

原著

集合住宅における冷暖房使用時の室内熱環境の測定

新谷俊二・櫻井利彦・三谷康範*

居住者が不在であり、そのため住民の活動による熱的かく乱の影響が少ないと考えられる集合住宅において、その棟の1室に家庭用空調機を設置し、夏季（2010年7月～9月）に冷房モード、冬季（2010年12月～2011年3月）に暖房モードで稼働した場合の、対象区画の室温、壁面及び床面の表面温度分布を測定した。それぞれの期間に、室内空調機の立ち上げ時及び定常運転時における、室温、室内壁面等表面温度と電力使用量の結果から、簡易なモデルを仮定し区画の熱応答性を推計し、室内における熱的環境及び室内外での熱収支と外気温の関係を推定した。

[キーワード：集合住宅、室内環境、空調機、省エネルギー、COP]

1 はじめに

地球温暖化ガスの排出抑制のために、化石燃料等の使用を削減する等の省エネルギー施策が強く求められている。わが国は気候的に夏季及び冬季における冷暖房空調機の使用が不可欠であり（福岡県における2人以上の世帯への空調機器の普及率は平均で96.0%である¹⁾）、これらの機器をより省エネルギー型の機器への切り替え促進施策は大きな効果が期待できる。省エネルギー機器の特性及び性能を、行政として把握し普及を促進するための試みとして、福岡県は、平成22年度に県内企業から提案された省エネルギー型冷暖房機器について、通常型空調機器との比較のための実証実験を、九州工業大学と共同で実施した²⁾³⁾。この共同実証実験は、実際の住宅を実験地として使用し、空調機器を夏季に冷房モード及び冬季に暖房モードでそれぞれ稼働し、消費電力等を比較した。本論文では、通常型空調機器を稼働させた場合の、室温及び室内壁面温度分布等の測定結果と消費電力から、それぞれの季節における室内外の熱量の収支について検討した。

2 実験方法

取り壊し予定の自治体職員向け集合住宅の一室に家庭用空調機を設置し、空調機の非稼働時、停止状態からの立ち上げ時、及び連続稼働時における、空調機の消費電力、室内定点の温湿度、室内壁面（床面及び天井面を含む）表面温度分布を測定した。空調機の稼働条件を表1及び2に示す。

2・1 実験期間

実験は、夏季と冬季に実施した。夏季（冷房モード）の実験は2010年7月21日から9月25日、冬季（暖房モード）の

実験は2010年12月16日から2011年3月2日の期間に、それぞれ空調機の稼働条件を変えて行った。

表1 空調機の稼働条件の設定（夏季）

期間	稼働条件	測定
2010/7/21	空調機(AC)冷房起動(夏季実験開始)	
2010/7/22～ 2010/7/25	調整	
2010/7/26～ 2010/8/2	AC25℃設定	①室温 25℃を 24 時間維持するための消費電力。
2010/8/3	調整 AC28℃設定	
2010/8/4～ 2010/8/6	AC28℃設定	②室温 28℃を 24 時間維持するための消費電力。
2010/8/7	AC 停止。窓を開けて換気後、28℃設定で起動。	
2010/8/7～ 2010/8/15	AC28℃設定	
2010/8/16	調整 AC28℃設定	③室温 28℃を 24 時間維持するための消費電力。
2010/8/19～ 2010/8/23	AC25℃設定	
2010/8/24	調整 AC28℃設定	
2010/8/25～ 2010/9/2	AC28℃設定	
2010/9/3	AC 停止	
2010/9/4～ 2010/9/5	13:00 AC28℃起動	④AC 非稼働(常温)から稼働後 28℃到達まで
2010/9/6	調整 AC26℃設定	
2010/9/8 15:00	AC 停止	
2010/9/9 13:00	13:00 AC25℃起動	⑤AC 非稼働(常温)から稼働後 25℃到達まで
2010/9/10～ 2010/9/13	AC25℃設定	
2010/9/14 14:50	調整 AC26℃	
2010/9/15～ 2010/9/24	AC26℃設定	
2010/9/25 15:06	AC 停止(夏季実験終了)	

2・2 実験対象住宅

自治体職員向け集合住宅（福岡市東区千早）の一室（千早住宅123号室）を対象として実験を行った。対象住宅は、昭和51年度に建てられ、実験時には新築から約35年が経過

福岡県保健環境研究所（〒818-0135 太宰府市大字向佐野 39）

*九州工業大学大学院工学研究院

（〒804-8550 北九州市戸畑区仙水町 1-1）

表2 空調機の稼働条件の設定（冬季）

期間	稼働条件	測定
2010/12/16	温度計設置(連続測定開始)	AC稼働前の床、天井温度(上下階)測定
2010/12/17～ 2010/12/22		AC稼働前の床、天井温度(上下階)測定
2010/12/23	AC起動(AC23℃)	
2010/12/24～ 2010/12/28	連続稼働(AC23℃)	AC稼働後の床、天井温度(上下階)測定
2010/12/29	暖房機停止	
2010/12/30～ 2011/1/3	暖房機完全停止	
2011/1/4	AC起動(設定温度28℃)	暖房機起動(立ち上がり試験) AC28℃
2011/1/5	AC起動(設定温度28℃)	暖房機起動(立ち上がり試験) AC28℃
2011/1/6～ 2011/1/9	連続稼働(AC20℃)	
2011/1/10～ 2011/1/11	連続稼働(AC18℃)	
2011/1/12～ 2011/1/15	連続稼働(AC23℃)	
2011/1/16	AC停止	
2011/1/17～ 2011/1/19	AC起動(設定温度31℃)	暖房機起動(立ち上がり試験) AC31℃
2011/1/20～ 2011/1/25	連続稼働(AC20℃)	
2011/1/26～ 2011/2/4	連続稼働(AC23℃)	
2011/2/5	AC停止	
2011/2/6～ 2011/2/8	完全停止	
2011/2/9	AC立ち上がり(AC20℃)	
2011/2/10～ 2011/3/1	連続稼働(AC20℃)	
2011/3/2	停止(冬季実験終了)	



AC-1, AC-2 : 空調機 123A, 123B, 123C, 123D : 温度ロガー

図1 実験区画の間取り及び測定機器等設置箇所

し、また、平成23年度（2011年度）に取り壊しが予定されており、実験時には対象棟に居住者はなく、住民の生活行動に起因する予期しない熱的かく乱がないことが期待された。実験地の周辺は、福岡市郊外のベッドタウンであり、近傍には民家が多く、戸建て住宅に加え、公営住宅等の集合住宅が多く建設されている地域である。対象住宅の棟は、

4階建てで部屋数は各階6室が東西に並ぶ形で計24室であった。

建物外部は、下地の腰が合板または鋼鉄製型枠及びコンクリート製であり、壁、屋根及びバルコニーがPC板（プレストレス・コンクリート）であった。仕上げは、腰はコンクリート素地のまま、壁はアクリル系リシン吹付、窓はアルミサッシ、屋根はPC板金ゴテでジョイント部にシール防水し鼻にアクリル系リシン吹付、バルコニーは床がPC板金ゴテまたは定盤面でジョイント部にシール防水されていた。階段は3カ所にあり、各部屋は階段に対して対称な間取りとなっている。

実験は2階の1区画（123号室）を使用した（図1）。玄関には鉄製の開きドアが東向きに設置され、玄関を入ると区画の中央部を東西に板張りの廊下があり、その北側に畳敷きの和室（四畳半）が2部屋、南側には畳敷きの和室（六畳）と板張り台所（六畳）、浴室及びトイレ等がある。各部屋の境界は襖または壁により区画される。原則、押入れの戸は閉じ、各部屋の境界（襖）は開放して測定を行った（図1における斜線ハッチ部分は閉鎖された部分を示す。部屋Ⅰ～Ⅳの境界は壁部分を除いて内部に開放されている）。北側及び南側壁面は、建物の外壁に接続しており、それぞれ外部に開いた窓、外側にはバルコニーがある。区画の内部仕上げは、大まかには床面が木造、天井面がコンクリート製であり、壁面は木造、コンクリートまたは窓であった。玄関の床面は防水モルタル塗り、壁面は、コンクリート部がPC板にPFクロス貼、木造部が塗装合板パネルであった。廊下は、床面が木造でアマゾンフローア、壁面は玄関と同様であった。畳式和室の各部屋は、床面は畳（パネル下地）、壁はパネル（ジュラク仕上）であった。台所は、床面が木造アマゾンフローア、壁は塗装合板パネルであった。天井はトイレや浴室を除いて、いずれもコンクリートにアクリル系リシン吹付仕上げであった。北側和室2部屋と南側2部屋は、それぞれアルミサッシとガラスによる窓があった。窓には遮光カーテンを設置し、通常的生活状況を想定して、ガラス窓は通常閉鎖し、遮光カーテンは半分開放した状態で測定を行った。

測定時、玄関の鉄製扉は閉鎖した。また、トイレ及び浴室前室の扉は閉鎖し隔離した。室内において、トイレ、浴室及び押入れ（物置）等を除くと、床面積は約24畳（39m²）であり、その室内空間に対して、2台の空調機（図1のAC-1及びAC-2）を設置した。

2・3 使用機器及び測定方法

使用機器の一覧を表3に示す。

2・3・1 空調機及び消費電力測定

家庭用空調機器（三菱電機製MSZ-ZW360）を対象区画（123号室）の北側の部屋と南側の部屋の東側の壁の上方（約

表 3 使用機器

使用機器	型式	メーカー	測定項目	備考	夏季	冬季
家庭用エアコン	MSZ-ZW360	三菱電機株式会社	-	暖房COP:5.3、冷房COP:4.2	○	○
電力計	クランプオンパワーハイテスタ3168	日置電機株式会社	家庭用エアコンの消費電力		○	○
赤外線放射温度計	Mini Temp Mt4	Raytek	室内床面、天井面及び壁面等の表面温度	サーモパイル式、放射率0.95で測定	○	
	IR Thermometer 561	FLUKE				○
温湿度計	カードロガー MR6661	チノー	室内気温及び相対湿度の連続測定		○	○
温度計	DL-8828	カスタム	室内気温の連続測定			○
赤外線サーモグラフ	サーモビジョン CPA-7000	チノー	室内壁面及び建物外壁の表面温度分布	放射率0.95で測定	○	○

表 4 連続測定用温度計の設置個所及び設置期間（夏季）

設置場所	部屋	設置高(cm)	機器名	期間	備考
123A	IV	100	MR6661	2010年7月21日～2010年9月17日	
123B	II	100	MR6661	2010年7月21日～2010年9月17日	

表 5 連続測定用温度計の設置個所及び設置期間（冬季）

設置場所	部屋	設置高(cm)	機器名	期間	備考
123A	IV	100	MR6661	2010年12月16日～2011年2月23日	
123B	II	100	MR6661	2010年12月20日～2011年3月3日	
123C	II	1.5	DL-8828	2010年12月20日～2011年3月3日	
		20	DL-8828	2011年2月23日～2011年3月3日	
		50	MR6661	2011年2月23日～2011年3月3日	
		104	DL-8828	2010年12月20日～2011年3月3日	
		227	DL-8828	2010年12月20日～2011年3月3日	
123D	I	130	DL-8828	2010年12月20日～2011年2月23日	

2m 高)に1台ずつ計2台を設置した(図1)。空調機に付属するヒートポンプ式室外機は、それぞれ南北のバルコニーに設置した。冷暖房性能を示す成績係数(COP)の公称値は、冷房時に4.2、暖房時に5.3であった。実験中の消費電力は、対象区画の配電盤から空調機に配線された電力線に対して電力計(日置 3168)を接続し、空調機の稼働による電力量のみを測定した。消費電力量は、空調機の稼働条件を変えて、空調機立ち上げ時(空調機が停止し常温状態となった室温が空調機稼働により設定した温度に達するまで)及び定常運転時(空調機を設定温度で稼働中の連続24時間の積算)の消費電力を測定した。これらの稼働条件を表1及び2に示す。

2・3・2 室内温湿度の測定

記録式温湿度計(チノーMR6661)または温度計(カスタムDL-8828)を、図1、表4(夏季実験)及び表5(冬季実験)に示す個所(床面から高さ1m)にそれぞれ設置し、5分～10分間隔で温度を連続測定した。

2・3・3 室内表面温度の測定

ハンディタイプのサーモパイル式赤外線放射温度計(FLUKE IR Thermometer 561またはRaytek MT4)の測定モードを放射率0.95に設定し、対象区画(123号室)内の各部屋の床面、天井面及び壁面の表面温度を、随時測定した。放射温度計は被測定物の表面の放射率が大きく異なる場合、指示値に対する補正が必要となるが、黒体テープ(OPTEX HB-250、放射率0.95)を床面及び壁面に貼付して

十分時間をおき、測定値を比較した結果、両者の差異は0～0.1℃の範囲にあり、使用した放射温度計の精度範囲内で、被測定面に対する補正は不要であった。冬季測定では、対象区画の階上の区画(3階133号室)の床面及び階下の区画(1階113号室)天井面の表面温度についても、同様に放射温度計により追加測定した。また、室内壁面の表面温度及び建物外壁の表面温度分布を知るために、赤外線サーモグラフ(チノーCPA-7000)を用いた。

2・3・4 室内垂直温度分布の測定(冬季)

夏季と冬季に行った室内定点の連続測定に加え、冬季にはさらに温度計を追加し、対象区画内の部屋(II)の中央部付近において、室温の垂直分布を追加測定した。温度計は、図1の部屋IIの中央付近で、天井から床に張ったワイヤーに沿って、床面からの高さが、それぞれ2.3m(天井部)、1m、0.5m、0.2m及び0.02m(床面)の計5カ所に設置した。

2・3・5 空調稼働時の室内熱環境の簡易モデル

空調稼働時において、熱源としての空調機を記述するための詳細なモデルが提案されている⁴⁾⁵⁾。本論文では、詳細なモデルではなく、対象区画全体の、室温に対する応答性(室温を1K上昇させるために必要なエネルギー)、外気温による熱負荷、空調機性能等による簡易なモデルを仮定し、区画の熱応答性の推定を試みた。対象区画の熱応答性推計のために以下の関係を仮定した。

$$Q_r(t) = C_r \cdot T_{in}(t) + \{P_{out} - P_{Ac}\} \cdot t \quad [\text{J}] \quad \text{式(1)}$$

$$P_{out} = a \cdot (T_{out} - T_{in}) \quad [\text{W}] \quad \text{式(2)}$$

$$P_{AC} \cdot t = W_{AC} \cdot COP \quad [\text{J}] \quad \text{式(3)}$$

ここで、

$Q_r[\text{J}]$: 区画の持つ熱量, $c_r[\text{J/K}]$: 区画の熱応答性,

$P_{out}[\text{J/K}]$: 外部からの熱負荷, $T_{out}[\text{K}]$: 外部気温, $T_{in}[\text{K}]$:

室温, $a[\text{W/K}]$: 比例定数, $P_{AC}[\text{W}]$: 空調機による仕事率,

$W_{AC}[\text{J}]$: 空調機の消費電力, COP : 空調機の成績係数,

$t[\text{s}]$: 立ち上げからの時間。

式(1)で区画が持つ熱量 Q_r は室温 T_{in} に比例し、外部の熱負荷 P_{out} と空調機による熱移動 P_{AC} の差分で、熱量の蓄積または流出が起こると仮定した。式(2)で、外部からの熱負荷は、外気温と室温との温度差に比例すると仮定し、比例定数を a とした。式(3)で空調機による熱移動(仕事率と時間の積)は空調機の消費した電力に成績係数 COP を乗じた量に等しいとした。

外気温については、必要に応じて気象庁アメダス福岡観測所(福岡市中央区大濠)の公表データを利用した。

3 結果及び考察

3・1 稼働条件による空調機の消費電力

空調機の立ち上げから設定温度に達するまでの消費電力及び設定温度で定常運転時の24時間の消費電力の測定結果を表6～9に示す。立ち上げ時の測定は、夏季では設定温度25℃及び28℃、冬季では18℃、20℃、23℃に対して、室温が常温からその温度に達するまでの消費電力を積算した。暖房モードの立ち上げ時において、開始時の室温から18℃までは短時間で到達し消費電力も小さいが、さらに温度を上げるためには時間と消費電力が増大している。開始時は、区画内の空気の入れ替えにより急速な温度変更が行われたが、その後は区画自体を加温するために電力が使用されているものと考えられる(図2)。また、空調機の定常時の連続稼働における24時間の消費電力(kWh)と、アメダス福岡局の同日の日平均気温と空調機設定温度の差分の絶対値(℃)の関係を図3に示した。外気温と設定温度との差に比例して消費電力が増大する傾向が見える。

しかし、夏季において、設定温度と外気温の差が小さい場合(<2℃)には、かえって消費電力が増加した。これは、設定温度の付近で外気温による熱負荷が変動した場合に、空調機の稼働モードの変更が頻繁に行われ、そのために消費電力の増加が生じたものと考えられた。

3・2 室内定点における温度

夏季及び冬季における室内気温の連続測定結果を、図3及び図4にそれぞれ示す。123Aが北側和室(Ⅳ)、123Bが南側和室(Ⅱ)の測定点である。測定点123Aは、123Bよりも測定温度が高い傾向を示した。夏季には、特に設定温度が低い場合に、123A測定点で日周期変動が、冬季においては、123A及び123Bの両測定点で日周期変動が見られた。それら

の変動は、夏季には南側和室で約1℃、冬季には北側及び南側の両室で約2℃の幅の日周期変動が見られた。このことは、夏季においては、南側外壁に対する日射による熱負荷の影響が大きいことを示唆し、冬季においては、温度制御のための空調機性能が不足気味になっていることが示唆された。特に夏季においては、南側外壁部分に遮光及び遮熱対策を行うことにより、より高い省エネルギー性能を得ることが期待される。

表6 室温が設定温度に達するまでの消費電力(夏季)

測定日	冷房開始	設定温度	天候※
2010年9月9日	28.1	25	晴一時曇
到達時刻	13:00	14:20	
外気温(℃)	29.1	29.2	
室温(℃)	28.1	25.0	
積算電力(Wh)	0	1234	
図3中の記号		A	

測定日	冷房開始	設定温度	天候※
2010年9月4日	31	28	晴
到達時刻	12:56	13:26	
外気温(℃)	33.2	33.2	
室温(℃)	31.0	27.8	
積算電力(Wh)	0	671	
図3中の記号		B	

※天候は、気象庁アメダス福岡観測所の日毎の天気概況を参照した。

表7 室温が設定温度に達するまでの消費電力(冬季)

測定日	暖房開始	設定温度(℃)	
2011年1月17日	9.6	18	20 23
到達時刻	10:20	11:20	12:30 16:40
外気温(℃)※		4.4	3.8 4.7
室温(℃)	9.6	18.5	20.4 23
積算電力(Wh)	0	2618	6153 17834
天候※		晴	
図4中の記号		A	B C

※外気温の平均値は、気象庁アメダス福岡観測所の10分値から計算し、天候は同じく天気概況を使用した。

表8 設定温度を24時間維持するための消費電力(夏季)

設定温度 ℃	月日	最高 外気温 ℃	積算消費電力 (24h) Wh	平均消費電力 (1h) Wh	天候※ 昼/夜	図3中 の記 号
25	7月26日	33	10261	430	曇後晴/晴 後薄曇	①
	7月27日	34	10034	420	曇一時雨/ 雨時々曇	②
	7月28日	29	9202	380	雨一時曇/ 雨後晴	③
	8月2日	34	9363	390	曇後晴/晴 一時曇	④
	8月19日	33	10742	450	晴/晴	⑤
	8月21日	35	12223	510	晴/晴	⑥
28	8月4日	36	5851	240	晴時々曇一 時雨/晴	⑦
	8月5日	37	6260	260	晴一時雨/ 晴	⑧
	8月26日	33	8502	360	晴/晴後曇	⑨
	8月28日	33	8843	370	薄曇/晴一 時薄曇	⑩

※天候は、気象庁アメダス福岡観測所の日毎の天気概況を参照した。

表 9 設定温度を24時間維持するための消費電力 (冬季)

設定 温度 ℃	月 日	最高 外気温 ℃	積算消費 電力 (24h) Wh	平均消費 電力 (1h) Wh	天候※ 昼/夜	図4中 の記 号
18	1月10日	5.6	16998	710	みぞれ後雨/ 雨後晴	①
20	2月13日	8.4	17558	730	曇一時雨/曇 後一時雨	②
23	1月26日	5.8	24528	1020	晴一時曇/晴	③

※天候は、気象庁アメダス福岡観測所の日毎の天気概況を参照した。

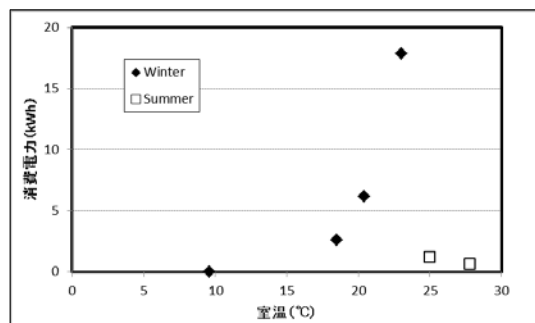
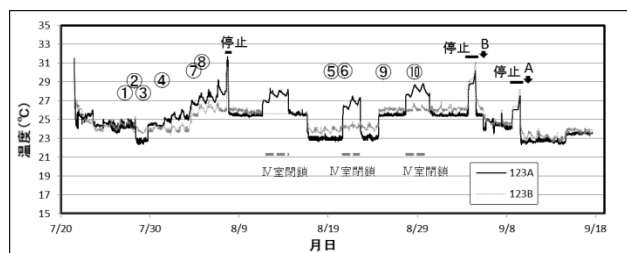


図 2 空調機起動から室温が設定温度に達するまでの消費電力の積算



※一時的にIV室の換を全閉鎖したため、同室の室温のみが上昇している。

図 3 夏季測定における室内温度

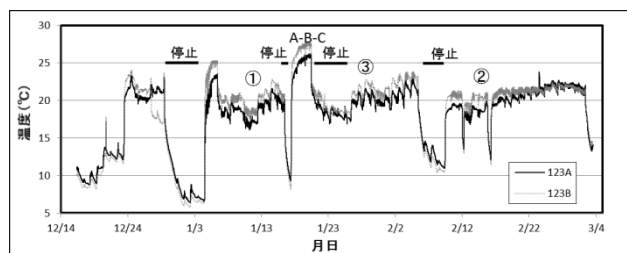


図 4 冬季測定における室内温度

3・3 室内表面温度

室内の壁面の表面温度をサーモパイル式赤外線放射温度計で測定した。夏季及び冬季の空調機稼働前に測定した床面の温度分布を図5に示す。空調機は、図1に示したとおり、北側Ⅲ室、南側Ⅱ室の西側壁面にそれぞれ設置された。夏季は床面で27点測定し、平均温度は32.8℃(最低31.8℃、最高34.6℃)であり、冬季は床面で239点測定し、平均温

度は10.6℃(最低8.9℃、最高12.2℃)であった。また、天井面の温度を、夏季は14点測定し、平均温度は32.1℃(最低30.4℃、最高32.8℃)、冬季は86点測定し、平均温度は11.3℃(最低8.7℃、最高13.℃)であった。空調が稼働していない状態では、室内表面温度の分布は大きな偏りはないかったが、夏季には南側(Ⅰ室)で温度がいくらか高く、冬季には北側及び南側の窓付近で温度が低い傾向を示し、外気温または日射の影響を示唆した。

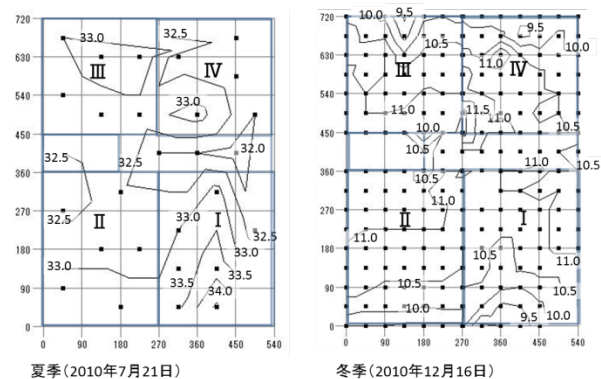


図 5 空調非稼働時の床温度分布

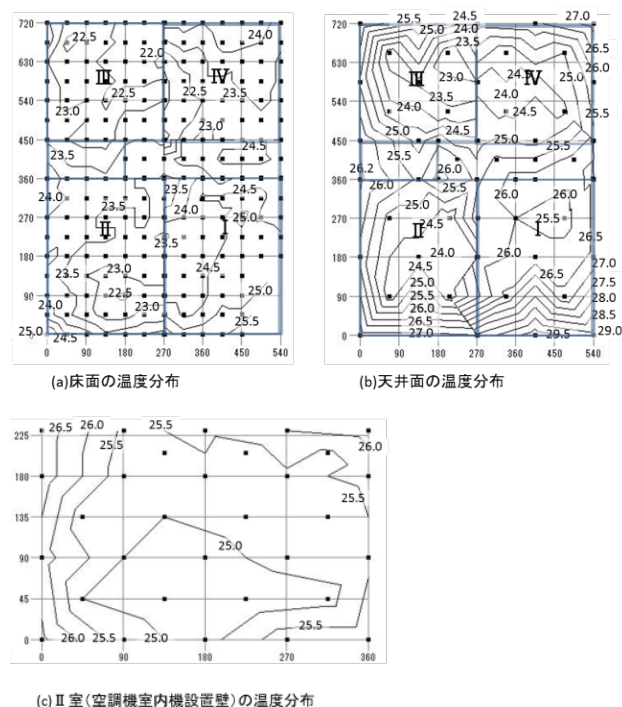
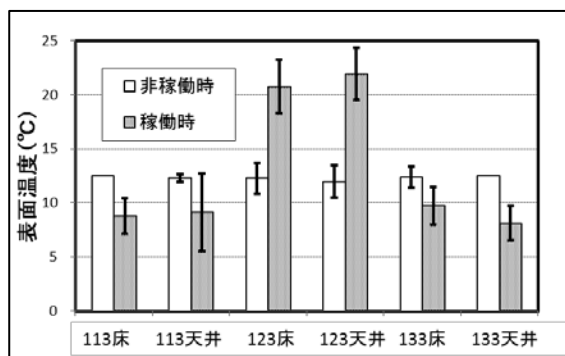


図 6 夏季の空調機連続稼働中の床面、天井面及び壁面温度 (2010年8月18日)

次に空調稼働時の床面と天井面の温度分布の測定結果をいくつか示す。図6は夏季に空調機を設定温度28℃で連続稼働時に測定した温度分布の一部である。床面は空調機の送風によりほぼ均一に冷却されている。天井面は、床面と比べて温度差が大きい傾向があった。各部屋の境界の換

は開放されているものの、和室であるため、鴨居の上に仕切りがあり、特に冷房モードにおける送風がそこで妨害されるため、均一には冷却されず、空調機を設置した部屋とその他の部屋の天井面において、外部からの熱負荷の影響が床面よりも強く表れたものと考えられた。一方、冬季の暖房モードでは、床面の温度の偏りが大きく天井面がより均一に加温された。壁面の温度分布についても、特に空調機を設置した部屋の壁では、中央部付近では、上部から下部にかけて0.5℃程度の温度差に納まり大きな偏りはなかったが、天井面と同様に建物の外壁に接する室内壁からの熱負荷の影響が強く見られた。このことは、サーモグラフによる観察でも確認された。



図中の温度は各測定点における平均温度を示した。誤差棒は標準偏差を示した。

図7 冬季における対象区画の上下の区画の温度測定

さらに、冬季の実験では対象区画（123号室）の床面、天井面の表面温度測定時に、階下の区画（113号室）の天井面の温度及び階上の区画（133号室）の床面の温度を測定した。それらの区画の間取りは、対象区画と同一である。空調機の1台が設置されている南側和室（Ⅱ室）の中央部の温度と、それに対応する階上と階下の温度の測定結果を図7に示す。空調機を稼働させる前の測定では、階下の天井面、対象区画の床面及び天井面、階上の床面の表面温度は、ほぼ同一であることを確認した。空調機を暖房モードで稼働させると、対象区画の床面と天井面の間に温度差が発生した。この部屋では、123号室の温度は、階下（113号室）の天井面温度にはほとんど影響しなかったが、階上（133号室）に床面温度をわずかに上昇させ、階上への熱の流出があることがわかった。これは、各階の境界は、下からPC板の天井パネル、空隙、床板（畳または木製パネル）の層になっており、空気層を含むため対流による上下方向の熱媒質の移動のために、より上部方向への熱移動が顕著であったと考えられる。

3・4 室内垂直温度分布（冬季）

冬季測定において、対象区画の南側和室の中央部で測定した室内気温の垂直分布の結果を図8に示す。さらに空調機連続稼働時と停止時について温度分布を比較した（図9）。

連続稼働中の温度分布は、床面が最も低温であり、上方に向けて高温になる温度勾配があった。ただし、その勾配は高さ1mの付近から上方に向けてなだらかになる特徴が見られた。これは空調機からの送風により室内の空気が攪拌されるため、上下方向の温度差がある程度均一化されたと考えられた。

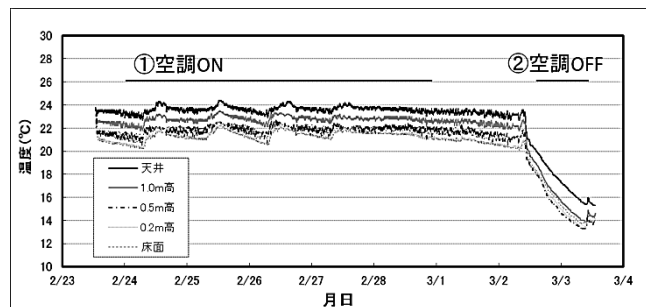


図8 冬季測定における室内温度の垂直分布

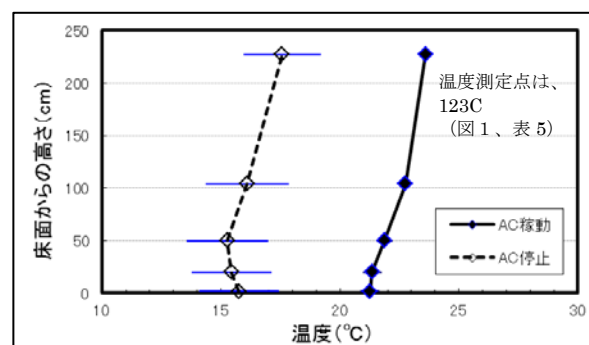
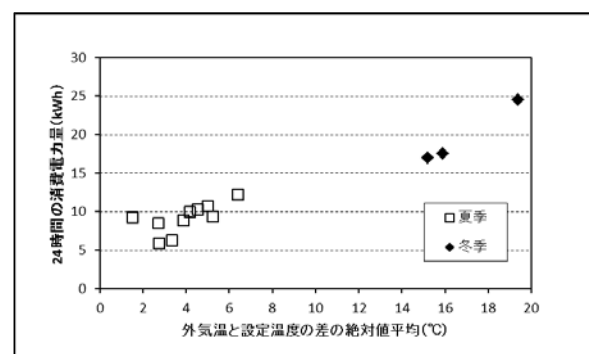


図9 冬季測定における空調機稼働時と停止時の垂直温度分布



外気温として、アメダス福岡観測所の気温を使用し、1時間ごとの設定温度との差の絶対値を平均し横軸とした。

図10 24時間連続稼働時の空調機消費電力と外気温

一方、空調機を停止すると、天井付近が最高温度であることは同じであったが、最低温度は床面ではなく、床面から0.5m付近の高さで見られた。空調機を停止すると、比熱の小さい室内空気は温度差による密度差により、上下方向の温度分布を作り出すが、床面付近では比熱の大きな床部の部材（畳または木製パネル）から放出される熱により、加温されているものと考えられた。冬季においては、この

ように常に下部から上部への熱の移動が続いていると考えられる。

3・5 空調機稼働時における室内外の熱収支

対象区画（123号室）全体の室温に対する熱応答性を考え、室温を1℃上昇させるために必要な熱エネルギーがある条件で一定であると仮定し、夏季及び冬季の立ち上げ時の消費電力の測定結果から、対象区画の熱応答性及び外部からの熱負荷を推計した。夏季の冷房時について、表6の測定結果に式(1)～(3)を適用して連立方程式を解き、 $C_r=7.01 \times 10^5$ [J/K]、 $a=8.4 \times 10^2$ [W/K]を得る。外気温が $T_{out}=28.1^\circ\text{C}$ で室内温度 T_{in} が 25°C の時及び $T_{out}=31^\circ\text{C}$ で室内温度 $T_{in}=28^\circ\text{C}$ の時、外部からの熱負荷は、2500～2600 [W]と推計された。2600 [W]の熱負荷の時、室温を維持するために必要な空調機の消費電力は、 $2600\text{ [W]} / 4.2 = 620\text{ [W]}$ と推定される。室温をさらに下げるためには、これを上回る空調機の熱移動性能が必要である。単純化のため、外部からの熱負荷は外部気温と室温の差分に比例すると仮定した。室内温度を維持するように空調機を連続稼働した時の消費電力と外部からの熱負荷の関係（図10）は、ある条件でこの仮定が近似的に成立することを示すと考えられた。同様に表7から、冬季の暖房時の区画の熱応答性を計算した。暖房モードの起動時においては、急速に室内空気の加温が起こると考えられるため（図2）、起動初期は別過程として除き、 18°C から 20°C 及び 20°C から 23°C に移行する時の消費電力から、式(1)～(3)により暖房モードにおける区画の熱応答性を推定し、 $C_r=8.9 \times 10^6$ [J/K]、 $a=7.2 \times 10^2$ [W/K]を得た。これらの数値から、この区画で冷暖房を行う時の効果が推計できると期待される。

ここで、対象区画の体積（約 90m^3 ）の空気に対する熱容量を計算すると、およそ 1×10^6 [J/K]であり、これは夏季に推計される区画の熱応答性にほぼ等しい。一方、冬季に得られた値は大きな差がある。また、常温からの起動し設定温度に達するまでの時間が、夏季と比較して冬季では非常に長く（表7）、冬季における外気温と空調機の設定温度の温度差が、夏季におけるよりも大きいためと考えられるが、このよう条件下では、区画の各部材の物性を取りこんだ、より詳細なモデルによる解析が必要と考えられた。

4 まとめ

住民がいない集合住宅の1区画を実験場として、家庭用空調機を稼働させて、室内温度及び消費電力を測定した。

室内定点における室温の連続測定の結果（図3、図4）は、空調機の稼働中でも外部熱負荷の高い南側の部屋では、日周期の変動が見られ、この実験環境で外気温の影響が大きいたことが示唆され、また、外壁になんらかの日射対策を行うことにより、特に夏季には省エネルギー効果を向上させることが示された。

一定温度を維持して24時間連続稼働した場合の消費電力と外気温の間には、冬季にはよい相関が見られたが、夏季は、設定温度と外気温の平均の差が冬季ほど小さくなく、特にその差が 2°C より小さい場合には、かえって消費電力は大きくなり、外気温との相関が悪くなる現象が見られた。これは、設定温度付近で、空調機の動作モードの切り替えが頻繁に生じたためと考えられた。

また、停止状態から空調機を起動して、室温が設定温度に達するまでの消費電力の測定結果から、対象区画（123号室）を全体として1つの熱的物体とみなして熱応答性を仮定し、その推計を行い、夏季の冷房モードで、区画の熱応答性として $C_r=7.01 \times 10^5$ [J/K]、同様に冬季の暖房モードで $C_r=8.9 \times 10^6$ [J/K]を得たが、冬季においては、より詳細なモデルによる解析が必要と考えられた。

さらに赤外線放射温度計により、室内の表面温度分布を測定した結果、通常型の空調機では、内壁面の表面に対して、かなり均一に空調効果を及ぼすものの、冷房モードでは床面に対して、暖房モードでは天井面に対して空調効果が大きく、また、外壁に面した内壁部分から熱の流入が大きいことが確認された。冬季の暖房モードでは、階上の区画の床面を $1\sim 2^\circ\text{C}$ 程度上昇させる影響がみられたが、階下の天井にはほとんど影響がなかった。

冬季における室内の垂直方向の温度分布は、空調稼働時には床面から約1mより低い領域で温度の低下する勾配が大きくなることがわかった。空調機による送風のため、上方の空気がよく攪拌されているためと考えられた。空調停止時には、より下方まで温度勾配が伸びるが、床面付近では床の部材の蓄熱のため温度が高くなる現象が見られた。

今回得られた空調時の温度分布及び簡易モデルによる熱応答性の推計値により、同様の住宅の熱収支を把握し冷暖房効率を簡易に推計することができると期待される。しかし、推計の基準となる室温の測定点をどこに取るかに任意性が大きく、また、温度の測定精度についてもさらなる検討が必要と考えられる。

文献

- 1) 平成21年全国消費実態調査（総務省統計局）
（<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?bid=00001027351&cyclo=0>），2015.7.1.
- 2) 九州工業大学・福岡県：次世代型輻射式冷暖房システムに関する共同研究報告—冷房時編—，2010年11月.
- 3) 九州工業大学・福岡県：次世代型輻射式冷暖房システムに関する共同研究報告—暖房時編—，2011年3月.
- 4) 上野剛ら：電力中央研究所報告 研究報告R09017，平成22年5月.
- 5) 上野剛ら：電力中央研究所報告 研究報告R10009，平成23年6月.

(英文要旨)

Summer and Winter Air Temperature Measurements in an Air-conditioned Room within a Housing Complex

Shunji NIIYA, Toshihiko SAKURAI and Yasunori MITANI*

Fukuoka Institute of Health and Environmental Sciences,

Mukaizano 39, Dazaifu, Fukuoka 818-0135, Japan

**Department of Electrical Engineering and Electronics, Faculty of Engineering, Kyushu Institute of Technology,*

1-1 Sensui-cho, Tobata-ku, Kitakyushu, Fukuoka 804-8550, Japan

In the absence of residents, thought to cause thermal disturbances through their activities, we evaluated the performance of the air conditioning devices in one room of a housing complex. In summer (July to September 2010), these devices operate in cooling mode, while in winter (December 2010 to March 2011) they heat. We measured room temperature of the target room to determine the surface temperature distribution of its walls and floor in each season. Measurements were carried out at the start-up of the indoor air conditioner, as well as during steady-state operation. Based on room temperature and power usage, we estimated the heat capacity of the room using a simple model. We also established its heat balance relationship with the outside air temperature, as well as with adjacent indoor environments.

[Key words ; housing complex, indoor environment, air conditioner, energy conservation, COP]