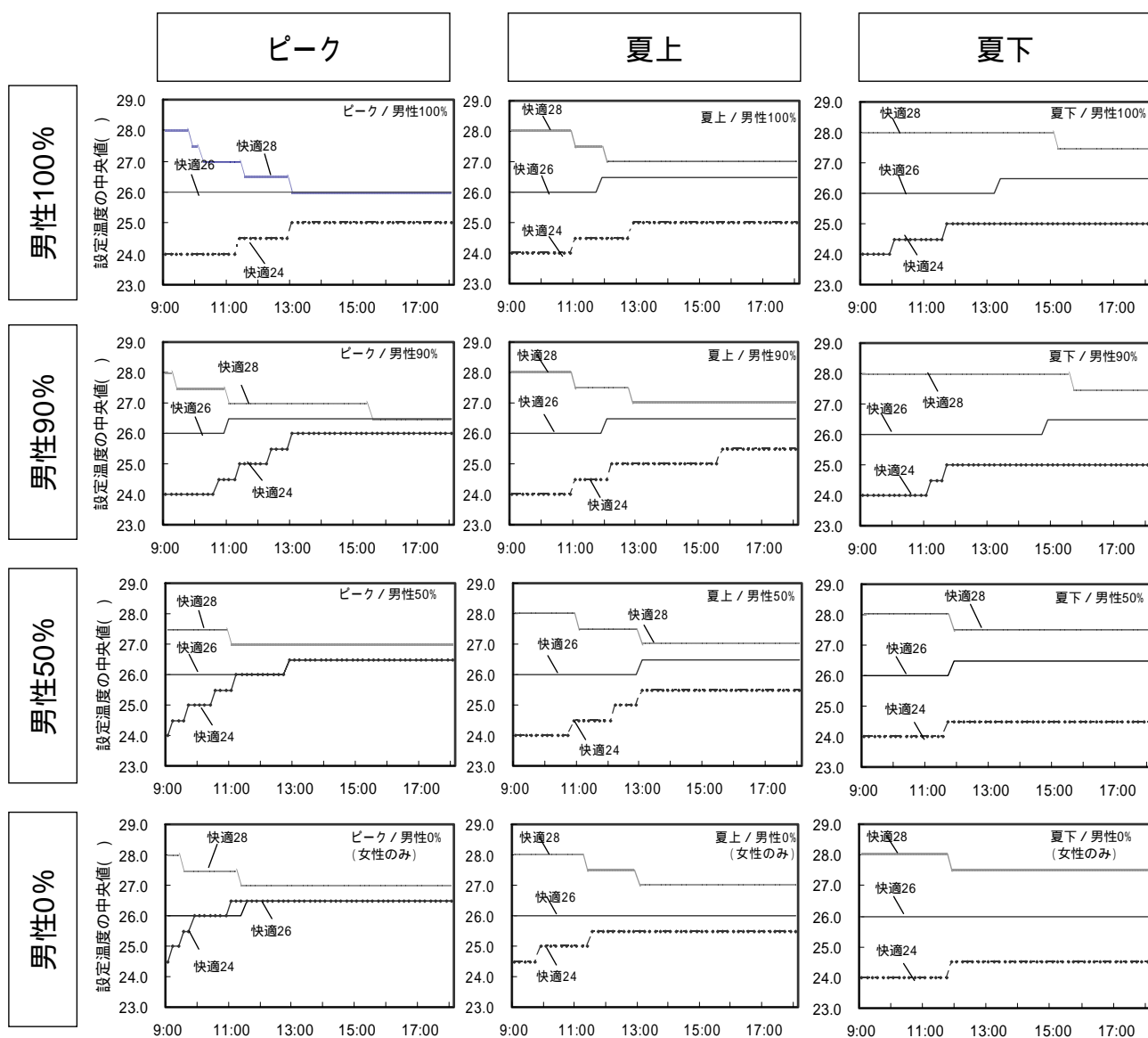


図 6.20 気象条件，男女構成別の「快適 28」，「快適 26」，「快適 24」の設定温度の時間的推移

表 6.8 各種実験条件と設定温度中央値の関係（左側：平均値，右側：終値）

| 男性割合 | | 100% | 90% | 50% | 0% |
|------|-----|------|------|------|------|
| 快適24 | ピーク | 24.7 | 25.4 | 26.0 | 26.3 |
| | 夏上 | 24.7 | 24.9 | 25.0 | 25.3 |
| | 夏中 | 24.8 | 24.7 | 24.5 | 24.6 |
| | 夏下 | 24.8 | 24.7 | 24.4 | 24.3 |
| 快適26 | ピーク | 26.0 | 26.4 | 26.3 | 26.4 |
| | 夏上 | 26.3 | 26.3 | 26.3 | 26.0 |
| | 夏中 | 26.3 | 26.3 | 26.3 | 26.0 |
| | 夏下 | 26.3 | 26.2 | 26.3 | 26.0 |
| 快適28 | ピーク | 26.5 | 27.0 | 27.1 | 27.2 |
| | 夏上 | 27.3 | 27.3 | 27.3 | 27.3 |
| | 夏中 | 27.6 | 27.8 | 27.5 | 27.6 |
| | 夏下 | 27.8 | 27.9 | 27.7 | 27.7 |

| 男性割合 | | 100% | 90% | 50% | 0% |
|------|-----|------|------|------|------|
| 快適24 | ピーク | 25.0 | 26.0 | 26.5 | 26.5 |
| | 夏上 | 25.0 | 25.5 | 25.5 | 25.5 |
| | 夏中 | 25.5 | 26.0 | 25.0 | 25.0 |
| | 夏下 | 25.0 | 25.0 | 24.5 | 24.5 |
| 快適26 | ピーク | 26.0 | 26.5 | 26.5 | 26.5 |
| | 夏上 | 26.5 | 26.5 | 26.5 | 26.0 |
| | 夏中 | 27.0 | 26.5 | 26.5 | 26.0 |
| | 夏下 | 26.5 | 26.5 | 26.5 | 26.0 |
| 快適28 | ピーク | 26.0 | 26.5 | 27.0 | 27.0 |
| | 夏上 | 27.0 | 27.0 | 27.0 | 27.0 |
| | 夏中 | 27.5 | 27.5 | 27.0 | 27.5 |
| | 夏下 | 27.5 | 27.5 | 27.5 | 27.5 |

居住者の男女構成に関して、設定温度の制御頻度の高かった「ピーク」では、男性割合 100% の場合の終値は 25.0 ～ 26.0 であったのに対して、「男性割合 0% (全員女性)」の場合の終値は 26.5 ～ 27.0 と比較的高かった。「男性割合 90%」、「男性割合 50%」の設定温度においても、男女構成比に応じて同様の傾向が得られ、男女構成比が設定温度の制御結果に影響を及ぼしていたことが確認された。また、外気条件が緩やかな「夏下」において、「男性割合 100%」の終値は 25.0 ～ 27.5 の範囲にあり、それに対する女性のみの「男性割合 0%」の終値も 24.5 ～ 27.5 の範囲にあった。これより、外気条件が緩やかな「夏下」では、男女間での特性差を認めることができなかった。

表 6.8 に各種実験条件における一日の平均設定温度と、設定温度の終値を示す。「快適 24」の一日の平均設定温度は 24.3 ～ 26.3 に位置していたため、従来の設定温度 26.0 に対しての設定温度の緩和効果は期待できない。また「快適 26」の一日の平均設定温度は 26.0 ～ 26.4、終値は 25.5 ～ 27.0 であり、多少の緩和効果は期待できるが大きな緩和効果を期待できない。「快適 28」の一日の平均設定温度は、「ピーク」では 26.5 ～ 27.2、その他の外気条件では 27.3 ～ 27.9 と位置しており、「ピーク」での設定条件の緩和温度が 0.5 ～ 1.2 とやや低かったが、それ以外のシーズンでは男女構成に関わらず 1.3 ～ 1.8 と温度条件を緩和することができ、その効果の大きさが認められた。

3-3 本節のまとめ

本節では「居住者申告シミュレーション」の特性を示すとともに、居住者の男女構成比、外気温度条件、開始温度条件が設定温度の制御結果に及ぼす影響について検討を行った。以下に得られた知見をまとめる。

1) シミュレーションの特性について

居住者の申告行為を確率変数としてモデル化した本シミュレーションを試算した結果、「快適 26」、「快適 28」のいずれの条件においても、日平均設定温度に 1.0 程度のばらつきが確認された。これは、不確定要素である申告行為のタイミングが設定温度の制御結果に影響を及ぼしたものと考えられ、これより本制御システムの特性把握にはモンテカルロ法による評価が有効であることを示した。

2) 外気温度条件の影響について

「ピーク」では設定温度の制御頻度が高かったのに対して、外気条件が緩やかな「夏下」などでは、設定温度の制御頻度が低かった。この傾向は実証実験と同様であり、外気温度が低くなるに従い設定温度の緩和効果は大きくなっていた。

3) 男女構成比の影響について

「ピーク」では男性割合が大きいと設定温度の緩和効果が小さいのに対して、ピーク以外ではその効果に顕著な違いは認められなかった。

4) 開始温度条件の影響について

開始温度を 24.0、26.0、28.0 と変化させ、設定温度の制御結果について比較検討させたところ、開始温度によって設定温度の制御結果に違いが認められた。特に、冷房の場合、開始温度を高くすることで設定温度の緩和効果が期待できることを示した。

4 設定温度の緩和制御による省エネルギー効果の検討

4-1 検討概要

前節では、「居住者申告シミュレーション」の特性を明らかにするとともに、そのシミュレーションモデルを用いて、男女構成割合、外気条件、開始温度に対する設定温度の緩和効果の感度分析を行い、本制御システムの特性を明らかにした。ところが、こうした設定温度の緩和効果によって、空調負荷が削減されたとしても、空調システムの特性によっては、負荷削減効果と同程度の省エネルギー効果が得られるとは限らない。

そこで、本節ではエネルギーシミュレーション「TRNSYS」を用いて、設定温度の緩和効果が空調エネルギー消費量に及ぼす影響について検討を行い、前節で得られた緩和効果に対する省エネルギー効果を評価する。そのために、まず、基本的な検討として、設定温度を 26.0 から 28.0 に変更させた場合のエネルギー消費量を求め、設定温度に対するエネルギー消費量の感度解析を行う。次に、「居住者申告シミュレーション」で得られた設定温度の制御結果を、「TRNSYS」に入力条件として与え、その省エネルギー効果の導出を試みる。

1) 設定温度の緩和温度が省エネルギー効果に及ぼす影響の検討

2) 「TRNSYS」を用いた省エネルギー効果の検討

4-1-1 設定温度の緩和温度が省エネルギー効果に及ぼす影響の検討

設定温度 26.0 のオフィスに対して設定温度を 28.0 に変化させた場合の省エネルギー効果について検討を行う。特に、中央熱源方式とビルマルチ方式とに分けて整理することで、空調システムの特性による影響について考察を行う。表 6.9 にその検討条件を示す。また、この際の内部発熱の扱いとして、表 6.2 の発熱量に従い、発熱スケジュールとしては 9 時～17 時で在席率、機器稼働率 100%と仮定した。

4-1-2 「TRNSYS」を用いた省エネルギー効果の検討

次に、前節の「快適 28」で得られた設定温度の緩和効果に対する省エネルギー効果の試算を試みる。26.0 を基準温度とした場合、表 6.8 に示す設定温度 26 に対する緩和効果による温度上昇分は表 6.10 で表される。本検討では「TRNSYS」を用いて緩和効果に対する省エネルギー効果の算出と評価を行う。

表 6.9 検討条件

| 検討項目 | 条件 |
|--------|----------------|
| 外気条件 | ピーク、夏上、夏中、夏下 |
| 設定温度 | 26.0 , 28.0 |
| 空調システム | 中央熱源方式、ビルマルチ方式 |

表 6.10 各種条件での緩和温度

| 男性割合 | ピーク | 夏上 | 夏中 | 夏下 |
|--------|-----|-----|-----|-----|
| 男性100% | 0.5 | 1.3 | 1.6 | 1.8 |
| 男性90% | 1.0 | 1.3 | 1.8 | 1.9 |
| 男性50% | 1.1 | 1.3 | 1.5 | 1.7 |
| 男性0% | 1.2 | 1.3 | 1.6 | 1.7 |

4-1-3 空調モデルの概要

「TRNSYS」で構築した空調システムのシステム構成図を図 6.21 に示す。中央熱源方式では温水吸収式冷凍機 1 台(ガス焚きボイラを含む)の単純な熱源構成を想定し、ボイラーによって温水が生成され、吸収式冷凍機を通じて冷水を生成する仕組みとした。ガス焚きボイラーにはガスが、その他の機器には電力が供給されて空調システム全体が駆動することとした。また、搬送系の省エネルギー対策として、変風量、変流量方式を適用とした。ビルマルチ方式では、室内機、室外機、外調機より構成される場合を想定し、すべての機器に電力が供給されて駆動することとした。

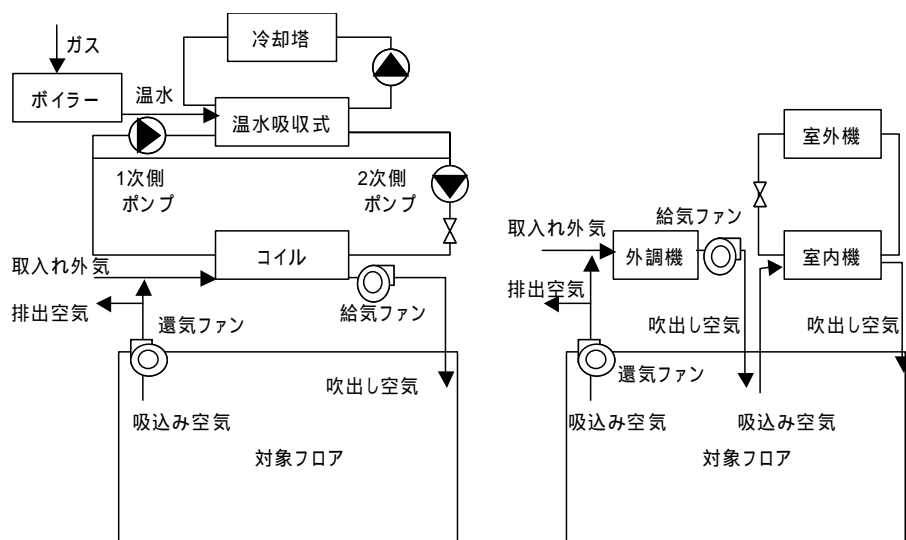


図 6.21 空調システム構成（左側：中央熱源方式，右側：ビルマルチ方式）

4-1-4 エネルギー評価方法

空調負荷の削減は、冷水を生成するのに必要な「熱源系エネルギー」だけでなく、その熱を搬送するのに必要な「搬送系エネルギー」にも影響を及ぼす。特に、昨今では省エネルギーを目的として、搬送系のポンプやファンにインバータの導入が増えており、その削減効果は大きいと予想される。そこで、本検討では、「熱源系エネルギー」と「搬送系エネルギー」を区別して評価することが妥当と考えた。「熱源系エネルギー」と「搬送系エネルギー」を表 6.11 のように定義し、さらに 1 次エネルギー換算して評価することとした。ビルマルチ方式では、「熱源系エネルギー」と「搬送系エネルギー」に明確な区別がないため、すべてまとめた評価を行うこととした。また、消費電力に対する 1 次エネルギー換算係数を 9.97(MJ/kWh)とし、ガス焚きボイラーの温水発生効率を 0.80 とした。また、夏季全体の省エネルギー効果としては、少し粗いが「夏上」、「夏中」、「夏下」が夏季の外気状態を代表していると仮定して、「夏上」、「夏中」、「夏下」でのエネルギー消費量の合計値に基づき、省エネルギー効果の試算を試みる。また、省エネルギー評価の際の基準温度として 26.0 とした。

表 6.11 省エネルギーの評価項目と 1 次エネルギー換算方法

| | 中央熱源方式 | | ビルマルチ方式 | |
|-----|------------------------|-----------------|----------------------------------|-----------------|
| | 評価項目 | 1次エネルギー 換算方法 | 評価項目 | 1次エネルギー 換算方法 |
| 熱源系 | 温水入力 消費熱量(MJ) | × 1/0.80 | 外調機 室内機・室外機 消費電力量 (kWh) | × 9.97 |
| | 熱源消費電力 (kWh) | × 9.97 | | |
| | 冷却塔・ポンプ 消費電力量(kWh) | | | |
| 搬送系 | 2次側ポンプ 消費電力量(kWh) | × 9.97 | | |
| | 給気・還気ファン 消費電力量(kWh) | | | |

4-1-4 TRNSYS の計算条件

表 6.12 に TRNSYS の計算条件を示す。TRNSYS の計算周期を 3 分，TRNSYS 全ての節点での初期温度を 30.0 ，助走期間を 1 日とした。助走期間として 1 日では短い，これは幾つの試算結果より，今回の場合であれば，1 日の助走期間で初期温度の影響がほぼ解消されていたことを確認した上で検討を行った。

表 6.12 TRNSYS の計算条件

| 項目 | 条件 |
|-------|------------|
| 計算周期 | 3分 |
| 助走期間 | 1日 |
| 温度初期値 | 30 |
| 稼働時間 | 9:00-18:00 |

4-2 結果と考察

4-2-1 設定温度の緩和温度が省エネルギー効果に及ぼす影響

設定温度 26.0 に対して設定温度を 28.0 に変化させた場合の，空調負荷削減効果と省エネルギー効果を把握するため，図 6.22 に「ピーク」、「夏上」、「夏下」における日積算空調負荷量とエネルギー消費量を，空調タイプ別に示す。

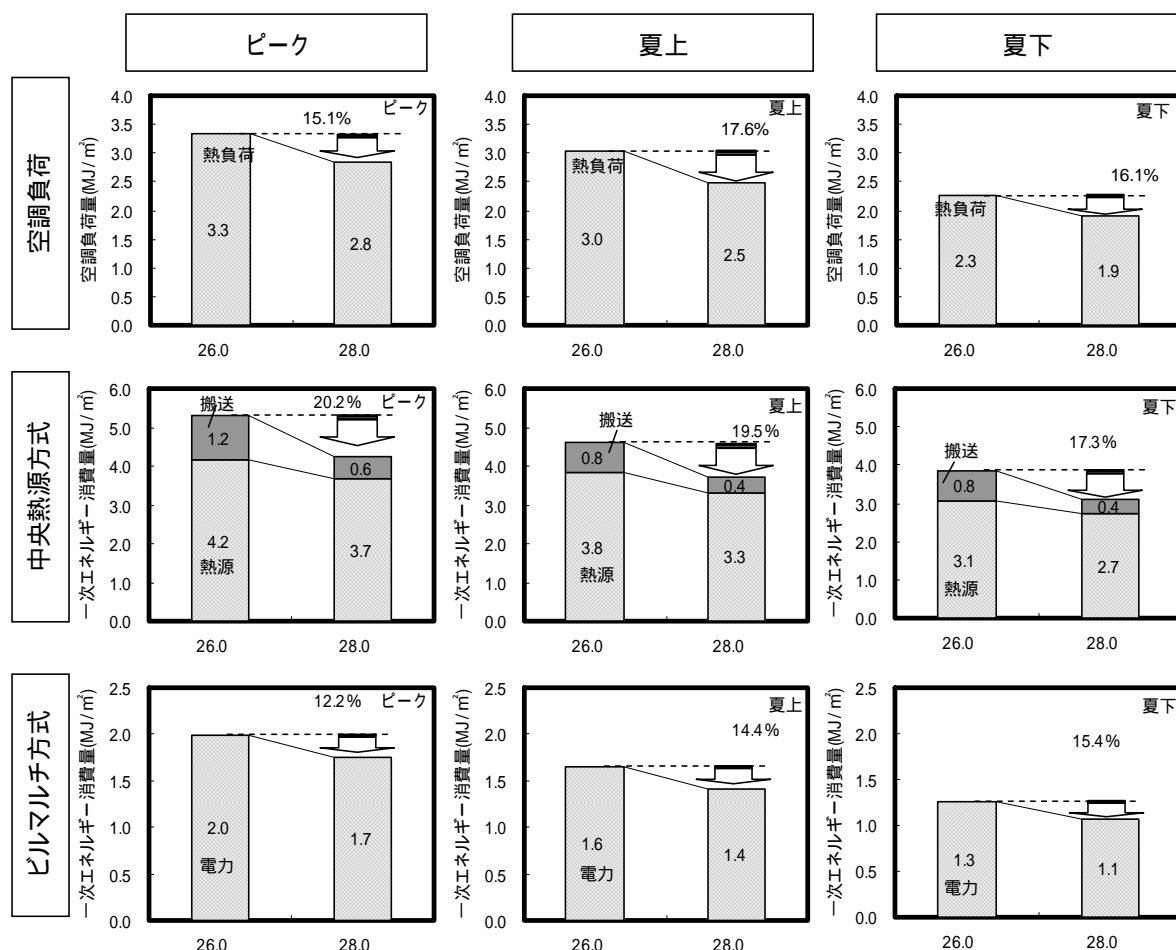


図 6.22 「ピーク」、「夏上」、「夏下」における日積算空調負荷量とエネルギー消費量の比較

設定温度の変化に関して，設定温度を 26.0 より 28.0 と温度設定を緩和することで，「ピーク」、「夏上」、「夏下」において 15.1%～16.1%の空調負荷削減効果が認められ，さらに中央熱源方式で 17.3%～

20.2%，ビルマルチ方式で 12.2%～15.4%の省エネルギー効果が確認された。特に，中央熱源方式における搬送動力の削減効果は著しく，変流量方式，変風量方式の導入された中央熱源方式であれば，設定温度の緩和効果が大きいことが確認された。

4-2-2 「TRNSYS」を用いた省エネルギー効果の検討

表 6.13 に中央熱源方式，表 6.14 にビルマルチ方式それぞれの空調方式における「快適 28」の省エネルギー率を示す。これは，前節において各種条件下での 26.0℃，「快適 28」で得られた設定温度の履歴を，TRNSYS に入力して省エネルギー効果を求めたものである。表 6.13，表 6.14 より表 6.10 に示す「ピーク」を除いた設定温度の緩和温度 1.3℃～1.9℃に対する 1 次エネルギー消費量としては中央熱源方式で 12.2%～16.8%程度得られており，ビルマルチ方式では 9.1%～14.8%の省エネルギー効果が得られていたことが認められた。また，冷房期間全体として中央熱源方式で 13.6%～14.7%，ビルマルチ方式で 11.3%～12.4%の効果が認められた。またピークに関しては，中央熱源方式で 4.8%～12.5%，ビルマルチ方式で 3.5%～7.7%であり，特に男性のみの場合では 3.5%～4.8%の削減効果しか得られなかったのに対して，女性のみの場合では 7.7%～12.5%と比較的，「ピーク」期間のエネルギー削減効果を期待できる結果となった。

表 6.13 中央熱源方式における「快適 28」の省エネルギー率

| 男性割合 | ピーク | 夏上 | 夏中 | 夏下 | 期間 (夏上～夏下) |
|--------|-------|-------|-------|-------|---------------|
| 男性100% | 4.8% | 12.2% | 14.3% | 16.8% | 14.2% |
| 男性90% | 6.4% | 12.6% | 15.6% | 16.7% | 14.7% |
| 男性50% | 11.6% | 12.7% | 13.0% | 15.2% | 13.6% |
| 男性0% | 12.5% | 13.0% | 14.4% | 15.2% | 14.1% |

表 6.14 ビルマルチ方式における「快適 28」の省エネルギー率

| 男性割合 | ピーク | 夏上 | 夏中 | 夏下 | 期間 (夏上～夏下) |
|--------|------|------|-------|-------|---------------|
| 男性100% | 3.5% | 9.1% | 14.0% | 14.8% | 12.4% |
| 男性90% | 5.6% | 9.2% | 15.4% | 13.3% | 12.5% |
| 男性50% | 6.9% | 9.6% | 13.1% | 13.4% | 11.9% |
| 男性0% | 7.7% | 9.5% | 11.7% | 13.4% | 11.3% |

4-3 本節のまとめ

本節では，エネルギーシミュレーション「TRNSYS」を用いて，設定温度の緩和制御が空調エネルギー消費量に及ぼす影響について検討を行い，前節で得られた緩和効果に対する省エネルギー効果を行った。以下に得られた知見を示す。

1) 設定温度の緩和効果が省エネルギー効果に及ぼす影響

設定温度による影響

設定温度を 26.0℃ から 28.0℃ に 2.0℃ 緩和させることで，中央熱源方式で 14.2%～21.5%，ビルマルチ方式で 13.4%～17.9%の省エネルギー効果が得られた。

空調システムによる影響

変風量，変流量方式の適用された中央熱源方式では，設定温度の緩和効果が著しく大きく，空調負荷

削減効果よりも、空調システム全体での省エネルギー効果の方が大きい傾向であることが明らかになった。

2) 本制御システムによる緩和効果が省エネルギー効果に及ぼす影響

「快適 28」を適用した場合には、冷房期間全体として中央熱源方式で 13.6%～14.7%、ビルマルチ方式で 11.3%～12.5%の省エネルギー効果が認められた。また、「ピーク」では、男性のみで 3.5%～4.8%、女性のみで 7.7%～12.5%と、男性のみの場合の省エネルギー効果は比較的、期待できない結果となった。

5 小括

本章では設計段階～運用段階での効果予測を支援することを目的に、本制御システムの制御挙動や省エネルギー効果を予測できるシミュレータの基本開発を行った。また、本シミュレータは居住者の反応とそれに基づく制御挙動を再現する「居住者申告シミュレーション」と、設定温度の制御挙動に基づいて最終的なエネルギー消費量を予測する「エネルギーシミュレーション」より構成され、前者では「男女構成比」、「開始温度」、「外気条件」の設定温度の制御に対する感度解析を行い、後者では前者の設定温度の緩和効果を受けて省エネルギー効果の試算を行った。以下に得られた知見を示す。

1) 「男女構成比」、「開始温度」、「外気条件」が設定温度の制御結果に与えた影響

外気温度条件の影響

酷暑期間では設定温度の制御頻度が高かったのに対して、外気条件が緩やかな場合には、設定温度の制御頻度が低かった。この傾向は実証実験と同様であり、外気温度が低くなるに従い設定温度の緩和効果は大きくなっていたことが明らかになった。

男女構成比の影響

酷暑期間では男性割合が大きいとその緩和効果が比較的小さく男女差による効果の違いは認められたが、それ以外の期間ではその効果に明確な違いが認められなかった。

開始温度条件の影響

実証実験と同様、冷房の場合、開始温度を高くすることで設定温度の緩和効果が期待できることを示した。

2) 1)での設定温度の緩和効果が空調エネルギー消費量に及ぼす影響

中央熱源方式

変風量、変流量方式を有する中央熱源方式では、設定温度の緩和による省エネルギー効果は高く、「快適 28」を適用することで、冷房期間で 13.6%～14.7%の省エネルギー効果が得られたものの、ピーク期間で 4.8%～12.5%と比較的、低い傾向を示した。

ビルマルチ空調方式

中央熱源方式と比較すれば省エネルギー効果がやや低い傾向ではあった。「快適 28」を適用することで、設定温度 26.0 に対して冷房期間で 11.3%～12.5%の省エネルギー効果が得られたものの、中央熱源方式と同様、ピーク期間で 3.5%～7.7%と比較的、低い傾向を示した。

第7章 結 論

1 本論文のまとめ

本論文では、オフィス居住者の空調制御への参加を可能にさせ、居住者の合意の下で設定温度を決定する「居住者参加型空調制御方式」を提案し、「合意形成ロジック」と「ユーザーインターフェイス」の試作開発を行い、複数の居住者が同居するオフィス形態に適用した際の温熱的満足感とエネルギー消費の実験データや、シミュレーションデータに基づき、本制御システムの省エネルギー効果と快適性向上効果について検討を行った。

ここでは特に、昨今のオフィスにおいて居住者の身近な存在となった PC を媒介手段として、リアルタイムに集積された要望情報に基づき設定温度を決定する「合意形成ロジック」と、周囲の申告状況や運転状況に関する情報をフィードバックさせ、居住者の納得感を向上させる「ユーザーインターフェイス」について取り上げ、本制御システムによる快適性向上効果や設定温度の緩和効果、それに伴う省エネルギー効果を明らかにするとともに、利用時の開始条件、男女構成比、外気条件など各種因子による制御システムの特性について検討を行った。

以下、第1章から第6章までの各章で得られた知見をまとめる。

第1章では、研究の目的および研究の位置付けを述べた。まず最初に、地球規模で急務な課題である温暖化問題と、その対策としての温熱条件の適正化に関する重要性、また現在の空調システムの管理方法に関する諸問題を、居住者 - 管理者 - 空調システムの関係性から示し、本論文の研究目的が、居住者参加型空調制御システムのこれらの問題に対する有効性を明らかにし、その最適な制御システムの構築を図るものであるものとした。この様な複数の居住者からの温熱環境に対する要望情報を空調制御に利用する研究が極めて少ないことを、国内外の既往研究に対する調査結果より示した。

第2章では研究概要として、

- (1) 制御システムとそのコアとなる制御ロジックの開発
- (2) 実際のフィールドに適用した実証評価
- (3) 簡易シミュレーションを用いた総合評価

について検討を進め、制御システムの核となる制御ロジックと情報フィードバックの省エネ効果、心理効果の確認と、その適用範囲の導出を本論文の研究概要として明らかにした。

また、この様な研究に不可欠となる設定温度の最適管理・制御方法とそれに関連する居住者の温熱的満足感や空調エネルギー消費量について知見を整理し、その最適管理・制御手法を実現するための居住者環境制御システムに関するシステム仕様と、設定温度の最適化プロセスに関する仮説を導出した。

第3章では、設定温度とその管理状態に寄って形成される温熱環境と空調エネルギー消費量についての実態調査を行い、さらに、設定温度の最適管理・制御を検討するため、設定温度の変化させた場合の居住者心理とエネルギー消費量に与えた影響について感度分析を行い、以下の実態を明らかにした。

まず、対象フロアの温熱環境分布の調査を行い、対象フロアの温熱環境が良好に形成されており、実験対象エリアとして妥当であることを確認した。

次に、対象フロアの温度管理方法について調査を行ったところ、ビル管理者が居住者からのクレームに対して優先的に対応しており、その対応方法がエネルギーロスを引き起こす可能性を示した。その一方で、居住者の不満を覚えた際の行動パターンについて調査を行い、ビル管理者へのクレームが特定の居住者によって行われており、対象フロアでは居住者間で合意のとれた温熱環境が形成されていなかったことを示した。

また設定温度の最適運転・制御を実現するため設定温度に対する居住者心理とエネルギー消費量の感度分析を実施したところ、設定温度を1.0℃緩和することで空調処理熱量、および空調消費電力量の削減効果が機械的に得られることを示すとともに、一方で同じ設定温度だったとしても居住者の示す不満がその状況によって変動的であり、設定温度一定での温度管理が非常に困難であることを示した。

第4章では、本提案システムを業務形態や居住者特性の異なるオフィスに適用した際の、居住者の温熱環境に対する要望より設定温度を調節する合意形成ロジックに関して、各種制御ロジック（快適優先ロジック、省エネ優先ロジック、女性優先ロジック、暖房ロジック）が設定温度制御や、温熱的満足感や設定温度の緩和効果に及ぼす影響について検討を試みた。

まず、合意形成ロジックの基本ロジックである「快適優先ロジック」、「省エネ優先ロジック」の開発を行い、実験対象フロアに適用した際の温熱的満足感や設定温度の制御結果について比較検討を行った。この結果、「省エネ優先ロジック」では安定的に設定温度の緩和効果が認められたが、居住者の要望が個人の温熱環境にフィードバックされないなどの理由から不満が高い傾向にあった。それに対して、通常よりやや高い温度から「快適優先ロジック」を適用した実験では、基準温度に対する設定温度の緩和効果が期待でき、さらに居住者の要望を温熱環境に反映させることができるため「省エネ優先ロジック」に比べ満足度の高い傾向を示した。

次に、冷房に苦しむ女性の快適性向上を目的とし、女性の要望に重み付けを行うことで女性の要望を優先する「女性優先ロジック」の開発を行い、実験対象フロアに適用した。この結果、女性の要望が比較的、空調制御に反映されるようになり、温熱環境に対する不満の減少が認められた。その際、男性の満足感に顕著な違いは確認されず、男性の不満の上昇は確認できなかった。

次に、省エネルギーを期待して暖房温度を低くする場合に発生する室内温度と設定温度の乖離状態に対して、上昇した室内温度に対して設定温度を追従させることで、不要な暖房運転を抑え、要望に応じて即座に温熱環境を変化させる状態を保つことのできる「暖房ロジック」の開発を行い、実験対象フロアに適用した。その結果、設定温度は空調機が暖房運転を停止させたまま、室内温度に追従していたことが確認された。つまり、不要な暖房運転を節約し、さらに要望が発生してすぐに制御できる状況で待機していたことが確認された。

最後に、前節までの検討の中で合意形成ロジックによって設定温度の緩和効果が変動的であったことから、マクロ的な視座より合意形成された温熱環境に関する特性、設定温度の緩和効果とそれに伴う空

調負荷削減効果について検討を行った。

まず、変動要因として、時刻別、日別コンディションに着目し、その設定温度の緩和効果について検討を行った。時刻別コンディションの違いとしては13時～15時に「下げてほしい」の要望が集中して設定温度が下がる傾向を明らかにした。日別コンディションの違いとして、冷房期の「快適優先ロジック」では、外気条件に対して緩和効果に変化しており、日平均外気温度が低くなるとその効果が大きくなっていたのに対して、「省エネ優先ロジック」を適用した場合には外気温度に関係なく安定的に温度条件が緩和されていたことを明らかにした。次に、気象条件を補正する特性式を過去の空調負荷データと外気温度条件より構築し、夏季・冬季の期間空調処理熱量または空調エネルギー消費量の削減効果を試算したところ、10%～30%程度の省エネルギー効果が得られた。

第5章では、制御システムの利便性や情報フィードバックの有用性など制御システム全般に対する居住者の反応について調査、考察を行った。

まず、制御システムの有効性および要望申告画面が操作性に及ぼす影響についてペーパーアンケートや、要望申告の履歴情報に基づいて検討を行った。その結果、「有効でない」と回答した居住者はほとんど存在しておらず、6割の居住者がその有効性を実感していたことを示した。また、操作性に関しても業務に影響を及ぼさないことを明らかにした。また、実験期間を通じて申告を行わなかった居住者が全体の25%に達していたことを明らかにした。

次に、居住者の行動別、性別、外気条件別に近傍温度と要望申告発生割合の関係を整理した。その結果、外気条件、性別の要望申告に及ぼす影響の大きさを確認し、性別や外気条件に基づく要望申告発生モデルを構築した。

次に、本提案システムを実際のオフィスに適用した際の、情報フィードバックが居住者心理に及ぼす影響について検討を試みた。温熱環境に対して不満を感じ、本提案システムを利用していた居住者のほとんどが、情報フィードバックの必要性を感じ、その情報を閲覧することで制御に対する納得感を得ていた。これは、居住者とその周囲の要望状態に関する情報を提供することで、居住者自身の要望に対して高い関心を示しつつも他人の意見や価値観を認めていたこと、つまり合意形成がなされていたことを示した。

第6章では、本提案システムの実システムへの設計や運用での支援ツール開発を目的とし、本提案システムとそれに反応する居住者の行動の再現を可能とするシミュレーションプログラムの開発を行った。またさらに実証実験で検討の難しい条件に関しては、シミュレータを利用して、各種パラメータによる感度分析を行うことで制御システムの制御挙動や省エネルギー効果について検討を行った。

まず、前章までの実測データに基づいて居住者自身の挙動を予測するシミュレーションプログラムを開発した。

次に、このシミュレーションにより男女構成比、開始温度、外気条件によって感度分析した場合の設定温度の緩和効果について検討を行った。その結果、酷暑期間では制御が頻繁に行われるため設定温度の緩和効果は小さく、外気条件が緩やかになるに従って設定温度の緩和効果が大きくなることを示した。男女構成に関しては、ピーク時で最大0.7程度の緩和効果の差が生じるものの、外気温度が低くなる

に従い男女構成の差が小さくなることも示した。また、開始温度を高く設定することで、実験と同様、設定温度の緩和効果が期待できることを示した。

最後に、TRNSYS をベースとしたエネルギーシミュレーションを構築し、前節で求めた設定温度の制御履歴が省エネルギー効果にどの程度影響を及ぼすかについてビルマルチ方式、中央熱源方式で検討を行った。その結果、「快適 28」を適用した場合は、冷房期間全体として中央熱源方式で 13.6% ~ 14.7%、ビルマルチ方式で 11.3% ~ 12.5%の省エネルギー効果が認められた。

以上が本論文のまとめである。第 4 章では、居住者の要望を集約して設定温度を決定する「合意形成ロジック」に関して、種々の制御ロジックを開発し、実証実験の中で空調負荷削減効果と快適性向上効果の点でその有効性を示した。第 5 章では、「ユーザーインターフェイス」の開発を行い、負担を与えずに居住者の空調制御への参加を可能とし、さらに運転状況の理解やその状況に対する納得感を高め、合意形成を実現させた点でその有効性が示した。第 6 章ではシミュレータを開発し、実証実験では評価が困難な実験条件での検証を可能とし、さらに実システムへの適用と運用を支援するツールとしての基本的な機能を開発することができ、その有効性を示した。

これらの検討より、「居住者参加型空調制御システム」は、居住者の空調制御への参加を可能とし、合意の下で設定温度の適正化が行われ、省エネルギーや快適性向上に有効性であったと言える。

2 今後の展望

以上の一連の検討より、複数の居住者が同居するオフィスにおいて「居住者参加型空調制御システム」は設定温度の適正化を行い、その結果として、省エネルギー効果や快適性向上につながるといった結論が得られた。本章では、今後の展望として、残された課題を明確にすると共に、本制御システムの実用化について検討する。

2-1 残された課題

(1)本論文の一連の研究結果は、特性の異なる 3 つのフロアを対象に、延べ 5 つのシーズンで行われた実証実験の結果であり、その実証実験を遂行するには様々な制限があった。特に、居住者の業務形態に関して言えば、室内外の出入の頻度が低いフロアによるものしか得られなかった。そのため、今後も引き続き、様々な居住者形態、建物形態に適應できるように、種々の特性の有するオフィスでの実験データを収集し、結果の検証を重ねていくとともに、「応用ロジック」の追加開発が必要である。

(2)本論文の結果は、夏季と冬季での実証実験で得られた実験結果である。今後、年間を通じての設定温度の推移とそれに伴う快適性向上効果と省エネルギー効果について検証する必要がある。

(3)本論文では個人のパソコンを利用して要望を申告する方法をとり、ほとんどの居住者で、その申告方法でも業務に差しさわりのないといった結果が得られた。しかしながら、その一方で PC を苦手とする 50 歳代で操作性に対して不満であるといった意見も少数であるが存在した。また、PC といった情報伝達媒体は、携帯電話などに比べて利用場所に制限が伴うといった課題も存在する。今後は、PC の操作を苦手とする加齢者向けの入力媒体やポータビリティ性の高い入力媒体など様々なバリエーションが必要である。

(4)本論文での検討は、居住者の要望情報を利用して空調の設定温度の最適化を試みるものであったが、本技術をさらに応用すれば、空調の発停、外気導入、照明の調光率、ブラインドの開閉度などにも適用可能と考えられる。今後は、こうした様々な設備システムへの応用展開が課題となる。

2-2 実用化に向けた展開

(1)まず、本研究で提案したシステム形態で普及性の高い形状で実用化を図り、省エネルギー対策を急務の課題とするオフィス環境への導入を推進する必要がある。特に、対象建物として以下の二つのタイプを想定する。

ビル管理者が不在となる小規模ビル

ビル管理者が不在となる小規模ビルでは管理者が不在のため温度設定が居住者に解放されている場合が多く、こうした形態でのエネルギー管理は皆無に等しい。居住者の要望申告から設定温度を決定するまでのプロセスを自動化した本制御システムであれば、管理者の代理人として、居住者の快適性を考慮しながら、エネルギー管理を推進することができるので、こうしたビル管理者が不在である小規模ビルにおいて極めて有効となる。

ビル管理者によって温度管理された中規模ビル、大規模ビル

中央集中管理システムが導入された中規模ビル、大規模ビルの多くでは、居住者自身で設定温度を自由に操作できないため、その不満がビル管理者に集中的に寄せられ、ビル管理者はその対応に日々追われているのが実態である。こうした温度管理の実態に対して、本制御システムはビル管理者の代わりに、居住者の要望を集約して設定温度の最適化を図れるだけでなく、ビル管理者の省力化に有効的であり、さらにビル管理者はその省力化によって新しく得た時間を、BEMS (Building and Energy Management) を利用した高度なエネルギー解析に当てることが可能になる。

(2) 次の展開として、居住者の要望情報と BEMS を連携させ、居住者の心理情報と設備情報の関連付けることが考えられる。従来の BEMS では設備システムの適正化に主眼を置いていたが、居住者の心理情報と関連付けることで、そのログ解析の高度化が期待できる。例えば、空調制御の設定条件は同じにもかかわらず、居住者からの不満が多い場合では室内環境に何らかの不具合が発生したと考えられる。こうした BEMS で収集する設備側のセンサーだけでは、読み取りが困難な室内環境の品質情報を、心理側の情報で補うことも十分可能である。

最後に、国策として省エネルギーを推進しなければならないわが国の現状において、“Cool Biz”、“Warm Biz”などの設定温度の緩和による省エネルギー施策は、環境省の秘策でもあったが、現在のところ国民の意識の中では関心が薄くなりつつように見受けられ、さらには冷房一律 28.0 に猛烈な反発を受け始めている。こうした状況下において、現在ある空調システムに対してサーバー機器を導入するだけで機能する本制御システムであれば、経済的、工事的な負担も小さく、冷房一律 28.0 の推進よりも合理的な方策として十分期待できる。また、今回の検討では、居住者の要望を収集し、その要望情報を用いて、どの程度、設定温度の緩和が可能なのかを検証する試みであった。環境制御に参加する概念は非常に本質的であり、今後はこの技術の適用範囲を広げることも検討すべきであると考えている。

謝 辞

本論文は、著者が名古屋大学との共同研究に参加して以来の5年間、そして名古屋大学大学院の久野研究室に社会人博士として入学して以来3年間の研究成果をまとめたものである。

こうした論文をまとめることができたのも、社会人博士として研究に取り組む機会を与えて頂いたからであり、先ずはこの機会を賜りました 名古屋大学 久野 寛 教授に厚く御礼を申し上げます。また、研究の計画段階から分析、論文の構成を行うにあたり、常に適切なご助言を下さり、研究活動を叱咤激励してくださった名古屋市立大学 原田 昌幸 准教授に心より感謝の意を表します。

さらに、研究討論会を通じて様々なご指導を頂き、さらに本論文の審査頂きました 名古屋大学 奥宮 正哉 教授、齊藤 輝幸 准教授には、本研究をご理解頂き、細部に渡る貴重なご指導、ご助言を頂きました。ここに深く感謝を申し上げます。

TRNSYS の利用方法について、名城大学 吉永 美香 講師にはご無理なお願いにもかかわらず、懇切丁寧にご指導頂きましたこと、深く感謝いたします。中部大学 田中 英紀 講師、名古屋大学 尹 奎英 助手には研究グループの研究討論会などを通じて様々なご助言と励ましを頂きました。心より感謝しております。

共同研究を遂行するにあたり、フィールド実験やデータ解析にご協力頂きました 水谷 加奈 氏、小川 宗志 氏、岩崎 由佳 氏、祖父江 俊裕 氏（当時 名古屋大学学生）、TRNSYS によるシミュレーション解析をご協力頂きました 木戸 広太 氏に感謝の意を表します。

本研究と企業活動の両立にあたり、深いご理解とご支援、ご指導いただきました松下電工株式会社 設備ネットワークシステム開発部の 寺田 元治 開発部長、福永 雅一 グループ長に深く感謝を申し上げます。さらに入社以来、公私に渡り、懇切丁寧にご指導頂いたビルソリューショングループ 寺野 真明 主担当に心より感謝を申し上げます。本研究の遂行には、同氏のご指導と、ご協力なしでは成し遂げられませんでした。

本研究の着手の機会及び多大なご協力を頂きました エンジニアリング営業企画部 栗尾 孝 部長、本研究をまとめるにあたり実用化の観点からご助言頂きました ビルシステムソリューション事業推進部 杉野 雅哉 主担当、志茂 聡史 副参事、塚本 一真 氏 に心から感謝いたします。

本研究の実験を進めるにあたり、実験フロアの空調システムや実験システム構築に関して多くの貴重なご助言頂きました 前田 龍一 氏、三宅 利幸 氏、十河 知也 氏に心より御礼申し上げます。さらに、研究データの整理を手伝って頂きました 前原 陽子 氏、方 英姫 氏にも感謝の意を表します。また、実験にご協力いただきました HA セキュリティ事業部、ビルシステムソリューション事業推進部、設備ネットワークシステム開発部の旧田町メンバー、ナイス福祉センター、アロービジネスサービスの皆様には深く感謝しております。

最後に、深い理解と愛情で私を支えてくれた 妻 薫 には心から感謝の気持ちを送ります。

発表論文リスト

1. 審査論文

(1) Yoshifumi MURAKAMI , Masaaki TERANO , Kana MIZUTANI , Masayuki HARADA , Satoru KUNO: Field Experiments on Energy Consumption and Thermal Comfort in the Office Environment controlled by Occupants' Requirements from PC Terminal , Building and Environment , Vol.42 , P4022-4027 , 2007.12

(2) 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 , No.626 , 2008.04(掲載決定)

2. 国際会議 (フルペーパー審査付)

(1) MURAKAMI Y ,TERANO M ,MIZUTANI K ,HARADA M ,KUNO S: Field Experiments on Energy Consumption and Thermal Comfort in the Office Environment controlled by Occupants' Requirements from PC Terminal , The 10th International Conference on Indoor Air Quality and Climate(INDOOR AIR 2005) , Beijing , P1325-1329 , 2005.9

(2) MURAKAMI Y ,TERANO M ,MIZUTANI K ,HARADA M ,KUNO S: Energy Consumption and Thermal Comfort under the Air-conditioning System controlled by Occupants' Requests from PC Terminal , The 11th International Conference on Human-Computer Interaction(HCI International 2005) , Las Vegas , 2005.7 (CDROM のみ)

3. 口頭発表

(1) 村上昌史 , 水谷加奈 , 原田昌幸 , 久野覚 , 寺野真明 : 居住者の温冷感申告を利用した空調制御法に関する研究 その1 夏期冷房時における温熱環境調査 , 日本建築学会学術講演梗概集 D-1 (北海道) , P536-537 , 2004

(2) 水谷加奈 , 村上昌史 , 原田昌幸 , 久野覚 , 寺野真明 : 居住者の温熱申告を利用した空調制御法に関する研究 その2 温熱申告と温熱環境の関係 , 日本建築学会学術講演梗概集 D-1 (北海道) , P538-539 , 2004

(3) 村上昌史 , 岩崎由佳 , 水谷加奈 , 原田昌幸 , 久野覚 , 寺野真明 : 居住者の温冷感申告を利用した空調制御法に関する研究 その3 合意形成ロジック適用による冷房負荷の影響 , 日本建築学会学術講演梗概集 D-1 (近畿) , P535-536 , 2005

(4) 岩崎由佳 , 村上昌史 , 水谷加奈 , 原田昌幸 , 久野覚 , 寺野真明 : 居住者の温冷感申告を利用した空調制御法に関する研究 その4 温熱環境に対する温冷感と合意形成での申告の分析 , 日本建築学会学術講演梗概集 D-1 (近畿) , P537-538 , 2005

- (5) 村上昌史, 岩崎由佳, 寺野真明, 原田昌幸, 久野覚: 居住者の温冷感申告を利用した空調制御法に関する研究 その 5 暖房時アルゴリズムの開発, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2 (関東), P433-434, 2006
- (6) 岩崎由佳, 村上昌史, 寺野真明, 原田昌幸, 久野覚: 居住者の温冷感申告を利用した空調制御法に関する研究 その 6 冬季における温熱環境に対する温冷感の検討とエネルギー評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2 (関東), P435-436, 2006
- (7) 村上昌史, 岩崎由佳, 寺野真明, 原田昌幸, 久野覚: 居住者の温冷感申告を利用した空調制御法に関する研究 その 7 女性を考慮したロジックの開発, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1 (九州), P383-384, 2007
- (8) 岩崎由佳, 原田昌幸, 久野覚, 村上昌史, 寺野真明: 居住者参加型空調制御システムに関する研究 合意形成ロジック適用による設定温度の制御と快適性への影響の検討, 日本建築学会東海支部研究報告集, P461-464, 2006
- (9) 岩崎由佳, 原田昌幸, 久野覚, 村上昌史, 寺野真明: 居住者の温熱申告を利用した空調制御法に関する研究 合意形成への温熱環境に対する温冷感の影響, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, P441-444, 2006
- (10) 小川宗志, 水谷加奈, 原田昌幸, 久野覚, 村上昌史, 十河知也, 前田龍一, 寺野真明: 居住者の温熱申告を利用した空調制御法に関する研究 その 1 夏季冷房時における温熱環境測定, 空気調和・衛生工学会中部支部学術研究発表会論文集, 第 5 号, P43-46, 2004
- (11) 水谷加奈, 小川宗志, 原田昌幸, 久野覚, 村上昌史, 十河知也, 前田龍一, 寺野真明: 居住者の温熱申告を利用した空調制御法に関する研究 その 2 居住者申告を利用した冷房制御に関する予備実験, 空気調和・衛生工学会中部支部学術研究発表会論文集, 第 5 号, P47-50, 2004
- (12) 水谷加奈, 岩崎由佳, 原田昌幸, 久野覚, 村上昌史, 寺野真明: 居住者の温熱申告を利用した空調制御法に関する研究, 空気調和・衛生工学会中部支部学術研究発表会講演論文集, P9-P12, 2005
- (13) 岩崎由佳, 原田昌幸, 久野覚, 村上昌史, 寺野真明: 居住者の温熱申告を利用した空調制御法に関する研究 夏季におけるフィードバック効果の検討, 空気調和・衛生工学会中部支部学術研究発表会講演論文集, P1-4, 2006
- (14) 岩崎由佳, 原田昌幸, 久野覚, 村上昌史, 寺野真明: 居住者の温熱申告を利用した空調制御法に関する研究 その 2 合意形成ロジック適用による設定温度の制御と心理評価, 空気調和・衛生工学会中部支部学術研究発表会講演論文集, P105-108, 2007
- (15) 村上昌史, 岩崎由佳, 原田昌幸, 久野覚, 寺野真明: 居住者の温熱申告を利用した空調制御法に関する

研究 その 3 合意形成ロジック適用による空調エネルギーの省エネ効果，空気調和・衛生工学会中部支部
学術研究発表会講演論文集，P109-112，2007

4. 特許

(1) 寺野真明，前田龍一，十河 知也，村上昌史，福永雅一，黄地博史，玉田一己，久野覚，原田昌幸:環境設備制御システム，特開 2004-205202

(2) 村上昌史，寺野真明，大林史明，三谷利幸，久野覚，原田昌幸，黄地博史，玉田一己:環境設備制御システム，特願 2005-26840

(3) 村上昌史，寺野真明，大林史明，三谷利幸，久野覚，原田昌幸，黄地博史，玉田一己:環境制御システムの制御目標値設定方法及びそれを用いた環境設備制御システム，特願 2005-26841

(4) 村上昌史，寺野真明，久野覚，原田昌幸:環境設備制御システム，特願 2006-257779

(5) Y. Murakami ,M. Terano ,F. Obayashi ,T. Miyake ,S. Kuno ,M. Harada: Air Conditioning Control System ,JP2006 / 301900

(6) Y. Murakami ,M. Terano ,F. Obayashi ,T. Miyake ,S. Kuno ,M. Harada: Air Conditioning Control System ,JP2006 / 301907

参考文献

- 1) 地球温暖化対策推進本部：地球温暖化対策推進大綱，環境省地球環境局行政資料，
<http://www.env.go.jp/earth/ondanka/taiko/all.pdf>
- 2) 土居健太郎: COOL BIZ 特集 COOL BIZ, 空気調和・衛生工学, 第 80 巻 第 7 号, P5-7, 2006
- 3) 土居健太郎: みんなで止めよう温暖化 チーム・マイナス 6% 特集 COOL BIZ, 空気調和・衛生工学, 第 80 巻 第 7 号, P7, 2006
- 4) 石野久彌, 大熊涼子: COOL BIZ の室内温熱環境 特集 COOL BIZ, 空気調和・衛生工学, 第 80 巻 第 7 号, P9-13, 2006
- 5) 湯原慶子, 石野久彌, 省エネ施策としての設定室温緩和を考慮した等温熱感線図の作成, IBPSA-JAPAN 講演論文集, P51-55, 2005
- 6) 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, 第 81 巻 第 1 号, P9-14, 2007
- 7) 西原直枝, 田辺新一: 中程度の高温環境下における知的生産性に関する被験者実験, 日本建築学会環境系論文集, No.568 P33-39, 2003
- 8) 西原直枝, 西川雅弥, 植木雅典, 川村明寛, 田辺新一: 冷房設定温度 28 環境における知的生産性評価, 日本建築学会学術講演梗概集, (41219), P447-450, 2006
- 9) 小林弘造, 北村規明, 清田修, 岡 卓史, 西原直枝, 田辺新一: 執務空間の温熱環境が知的生産性に与える影響 - コールセンターの長期間実測 -, 日本建築学会学術講演梗概集, P451-454, 2006
- 10) 環境省 ホームページ, <http://www.env.go.jp/>
- 11) Fanger,P.O., Banhidi,L, Olesen,B.W. & Langkilde,G: Comfort limits for heated ceilings. ASHRAE Trans, Vol.86-II, P141-156, 1973
- 12) Olesen,S, Fanger,P.O., Jensen,P.B., Nielsen,O.J.: Comfort limits for man exposed to asymmetric thermal radiation. Proc. Of CIB Commission W45(Human requirements)Symposium, Building Research Establishment, HMSO, P133-148, 1973
- 13) Fanger,P.O., Ipsen,B.M., Langkilde,G, Olesen,B.W.,Christensen,N.K.,Tanabe,S: Comfort limits for Asymmetric Thermal Radiation. Energy and Buildings, Vol 8, P225-236, 1985
- 14) 徐国海: 居住者フィードバックを利用した室内環境の快適制御法に関する研究 その 1 システム構成とフィールド調査結果分析, 空気調和衛生工学会学術講演会講演論文集, P297-230, 2001
- 15) 徐国海: 居住者フィードバックを利用した室内環境の快適制御法に関する研究 その 2 中間期空調環境の快適性調査結果及び考察, 空気調和衛生工学会学術講演会講演論文集, P1545-1548, 2002
- 16) 高草木 明: 室内温熱環境のばらつきを考慮した居住者の不満発生確率の推定方法に関する研究, 日本建築学会計画系論文集 No.514, P13-19,1998
- 17) 米沢憲造, 和田祐功, 花田雄一, 西村信孝: ビル快適空調制御システムの開発と実用化, 計測自動制御学会産業論文集 Vol. 4, No. 3, P17-24, 2005

- 18) Richard, J. de Dear, Ph.D A global database of thermal comfort field experiments, ASHRAE transactions: Symposia, V.18, SF-98-11-1(RP-884) , P1141-1152
- 19) Humphreys, M.A: Thermal comfort temperatures and the habits of Hobbits. Standards for thermal comfort Eds: Nicol, Humphreys, Sykes and Roaf. London: E and FN Spon, 1995
- 20) Richard de Dear, Gail Brager, Donna Cooper: Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference. FINAL REPORT ASHRAE RP - 884, P1-297, 1997
- 21) de Dear, R.J., Brager, G.S. : Developing an adaptive model of thermal comfort and preference, ASHRAE Trans. Vol.104(1A) , P145-167, 1998
- 22) 経済産業省委託事業：省エネチューニングマニュアル - 運用によるビル設備の省エネ実践方法の解説書, http://www.eccj.or.jp/b_tuning/manual/index.html, 2007
- 23) Fishman, D.S., Pimbert, S.L.: The thermal environment in offices. Energy and Buildings, Vol. 5, No.2, P109-116, 1982
- 24) Leaman, A., Bordass, W 2001 Assessing building performance in use 4: The probe occupant surveys and their implications. Building Research and Information, 29(2), P129-143
- 25) 松下電工：平成 14 年度 NEDO 共同研究「稼働時電気損失削減最適制御技術開発 / マイクロインターネット技術によるビルトータル協調制御」成果報告書 , 2003.3
- 26) Nicol, J: Characterising occupant behaviour in buildings: Towards a stochastic model of occupant use of windows, lights, blinds, heats and fans. In Proceedings of the 7th International IBPSA Conference, Rio de Janeiro, Brazil, P1073-1078, 2001
- 27) Humphreys, M.A, Outdoor temperatures and comfort indoors. Building Research and Practice Vol. 6, No. 2, 1978
- 28) Humphreys, M.A: The influence of season and ambient temperature on human clothing behaviour. In: Indoor Climate. Eds: Fanger and Valbjorn, Copenhagen: DBRS, 1979
- 29) Humphreys, M.A: The dependence of comfortable temperatures upon indoor air and outdoor climates Bioengineering Thermal Physiology and Comfort Eds: Cena, K.; and Clark, J.A., Amsterdam: Elsevier, P229-250, 1981
- 30) 寺野真明, 栗林春樹, 村上昌史, 藤原ゆり, 十河知也, 鳴海大典, 下田吉之, 水野稔: 建物ベースライン消費量推定による既築ビルの省エネルギー効果評価手法の開発, 日本建築学会技術報告集 No.19, P384, 2004
- 31) Humphreys, M.A: An adaptive approach to the thermal comfort of office workers in North West Pakistan. Renewable Energy, Vol. 5, No. (ii), P985-992, 1994
- 32) Nicol, J.F., Jamy, G.N., Sykes, O, Humphreys, M.A., Roaf, S, Hancock, M: A survey of comfort temperatures in Pakistan: towards new indoor temperature standards. Oxford: Oxford Brookes Univ. (Report), 1994
- 33) Nicol, J.F: Thermal Comfort - A Handbook for Field Studies Toward and Adaptive Model. UK: University of East London, 1993
- 34) Nicol, J.F., Raja, I.A: Thermal comfort, time and posture: exploratory studies in the nature of adaptive thermal comfort. School of Architecture, Oxford Brookes University, England, 1996
- 35) Humphreys, M.A., Nicol, J.F.: An adaptive guideline for UK office temperatures. Standards for thermal comfort Eds: Nicol, Humphreys, Sykes and Roaf, London: E and FN Spon, 1995
- 36) Auliciens, A: Air conditioning in Australia III: Thermobile controls. Arch. Science Review, Vol. 33, P43-48, 1996
- 37) K. J. McCartney, J.Fergus Nicol: Developing an adaptive control algorithm for Europe. Energy and Buildings, Oxford OX3 OBP. UK, 34(2002) P623-635, 2002

- 38) 成田樹昭, 細井昭憲: 日本におけるハイブリッド換気の事例(2) フジタ技術センター 特集ハイブリッド換気の現状と課題, 空気調和・衛生工学, 第76巻 第7号, P57-62, 2002
- 39) 石野久彌, 大熊涼子: Space Thermal Environment for "COOL BIZ" Strategy. 特集 COOL BIZ, 空気調和・衛生工学, 第80巻 第7号, P13, 2006
- 40) 柳井崇, 佐々木真人: COOL BIZ 対応事例と今後の空調設備の設計 タスク空調を導入したオープンオフィスの空調システムの計画事例 特集 COOL BIZ, 空気調和・衛生工学, 第80巻 第7号, P15-24, 2006
- 41) ASHRAE: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta:ASHRAE Inc., Standard 55 -1992
- 42) McIntyre, D.A. : Preferred air speeds for comfort in warm conditions, ASHRAE Transactions Vol.84, P264-277, 1978
- 43) 鍋島泰: COOL BIZ を踏まえた今後の空調設備機器 特集 COOL BIZ, 空気調和・衛生工学, 第80巻 第7号, P29-33, 2006
- 44) 田辺新一, 西原直枝: クールビズと知的生産性・省エネルギー・室内環境 日本建築学会学術講演梗概集, (41218), P443-446, 2006
- 45) 羽田正沖, 西原直枝, 田辺新一: 知的生産性によるオフィスの温熱環境の経済的影響評価 日本建築学会学術講演梗概集, (41221), P455-458, 2006
- 46) Fanger,P.O.: Thermal Comfort 2nd ed Facsimile of 1970ed. McGraw-Hill, New York, 1972
- 47) Fisk,W, Rosenfeld,A: Estimates of improved productivity health from better indoor environments. Indoor Air, 7, P15-172, 1997
- 48) Elder,Jbu, Tibbott,R: User acceptance of an Energy Efficient Office Building - A Study of the Norris Comon Federal Office Building. National Bureau of Standards, Washington, USA, 1981
- 49) Vine,E., Lee,E., Clear,R, DiBartolomeo,D, Selkowitz,S: Office worker response to an automated venetian blind and electric lighting system: a pilot study. Energy and Buildings, 28(2): P205-218, 1998
- 50) Guillemin,A., Morel,N, abd Nirek,N: Application of genetic algorithms to adapt an energy efficient blinds controller to the user wishes. In Proceedings of CISBAT 2001, Lausanne, Switzerland, P331-336, 2001
- 51) Bordass,W, Leaman,A: From feedback to strategy. In Proceedings of the Buildings in Use Conference, London, UK., 1997
- 52) de Dear,R.J., Auliciems,A: Air conditioning in Australia II:User attitudes. Arch. Science Review, Vol. 31, P19-27, 1986
- 53) McIntyre,D.A: Three approaches to thermal comfort. ASHRAE Transactions Vol. 84, No.1, P101-109, 1978
- 54) McIntyre,D.A: Chamber studies - reductio ad absurdum?. Energy and Buildings, Vol. 5, P89-96, 1982
- 55) Helson,H: Adaptation-Level Theory. New York:Harper & Row, 1964
- 56) de Dear,R.J., Leow,K..G, Foo,S.C: Thermal comfort in the humid tropics:Field experiments in air conditioned and naturally ventilated buildings in Singapore. International Journal of Biometeorology, Vol.34, P259-265, 1991
- 57) Ittelson,W.H: Environment perception and contemporary perception theory. In: Environment and cognition, Ed: Ittelson,W.H, Seminar Press, New York, P1-19, 1973
- 58) Auliciens,A: Towards a psychophysiological model of thermal perception. Int J Biometeorology, Vol. 25, P109-122, 1981
- 59) Paciuk,M: The role of personal control of the environment in thermal comfort and satisfaction at the workplace. Coming of age EDRA 21/1990, Eds: Selby,R.I., Anthony,K.H., Choi,J, Orland,B, US:Environmental Design Research

Association Oklahoma City, OK, 1990

60) Veitch,R, Arkkelin,D: Environmental psychology - an interdisciplinary perspective. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1995

61) 佐藤康仁, 仲野章生, 前田龍一, 村上昌史, 寺野真明: 居住者の合意形成による空調制御時のエネルギー消費と快適性に関する研究, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, P113-116, 2003

62) Williams,R.N: Field investigation of thermal comfort, environmental satisfaction and perceived control levels in UK office buildings. Healthy Buildings, 1995

63) Bordass,W.T., Leaman,A.J: Control strategies for building services. In:Proceedings of the Conference on Advanced Systems of Passive and Active Climatisation. Commission of the European Communities Directorate-General for Energy, Barcelona, June P3-5, 1993

64) 徐国海, 久野覚, 田中将彦, 齋藤輝幸: 暑不快環境から気流のあるやや暑い環境へ移動した場合の生理・心理反応に関する研究 日本建築学会計画系論文, (524) P37-44, 1999

65) Kuno,S., Xu, G, & Saito,T: Pleasantness of intermittent wind in a hot season. Proceeding of Healthy Buildings/IAQ '97, Washington DC,(2), P29-34, 1997

66) 寺野真明, 片山弘典, 釜谷周滋, 久野覚: 脚部放射加熱時の温熱快適性に関する研究 人間と生活環境 ,2 , P48-57, 1995

67) 寺野真明, 佐藤康仁, 久野覚: 足裏加熱が温熱快適性に及ぼす影響とその至的加熱条件に関する検討 日本建築学会計画系論文集, (525), P39-44, 1999

68) Guillemin,A, Morel,N: A self-adaptive and smart system for blinds control. In Proceedings of CISBAT'99, Lausanne, Switzerland, P143-148, 1999

69) Guillemin,A, Morel,N: Experimental results of a self-adaptive integrated control system in buildings: a pilot study. Solar Energy, 72(5): P397-403, 2002

70) 水出 喜太郎, 石野 久彌, 郡 公子, 永田 明寛, 長井 達夫, 大高 一博, 大原 千幸: 自然換気・シーリングファンを併用した空調換気システムの制御手法と性能評価に関する研究, 日本建築学会環境系論文集, No.604, P69-76, 2006

71) Fritsch,R., Kohler,A., Nygard-Ferguson,M., Scartezzini,J.-L.: Stochastic model of user behaviour regarding ventilation, Building and Environment Vol. 25, No. 2, P173-181, 1990

72) Thompson,S.C., Stoutemyer,K: Water use as a commons dilemma: The effects of education that focuses on long-term consequences and individual action. Environment and Behaviour, 23, P314-322, 1991

73) Syme,J.S., Seligman,C, Kantola,S.J., MacPherson,D.K: Evaluating a television campaign to promote petrol conservation. Environment and Behavior, 19, P444-461, 1987

74) Coustanzo,M, Archer,D, Arouson,E, & Pettigrew,T: Energy conservation behavior:The difficult path from information to action. American Psychologist, 41, P521-528, 1986

75) Katev,R.D., Johnson,T.R., Comparing the effects of monetary incentives and foot-in-the-door strategies in promoting residential electricity conservation. Journal of Applied Social Psychology, 14, P12-27, 1984

76) Horsley,A.D: The effects of a social learning experiment on attitudes and behavior toward environmental conservation. Environment and Behaviour,9, P349-384, 1977

77) Pallak,M.S., Cook,D.A., Sullivan,J.J: Commitment and energy conservation. In L. Bickman (Ed.), Applied social psychology annual, vol. 1. Beverly Hills: Sage, P235-253, 1980

- 78) Nicol,J, Humphreys,M.: Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings. *Energy and Buildings*, 34(6): P563-572, 2002
- 79) de Dear,R.J.,Brager,G.S: The adaptive model of thermal comfort and energy conservation in the built environment. *International Journal of Biometeorology*, Vol.45 P100-108, 2001
- 80) Michael A. Humphreys, J. Fergus Nicol: The validity of ISO-PMV for predicting comfort votes in every-day thermal environments. *ENERGY and BUILDINGS*, Elsevier Science, 34(2002) P667-684, 2002
- 81) 桑原浩平: 温熱環境指標 PMV の問題点と屋外環境への適用 温熱環境の設計・評価法の実用的諸問題～温熱環境設計・評価における理想と現実,そして未来を語る～,日本建築学会 環境工学委員会 熱環境小委員会第 34 回熱シンポジウム, P107-112, 2004
- 82) 伊藤尚寛,村上公哉,田中建美,渡辺健一郎,中原信生: BEMS (建築物およびエネルギー管理システム) の利用実態に関する調査研究 第 1 報 BEMS の効用に関する管理者の評価, 空気調和・衛生工学 Vol.68, No.2, P25-33, 1994
- 83) A.Auliciems: Towards a Psycho-Physiological Model of Thermal Perception. *Int.J.Biometeor*, vol25, No.2 P109-122, 1981
- 84) 夏のオフィスの空気に関する調査結果, ダイキン第 7 回 現代人の空気調査 総合報告書, <http://www.daikin.co.jp/kuuki/library/data/Vol7.pdf>, 2005
- 85) 冬のオフィスの空気に関する調査結果, ダイキン第 6 回 現代人の空気調査 総合報告書, <http://www.daikin.co.jp/kuuki/library/data/Vol6.pdf>, 2004
- 86) 小川 徳雄: 老若男女の温熱生理学(2) 性差と加齢の影響, 人間と生活環境 vol.04 No.1, P2-7, 1996
- 87) 都築 和代: 高齢者の温熱感覚特性の研究, 産総研 TODAY VOL.6 No.11, P26-27, 2006
- 88) 田村 美恵: 他者判断と所属集団サイズが合意性推定に及ぼす影響, 実験社会心理学研究 Vol. 45. No. 1, P1-12. , 2005
- 89) Dubrovsky,V., Kiesler,S., Sethna,B.: The equalization phenomenon. *Human-Computer Interaction*, 6(2), P119-146., 1991
- 90) ROSS, L., D. GREENE and P. HOUSE: The false consensus effect: An egocentric bias in social perception and attribution processes. *Journal of Experimental Social Psychology*, 1977
- 91) 畦地真太郎, 松村憲一: 匿名コミュニティにおける対人認知, 第 3 回 MYCOM 資料, P94-97, 2002
- 92) 中山満子, 石井尚範, 大西克実, 中野秀男: ネットワークを介した共同意思決定過程の分析, 情報処理学会研究報告, (32)P53-58, 2001
- 93) 石田建一, 伊藤善朗: IT 時代の計測・制御技術の動向(4) HEMS による家電連動制御, 空気調和・衛生工学 第 80 巻 第 5 号, P53-61, 2005
- 94) 新誠一: 自動化と守, 破, 離 - 情報家電システムの可視化, モデル化, 最適化 -, 計装, Vol.47, No.3, P58-61, 2004
- 95) 伊藤京子, 富田大輔, 今木智隆, 本郷泰司朗, 吉川榮和: 省エネ行動支援アフェクティブインタフェースの設計・開発とその評価, *IEEEJ Trans. EIS*. Vol.125, No.10, P1552-1564, 2005
- 96) 伊藤孝行, 新谷虎松: グループ代替案選択支援システムにおけるエージェント間の説得機構について, 電子情報通信学会論文誌 D-II Vol.J80-D-II No. 10, P2780-2789, 1997
- 97) 伊藤孝行, 新谷虎松: エージェント間交渉に基づくグループ意思決定支援システム GCDSS の実験的評価, 第 13 回人工知能学会全国大会論文集, P417-420, 1999

- 98) 小柴等,加藤直孝,國藤進: グループ意思決定支援システムにおける使用環境の変化が及ぼす影響に関する考察, DICOMO2004 シンポジウム論文集 (情報処理学会), 2004
- 99) 大坊郁夫: ネットワーク・コミュニケーションにおける対人関係の特徴, 対人社会心理学研究, 2, P1-14, 2002
- 100) 阿草宗成, 林春男, 立木茂雄, 田村圭子: マルチ・ステークホルダーによるワークショップのための電子支援システムの開発, 地域安全学会論文集 No.5, P1-10, 2003
- 101) 伊藤孝行, 新谷虎松: 強制的なスケジューリングのための交換条件の提示による説得手法, 電子情報通信学会論文誌 D-I Vol.J81-D-I No.5, P1-8, 1998
- 102) 伊藤孝行: ユーザの嗜好に基づく電子商取引支援システムに関する研究, 修士論文, P1-100, 2003
- 103) 小柴等: グループ意思決定支援システムに対して効果的なアウェアネスと通信環境の利用に関する研究, 修士論文, P1-42, 2005
- 104) 中西昌武, 木下栄蔵: 集団意思決定ストレス法の集団 AHP への適用, 日本オペレーションズ・リサーチ学会論文誌, 第 4 1 巻 第 4 号, P560-570, 1998.12
- 105) 中西昌武: 集団意思決定ストレス区間値法による格付け区間値評価の提案, 土木学会論文集, 第 5 6 巻 第 4 号, P27-37, 2002
- 106) 加藤直孝: 合意形成プロセスにおける参加者の視点情報の共有に基づくグループ意思決定支援システムの研究, 北陸先端科学技術大学院大学, 修士論文, 1998
- 107) 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, No.618, P31-36, 2007
- 108) Joshua M. Epstein, Robert Axtell: 人工社会 - 複雑系とマルチエージェント・シミュレーション -, 共立出版株式会社, 1999
- 109) Nigel Gilbert, Klaus G. Troitzsch: 社会シミュレーションの技法, 日本評論社, 2003
- 110) 谷本潤, 林徹夫, 片山忠久, 岩下剛: 冷房発停にマルコフモデルを適用した場合の熱負荷特性に関する基礎的検討, 空気調和・衛生工学会論文集 No.68, P37-43, 1998
- 111) 谷本潤, 林徹夫, 片山忠久, 萩島理: 冷房発停にマルコフモデルを適用した場合の熱負荷特性に関する基礎的検討(第 2 報), 空気調和・衛生工学会論文集 No.73, 1999
- 112) 谷本潤, 萩島理, 片山忠久: 実測に基づく冷房発停状態の遷移特性に関する考察 / 冷房発停にマルコフモデルを適用した場合の熱負荷特性に関する基礎的検討 第 3 報, 空気調和・衛生工学会論文集 No.82, P59-66, 2001
- 113) 藤井 晴行: 屋内環境の変動と居住者の環境調整行動との相互作用の計算モデル, 日本建築学会計画系論文集, No.540, P15-22, 2001
- 114) Newsham.G.: Method and system for polling and data collection, US Patent 5,615,134, No. 394741, 1995.02
- 115) Newsham.G., Mahdavi A., Beausoleil-Morrison I.: a stochastic model for predicting office lighting energy consumption, Proceedings of Right Light Three, the 3rd European Conference on Energy Efficient Lighting, Newcastle-upon-Tyne, P60-66
- 116) Bourgeois,D., Reinhart,C., Macdonald,I.: Adding advanced behavioural models in whole building energy simulation: a study on the total energy impact of manual and automated lighting control, Energy and Buildings Vol.38, No.7, P814-823, 2006
- 117) Bourgeois,D, Hand,J, Mcdonald,I, Reinhart,C: Adding sub-hourly occupancy prediction, occupancy-sensing

- control to ESP-r, Proceedings of ESIM 2004 Conference , P1-8, 2004
- 118) Reinhart,C.F.: a model for manual and automated control of electric lighting and blinds, Solar Energy Vol.77, No.1, P15-28, 2004
- 119) Newsham,G.R.: Manual control of window blinds and electric lighting: implications for comfort and energy consumption, Indoor Environment, Vol. 3, No. 3, P135-144, 1994
- 120) Reinhart,C.F.: Monitoring manual control of electric lighting and blinds, Lighting Research & Technology, Vol.35, No.3, P243-260, 2003
- 121) 空調システム標準シミュレーションプログラム HASP/ACSS/8502 プログラム解説書 ,(社) 建築設備技術者協会 , 1986
- 122) 空調システムシミュレーションツールの性能と応用(ACSS/TRNSYS/HVACSIM+を例として), 空気調和・衛生工学会空気調和設備委員会空調システム動的シミュレーション評価小委員会, 1999
- 123) ビル用マルチ VE-UP シリーズ, ダイキン工業カタログ, 2006
- 124) 合意形成マネジメント協会 , <http://gouikeisei.blog62.fc2.com/>
- 125) 富岡弓絵, 野部達夫, 李晟在, 田辺新一: オフィスの使われ方データベースに関する研究 (その 1) 着席状況調査, 空気調和・衛生工学会学術講演論文集 , pp.1673-1676 , 2002.09
- 126) Bauman,F.S.,Arens,E.A. : Task/Ambient Conditioning Systems: Engineering and. Application Guidelines. Center for Environmental Design Research, University of California,. Berkeley, CA , 1996.10
- 127) Kuno,S., Ohno,H., Nakahara,N.: A two-dimensional model expressing thermal sensation in transitional conditions. ASHRAE Trans., 93(2), P396-406 , 1987
- 129) Frederick,H., Rohles,J.: Comfort in the man-environment system. PB Report PB-89-151054 , P295-302 , 1988
- 130) 橋詰匠: ビジネスリスク分析入門, 早稲田大学出版部, 2005
- 131) 村上昌史: ビルエネルギー管理の適正化を目的とした実態調査に関する研究, 大阪大学修士論文, 2002