〈一般研究課題〉　室間ファンを用いた住宅用換気空調システムの
制御方法に関する研究
助 成 研 究 者　名古屋大学　齋藤　輝幸

室間ファンを用いた住宅用換気空調システムの制御方法に関する研究

齋藤　輝幸
(名古屋大学)

A Study on the Control of the Ventilation and Air-Conditioning System for Residence Using Inter-Room Fan

Teruyuki Saito
(Nagoya University)

Abstract:

The purpose of this study is to investigate the appropriate control of the ventilation and air-conditioning system for residence using the inter-room ventilation fan. Cooling and dehumidification effect in summer and also heating and humidification effect in winter are observed in the room where is not using the air conditioning, although the effect to decrease of the air conditioning load is small. Increasing the ventilation rate of the inter-room fan shows the effect for the improvement of thermal environment and the decrease of air conditioning load.

1. はじめに

1980年に住宅の省エネルギー基準が定められて以降、新築される住宅の断熱・気密性能は以前と比べて大きく向上した。さらに近年では地球温暖化防止を目標に、次世代省エネルギー基準の普及促進が図られ、「快適性」「省エネルギー性」「健康性」といった要求を満たす質の高い住宅がつくられるようになっている。しかしながら、空調室と非空調室、あるいは南側と北側の居室のように、住宅内には空間的な温度差が存在することが既往の研究によって示されており、その温度差は人体に熱ストレスを与え、室間の移動に伴うヒートショックや快適性低下の原因となっている。

一方、住宅の空気質に関しては、2003年7月にシックハウス対策の一環として建築基準法が改正され、新築の建築物や改修を実施した建築物の居室には、一定の開口部がある場合などを除き、

シックハウス対策として換気回数0.5回/h以上の常時機械換気設備を原則的に設置することが義務付けられた。しかし、換気量が多い居室と少ない居室が混在していても法的な基準は満足される状況であり、より良好な室内空気質環境を確保するためには、各居室間での換気量のばらつきを抑制し、0.5回/h以上の換気回数を確保することが望ましいといえる。

そこで本研究では、室間に設置した小型換気ファン(以下、室間ファン)により換気経路を制御する住宅用換気空調システムについて、その適切な制御方法を検討することを目的としている。この目的を果たすため、本システムが導入された住宅の室内温熱環境やシステムの挙動についてシミュレーションモデルを作成し、コンピュータシミュレーションによる評価を行うこととする。具体的には、本研究に先立って実測調査が行なわれた際のシステムを基本条件とし、これに対して換気ルートの決定に用いる室間比エンタルピ差の値や、室間ファンによる搬送風量を変化させることで多様な条件を比較し、本システムの導入効果の向上を目指す。

2. シミュレーションツールについて

本研究におけるシミュレーションでは、主として熱換気回路網計算プログラムを用い、熱回路網、換気回路網、ガス(水蒸気)回路網の3つのサブモデルを連成させて計算を行う。熱回路網と換気回路網は相互に影響を与え、また各ゾーンの絶対湿度は壁体の透湿だけではなく、ゾーン間の空気流動や換気によっても大きく影響を受ける。さらに熱回路網と水蒸気回路網の間にも相互影響が存在するため、こうした相互の影響も考慮することとする。

また、室内における流入空気の拡散状況についてはCFD(数値流体力学)による計算結果を踏まえて検討を行うこととする。

3. 対象建物

シミュレーションにあたっては、まず室間ファン換気空調システムを導入して実測調査を行った実在のモデル住宅について、計算のためのモデル化を行った。

対象住宅の平面図を図3-1に示す。対象住宅はLDKを中心としたプランであり、LDK・洋室・和室・脱衣室・浴室・トイレの合計6室が存在する。各居室の床面積および室容積はそれぞれ洋室11.1m^2(26.6m^3)、LDK33.6m^2(80.6m^3)、和室10.8m^2(25.9m^3)である。

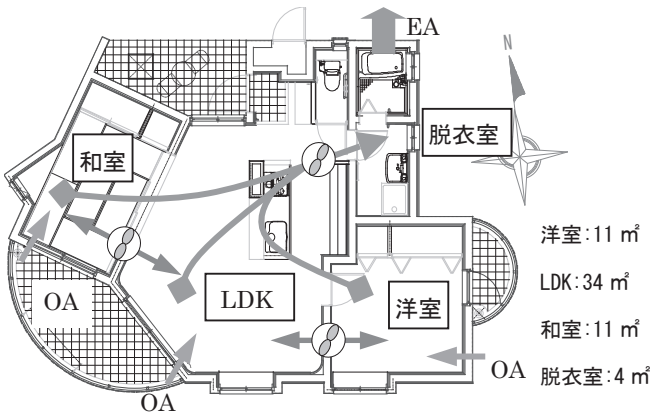


図3-1　対象住宅平面図

設定した外壁・内壁・床・屋根等の断熱・気密仕様等を表3-1に示す。気密性能については、次世代省エネ基準に従い相当隙間面積が2cm^2/m^{2}であると仮定し、住宅全体の隙間面積を求めた。また、窓や玄関ドアの気密性能はJIS・A-4等級[1]相当であるとし、住宅内のドア・襖の気密性能は文献[2]の値を用いた。外壁の日射吸収率は0.4、放射

率は0.88とした。室間のドア・ふすまは常時閉鎖されているものとして計算を行った。

なお、気象条件については名古屋に立地するものとし、アメダスの標準気象データ[3]を用いた。また計算時間短縮のため、夏期は8・9月、冬期は2・3月について検討を行った。

表3-1　対象建物仕様

		使用条件
断熱仕様	外壁	硬質ウレタンフォーム30mm
	床	床暖房パネル(スチレン発泡板)12mm
	天井	硬質ウレタンフォーム100mm
窓ガラス物性値	透過率	0.40
	熱貫流率[W/㎡K]	2.51
開口部気密性能	窓	A-4等級
	ドア	A-4等級
室内建具気密性能	ドア	隙間面積A=130c㎡
	ふすま	隙間面積A=200c㎡
日射吸収率		0.4
放射率		0.88
熱損失係数[W/㎡K]		2.1
隙間相当面積[c㎡/㎡]		2.0

4. スケジュール設定等

対象住宅には夫婦と子供1人の合計3人の家族が生活しているものとし、生活スケジュール作成プログラムSCHEDULE[4]を用いて、在室パターンや生活行為に伴う室内発熱パターンを設定した。空調室はLDKと和室の2室とし、その他の洋室や脱衣室などは非空調室とした。空調設定条件は夏期26℃・60％RH、冬期22℃として、メーカーのカタログより空調機能力の上限を設定した。冷房時に顕熱負荷が発生していない場合は除湿を行わず、また、中間期に関しては空調を行わないこととした。

5. 検討ケース

まずは室間ファンが停止しており各居室から脱衣室へ直接排気するケースと、室間ファンが稼動して空気搬送が行われるケースについて夏期および冬期における計算を行い、比較検討した。次に比エンタルピ制御値や送風量といった室間ファンの制御条件を変更したケースについて、夏期および冬期における検討を行った。これらについて、温熱環境や冷暖房用エネルギー消費量の比較を行うことで、室間ファン換気空調システムの導入効果を評価した。

6. 検討結果

6.1. 基本条件における室間ファン換気空調システム導入効果の検討

ここでは、まず基本条件として室間ファンの稼動を決定する比エンタルピ差の制御値を2kJ/kgとし、室間ファン停止条件と比較することでシステム導入効果を明らかにする。

a. 室間ファンによる搬送熱量

各期間における室間ファンの空気搬送に伴う搬送熱量を図6-1に示す。夏期は、6～10MJ/日の搬送熱量の中で潜熱が8割程度を占めており、冷房によって除湿された空気が搬送されやすいといえる。夜間になると外気温が低下し空調室と非空調室の温度差は2℃程度になる。日中でも温度差は4℃程度であり、夏期は空調室と非空調室の温度差が増大しにくい傾向にあることが顕熱搬送量の小さい要因であると推察される。9月は外気温が高いものの湿度の低い日があり、8月よりも搬送熱量が低下している。

一方、外気温が低下し、室間の温度差が増大しやすい冬期においては、搬送熱量は顕熱の占める割合が大きくなっている。空調室が22℃であるのに対して非空調室は15℃程度となり、約7℃の温度差があるためである。冬期は湿度をなりゆきとし制御を行っていないことから、潜熱の搬

送は生活に伴う水蒸気発生が多いLDKから行われる。冬期の端境期である3月になると外気温がやや高くなるため顕熱の搬送量が減少している。全熱搬送量は最寒期の2月が平均で約8MJ/日、端境期の3月は約7MJ/日である。

室間ファンの搬送熱量は季節によって顕熱・潜熱の占める割合が大きく変動することが分かった。冬期にも多くの潜熱を搬送しているが、空調を行っていない室温の低い部屋へ高湿度の空気を搬送することは、結露のリスクを高めることにもつながるため、適切な室間ファンの制御を検討する必要があるといえる。

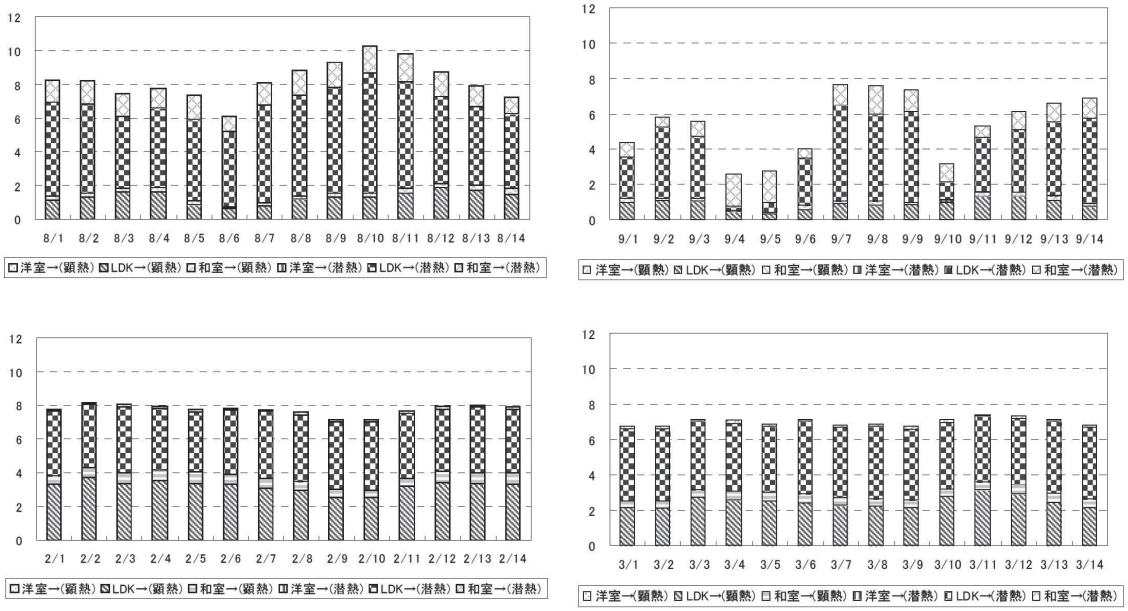


図6-1　室間ファンによる搬送熱量（上：8・9月、下：2・3月）

b. 室間ファンによる冷却/加熱および除湿/加湿効果

室間ファンを停止したケースと、室間ファンを稼動させたケースの居室温湿度の差が、室間ファンによって空気搬送を行うことによる冷却/加熱および除湿/加湿効果である。各期間の冷却/加熱および除湿/加湿効果について、空調停止時間内で求めた日平均値を図6-2および図6-3に示す。

夏期は比エンタルピが低い居室から空気が搬送されるため、室間ファンが停止しているケースよりも温湿度が低下する。しかし、LDKと和室はともに空調室であるため両室間の温度差は小さく、冷却効果はほとんどみられない。洋室では若干の温度低下が確認されるが、平均で約0.15℃、最大でも0.25℃とその効果は小さい。一方、湿度に関しては、冷房によって除湿された空気が搬送されるため、全体的に湿度が低下している。最も効果がみられるのは非空調室の洋室であり、平均約2.1g/kg、最大4.1g/kgの除湿効果が得られた。脱衣室は室間ファンが稼動していると、比エンタルピの高い居室からの排気量が増加するため、温湿度が上昇する傾向にある。

冬期は室間の温度差が大きいため、空調室から搬送される空気による加熱効果が夏期の冷却効果に比べると大きく、洋室では平均0.33℃、最大で0.44℃上昇している。空調室であるLDKや和室における温度上昇は小さいものの、夏期に比べると空気搬送による効果が若干みられる。また、湿度も上昇しており、こちらは和室においても洋室と同程度の加湿効果がみられる。ほとん

どがLDKを起点とした換気ルートであるため、LDKの温湿度は室間ファン停止時と大差がない。脱衣室は夏期と同様の理由により、室間ファンを停止して各居室から排気するケースと比較すると温湿度が低下している。特に温度については平均で約0.6℃低下しており、脱衣室にける温熱環境は室間ファン停止時の方が良好であるといえる。

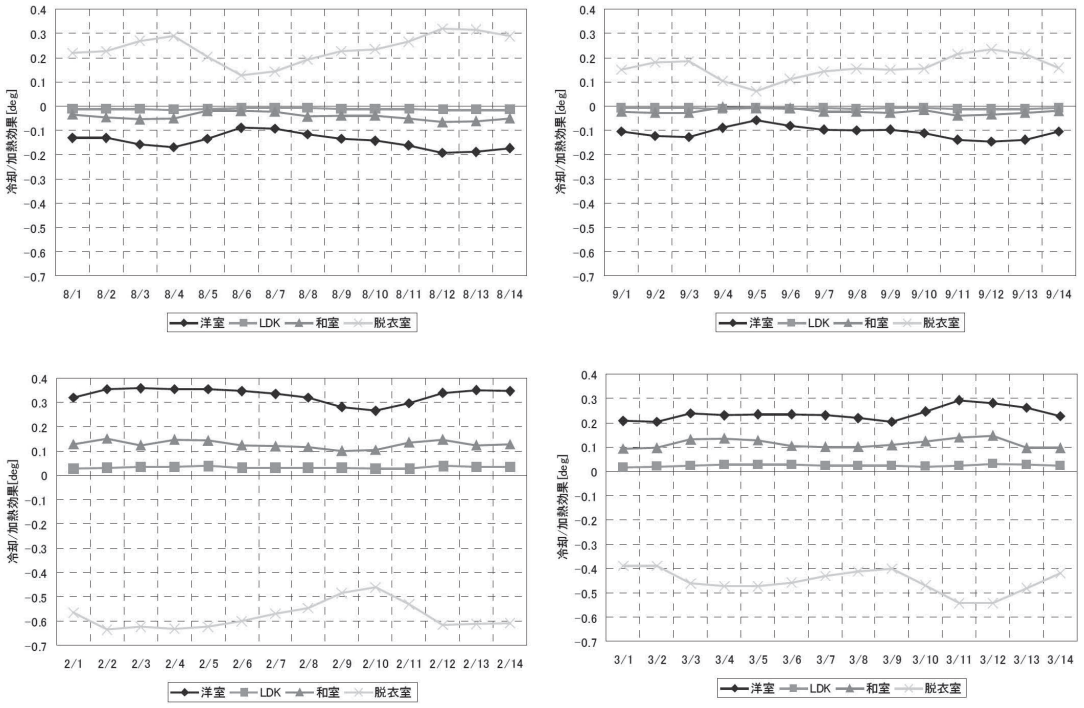


図6-2　室間ファンによる冷却/加熱効果（上：8・9月、下：2・3月）

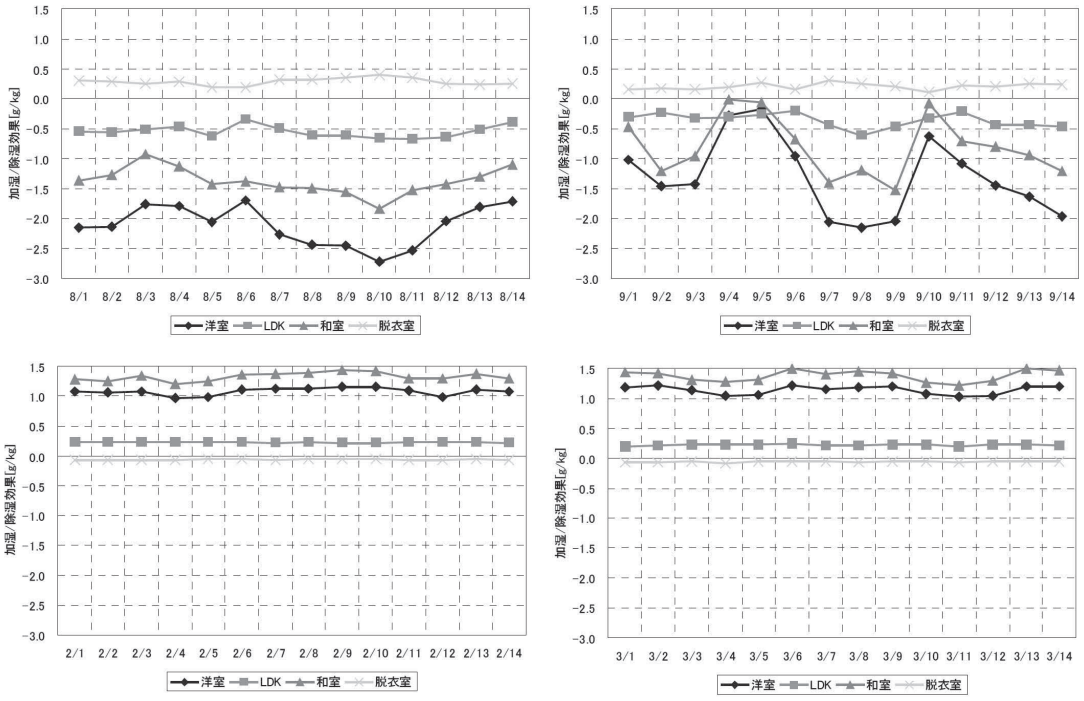


図6-3　室間ファンによる除湿/加湿効果（上：8・9月、下：2・3月）

c. 省エネルギー性に関する検討

次に室間ファン搬送動力の増加量や冷暖房エネルギーの削減量を合わせて、全体として室間ファン換気空調システムの導入が空調用エネルギー消費量にどの程度の影響を与えるのか試算を行った。

冷暖房はルームエアコンによって行われるものとし、定格のCOP(冷房時:3.36、暖房時:4.53)を外気温と室温を元に補正した。このルームエアコンのCOPで冷暖房負荷を除すことによって冷暖房エネルギー消費量を求め、室間ファン停止ケースと稼動ケースを比較してエネルギー削減量を求めた。また、ファン動力についても、室間ファンと排気ファンを合わせた換気システム全体のエネルギー消費量を室間ファン停止ケースと稼動ケースで比較し、ファン動力の増加量を求めた。冷暖房エネルギー削減量とファン動力増加量の算出結果を図6-4に示す。なお、エネルギー消費量については1次エネルギー換算を行っていない。

8月・9月の夏期については室間ファンを導入することによるファン動力の増加量と、温熱環境改善に伴う冷房エネルギーの削減量は近い値を示しており、室間ファン換気空調システムの導入によって、エネルギー消費量はあまり変化しないといえる。一方、冬期はファン動力の増加量が暖房エネルギーの削減量を上回っており、総合的にはやや増エネの方向にある。空調機器の性能やファンの能力等によって結果は変動するが、冬期は搬送した熱量の顕熱分のみが暖房負荷に影響するため、相対的に暖房エネルギーの削減量が小さくなることに加え、排気ファンの動力が大きくなる換気ルート(LDK→洋室・和室)が形成されやすいためであると推察される。

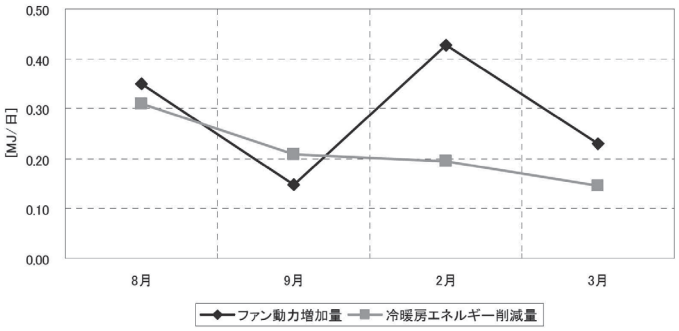


図6-4　室間ファン導入によるエネルギー消費量の変化

6.2. 室間ファン制御用設定値の変更に関する検討

ここでは、室間ファンの発停を決定する室間比エンタルピ差について、その設定値を変更した場合の室内温熱環境等への影響について検討を行う。基準の2kJ/kgDAに対して、設定値を3kJ/kgDAおよび4kJ/kgDAに変更する。

a. 室間ファンによる搬送熱量

夏期および冬期における制御用設定値を変更した場合の室間ファンによる搬送熱量の期間平均値を図6-5に示す。室間ファンの発停を決定する室間比エンタルピ差を大きくすると、夏期は室間ファン停止時間が増加するため搬送熱量が減少している。設定値を4kJ/kgDAとすることで、搬送熱量は基準と比較して8月が約2.6％減、9月が約8.1％減となり、特に9月における搬送熱量の減少が顕著である。

冬期は複数の室間で搬送を行う換気ルートが減少したため、やはり搬送熱量が減少している。設定値を3kJ/kgDAとすることで2月の搬送熱量が約4.2％とやや大きく減少しているのはそのた

めである。また、設定値を4kJ/kgDAとすることで、2月は搬送熱量が約5.5％減、3月は約4.1％減となっている。

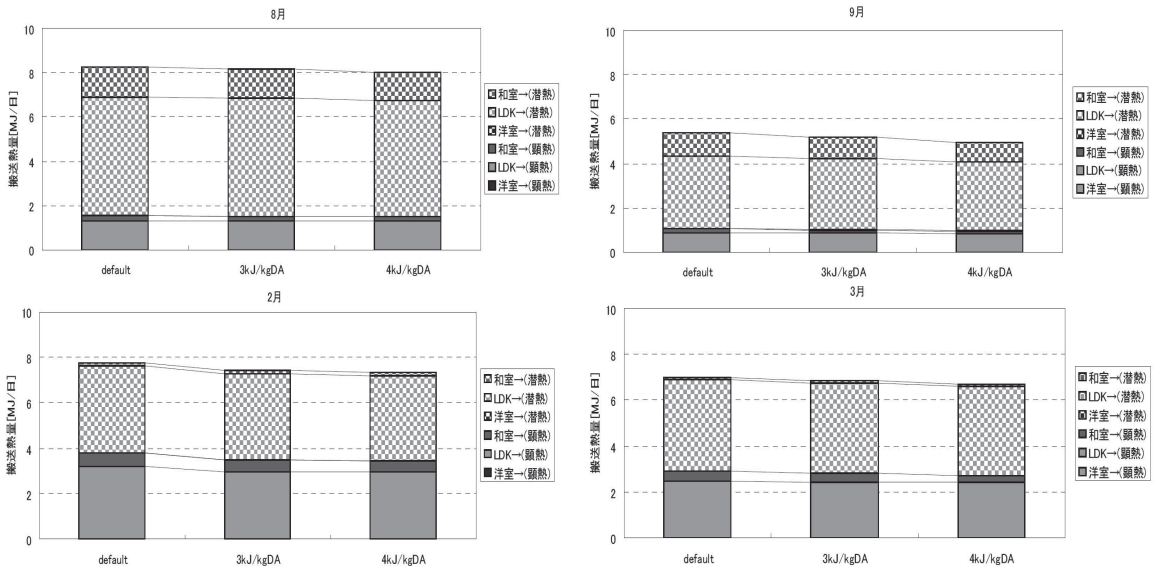


図6-5　制御用設定値変更時の室間ファン搬送熱量（上：8・9月、下：2・3月）

b. 室間ファンによる冷却/加熱および除湿/加湿効果

制御用設定値を変更した場合の冷却/加熱および除湿/加湿効果を図6-6および図6-7に示す。室間ファン停止条件に比較して温湿度がどれだけ変化したかを表しており、空調停止時間を対象に、期間平均を1点として、日平均の最大・最小をひげで図中に示す。

どの期間においても設定値変更による変化はごく僅かであり、居室においては実質的にほとんど変わらないといえる。冬期の脱衣室においては、設定値を大きくすることで若干室温が上昇する傾向がみられる。

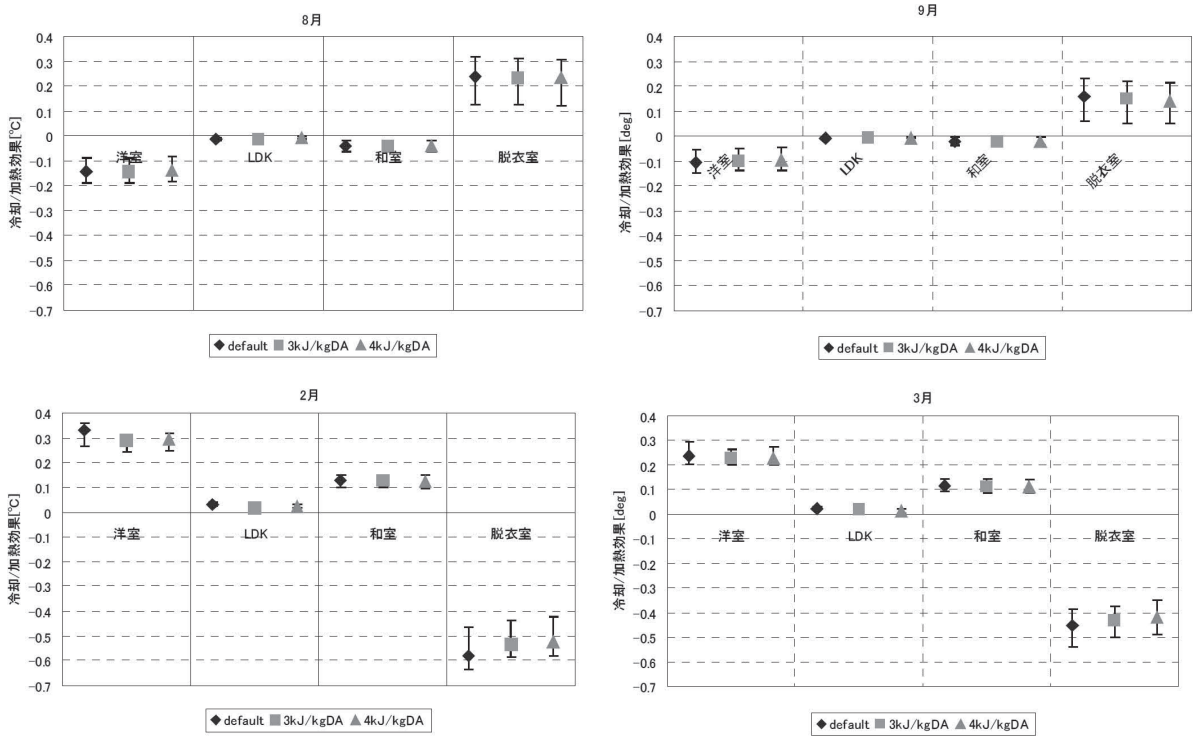


図6-6　制御用設定値変更時の室間ファンによる冷却/加熱効果（上：8・9月、下：2・3月）

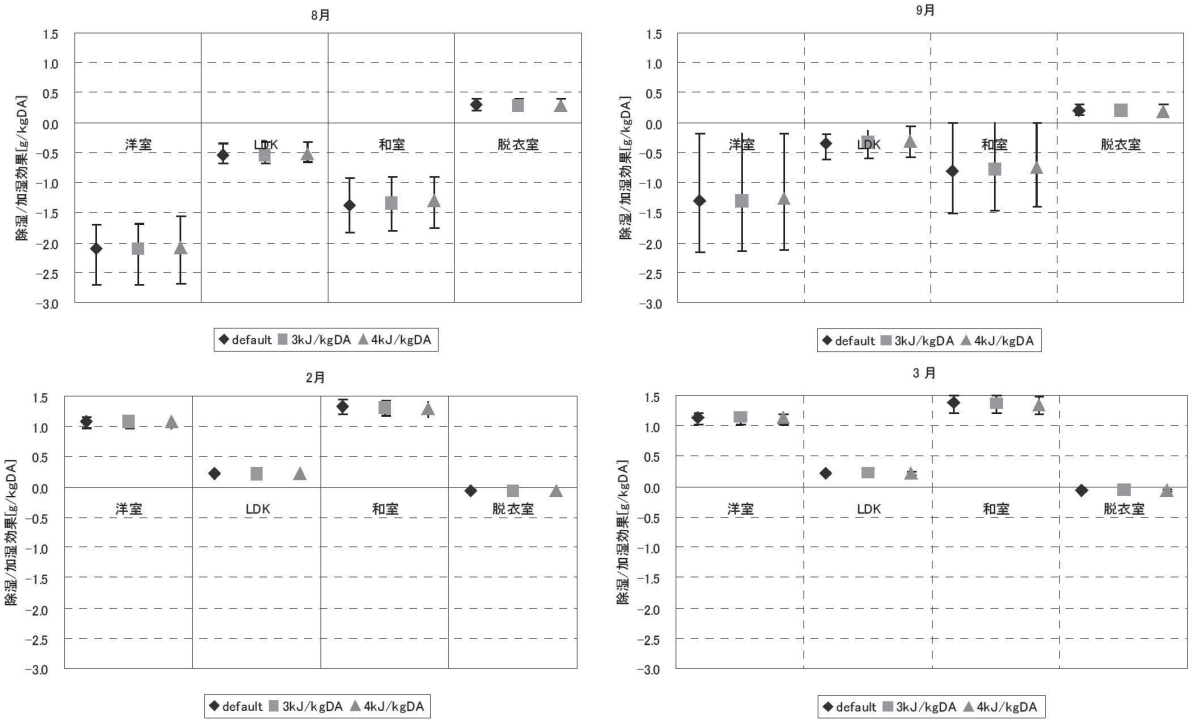


図6-7　制御用設定値変更時の室間ファンによる除湿/加湿効果（上：8・9月、下：2・3月）

c. 省エネルギー性に関する検討

基準よりも制御用設定値を大きくすると、室間ファンの換気ルートが変化するとともに搬送熱量が減少するため、冷暖房負荷の削減率も低下することになる。しかし、その削減率低下の程度は概ね小さく、設定値を4kJ/kgDAとすることによって搬送熱量が約8％減少した9月においても冷房負荷の削減率は1.63％と、基準条件の1.85％とほぼ同程度であった。

6.3. 室間ファン送風量の変更に関する検討

室間ファンの搬送熱量は室間の比エンタルピ差と風量によって決まる。そのため、より多くの熱量を搬送するには送風量を増加させればよいことになる。しかし、室間ファンの送風量を過大にすると、既定の換気量以上の外気が住宅内に流入することになり、空調負荷の増大につながる。そのため、取入外気量を増大させない範囲で室間ファンの送風量を変更した場合について比較を行う。具体的には、換気ルートに応じてLDKからの室間ファン送風量を基準の20CMHから40CMHまたは60CMHに増加させることとする。

a. 室間ファンによる搬送熱量

送風量増加時の室間ファン搬送熱量を図6-8に示す。LDKからの送風量増加に伴い、搬送熱量も増加しており、8月および9月の夏期はそれが顕著である。夏期においては、基準条件よりも8月で約12.5％増、9月で約13.2％増となっている。また、冬期においては、2月で約8.9％増、3月で約3.6％増となっている。このように、送風量の増加によって搬送熱量を増加させることができることを確認した。

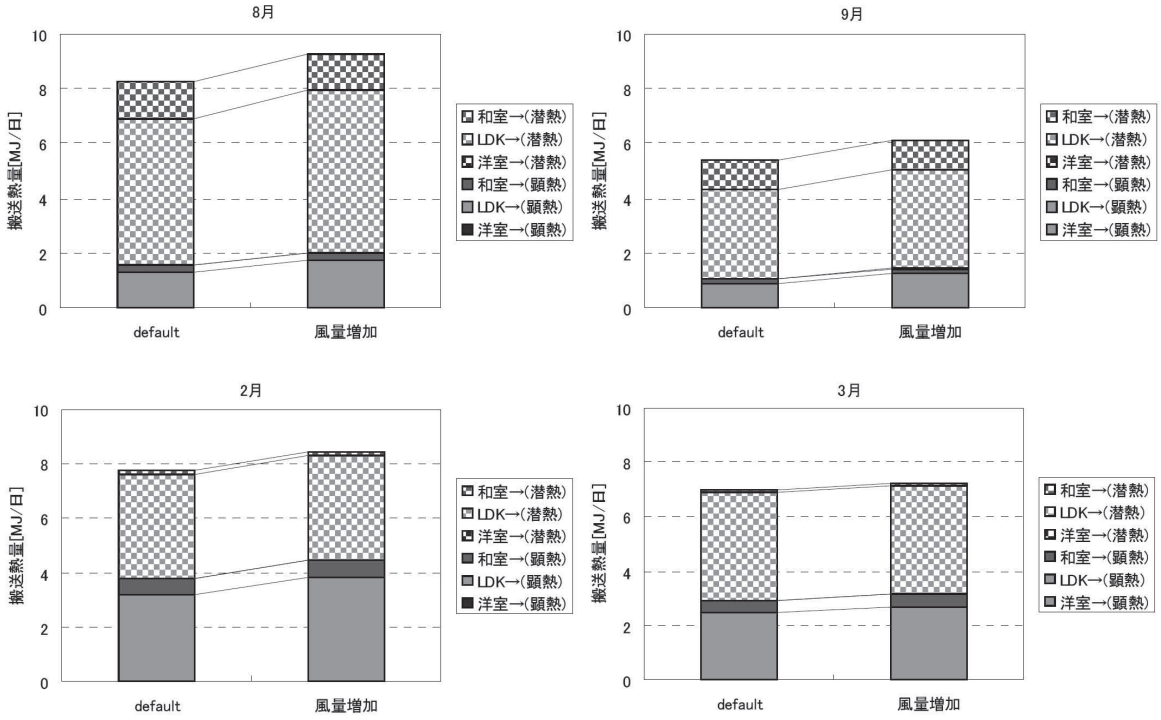


図6-8　送風量増加時の室間ファン搬送熱量（上：8・9月、下：2・3月）

b. 室間ファンによる冷却/加熱および除湿/加湿効果

送風量増加時の冷却/加熱および除湿/加湿効果を図6-9および図6-10に示す。これまでと同様に、室間ファンを停止し脱衣室へ直接排気する条件との温湿度差を空調停止時間内で平均している。

LDKから洋室および和室への送風量を増加させてはいるが、LDKから和室へ搬送されるケースは非常に少ないため、実質的に送風量が増加しているのは洋室のみといえる。送風量の増加に

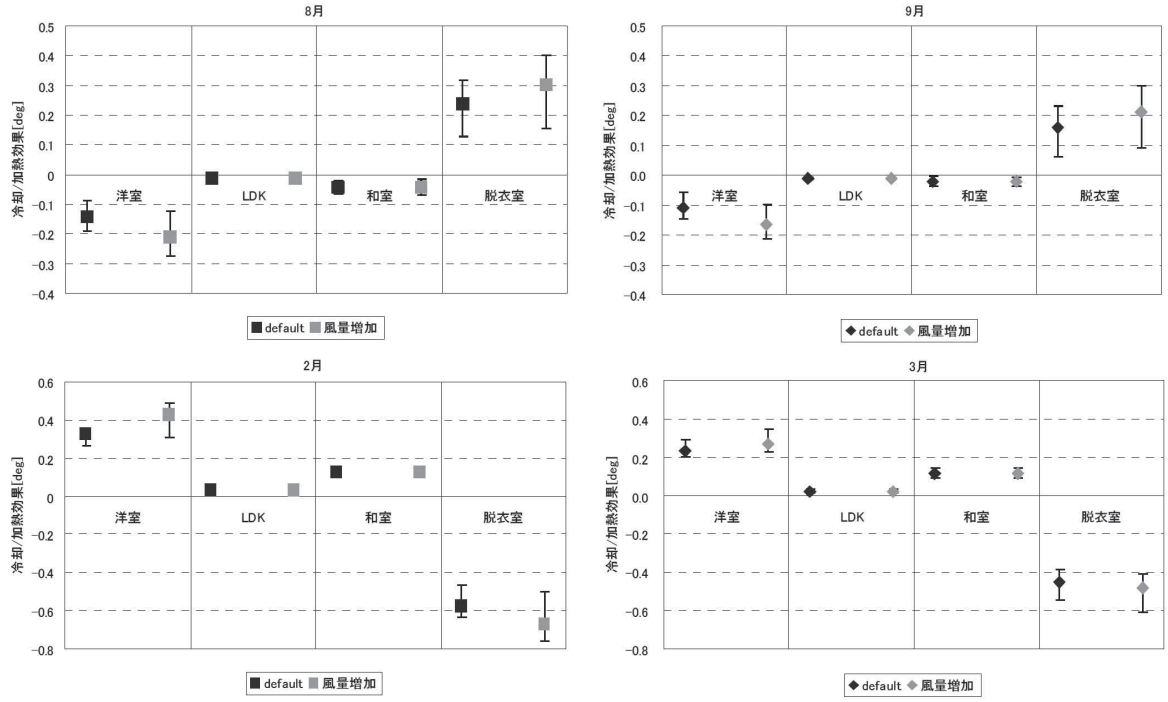


図6-9　送風量増加時の室間ファンによる冷却/加熱効果（上：8・9月、下：2・3月）

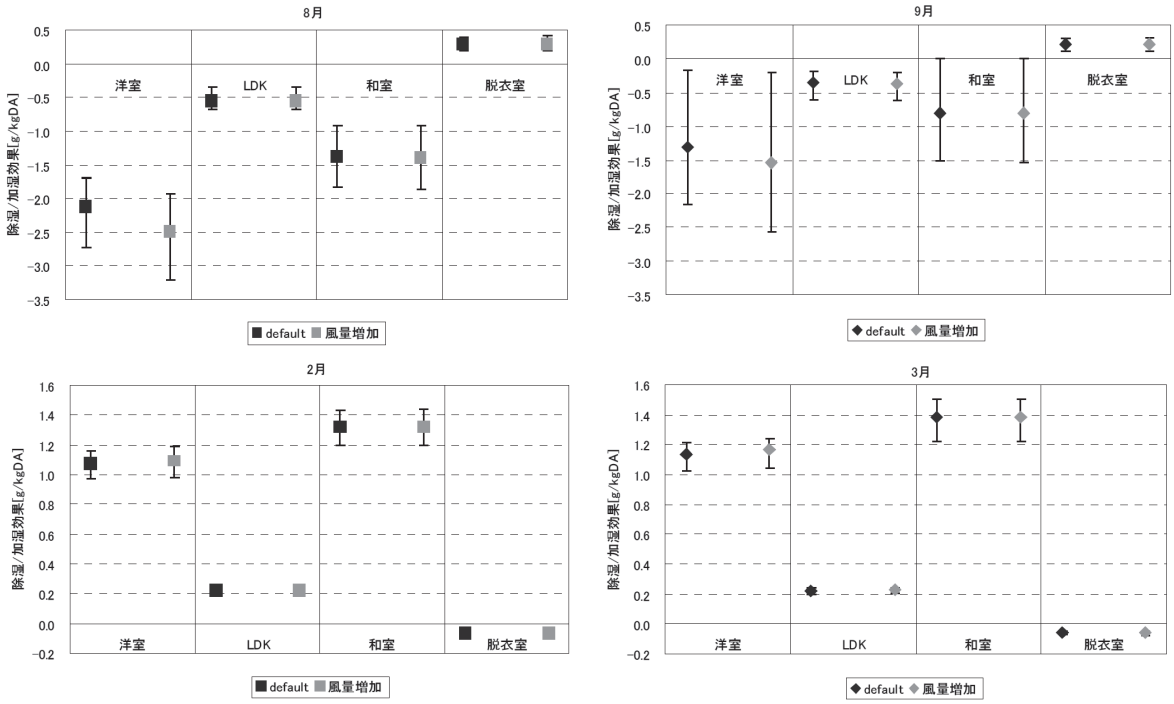


図6-10　送風量増加時の室間ファンによる除湿/加湿効果（上：8・9月、下：2・3月）

より、より多くの熱量が洋室に搬送されるため、基準条件と比較すると夏期は洋室の室温が低下し、冬期は上昇していることが分かる。冬期には基準条件が最大約0.4℃の加熱効果であるのに対して、送風量増加時には約0.7℃の加熱効果が得られた。湿度についても同様に、送風量増加によって夏期は除湿効果、冬期は加湿効果が向上している。

また、送風量増加によって換気ルート末端からの排気量が増加しているため、脱衣室は基準条件よりも夏期は温湿度が上昇、冬期は温湿度が低下することになる。特に冬期において脱衣室の室温が低下することは、居住者にとって不快となる可能性があるため、居住者のニーズに柔軟に対応できる制御が必要である。

c. 省エネルギー性に関する検討

冷暖房エネルギー削減量と換気システムのファン動力増加量を比較し、室間ファン換気空調システムにおける送風量増加の影響について検討した。ファン動力は風量に比例すると仮定し、空調機器のCOPについては基準条件と同様とした。室間ファン停止条件を基準とした算出結果を図6-11に示す。

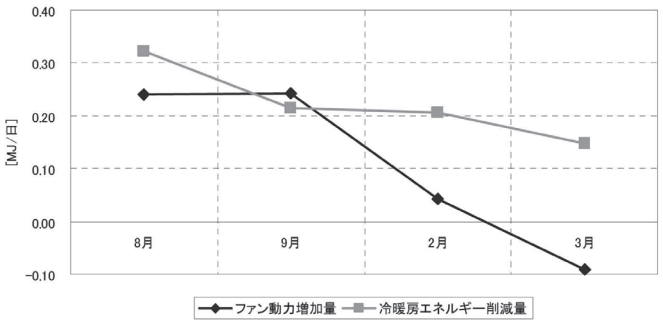


図6-11　室間ファン導入によるエネルギー消費量の変化（送風量増加時）

9月を除くと冷暖房エネルギーの削減量がファン動力の増加量を上回っており、全体的には室間ファン換気空調システムを導入し送風量を増加することによって、エネルギー消費量は増加しないといえる。室間ファンの送風量増加は、冷暖房エネルギーよりもファン動力に与える影響が大きく、排気系統のファン動力が減

少したことが要因であると推察される。ただし、排気系統ファンの選定機種によっては、送風量の増加は今回の結果とは逆にエネルギー消費量の増加を招く可能性があるため、さらに検討を重ねる必要があると考えられる。

7. 室内における流入空気の拡散状況

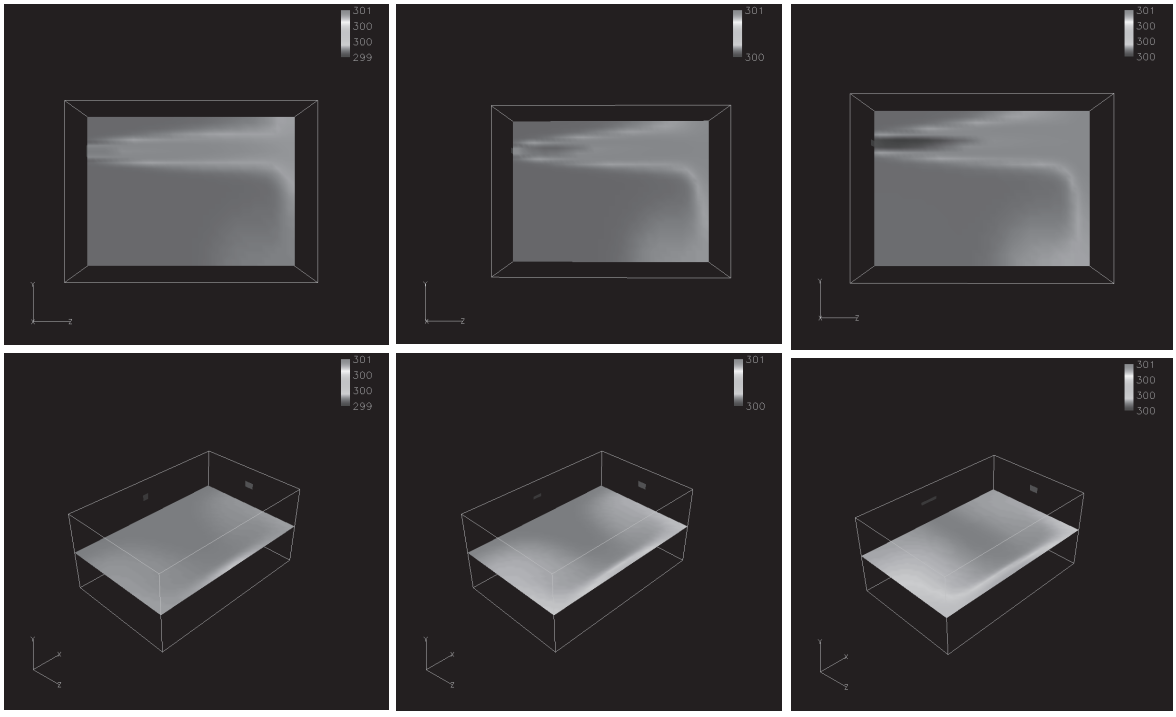
前章では室間ファン換気空調システムの導入効果に関する検討を行ったが、そこでは室内における流入空気の拡散状況について一様な拡散を仮定していた。しかしながら実際にはムラが生じる可能性があり、必ずしも室間ファンによる吹き出し気流が室内全体に行きわたり温度分布が一様になるとは限らない。そこで、室内の温度分布を確認するとともに、吹き出し口の形状による影響をみるためCFD(数値流体力学)による解析を行った。設定した吹き出し口形状は以下の3種類である。吹き出し風量を統一しているため、吹き出し口面積に応じて吹き出し風速を変化させている。

a)吹き出し口0.2m×0.2m、吹き出し風速0.4m/s

b)吹き出し口0.1m×0.3m、吹き出し風速0.5m/s

c)吹き出し口0.1m×0.6m、吹き出し風速0.25m/s

夏期における計算結果の例を図7-1に示す。吹き出し温度差があまり大きくないため、風速が遅いケースcにおいても吹き出し気流が対面壁まで届いており、壁面に当たった後に室内へ拡散する様子がみてとれる。また、吹き出し口の形状を横長とすることにより、同じ吹き出し風量であっても室内へ拡散しやすくなっていることが分かる。室内におけるデザイン上の問題や設置可能なファン形状について考慮する必要はあるが、流入空気をできるだけ室内で拡散させるためには吹き出し口形状のアスペクト比を大きくすべきであるといえる。



a) 吹き出し口0.2m×0.2m　b) 吹き出し口0.1m×0.3m　c) 吹き出し口0.1m×0.6m

図7-1　吹き出し口形状による室内温度分布の変化

8. まとめ

実測を行ったモデル住宅を対象に、主として熱・換気回路網モデル計算プログラムによってシミュレーションを行った。室間ファンを停止させたケースと稼動させたケースを比較するとともに、室間ファン換気空調システムの稼動条件を変化させることによって以下の結果を得た。

(1)室間ファンによって住宅内で発生した熱・水分を2次的に利用することが可能であり、空調を使用していない居室において、冷却・除湿および加熱・加湿効果がみられた。それに伴い、特に冬期において室間の温湿度差が大きく軽減された。

(2)空調稼動前の予熱、あるいは隣室の温熱環境改善による貫流熱や流入空気の負荷軽減という形で、若干ではあるが冷暖房負荷の削減に対する効果がみられた。しかし、室間ファン・排気ファンによる搬送動力と冷暖房エネルギーを比較した結果、本検討における室間ファンの基準制御条件では省エネルギー効果はほとんどみられないといえる。

(3)室間ファンの発停を制御する比エンタルピ差の設定値を変更したケースについて検討を行った。基準の設定から設定値を大きくすると室間ファンの停止時間が長くなり、搬送熱量は減少するものの、温熱環境改善効果や冷暖房負荷の削減率については、基準の設定による計算結果と大きな差はみられなかった。

(4)取入外気量が規定量よりも増大しない範囲で、室間ファンの送風量を増加させたケースについて検討を行った。基準の設定に比べて搬送熱量が増加し、温熱環境改善効果や冷暖房負荷の削減効果がやや向上する傾向にあった。

(5)CFDによる計算により、室内への吹き出し気流および温度分布に対する吹き出し口形状の影響を検討した。流入空気をできるだけ室内で均一に拡散させるためには吹き出し口形状のアスペクト比を大きくすべきであるといえる。

謝辞

本研究を行うにあたり、財団法人日比科学技術振興財団より大きな研究助成を頂いた。記して感謝の意を表す。

参考文献

1)JIS A 4706「サッシ」

2)倉渕隆：戸建住宅における常時機械換気システムの性能比較、住宅ビルダーのための常時機械換気設備の選定マニュアル、空気シンポジウム、2007

3)拡張アメダス気象データ 1981-2000、日本建築学会

4)スケジュール自動生成プログラムSCHEDULE Ver.2.0、空気調和衛生工学会・住宅用エネルギーシミュレーション小委員会、2000