

高断熱・高気密住宅の空調システムに関する研究

小泉 求

1 研究目的

近年、寒冷地を中心に高断熱・高気密住宅が急速に普及している。この種の住宅は冬季の室内環境の改善と省エネルギーが主目的とされており、夏季の室内環境に対する配慮が不足している場合が多い。本研究では、夏季の室内環境の改善に配慮した高断熱・高気密住宅に対応する空調システムを設置したモデル住宅を対象として室内温熱環境、暖冷房負荷等の実測調査を行い、空調システムの有効性を検討する事を目的とする。

2 名古屋モデルにおける実測調査

2.1 対象住宅(図1、表1)：名古屋市に建設された木造枠組壁工法の住宅で、屋根にはRコントロールパネル^{*1}を採用、2階建て、延べ床面積は236m²である。

2.2 空調システム(図2)：対象住宅の北側に設けた設備シャフトの下部にパッケージエアコン(最大定格暖房能力24.4kw、最大定格冷房

能力23.3kw、送風量3,300m³/h)を設置する。このエアコンは上吹出で、エアコン上部に夏季モードと冬季モードの切り替えチャンバーを設置、夏季は天井からの冷房を、冬季は床付近からの暖房を可能としている。各室には冷房用の吹出口が、各階には暖房用の吹出口が設置されている。換気設備は、1階天井裏に全熱交換換気扇が設置されている。

2.3 測定内容と方法

(1)温熱環境(図1)：温度の測定には白金測温抵抗体と打点式記録計を、相対湿度の測定には高分子膜センサーを使用する。外気温湿度は名古屋気象台のデータを使用する。測定期間は、暖房時が1993年3月3日～3月4日、冷房時は1993年8月11日～8月13日である。

(2)空調機の暖冷房出力：空調機と全熱交換換気扇の吹出・吸込温湿度、消費電力等を測定し空調機の暖冷房出力及び全熱交換換気扇の全熱交換効率を算出する。温度は熱電対で、相対湿度は高分子膜センサーで測定し、コンピューターとデータロガーで10分ごとに記録

表1 名古屋モデルの設備の概要

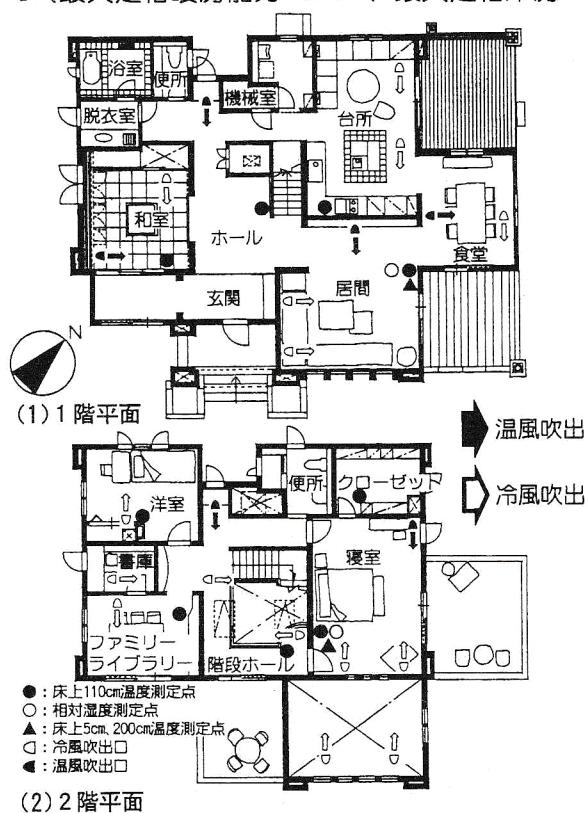


図1 名古屋モデルの平面と温湿度測定点

延べ床面積:	236m ²	建築場所:	名古屋市天白区
建設時期:	1993年3月	窓:	木製ペアガラスサッシ
断熱材:	屋根 ポリスチレンフォーム140mm(Rコントロールパネル ^{*1}) 1階床 ポリスチレンフォーム95mm 外壁 ロックウール100mm	基礎部:	ポリスチレンフォーム50mm
熱損失係数:	1.86W/m ² ・℃	気密性能:	有効開口面積 2.70cm ² /m ²
暖冷房設備:	チムニーの下部にパッケージエアコン(最大定格暖房能力24.4kw、最大定格冷房能力23.3kw、送風量3300m ³ /h)を設置。	換気設備:	2階天井裏に全熱交換換気扇(風量250m ³ /h)を設置。
用語:	エアコン引い込み側温度でインバーター制御。		

*1 予め断熱材をサンドイッチしたパネル

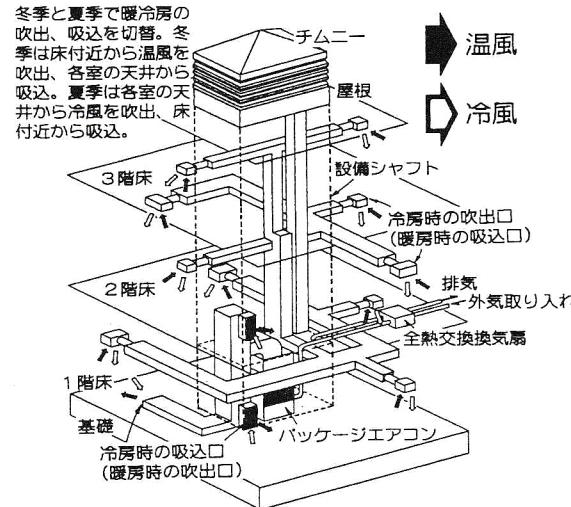


図2 空調システムの概要

する。測定期間は、暖房時が1994年1月15日～2月13日であり、冷房時は1993年7月15日～8月13日である。

2.4 溫熱環境の実測結果

(1)暖房時の室内温熱環境(図3、4)：この期間は家具の搬入や外構工事が行われていたため、玄関ドアが開放されている場合が多い。10:00～18:00では、1階の室内温度は外気の侵入により約14～20℃を示しているが、玄関ドアが開放されていない夜間はどの測定点でも約18～23℃の範囲に入る。居間と寝室の相対湿度はともに約30～40%で若干乾燥している。本空調システムには加湿器が設置されているが、測定期間中は運転されていない。10:00～18:00では、居間床上5cm温度は外気の侵入により約10～20℃の範囲で大きく変動するが、夜間の居間温度はどの測定点でも約17～21℃の範囲に入る。この時の居間の上下温度差は約2～4℃である。寝室温度はどの測定点でも約20℃前後であり、寝室の上下温度差は約1～2℃程度で充分均一な温熱環境を実現していると考えられる。

(2)冷房時の室内温熱環境(図5、6)：外気温

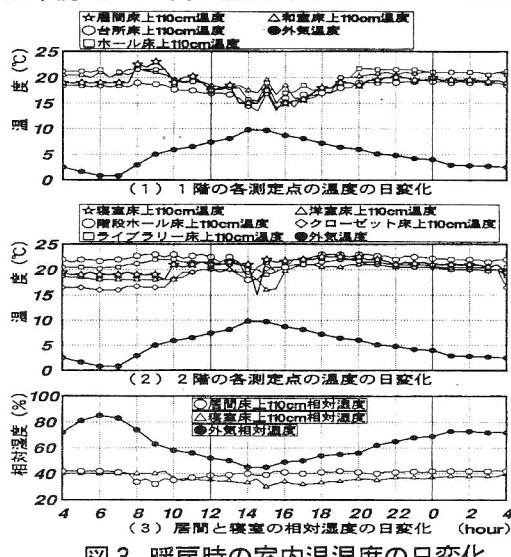


図3 暖房時の室内温湿度の日変化

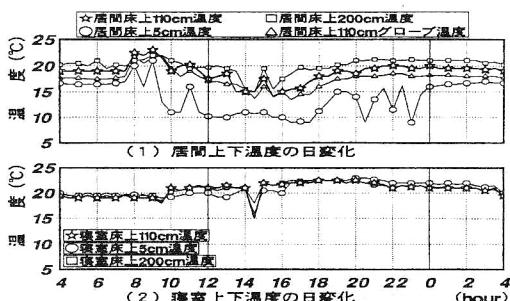


図4 暖房時の上下温度分布の日変化

度は約20～36℃、外気相対湿度は約30～95%の範囲に入り大きな変動を示す。それに対し室内ではどの測定点でも温度は約22～25℃、相対湿度は約60～80%の範囲に入る。外気温度が変動しても居間温度と他の部屋との温度差は約1～2℃であり、居間と寝室の上下温度差も約2℃程度である。室相互の温度差や上下温度差の少ない快適な温熱環境であり、冷房時にも本空調システムが有効であると考えられる。

2.5 暖冷房出力の実測結果

(1)暖冷房時の空調機の運転状況(図7、8)

暖房時は外気温度が上昇すると、空調機の暖房出力と消費電力はともに減少し、12:00～16:00では暖房出力は約4～6kw、消費電力は約2kw、4:00～8:00では暖房出力は約14kw、消費電力は約4kw程度である。空調機の吸込温度は一日中ほぼ一定で約21℃程度である。冷房時は外気温度が上昇すると空調機の冷房出力と消費電力はともに増加し、0:00～7:00では冷房出力、消費電力はともに2kw以下であるが、14:00～16:00では冷房出力は12kw、消費電力は4kwを越える。空調機の吸込温度は約24～25℃の範囲に入り、安定している。

(2)室内外温度差と暖冷房出力との関係(図9)

暖冷房時ともに室内外温度差が大きくなれば、空調機の暖冷房出力と消費電力量は増加する。日平均室内外温度差が1℃のときの日積算暖

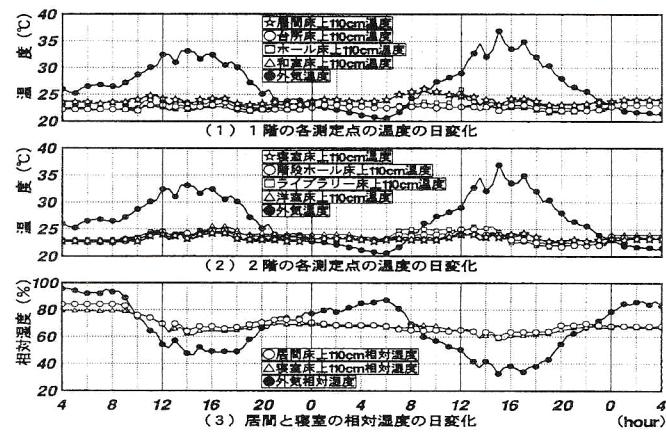


図5 冷房時の室内温湿度の日変化

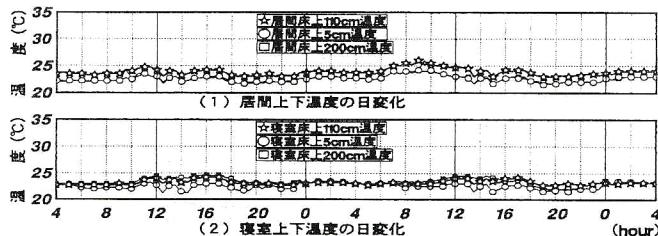


図6 冷房時の上下温度分布の日変化

3 新津モデルにおける実測調査

3.1 対象住宅(図13、14、表2)：新津市に建設された木造軸組工法の住宅で、2階建て、延べ床面積は127m²、食堂上部に吹き抜けが設けられている。

3.2 空調システム(図15)：居間の床下にヒートポンプの室内機を設置し、玄関脇の空調用立てダクトを通して各室に温風、冷風を供給する。送風用ダクトは暖房時には温風搬送用ダクトから供給し、冷風搬送用ダクトをリターンとして利用する。また、冷房時には温風搬送用ダクトをリターンとして利用する。温風は床付近から、冷風は天井から吹き出し暖房効率の向上を図る。温風は1階では3カ所、2階では1カ所のみから供給し、各室へ送風するためのダクトは省略してある。冷風は1階天井裏及び小屋裏を給気チャンバーとして使用し、各室の天井にはガラリのみを設ける点が名古屋モデルと異なる。換気設備は、1階天井裏に全熱交換換気扇を設置し、新鮮外気を全熱交換した後に食堂の吹き抜けへ供給している。

3.3 測定内容と方法

(1)温熱環境(図13)：温度の測定にはT型熱電対、湿度の測定には高分子膜センサーを用いる。外気温湿度は対象建物北側に百葉箱を設置し、温湿度発信機で測定する。データ収集

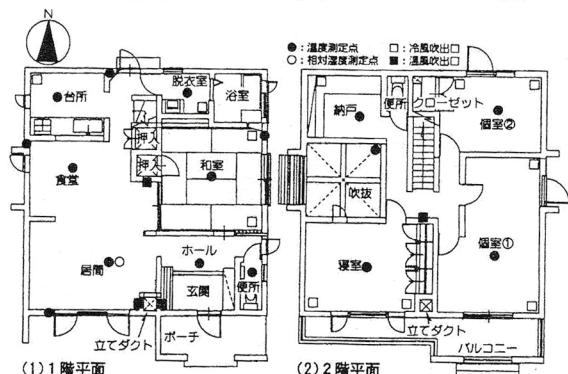


図13 新津モデルの平面と温湿度測定点

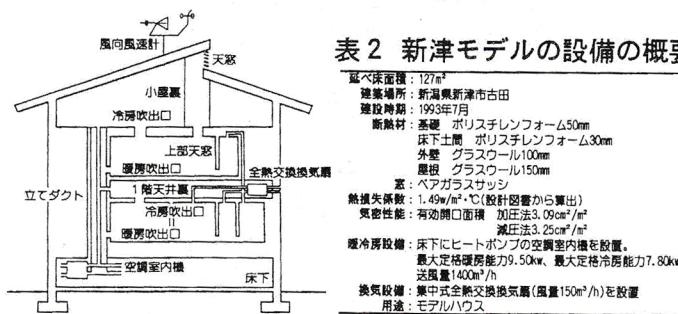


図14 新津モデルの断面

表2 新津モデルの設備の概要

延べ床面積:	127m ²
建設場所:	新潟県新津市古田
建設時期:	1993年7月
断熱材:	基礎 ポリスチレンフォーム50mm 床下土間 ポリスチレンフォーム30mm 外壁 グラスウール100mm 屋根 グラスウール50mm
窓:	ペアガラスサッシ
熱損失係数:	1.49W/m ² ・°C (設計図書から算出)
気密性能:	有効開口面積 加圧法3.09cm ² /m ² 減圧法3.25cm ² /m ²
暖房設備:	床下にヒートポンプの空調室内機を設置。 最大定格暖房能力9.50kW、最大定格冷房能力7.80kW、 送風量:1400m ³ /h
換気設備:	集中式全熱交換換気扇(風量150m ³ /h)を設置 用途:モデルハウス

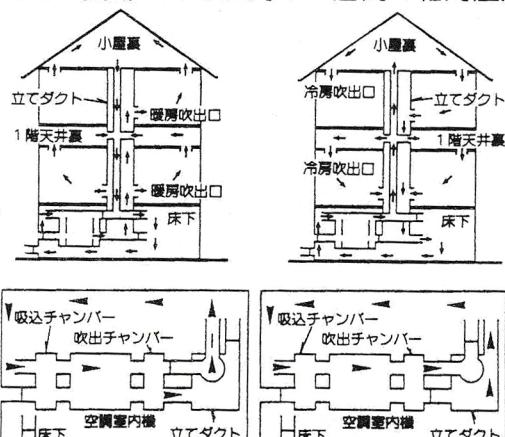
はコンピューターとデータロガーを用いて行い、10分ごとに記録する。測定期間は、暖房時が1994年1月14日～1月21日、冷房時は1993年8月22日～8月29日である。

(2)空調機の暖冷房出力：空調機と全熱交換換気扇の吹出・吸込温湿度、消費電力等を測定し空調機の暖冷房出力及び全熱交換換気扇の全熱交換効率を算出する。測定方法と測定期間は冬季、夏季の暖冷房実測と同様である。

3.4 溫熱環境の実測結果

(1)暖房時の室内温熱環境(図16、17)：1階では居間、食堂、和室、台所の温度は外気温度に関係なく約20~23°Cの範囲に入り安定している。脱衣室、便所の温度も安定しているが約18~20°Cで居間温度と比較して約3~4°C低い。2階では寝室、個室①、個室②の温度は約18°C程度で安定している。寝室の温度は他の部屋に比べて高い時間帯があり、最高約22°Cまで上昇するが、これは日射の影響と考えられる。外気相対湿度が約60~80%と変動するのに対して、居間の相対湿度は約40%程度で安定している。居間の上下温度差は約1°C程度である。寝室の上下温度差は約1°Cであるが、天井下5cm温度が約20~23°Cと他の測定点に比較して約1~2°C高い。これは実測時に、部屋のドア上部(欄間部分)を開放し、温風がドア上部、そして部屋の上部を通過して天井の吸引込み口へ流れるためと考えられる。

(2)冷房時の室内温熱環境(図18、19)：室内温度は外気温度に関係なく約20~22°Cの範囲に入る。居間と他の部屋との温度差は約1~2°C程度であり、室相互の温度差がほとんどなく室内温度の日変化も小さい。外気相対湿度は約70~95%と変動するのに対して居間の相対湿度



(1)冬季暖房時 (2)夏季冷房時
図15 空調システムの概要

房出力は29.3kwh/日・℃、日積算冷房出力は3.67kwh/日・℃である。冷房出力の方が約7kw程度大きいのは日射の影響と考えられる。

(3)単位面積当たりの暖冷房出力と平均熱損失係数(図10)：日積算暖冷房出力の平均値を1ヶ月(30日)間に換算し、延べ床面積で除した値を単位面積当たりの暖冷房出力とした。暖房出力は28.5kwh/月・m²、暖房時の消費電力量は10.0kwh/月・m²、COPは2.85であり、冷房出力は17.3kwh/月・m²、冷房時の消費電力量は6.53kwh/月・m²、COPは2.65である。1ヶ月間の暖房費は240円/月・m²、冷房費は157円/月・m²である。平均熱損失係数は単位面積当たりの暖冷房出力を日平均室内外温度差で除した値である。暖房時の平均熱損失係数は2.41w/m²・℃、平均消費電力は0.847w/m²・℃、冷房時の平均熱損失係数は8.03w/m²・℃、平均消費電力は2.99w/m²・℃となる。

(4)全熱交換換気扇の全熱交換効率(図11、12)全熱交換効率(%)=|(外気熱量)-(給気熱量)|/|(外気熱量)-(還気熱量)|×100の計算式により全熱交換効率を算出する。暖房時の全熱交換効率は約80%程度で、冷房時は約40~60%の範囲に入る。全熱交換換気扇による節約熱量は、暖房時の平均値が0.72kW、1ヶ月間では516kwh/月、冷房時の平均値が0.14kW、1ヶ月間では99kwh/月である。

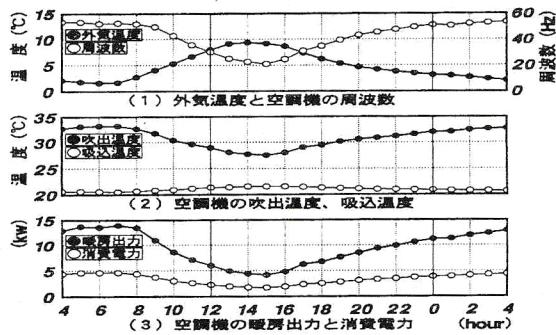


図7 暖房出力と消費電力の平均日変化

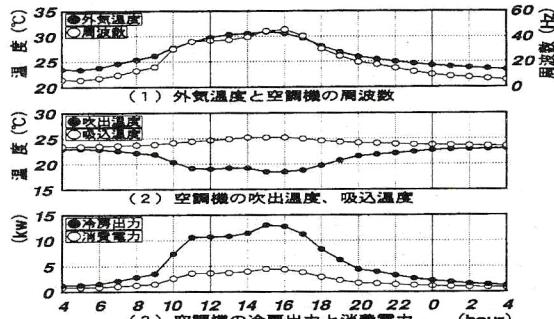


図8 冷房出力と消費電力の平均日変化

2.6 まとめ

- (1)暖房時の室内温度は約18~23℃、相対湿度は約30~40%、冷房時の室内温度は約22~25℃、相対湿度は約60~80%の範囲に入る。本空調システムにより暖冷房時とも快適な室内温熱環境を形成することができる。
- (2)日平均室内外温度差と日積算暖冷房出力には正の相関がある。
- (3)暖房出力は28.5kwh/月・m²、消費電力量は10.0kwh/月・m²であり、冷房出力は17.3kwh/月・m²、消費電力量は6.53kwh/月・m²である。
- (4)平均熱損失係数は、暖房時で2.41w/m²・℃、冷房時で8.03w/m²・℃である。
- (5)全熱交換換気扇の全熱交換効率は、暖房時で約80%、冷房時で約40~60%の範囲に入る。

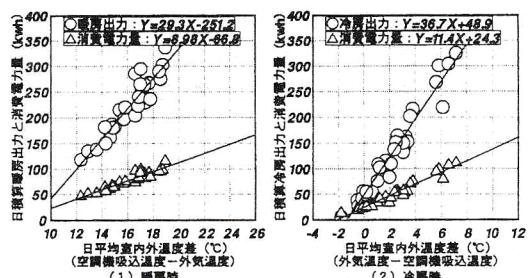


図9 室内外温度差と暖冷房出力との関係

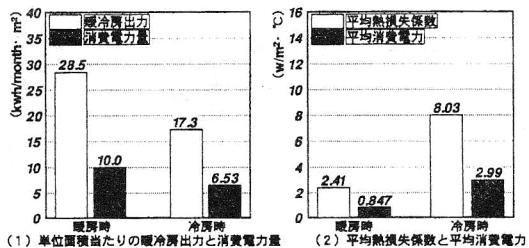


図10 単位面積当たりの暖冷房出力と平均熱損失係数

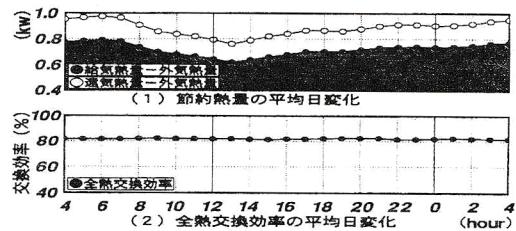


図11 暖房時の全熱交換換気扇の運転状況

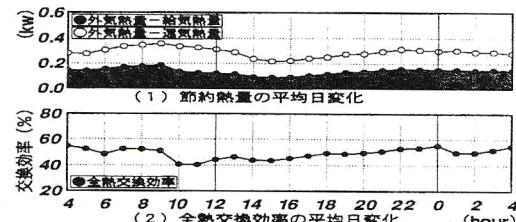


図12 冷房時の全熱交換換気扇の運転状況

は約75~80%で安定している。外気温度の変動に関わらず、居間の上下温度差は約0.1°C、寝室の上下温度差は約0.5°C程度であり、上下温度差はほとんどない。

3.5 暖冷房出力の実測結果

(1)暖冷房時の空調機の運転状況(図20、21)

暖房時は外気温度の上昇、日射量の増加に伴い空調機のインバーター周波数は低下する。12:00~14:00では、暖房出力は約2kwであり夜間の約4~6kwの半分程度である。空調機の吸込熱量(吸込空気のエンタルピー×吸込風量/吸込空気の比容積)は一日を通して約14~15kwで安定している。冷房時は外気温度の上昇、日射量の増加に伴い冷房出力、空調機のインバーター周波数も増加する。12:00~18:00では冷房出力は約4kw、消費電力は約2~3kw、0:00~6:00では冷房出力は約2kw、消費電力は約1kwである。空調機の吸込熱量は一日を通して約22kwで安定している。

(2)室内外温度差と暖冷房出力との関係(図22)
暖房時、冷房時ともに日平均室内外温度差が大きくなれば、日積算暖冷房出力は増加する。日平均室内外温度差が1°Cのとき日積算暖冷房出力は、暖房時で8.99kwh/日・°C、冷房時で7.69kwh/日・°Cである。

(3)単位面積当りの暖冷房出力と平均熱損失係数(図23)：単位面積当りの暖房出力は24.2kw/h/月・m²、消費電力量は17.9kwh/月・m²、COPは1.35であり、冷房出力は17.3kwh/月・m²、消費電力量は10.0kwh/月・m²、COPは1.73である。

1ヶ月間の暖房費は430円/月・m²、冷房費は240円/月・m²である。暖房時の平均熱損失係数は1.81w/m²・°C、平均消費電力は1.35w/m²・°C、冷房時の平均熱損失係数は5.57w/m²・°C、平均消費電力は3.18w/m²・°Cである。暖房時と比較して冷房時の平均熱損失係数が約3倍程度大きいのは日射の影響である。

(4)全熱交換換気扇の全熱交換効率(図24、25)
全熱交換換気扇の全熱交換効率は、暖房時で約80~90%、冷房時で約60%程度である。どちらも一日を通して大きな変動はなく安定している。全熱交換換気扇による節約熱量は、暖房時の平均値が0.51kw、1ヶ月間で366kwh/月、冷房時の平均値は0.24kw、1ヶ月間で174kwh/月である。

3.6 まとめ

(1)暖房時の室内温度は約20~24°C、居間の相

対湿度は約20~30%、冷房時の室内温度は約20~22°C、居間の相対湿度は約75~85%の範囲に入る。暖冷房時とも本空調システムにより快適な室内温熱環境を形成することができる。

(2)日平均室内外温度差と日積算暖冷房出力には正の相関がある。

(3)暖房出力は24.2kwh/月・m²、消費電力量は

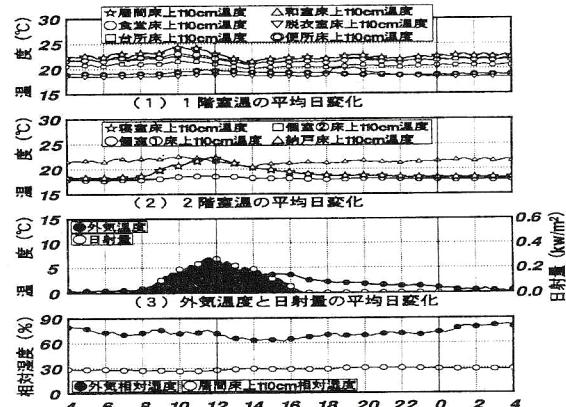


図16 暖房時の室内温湿度の平均日変化

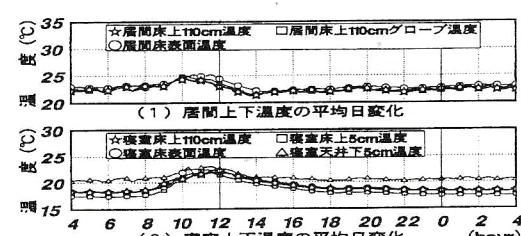


図17 暖房時の上下温度分布の平均日変化

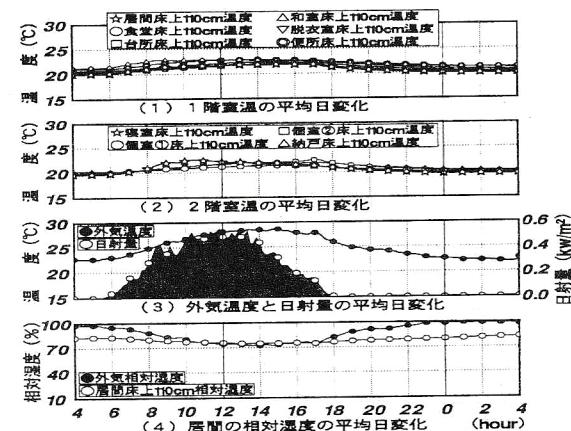


図18 冷房時の室内温湿度の平均日変化

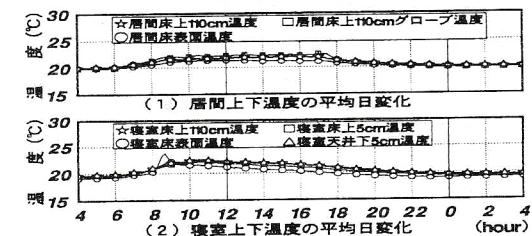


図19 冷房時の上下温度分布の平均日変化

は約75~80%で安定している。外気温度の変動に関わらず、居間の上下温度差は約0.1°C、寝室の上下温度差は約0.5°C程度であり、上下温度差はほとんどない。

3.5 暖冷房出力の実測結果

(1) 暖冷房時の空調機の運転状況(図20、21)

暖房時は外気温度の上昇、日射量の増加に伴い空調機のインバーター周波数は低下する。12:00~14:00では、暖房出力は約2kWであり夜間の約4~6kWの半分程度である。空調機の吸込熱量(吸込空気のエンタルピー×吸込風量/吸込空気の比容積)は一日を通して約14~15kWで安定している。冷房時は外気温度の上昇、日射量の増加に伴い冷房出力、空調機のインバーター周波数も増加する。12:00~18:00では冷房出力は約4kW、消費電力は約2~3kW、0:00~6:00では冷房出力は約2kW、消費電力は約1kWである。空調機の吸込熱量は一日を通して約22kWで安定している。

(2) 室内外温度差と暖冷房出力との関係(図22)

暖房時、冷房時ともに日平均室内外温度差が大きくなれば、日積算暖冷房出力は増加する。日平均室内外温度差が1°Cのとき日積算暖冷房出力は、暖房時で8.99kWh/日・°C、冷房時で7.69kWh/日・°Cである。

(3) 単位面積当りの暖房出力と平均熱損失係数(図23)：単位面積当りの暖房出力は24.2kWh/月・m²、消費電力量は17.9kWh/月・m²、COPは1.35であり、冷房出力は17.3kWh/月・m²、消費電力量は10.0kWh/月・m²、COPは1.73である。

1ヶ月間の暖房費は430円/月・m²、冷房費は240円/月・m²である。暖房時の平均熱損失係数は1.81W/m²・°C、平均消費電力は1.35W/m²・°C、冷房時の平均熱損失係数は5.57W/m²・°C、平均消費電力は3.18W/m²・°Cである。暖房時と比較して冷房時の平均熱損失係数が約3倍程度大きいのは日射の影響である。

(4) 全熱交換換気扇の全熱交換効率(図24、25)全熱交換換気扇の全熱交換効率は、暖房時で約80~90%、冷房時で約60%程度である。どちらも一日を通して大きな変動はなく安定している。全熱交換換気扇による節約熱量は、暖房時の平均値が0.51kW、1ヶ月間で366kWh/月、冷房時の平均値は0.24kW、1ヶ月間で174kWh/月である。

3.6 まとめ

(1) 暖房時の室内温度は約20~24°C、居間の相

対湿度は約20~30%、冷房時の室内温度は約20~22°C、居間の相対湿度は約75~85%の範囲に入る。暖冷房時とも本空調システムにより快適な室内温熱環境を形成することができる。

(2) 日平均室内外温度差と日積算暖冷房出力には正の相関がある。

(3) 暖房出力は24.2kWh/月・m²、消費電力量は

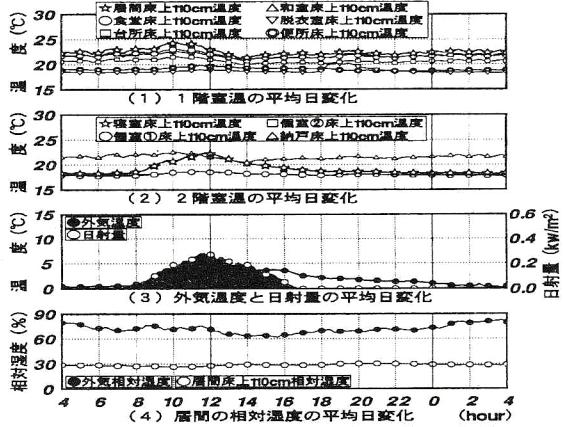


図16 暖房時の室内温湿度の平均日変化

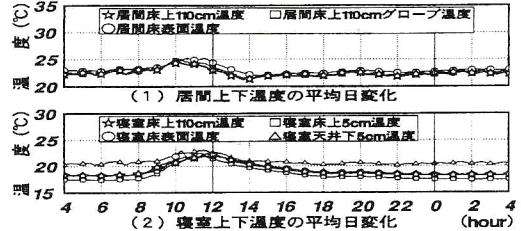


図17 暖房時の上下温度分布の平均日変化

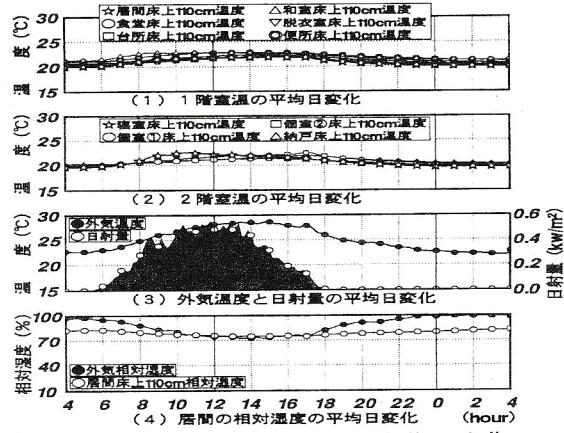


図18 冷房時の室内温湿度の平均日変化

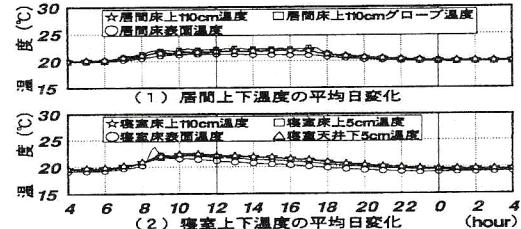


図19 冷房時の上下温度分布の平均日変化

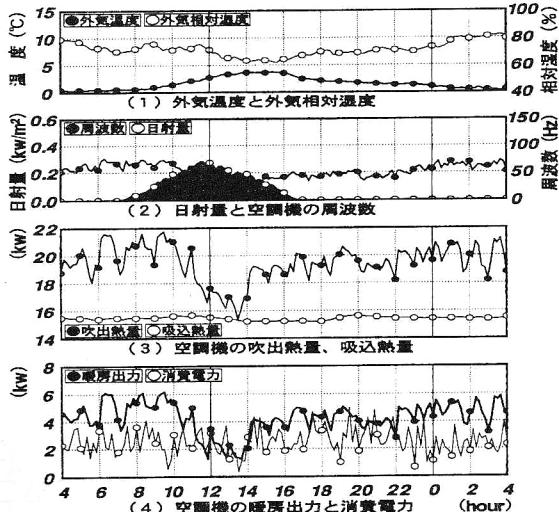


図20 暖房出力と消費電力の平均日変化

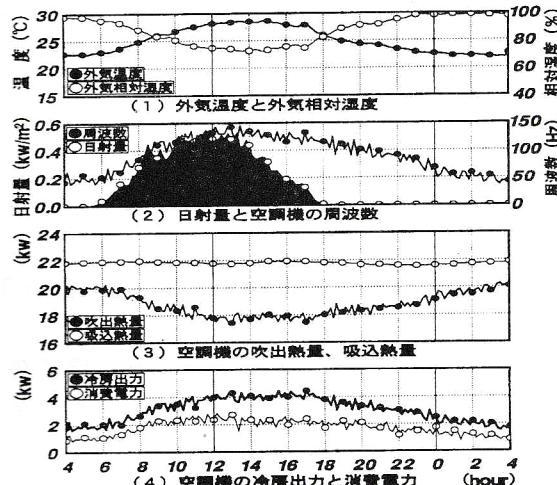


図21 冷房出力と消費電力の平均日変化

17.9kwh/月・m²、COPは1.35であり、冷房出力は17.3kwh/月・m²、消費電力量は10.0kwh/月・m²、COPは1.73である。

(4)平均熱損失係数は、暖房時が1.81w/m²・℃、冷房時は5.57w/m²・℃である。

(5)全熱交換換気扇の全熱交換効率は、暖房時が約80~90%、冷房時は約60%程度である。

4 結論

(1)名古屋モデル、新津モデルとともに暖冷房時の室相互の温度差、上下温度差は少なく、冬季・夏季を通して快適な室内温熱環境を形成することができる。

(2)名古屋モデルの暖房出力は28.5kwh/月・m²、暖房時の消費電力量は10.0kwh/月・m²、COPは2.85であり、冷房出力は17.3kwh/月・m²、冷房時の消費電力量は6.53kwh/月・m²、COPは2.65である。新津モデルの暖房出力は24.2kwh/月・m²、暖房時の消費電力量は17.9kwh/月・m²、

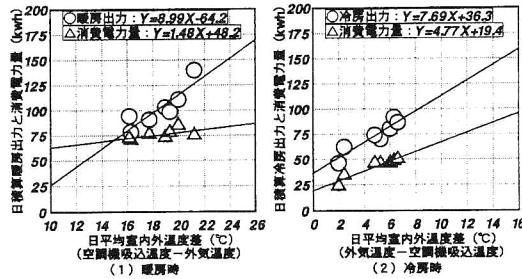


図22 室内外温度差と暖冷房出力との関係

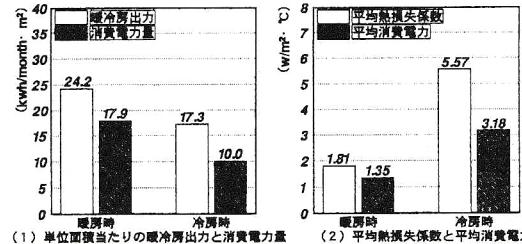


図23 単位面積当たりの暖冷房出力と平均熱損失係数

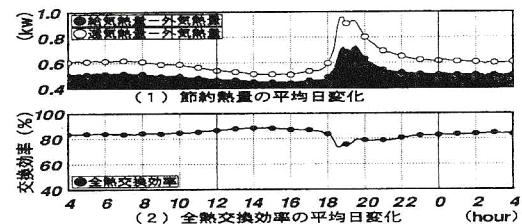


図24 暖房時の全熱交換換気扇の運転状況

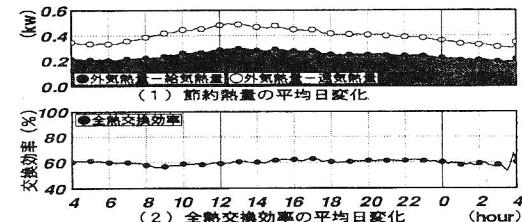


図25 冷房時の全熱交換換気扇の運転状況

COPは1.35であり、冷房出力は17.3kwh/月・m²、冷房時の消費電力量は10.0kwh/月・m²、COPは1.73である。電気料金を24円/kwhとして空調機のランニングコストを計算すると、名古屋モデルの暖房時が56,640円/月、冷房時は37,050円/月、新津モデルの暖房時が54,610円/月、冷房時は30,480円/月となる。

(3)全熱交換換気扇の全熱交換効率は、どちらのモデルでも暖房時で約80~90%、冷房時で約40~60%の範囲に入る。

参考文献

- (1)村上、吉野、加藤、赤林、坂口、小泉：「高断熱・高気密住宅の空調方式に関する研究、その1 暖冷房システムの概要と冬季の室温の実測結果」日本建築学会大会学術講演梗概集 1993年9月
- (2)村上、吉野、加藤、赤林、坂口、小泉：「高断熱・高気密住宅の空調方式に関する研究、その2 夏季の温熱環境と冷暖房負荷の実測結果」日本建築学会大会学術講演梗概集 1994年9月
- (3)赤林、浅間、坂口、小泉、大塚：「高断熱・高気密住宅の空調方式に関する研究、その3 天井裏チャンバーを利用した空調方式の検討」日本建築学会大会学術講演梗概集 1994年9月

指導教官：赤林 伸一 助教授