

パッシブリズミング空調システムの制御機能の拡充

Upgrading of Control Functions of Passive Rhythmic

Air-Conditioning System

岩下将也* 茂木正史* 稲留康一*

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。従来のパッシブリズミング空調システムは、室内温度に基づいて発停制御をかけていたが、湿度を同時に考慮することで、従来の方式からさらに空調の稼働時間を短くできる可能性がある。その方法として、温度と湿度を加味した PMV の時間平均値を用いる制御方法に着目した。常時計測した温度・湿度と、代謝量などその他の温熱要素より PMV を推定し、PMV の時間平均値に基づいて発停制御をかける方式とすることで、湿度が快適性を上昇させる条件下で、空調の稼働時間を従来方式より短縮させることができる。本報告では、システム構成の制御方法の改良点、および省エネルギー効果について報告する。

キーワード：パッシブリズミング空調システム、環境発電、温湿度、PMV

1. まえがき

近年、産業構造の変化に伴って非産業部門であ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の取り組みが進められている。2009 年度、経済産業省より 2020 年までに新築公共建物をネット・ゼロ・エネルギー・ビル（以下、ZEB）化するビジョンが掲げられ、それ以降、ZEB の定義の決定¹⁾、助成制度²⁾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 を実現させていく必要がある。ZEB においては、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³⁾、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 2017 年度より省エネ法が改正され、延べ床面積 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、省エネルギーな設計が必要とされるため、低コストで実現できる省エネルギー技術や対策が求められている。

当社では、1996 年に(国研)建築研究所、三機工業(株)とともに「パッシブリズミング空調システム」を共同研究・開発した⁴⁾。パッシブリズミング空調システム

は、空調のエネルギーを削減できる制御機能を備えており、かつ比較的安価に導入ができるため、ZEB の実現や非住宅ビルの省エネルギー化に寄与する。

本研究では、従来のパッシブリズミング空調システムの省エネルギー性能をさらに向上させることを目的とした制御機能の拡充を図った。無線の温湿度計を利用したシステム構成と予想平均申告(Predicted Mean Vote、以下、PMV)を用いた制御方法を導入し、実験により省エネルギー効果を確認した。パッシブリズミング空調システムの概要と、現在進めている拡充機能について紹介する。

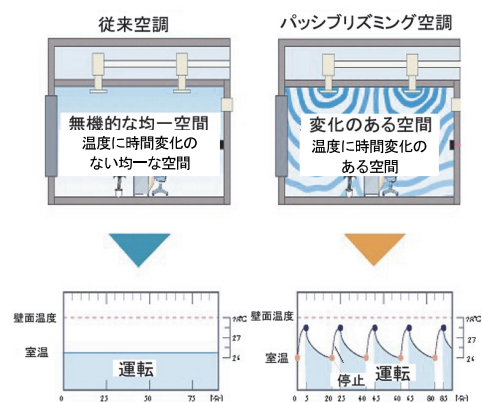


図-1 パッシブリズミング空調システムの考え方

*技術研究所環境研究グループ

2. パッシブリズム空調システム

2.1 システムの概要

図-1にパッシブリズム空調システムの概要を示す。一般的な空調が、時間変化のない均一な温度の維持を目標に制御をするのに対し、パッシブリズム空調システムは、空調を周期的に停止させ、温度変化のサイクルを生み出す制御を行う。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⁹⁾、快適性を損なうことなく空調の停止が可能となり、それに伴う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⁵⁾(図-2)による。二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(気温の高さ、低さ)を軸とした二次元平面で表す。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される(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

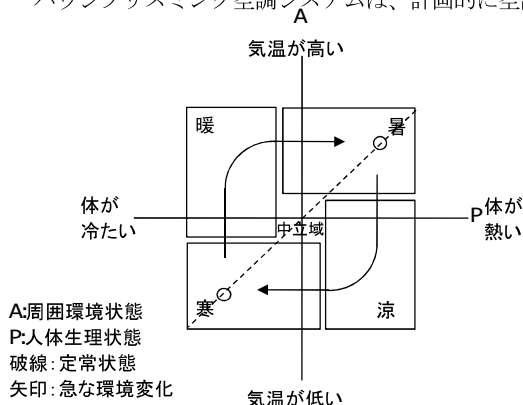


図-2 二次元温冷感モデル

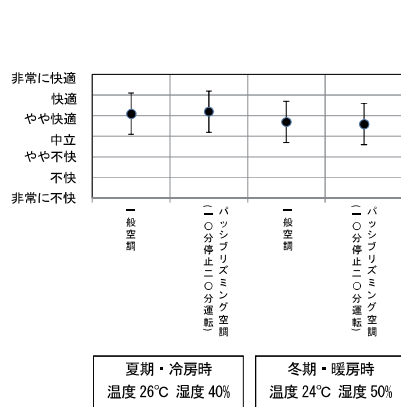


図-3 パッシブリズム空調システムの快適性 (被験者 15名の回答の平均と標準偏差)

発停させ、急な環境変化を与えることで、居住者に積極的な快適性を与え、快適性を損なうことなく空調エネルギーを削減させるシステムである。図-3に一般空調とパッシブリズム空調システムの快適性を比較した結果を示す⁹⁾。夏期冷房時は一般空調で26□(連続稼働)、パッシブリズム空調システムで、26~27.5□(空調停止時間10分、稼働時間20分のサイクル)、冬期暖房時一般空調では24□(連続稼働)、パッシブリズム空調システムで24~22.5□(空調停止時間10分、稼働時間20分のサイクル)となっている。一般空調とパッシブリズム空調システムの稼働時間が異なっているが、快適性は同等となっていることがわかる。

2.3 システム構成

被験者実験から得られた知見をもとに、空調を周期的に発停させ、温度変化のサイクルを生み出す制御方法と装置を開発している。図-4にパッケージ型空調を対象とした制御装置の構成、図-5に制御フローとその際の温度変化の一例を示す。空調が運転している状態で制御が開始されると、空調を稼働させ、20分経過したら10分間停止させる。ただし、停止中に設定温度より1.5℃以上温度が上昇した場合はフェイルセーフ機能として即座に稼働する。この処理を繰り返すことで、所定の温度範囲の中で空調の発停制御が実行され、空調停止に伴った熱源の省エネルギー効果が生まれる。

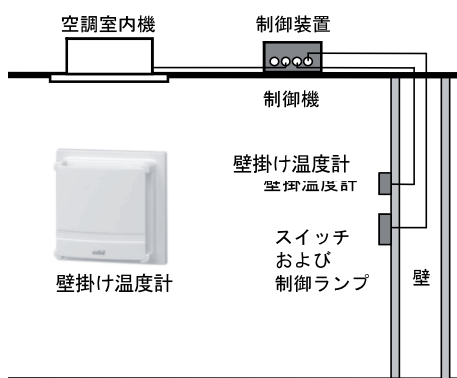


図-4 システム構成

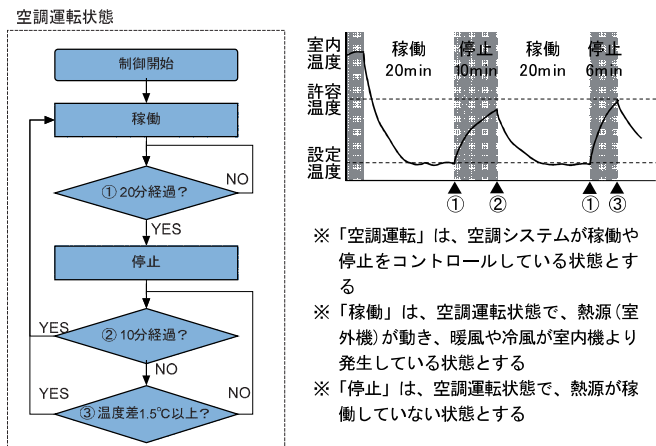


図-5 制御フローと温度変化

3. 制御機能の拡充

3.1 概要

従来のパッシブブリズミング空調システムは、単一の壁掛け温度計を用いて温度を取得し、これを基に室内機を発停させていたが、制御対象室が大きい場合に、温度の不均一性が顕著になるなどの弊害が現れた。また、人の温熱快適性は温度だけでなく湿度にも影響される。しかしながら、パッシブブリズミング空調システムの快適性実験では、湿度は一定としており、湿度変化に対応した制御機能は備えていなかった。

これらを踏まえ、今回は、空間内の標準的な温度を捉え、空間内の温度の偏りの影響を最小限にするため、多点に配置可能な無線温湿度計を用い、それぞれの温湿度計測値の算術平均を用いた制御が可能なシステム構成に改良した。また、湿度を考慮することで、より省エネルギーな運転を可能にする新たな制御方法を考案した。これらについて詳述する。

3.2 多点の温湿度計による計測・制御

図-6に拡張したシステム構成を示す。温湿度の多点計測には、電源線・信号線の配置、施工方法が課題であった。そこで、当社で開発した環境発電・無線温湿度計（以下、PV 無線温湿度計）を計測に用いた。図-7に PV 無線温湿度計の外観を示す。光発電パネルを電源としているため電源交換の必要がなく、温度・湿度・照度を計測し、無線送信する。照度 200lux で 30 秒ごとのデータ送信が可能であり、照度が高くなるほど、送信間隔は短くなる。

計測されたデータは、制御装置の中に格納した受信機へ送られる。計測から受信、受信後の平均値変換までの処理を、図-8に示す。PV 無線温湿度計の送信間隔は、環境照度に応じて変化するため、一定時間内で受信データの全平均を求めると、高照度環境に配置された計測器の値が多く含まれることとなり、厳密な平均値とならない。そのため、一度受信機側で各計測値の一分間平均値を求め、各一分間平均値から、空間平均温度と空間平均湿度を算出している。

また同一の空調ゾーニングの中で、温度が異なると考えられる複数箇所に PV 無線温湿度計を配置し、温湿度の空間平均値を算出することで、より標準的な温湿度による制御が可能となる。

3.3 PMV を用いた湿度の考慮

算出された空間平均温度・湿度をもとに、従来のパッシブブリズミング空調システムと同程度の快適性を保ちながら、よりエネルギーとなる制御方法を考案した。受信機で算出された空間平均温度・湿度より、温熱環境評価指数の一つである PMV を推定し、PMV の時間平均値をもとに発停を判断する。なお、PMV はファンガーによって提案された温熱環境評価指数であり、温熱環境

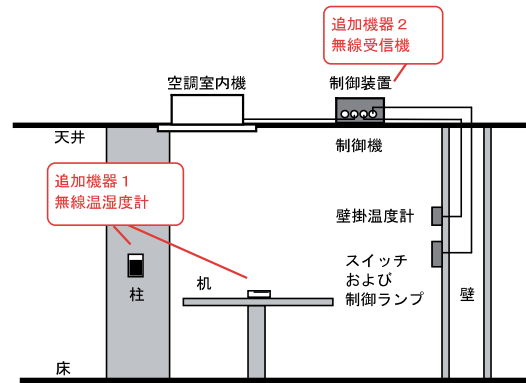


図-6 拡張したシステム構成

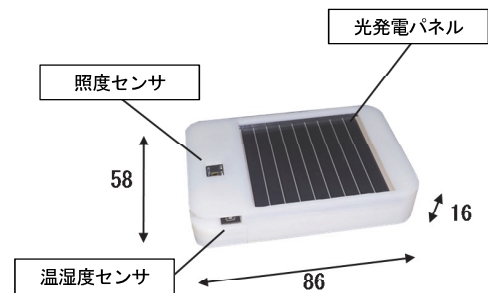


図-7 PV 無線温湿度計

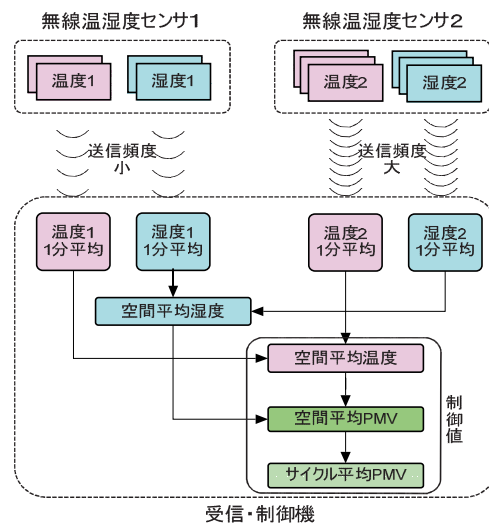


図-8 計測から受信、受信後の平均値変換までの処理

を形成する6要素（温度、湿度、気流、輻射温度、代謝量、着衣量）を基に、快適方程式から数値化された温冷感（図-9）を算出する。PMV は不快者数の割合の期待値（予測不快者率 PPD）と対応しており、ISO7730(1994)に採用されている代表的な温熱環境評価指数の一つである。

PMV を用いた冷房・暖房時の制御方法を図-10、11に、制御値の許容条件を表-1に、制御フローを図-12に示す。従来のパッシブブリズミング空調システムにおける実験条件より、発停間隔サイクルの時間平均（以下、サイクル平均）のPMVを求め、これに基づいた制御をす

る。空調の停止開始時を起点とし、計測ごとに起点からその時刻までの空間平均 PMV の時間平均値（以下、時間平均 PMV）を求め、10 分後に空調を 15 分から 20 分稼働する。15 分から 20 分の間で、時間平均 PMV が、表-1 に示す許容値に収まる場合、その段階で空調を停止させ、新たな停止-稼働サイクルに移る。つまり、湿度条件が有利な場合は、従来のパッシブリズム空調システムと同様のサイクル平均 PMV を保ちながら、稼働時間を最大で 15 分まで縮小させる。停止時間率（1 サイクルあたりの停止時間の割合）にすると、従来制御が 33%、新しい制御が 33~40% となり、最大で 7% 停止時間率が增大する。

またフェイルセーフとして、空調の停止中に空間平均 PMV、空間平均温度が表-1 の瞬時許容条件を外れた場合は、即座に空調を稼働する機能を加えている。

4. 実証実験

4.1 実験概要

PMV による新しい制御方法の冬期暖房時の運転実験および省エネルギー効果の確認実験を行った。実験室の測定点と空調配置図を図-13 に示す。暖房能力 4.0kW の室内機が室の東西に 2 台配置しこれらを同時に制御した。室外機の定格出力は 2.5kW である。PMV 無線湿度計は、室内機の風が直接当たらない机の上に配置した。

実験では、従来のパッシブリズム空調システムと、新しい制御機能を搭載したパッシブリズム空調システムを運転し、それぞれの動作状況、室外機のエネルギー消費量を比較した。日中の負荷変動の影響を除外するため、日没以降 18:30~20:00 の時間に 2 サイクル実施した。時刻変化に伴う温度のばらつきに配慮し、日を変えて 3 回実験をし、その日別平均の計測値を比較した。エネルギー消費量の比較は、一般空調の稼働実験も加え、上記 3 回の実験のうち外気温が近い日で比較した。

PMV は、湿度が高いほど大きくなる。従来制御では暖房時は相対湿度 40% を仮定していたため、本実験では 40% より高湿度となる場合に、PMV の時間平均値制御によって、空調稼働時間が短縮される動作確認をした。湿度は加湿器で調整し、従来制御の場合は、過去の被験者実験と同様、相対湿度 40%、新しい制御法の場合は、より PMV が有利な条件として相対湿度 50% を与えた。空調設定温度は 22℃ とした。

4.2 制御の確認

従来のパッシブリズム空調システムと、新しいパッシブリズム空調システムの PMV 推移を図-14 に示す。サイクル平均温度は従来制御で 22.1℃、新しい制御法で 21.8℃ と差があるが、サイクル平均 PMV は、湿度差が加味され、従来制御と新しい制御でともに -0.3℃ となっている。また、新しい制御においては、稼働

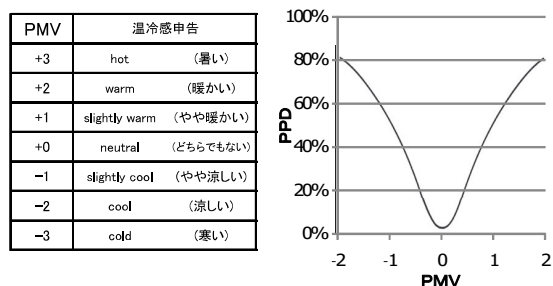
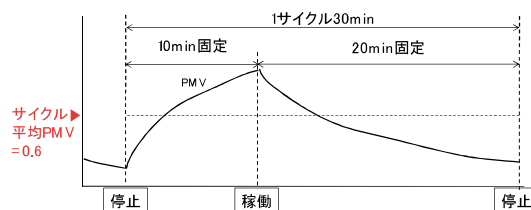


図-9 PMV の温冷感申告と PPD

従来制御: 10分停止20分運転(26℃~27.5℃、湿度50%)



拡張制御: 10分停止15~20分運転(22℃~27.5℃、湿度50%未満)

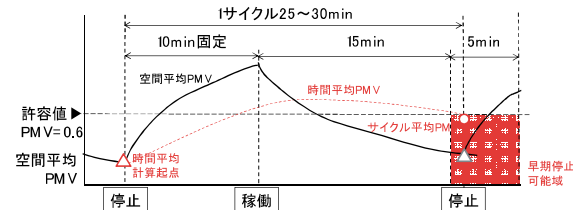
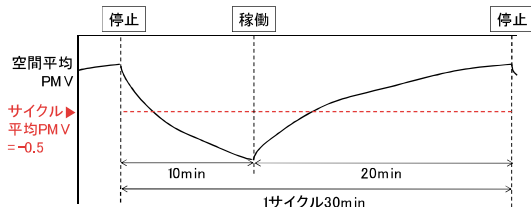


図-10 冷房時の時間平均 PMV による制御

従来制御: 10分停止20分運転(22℃~20.5℃、湿度40%)



拡張制御: 10分停止15~20分運転(22℃~20.5℃、湿度40%以上)

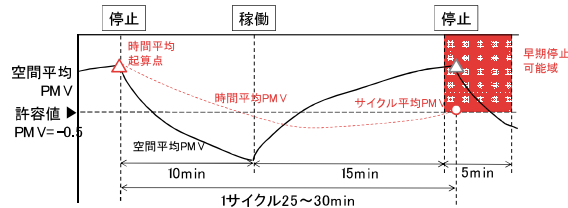


図-11 暖房時の時間平均 PMV による制御

表-1 制御値の許容条件

	稼働中止判断の許容値	停止継続判断の許容値
暖房時 着衣量 0.8clo 代謝量 1.2met 設定温度 22℃	時間平均 PMV -0.5 以上	空間平均 PMV -0.8 以上 空間平均温度 29℃ 以下
冷房時 着衣量 0.5clo 代謝量 1.2met 設定温度 26℃	時間平均 PMV 0.6 以下	空間平均 PMV 0.8 未満 空間平均温度 19℃ 以上

働時間が15分となっており、サイクル平均PMVに基づいた稼働時間を短縮する制御が確認された。

4.3 省エネルギー効果

一般空調と従来のパッシブリズム空調システム、新しいパッシブリズム空調システムの3パターンの室外機の電力（電力量の運転時間平均）を図-15に示す。一般空調に対し稼働時間の短縮によって、従来のパッシブリズム空調システムは36%の削減効果、新しいパッシブリズム空調システムは43%の削減効果が得られた。空調停止率が7%増加したことで、省エネルギー性能がさらに向上していることを確認した。

5. あとがき

パッシブリズム空調システムについて、多点の温湿度計測に対応できるよう、複数のPV無線温湿度計を用い、計測された温湿度から推定される平均PMVを基に、稼働時間を短縮する制御方法を考案した。

運転状況と省エネルギー効果を確認した結果、1サイクル当たりの稼働時間が5分短縮され、停止時間率が7%増大した。また、一般空調と比較したエネルギー削減率は、従来のパッシブリズム空調で36%、新しい制御を採用した場合で43%となり、省エネルギー効果が向上した。以上より、考案したシステム構成、および制御方法が想定通りの性能であることを確認した。

今後は、快適性に関する被験者実験を予定している。

【参考文献】

- 1) 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
- 2) 例えば、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) 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、2016.10
- 4) 坊垣和明他、「パッシブリズム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・衛生工学会論文集、No.64、1997.1
- 5) 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
- 6) 角谷三夫他、「パッシブリズム空調における快適性と省エネルギー効果に関する研究」、奥村組技術年報、No.22、pp.67-72、1996
- 7) (社) 空気調和・衛生工学会、「快適な温熱環境のメカニズム」、第2版、丸善(株)、2006.3.20

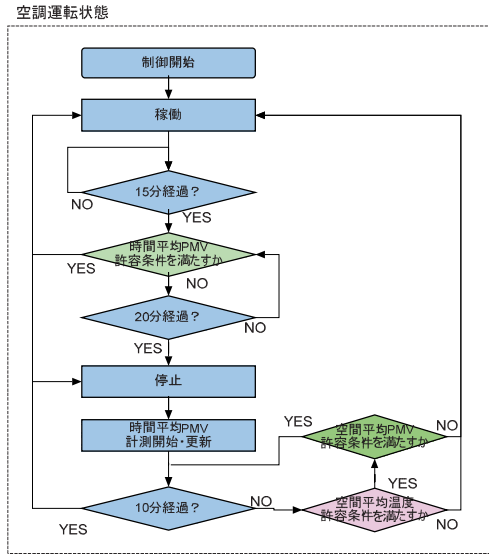


図-12 制御フロー

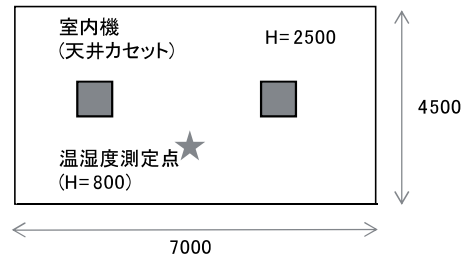


図-13 実験室の測定点と空調の配置

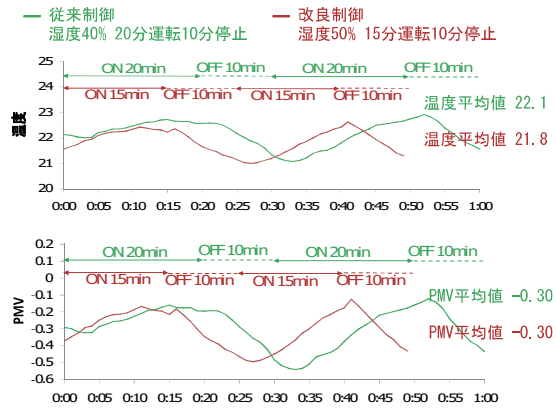


図-14 温度推移(上)とPMV推移(下)

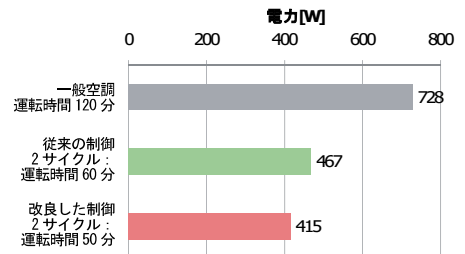


図-15 各制御パターンの電力量運転時間平均