

パッシブリズミング空調の機能拡張

－その2 冷房時、暖房時の快適性と省エネルギー性－

Upgrading of Control Functions of Passive Rhythmic Air-Conditioning System - Part2 Efficiency of Comfortability and Energy Conservation on Cooling and Heating -

岩下将也*

要 旨

パッシブリズミング空調システムは、空調を一定の時間間隔で発停させることで、温度変化に所定のリズムを与え、快適性を損なわずに空調エネルギーを削減する技術である。既報において温度だけでなく湿度を考慮した制御を行うことで、空調の稼働時間を短縮できる方法について述べた¹⁾。本報では、この方法の有効性を確認するため、夏期と冬期において、被験者実験と省エネルギー効果の比較実験を行った。その結果、温度と湿度を同時に考慮した制御を適用したパッシブリズミング空調では、稼働時間の短縮をしても快適性が損なわれることなく、より省エネルギーな運転となることを確認した。

キーワード：パッシブリズミング空調システム、温湿度、PMV

1. はじめに

近年、社会情勢の変化に伴い、産業エネルギーに占める建物の消費エネルギーの割合が増加しており、これらを削減させるため、国による継続的な施策が講じられている。2009 年度、経済産業省より 2020 年以降の新築公共建物をネット・ゼロ・エネルギー・ビル（以下、ZEB）として建設するビジョンが掲げられ、それ以降、ZEB の定義の決定²⁾、助成制度³⁾も進められている。すでに低層・中小規模ビルにおいては ZEB となる建物の実績が出始めており、今後は、より大規模な建物で ZEB を実現させていく段階を迎えようとしている。

ZEB では、建物全体のエネルギー消費量に対し、空調エネルギーの比率が大きくなると考えられ⁴⁾、ZEB の建物規模を拡大していくには空調エネルギーの削減が重要な課題となる。また、平成 29 年度より省エネ法が改正され、2000m² 以上の非住宅においては設計段階でのエネルギー消費量が規制されることとなった。今後は、先進的な建物に限らず、多くの非住宅建物でエネルギー削減のための設計や、技術開発が求められる。

当社では 1996 年に（国研）建築研究所、三機工業（株）と共に「パッシブリズミング空調システム」を共同研究・開発している⁵⁾。パッシブリズミング空調システムは、建物の空調熱源の種別を問わず比較的安価に導入ができ、空調のエネルギーを削減することが可能な制

御技術であり、ZEB の実現や事務所ビルの省エネルギー化に寄与することが期待される。従来のシステムに対し、省エネルギー性能をさらに向上させることを目指し、温度だけでなく湿度を考慮した空調稼働時間の短縮制御機能を考案した。この制御機能の有効性を実験によって確認したため、これについて報告する。

2. パッシブリズミング空調システムの概要

2.1 システムの概要

図-1 にパッシブリズミング空調の概要を示す。一般的な空調が、時間変化のない均一な温度を維持するのに対し、パッシブリズミング空調システムは、空調を定期

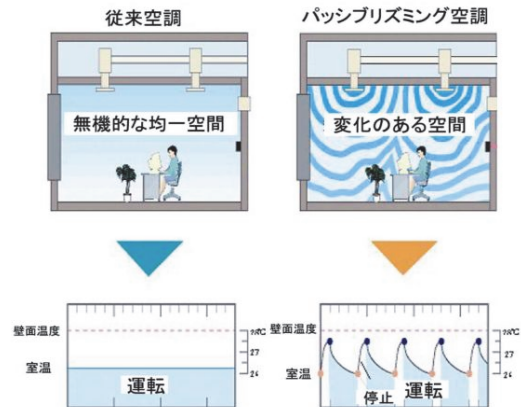


図-1 パッシブリズミング空調の概要

* 技術研究所

的に停止させ、温度に周期的な時間変化を与える。このリズムが快適性に寄与することを被験者実験で確認しており⁵⁾、空調を停止させても連続運転させた場合と同程度の快適性を得られ、空調の停止により省エネルギー効果が得られる。

2.2 パッシブリズム空調システムの快適性

パッシブリズム空調システムの発想は、久野の提唱する二次元温冷感モデル⁶⁾(図-2)による。2次元温冷感モデルでは、人間の温熱感を、人体生理状態(体の熱さ、冷たさ)と、周囲環境状態(温度の高さ、低さ)を軸とした2次元平面で表す。平面の原点は、人体生理状態と周囲環境状態が平衡している中立域であり、その周辺は、「暖かい」、「暑い」、「涼しい」、「寒い」などの感覚にカテゴリー化される非中立域となる。非中立域の中の暖かい、涼しいなどの感覚は、中立域より快適性が増進する(積極的な快適性)と考える。パッシブリズム空調システムは、計画的に空調を発停させ、急な環境変化を与えることで、快適性を損なうことなく空調を停止させるシステムである。

2.3 システム構成と制御方法

パッシブリズム空調システムの研究は 1996 年か

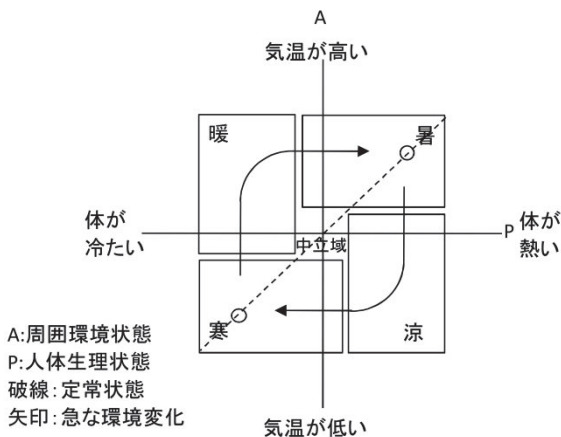


図-2 二次元温冷感モデル

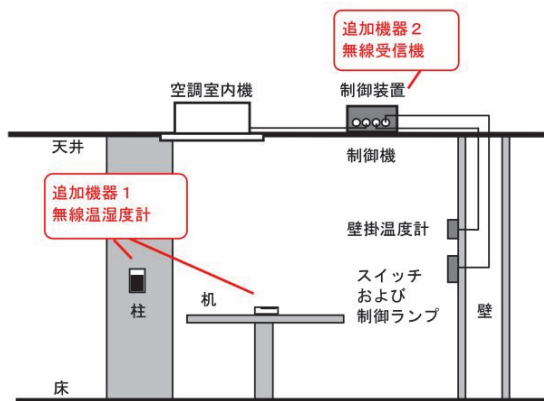


図-3 変更後のシステム

ら開始しており、2016 年には多点の温湿度センサを用いる構成に変更し、温湿度を考慮することで稼働時間のさらなる短縮を行う制御機能を加えた。変更後のシステムを図-3に示す。

夏期冷房時と、冬期暖房時の従来の制御方法と、時間短縮制御の違いを図-4、図-5に示す。一般的な空調が時間変化の少ない均一な温度の維持を目標に連続的に稼働するのに対し、パッシブリズム空調システムは、空調を 20 分稼働させ、10 分停止させる。このリズムが快適性に寄与することが被験者実験で確認されており、空調を連続運転させた場合と比較して快適性を損なうことなく省エネルギー効果が得られる。従来の機能(以下、従来制御)に対し、温湿度を測定し、ここから総合的快適性指標である PMV を推定、この推定値の 1 サイクルあたりの時間平均値に応じて稼働時間を短縮させる制御機能を加えた(以下、時間短縮制御)。これにより湿度

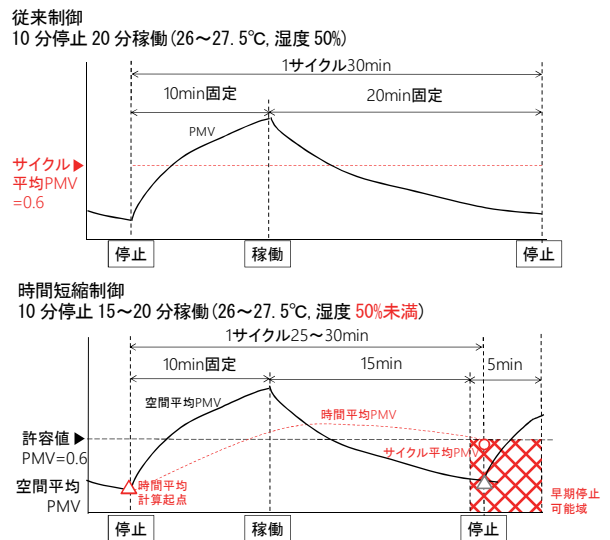


図-4 夏期冷房時の時間短縮制御

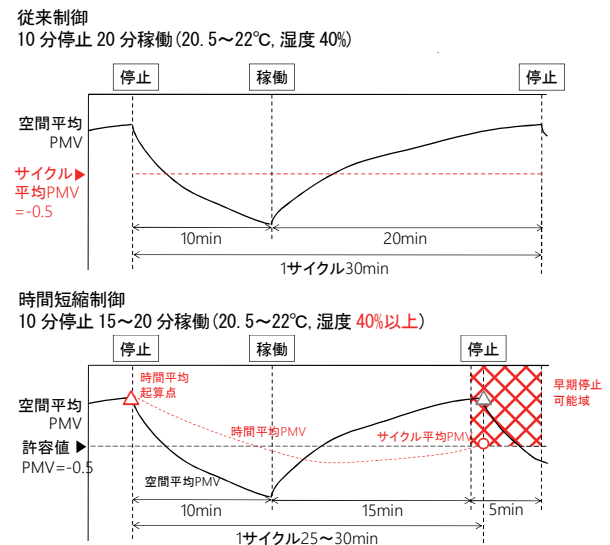


図-5 冬期暖房時の時間短縮制御

が快適性に有利に作用する状況（夏期冷房時は湿度50%未満、冬期暖房時は湿度40%以上）においては、空調の稼働時間を20分から最大で15分まで短縮させ、より省エネルギーとなる。

3. 時間短縮制御の快適性実験

時間短縮制御によって快適性が損なわれないことを確認するため、冷房時と暖房時で、実験室内での被験者実験を行った。

3.1 実験パターン

実験パターンを表-1に示す。本実験では時間短縮制御を従来制御と比較し、快適性を損なうことなく省エネルギーとなっていることを確認する。また、通常の連続運転との比較も参考として行っている。

3.2 実験用諸室

図-6に実験に用いた諸室の平面図を示す。2つの実験室、前室、待機室の計4室で構成される。実験室は、各実験パターンの環境を再現するため、任意に温湿度を調整可能な部屋としている。ここに被験者（1～最大4名）を暴露させ快適性等に関するアンケートを実施する。待機室は、実験を開始する前や、各実験の間に被験者が待機するために温度が適温に調整された空間となっている。

表-1 実験パターンと制御内容

実験パターン	内容
時間短縮制御	湿度条件を40%とし、15分運転、10分停止を3サイクル(計75分)行う。空調設定温度は22℃とする
従来制御	従来のパッシブリズミング空調制御。湿度条件を50%とし、20分運転、10分停止を3サイクル(計90分)行う。空調設定温度は22℃とする
連続運転	空調を稼働(計90分)している状態。空調設定温度は22℃とする

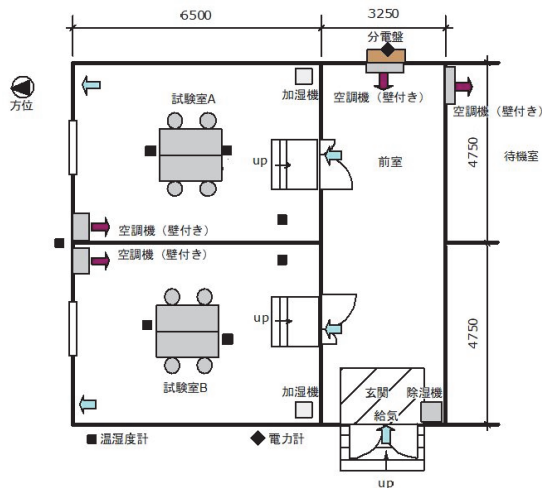


図-6 実験用諸室の平面プラン

。実験室と待機室を結ぶ前室は、実験室に供給する外気の温度を予熱、予冷させる機能を持たせている。

3.3 各室の空調設備と温湿度の調整法

両実験室にはビル用の壁掛け空調機、1時間当たり0.5回の換気が可能な排気ファン、加湿器1台が設備されている。待機室では置き型の空調機、前室には外気を予冷・予熱するための壁掛け空調機、除湿器、加湿器がそれぞれ1台設備されている。

夏期の冷房実験においては、待機室の除湿器を使用して外気を除湿する。冬期の暖房実験においては、待機室の加湿器を使用して供給外気を加湿する。実験室間で湿度を変える場合は、実験室内の加湿器を使用する。

実験室の温度変化については、空調機のON/OFF制御によって行う。このON/OFF操作をもって、各パッシブリズミング空調の想定環境を再現する。

表-2 被験者の着衣条件

	男	女
夏期実験	Yシャツ(半袖) スラックス(冬用) 肌着 靴下、靴	ブラウス(半袖) スカートorズボン(冬用) 肌着 靴下、靴
冬期実験	上着(作業着) Yシャツ(半袖) スラックス(冬用) 肌着 靴下、靴	上着(作業着) ブラウス(半袖) スカートorズボン(冬用) 肌着 靴下、靴

表-3 被験者の人数、男女比、平均年齢

実験パターン	人数	男女比	平均年齢	実験回数	
夏期実験	稼働時間短縮制御	32	0.41	28.7	9
	従来制御	33	0.42	29.6	10
	連続運転	8	0.50	33.4	3
冬期実験	稼働時間短縮制御	30	0.40	33.3	9
	従来制御	29	0.41	33.4	10
	連続運転	8	0.50	25.6	3

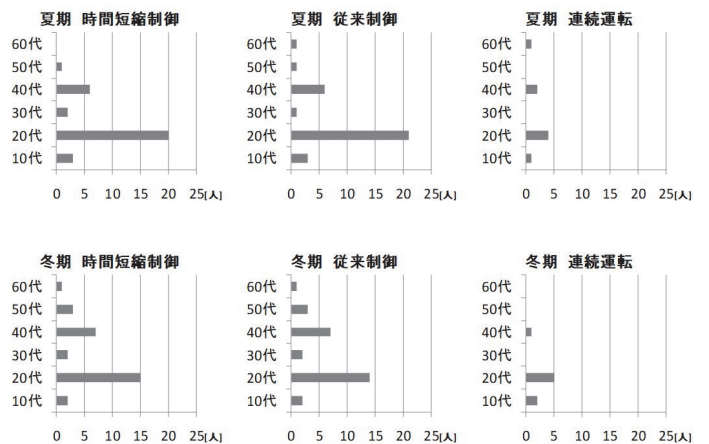


図-7 被験者の年代構成

3.4 被験者条件

被験者はオフィス勤務を想定した表-2に示す着衣条件とする。ただし、インナーシャツ等の肌着については、個人の嗜好もあるため、任意としている。表-3に、被験者の人数と男女比、平均年齢を、図-7に被験者の年代構成を示す。男女比は、男が5割から6割を占める。実験室は最大で4名までしか滞在できないため、十分な被験者の回答を得るために複数回の実験を行っている。また被験者のスケジュールの都合などから実験パターンごとの実験回数は異なっている。参考とする連続運転では、被験者数、実験回数が特に少なくなっている。

3.5 アンケート内容と集計処理

アンケート項目を図-8に示す。被験者には3問のアンケートを回答させる。環境の正確な評価をするため、回答の時間間隔を5分とした。各項目に1ポイントの差がある間隔尺度を用い、このポイントを合算・平均することで全体の回答結果の代表とする。

4. 実験結果

4.1 夏期冷房実験

a. 室内環境

夏期の実験パターン別の実験室の温度、湿度、推定PMVの時間推移と時間平均を図-9に示す。時間短縮制御、従来制御においては、空調の稼働時に温度が低下し、停止時に上昇している。温度の時間平均値は時間短縮制御で最大となっており、稼働時間が短いほど温度が上昇していることがわかる。湿度については、大きな変動はなく時間短縮制御で時間平均湿度42%、従来制御、連続運転では時間平均湿度が50%となっており、計画通りの湿度環境が形成されている。推定PMVは温度変化と同様の上下推移となっているが、時間平均値で見ると、時間短縮制御と従来制御はほぼ等しい。従来制御と比較して、時間短縮制御では温度がわずかに高いが、湿度が10%ほど低くなっているため、結果としてPMVがほぼ等しくなっている。

b. 被験者実験結果

制御パターン別の温冷感、快適感、湿度感の時間推移と時間平均を図-10に示す。温冷感、快適感ともに空調の稼働状況に応じた変化をしている。湿度感には稼働によらず大きな変化はなく、偏差も少ない。温冷感の時間平均値はほぼ等しく、また快適感の時間平均値は時間短縮制御のほうが、わずかではあるが快適側となっている。夏期冷房時の湿度が低い環境においては、温度がわずかに上昇する制御をしても、快適性は損なわれないものと考えられる。

c. 省エネルギー効果測定結果

制御パターン別のエネルギー消費量を図-11に示す。被験者実験の際は、外気条件のばらつき、加湿器の放熱

温冷感評価		快適感評価		湿度感評価	
4	寒い	3	非常に不快	3	非常に乾いている
3	少し寒い	2	不快	2	乾いている
2	涼しい	1	やや不快	1	やや乾いている
1	少し涼しい	0	ふつう	0	ふつう
0	ふつう	-1	やや快適	-1	やや湿っている
-1	少し暖かい	-2	快適	-2	湿っている
-2	暖かい	-3	非常に快適	-3	非常に湿っている
-3	少し暑い				
-4	暑い				

図-8 アンケート項目

や人体の発熱の違いなどがあるため、空調のエネルギー消費量は実験ごとに別日に測定している。連続制御と比較して、従来制御で21.2%、時間短縮制御で29.1%省エネルギーとなっており、従来制御と比べて7.9ポイント低下する効果が確認された。

4.2 冬期暖房実験

a. 室内環境

冬期の制御パターン別の温度、湿度、推定PMVの時間推移と時間平均を図-12に示す。時間短縮制御、従来制御においては、空調の稼働時に温度が上昇し、停止時に低下している。参考としてとっている連続運転はサンプル数が少ないためか、温度推移が安定していない。温度の時間平均値は時間短縮制御が最も低くなっている。

湿度については、時間短縮制御で平均湿度52%、従来制御、連続運転では平均湿度が40%、41%となっており、計画通りの湿度環境が形成されている。

推定PMVは、温度変化と同様のカーブを描いているが、夏期実験と同じく時間平均値においては時間短縮制御と従来制御はほぼ等しくなっている。

b. 被験者実験結果

制御パターン別の温冷感、快適感、湿度感の時間推移と時間平均を図-13に示す。温冷感、快適感ともに空調の発停状況に応じて変化している。湿度感には発停による大きな変化は少なく、ばらつきも少ない。時間短縮制御のみは、少し涼しいという結果が出ているが、その時においても快適感はそのほど変化がない。熱的快適性は温冷感だけで決まるわけではないことが示唆される。

時間平均の温冷感、快適感、湿度感を見ると、温冷感、快適感、共に従来制御と比較して時間短縮制御において同等以上の結果となっている。冬期暖房時の湿度が高い環境においては、温度がわずかに低下する制御をしても、快適性は損なわれないものと考えられる。

c. 省エネルギー効果測定結果

夏期の実験と同様、被験者実験時とは別日に測定している。図-11に測定結果を示す。連続運転と比較し、従来制御で28.9%の削減効果、時間短縮制御で34.8%の省エネルギー効果が出ており、従来制御に比べて5.9ポイント省エネルギー性が向上していることが確認できた。

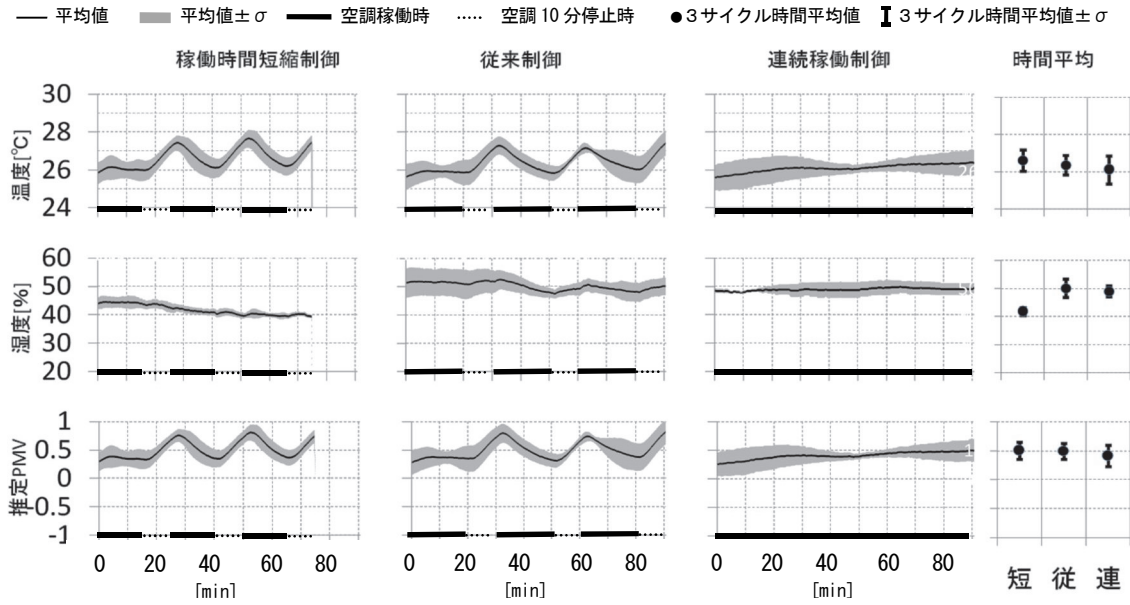


図-9 夏期冷房実験時の各測定項目の時間推移と時間平均値

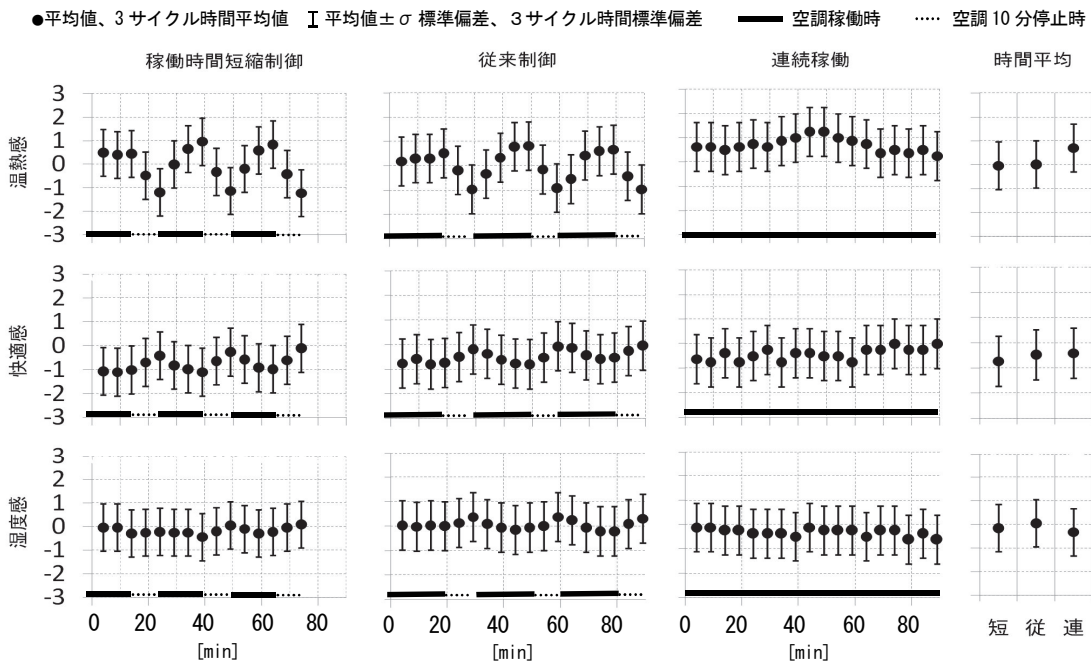


図-10 夏期冷房実験時のアンケート結果の時間推移と時間平均値

6. まとめ

パッシブリスミング空調システムの発停機能に関して、稼働時間を短縮する制御を考案し、従来の制御と比較した場合の快適性に関する被験者アンケートとエネルギー消費量の比較実験をし、その有効性を確認した。湿度が有利な条件（夏期冷房時は低湿度、冬期暖房時は高湿度）においては、空調の稼働時間を短縮しても快適性は失われず、かつ省エネルギーな運用が可能となることがわかった。今後は実建物における検証をしていきたい。

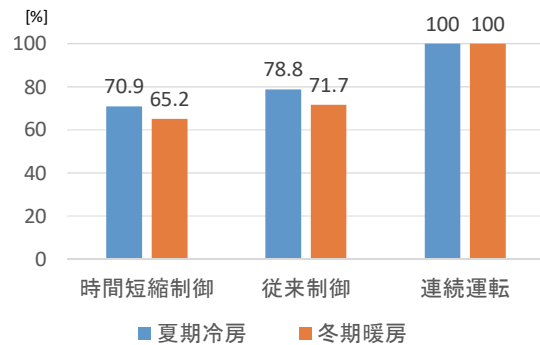


図-11 省エネルギー効果

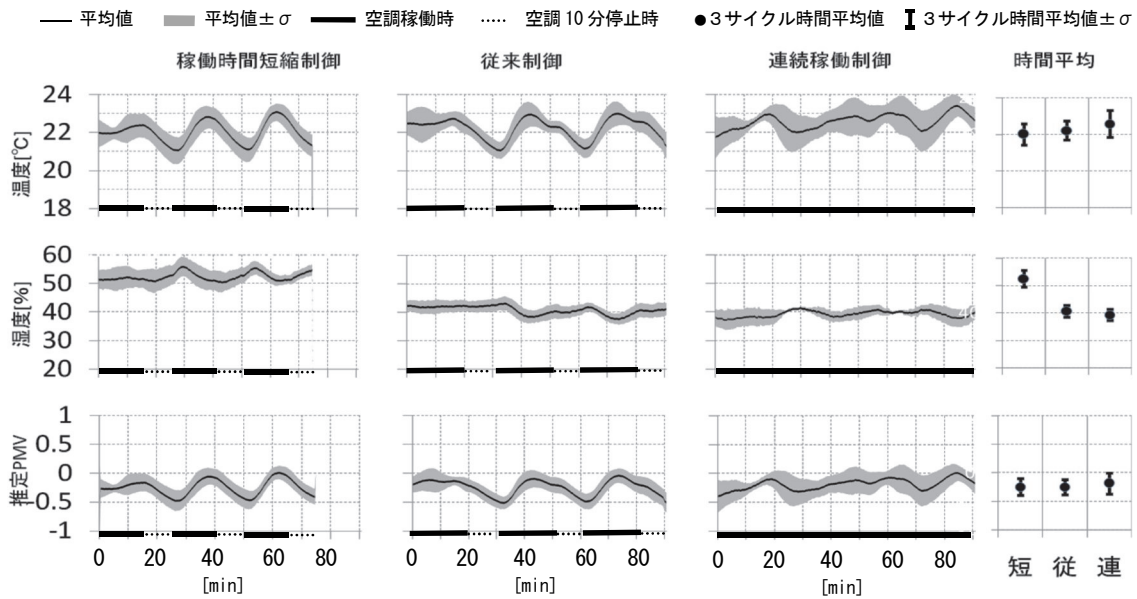


図-12 冬期暖房実験時の各測定項目の時間推移と時間平均値

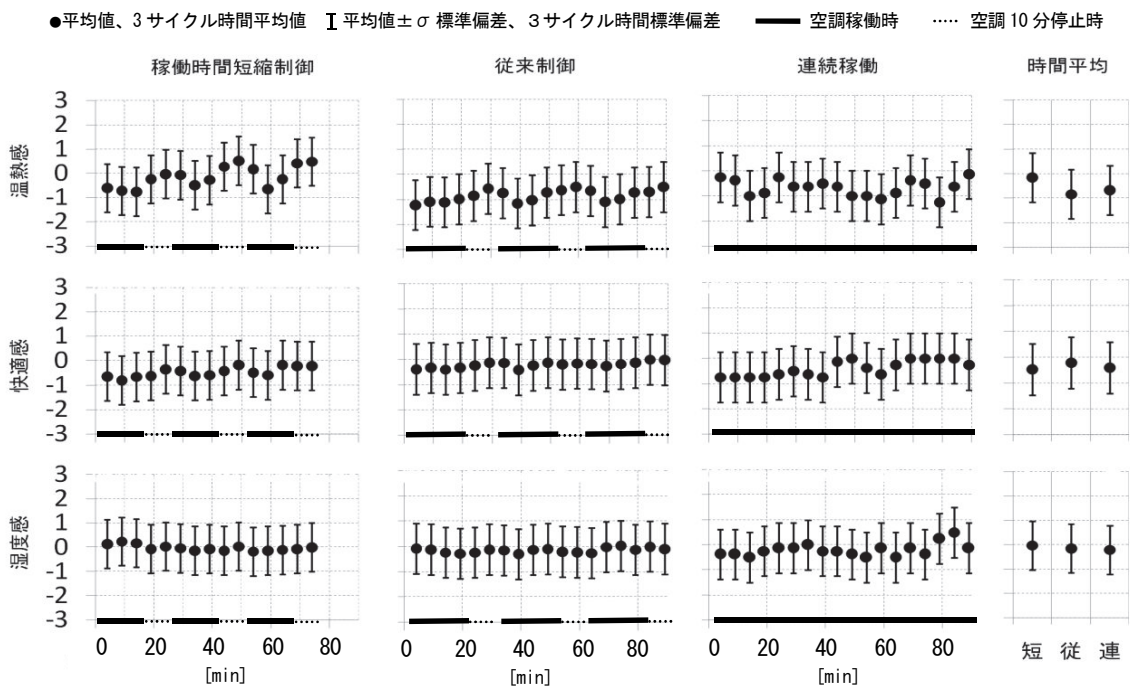


図-13 冬期暖房実験時のアンケート結果の時間推移と時間平均値

【参考文献】

- 1) 岩下将也、茂木正史、稲留康一、「パッシブリズミング空調の制御機能の拡充」、奥村組技術年報 No.43、2017.10
- 2) たとえば、環境共創イニシアチブ 「平成 28 年度 ネット・ゼロ・エネルギー・ビル実証事業」
- 3) 経済産業省、「ZEB ロードマップ検討委員会 とりまとめ」 2016.12.17
- 4) 岩下将也「建築環境シミュレーション技術を活用したゼロエネルギービルの試設計」、奥村組技術年報 No.42、2016.9
- 5) 坊垣他、「パッシブリズミング空調における快適性と省エネルギーに関する研究」、空気調和・衛生工学論文集、No.64、1997.1
- 6) 久野 覚、「温熱環境の快適性とプレザントネス」、建築雑誌、Vol.110、No.1373、1995、6月号