

バルコニー一体型ソーラー利用 集合住宅自然冷暖房換気システムの開発

佐 竹 晃

義 江 龍 一 郎

要 旨

2003年7月施行の改正建築基準法で、住宅への24時間換気設備設置が義務化されたが、これは住宅の冷暖房・換気エネルギーの増大を招く懸念がある。一方で、増加し続ける住宅部門でのエネルギー問題が社会問題となっている。筆者らは、この義務化となった24時間換気設備の空気搬送力を利用して、バルコニー手摺で得られるソーラー熱や外気冷熱等の自然エネルギーを積極的に室内へ導き、省エネルギーを実現する集合住宅用自然冷暖房換気システムを考案し、実用化開発に着手した。まず、ソーラー集放熱パネル単体での集熱実験とCFD（数値流体）解析による数値実験を実施し、高効率なパネル仕様を決定した。また、提案システムをモデル化した住戸温熱シミュレーションを実施し、システムの詳細を設計するとともに、提案システムにより冷暖房エネルギーの半減が見込めることを明らかにした。これら検討結果をもとに、3LDKプランの住戸実大試験装置を製作、2003年3月より実気象条件での実証実験を開始し、まずは各室換気性能が良好であることや1、期待通りのソーラー暖房効果が得られることを確認した。

キーワード 自然エネルギー利用／ソーラー暖房／外気冷房／24時間換気設備

目 次

- | | |
|-------------------|---------------------|
| 1. はじめに | 5. システム導入効果シミュレーション |
| 2. 自然冷暖房換気システムの概要 | 6. 実大住戸試験装置の性能試験 |
| 3. 集放熱パネルの単体集熱実験 | 7. まとめ |
| 4. 集放熱パネルのCFD解析 | |

Development of HVAC System for Condominiums with Solar Collectors United with Balcony handrail

Akira SATAKE

Ryuichiro YOSHIE

Synopsis:

Recently 24-hours ventilation systems have been legally introduced into condominiums, which might increase unnecessary energy consumption. We devised a new HVAC system that took use of the ventilation systems to harness solar heat and outside cool air, and started research and development of the system.

Firstly, We carried out heat collector efficiency tests and numerical calculations on solar panels in order to determine the specification of the panel.

Secondly, we conducted dynamic thermal load calculations on a model dwelling unit to optimize the control strategy for the HVAC system. According to the calculation results, the optimal system has high performance for both energy saving and thermal comfort.

Lastly, Based on these investigations, we manufactured a full-sized examination equipment -a reproduction of a 3LDK(s) condominium. With the equipment, we have started a series of tests in real weather conditions.

1. はじめに

わが国において住宅の消費エネルギーはこの20年間で1.5倍に増加し、総エネルギー消費量の14パーセントを占めている¹⁾。また今夏よりシックハウス対策のために、住宅への24時間換気設備設置が建築基準法により義務付けられるが、これは住宅の冷暖房・換気エネルギーをさらに増大させると予想される。こうした住宅の消費エネルギーを削減するためには、自然エネルギーや未利用エネルギーの活用が極めて重要となる。かねてより戸建住宅では、ソーラー熱を利用した給湯や暖房システム、太陽電池を装備した例が見られるが、全国の住宅の4割を占める集合住宅ではそのような自然エネルギー利用の試みは殆ど行われていない。

このような背景のもと、筆者らは設置が義務化された24時間換気設備の空気搬送力を利用し、バルコニー手摺で得られる冬のソーラー熱や、夏・中間期の外気冷熱等の自然エネルギーを、積極的に室内へ導く集合住宅用自然冷暖房換気システムを立案し、開発に着手した。本換気システムの最適設計を目的とした要素実験や種々のシミュレーションによる検討を経て、2003年2月に実大住戸試験装置が完成し、今回、冬季気象条件のもとでの試験結果が得られたので、一連の研究過程を報告する。

なお、本開発は2002年度国土交通省「建設技術研究開発助成制度」からの支援を受け、東北大学、東京大学、東芝キヤリア(株)との共同で実施したものである。

2. 自然冷暖房換気システムの概要

図1に自然暖房モード、図2に自然冷房モードのシステム形態をイメージ図で示し、その説明を以下に記す。

冬の日中(図1)や夏の夜間(図略)には、バルコニー手摺一体型の空気式集放熱パネル(以下、集放熱パネル)に新鮮外気を通し、ソーラー熱や夜間放射冷熱の取得を図りその後に住戸内へ取り入れる。夏期や中間期で集放熱パネルが不要かつ室外が室内より快適な場合には、外気をもつ冷熱を直接多量に取り入れる(図2)。これらの空気搬送に24時間換気装置を用いたことで、住戸換気を行う課程で自然エネルギーの有効利用(住戸冷暖房エネルギーの低減)を図るシステムである。

24時間換気装置は、従来からある第1種(同時給排気型)全熱交換型をベースとし、図3に示すように①外気を集放熱パネル経由で導入するか、パネルを通さず直接導入するかを切替える機能、②全熱交換器のバイパス機能、③可変風量機能の3つの機能を付加させる。そして、換気装置内で、住戸内・外気・集放熱パネル内の温湿度を検出し、3者の条件により前記外気導入経路選択、全熱交換器を通すか否か、最適風量についての自動制御を行い、冷暖房エネルギー低減に有利な運転を行わせる。

本換気装置で制御・調整された新鮮外気は、まず床先行工法により形成される仕切りの無い置き床下の空間へ

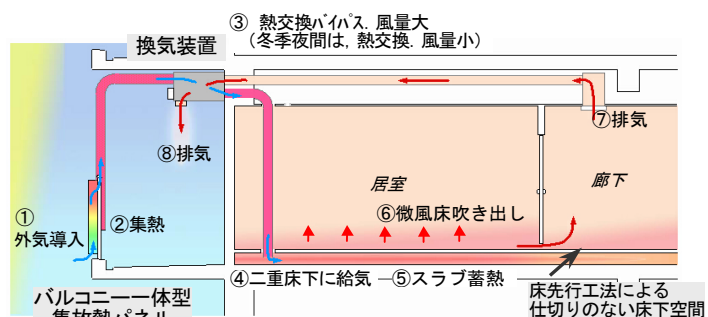


図1 自然暖房モード(冬季日中)

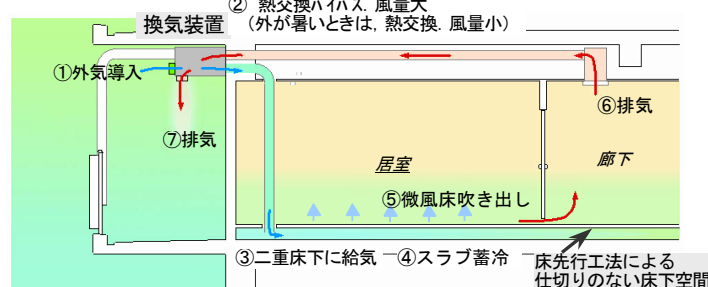


図2 自然冷房モード(夏季)

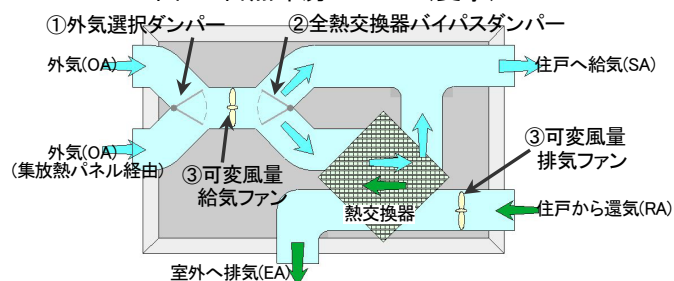


図3 換気装置機構イメージ

導き、コンクリートスラブへ蓄熱・蓄冷を行わせる。このスラブ蓄熱・蓄冷により、昼夜の室温変動が平準化され快適な室内環境を実現させる。置き床下の通過後は、各居室の巾木スリット等から吹き出させ各室へ供給し、その後、廊下天井の排気グリルから排気させる。

3. 集放熱パネルの単体集熱実験

高効率な集放熱パネル仕様検討を目的とし、まず単体パネルによる基礎実験を実施した。これは、空気式集放熱パネルの基礎性能把握と、次章に述べるCFD解析の精度検証用データの取得を目的に実施した実験である。

3.1 試験体概要

集放熱パネル試験体を図4に示す。幅1m×高さ1mで、表面から単板ガラス、空気流通用中空層、集熱アルミ板、断熱材、背面保護アルミ板で構成した。本報では結果を省略するが、その他に表面が複層ガラスの仕様もあわせて実験した。なお、本パネル仕様は仮に決めたもので最終仕様ではない。

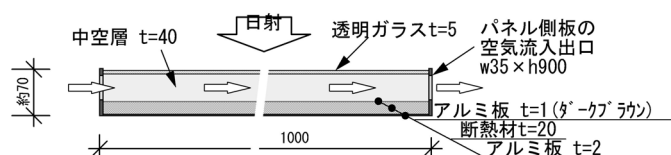


図4 集放熱パネル試験体 平面図

3.2 実験概要

面日射量 1000W/m^2 までのデータ取得を目指し、傾斜角 30 度で真南に向けて試験体を設置した(写真 1)。試験体の中空層出口に吸気ボックス、ダクト、ファンを接続し実験装置を構成した(図 5)。パネル集熱量は、パネル通過による温度上昇量と中空層通過風量の計測値から算出。その他、パネル面日射量、中空層温度、パネル背面温度、パネル背面熱流等を計測した。

実験は、風量を約 $50\sim 300\text{m}^3/\text{h}$ の範囲で、約 $50\text{m}^3/\text{h}$ 刻みで 30 分毎に自動変更させた。連日連続で自動計測を行い、様々な気象条件でのデータ取得を図った。



写真 1 集熱特性実験風景

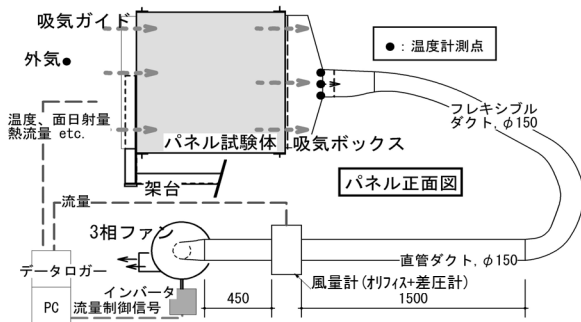


図 5 実験装置概要

3.3 集熱性能実験結果

冬季快晴日(2003/1/30)の単体パネル実験結果を図 6 に示す。当日は終日快晴で、日中 $1,000\text{W/m}^2$ のパネル面日射量があった(図 6 上)。24 時間換気システムでの法定風量は、 $100\text{m}^3/\text{h}$ 前後(3LDK 住戸を想定)となるが、この風量時(12:00~12:30)には約 12°C の温度上昇が得られている(図 6 中段)。これは熱量に換算すると約 400W となり、集熱効率で 40% 以上の値が得られている。この集熱効率は風量の増大とともに向上し、風量 $300\text{m}^3/\text{h}$ 時には 60% 以上の高い効率で集熱できることを確認した(図 6 下段)。

図 7 には、2003/1/30~2/28 の期間中で、快晴日であった 12 日間のうち、正午を挟む 3 時間分の集熱効率データをプロットした。風量の増大とともに集熱効率が増大することが分かる。図 7 右図は横軸に集熱効率係数(中空層平均温度と外気温度との差を、面日射量で除したもの)を取ったものであるが、水式集熱パネル等の一般的なパネルと同様²⁾にほぼ直線で回帰できることが確認できた。

4. 集放熱パネルの CFD 解析

高効率な集放熱パネル仕様を決定するために、CFD 解析モデルの検討、実験データによる検証を実施した。そして、より効率の高いパネル仕様を探るため、様々な要因

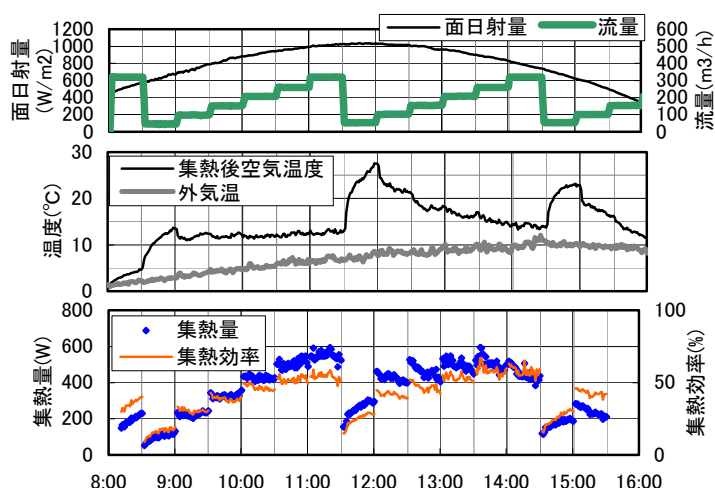


図 6 2003/1/30 の実験結果

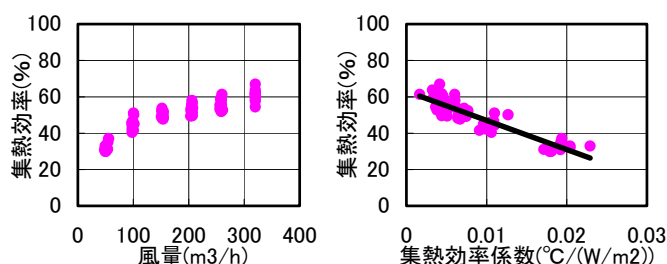


図 7 集熱効率実験結果

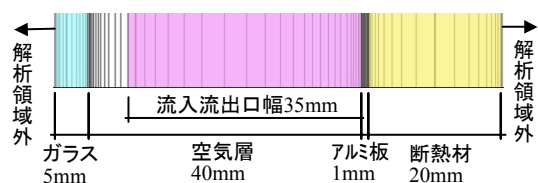


図 8 断面方向メッシュ分割

が集熱効率に及ぼす影響を CFD 解析により調べた。

4.1 解析の概要と妥当性検証

- (1) 計算モデル: 図 4 に示した集熱パネルについて日射・放射連成 CFD 解析を実施した。パネル内表面の対流熱伝達量を精度良く求めるために、低 Re 数型 $k-\epsilon$ モデル³⁾を使用した。
- (2) 計算メッシュ: 図 8 に断面方向計算メッシュを示す。厚さ方向 $69 \times$ 幅方向 $56 \times$ 高さ方向 $56 = 216,384$ メッシュに分割。パネル内表面からの第 1 メッシュ幅は 0.2mm である^{注 1)}。
- (3) 境界条件: 風量を $50, 100, 150, 200, 250, 300\text{m}^3/\text{h}$ の 5 ケースとし、これを流入口面積で除して求めた流速 U を流入口に一样に与えた。その他条件は注 2) に記す。
- (4) 計算結果: 図 9 に CFD 解析により得られた集熱効率を示す。同図には本解析と同条件の実験結果をプロットしているが、解析結果は実験と良く一致しており、CFD 解析モデルが妥当性であることを確認できた。図 10 には CFD 解析による各部位からパネル外への失熱量を示す。風量の増大に伴いガラス表面からの失熱量が大きく減少し、これが集熱効率の増大に効いている。

4.2 パネル仕様検討のための CFD 解析

流量を $200\text{m}^3/\text{h}$ に固定し、パネルへの流入温度を、外気温 $+0^\circ\text{C}$ 、 $+20^\circ\text{C}$ 、 $+40^\circ\text{C}$ ^{注3)} の3通りとした条件で、様々な要因が集熱効率に及ぼす影響を解析により調査した。

(1) 背面断熱材厚さの影響

図8の仕様(断熱材厚さ20mm)から、厚さを変化させた結果を図11に示す。その影響は小さく特に20mmと30mmの集熱効率の差はほとんど無い。また四周枠を断熱してもほとんど効果は無かった(図省略)。

(2) 流路空気層厚さの影響

図8の仕様(流路空気層厚40mm)から、流路空気層厚を変化させた結果を図12に示す。流路空気層が薄いほど効率が高くなるが、これは流路を流れる流速が速くなることで、集熱アルミ板から空気への対流熱伝達量が大きくなるのが主要因である^{注4)}。

(3) 複層ガラス

図8の仕様(単板ガラス)を複層ガラス(ガラス5mm+空気層6mm+ガラス3mm)に変えた場合の結果を図13に示す。断熱性は増すが、ガラスを2回透過することでパネル内部への透過日射量が減少するため、あまり効果はない(前章実験でも同じ事実が確認された)。

(4) 選択吸収処理

集熱アルミ板に選択吸収処理(日射吸収率0.9,放射率0.15)を施した場合の結果を図14に示す。選択吸収処理を施すとかなり集熱効率が向上する。これは集熱アルミ板からガラスへの放射伝熱が減りガラスの温度が下がって外への失熱量が減ることが主要因である。

(5) パネル仕様の選定

以上の結果を踏まえ、意匠性やコストも加味した結果、実大実証試験装置に設置するパネル仕様は、ガラス5mm+流路空気層20mm+選択吸収処理無し^{注5)}の集熱アルミ板1mm+断熱材20mm、背面保護アルミ板2mmとした。その集熱性能解析結果は、次章図17に示す。

5. システム導入効果シミュレーション

提案システムの効果量を確認し、また全体システムの仕様決定・設計を行う目的で、住戸冷暖房負荷や室内温湿度に関するシミュレーションを実施した。シミュレーションは、動的熱負荷計算プログラム(MICRO-HASP)⁴⁾をベースに、集放熱パネルでの取得熱量、換気装置での熱交換バイパス制御や給排気風量制御等を考慮するサブルーチンを追加して行った。

5.1 計算住戸モデル、計算条件

計算住戸モデル、計算条件を図15と表1に、住戸外皮構成を表2に、夫婦+子供2人の生活を想定した住戸内発熱条件を図16に示す。集放熱パネルは、前章CFD解析により決定した 1m^2 ユニットを、住戸南面バルコニーの手摺部に7ユニット直列に連結して設置するとした。

住戸内は室温 $19\sim 29^\circ\text{C}$ 、室温 70% 以下を満足するよう

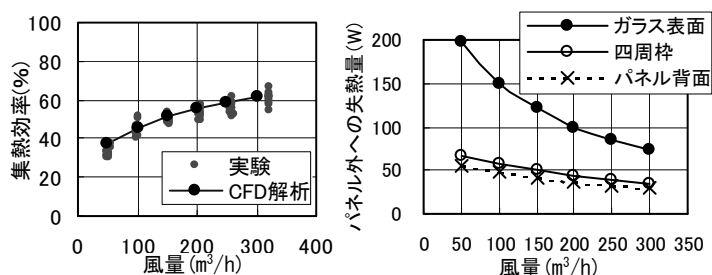


図9 CFD解析による集熱効率

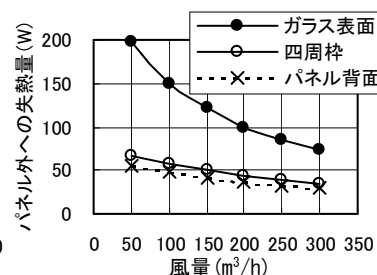


図10 各部位からの失熱量

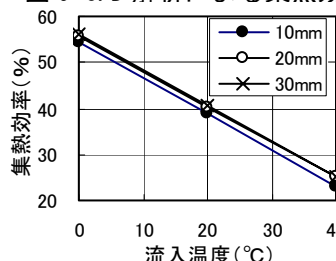


図11 背面断熱材厚さの影響

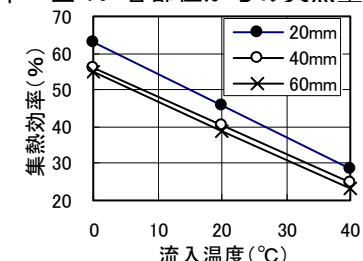


図12 流路空気層厚の影響

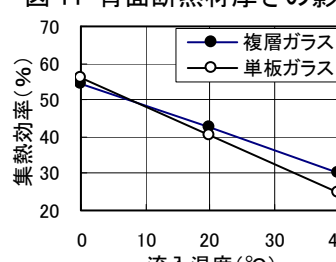


図13 複層ガラスの効果

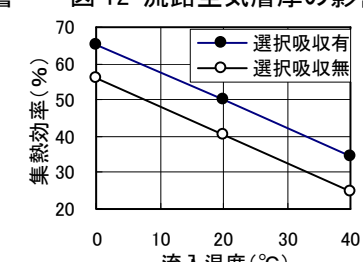


図14 選択吸収処理の効果

表1 計算条件

住戸	南向き片廊下板状住棟、 中間階中間住戸
気象データ	HASP 標準気象データ(東京)
隣接住戸条件	検討対象住戸と同じ室温

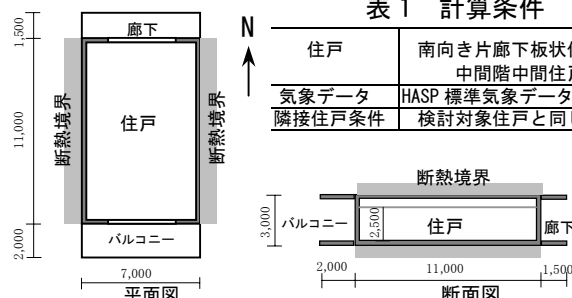


図15 住戸モデル

表2 住戸 外皮構成

部位	面積(m^2)	構成部材(室内より)[厚さ mm]
南外壁	9.3	PB[12]+空気[10]+断熱材[25]+コンクリート[150]
南窓	8.2	ガラス[5]
北外壁	14.1	PB[12]+空気[10]+断熱材[25]+コンクリート[150]
北窓	3.4	ガラス[5]
東西戸境壁	各33	コンクリート[150]
床	77	木[20]+空気[100]+コンクリート[200]+空気[100]+PB[9]
天井	77	PB[9]+空気[100]+コンクリート[200]+空気[100]+木[20]

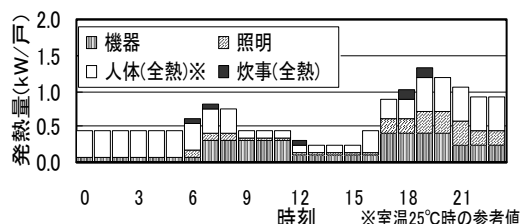


図16 内部発熱スケジュール

7:00~23:00まで空調運転を行う条件とし(設定温湿度を満足している時には空調運転停止)、自然暖房・自然冷房モードは室温 24°C で切り替えをした。

5.2 集放熱パネルによる収集熱量

バルコニーの集放熱パネル7枚で得られる熱量は、CFD解析による単体パネル集熱効率を用いて求めることとした。この集熱効率は、冬至晴天日正午の定日射条件でのパネル1枚のものであるが、動的熱負荷計算に組み込むにあたっては、時刻毎に変化するパネル面日射量、1パネル通過毎に上昇する空気温度、また任意の風量条件を考慮できる計算モデル化が必要であり、以下のように考えた。

パネルの集熱効率は、一般に集熱効率係数（流入温度差／パネル面日射量 $[\text{C}/\text{W}/\text{m}^2]$ ）の一次関数で表せ²⁾、また3章で行った実験でもこのことを確認した。そこで、まずCFD解析結果から図17a)に示すように、集熱効率に関する同一次関数を求めた。次に、任意の流量 $V(\text{m}^3/\text{h})$ での集熱効率 η (%)が算出できるよう、この1次関数の1次項と定数項を図17b)に示すように近似式 $a(V)$ 、 $b(V)$ で表した。これにより任意の流量・面日射量 $I_s(\text{W}/\text{m}^2)$ ・流入温度差 $T(\text{C})$ の元での単体パネル集熱量 $Q(\text{W})$ を式[1]で表せるようになり、年間気象データを用いた集熱量計算が可能となった。

$$Q(V, T, I_s) = \eta(V, T, I_s) \times I_s \quad [1]$$

ここに、

$$\eta(V, T, I_s) = a(V) \times (T/I_s) + b(V)$$

$$T = T_{pin} - T_{out} \quad (\text{C})$$

$$T_{pin} : \text{パネル流入温度}(\text{C}), T_{out} : \text{外気温度}(\text{C})$$

上式により、上流パネルから集熱効率、集熱量およびパネル通過後の空気温をパネル毎に順次求めてゆき、全7ユニット分の総集熱量を算出した。

夜間放熱に関しては、夜間放射量(気象データ)の値が小さく、空気低下温自体が比較的小さいため、放熱効率は、流量、流入温度によらず一律60%^{注6)}とした。

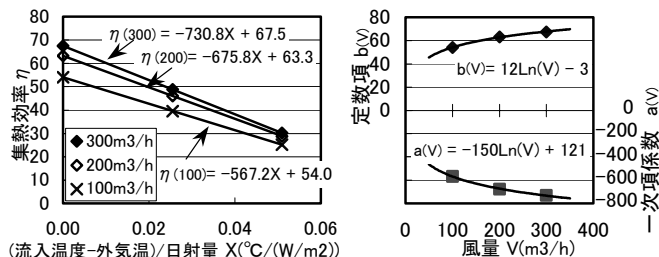


図17 計算に組み込んだ単体パネル集熱効率

5.3 計算ケース

従来型の換気システム2ケースと、提案システムにおいて制御条件が異なる3ケースについて計算を行った。これら計算ケースの条件を表3, その説明を以下に示す。

- Case1 : 全熱交換器が無い定風量24時間換気装置。現状の集合住宅に最も多く普及している換気方式。
- Case2 : 全熱交換器が有る定風量24時間換気装置。
- Case3 : 提案システムにおいて全熱交換器を顕熱(温度)の条件でバイパス制御し、定風量とした場合。

上記3ケースは何れも風量 $96\text{m}^3/\text{h}$ (換気回数0.5回/hに相当)とした。

- Case4 : 提案システムにおいて全熱交換器を顕熱の条件でバイパス制御し、変風量制御した場合。
- Case5 : 提案システムにおいて全熱交換器を暖房期は顕熱の条件、冷房期はエンタルピ(温湿度)の条件でバイパス制御し、変風量制御した場合。

Case4とCase5の変風量とは、暖房期に日射が多い時や、冷房期に外気が低温低湿の場合などに、風量を増してより多くの太陽熱や外気冷熱を取り込むための機構である。本計算では、弱($96\text{m}^3/\text{h}$)、中($168\text{m}^3/\text{h}$)、強($240\text{m}^3/\text{h}$)の3段階の風量制御機構を加味した。

表3 計算ケース

計算ケース	熱交換器		風量		制御法	集放熱パネル
	バイパス機構	固定	固定	可変		
Case1	—	—	○	—	—	—
Case2	○	—	○	—	—	—
Case3	○	○	○	—	顕熱	○
Case4	○	○	—	○	顕熱	○
Case5	○	○	—	○	顕熱 or エンタルピ	○

5.4 計算結果

冷暖房負荷(装置除去熱量・装置供給熱量)の年積算値、及び換気電力の年積算値を図18に示す。

全熱交換器を有するCase2はこれが無いCase1に比べて暖房負荷が半減するものの冷房負荷が2割以上増大することがわかる。

提案システムのうちCase3は、太陽熱利用により暖房負荷がCase1の7割以上減、Case2の約1/2となっている。またCase3は全熱交換器バイパス制御と夜間放射を利用により、冷房負荷がCase2より2割以上減少している。さらに風量を可変としたCase4は冷暖房負荷が減少し、さらに冷房期エンタルピ制御としたCase5は冷房潜熱負荷が減少している。なお換気電力は変風量としても1割程度の増大ですむこともわかる。最も省エネルギー効果の高いCase5は従来の全熱交換型換気装置であるCase2に比べ、暖房負荷5割以上、冷房負荷4割以上減となっている。

図19にはCase1, 2, 5間の室内実現温度の関係を示す。Case1に比べ、全熱交換器を有するCase2は冬も夏も室温が高くなるのに対し(図19a), 提案システムのCase5ではソーラー熱により冬暖かく、外気冷熱の積極利用により夏涼しい室内環境が実現されている(図19b)。

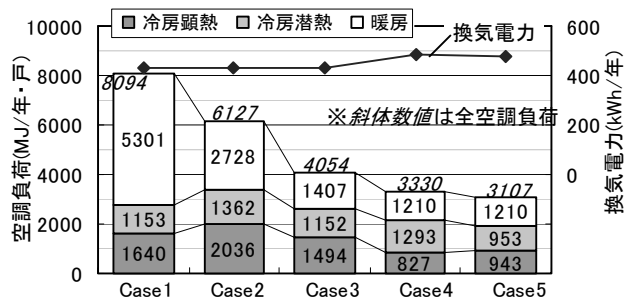


図18 住戸空調負荷年積算値

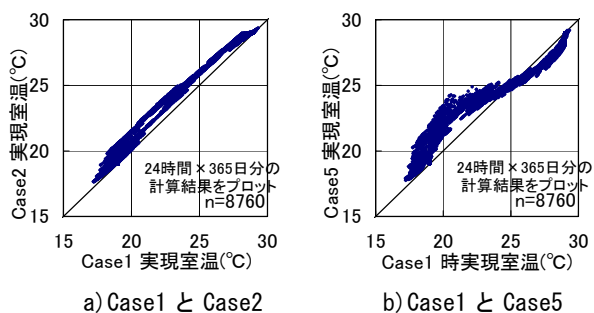


図 19 Case1 と比較した各システムの実現室温

6. 実大住戸試験装置の性能試験

これまでの検討結果をもとに、提案システムの機器構成、機器仕様、機器制御方法等を決定し、実大実証試験装置を製作、性能検証を開始した。本章では実大試験装置の概要と、換気性能の予備試験およびバルコニー手摺に設置した集放熱パネルの冬季集熱実測結果を報告する。

6.1 実大住戸試験装置概要

実大住戸試験装置（以下本装置）の平面図、断面図を図 20 に、装置概要を表 4 に示す。本装置は、南面にバルコニーのある板状集合住宅の標準的な 3LDK プランを再現している。本装置の構造は、図 20b) に示すように断熱材 100mm を施した東西壁、屋根からなる外殻に、温度調整が可能な循環中空層を設けた上、試験住戸（以下住戸）を内包させた 2 重構造となっている。中間階中間住戸の熱環境条件を再現するために、この循環中空層は住戸内と同温度に制御しており、住戸界壁、床、天井からの熱流

表 4 装置仕様

場所	埼玉県比企郡
住戸部寸法 (mm)	間口 6,400、桁行 12,250、天井高 2,500(1 部 2,150)、バルコニー巾 2,000、専有部面積約 78m ²
集放熱パネル	合計面積 7.4m ² (1m ² ユニット 6 枚 +1.4m ² ユニット 1 枚)
外壁仕様	断熱 30mm(南北壁)
窓	北居室:腰窓(h1,000)、南 LD:掃出し窓(h2,000,w4,000)

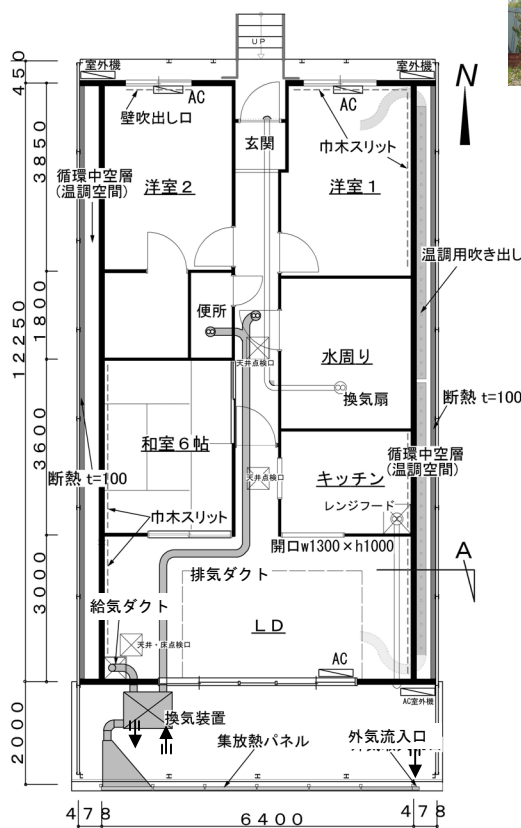


a) 吹き出し巾木



b) バルコニー設置の開発換気装置

写真 3 実大実験装置



a) 平面図



b) A 断面図

入出が、周囲を隣接住戸で囲まれる実際の集合住宅と同等となるよう配慮した。

住戸は、蓄熱用コンクリートスラブ上に PB にて東西界壁・天井を気密につくり、床先行の置き床、間仕切り壁、建具等内装を施した。なお住戸相当隙間面積(C 値)は、約 2cm²/m² (給排気口目張り時: 1.1cm²/m²) と RC 造と同等の気密性能を実現している。

設備面では、置き床下を給気用経路に利用し、洋室 2 と水廻りを除いた各室には巾木吹き出しスリット(写真 3a)を設けた。バルコニー手摺部には集放熱パネル(写真 2)を、バルコニー天井には試作換気装置(写真 3b))を設置し、天井下に配したダクトで両者を接続している。洋室 2 には置き床下からさらに壁体内へ流れる給気経路をつくり腰窓下部から給気する方式としており、洋室 1 の巾木スリット方式と比較評価が行える。

換気装置から住戸南西角の縦ダクトを経由して置き床下に導入された後に各室へ給気された空気は、各室扉のアンダーカット(h=20mm)を経由し、便所・廊下の天井に 2 箇所設けた排気口より排出される。なお、使用建材は全て FC0、ECO 同等以上とした。

写真 2 実大試験装置 全観

図 20 実大試験装置

6.2 換気装置の概要

外気選択機構，全熱交換バイパス機構，変風量機構をもつ換気装置試作機を，写真4に示すようにバルコニー天井部に設置した．装置内部には給気用・排気用2ケの送風DCファンがあり，最大風量は $300\text{m}^3/\text{h}$ である．

装置内部にある，外気選択ダンパー，熱交換部ダンパーと，2台のファン風量は，パソコンにより任意に制御出来るようになっており，装置で検出される，室内，屋外，集放熱パネル内の温湿度をもとに，最も省エネルギーとなる運転方法をパソコンで自動制御している．

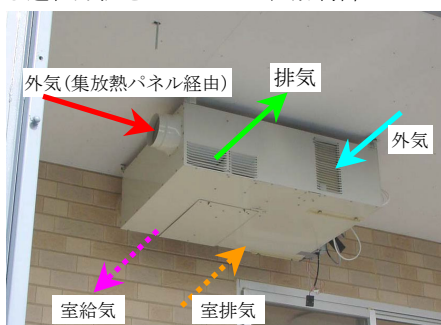


写真4 換気装置(集放熱パネルへのダクト未施工状態)

6.3 住戸換気性能

(1) 試験概要

置き床下を給気経路とした提案システムで，各室が均等に換気されるかを確認するため，扉アンダーカット通過風速や，巾木スリット吹き出し風速を計測した．なお，和室-LD間の襖は全開とし，全扉および和室-廊下間襖は全て閉鎖した．

(2) 試験結果

巾木スリット部等の給気吹き出し風速，および扉アンダーカット(中央)通過風速を図21に示す．巾木風速は全部位で 1m/s 強でその分布に極端な偏りはなく，置き床下を給気経路に利用した提案システムが全室換気装置として機能することが確認できた．扉アンダーカット通過風速は全扉で 1m/s 程度であり，北側洋室1, 2の換気量は

バランスが取れているが，床面積の大きいLDK+和室の換気量は北側洋室に比較して現状では少なくなっていると考えられる．今回の予備計測では和室-廊下間襖での流量が計れなかったこともあり，正確な換気量が計測できておらず，今後一定濃度法による各室換気量の正確な計測を行い，全室で均一な換気量が得られるようアンダーカットサイズ調整等を行う予定である．

6.4 バルコニー集放熱パネルの冬季集熱性能

(1) 実測概要

バルコニーに設置した連結集放熱パネル(約 7.4m^2)の，冬季集熱性能を実測した．集熱量は，集熱パネル通過後の空気温上昇量(換気装置取入れ温-パネル流入温)と，給気風量の計測値から算出した．給気風量はダクト中央風速から換算^{注7)}した．なお，その他に外気温湿度，集熱パネル面日射量，パネル各部材や中空層の温度，風向風速等を連続計測している．

(2) 換気装置運転スケジュール

今回の実測では，外気選択ダンパーを固定し常時バルコニー経由で外気(以下パネル空気)を取り入れた．熱交換器部のダンパーは，パネル空気温と室排気温とを比較し室に有利となるよう制御した．また，給排気ファン回転数も同様に有利となるよう強弱2段階で制御した．全熱交換器部ダンパー制御状態を図22a)，給気ファン回転数を図22b)に示す．全熱交換器部はパネル空気温が室排気温より高くなった8:30(図22e))にバイパスモードとなり，16:00に全熱交換モードに戻った．ファンは，夜間から最低換気量を満たす700rpmで運転され，パネル空気温が室排気温を 10°C 上回った9:40にファン最大能力の1500rpm(流量 $300\text{m}^3/\text{h}$ ，図22c))に変更させている．

(3) 実測結果

冬季晴天日(2003/3/14)の6:00~18:00の実測結果を図22に示す．集熱面日射量が最大で $600\text{W}/\text{m}^2$ と少ないが，

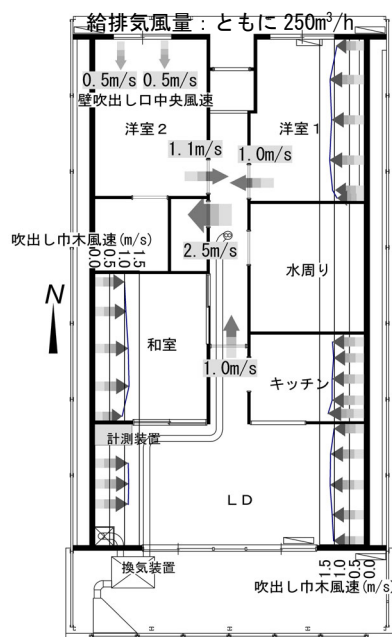


図21 各部風速計測結果

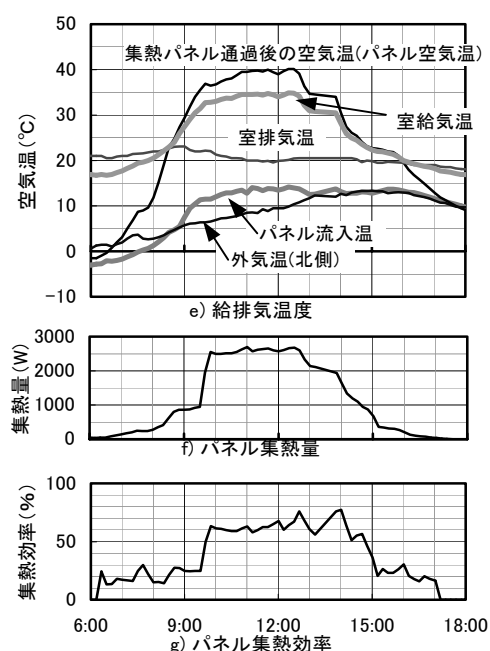
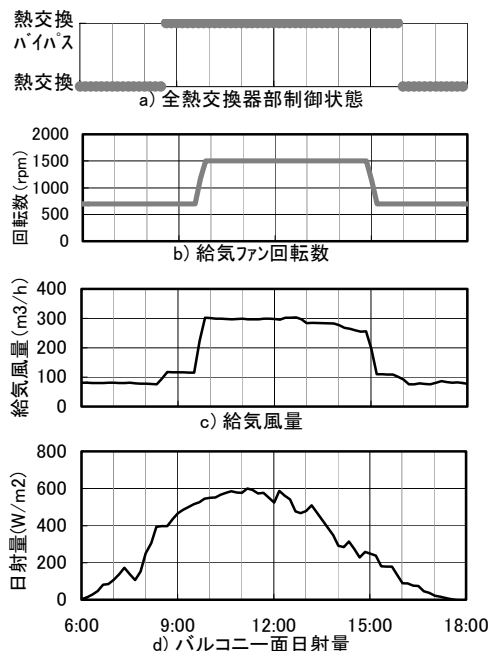


図22 集放熱パネル実測結果(2003/3/14)

安定した日射が得られ、また明け方の気温が約 0℃と冬季集熱性能を確認できる一日であった(図 22 d), e)).

図 22e)の温度履歴では、明け方 6:00 に 0℃以下であったパネル空気温が、全熱交換器により 16℃以上に昇温後、室へ給気され、日の出とともに高くなるパネル空気温が室排気温を上回るまで熱交換が行われていることがわかる。パネル空気温は正午付近に 40℃程度と外気より 25℃以上昇温された。ただしこの空気温は換気装置通過後に 35℃程度と低下して室へ供給されており、換気装置内の失熱対策が十分でなかったといえる(その後対策済)。この上昇量 25℃は、熱量に換算すると約 2500W、集熱効率約 60%と高い性能でソーラー集熱が行えることが確認できた(図 22 f), g))。

6.4 バルコニー集熱量の実測結果とシミュレーション結果との比較

5章の住戸動的熱負荷計算に組み込んだバルコニー集熱特性モデル式 [1] の妥当性を、実測値との比較により検証した。計算に必要となるパネル流入温、バルコニー面日射量、風量に実測値を与え、7 ユニット通過後の空気温度と全集熱量を同式により算出した。冬季快晴日の実測値(2003/3/26)と計算値の履歴を図 23 に示す。同図には、風量もあわせてプロットした。図 23 下を見ると、風量約 100m³/h であった午前 9:30 以前の集熱量が少ない時間帯では、計算値が実測値を上回っているが、集熱量が多い日中の両者は良く一致しており、モデル式 [1] でパネル集熱量は精度良く予測出来ることが確認できた。

なお、午前 9:30 以前の両者の乖離は、夜間非常に冷却された表面ガラスの影響で、実測では応答の時間遅れがあるのに対し、計算ではこの非定常性を加味せず瞬時定常と考えているためである。今回の計算式にガラス熱容量(非定常要素)を考慮した結果も図 23 にあわせて示したが、実測値に十分近い値を示したことから非定常性が原因とわかる。両者に差は残っているが、これはその他換気装置等がもつ熱容量等が影響しているものと考えられる。

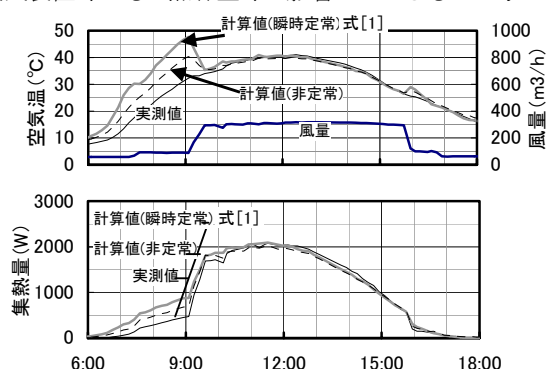


図 23 集熱パネル実測値と計算値の比較

5. まとめ

- ・考案した自然エネルギー利用型集合住宅換気空調システムについて、その概要を示した。
- ・集放熱パネル試験体 1 ユニットについて、冬季集熱性能実験を実施し、単純な仕様ながら 60%以上と比較的

高い効率で集熱できることを確認した。また、同試験体における CFD 解析を行い、実験結果と良く一致することを確認した。

- ・CFD 解析により、単体パネル集熱性能に関するケーススタディを行った。その結果、背面や四周枠の断熱強化や複層ガラスの使用は集熱効率の向上にあまり効果は無く、流路空気層を狭くして流速を速くすることや選択吸収処理が効果的であることが分かった。これら検討を通し、効率の高い集放熱パネルの仕様を決定した。
- ・本システムのソーラー集熱、外気冷房等の特性・制御を組み込んだ動的熱負荷計算を実施し、省エネルギー効果や快適性向上効果が高いことを確認した。また省エネルギーに寄与する装置制御方法に関する見解を得た。
- ・提案システムの実大実証試験装置を設計製作し、室内換気性能、連結集熱パネルの冬季集熱性能実測を行った。また、冬季集熱量の計算値を実測結果で検証し、概ね両者が合致することを確認でき、動的熱負荷シミュレーションで明らかとした空調エネルギー削減効果が、実際にも得られる見処をたてた。
- ・今後は実大試験装置による実測を継続し、室内温熱環境の評価、調査を実施して行く予定であり、また商品化のための装置、制御等の改善を図る計画である。

注 1) 厚さ方向を 2 倍細かくした分割、2 倍粗くした分割、幅・高さ方向を粗くした分割でメッシュ依存性を確認したが、これらメッシュ分割の違いによる集熱量の差異は 0.5%以下であった。

注 2) 流入の k は乱れ強さを 10%程度と仮定し $U^2/100$ 、流入の ϵ は $C_k k^{3/2}/1$ ($C_k=0.09$, l は流入口幅)、流入温度は外気と同温度。ガラスの日射透過率 0.82, 吸収率 0.1, 放射率 0.8 (カタログ等の資料に基づく)、集熱アルミ板の日射吸収率 0.8, 放射率 0.95 (建材試験センターでの試験値)。パネル外表面の熱伝達率は、背面に実験で観測された平均的な対流熱伝達率 $3W/(m^2\cdot^\circ C)$ を与え、表面には天空放射を考慮して $7.5W/(m^2\cdot^\circ C)$ を与えた。パネル背面での対流熱伝達率は背面に貼った熱流計による熱流束を(背面温度-外気温)で除して求めた。

注 3) 実際に集合住宅に集熱パネルを取り付ける場合には、ユニットパネルを 7 枚程度直列連結させることを想定しているが、風下側のユニットほど流路を流れる空気温度が上昇する。このことを考慮し、ユニットパネルへの流入温度を 3 通りに変化させて計算を行った。

注 4) パネル中央・内表面粘性低層内の温度勾配計算値に基づき対流熱伝達率を求めると、空気層 40mm の場合 $7W/(m^2\cdot^\circ C)$ 程度に対し、空気層 20mm の場合 $12W/(m^2\cdot^\circ C)$ 程度であった。

注 5) 選択吸収処理の集熱効率向上効果は高いが、筆者らの調査では黒色メッキまたは黒色塗料しかなく、バルコニー手摺としての意匠性に問題がある。またコスト面も考慮し選択吸収処理は無しとした。

注 6) 流量 200m³/h、流入温度差+0℃時の解析結果に基づいた。

注 7) ダクト中央風速と風量の関係は、別途オフィス風量を正とした試験結果に基づいた。

[謝辞] 本研究は、平成 14 年度国土交通省「建設技術研究開発助成制度」からの支援を受け、東北大学持田助教、東京大学加藤教授との共同研究として実施した。関係各位に深謝いたします。また換気装置の設計試作にあたり東芝キャリア(株)丹羽氏、村重氏、野村氏には多大なるご協力をいただき、記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 建築物の省エネルギー基準と計算の手引, 建築環境・省エネルギー機構, 平成 3 年 8 月
- 2) 集熱パネルの試験方法, JIS A 1425 等
- 3) 安倍, 長野, 近藤: はく離・再付着を伴う乱流場への適用を考慮した $k-\epsilon$ モデル, 日本機械学会論文集 B 編, 58 巻 554 号, PP3003-3010, 1992
- 4) 日本建築設備士協会: MICRO-HASP/1982 マニュアル