



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	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 その2 被験者実験時の室内環境と省エネルギーに関する評価
Author(s)	福森, 幹太; 坊垣, 和明; 角谷, 三夫 他
Description	第4回衛生工学シンポジウム (平成8年11月7日 (木) -8日 (金) 北海道大学学術交流会館) . 5 測定 . 5-3
Citation	衛生工学シンポジウム論文集, 4, 191-196
Issue Date	1996-11-01
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/7848
Type	departmental bulletin paper
File Information	4-5-3_p191-196.pdf



5 - 3

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
その2 被験者実験時の室内環境と省エネルギーに関する評価

○ 福森幹太(三機工業)、坊垣和明(建設省建築研究所)
角谷三夫(奥村組)、鈴木三男(三機工業)、辰己利幸(奥村組)

1.はじめに

ここでは、前報(その1)の快適性に関する考察につき、前半部分では被験者実験時における温度や気流、空気質等の物理測定を行った結果を報告する。後半部分では、パッシブリズミング空調の導入を想定した場合のエネルギー消費の低減効果を検討するために、空調シミュレーションを行った結果を報告する。

2. 物理測定の結果と考察

2.1 実験結果の一例と被験者データ

実験結果の一例を図1に示す。同図は、夏期実験No.2(基準温度26℃/周囲表面温度28℃、空調停止15分・空調運転30分)における某被験者の申告と皮膚温および室温の変化を示したものである。

この被験者の場合、室温の変動に対応して申告も変化している。しかし、申告に変化の見られない被験者もあり、逆に、室温一定の場合でも申告が一定で推移することは少なかった。

皮膚温については、どの実験においても変化は小さく、パッシブ変動をおこなっても皮膚温への影響はわずかであった。また、個人差も少なく、各部位の皮膚温はおおむね33℃~36℃に分布していた。このことは、申告の個人差が被験者の温熱感覚の個人差によるものであったことを示している。

2.2 風速測定結果

実験室の概要を図2に示す。被験者の周囲の6地点および室の中心点の計7地点で風速を測定した結果を表1に示す。測定結果は夏期冷房のものであるが、いずれも被験者にとって気流が気になるような風速ではないと思われる。

表1 風速測定結果(夏期冷房の代表条件のみ)

条件	基準温度(℃)	壁面温度(℃)	風速(m/s)7地点で測定					
			1100mm		600mm		100mm	
			平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
定常アクティブ	26	26	0.068	0.017	0.072	0.024	0.105	0.043
パッシブ	26	28	0.059	0.006	0.081	0.036	0.152	0.065
パッシブ	25	27	0.059	0.018	0.091	0.039	0.155	0.045
パッシブ	27	29	0.057	0.008	0.085	0.033	0.111	0.044
空調停止時	26	28	0.054	0.006	0.056	0.010	0.059	0.009

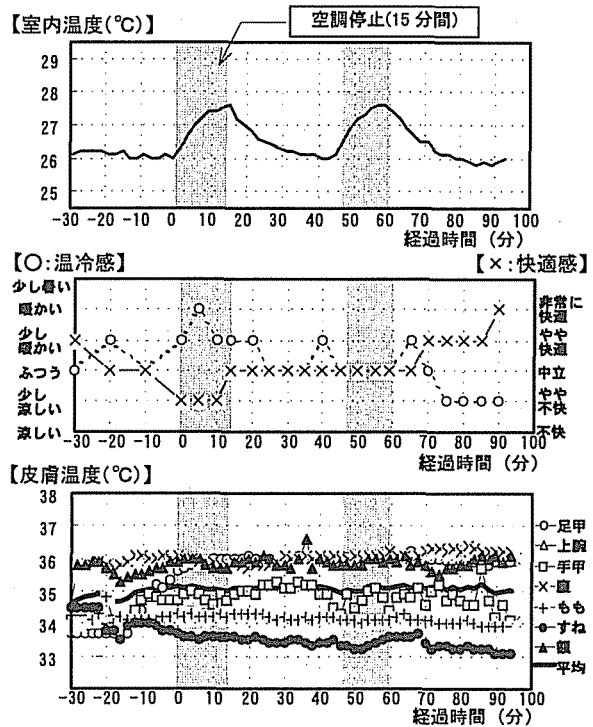
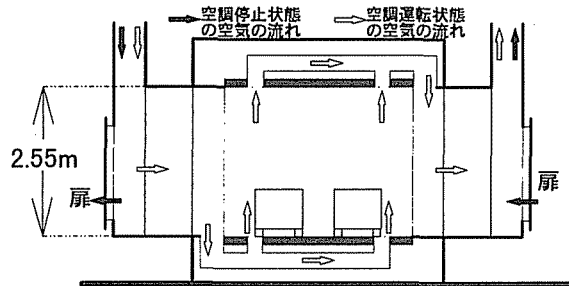
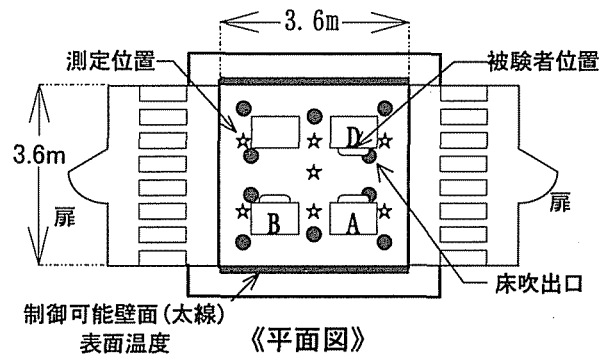


図1 実験結果の一例
(夏期冷房実験No.2の場合)



《断面図》
図2 実験室概要

2.3 空調停止による空気質への影響

パッシブ変動による空調停止が空気質におよぼす影響は、もっとも懸念される問題の一つである。そこで、いくつかの被験者実験中に実験と平行して二酸化炭素、一酸化炭素、浮遊粉塵の連続測定を行った。

図3は冬期暖房の実験No.4(基準温度24°C/周囲表面温度21°C、空調停止15分・空調運転30分)において被験者3名で行った実験の記録である。実験室内は禁煙である。

同図によると、15分間の空調停止によって二酸化炭素濃度は定常状態から150ppm程度の上昇となっている。最大650ppm程度となっているが、一酸化炭素と浮遊粉塵の計測結果を含め、ビル衛生管理法の基準値と比較して、問題のないレベルといえる。

この実験室は空調停止時に若干の空気の入替えが生じていたと思われるが、同条件で完全に新鮮外気の導入を停止した場合を想定すると、二酸化炭素は約560ppm上昇すると計算される。

備考:二酸化炭素吐出力・25ℓ/人h

室容積・11m³/人、空調停止・15分間

したがって、完全に空気の供給を停止する場合の空調停止時間は、二酸化炭素の基準値である1000ppm以下にするためには、15分程度が限界と考えられる。

3 モデルビルによる消費電力シミュレーション

モデル・ビル(オフィス・ビル)を想定し、日本建築設備士協会から発行されている『空調システム標準シミュレーションプログラム HASP/ACSS/8502』を用いて省エネルギー効果の解析を行ったので、その結果を紹介する。

3.1 シミュレーションモデルの検討

空調方式は、一般に表2のように分類される。パッシブリズミング空調は、あまり長くない時間ではあるが一時的に空調を停止する方式である。原理的には、いずれの空調方式に対しても適用が可能であるが、再起動時の立上がり特性や頻繁な機器の発停の影響などを考慮すると、現実的に適用可能な方式は限定されるであろう。

パッシブ変動を与えるには、熱源機器、送風機、冷温水循環ポンプなどをON/OFF運転する方法や電磁弁により系統の一部を順次切り替えていく方法が考えられる。空調方式や建物全体のシステムによって、いずれが適しているかは一概には決められない問題であり、その適否の詳細な検討は別の機会

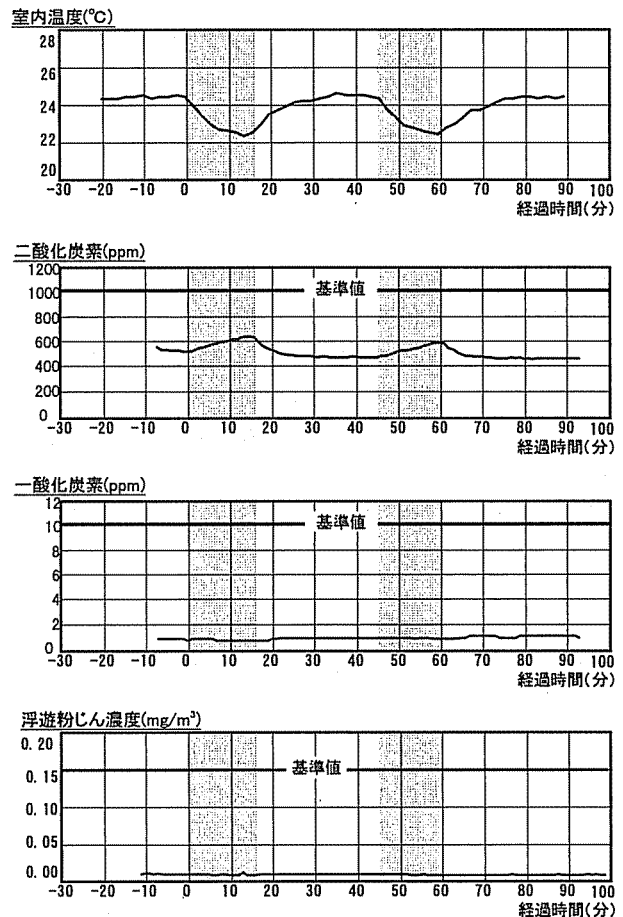


図3 実験室内空気質の経時変化

表2 空調方式の分類

	エネルギー媒体による分類	システム名称
中央方式	全空気方式	・定风量単一ダクト方式 ・変风量単一ダクト方式 ・二重ダクト
	空気-水方式	・ダクト+ファンコイル方式 ・インダクション方式 ・ふく射冷暖房方式
	水方式	・ファンコイルユニット方式
個別方式	冷媒方式	・ルームエアコン ・ヒートポンプユニット方式 ・パッケージユニット方式

に譲りたい。

ここでは、比較的一般的でパッシブリズミング空調に適していると思われるFCU(ファンコイルユニット)・ダクト併用方式を取り上げた。この方式では、取入外気の負荷を外気処理装置で処理し、室内負荷および熱貫流負荷をFCUで処理する負荷処理配分になっている。したがってパッシブ変動をFCU系統のみに与えることで、空気質の乱れを招くことなくパッシブリズミング空調が可能であり、実現性が高いと考えられる。もちろん、空気環境が維持できる範囲でダクト系も

停止できれば省エネルギー効果はより大きい。

物をモデルとして、シミュレーションを行うこととした。

本報では、FCU・ダクト併用方式を採用した図4、図5に示すような床面積3000㎡(5階建)の建

空調設備システムの設定の詳細は表3の通りである。

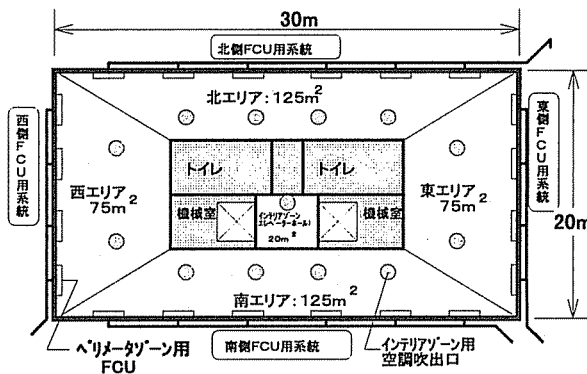


図4 平面図

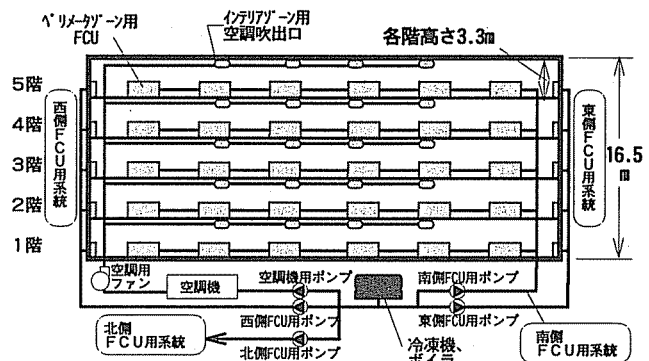


図5 立面図

表3 シミュレーションモデルにおける設定条件一覧

◆ビル用途: 一般事務所ビル(東京・南向き) 地上5階(地下階なし)

- 建物概要: 延床面積 3000㎡ (幅30m 奥行20m 高さ16.5m)
- フロア面積 600㎡ (東75㎡, 西75㎡, 南125㎡, 北125㎡)
- インテリア面積(エレベーターホール) 20㎡ / 非空調エリア 180㎡
- 壁体構造 窓 普通6mm+明ブラインド
- 窓面積比 東50%, 西50%, 南50%, 北50%

- ・外壁 $K=1.652\text{kcal}/\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}$
- ・屋根 $K=1.059\text{kcal}/\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}$
- ・天井 $K=1.548\text{kcal}/\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}$
- ・床 $K=1.548\text{kcal}/\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}$
- ・内壁 $K=2.182\text{kcal}/\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}$
- ・間仕切 $K=1.961\text{kcal}/\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}$
- ・地下床 $K=0.537\text{kcal}/\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}$
- ・一階床 $K=0.509\text{kcal}/\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}$

■空調システム系統接続

空調システム: ダクト(インテリアゾーン用)
+ファンコイルユニット(ペリメータゾーン用)方式

■熱源データ

□熱源システム 冷凍機+ボイラ
要求熱量: 272.2Mcal/h 90USRT 1台
出口温度: 冷水7°C / 温水45°C

■空調機データ

□空調機計算条件

・冷水入口温度: 7°C / 冷水出口温度: 12°C
吹出冷風温度: 16°C
・温水入口温度: 45°C / 温水出口温度: 40°C
吹出暖風温度: 34°C
風速: 2.5m/秒 水速: 1m/秒
伝熱係数: 700 顕熱比: 90%

	□冷熱源	□温熱源	□冷却塔
能力	272.2Mcal/h	540.0Mcal/h	冷却能力 390.0Mcal/h
出力	62.9KW	49.1KW	出力 1.5KW
1次流量	911.1 l/min	1.8 l/min	風量 36.0 千CMH
1次ポンプ	7.5kw	7.5kw	流量 1300.0 l/min
補機入力	2.2kw		

□空調機

空調タイプ: CAV 流量制御: VVV
空調負荷: 168.0Mcal/h
給気量: 30.0 千CMH 外気量: 8.5 千CMH
軸動力: 118.3kw 冷水量: 560.0 l/min
全熱交換: 無

■搬送ポンプデータ

	要求流量	合計流量	台数	動力
	l/min	l/min		kw
クーリングタワーポンプ(PCT)	560	600	2	7.5
空調機ポンプ(P01)	60	150	1	7.5
東系統ポンプ(PFE)	27	150	1	7.5
西系統ポンプ(PFW)	33	150	1	7.5
南系統ポンプ(PFS)	27	150	1	7.5
北系統ポンプ(PFN)	20	150	1	7.5

図4の空調系統において、どの部分にパッシブ変動(一時停止)が適用可能であるかを検討する。まず第一に、FCUと空調機(インテリア)の空気搬送系(ファン)が考えられる。ポンプ類については、空調機用を停止することは可能であるが、FCU系統の停止は一般的ではないと思われる。これは、再起動時における立上がりの遅れを起こさせないようにするためであり、出力制御もしないこととした。また、熱源機器の停止も難しい。これらの、一時停止の難しい機器については出力制御で対応するのが現実的であろう。

シミュレーションは、以上を考慮し、パッシブ変動(一時停止)の対象機器と運転制御の方法を表4のように設定して行った。

表4 シミュレーションにおけるパッシブ変動の対象機器と制御方法

機器	熱源機器		空調機器		室内ユニット	
	機器本体	ポンプ類	搬送系	ポンプ類	FCU	ポンプ類
パッシブ変動			○		○	
出力制御抑制	○			○		

3.2 シミュレーションの方法

エネルギー消費量算出のシミュレーションは、まず一般の定常空調の場合について行い、系統別の消費エネルギーを算出する。次に、このシミュレーション結果を基準として、夏期冷房時、冬期暖房時にパッシブリスティング空調を想定し、1時間当たり5分、10分、15分、20分の停止時間をとった場合の計算上の消費エネルギー量を系統別に算出した。

ベースとなる定常空調シミュレーションについては2種類の計算を行っている。第1は、東京の標準気象データにおける最寒日(1月27日)と最暑日(8月10日)の1日の消費エネルギーを、時刻別(8:00~19:00)に計算した場合である。第2は、年間の月別消費エネルギー量の計算(冷房運転:6~9月、暖房運転:12~3月)である。なお、消費エネルギーは、すべて電力換算して表示、検討している。

3.3 シミュレーション結果および考察

定常空調のシミュレーション結果を表5~7に示す。これをベースとして、1時間当たり5~20分の停止時間をとった場合の消費エネルギー(すべて電力換算)を計算し、定常空調を含めた5パター

ンの消費電力を図6~8に示した。さらに、省エネルギー効果を電力削減率として、表8~表10に示す。

3.4.1 夏期冷房の考察

表5より、朝方、夕方に負荷が若干少なくなる以外ほぼ1日中最大負荷の状態でも運転していることがわかる。またパッシブ変動を用いた場合の1日の比較(図6)では空調停止時間に比例して消費電力が削減されている。表8によれば、1時間あたり、5分停止することによる電力削減率は約6.1%となっている。被験者実験において停止時間率33%の適用が可能であることを示したが、この場合の電力削減率は24.5%に達し、きわめて効果が大きいことが明らかになっている。

3.4.2 冬期暖房の考察

表6より、1日を通して均等に高い負荷がかかっていることがわかる。夏期と違う点は、朝方、夕方の方が日中より少しではあるが多くの電力を消費していることである。また表9より、停止時間に応じて3.9%~15.7%の消費電力の削減が可能であることがわかる。夏期冷房時に比べ冬期暖房時の消費電力および電力削減率が低く計算されているのは、冬期の熱源にボイラ(ガス)を用いている(冬期暖房時のボイラ用のガス消費量は電力換算している*)ことと、夏期冷房時には冷却塔用のポンプが作動していることが原因である。

注)*電力の1次エネルギー換算:1KW=2250kcal/h
 ガスの1次エネルギー換算:1Nm³=11000kcal/h
 ∴電力[KW]=0.204545×ガス消費量[Nm³/h]

3.4.3 年間の考察

表7および図8より、年間を通じて消費電力は夏期に大きいことがわかる。しかし冬期暖房時でもボイラを使用しているため消費電力量が低く抑えられているだけで実際には大きな負荷がかかっている。

年間の消費電力量については、パッシブ変動を導入することによって表10のように削減できると計算された。停止時間率33%の場合には年間で20%を超える削減率となっており、大きな可能性を秘めていることが確かめられた。

表5 空調シミュレーション結果
[夏期冷房:定常空調]

時	単位MWH 合計	機器電力量			ポンプ電力量*1	
		熱源用	空調機	室内ユニット	1次,FCU	空調機系
8	149.05	57.89	25.00	6.96	42.60	16.60
9	162.90	71.74	25.00	6.96	42.60	16.60
10	163.18	72.02	25.00	6.96	42.60	16.60
11	163.38	72.22	25.00	6.96	42.60	16.60
12	163.03	71.87	25.00	6.96	42.60	16.60
13	163.22	72.06	25.00	6.96	42.60	16.60
14	163.47	72.31	25.00	6.96	42.60	16.60
15	162.99	71.83	25.00	6.96	42.60	16.60
16	163.09	71.93	25.00	6.96	42.60	16.60
17	161.32	70.16	25.00	6.96	42.60	16.60
18	147.00	55.84	25.00	6.96	42.60	16.60
計	1762.63	759.87	275.00	76.56	468.60	182.60

注)*1:ポンプのうち空調機系には冷却塔用も含まれている

表6 空調シミュレーション結果
[冬期暖房:定常空調]

時	単位MWH 合計	機器電力量			ポンプ電力量*2	
		熱源用*2	空調機	室内ユニット	1次,FCU	空調機系
8	81.11	5.70	25.00	6.96	42.60	0.85
9	80.59	5.18	25.00	6.96	42.60	0.85
10	80.53	5.12	25.00	6.96	42.60	0.85
11	80.50	5.09	25.00	6.96	42.60	0.85
12	80.48	5.07	25.00	6.96	42.60	0.85
13	80.43	5.02	25.00	6.96	42.60	0.85
14	80.42	5.01	25.00	6.96	42.60	0.85
15	80.42	5.01	25.00	6.96	42.60	0.85
16	80.44	5.03	25.00	6.96	42.60	0.85
17	80.50	5.09	25.00	6.96	42.60	0.85
18	80.63	5.22	25.00	6.96	42.60	0.85
計	886.07	56.56	275.00	76.56	468.60	9.35

注)*2:冬期暖房時の熱源はボイラガスを用いているため電力換算している

電力の1次エネルギー換算:1KW=2250kcal/h

ガスの1次エネルギー換算:1Nm³=11000kcal/h

∴電力[KW]=0.204545×ガス消費量[Nm³/h]

表7 空調シミュレーション結果
[年間:定常空調]

月	単位MWH 合計	機器電力量			ポンプ電力量*4	
		熱源用*3	空調機	室内ユニット	1次,FCU	空調機系
1	15.11	0.79	4.75	1.32	8.10	0.16
2	16.00	0.92	5.00	1.39	8.53	0.17
3	17.03	0.44	5.50	1.53	9.38	0.19
4	5.00	0.00	5.00	0.00	0.00	0.00
5	5.25	0.00	5.25	0.00	0.00	0.00
6	30.12	10.06	5.50	1.53	9.38	3.65
7	31.43	12.28	5.25	1.46	8.95	3.49
8	35.31	14.34	5.75	1.60	9.80	3.82
9	28.15	9.92	5.00	1.39	8.53	3.32
10	5.25	0.00	5.25	0.00	0.00	0.00
11	5.00	0.00	5.00	0.00	0.00	0.00
12	16.38	0.55	5.25	1.46	8.95	0.18
計	210.03	49.28	62.50	11.68	71.60	14.97

注)*3:冬期暖房時の熱源はボイラガスを用いているため電力換算している

電力の1次エネルギー換算:1KW=2250kcal/h

ガスの1次エネルギー換算:1Nm³=11000kcal/h

∴電力[KW]=0.204545×ガス消費量[Nm³/h]

注)*4:ポンプのうち空調機系には冷却塔用も含まれている

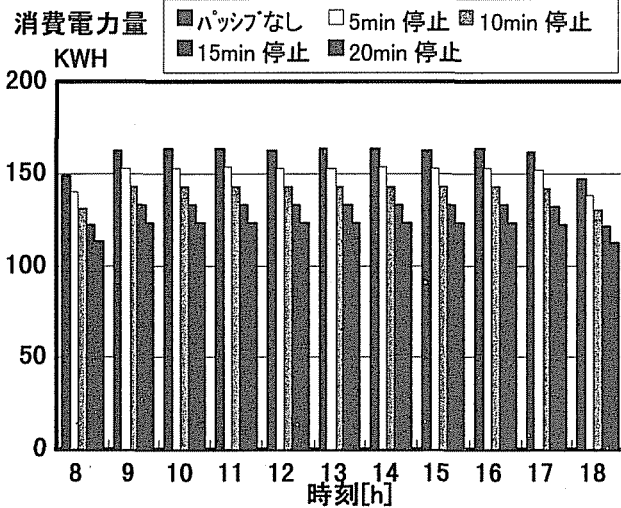


図6 時間別消費電力量の比較
[夏期冷房時(8/10)]

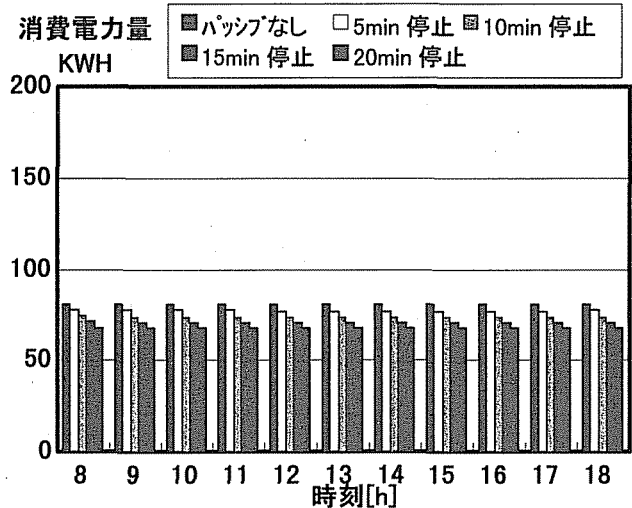


図7 時間別消費電力量の比較
[冬期暖房時(1/27)]

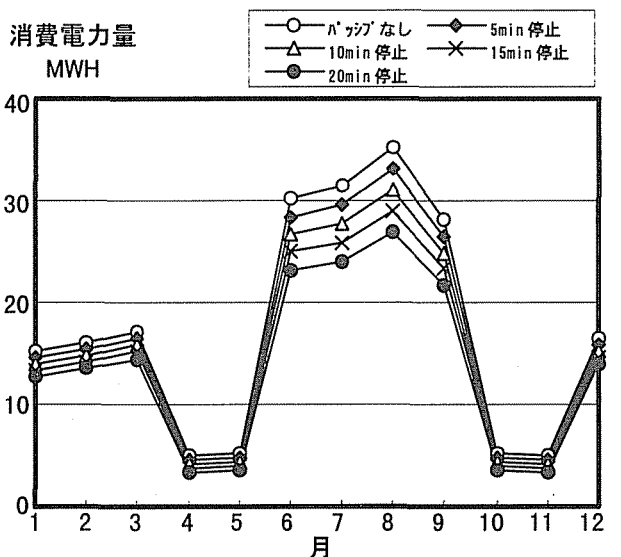


図8 月別消費電力量の比較
[年間]

表 8 消費電力量と電力削減率の比較
[夏期冷房時(8/10)]

8月10日 8:00~19:00	定常空調 パッシブなし	パッシブ 5分停止	パッシブ 10分停止	パッシブ 15分停止	パッシブ 20分停止
停止時間率	—	8%	17%	25%	33%
消費電力量(KWH)	1762.63	1654.79	1546.96	1439.12	1331.29
電力削減率	—	6.1%	12.2%	18.4%	24.5%

注)パッシブ変動時の空調停止時間は1時間当りの停止時間を示す

表 9 消費電力量と電力削減率の比較
[冬期暖房時(1/27)]

1月27日 8:00~19:00	定常空調 パッシブなし	パッシブ 5分停止	パッシブ 10分停止	パッシブ 15分停止	パッシブ 20分停止
停止時間率	—	8%	17%	25%	33%
消費電力量(KWH)	886.07	851.28	816.49	781.70	746.91
電力削減率	—	3.9%	7.9%	11.8%	15.7%

注)パッシブ変動時の空調停止時間は1時間当りの停止時間を示す

表 10 消費電力量と電力削減率の比較
[年間]

年間	定常空調 パッシブなし	パッシブ 5分停止	パッシブ 10分停止	パッシブ 15分停止	パッシブ 20分停止
停止時間率	—	8%	17%	25%	33%
消費電力量(MWH)	210.03	198.49	186.96	175.42	163.88
電力削減率	—	5.5%	11.0%	16.5%	22.0%

注)パッシブ変動時の空調停止時間は1時間当りの停止時間を示す

5. 結論

前報の実験および本報のシミュレーションの結果より、快適性と省エネルギーを両立する可能性をもつパッシブリズミング空調システムの提案が可能ながわかった。

6. 今後の課題

本報で算出した、省エネルギーに関する消費電力の削減率は、送風ファンなどの再起動時における起動電力の増分や、空調停止による冷房時の温度上昇、暖房時の温度低下分を処理するための負荷の増分を考慮していない。またポンプや搬送ファンなどの機器について考えると、運転/停止を頻繁に行うことは機器の寿命を短縮させる要因を含んでいる。これらは今後の詳細設計の際にはさらに検討しなければならない課題である。

前報でも示したが、フィールドテスト等を通して実用化へ向けた取組みを進めていきたい。

なお、本研究は建設省建築研究所、奥村組、三機工業

による官民共同研究の一環として実施されたものである。

本研究に関連した既発表文献

- 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(その1)研究の目的・実験方法ならびに空調停止時の室温変動について、空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集(1995-10)、pp1217~1220
- 有川 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(その2)夏期被験者実験結果について、空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集(1995-10)、pp1221~1224
- 宮城 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(その3)冬期被験者実験結果について、空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集(1995-10)、pp1225~1228
- 福森 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(その4)シミュレーションによる省エネルギー効果の検討、空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集(1995-10)、pp1229~1232
- 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(その5)低温冷風空調への応用と快適性に及ぼす影響に関する実験の概要、空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集(1996-9)、pp109~112
- 福森 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(その6)低温冷風空調への適用のための被験者実験の結果、空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集(1996-9)、pp113~116
- 辰己 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(その7)冬期暖房時におけるパッシブリズミング空調のフィールドテストについて、空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集(1996-9)、pp117~1