

集合住宅における自然エネルギー利用法に関する研究（その3）

——パイロット住宅の性能評価——

渡 辺 真知子 小 宮 英 孝
竹 本 靖 宮 川 保 之

Research and Development of Natural Energy Utilization for Multi-family Housing (Part 3)

——Performance Evaluation of Model House under Actual Living Conditions——

Machiko Watanabe Hidetaka Komiya
Yasushi Takemoto Yasuyuki Miyagawa

Abstract

Natural energy utilization systems for multi-family housing, which consist of sunrooms, window collectors, lighting ducts, and air ducts for heating and cooling, were adapted to existing company residences. Through these developed systems, natural energy (solar energy) can be absorbed at the south-side facade, transported into inside rooms, and used for heating, drying, hot water supply, and lighting. Actual performance regarding energy and lighting and comfortableness from mental and psychological points of view are reported for real living conditions. Furthermore, the new model of multi-family housing for the 21st century was proposed based on this actual living experience and performance evaluation.

概 要

これまで開発してきた要素技術項目（サンルーム、ウィンドウコレクター、熱・光移動装置）を自然エネルギー利用住宅としてリフォームの形で建物南面開口部に適用した。このシステムは自然（太陽）エネルギーを建物の外壁面で吸収し、電気・熱・光として室内に送り、暖房・乾燥・給湯など種々の用途に総合的に役立てようとするものである。ここでは実使用時における熱や光の性能評価及び心理面・生理面からの快適性について報告している。更に、システム性能評価や居住者の使い勝手を基に未来指向型21世紀マンション住宅の提案を行なった。

1. はじめに

前報では集合住宅における自然エネルギーの有効利用を目的として開発したサンルーム、ウィンドウコレクター、熱移動装置のシステム性能評価について述べた。開発要素技術項目のパイロットプラント住宅への適用に際して、集合住宅に対するニーズも、省エネルギーからアメニティへ移行した点を考慮して、適用技術の高付加価値化を念頭においた。

ここでは以上の研究目的に対応し、自然エネルギーを集めるツールとして、サンルームユニットと出窓ユニットからなる「多機能外装材」と、熱と光の移動システムである「多機能搬送系」を設計・製作し、これをリフォーム技術の一環として、当社既存社宅に適用し実証実験を行なった。居住時における性能結果やそれに基づいた快適性、経済性、施工性等総合評価を行ない、更に、未来指向型の新しい技術を含む21世マンション住宅の提案を行なった。

2. パイロット住宅と適用技術

対象住戸はRC 4階建ての1階1住戸（52 m²）である。パイロット住宅の外観及び内観を写真1～3に、平面及び断面図を図1に示す。実験住宅へ適用したシステムを図2に、システムの仕様を表1に示す。

サンルームユニットは、二重ガラスの間に電動ブラインドを装備している。ここで集めた熱を、熱搬送ダクトで風呂場や押入に送り込み、洗濯物や布団の乾燥に、また、結露の防止に役立てる。更に、北側の部屋に送って暖房にも利用できるようになっている。このときの送風は、サンルーム天井のシースルー太陽電池（光の透過率30%で、視界を遮らない）で得られる電流によってファンを回して行なう。一方、採光部に工夫を加えた光搬送ダクト（ガラス鏡ダクト）を設置することで、窓をとれない部屋へも自然光の供給を行なうことができる。

出窓ユニットは、出窓の下に室外エアコンを収納し、スマートな外観に仕上げている。出窓には光の透過率を

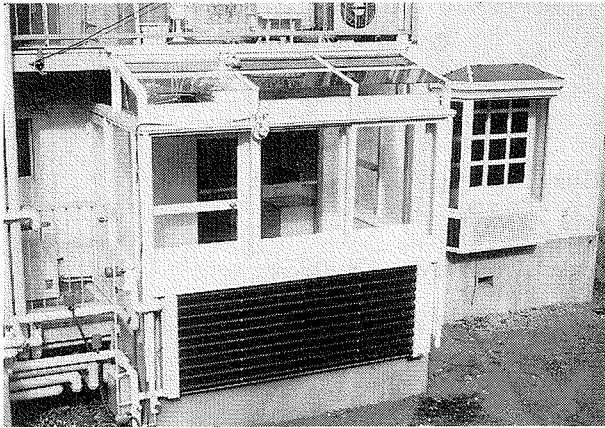


写真-1 パイロット住宅の外観

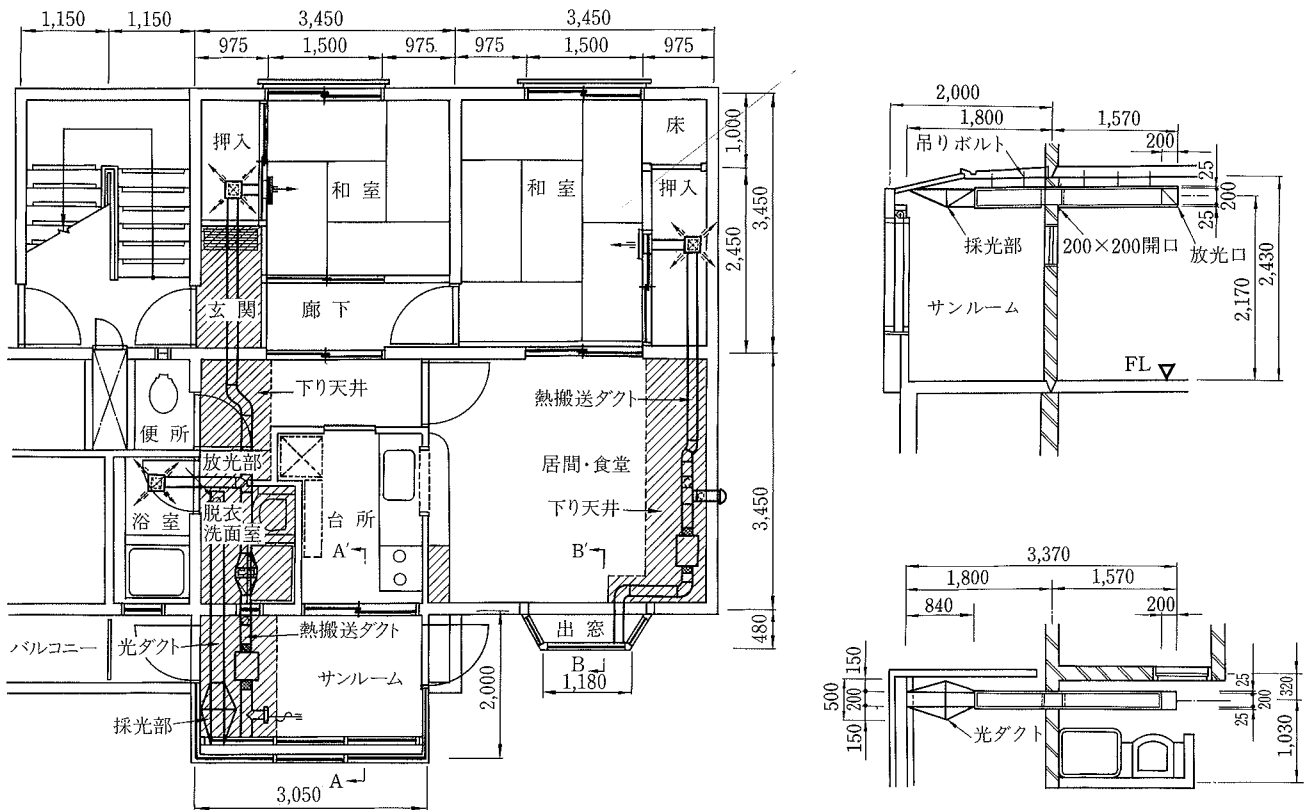
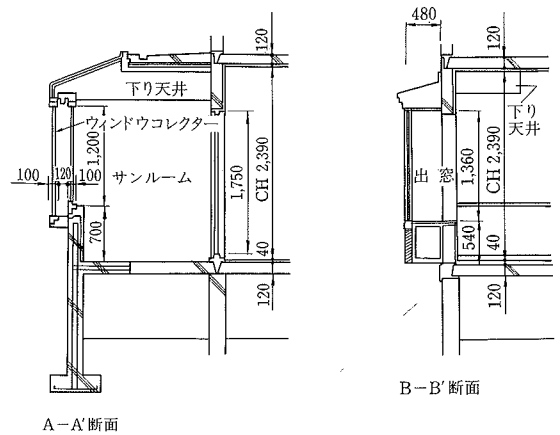


図-1 平面図及び断面図

電气的に変える調光ガラスが用いられ、ガラス自体にブラインド機能をもたせている。この出窓で暖められた空気も北側へ送り、暖房・乾燥に利用できる。以上の様に、本システムは、自然エネルギーを建物の外壁面で吸収し、熱・光・電気として室内に送り、暖房・乾燥・給湯・照明など様々な用途に総合的に役立てようとするもので、エネルギー消費量の低減を図ると共にアメニティ化が図れるものである。

3. システム性能評価

3.1 冬季測定概要

パイロット住宅の室内環境及びシステム性能を実測により評価した。ここでは夫婦と子供2人が平成元年1月下旬より居住しており、室内環境の測定と生活行動の記録を行なった。生活パターンは、共働きのため普段8時30分前後から17時まで無人状態となっている。サンルー



写真-2 サンルーム内観

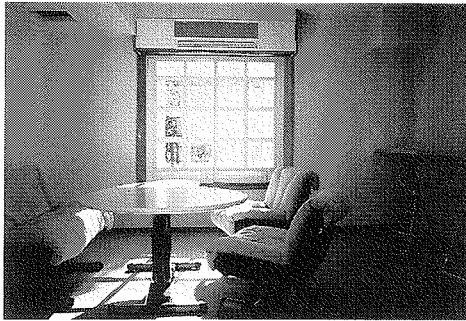


写真-3 出窓内観

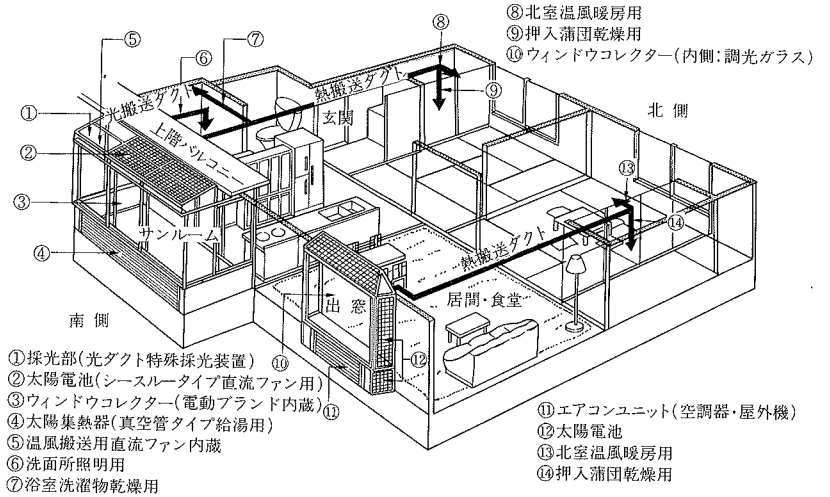


図-2 システム図

表-1 システムの仕様

窓開口部	熱移動装置
<ul style="list-style-type: none"> ●サンルームユニット系 <ul style="list-style-type: none"> 南面開口部 (3.74m²) <ul style="list-style-type: none"> ⑦ 3mm 透明普通ガラス 引違い 天井開口部 <ul style="list-style-type: none"> ⑦ 6mm 普通透明ガラス(0.85m²) ⑦ 6mm 透明ガラス+シースルー太陽電池(1.67m²) シースルーアモルファス 光線透過率30% 総出力41.2W 工事費¥2,289,000 ●出窓ユニット系 <ul style="list-style-type: none"> 外側 <ul style="list-style-type: none"> ⑦ 5mm 透明普通ガラス(1.55m²) ⑦ 6mm 透明ガラス+シースルー太陽電池(0.54m²×2) アモルファス, シースルーアモルファス 2.25m² 総出力45.5W エアコン内蔵 内側 <ul style="list-style-type: none"> ⑦ 6.5mm 調光ガラス 大きさ 305mm×305mm/枚×12枚 光透過率70%から18%に変化させることができる 工事費¥1,416,000 	<ul style="list-style-type: none"> ●サンルームユニット系, 出窓ユニット系 <ul style="list-style-type: none"> 温風ダクト φ125 (鉄板0.5mm 厚) ファン 出力 入力 電圧 <ul style="list-style-type: none"> 10W 25W DC24V ●サンルームユニット系 <ul style="list-style-type: none"> 電気ヒーター 1φ~100 V~700W (温風ダクト内蔵) 工事費¥765,000
	<p>光ダクト</p> <ul style="list-style-type: none"> ●サンルームユニット系 <ul style="list-style-type: none"> 光ダクト 内寸 200×200mm, 全長3.37mm ガラス鏡ダクト <ul style="list-style-type: none"> 反射率93% (通常78%) 採光部 開口面積 0.294m² 放光部 " 0.04m² 工事費¥295,000
	<p>太陽熱温水器</p> <ul style="list-style-type: none"> ●サンルームユニット系 <ul style="list-style-type: none"> 通水型真空管式 <ul style="list-style-type: none"> 集熱面積1.75m² (真空管10本) 寸法, 2830^L×980^H×1500^D 貯湯槽230ℓ 工事費¥1,314,000

ムのウィンドウコレクター内部のブラインドは、冬季集熱効率を評価するため、運用上黒色面を表に向けて降ろした状態で行なった。また、出窓の調光ガラスも透過率

を18%にまで下げた状態とした。室内間仕切りは、居住者の希望で日中はすべて開け放した状態で行なった。

計測ポイントは空気温度17点, 表面温度2点, 日射量

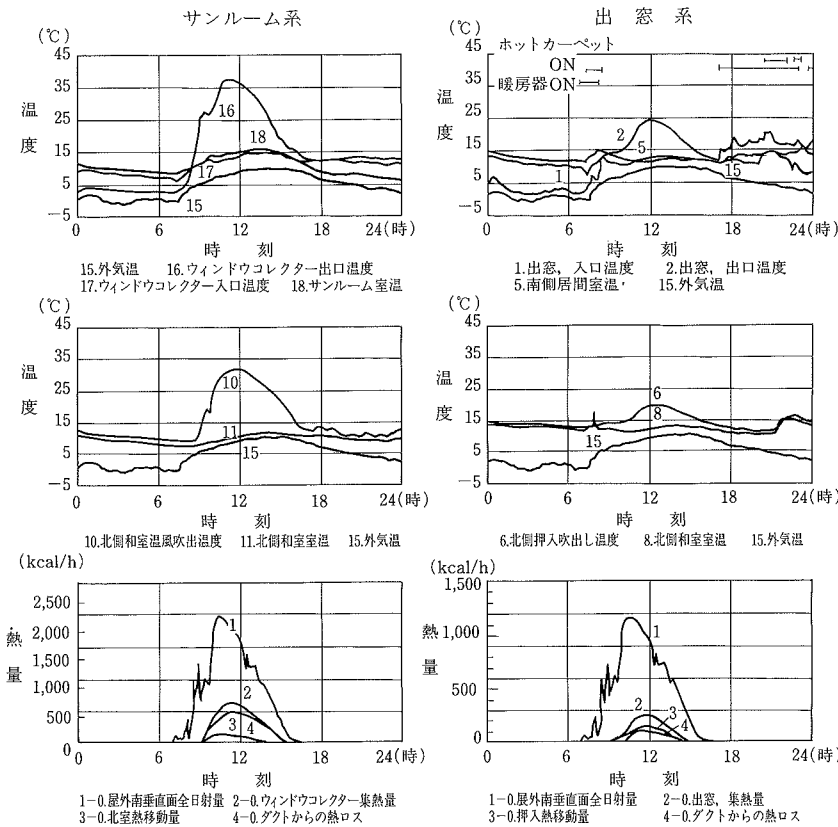


図-3 各部温度と移動熱量の時刻変動 (H 1.2.14)

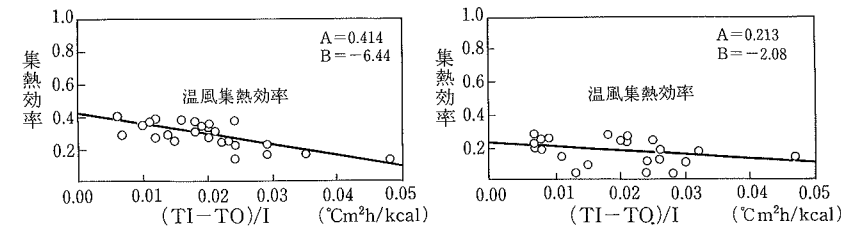


図-4 集熱効率と内外温度差/垂直面日射量

2点, 風速2点である。これらのデータは, データロガーを介して, 10分間隔で取出し, テープに記録した。光ダクトの性能実験については, 12月の冬至前後より翌年3月にかけて1カ月ごとの晴天日に測定を行なった。計測ポイントは, 屋外水平面照度1点, 室内水平面照度3点で, デジタル照度計を用いてデータロガーで1分間隔に記録した。なお, 放光部照度については, 15分間隔に9分割した各点の測定を行ない, その平均値により求めた。

3.2 夏季測定概要

冬季測定に引続き夏季測定を行なった。冬季測定ではサンルームのウィンドウコレクターや出窓で集熱した温風は暖房や乾燥に使用していたが, 平成2年5月より外部に排熱する経路に変更した。

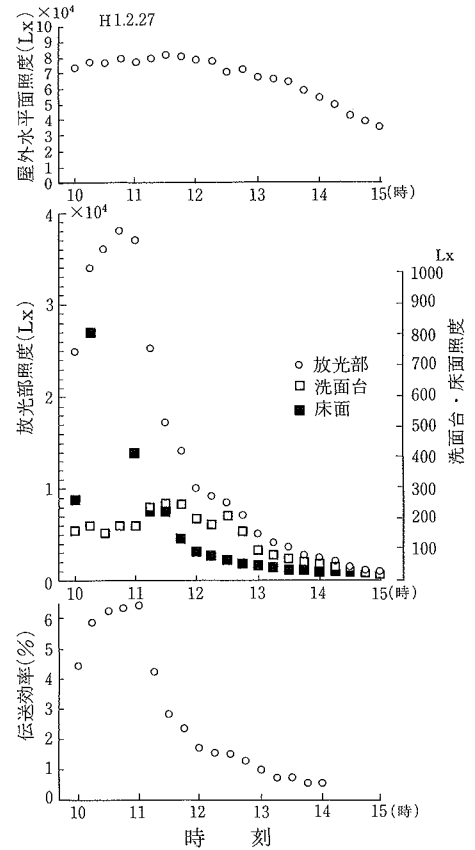


図-5 室内照度と伝送効率の経時変化

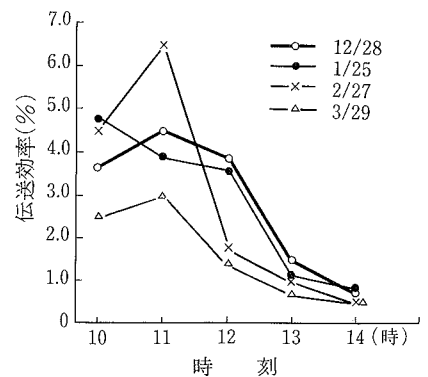


図-6 月別の伝送効率の変化

夏季の温風排熱効率を評価するため, ウィンドウコレクター内部のブラインドを下ろし白色面を表に向けた。また, 出窓の調光ガラスは透過率を18%に下げた状態とした。

光ダクトの性能実験については, 7月, 9月の晴天日に近い日を選び解析を行なった。なお, 測定方法, 測定間隔, 計測機器については冬季と同様にした。

3.1 冬季測定結果

3.3.1 熱搬送システム 熱搬送システムの測定結果を図-3, 4に示す。

(1) サンルーム系統 サンルーム室温はブラインド

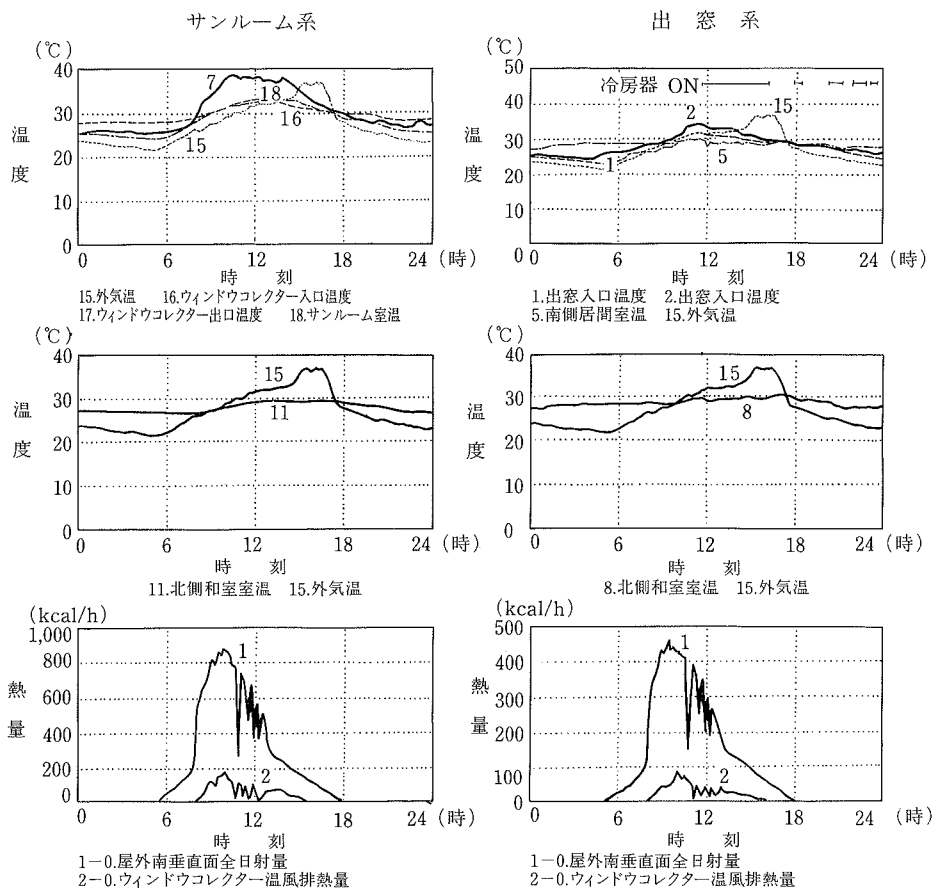


図-7 各部温度と排熱量の時刻変動 (H 1.7.22)

を降ろしていたため日中でも17°C程度である。送風量は108 m³/hであるが、ウィンドウコレクター出入口温度差は25°Cに達している。熱搬送を行なっている北側和室の吹出し口温度は、熱搬送が始まる8時30分頃に8°Cであったのが日中32.5°Cに上昇している。温風搬送をしない晴天日の北側和室の温度は、日中でも外気温より3°C程度低い値であったが、温風搬送した場合は2°C高くなっており、温風搬送によって5°C程度の改善が見られた。図よりピーク(11時)時においては、屋外南垂直面日射量2,100 kcal/h(南側ガラス面に対し)の時、ウィンドウコレクターの集熱量は760 kcal/h、配管からの熱ロスが180 kcal/hとなり、北室への熱搬送量は580 kcal/hであった。また、1週間の熱移動量積算値は11,670 kcalで、南中時前後(10時~14時)の集熱効率は、0.18~0.42程度であった。

(2) 出窓系統 居間の室温は朝方12.5°C、暖房器をONにした8時には15°Cに上昇、8時30分以降17時までは13°Cとほぼ一定となっていた。南室出窓で集められた熱は北側居室の押入に送られており、吹出しの温度は最高20°C程度であった。図よりピーク(11時)時においては、屋外南垂直面日射量960 kcal/h(調光ガラス面全体)に対して出窓の集熱量は270 kcal/h(送风量73 m³/h)であった。1週間の熱移動積算値は、3,420 kcalとなり正午前後の集熱効率は0.05~0.2程度であった。

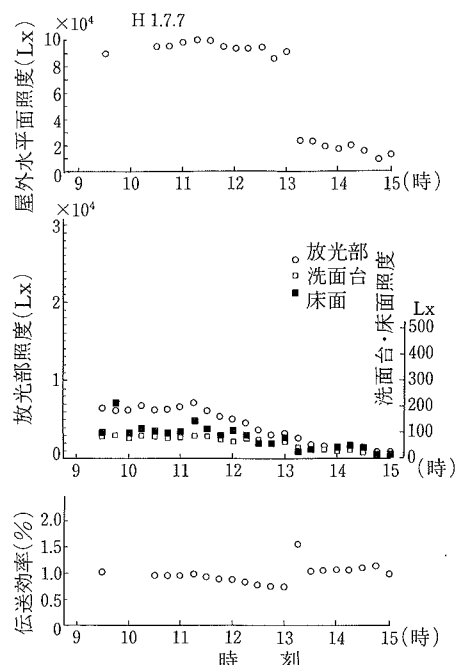


図-8 室内照度と伝送効率の経時変化

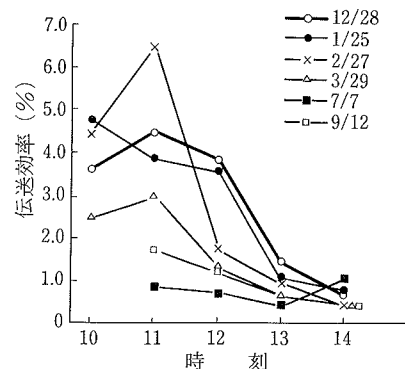


図-9 月別の伝送効率の変化

3.3.2 光搬送システム 2月27日の屋外、室内の照度及びダクトの伝送効率(光ダクトの入出力光量比)を図-5に示した。また、月別の伝送効率の変化を図-6に示した。図より照度のピーク時が10時45分になっているのは、建物が真南より東に二十数度振れているためである。屋外水平面照度は10時~12時にかけて85,000 Lxあるのに対し、室内照度は、洗面台(放光部中心より70 cmずれている)中央で、平均200 Lx弱の値であった。放光部真下の床面では、100~800 Lxと大きな変動が見られた。伝送効率は9時30分~11時にかけて5.5%前後であった。月別の伝送効率を見ると、直射光が入る10時~12時にかけては、月別の太陽高度、反射鏡の角度からくる特徴が見られる。すなわち、2月は伝送効率が最大となるが持続時間が短く、12月、1月は、平均的に見て伝送効率が高く、3月には低くなってしまふ。また、13時以降は拡散光だけとなることから月別の変動は少ない。

3.4 夏季測定結果

3.4.1 熱搬送システム 熱搬送システムの測定結果を図-7に示す。

(1) サンプルシステム サンプルの室温が四方ガラス張のため、日中30~33°Cと高く外気温と同様の値を示しているのに対し、北側和室の温度は29°C前後であった。外気温が15時~17時にかけて37°Cぐらいに上昇しているが、これは日射の影響によるものである。送風量は84 m³/hであるが、ウィンドウコレクター出入口温度差は最高7 deg 近くに達している。屋外垂直面日射量860 kcal/h(南側ガラス面全体に対し)の時ウィンドウコレクター温風排熱量は160 kcal/hで、その割合は19%となった。

(2) 出窓システム 南側の室温は冷房器ONにより28°C程度である。居間に隣接した北側居室の室温は、10時以降より外気温の上昇とともに30°Cにまで達している。出窓の出入口温度差は最高2.4 degであった。屋外垂直面日射量445 kcal/h(調光ガラス面に対し)の時、出窓の温風排熱量は87 kcal/h(送風量127 m³/h)で、その割合は19%であった。

3.4.2 光搬送システム 7月7日の屋外、室内の照度及びダクトの伝送効率(光ダクトの入出力光量比)を図-8に示した。また、月別の伝送効率の変化を冬季の測定結果とともに図-9に示した。図より照度のピークが11時15分になっているのは、建物が真南より東に27度振れているためである。屋外水平面照度が9時30分~11時30分にかけて95,000 Lxあるのに対し、室内照度は、洗面台(放光部中心より70 cm ずれている)中央で平均90 Lx弱の値であった。放光部真下の床面では80 Lx~150 Lxと、冬季に比べてそれほど大きな変動が見られなかった。年間を通して見ると伝送効率は夏季の全日並びに冬季・中間季の13時以降は拡散光だけとなることから月別の変動が少ないことが確認された。なお、居住状態における測定は、建物取壊しのため7月末までとした。

4. 居住性の調査結果

調査はヒアリング形式で、パイロット住宅の使い勝手等に関して居住者及び測定者を対象に行なった。結果を以下に示す。

① HAを採用したため照明、ブラインド、調光ガラスの制御は一箇所で作成出来るので便利。

② サンプルの引き違い2重ガラスは操作性が煩雑である。その反面、交通騒音が緩和された。

③ サンプルは明るく自然を満喫出来るが、冬季の寒さや夏季の暑さが気になる。

④ サンプルは、天井面がガラスであることから開放的で気持が良いが、上階からの落下物が不安である。

⑤ 熱搬送システムによる全体的な居心地は、改修前と同じ棟の4階(最上階)に居たときに比べて、外出先から戻ると部屋全体に暖かさを感じる。しかし、熱搬送時は足元が寒い。

⑥ 光搬送システムは、窓が取れない部屋の中でも外部の天候状態が確認できる。

⑦ 出窓ユニットについては、窓が押し開きタイプで全開出来ず風の通りが悪かった。

⑧ 調光ガラスは、室内が薄暗くなる。調光ガラスを入れたため、日中南側の部屋の温度が上昇せず、寒かった。また、調光ガラスをいれたため、南側居室に比べて北側の居室の方が明るく暖かさを感じた。

5. パイロット住宅の総合評価

5.1 居住性

サンプルは、明るさ、眺望、広さ、外部騒音の遮音等に良さを見出していた。部屋の使われ方を見ると、一室を多目的に利用しており、家族全員が楽しめたようである。光搬送システムについては、放光部が万華鏡のように見え、室内が明るく、見学者にとっても好評であった。このように、サンプルユニットに対しては高い評価が得られたが、出窓については、調光ガラスによる明るさ等に不満が見られた。また、冬季の寒さ夏季の熱さ及びサンプル天井面への落下物に対する不安を挙げていることから、設計段階で工夫を講じる必要がある。更に、冬季の熱搬送時に足元が寒いということが挙げられ、室配置等プラン上の検討を必要とする。

5.2 技術面

施工性：今回開発した多機能外装材は新築のみならずリフォームに際しても適用することができる。更に、多機能外装材としてではなくサンプル、ウィンドウコレクター、光ダクト等単一として用いることも可能で、建物の用途あるいは住まい手のニーズに適用できるものである。ただし、サンプルユニットとして建物に設置する場合は、千鳥配列あるいは各階おきというように設置上の制約を受ける場合もある。

機能性：光ダクトは一辺が20 cm角であることから、奥行5 m程度が限界である。調光ガラスは、一枚のガラスが小さくサッシュ部分が多くなる等制約がある。更に、紫外線等による変色の問題があり、太陽電池の色彩とシースルー太陽電池の黒色配線等意匠的な観点と共に、今後メーカーでの改良が必要である。

制御性：太陽熱温風搬送時に、太陽電池を動力源とする制御は、太陽光があるときだけ作動するため、操作の必要がなくて良い。調光ガラスも太陽光を感知する制御システムにできれば、操作上スイッチのON、OFFや消し忘れ防止にもなる。現状は調光されたままのガラスであるため、曇天日などは室内が暗くなり手動にたよる状態である。

5.3 市場性

エネルギー節約効果と環境問題への対応から見ると、地球環境の汚染が問題となり、省エネルギー等によるCO₂削減が重要課題となっている今日、政策的対応、宣伝広報活動により市場性の拡大がかなり期待できると考えられる。室内環境向上効果の面からは、結露防止対策

表一2 経済性評価

(単位:円)

		断熱・窓二重化・南北熱移動		南 北 熱 移 動		
		商用電源利用	太陽電池利用	商用電源利用	太陽電池利用	
イ ニ シ コ ヤ ス ル ト ・ 増	ウィンドウコレクター	200,000	200,000	—	—	
	サンルーム	300,000	300,000	—	—	
	ファン・ダクト	50,000	50,000	50,000	50,000	
	太陽電池	—	100,000	—	100,000	
	北窓二重化・断熱	250,000	250,000	—	—	
	計	800,000	900,000	50,000	150,000	
ラン ニ ン グ コ ス ト 減 と 年 数	ガ ス	負 荷 大	42,450 18.8年	43,200 20.8年	8,250 6.1年	9,000 16.6年
		" 中	35,250 22.6年	36,000 25.0年	6,750 7.4年	7,500 20.0年
		" 小	28,050 28.5年	28,800 31.3年	5,250 9.5年	6,000 25.0年
	灯 油	負 荷 大	26,950 29.7年	27,700 32.5年	4,950 10.1年	5,700 26.3年
		" 中	22,350 35.8年	23,100 39.0年	4,050 12.3年	4,800 31.3年
		" 小	17,750 43.2年	18,500 48.6年	3,050 16.4年	3,800 39.4年

イニシャルコストの算出: ウィンドウコレクター (1.8×2.7m), サンルーム (1.8×3.2m), 北窓 (1.8×1.8m×2個), 断熱 (0.8万/m²×19m²), ファン(入力50W), ダクト (フレキシブルダクト), 太陽電池 (ピーク100w)

ランニングコストの算出: 基本負荷の減少は計算結果により3,413Mcal (一般仕様) → 1,187Mcal (断熱・窓二重化) → 604Mcal (南北熱移動) となる。さらに負荷大, 中, 小を基本負荷の90%, 75%, 60%とした。又エネルギー費は, 効率も考慮し, ガス17円/Mcal, 灯油11円/Mcalとした。

表一3 各部位の問題点と改善策

問題点	改善策
■サンルーム系	
・引き違い二重ガラスは操作が煩雑	ブラインド内蔵の内外一体型ウィンドウコレクターとする
・サンルーム冬季の寒さ	サンルーム開口部はすべてペアガラスとする
・サンルーム夏季の暑さ	天井面開口部に遮蔽装置 (ロールブラインド等) を設置する
・サンルーム上階からの落下物に対する不安	強化ガラスを使う
■出窓系	
・風の通りが悪い	南面窓開口部を引違いとする

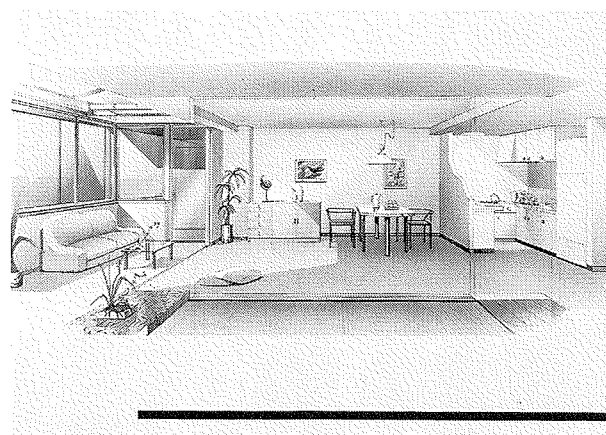
や冷放射対策, 戸内均一温度によるコールドショックの低減等, 快適性・健康性の面からの効果が期待できる。更に, 本システムは, サンルーム, 多機能窓等から構成されており, それ自体が空間構成要素であることから, 空間としてのアメニティ効果もかなり期待出来る。従って, 熱エネルギー経済効果, 地球環境問題に対する対応策としての省エネルギーに対する政策的助成, そして環境・空間によるアメニティ効果これらを複合的にアピールすることにより, 市場性が充分期待できると考えられる。

5.4 経済性

実験データより得られたシステム性能を考慮し, 空調学会で開発した動的負荷計算シミュレーションプログラムを一部改良して, 一般仕様の建物に要素技術導入後の効果を熱経済効果によって行なった。計算対象として中間階, 中間部に位置した 94.2 m² の集合住宅を想定した。一般仕様は, 窓ガラスが普通 (一枚) ガラスで, 外壁に



写真一4 建物全景



写真一5 室内パース

は断熱がなく、南北間の熱移動がないものとした。これに対して要素技術の導入後の仕様としては、窓を二重化し50 m/mの断熱を施し、南北熱移動を行なった場合（実験結果等から南室の余剰熱の50%が北室に送られるとした）を求めた。また、いずれの場合も、運転時間は7～24時、設定室温は20～26°Cと幅を大きくとった。計算結果を表一2に示す。なお、一般仕様の建物及び断熱・窓二重化や南北熱移動を計った場合の建物における基準負荷の減少を表中に記す。表中の経済効果は、南北熱移動以外に基本となる屋外の断熱、窓の二重化も含んだ場合と、南北熱移動だけを評価した場合、さらに太陽電池利用の有無についても検討を加えた。

以上の結果より燃料種類、エネルギー使用率、太陽電池利用の有無によって異なるが、単純償却年数は良いもので20年弱の値となった。また、南北熱移動装置だけの評価を見ると、負荷減少効果は小さいがローコストであることから、単純償却年数は10年以下のケースもある。

6. 未来指向型21世紀マンション住宅の提案

システム性能及び居住性能評価をもとに、各部位の問題点に対する改善策を講じた(表一3)。また、これまで開発してきた要素技術や将来的に実用可能な技術を取込み、21世紀型集合住宅の提案を行なった。

建物の全景を写真一4に、室内パースを写真一5に示す。建物1住戸の広さは3 LDK+サンルームで延床面積が80 m²の比較的オーソドックスなタイプである。前面、

両サイドそして天井面に開口部をもつサンルームを偶数階に、前面と両サイドのみの開口部をもつサンルームは奇数階に配した。偶数階のサンルームユニットはウィンドウコレクター、採光部、シースルー太陽電池、太陽集熱器が一体化されており、奇数階のサンルームユニットはウィンドウコレクターと太陽集熱器のみが一体化されている。また、各階の南側6帖バルコニー上部の軒端に、窓の取れない部屋に光を送るための装置として大口径光ファイバーを取付けた。

7. おわりに

今後、開発した技術は人間の心理・生理に訴えた形で快適性を達成できる自然エネルギー有効利用システムである事を強調して、設計部を中心として普及に力を入れたい。また社内、外の研究発表会や各種展示会への出展を通して、開発した技術のPRを行なう。

謝 辞

本研究は通産省生活産業局から21世紀マンション研究組合への委託研究を当社が分担して行なっているもので関係各位に感謝を表します。

参考文献

- 1) 竹本, 他: 集合住宅における自然エネルギー利用法に関する研究 (その2), 大林組技術研究所報, No. 36, p. 143~147, (1988)