

インドネシアに建つ環境共生住宅の 温熱環境評価と新しい環境共生手法の 提案

課題番号 13574009

平成 13、14 年度科学研究費補助金 (基盤研究(B)(2))

研究成果報告書



平成 15 年 5 月

研究代表者 銚井修一

(京都大学大学院・工学研究科・教授)

インドネシアに建つ環境共生住宅の 温熱環境評価と新しい環境共生手法の 提案

課題番号 13574009

平成 13、14 年度科学研究費補助金（基盤研究(B)(2)）

研究成果報告書

平成 15 年 5 月

研究代表者 銚井修一

(京都大学大学院・工学研究科・教授)

はしがき

1. 研究の背景

地球温暖化や資源エネルギーの枯渇問題に対する関心が高まっている現在、省エネルギーと環境低負荷を目指した環境共生建築が求められている。建築の省エネルギーについては寒冷地を対象とした研究が多いが、中長期的にみてエネルギー消費の増加が予想されるのは、むしろ冷房を必要とする東南アジアなどの発展途上国と考えられる。今後これらの地域では、地域の気候特性に適合したパッシブ手法を取り入れることにより、冷房エネルギー消費量の増加抑制・削減が求められるであろう。これらの地域においては、高床による通風の促進や深い軒による日射遮蔽など、古くから快適な環境を形成する工夫がなされてきている。しかし、将来のエネルギー事情を勘案するとより一層の努力が必要であり、又種々の手法の適切な利用により、エネルギーをそれ程使わずに快適な環境を創造できる可能性があると考えられる。

パッシブ手法の利用可能性は地域の気象条件に強く依存するため、適切な設計を行うには日射、外気温湿度、風速などの地域の気候特性を正確に把握する必要があるが、東南アジアにおいてはこれら気象データの整備は十分とは言えない。一方で、環境共生建築がエネルギー効率のみならず、各々の地域の生態系、生活スタイル、歴史的背景に十分配慮して設計されなければならないことは言うまでもない。

以上の観点より、インドネシアに種々のパッシブ手法を採り入れた環境共生住宅が建設され、その方向の試みが開始されている。本研究はこの実験住宅を前提に、上述の研究を進めようとするものである。

2. 何をどこまで明らかにしようとするのか

本研究においては、インドネシア・スラバヤに建つ実験住宅（以後エコハウスと呼ぶ）を対象に、室内外の温熱環境調査と室内環境の解析を行い、地域の気象条件が結果に与える影響や導入されているパッシブ手法の効果を調べ、温熱環境の総合的な評価を行う。さらに、この結果を利用して各パッシブ手法の改善策を模索するとともに、地域の気候特性を利用した新たな手法および新たな考え方に基づく環境共生住宅の提案を行う。具体的な課題は、以下のようなものである。

- (1) 建物周辺の気象条件の観測と気象データの整備
- (2) 室内温熱環境条件の計測、シミュレーションプログラムの作成と各種パッシブ手法の評価
- (3) 現地産材を利用した断熱、蒸発冷却システム、自然風を利用したファンの開発
- (4) インドネシアの在来住宅の温熱環境と住まい方の調査
- (5) 地域に相応しい環境調和型ローコスト住宅の開発
- (6) 環境共生住宅の評価に適した、快不快が時間的に混在する状況を総合的に評価しう

3. 本研究の学術的な特色及び予想される結果と意義

本研究の結果としては、

- (1) 地域特有の気象条件と現地の生活スタイル・温熱環境に関するデータベースの整備
- (2) 種々のパッシブ手法の評価、現地の気象条件（風）を利用した蒸発冷却システム・ファンの提案

が挙げられる。さらに、これまでの研究成果などを総合的に判断して、

- (3) 新たな考え方に基づく環境共生住宅の提案

すなわち、蒸暑地域における「閉鎖型住居」と暮らし方の可能性を、現地の在来住居における住まい方調査の結果と合わせて追求しようというのが、本研究の学術的な特色と考えている。

4. 国内外の関連する研究の中での当該研究の位置づけ

日本国内においては、環境共生建築・パッシブ建築に関する研究はここ十年の間に急速に進められ、基礎的な検討から実建物への適用まで、その進展には目覚ましいものがある。国外では、小玉・布野ら¹⁾が、インドネシアの建築計画の専門家との協力の下に、インドネシア・スラバヤに環境共生住宅（エコハウス）を建設し、東南アジアへの展開に先鞭をつけている。一方で、建築計画から環境共生住宅へアプローチした研究として、脇田ら²⁾によるものが挙げられる。これは、地域の生態系に基づき新たな住居システムのあり方を提案しようというものである。

1) Kodama et al., Passive Low Energy Architecture (PLEA) Conference 99, Australia, 1999.

2) 脇田ら, 日本建築学会大会学術講演梗概集・計画系, PP41-42, 平成8年(1996).

研究組織

研究代表者：銚井修一（京都大学大学院・工学研究科・教授）

研究分担者：原田和典（京都大学大学院・工学研究科・助教授）

研究分担者：山本直彦（京都大学大学院・工学研究科・博士課程）

（日本学術振興会特別研究員）

海外共同研究者

Johan Silas (Institute of Technology 'Sepuluh November' (ITS)・教授)

Ekasiwi Sri Nasititi (Institute of Technology 'Sepuluh November' (ITS)・講師)

研究経費

平成13年度 8,200千円

新しい環境共生手法の提案

第1章 はじめに

1. 1. 本研究の背景
1. 2. 従来の研究
1. 3. 研究の目的
1. 4. 研究の方法

第2章 地域特性

2. 1. 対象地域
 - (1) インドネシア・スラバヤ
 - (2) マレーシア・バン
2. 2. 対象とする地域の気候
 - (1) 季節の気象変化
 - (2) 外気気候の測定結果
2. 3. 対象とする地域の統計データ
 - (1) 冷房普及状況
 - (2) クロム

第3章 室内温熱環境

3. 1. はじめに
3. 2. 調査概要
 - (1) 調査対象地域
 - (2) 調査時期
 - (3) 調査対象住宅
 - (4) 測定測定調査
 - (5) アンケート調査
3. 3. 温熱環境調査結果（冷房をしていない住宅の温熱環境）
 - (1) 2001年9月（雨期）の結果
 - (2) 2002年7月（乾期）の結果
 - (3) 2002年11月（乾期）の結果
 - (4) 住宅内の温熱環境の年間変化
3. 4. 冷房の普及状況と冷房使用時の温熱環境についての調査
 - (1) 冷房の普及状況・必要性（取り付けた理由、価格変動）
 - (2) 冷房設備の使用状況
 - (3) エアコン設置時の住宅の改善
 - (4) 使用費抑制・使用感
3. 5. 冷房を使用している住宅の温熱環境（測定結果）、冷房使用形態
 - (1) 冷房使用時の温度

インドネシアに建つ環境共生住宅の温熱環境評価と

新しい環境共生手法の提案

第1章 はじめに

1. 1 本研究の背景
1. 2 従来の研究
1. 3 研究の目的
1. 4 研究の方法

第2章 地域特性

2. 1 対象地域
 - (1) インドネシア・スラバヤ
 - (2) マレーシア・ペナン
2. 2 対象とする地域の気候
 - (1) 年間の気象変化
 - (2) 外界気候の測定結果
2. 3 対象とする地域の統計データ
 - (1) 冷房普及状況
 - (2) クロ値

第3章 室内温熱環境

3. 1 はじめに
3. 2 調査概要
 - (1) 調査対象地域
 - (2) 調査時期
 - (3) 調査対象住宅
 - (4) 温湿測定調査
 - (5) アンケート調査
3. 3 温熱環境調査結果（冷房をしていない住宅の温熱環境）
 - (1) 2001年2月（雨期）の結果
 - (2) 2002年7月（乾期）の結果
 - (3) 2002年11月（乾期）の結果
 - (4) 住宅内の温熱環境の年間変化
3. 4 冷房の普及状況と冷房使用時の温熱環境についての調査
 - (1) 冷房の普及状況・必要性（取り付け理由、価格変動）
 - (2) 冷房設備の使用状況
 - (3) エアコン設置時の住宅の改善
 - (4) 使用時間帯・使用頻度
3. 5 冷房を使用している住宅の温熱環境（測定結果）、冷房使用形態
 - (1) 冷房使用時の温湿度

- (2) 冷房を行っていない住宅との比較
- (3) 使用時間、設定温度

第4章 環境共生手法を取り入れた住宅の提案（エコハウスの結果）

4. 1 環境手法を取り入れたエコハウスでの実験

- (1) エコハウスの概要
- (2) 実測結果
- (3) 居室の温熱環境の評価

4. 2 エコハウスに取り入れられた個々の手法の検討

- (1) 熱容量
- (2) 夜間換気

4. 3 個々の手法を改善した場合の結果

- (1) 熱容量
- (2) 夜間換気

4. 4 ゲストハウスの実測結果と解析

- (1) ゲストハウスの実測目的
- (2) 実測の概要
- (3) 実測結果
- (4) ゲストハウスの解析

4. 5 住宅で取り入れられている環境共生手法（パッシブクーリング）

- (1) とられている手法についての調査（ブラインド・簾の使用状況、居住者の意識）

4. 6 住宅で取り入れられている手法の効果の定量化

4. 7 これらの手法を取り入れた場合に形成される室内温熱環境の評価

- (1) 実住宅での実験

第5章 結論

1. 3 研究の目的

第1章 はじめに

1.1 本研究の背景

現在、発展途上国では、急激な経済発展と都市化に伴い生活環境が変化し、エネルギー消費量が増大してきている。ASEAN 地域においても、生活環境の向上と共に民生用エネルギー使用量の増加は深刻な問題になりつつある。さらに、東南アジアは高温多湿地域あり、オフィスやショッピングセンターでは、冷房が急速に普及しつつある。住宅においても、家庭用のエアコンは所得の増加に伴い一般的になってきており、エネルギー不足や周辺環境への影響が懸念されている。

一般的に、民生用のエネルギー消費を押さえつつ生活環境の向上を図るためには、地域の気候風土にあった建築や自然エネルギーを利用したシステム（パッシブシステム）の導入が有効であると考えられる。このような環境共生型の建築については、寒冷地を対象とした建築の研究や開発が進められてきているが、高温多湿気候下での研究は非常に少ない。

これらのことから、本研究では、高温多湿気候にある東南アジア地域において、住宅でのエネルギー消費量の増大を抑えるために、冷房に頼らない生活を目指した環境共生型住宅を開発することを目的としている。

1.2 従来の研究

日本では環境問題やエネルギー問題への関心が高まってきており、パッシブ技術が導入された住宅も増えてきている。しかし、東南アジアのような高温多湿気候下での自然共生住宅はほとんどない。本研究は、高温多湿気候下での居住者の住まい方・温熱環境に対する評価を把握し、この地域での今後の住宅のエネルギー消費の動向を予測と、適応しうるパッシブ技術の開発を目的としている。

日本における高温多湿気候を対象とした研究では、坊垣らが全国的なエネルギー消費とライフスタイルに関する調査、居住室温測定などを行っている³⁾。その中では、那覇が高温多湿な気候である。鈴木らは札幌・京都・那覇の集合住宅を対象に暖冷房使用や住まい方と省エネルギー対策に関する調査を行っている⁴⁾。これらには、夏期の高温多湿気候下での居住者の住まい方が報告されている。一方、東南アジアの住宅を対象とした温熱環境に関する研究では、金らがベトナム・ハノイの伝統住宅における温熱環境調査を報告している⁵⁾。ここでは、高温多湿な気候に適応する工夫として、住宅へ熱容量の大きな材料の使用や中庭・吹き抜けのある空間構成が挙げられている。しかし、居住者の生活スタイルや熱環境評価を踏まえて温熱環境を評価した例はほとんど見られない。筆者らは、インドネシア・マレーシアを対象に温熱環境調査を行ってきた^{6) 7)}。本論文では、高温多湿気候下での住宅温熱環境の基礎研究として、インドネシア・スラバヤの一般的な住宅を対象に行った、室内温熱環境実態調査の結果を報告する。

1.3 研究の目的

本研究では、東南アジアなどの高温多湿地域における環境共生型住宅・省エネルギーを目指した住宅の開発を主要な目的としている。

高温多湿地域の建物に適した環境共生手法（パッシブ手法）として、一般的に取り上げられるのが、住宅を開放型とし通風を獲得することであった。しかし、様々な研究の中で、開放的な建物での通風が必ずしも高温多湿気候に適しているとは言えず、建物の熱容量を利用した閉鎖的な住宅も提案されてきている。本研究では、これまでの常識・研究にとられない視点から高温多湿地域の建築を開発する。

さらに、今後、東南アジアを中心とした高温多湿地域において住宅の開発を行う際に利用可能な気象データ、生活データは、現在のところ未整理かつ不足している。そこで、住宅の温熱環境に関する基礎的なデータベースの作成も本研究の目的とする。

1. 4 研究の方法

本研究は以下の項目について研究し、住宅の温熱環境の把握、高温多湿地域に適した住宅の提案を行う。

(1) 一般的な住宅を対象とした調査

1) エネルギー消費に関する調査

使用エネルギー消費量について、経年変化と近年の年間変動を調査する。文献によるマクロな動態把握とアンケートによるミクロな実態調査を行う。また、エネルギー使用に対する居住者の意識調査も同時に行う。

2) 居住環境の調査（第3章）

都市の一般的な住宅を対象とし、温湿度測定によって温熱環境の実体調査を行う。さらに、居住者の温熱環境改善のための工夫についてアンケート調査を行う。

3) 居住者の温熱感（快適性）に関する調査（第3章）

居住環境の調査で得られた温熱環境調査を踏まえて、居住者の現時点での温熱環境（快適性）に関する意識調査を行う。

(2) 気象データの整備

4) 外界気象やエネルギー消費に関する資料の整備（第2章）

気象データの収集を行い、データの整備を行う。また、長期的に外気温湿度・日射量の測定を続け、利用可能な気象データとして整理する。

(3) 環境共生手法（パッシブ手法）の検討

5) 住宅に取り入れられているパッシブ手法の調査（第4章）

温湿度測定を行って住宅に対して、取り入れられているパッシブ手法の効果について、室内温熱環境解析のシミュレーションプログラムを用いて検討する。

6) パッシブ手法についての効果の実験（第4章）

各種パッシブ手法を取り入れた実験住宅および、一般の住宅を対象としたパッシブ手法の効果についての実験を行い、温湿度測定結果をもとにパッシブ手法の効果について検討する。

(4) 生活調査

7) その他の生活状態についての調査 (第2章)

2. 調査対象地域での統計データの整備を行う。

(1) インドネシア・スラバヤ

図 2.1 にインドネシアの地図を示す。図の中心にあるのがスラバヤ市である。専業主婦が通つスラバヤ市は、インドネシア・ジョフ島の東部(南緯 7° 東経 115°) に位置し、熱帯モンスーン気候下にある。

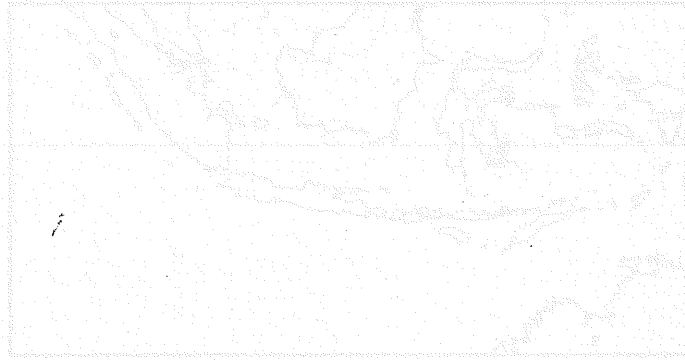


図 2.1: インドネシア・スラバヤの位置

(2) マレーシア・ペナン

ペナン島はマレー半島の西側にあり、熱帯モンスーン気候下にある。図 2.2 に基礎調査の対象となったゲストハウスのあるマレーシア・ペナン島の地図を示す。

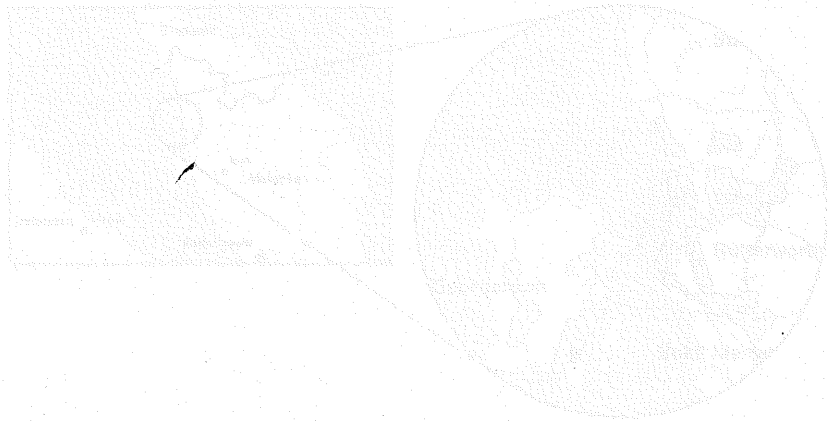


図 2.2: マレーシア・ペナンの位置

2. 2 対象とする地域の気候

(1) 年間の気象変化

第2章 地域特性

2.1 対象地域

(1) インドネシア・スラバヤ

図 2.1 にインドネシアの地図を示す。図の中心にあるのがスラバヤ市である。対象住宅が建つスラバヤ市は、インドネシア・ジャワ島の東部（南緯 7° 東経 113°）に位置し、熱帯モンスーン気候下にある。

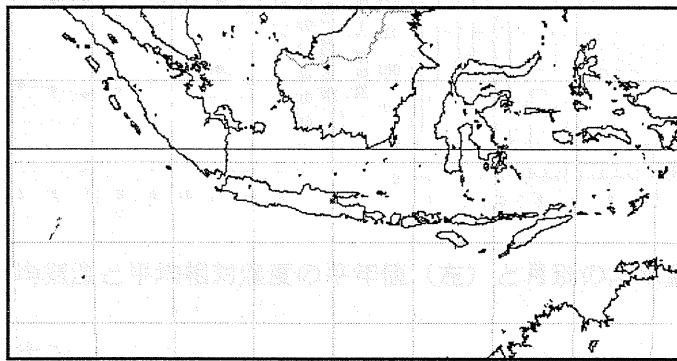


図 2.1 インドネシア・スラバヤの位置

(2) マレーシア・ペナン

ペナン島はマレー半島の西側にある。熱帯モンスーン気候下にある。図 2.2 に温湿度測定対象となったゲストハウスのあるマレーシア・ペナン島の地図を示す。

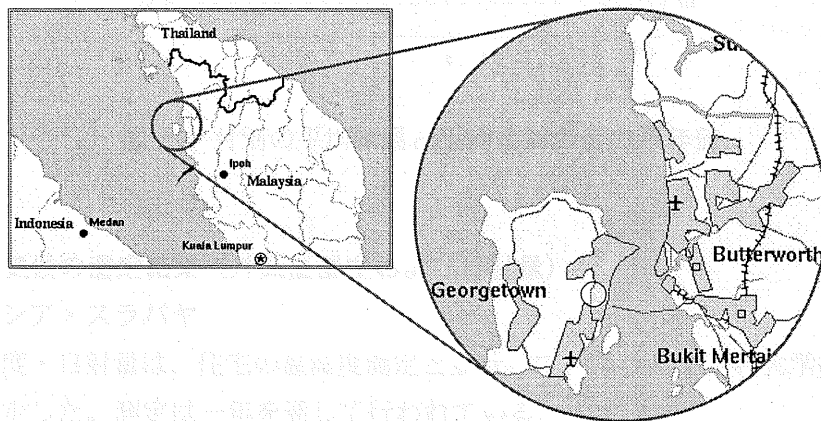


図 2.2 マレーシア・ペナンの位置

2.2 対象とする地域の気候

(1) 年間の気象変化

a) インドネシア・スラバヤ

図 2.3 にインドネシア・スラバヤの月別の平均温湿度と降水量を示す。インドネシア・スラバヤは南緯 7 度、東経 113 度に位置した熱帯雨林気候下であり、一年は乾期と雨季に分かれる。4 月～10 月まで乾期であり、8 月と 9 月はほとんど雨が降らない。雨季は 10 月～4 月であり、最も雨が激しい時期は 1 月と 2 月である。

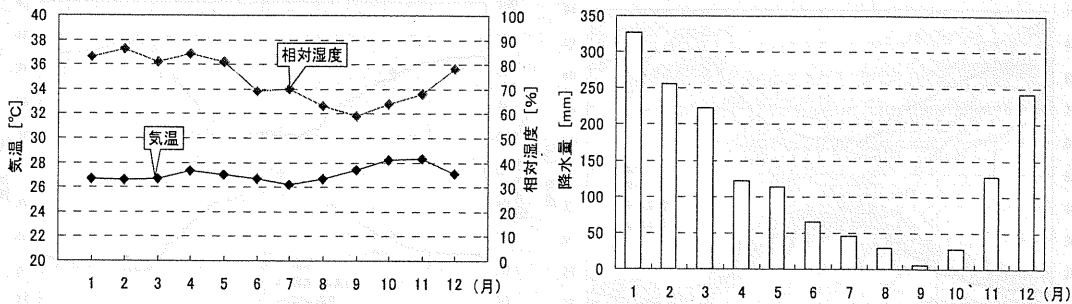


図 2.3 月別の平均気温と平均相対湿度の平年値 (左) と月別の降水量の平年値 (右)

b) マレーシア・ペナン

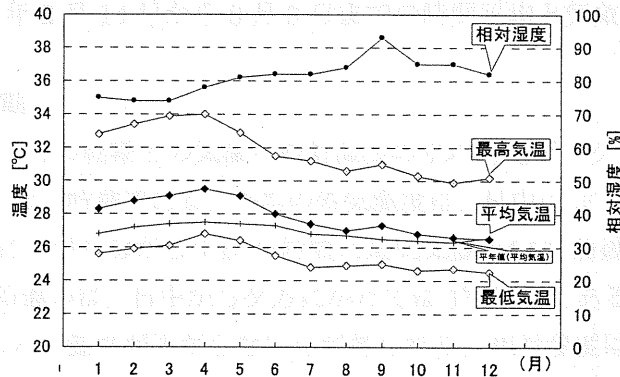


図 2.4 月別の平均気温と平均相対湿度の平年値

(2) 外界気候の測定結果 (外気温湿度および日射量)

a) インドネシア・スラバヤ

外気温湿度・日射量は、住宅の温湿度測定と並行して、スラバヤ工科大学構内にある実験住宅で測定した。測定は一年を通して行われている。

・ 2001 年 2 月 (雨季)

図 2.5 に 2002 年 2 月に測定した結果を示す。同時にスラバヤ市の气象台で得られたデータの平均を示す。一日の傾向としては、日中 14 時頃に外気温度が 31°C まで上昇し、夜間は 27°C 前後で推移、午前 6 時頃に最低気温 26°C となっている。日による違いは、±1°C

程度であり、雨が降った時間帯を除けば、ほぼ毎日同じような変動をしている。日中に降水があったときには、外気温度は4℃程度一気に低下し、夜間にかけて低い気温が保たれるが、それでも夜間の気温は最も下がった場合でも24℃であり、気温の高いことには変わりない。一方、相対湿度は、日中には60%程度まで低くなるが、夜間は平均しても80%以上に、高いときなど100%まで上昇し、蒸し暑い状況であることが分かる。

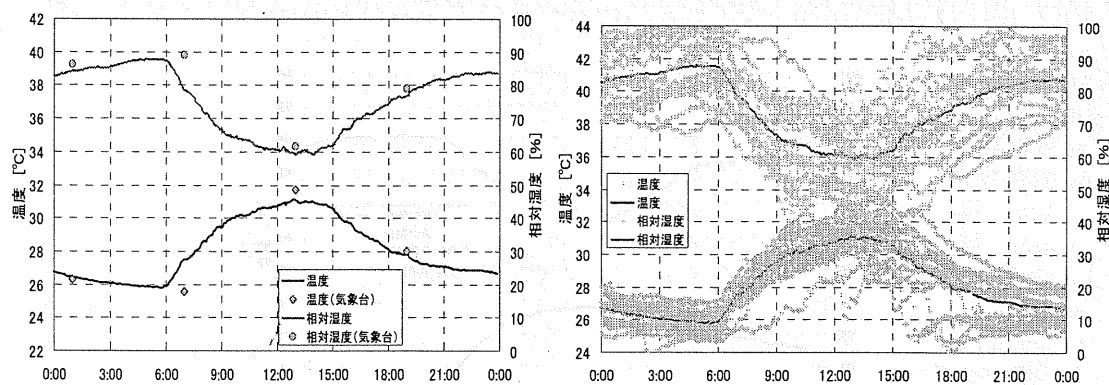


図 2.5 平均外気温度と平均相対湿度 (左) と外気温度と相対湿度の全データと平均値 (右)

(実測期間 2001 年 2 月 14 日から 3 月 3 日までの時間平均と気象台のデータの平均)

・ 2002 年 7 月 (乾期)

図 2.6 に 2002 年 7 月の乾期での気温と相対湿度の平均と全データを示す。7 月は乾期の中でも比較的気温の低い時期である。平均の外気温度は、日中は 30℃ 近くまで上昇し、夜間は 28℃ から徐々に下がりながら午前 6 時頃に最低気温 24.5℃ 前後となる。7 月 5 日～12 日までの日による違いは、日中から夕方にかけては 1℃ 程度である。夜間から朝方にかけて温度が下がる日と、温度が下がらない日が見られる。相対湿度は、日中に変動が激しく夜間は各日とも 75 から 85% 程度であった。

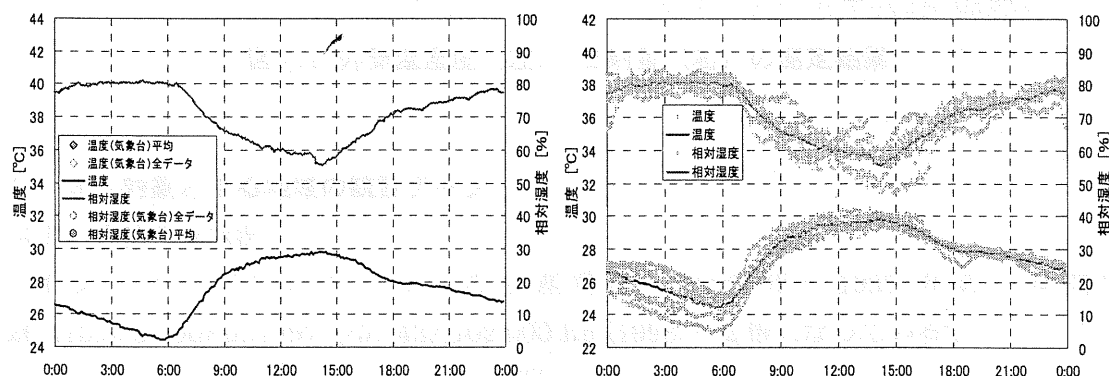


図 2.6 平均外気温度と平均相対湿度 (左)、外気温度と相対湿度の全データと平均値 (右)

(実測期間 2002 年 7 月 5 日から 11 日までの時間平均)

図 2.7に 2 月と 7 月の測定した期間の温湿度の平均を示す。日中、午前 6 時から 15 時頃までの外気温度は、2 月の方が 7 月よりも 1℃程度高くなっており、夜間 18 時から 24 時の温度はほとんど変わらない。朝方の下がり方が 7 月の方が低いため、午前中の外気温度が下がっている。相対湿度は、日中はほぼ変わらず 60%程度である。午後 15 時から午前 6 時頃までの相対湿度は 7 月の方が 5~10%程度低くなっている。実際に「cool season」といわれる 7 月の方が、2 月よりも一日を通して過ごしやすい。

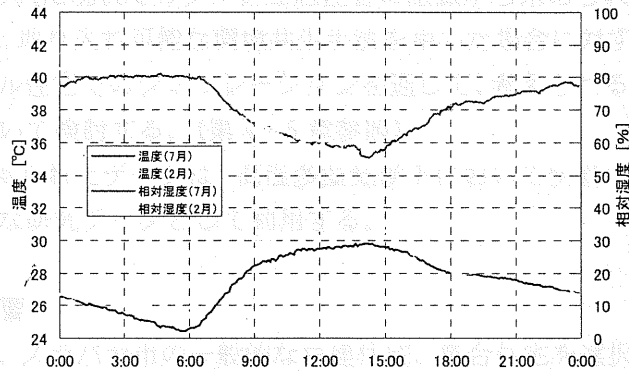


図 2.7 2 月と 7 月の測定値の比較

b) マレーシア・ペナン

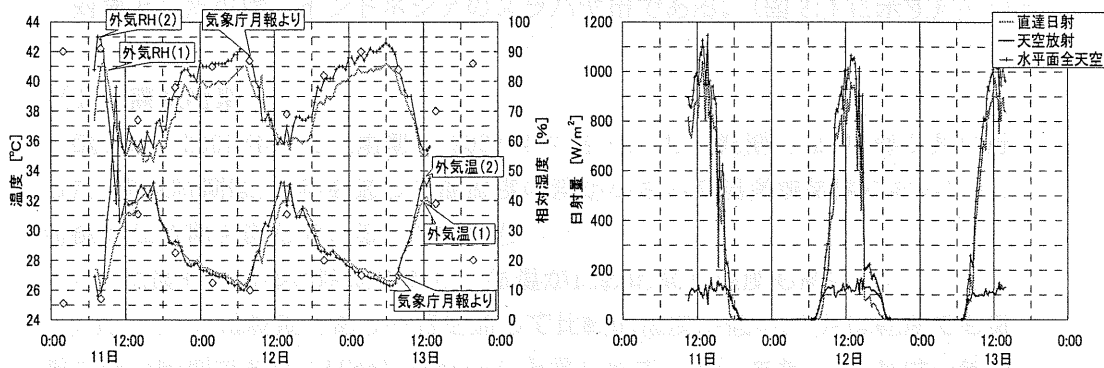


図 2.8 外気温湿度 (左)、日射量 (右) の測定結果

2. 3 対象とする地域の統計データ

(1) 冷房普及状況

インドネシアでのエアコンの生産量は、1997 年～1998 年の一年間で 26,413,323,000Rp.(1997)→57,432,102,000 Rp.(1998)と 2 倍になっている*。

(* Statistics Indonesia, <http://www2.bps.go.id/>)

(2) クロ値

Shopping Center での写真撮影調査。写真から着衣量 (服装の傾向) を調査。

第3章 室内温熱環境

3.1 はじめに

高温多湿気候下に適当な環境共生手法を開発するためには、地域気候・居住者の生活スタイルなどのローカルな情報が不可欠である。しかし、対象とする地域での気候・住宅の温熱環境に関するデータは不足している。そこで本研究では、スラバヤ市の一般的な住宅を対象に住宅の温熱環境の調査と住民の意識調査を行い、得られた現状でのデータと居住者の意識から求められる環境を把握する。そして、取り入れ可能な環境共生手法を用いた場合に対する、実住宅での実験やモデル住宅でのシミュレーションを通して、考えられる環境共生手法の有効性について検討する。(第4・5章参照)

また、ここで得られたデータは、高温多湿気候下において快適な住宅を開発する際の基礎的な研究データとして利用する。

3.2 調査概要

調査対象には、スラバヤ市の一般的な戸建住宅、集合住宅を選択した。調査内容は、居間と寝室での温熱環境調査と居住者に対するアンケート調査が主となっている。

(1) 調査対象地域

対象としたのは、インドネシアのスラバヤ市である。(図2.1に示す)

(2) 調査時期

調査は、2001年2月(雨期)、2002年7月・11月(乾期)、2003年2月に行った。調査時期は、一年を通して温湿度の差が小さい高温多湿気候においても、特徴的な時期を選んでいる。すなわち、

2月は最も雨の多い時期であり、気温が比較的高く湿度も高い。

7月と11月は乾期であり一日を通して比較的湿度が低い。7月は乾期でも気温の低い時期であり、「Cool Season」と言われている。また、11月は一年のうちで最も気温の高い時期である。

(3) 調査対象住宅

調査対象として、低所得者用の戸建住宅、中所得者用の戸建住宅、低所得者用の集合住宅(図3.1、図3.2)である。低所得者用の戸建住宅としては、スラバヤ工科大学の敷地内にある住宅を主に選択した。中所得者と高所得者層の戸建住宅には、スラバヤ工科大学周辺の住宅を選択した。低所得者用の集合住宅には、スラバヤ市の北部にあるソンゴ団地を選択した。

住宅ごとに小型温湿度計を設置し、居間もしくは居間と寝室の温湿度を測定した。同時に主婦に対して温熱環境に関するアンケートを行った。

a) 対象住宅の概要

表 3.1 と表 3.2 に戸建住宅および集合住宅の概要を示す。

低所得者用の戸建住宅として、スラバヤ工科大学 (ITS) の敷地内にある、一般的な住宅 7 軒を選択した。図 3.1 左に調査対象住宅から代表的な 1 住宅を選びその平面図を示す。建設当初の床面積は 36 m² であり、居間と 2 つの寝室とカマル・マンディ (風呂・トイレ) がある。これらに加えて、全ての住宅で玄関前のポーチと裏側の台所が増築されている。図 3.2 左のように、住宅正面には日よけのためにポーチを設ける家が多く、ポーチには簾を設置するなどして、室内に日射が入りにくい状況を作っている。また、台所の壁は合板、屋根はトタンであった。

中所得者用の戸建住宅として、ITS 周辺の 10 軒の一般的な住宅を選択した。このうち 4 軒ではエアコンを使用していた。住宅の床面積は 60~90 m² であり、居間と 2 つの寝室、台所、カマル・マンディがある (図 3.1 中)。これらに加えて 1~4 部屋が増築されている住宅もある。低所得者用の戸建住宅と比較すると開口部が大きくとられており、日中の室内は明るい。

戸建住宅と比較するために、スラバヤ市の北部にある低所得者用の集合住宅 (A 棟・4 階建) を対象に調査を行った (図 3.1 右)。この建物は、カンポン改善事業 (KIP : Kampung Improvement Program)⁹⁾ の一貫として、1989 年に建てられた住宅である。KIP とは、1960 年代後半からインドネシアで行われている住宅改善事業のことである。1 ユニットは 18 m² であり、1 階の住宅には 1.5m × 1.5m のカマル・マンディと 1.5m × 1.5m のテラスが設けられており、2 階以上には 3m × 1.5m のベランダが設けられている。2 階以上の住宅は共用空間に面しており、日中は共用空間で過ごす人が多い。共用空間は、子供の遊び場、休憩の場、商業活動の場などの多様な活動場所として使われている¹⁰⁾。

図 3.2 のように、ベランダには大きな庇があり、さらに各住宅とも窓を布で覆うなどの工夫をしているため、室内にはほとんど日射が入らない。この地域は北側に海があるために、外部風速が強く、北側の住宅内では共用空間側とベランダ側の扉を開ければ風通しが確保される。風速は北側が南側よりも強く、上階が下階よりも強い。1 階では共用空間側の扉を閉じている住宅が多く、室内での風速は弱い。

表 3.1 戸建住宅の概要

	低所得者用	中所得者用
床面積	約 40 m ²	60~90 m ²
屋根	アスベスト	クレイタイル
天井	合板	アスベスト
壁	コンクリートブロック	
床	タイル・モルタル仕上げ	

表 3.2 低所得者用の集合住宅の概要

構造	RC造
床面積	18 m ² (3m×6m)、ベランダ
屋根	クレイタイル
天井	アスベスト、合板、なし
壁	モルタル仕上げ
床	モルタル、タイル、ビニールクロス仕上げ

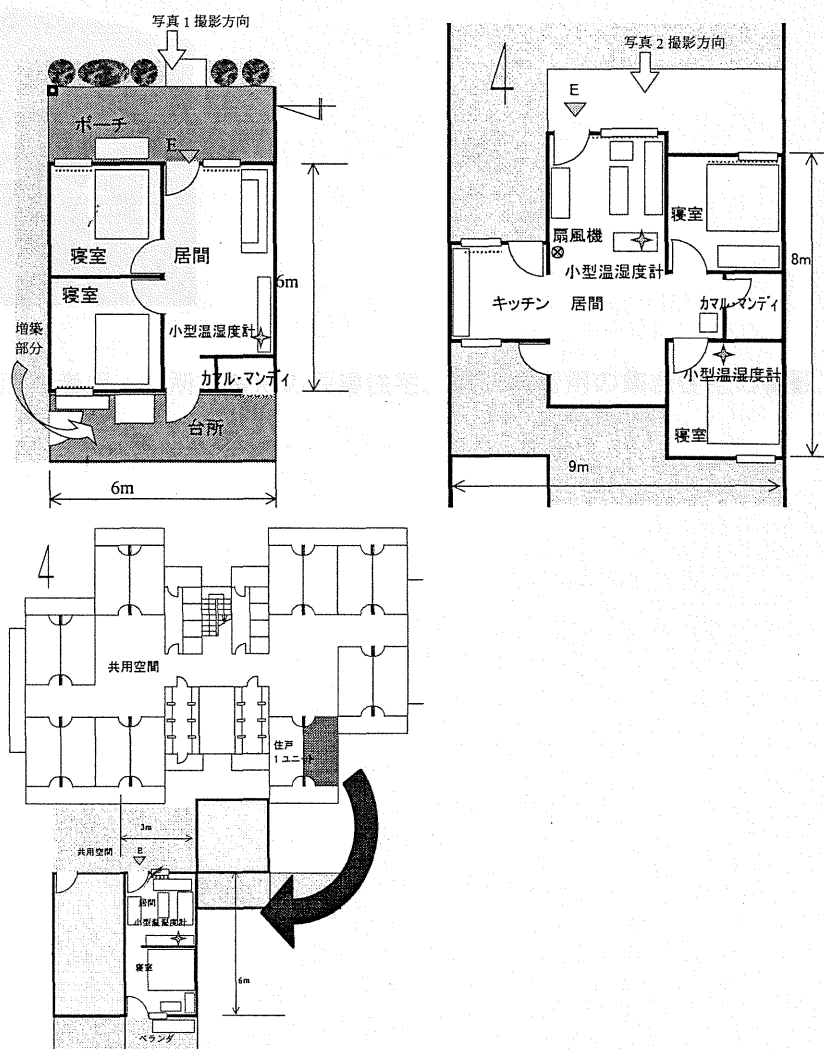


図 3.1 低所得者用、中所得者用の戸建住宅、低所得者用の集合住宅の平面図

b) 対象住宅の内訳

表 3.3～表 3.5 に各調査における対象住宅の数とアンケート対象者の数を示す。

住宅の区分は所得で行っている。ただし、2003年2月の段階で所得が不明な住宅については、調査エリアで区分している。ここで、低所得者の住宅とは、住宅での月当たりの収入がおおよそ1,500,000Rp.未満の住宅を分類しており、中所得者の住宅とは1,500,000～2,500,000Rp.、高所得者の住宅とは2,500,000Rp.以上の住宅としている。

表 3.3 温湿度測定の対象とした住宅

	2001年2月	2002年7月	2002年11月	2003年2月
低所得者戸建	6			
低所得者用集合	11			
中所得者戸建	9(3軒は高所得)	5(4軒は高所得)	1	1
高所得者戸建				

表 3.4 アンケート調査の対象とした住宅

	2001年2月	2002年7月	2002年11月	2003年2月
低所得者戸建	7	19	12	15
低所得者用集合	11			
中所得者戸建	10	21	8	21
高所得者戸建		16	5	15

表 3.5 アンケートの対象とした居住者の数

	2001年2月	2002年7月	2002年11月	2003年2月
低所得者戸建	7	36	24	
低所得者用集合	15			
中所得者戸建	10	37	14	
高所得者戸建		35	14	
間借りの学生	17	10	3	

(4) 温湿測定調査

2001年2月(雨期)に、低所得者用の戸建住宅7軒・低所得者用の集合住宅11ユニットを対象に居間の温湿度測定を行った。また、中所得者用の戸建住宅10軒では居間と寝室(1カ所)の温湿度測定を行った。中所得者用の戸建住宅のうち4軒は寝室にエアコンを設置している住宅であった。

2002年7月(乾期)には、中所得者用の戸建住宅5軒を対象に、居間と寝室(2カ所)の温湿度測定を行った。5軒のうち4軒では寝室にエアコンを設置していた。

2002年7月以降は、中所得者用の戸建住宅1軒の居間と寝室(2カ所)を対象に、年間を通しての温湿度測定を行っている。

温湿度の測定にはロガー付き小型温湿度計を用い、居間・寝室の棚上などの生活に支障をきたさない場所に設置した。

調査中の外気温湿度・日射量については、スラバヤ工科大学構内にある実験住宅で測定した。

(5) アンケート調査

温湿度測定と並行して、住宅の居住者を対象にアンケート調査を行った。

2001年2月には、住宅温湿度測定を行った住宅の主婦を中心に、日中夜間の室内の快適感・温冷感などについてアンケートを行い、全体で28人から回答を得た(表3.6アンケート1)。

2002年7月と11月には、幅広い階層・職業の住民を対象にして、一日を通しての室内での快適感・温冷感の調査に加えて、冷房設備に関してアンケートを行った。7月には118人、11月は55人から回答を得ている(表3.6アンケート2)。

2003年2月には、それまでに調査を行った住宅と居住者(主に主婦)を対象に、エネルギー消費量や所得などの住宅の詳細に関するアンケート調査を行った(表3.6アンケート3)。また、冷房を使用している居住者に対しては、冷房の使用状況をについてのアンケート調査を同時に行った(表3.6アンケート4)。

表3.6にアンケート調査項目を示す。アンケート調査と温湿度測定調査の関連を表3.7に示す。

表 3.6 調査時期と内容

調査番号	アンケート内容	調査時期
アンケート1	① 住所、居住人数、収入、出身地、居住年数 ② 平面図、床面積 ③ 使用燃料 ④ 建物(床・壁・天井・屋根)の構造と仕上げ ⑤ 居室・外部空間・共用空間での(日中/夜間)の快適感、温冷感、不快と感じるその理由、暑いときの対処法 ⑤ 居室・共用空間での(日中/夜間)の明るさ感、明るさに対する満足度 ⑥ 扇風機・エアコン・照明器具の所有数と使用頻度、冷房の必要性	2001年2月
アンケート2	① 氏名、住所、年齢、性別、収入 ② 床面積、電気消費量 ③ 住宅での滞在時間 ④ 居室での(朝/日中/夕方/夜間)の快適感、温冷感、不快と感じるその理由、暑いときの対処法 ⑤ 扇風機・エアコンの所有数と使用時間、使用方法 ⑥ 冷房使用時の設定温度、快適感、温冷感、必要性	2002年7月 2002年11月

	⑦ 居室での（日中／夜間）の窓の開閉状況	
アンケート3	① 氏名、住所、年齢、性別、収入、平面図 ② 電気消費量、使用電気器具	2003年2月
アンケート4	① 氏名、住所、年齢、性別、収入、平面図 ② 電気消費量、使用電気器具 ③ エアコンを設置している部屋 ④ エアコン設置時に行った建物の改善 ⑤ エアコンを使用するときの状況、使用時間、不満など	2003年2月

表 3.7 温湿度測定とアンケート調査

調査時期	温湿度測定	アンケート調査
2001年2月(雨季)	低所得者ユーザー建、低所得者用集合、 中所得者ユーザー建	アンケート1
2002年7月(乾期)	中所得者ユーザー建 (5軒)	アンケート2
2002年11月(乾期)	中所得者ユーザー建 (1軒)	アンケート2
2003年2月(雨季)	中所得者ユーザー建 (1軒)	アンケート3、 4

図 3.3 外気温湿度（実験住宅にて測定）

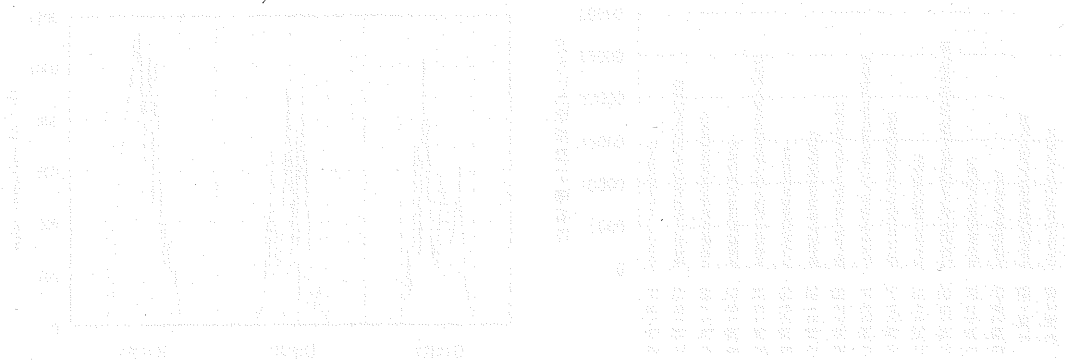


図 3.4 (左) 水平気象六日付値と (右) 日付別の日積算値

3. 3 温熱環境調査結果（冷房をしていない住宅の温熱環境）（黄表紙）

各住宅の温熱環境を温湿度測定の結果とアンケート結果から解析する。

(1) 2001年2月（雨期）の結果

a) 外気温湿度および日射量

図 3.3 に外気温湿度を、図 3.4 に水平面全天日射量を示す。

19日の日射量は測定期間中では大きい値であり、21、22日は小さな値であった。2月19日は、測定期間中で外気温度が最も高い値を記録した日であり、午後2時前に33.5℃まで上昇している。夜間の外気温度は24~26℃の間にあり、ほとんどの日で最低気温が25℃を下回らない熱帯夜となっていた。2月14日から3月2日の間の平均値は、外気温度が28.1℃、相対湿度は75.6%、日射量の積算値の平均は17,958kJ/m²であった^(注*)。日中に晴天であった、2月19日、23日、26日の日射量が多くなっている。

注* 日射量は測定した値を基に、実験住宅によって遮られる天空放射と、実験住宅からの壁からの反射放射を考慮し、Berlageの式とBouguerの式を用いて直散分離を行って求めた、直散分離した後に、全天日射を求めた。実験住宅によって遮られる部分を0.5（実験住宅の壁の形態係数を0.5）とし、壁の反射率を0.3とした。（黄表紙の値を修正している）

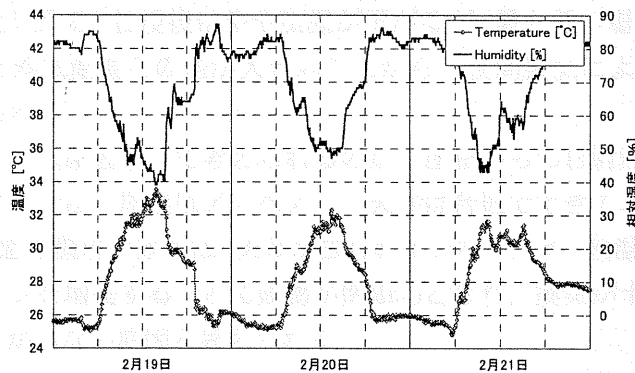


図 3.3 外気温湿度（実験住宅にて測定）

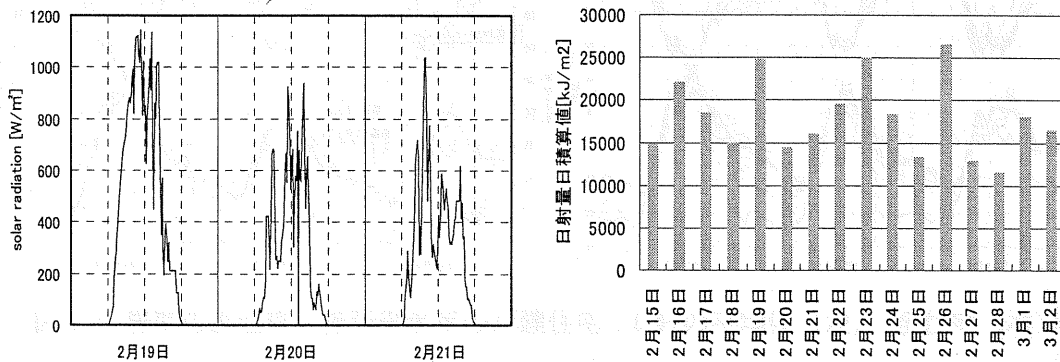


図 3.4 (左) 水平面全天日射量と (右) 日射量の日積算値

表 3.8 測定期間中の外気温度・相対湿度・日射量 (2001年2月14日から3月2日)

	温度[°C]	相対湿度[%]	日射量の積算値 [kJ/m ²]
平均	28.1	75.6	17,958
最大値	33.5 (2/16 13:40、2/19 13:50)	99 (2/25、3/1、3/2 朝方)	26,550 (2/26)
最小値	23.2 (2/25 2:40)	39 (2/19 13:50)	11,474 (2/28)

b) 低所得者用の戸建住宅

図 3.5 に低所得者用の住宅の温湿度を示す。2月19日の外気温度は、午後2時前に33.5°Cまで上昇している。一方、低所得者用の戸建住宅(6軒)の平均室温は、19日の午後2時の時点で34.4°Cまで上昇しており、外気温度よりも1.1°C高くなっている。また、最も温熱環境の悪かった住宅では、居間温度が36°Cまで上がっていた。

日中と夜間の測定期間中(2001年2月19~26日の8日間)の平均室温を図3.6に示す。全日の平均気温は、外気温度が28°Cに対して全住宅の平均温度は30.6°Cであった。すべての住宅で、外気温度よりも平均室温が高くなっている。日中では外気温度が29.4°Cに対して、住宅は31.4°Cと2°Cの差があり、夜間は26.7°Cに対して29.6°Cと3°C近い差があった。

日中の室温はインドネシア人の快適温度(24.4~28.9°C)をかなり上回っており、劣悪な温熱環境といえる。日没後はやや室温が下がるが、最も低い場合でも27°C程度であった。夜間に室内と外気温度との差が大きいことから、夜間換気による室内温度の低下が有効であると考えられる。

室温が上昇する原因として考えられるのが、屋根からの日射熱と換気不足である。低所得者用の戸建住宅では、屋根はアスベスト、天井は合板でできており、屋根の断熱が不十分である。最も劣悪な環境の家では、天井が張られていないため、室温は36°Cまで上昇していた。また、キッチンを増築することで建物が閉鎖的となり、換気が十分になされないということも、室温が下がらない原因と考えられる。

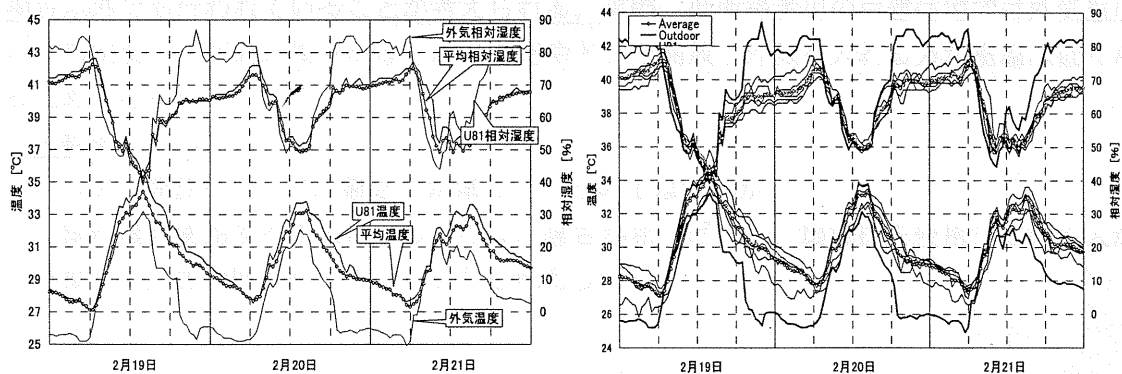


図 3.5 居間の温湿度 (低所得者用の戸建住宅: 6軒の平均値 (左)、全住宅 (右))

図 3.6 に全住宅の日中と夜間の平均温湿度の関係を示す。日中の平均温度は、30.8~32.2°Cとなっており、外気温度の平均と比較しても1.5~3°C程度高くなっている。夜間の

温度の平均は、29～30.3℃程度となっており、外気の平均よりも 2.3～3.5℃程度高くなっている。

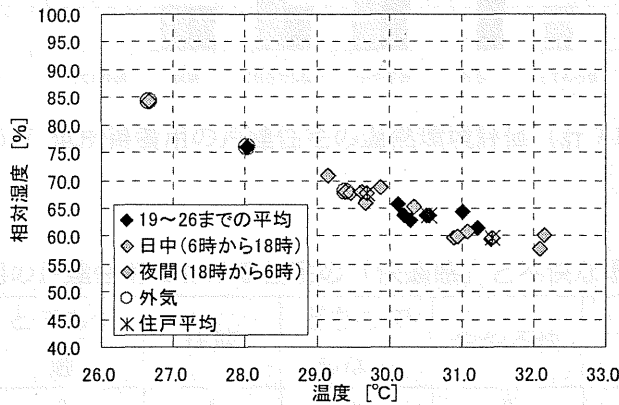


図 3.6 各住宅と外気のア平均温湿度 (2月19～26日の全日、日中、夜間の平均)

図 3.7 および表 3.9 と表 3.11 に、日中と夜間の温熱環境に対する居住者の快適感を示す。低所得者用の住宅では、日中の快適性については半数が「やや不快」と答えている。夜間は、「やや不快」「不快」と答えた人が 5 軒 (7 軒中) であり、夜間に不快を感じる人が多いことが分かる。暑いと感じたときの対処法としては、日中は「扇風機の使用」6 軒 (7 軒中) で最も多く、同時に「窓・ドアの開放」が 4 軒であった。夜間も、「扇風機の使用」が 6 軒であるが、「窓の開放」は 1 軒であった。夜間に窓を開放して換気を行うことが少ないのが現状であり、十分な換気を行えば室温は低下すると予想される。

温冷感については、「暑い」という回答が最も多い。その対処法としては、「暑い」と答えた人全てが、「ドア・窓を開ける」と答えており、次に「扇風機を使う」が 3 軒であった。「やや暖かい」・「どちらでもない」・「やや涼しい」と答えた人は「扇風機を使う」と答えていた。ここから、ドアや窓の開放は「暑い」時に特に行われ、「扇風機の使用」は「暑い」場合以外でも行われていることが考えられる。実際、低所得者用の戸建住宅では外気温度よりも室温の方が高い場合がほとんどで窓やドアを開放し外気を入れる方が室温は低くなるためであろう。

下線部について

ドアの開放によって「暑さ」が増しているのではないか。

扇風機を使用することによってのみ、暑さが和らげられ、扇風機を使用している人が「涼しい」側の回答をしていることも考えられる。

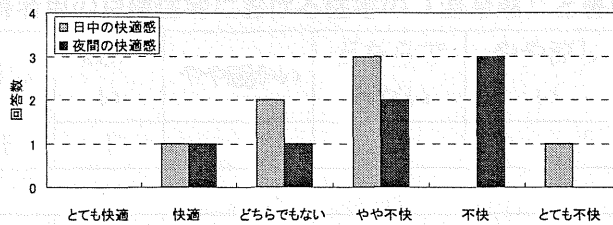


図 3.7 低所得者用の戸建住宅の温熱環境評価 (計 7 軒)

表 3.9 低所得者用の戸建住宅における住宅の「快適感」と不快な場合の理由 (日中)

	とても快適	快適	どちらでもない	やや不快	不快	とても不快
回答人数	0	1	2	3	0	1
理由						
温度が高い				3		1
風がない			1	3		

表 3.10 低所得者用の戸建住宅における住宅の「温冷感」と暑い場合の対処法

	暑い	暖かい	やや暖かい	どちらでもない	やや涼しい	涼しい	寒い
回答人数	4	0	1	1	1	0	0
対処法							
ドア・窓を開ける	4						
扇風機を使う	3		1	1	1		
ブラインドを使う	1						

表 3.11 低所得者用の戸建住宅における住宅の「快適感」と不快な場合の理由 (夜間)

	とても快適	快適	どちらでもない	やや不快	不快	とても不快
回答人数	0	1	1	2	3	0
理由						
温度が高い				2		
湿度が高い					2	
風がない				1	3	
無回答		1	1			

表 3.12 低所得者用の戸建住宅における住宅の「温冷感」と暑い場合の対処法

	暑い	暖かい	やや暖かい	どちらでもない	やや涼しい	涼しい	寒い
回答人数	5	1				(1)	1
対処法							
窓を開ける	1						
扇風機を使う	5	1					

c) 中所得者用の戸建住宅

図 3.8 に中所得者用の戸建住宅の居間と寝室の平均温湿度を示す。これは、測定した住宅 10 軒のうち、冷房設備を用いていない 5 軒の平均である。居間と寝室の温湿度にはあまり違いが見られず、日中は寝室の方が 0.3℃程度低くなっている。測定期間中の平均室温は、どちらも 29.5℃であった。夜間の居間温度は外気温度よりも 2℃程度高く、29℃から 28℃前後へとゆっくりと低下する。

低所得者用の戸建住宅と比較すると、日中の室温は最大（2月19日午後2時）で 3.2℃低く、平均でも 1℃程度低い。

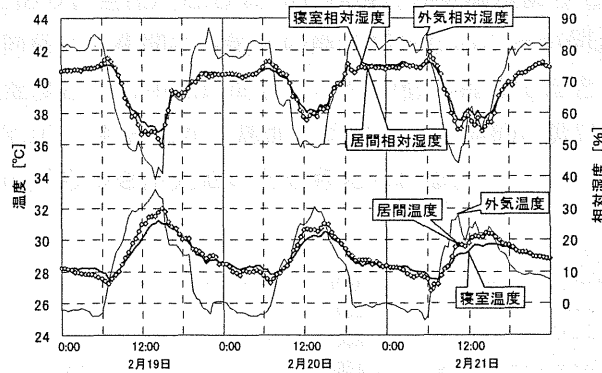


図 3.7 居間・寝室の温湿度（中所得者用の戸建住宅：5軒の平均値）

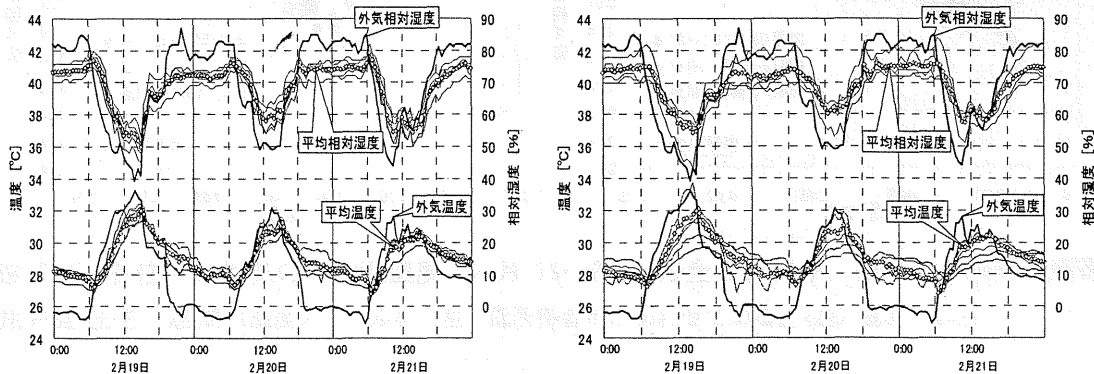


図 3.9 居間（左）と寝室（右）の温湿度（中所得者用戸建）

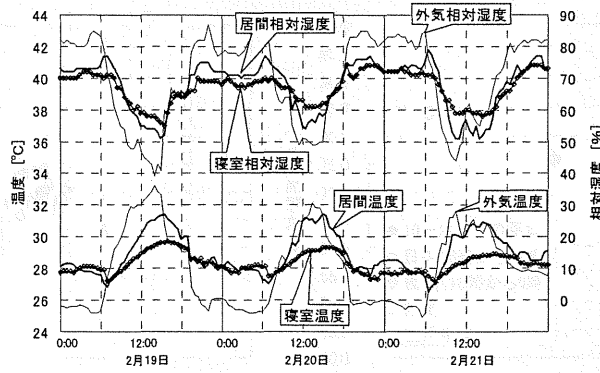


図 3.10 代表的な1軒の住宅

図 3.11 と図 3.12 に居間と寝室の各住戸の平均温湿度を示す。住宅間で構造に差があまり無いために、低所得者用の戸建住宅と比較すると、住宅間の温湿度差が小さくなっている。一日を通しての全住戸の平均温度は 29.6℃であり、外気よりも 1.5℃程度高くなっている。日中は、それぞれ 30.0℃と 29.4℃であり、室温は外気温度よりも 0.6℃高い程度である。日中は外気温度の平均よりも、居間ではやや高い程度であり、寝室では低い住戸もある。低所得者用の戸建住宅よりも日射の影響が小さいことが考えられる。一方で、夜間は 26.7℃と 29.2℃であり、全住戸とも 2~3℃程度、外気温度よりも高くなっている。低所得者用の戸建住宅と同様に、夜間に外気との換気が少ないことが伺える。

一方寝室の平均温湿度は、日中に居間よりもやや低い程度でほとんど変わらない。日中に平均室温が高い住宅が 1 軒あるが、居間に比べると全体的に低い住宅の方が多い。居間に比べると各住宅間のばらつきが大きいとも考えられる。

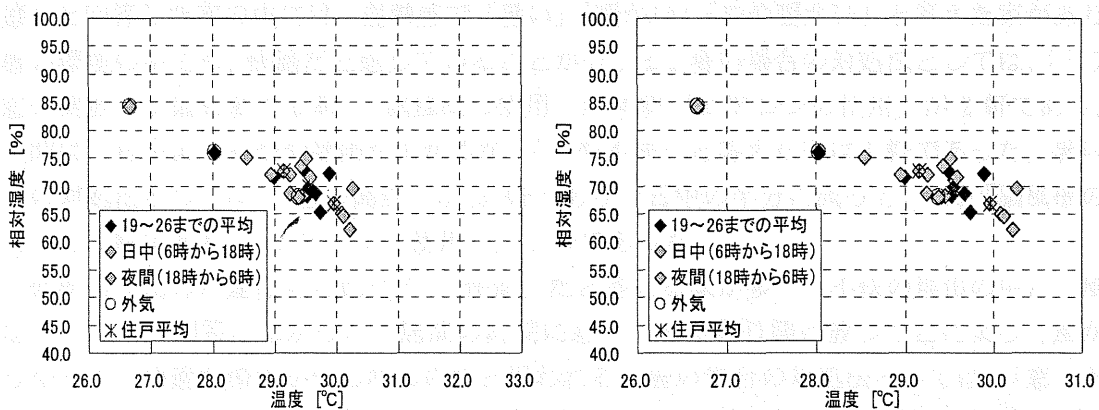


図 3.11 各住宅と外気の平均温湿度 (2月19~26日の全日、日中、夜間の平均) 中所得者用戸建住宅・居間 (温度スケールを (左) 低所得者用にあわせている。(右) 変えている)

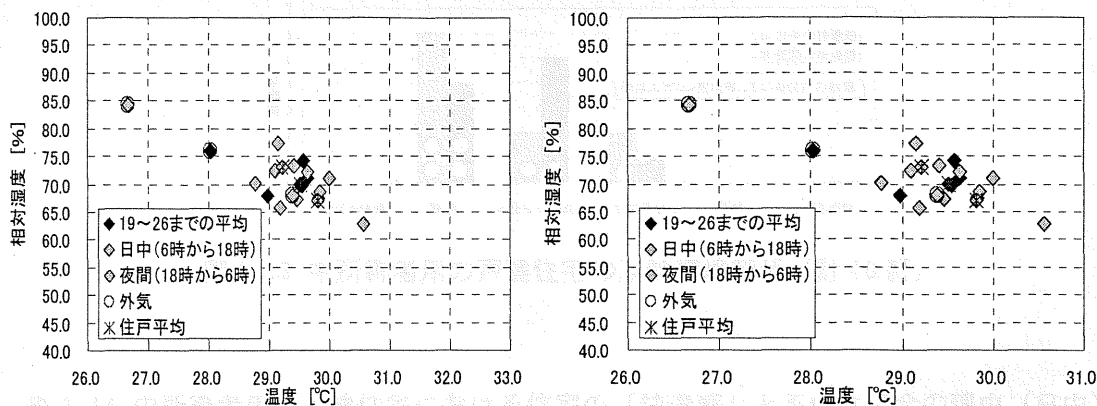


図 3.12 各住宅と外気平均の平均温湿度 (2 月 19~26 日の全日、日中、夜間の平均) 中所得者
 用戸建住宅・寝室 (温度スケールを (左) 低所得者用にあわせている。(右) 変えている)

表 3.13 外気と室内の温度と相対湿度の平均

	外気		住戸平均(居間)		住戸平均(寝室)	
	温度	相対湿度	温度	相対湿度	温度	相対湿度
全日	28.0	76.0	29.6	69.7	29.5	70.0
日中	29.4	67.8	30.0	66.8	29.8	67.0
夜間	26.7	84.1	29.2	72.6	29.2	73.0

図 3.13 および表 3.14 と表 3.16 に中所得者用の戸建住宅の快適感についての結果を示す。これは、冷房を使用している家も含めた 10 軒の集計である (図中の◎はエアコンを所有している住宅の回答者数である)。日中は「快適」と答える家が半数以上を占めている。「快適」と回答した家の中には、温熱感で「暑い」「暖かい」「やや暖かい」と答えた家があり、暑い環境の中でも、快適だと感じていることが分かる。暑い場合の対処法としては、「ドア・窓の開放」が最も多く 6 軒、「扇風機の使用」が 4 軒「エアコンの使用」が 2 軒であった。夜間は、日中よりもやや評価が下がるが、「やや不快」と答えた家は 1 軒であった。暑い場合の対処法としては、「窓の開放」が 3 軒であり、日中の半分に減っている。「扇風機の使用」は 5 軒であり、「エアコンの使用」は 1 軒であった。

低所得者用の戸建住宅と比べて、「快適」だと答える家が多く、不快の理由の中に「風がない」という回答はなかった。居間の両側に窓・ドアがあり開け放つことによって風が入りやすく、快適な環境が作られるのだと思われる。暑い場合の対処法としては、「窓・ドアの開放」が多く、風通しを重視していることが伺える。また、「通風が必要かどうか (Do you need the wind breeze?)」という質問に対しては、8 軒/10 軒中が必要だと答えており、「どちらでもない」が 2 軒であった。低所得者用の戸建住宅では全員が「どちらでもない」と答えていたのとは対照的に、外部風によって涼感が得られていることが分かる。

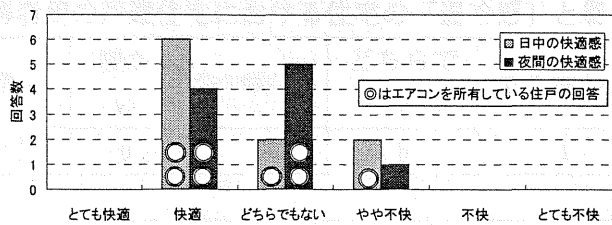


図 3.13 中所得者用の戸建住宅の温熱環境評価 (計 10 軒)

表 3.14 中所得者用の戸建住宅における住宅の「快適感」と不快な場合の理由 (日中)

	とても快適	快適	どちらでもない	やや不快	不快	とても不快
回答人数	0	6	2	2	0	0
理由						
温度が高い				1		
特になし		6	2	1		

表 3.15 中所得者用の戸建住宅における住宅の「温冷感」と暑い場合の対処法

	暑い	暖かい	やや暖かい	どちらでもない	やや涼しい	涼しい	無回答
回答人数	2	1	2	3	0	1	1
対処法							
ドア・窓を開ける	1	1	1	1		1	
扇風機を使う	1	1	1				1
エアコンを使う	1			1			
ブラインドを使う	1		1				
特になし				1			

表 3.16 中所得者用の戸建住宅における住宅の「快適感」と不快な場合の理由 (夜間)

	とても快適	快適	どちらでもない	やや不快	不快	とても不快
回答人数	0	4	5	1	0	0
理由						
風がない				1		
無回答		4	5			

表 3.17 中所得者用の戸建住宅における住宅の「温冷感」と暑い場合の対処法

	暑い	暖かい	やや暖かい	どちらでもない	やや涼しい	涼しい	寒い
回答人数	2	0	0	5	1	2	0
対処法							
窓を開ける				2			
扇風機を使う	1			3	1	1	
エアコンを使う						1	
特になし	1						

d) 低所得者用の集合住宅

図 3.14 に低所得者用の集合住宅における 11 軒の平均温湿度を示す。測定期間中の最高室温は、19 日午後 2 時の 32℃であった。日中の室温は中所得者用の住宅とほとんど変わらず、低所得者用の戸建住宅よりも良好な環境が形成されている。日射が室内に射入しないように工夫されており、室温上昇に対する日射の影響は小さいと考えられる。また、海に近い外部風が強く、共用空間側とテラス側にある 2 カ所の扉を開けば、風通しが十分確保される。19 日の午後 4 時のように外気温度が急激に下がった場合の室温低下は、中所得者用の戸建住宅よりも大きい。夜間は日中に比べて外部風が弱くなる⁸⁾ために、換気量が減る。そのため室温は下がらずに 28~29℃の範囲で推移している。夜間には、共用空間側の扉を閉じる家もあり、これも夜間換気を妨げる原因となっている。測定期間中の平均気温は 29.6℃で、中所得者用の戸建住宅とほぼ同様な結果であった。

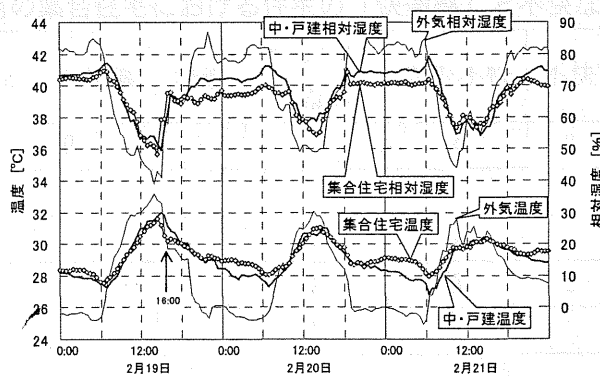


図 3.14 居間の温湿度（低所得者用の集合住宅：11 軒の平均値）

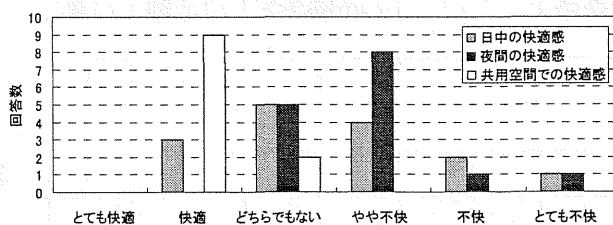


図 3.15 低所得者用の集合住宅での温熱環境評価（計 15 軒）

図 3.15 に低所得者用の集合住宅の温熱環境評価に対する結果を示す。日中の快適性・夜間の快適性と共に、2階以上の住戸に対しては共用空間での快適性についても質問した。

日中の快適感については、半数が「快適」もしくは「どちらでもない」と答えていた。「不快」と答えた理由としては、半数以上が「風がない」であり、「気温が高い」と答えたのは2軒であった。風がない場合に不快と感じる人が多いことが分かる。暑い場合の対処法としては、「ドアを開ける」が最も多く、15軒中12軒であった。積極的に風を得ようとする姿勢が伺える。また、「扇風機の使用」と答えたのは5軒であった。

夜間は、日中よりも「やや不快」と感じる家が多い。その理由としては、日中と同じく「風がない」ことをあげる家が半数以上である。暑い場合の対処法としては、「ドアの開放」が12軒であったが、そのうち何軒かは、共用空間側の扉を閉めてテラス側の扉のみを開けると答えていた。このため、日中よりも風通しが悪くなり、室内環境の評価が下がったものと考えられる。海に近く、低所得者用の戸建住宅や中所得者用の戸建住宅よりも風邪によって涼感を得ているために、「風がない」場合に不快を強く感じてしまうのだと考えられる。

共用空間は日中の生活場所として活用されているが、温熱環境については、12人中9人までが「快適」と回答している。居室と比べると風速が得られることで、涼感が生まれると考えられる。

中所得者用の戸建住宅でもそうであるが、「温度が高い」事を不快の理由としてあげる人は少なく、温度を下げるすべがない状態では、人体への直接の風によって体感温度を下げるという手段をとらざるを得ないことが分かる。扇風機を使用するのもそのためであろう。

表 3.18 低所得者用の集合住宅における住宅の「快適感」と不快な場合の理由（日中）

	とても快適	快適	どちらでもない	やや不快	不快	とても不快
回答人数	0	3	5	4	2	1
理由						
温度が高い			1	1		
風がない			2	3	2	1
特になし		3	2			

表 3.19 低所得者用の集合住宅における住宅の「温冷感」と暑い場合の対処法

	暑い	暖かい	やや暖かい	どちらでもない	やや涼しい	涼しい
回答人数	6	0	1	5	2	0
対処法						
ドアを開ける	5		1	3	2	1
扇風機を使う	2			2		1
共用空間で過ごす				1		

表 3.20 低所得者用の集合住宅における住宅の「快適感」と不快な場合の理由（夜間）

	とても快適	快適	どちらでもない	やや不快	不快	とても不快
回答人数	0	0	5	8	1	1

理由

気温が高い			1	3		
風がない			2	5	1	1
無回答			2			

表 3.21 低所得者用の集合住宅における住宅の「温冷感」と暑い場合の対処法

	暑い	暖かい	やや暖かい	どちらでもない	やや涼しい	涼しい	寒い
回答人数	11	1	1	2	2	1	0

対処法

ドアを開ける	8	1	1	2			
窓を開ける							
扇風機を使う	3						
団扇を使う	1			1			
服を脱ぐ					1		
無回答					1	1	

e) 各住戸の温熱環境の比較

図 3.16 に、日中（午前 6 時から午後 6 時まで）と夜間（午後 6 時から午前 6 時まで）の各住宅の室温の累積度数分布を示す。インドネシア人が快適と感じる温度（24.4～28.9℃）は主に夜間に現れ、その割合は中所得者用の戸建住宅では 46% を占めていた。低所得者用の戸建住宅や低所得者用の集合住宅では 30% 程度であった。ここからも、低所得者用の集合住宅の方が中所得者用の戸建住宅より夜間の環境は悪いと言える。

一方、日中の分布を見ると、28.9℃以下の温度の割合は、それ程変わらないが、温度が高い側の割合は低所得者用の集合住宅の方が中所得者の戸建て住宅よりも少なく、日中の温熱環境は低所得者用の集合住宅の方が良好であることが分かる。最高室温でも、低所得者用の集合住宅が 31.6℃、中所得者用の戸建て住宅が 32℃となっていた。

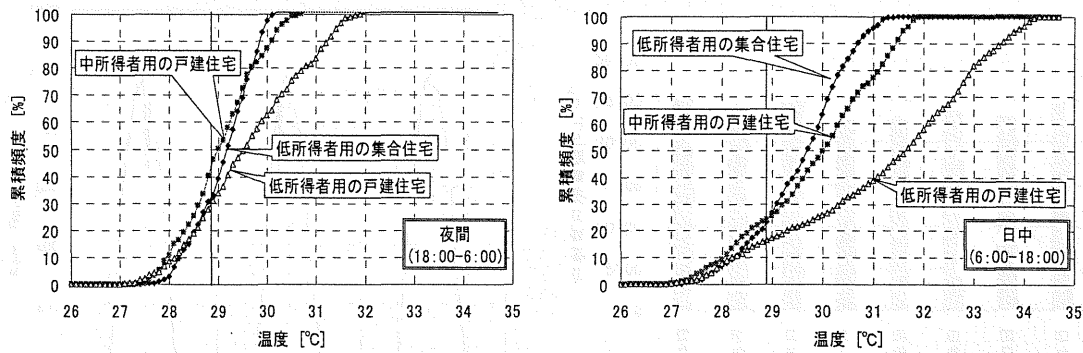


図 3.16 各住宅の温度の累積度数分布（夜間（左）、日中（右））

(2) 2002年7月（乾期）の結果

a) 外気温湿度および日射量

図 3.17 に外気温湿度を、図 3.18 に水平面全天日射量を示す。日射量の測定では、直達日射が建物などによって遮られない場所を選び、実験住宅の南（2月 は北）側で行ったが、天空放射は実験住宅によって一部遮られている。そのため、実際の全日射量よりも小さな値となっている。

日射量は、測定期間中はほぼ同程度の値であった。測定期間中で外気温度が最も高い値を記録した日は、7月9日であり、最高気温は午後1時前に30.4℃であった。2001年2月と比較すると3℃程度低くなっている。夜間の外気温度は25~27℃の間でゆっくりと降下している。7月4~11日の平均外気温度は27.5℃、相対湿度は69.3%、日別の積算日射量は19,955 kJ/m²であった。乾期にあたり晴天が続いたため、日射量の日変化は小さい。また、晴天の場合の南中時での日射量は2月の方が大きい。これは、南中時の太陽高度が2月の85.5°（20日）と比較して、7月は61°と低いためである。太陽高度が高くなるのは、2月から3月にかけてと9月から10月である。2月は雨期であるため日積算日射量は小さくなるが、10月は乾期にあたり日積算日射量が最も大きくなる。

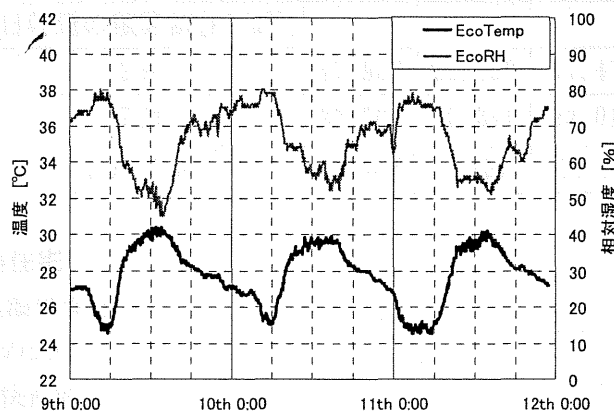


図 3.17 外気温湿度

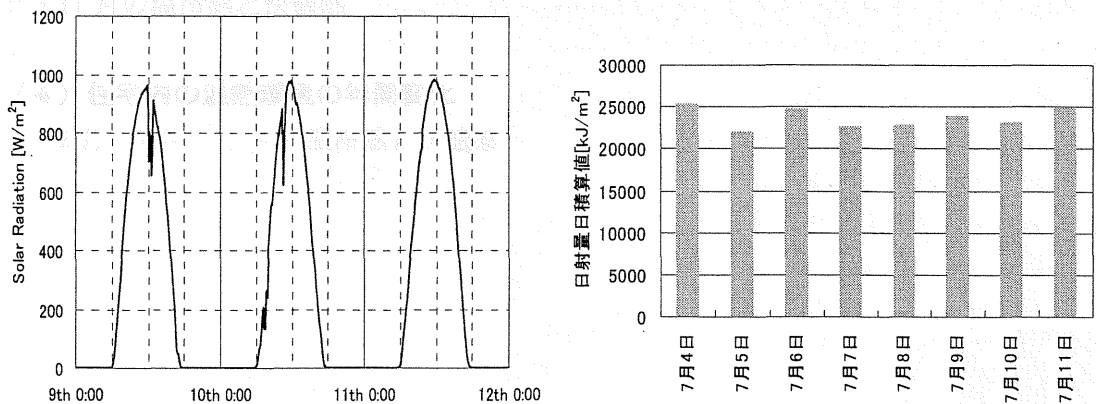


図 3.18 (左) 水平面・鉛直面全天日射量と (右) 日射量の日積算値

表 3.22 測定期間中の外気温度・相対湿度・日射量 (2002 年 7 月 4 日から 11 日)

	温度 [°C]	相対湿度 [%]	日射量の積算値 [kJ/m ²]
平均	27.5	69.3	23,706
最大値	30.4 (7/9 13:00)	85 (7/7 3:00)	25,341 (7/4)
最小値	22.9 (7/5 5:30)	38 (7/4 14:00)	22,012 (7/3)

表 3.23 測定期間中の外気温度・相対湿度・日射量 (2 月と 7 月の比較)

温度 [°C]	平均	最大値	最小値
2 月	28.1	33.5	23.2
7 月	27.5	30.4	22.9
2 月-7 月	0.6	3.1	0.3
相対湿度 [%]			
2 月	75.6	99	39
7 月	69.3	85	38
2 月-7 月	6.3	14	1
日射量の積算値 [kJ/m ²]			
2 月	17,958	26,550	11,474
7 月	23,706	25,341	22,012
2 月-7 月	-5,748	1,209	-10,538

b) 中所得者用の戸建住宅

- ・ 居間と寝室の温湿度変化
- ・ 2 月のデータとの比較
- ・ 7 月の温冷感と快適感

(3) 2002 年 11 月 (乾期) の結果

3・11月の温冷感と快適感 居住用時の温熱環境についての調査（2003年近畿支庁）

(1) 住居の普及状況・必要性

(4) 住宅内の温熱環境の年間変化

2月、7月、11月の温冷感と快適感

図1.19は、(アンケート)より、2002年7月の調査でエアコン・2月、7月、11月の温冷感と快適感、調査を行った住宅60軒のうち17軒(28%)であった。中所得者層の戸建住宅では38%がエアコンを所有しており、高所得者層の戸建住宅では約半がエアコンを所有していた。所有台数は中所得者層の戸建住宅では1〜3台で、全て寝室に設置されていた。高所得者でもエアコンはまず寝室に設置されるが、部屋数が多いため設置台数も多い。寝室の他にはお風呂部屋、リビング、仕事部屋、客間に設置しているという回答があったが少数であった。

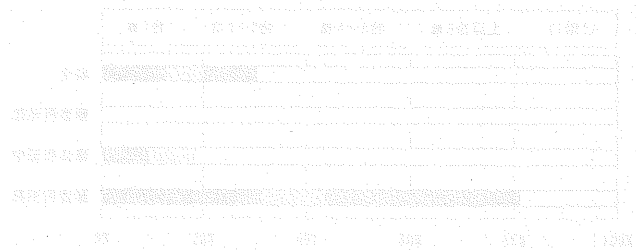


図1.19 エアコンの所有率（所得による違い）

図1.20は、エアコンの必要性についてのアンケート結果を示す。

図1.20(ト)は所得による回答の違いを示しているが、高所得者層では71%がエアコンを必要であると考えていた。中所得者層では68%が必要であると答える一方で、必要じゃないという回答が41%あり、各所得層の中で最も高かった。低所得者層では36%が必要であると答えており、エアコンを必要性とする率は、住宅の温熱環境が良くない低所得者層の戸建住宅においても高い。エアコンが低所得者によって高まった所有が春期ではないのかもしれない。低所得者層でエアコンを必要ないと答えた人は19%と中所得者層よりも低い。エアコンを「お金の無駄・ふま中ぎの無駄」と考えている人も多い。しかし、所得層が、かまにか、「お金の無駄」という回答が低まっていることから、所得が高ければエアコンを稼働・発動する人が増えていくのではないかと予想できる。

図1.20(リ)は、エアコンの所有率と必要必要性に対する意識の違いを示す。所有エアコンを所有している入居者の71%がエアコンを必要と感じているが、所有していない入居者もエアコンを必要と考える割合(61%)に比べると3倍以上となっている。これより「エアコンを必要と考える」とエアコン無しの場合の意識が低くなる傾向が見える。また、「お金の無駄、である」という回答は、エアコン所有者には少ない。

3. 4 冷房の普及状況と冷房使用時の温熱環境についての調査 (2003年近畿支部)

(1) 冷房の普及状況・必要性

図 3.19 にエアコンの所有状況を示す。(アンケート 2 より)。2002 年 7 月の調査でエアコンを所有しているのは中所得者以上であり、調査を行った住宅 56 軒のうち 17 軒 (31%) であった。中所得者用の戸建住宅では 18% がエアコンを所有しており、高所得者用の戸建住宅では 81% がエアコンを所有していた。所有台数は中所得者用の戸建住宅では 1~3 台で、全て寝室に設置されていた。高所得者でもエアコンはまず寝室に設置されるが、部屋数が多いため設置台数も多い。寝室の他には勉強部屋、リビング、仕事部屋、客間に設置しているという回答があったが少数であった。

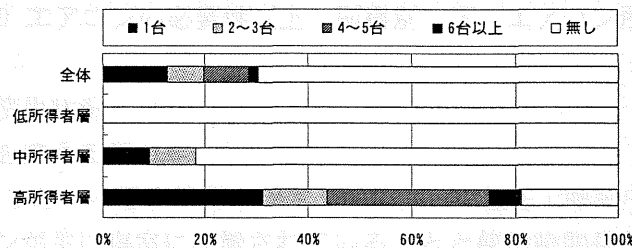


図 3.19 エアコンの所有率 (所得による違い)

図 3.20 に、エアコンの必要性についてのアンケート結果を示す。

図 3.20 (上) は所得による回答の違いを示しているが、高所得者層では 71% がエアコンを必要であると考えていた。中所得者層では 23% が必要であると答える一方で、必要ないという回答が 41% あり、各所得層の中で最も高かった。低所得者層では 26% が必要であると考えており、エアコンを必要性とする声は、住宅の温熱環境が良くない低所得者用の戸建住宅においても高い。エアコンが低所得者にとってはまだ所有が容易ではないのであろう。低所得者層でエアコンを必要ないと答えた人は 14% と中所得者層よりも低いですが、エアコンを「お金の無駄・エネルギーの無駄」と考えている人も多い。しかし、所得者層が上がるにつれ、「お金の無駄」という回答が減っていることから、所得が許せばエアコンを購入・使用する人が増えるだろうと予想できる。

図 3.20 (下) に、エアコンの所有の有無による必要性に対する意識の違いを示す。現在エアコンを所有している人のうち 77% がエアコンを必要と感じており、所有していない人のうちエアコンを必要と考える割合 (21%) に比べると、3 倍以上となっている。これより、一度エアコンを使用し始めるとエアコン無しの生活が考えられなくなる傾向が伺える。また、「お金の無駄」とあるという回答は、エアコン所有者にはいない。

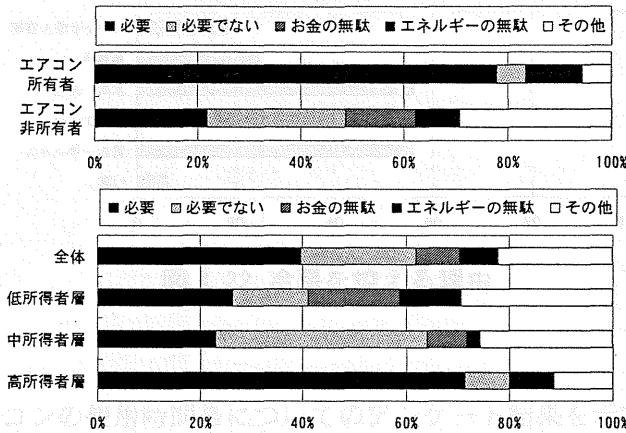


図 3.20 エアコンの必要性 (上：所得別、下：エアコン所有別)

(2) 冷房設備の使用状況

a) 使用目的と使用を控える理由

図 3.21 に冷房をしたいと思う状況を示す。80%以上の住宅で睡眠中にエアコンが使用されている。エアコンが主に寝室に設置されていることと使用時間帯が夜間に集中していることを考えると、第一に睡眠に対して快適な環境が求められていることが明らかである。「睡眠中」「睡眠前」以外の回答には「来客時」「暑いと感じたとき」などもあるが、その割合は高くなく、睡眠以外にはあまり使われていないことが分かる。

図 3.22 にエアコンの使用を控える理由を示す。理由としてエネルギーの浪費を挙げる割合が高く、省エネルギーには気を遣っているようではある。

このように夜間、睡眠中のエアコンの使用が高い状況と、同時に高所得の一部に夜間でもエアコンのない住宅があることを考慮すると、夜間換気の利用や扇風機により、エアコンの使用を減らすが可能であれば、エネルギー削減に貢献できると考えられる。エアコンを使用する場合でも、建物の熱的性能の向上と夜間換気の適切な利用による、室内温熱環境の改善は有効であり、また扇風機を使用すれば冷房に頼らない時間帯を増やすことも可能であろう。

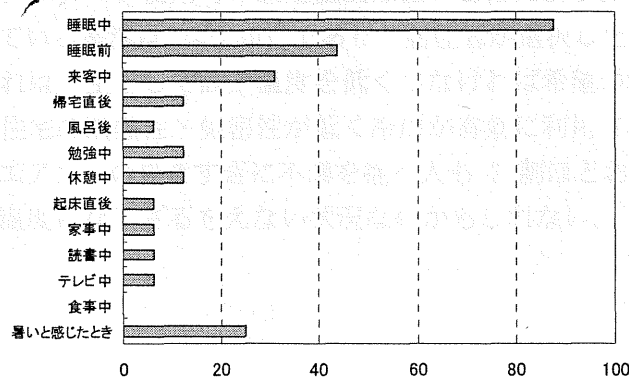


図 3.21 冷房をする時の状況

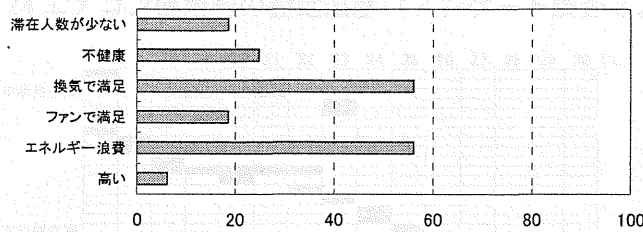
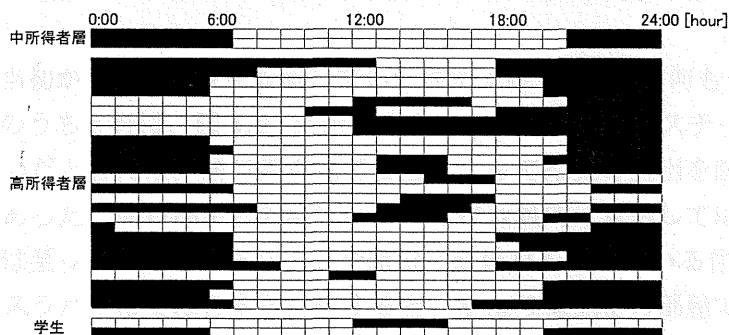


図 3.22 冷房を控える理由

b) 使用時間帯

表 3.24 に、エアコンの使用時間帯についてのアンケート結果を示す。21時から24時までエアコンを使用している人が全体の80%に達し、全体の70%は午前6時前後までエアコンを使用し続けている。日中でも12時から15時までに使用する人が全体の30%であるが、エアコンは夜間に使用される傾向が高い。また、使用時間は、最長で19時間、平均でも10時間となっており、エアコンの使用時間は非常に長い。

表 3.24 エアコン使用時間帯 (アンケート調査3より)



c) 使用時の設定温度

表 3.25 に、アンケート 2 から得られたエアコン使用時の設定温度に関する結果を示す。エアコン使用時の設定温度は、16~30℃の範囲に分布している。ほとんどが25℃以下を設定温度にしており、エアコン使用時の設定温度は低いと言えよう。しかし後述するように、実際に形成されている室温は24~30℃であり、居住者が選択した設定温度と実際の室温には差がある。これは、主として設定温度を低くしなければ希望の温度まで室温が下がらないためであり、住宅の断熱性・気密性が低く冷房が有効に利用されていないと考えられる。また一方で、エアコンの効きすぎに不満を抱く人も2割ほどおり、エアコンが適切に調節されずに低い温度にならざるをえない状況なのかもしれない。

表 3.24 エアコン使用時の設定温度（アンケート調査 2 より）

	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30 [°C]
中所得者層						■			■						
高所得者層	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
学生			■					■							■

(3) エアコン設置時の住宅の改善

スラバヤ市の住宅は窓の上部や天井下に開口を多く設けている。特に所得が上がるにつれ、窓の割合が増え住宅が開放的になっている。住民の多くは通風を重視しており、日中にけるの暑さ対策として「窓やドアの開放」と答える住宅がほとんどであった。このような開放的で低気密な構造は冷房には効率的ではない。

そこで、エアコン設置に関して、設置時に建物にどのような改善を行ったかアンケートを行った。

住宅への入居当初からエアコンを設置していた住宅 4 軒を除くと、何もしていないのは 2 軒だけで、残りのうち 8 軒は、図 3.23 に示すように、ガラスやプラスチック、段ボールなどで開口部を塞いだと答えた。開口部を塞ぐことによって冷気の流出を防いではいるが、不十分な状態であった。開口部からの漏気については意識的に対処してはいるが、徹底した気密化にまでは至っていない。また、壁や屋根に断熱材を用いている住宅はなかった。

このように、スラバヤ市では日本と比較すると、かなり低気密の部屋でエアコンを使用している。従って、漏気による冷房用電力の浪費は避けられない。中所得者層で今後ますます冷房が普及することを考えれば、電力の浪費は計り知れない。部分的な高気密・高断熱化を行っていく必要がある。



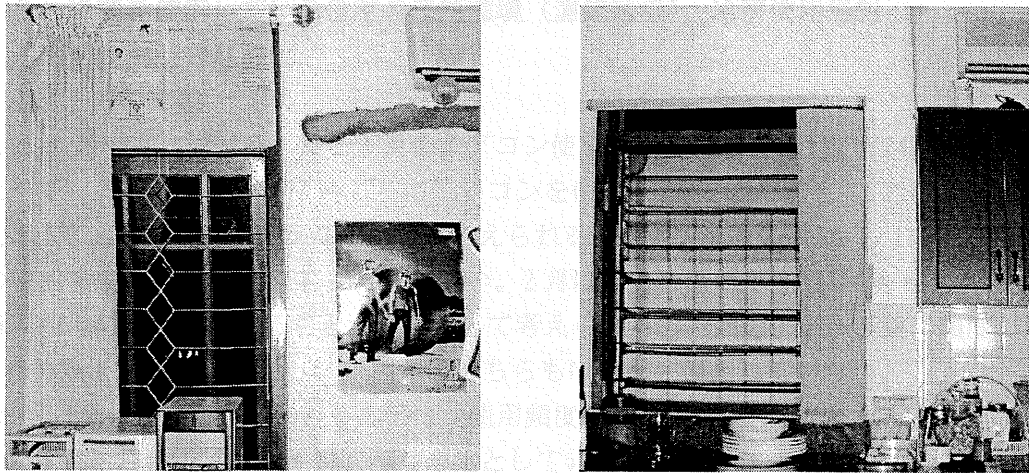


図 3.23 プラスチック（上図・左）・ガラス（上図・右）のはめ込み、新聞紙による漏気の防止（下図・左）、がらり窓（下図・右）

(4) 使用時間帯・使用頻度（2003年近畿支部（今井））

図 3.23 は、HouseA と B の寝室におけるエアコン使用頻度の時刻による変化を示したものである。ここで、使用頻度とは、それぞれの時間に、測定期間 9 日間のうち何日間エアコンを使用したかを意味している。図 3.25 はエアコンのある住宅 3 軒（HouseA、B、C）の 7 月におけるエアコン使用頻度を示している。

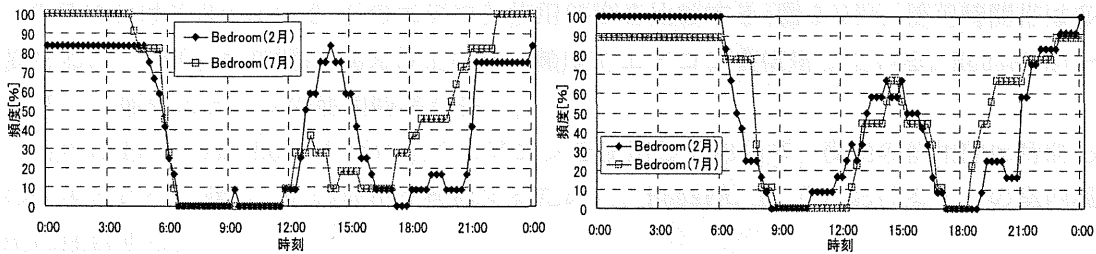


図 3.24 HouseA（左）、HouseB（右）の寝室における時間別エアコン使用頻度

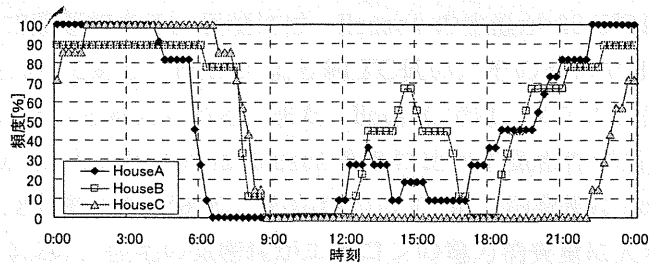


図 3.25 7 月における各住宅のエアコン使用頻度

エアコン使用頻度に関する比較を行うと、日本が一日約 7 時間であるのに対し（京都 5 時間、徳島 7 時間、東京 7 時間）、スラブでは平均約 12 時間である。日本では夏前に長期間のピークを向かい、午前十時ごろには 90% 以下になるのに対し、スラブの住宅では朝の 8 時ごろまで 90% 以上の高い使用頻度を持っている。日本と比較

3. 5 冷房を使用している住宅の温熱環境（測定結果）、冷房使用形態

(1) 冷房使用時の温湿度

a) 2月と7月の比較

HouseAの寝室における2月と7月のエアコン使用頻度を比較する(図3.24)。2月は7月に比べて、日中12時から15時ごろにエアコンを使用する頻度が高い。これは2月のほうが約1.5℃、日中の外気温が高いためと考えられる。逆に、夕方18時から21時ごろは、7月の使用頻度が2月に比べて30%ほど高い。2月は夕方に降雨が多く(図**上の方)、その時間帯に気温が低下することが理由として考えられる。夜間のエアコン使用頻度が共に高く80%以上であるのに対し、午前中はどちらもほとんど使用していない。

次に、HouseBの寝室におけるエアコン使用頻度について検討する(図3.24)。HouseBでは、2月と7月のエアコン使用状況は全体として非常に似ている。ただ、HouseAと同じように、2月のほうが夕方の使用頻度が低い。HouseBでは日中の使用頻度が2月と7月でほとんど同じであることから、2月の夕方に使用頻度が低くなるのは降雨による室温低下が主な原因であると考えられる。HouseAと同様に、夜間のエアコン使用頻度は高く90%以上であるのに対し、午前中はほとんど使用していない。使用時間帯を見ると、夜7時から翌朝6時過ぎまでの約10時間と日中13時から16時までの2~3時間に使用頻度が高くなっており、一日に約12時間エアコンを使用している。午前中と18時前後には全く使用していない。

b) 住宅間の比較

7月におけるHouseA、B、Cのエアコン使用頻度を比較する(図3.25)。使用時間帯は多少異なるが、3軒とも夜間に90%以上の高い頻度でエアコンを使用している。HouseBが一日を通して最もエアコンの使用時間が長い。

日中においては、HouseCだけ全くエアコンを使用しておらず、夜間の使用開始時間も他の住宅と比べて遅い。その理由を検討するために、HouseA、B、Cにおける7月の室内温湿度に注目する。

図3.26は、7月7日と8日における室内温湿度変動を示している。HouseCでは、HouseAやHouseBに比べ、朝にエアコンを停止させてからの室温上昇がゆるやかである。その違いは、HouseAとの間で顕著である。昼頃には、HouseAの室温が30.5℃になっているのに対し、HouseCでは28.6℃であり、HouseAより約2℃低い。そのせいでHouseCでは日中にエアコンを使用していないと考えられる。また、HouseCでは、エアコン使用開始後の室温降下が急激である。以上より、HouseCはHouseAやBに比べて気密性が高いといえる。HouseCの床面積はHouseA、Bの約2倍であるにもかかわらず、電力消費量はHouseBの4/5、HouseAの半分であり(表3.26)、住宅の気密性がエアコンの電力消費量に大きく影響しているものと考えられる。

エアコン使用時間における日本との比較を行うと、日本が一日約7時間であるのに対し(京都6.5時間、那覇7.5時間、東京7時間)⁴⁾、スラバヤでは平均約12時間である。日本では就寝前に使用頻度のピークを向かえ、午前3時ごろには50%以下になるのに対し、スラバヤの住宅では朝の6時ごろまで90%以上の高い使用頻度を保っている。日本と比較

すると、夜間のエアコン使用状況が決定的に異なっていることが分かる。また、那覇とスラバヤの外気温、室温がほとんど同じであることから、高湿度による不快さが夜間のエアコン使用時間を長くしている原因の1つと考えられる。

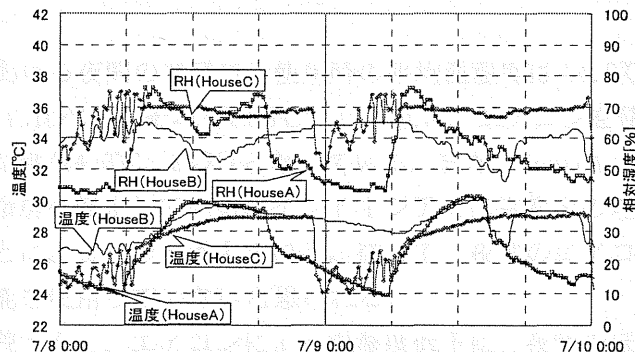


図 3.26 HouseA、B、Cの室内温湿度変化(7月)

表 3.26 調査対象住戸の詳細

	エアコン台数 [台]	床面積 [m ²]	寝室の 向き	構成人数 [人]	所得	消費電力 [kW/月]
HouseA	2	70	北	4	high	400
HouseB	1	100	北	4	high	250
HouseC	1	180	南	3	high	200
HouseD	0	75	南	4	middle	172

(2) 冷房を行っていない住宅との比較

図 3.27 には、2月(雨季)と7月(乾季)におけるエアコンのある家(HouseA)とない家(HouseD)の寝室の温湿度を示す。また、各図の下にはその日の水平面日射量を示す。測定期間内において、2月と7月で外気温変動が類似した2日間を選び、その温湿度変動を示したものである。図の矢印は、HouseAにおいてエアコンが使用されている時間を示す。

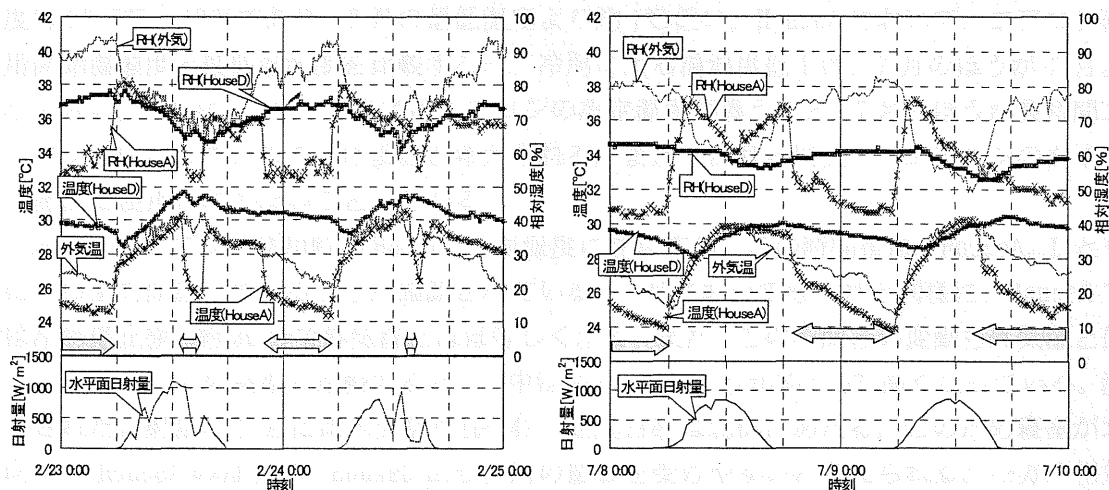


図 3.26 エアコンのある家(HouseA)とない家(HouseD)の温湿度変化(2月(左), 7月(右))

a) 2月(雨季)の実測結果 (図 3.27)

まず、エアコン使用時の HouseA の温湿度に注目する。日中のエアコン使用時には、平均で 27.1℃、58%になっており、これはエアコンのない HouseD に比べて、4.1℃、7.1%低い。また、エアコンを使用してから約 2 時間後に室内は、最低の温湿度 (25.4℃、53%) となっている。

一方、HouseA における夜間のエアコン使用時の平均温湿度は 24.9℃、56%である。エアコンの無い HouseD に比べて、それぞれ 5℃、18%低い。エアコンを使用し始めてから約 7 時間後に最低の温湿度 (24.3℃、53%) となっている。また、HouseA の居住者は、常に起床直後の 5 時ごろに冷房を停止している。インドネシアでは宗教上の理由から、朝 5 時に起床する人が多いことによるものと考えられる。従って、夜間のエアコン使用時には、エアコンのタイマー機能を使用していないと思われる。

日中と夜間を比較すると、エアコンによる温湿度低下は、夜間のほうが大きい。温度低下に関しては、夜間の外気温が日中より低いこと以外に、夜間のほうが長時間使用しているためと考えられる。

次に、エアコン非使用時の HouseA の温湿度に着目する。アンケート結果によると、この時間帯は HouseA、D ともに開口部を開放している。HouseA では、冷房を停止してから約 30 分で外気温に近づき、この時間帯の変動は外気温とほぼ等しい。HouseD の室温と比較すると、午前中は平均約 1℃、夕方は平均約 1.8℃、HouseA のほうが低い。測定日の日中における日射量は大きく (図 3.27)、直達日射は南側にあたる。このため、寝室が南向きの HouseD のほうが HouseA より日射の影響を強く受け、室温が外気温より高くなったと考えられる。相対湿度は、室温が低いために HouseA のほうが約 5%高くなっている。

b) 7月(乾季)の実測結果 (図 3.27)

2月と同様にまず、エアコン使用時の HouseA の温湿度に注目する。7月では、ほとんど夜間のみエアコンを使用している。エアコン使用時の温湿度は平均で 25.4℃、48%であり、エアコンのない HouseD と比べると、それぞれ 4.1℃、11%低い。また、その間の最低温湿度は 23.7℃、43%であり、2月の最低温度より約 1℃低い。HouseA において、エアコン使用開始温湿度と最低温湿度を比較すると、冷房による温湿度低下は、7月のほうが 2月より大きい。これは、2月と7月ではエアコンの設定温度が違うこと、7月のほうが長時間エアコンを使用していることによると考えられる。また、2月と同様に、エアコンのタイマー機能は使用されていないことが分かる。

次に、エアコン非使用時の HouseA の温湿度に注目する。この時間帯は、HouseA、D ともに開口部を開放していることが確認されている。7月においても 2月と同様に、HouseA では冷房停止後、約 30 分で外気温とほぼ等しくなる。また、この時間帯の変動も外気温と似ている。HouseD の室温と比較すると、日中は HouseA のほうが約 0.5℃高くなっている。測定された日射量は 2月に比べ少なく (図 4)、直達日射は北側にあたる。このため寝室が北向きの HouseA のほうが、HouseD より日射の影響を受けやすいと考えられる。一方、相対湿度は、HouseA のほうが平均約 7.5%高くなっている。

(3) 使用時間、設定温度 (黄表紙)

2001年2月の調査では、中所得者用の戸建住宅では10軒中4軒がエアコンを使用していることが分かった。図3.28にそのうち2軒の住宅の、冷房を行っている寝室の温度変化を示す。エアコン使用時の温度は、日中で27℃程度、夜間では24~26℃となっており、日本の設定温度と大差ないことが分かる。エアコンの使用頻度は、「いつも」「よく使う」と答えていた。

エアコンの使用に対する考え方は、10軒中7軒までが「必要」であると答え、1軒は「浪費になる」、2軒が無回答であり、中所得者用の戸建住宅において、今後エアコンの使用が急速に普及していくことが想像できる。

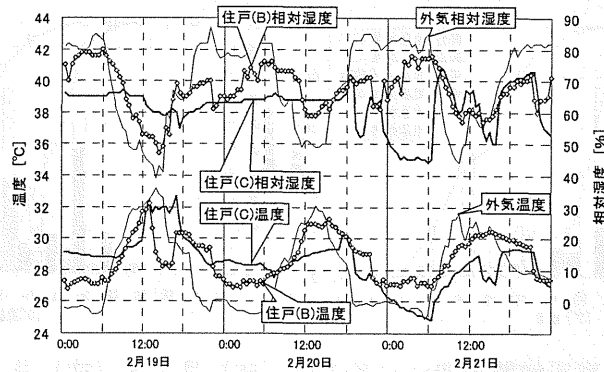


図 3.28 冷房を行っている住宅の温湿度変化

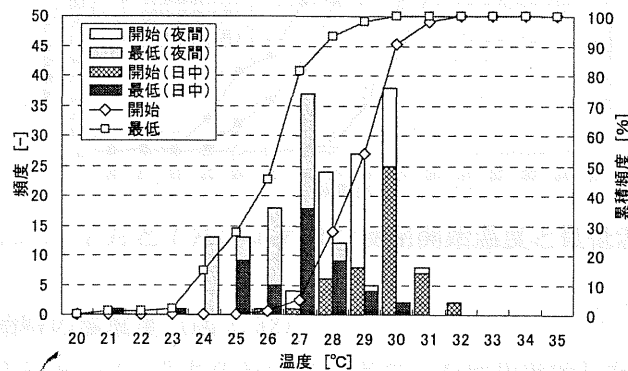


図 3.29 冷房運転開時・冷房中の最低温度 (日中・夜間)

(2003年近畿支部(今井)) 図3.30は、3軒の住宅におけるエアコン使用開始温度と使用時間中の最低温度を示したもので、日中と夜間を区別している。図中の線グラフは開始温度と最低温度の累積頻度を示している。

a) 2月の使用開始温度と最低温度 (図3.30)

棒グラフの分布を見ると、2月においては27℃から32℃までの間にエアコンを使用し始めている。エアコンの使用を開始する温度は夜間のほうが日中より低い。最低温度は日中が25℃から30℃の間、夜間が24℃から28℃までの間の値をとっており、夜間のほうが低

い。

b) 7月の使用開始温度と最低温度 (図 3.30)

7月におけるエアコン使用開始温度は、日中は28℃から30℃の間、夜間で26℃から29℃の間となっている。エアコン使用開始温度は、夜間のほうが日中よりやや低い。また、最低温度は日中が23℃~29℃、夜間が23℃~27℃となっており、夜間のほうがやや低い。2月と7月を比較すると、エアコンの使用開始温度はほぼ同じである(図 3.31)。最低温度は7月のほうが2月より低い。これは7月の外気温が2月より低いためと考えられる。

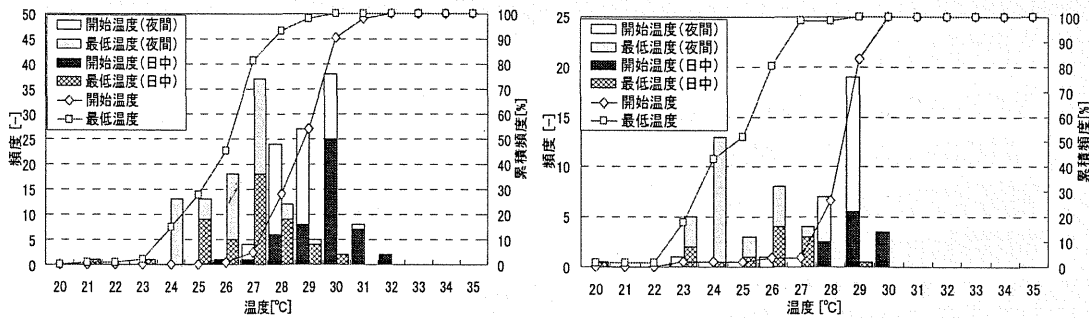


図 3.30 2月(左)と7月(右)のエアコン使用開始温度と最低温度

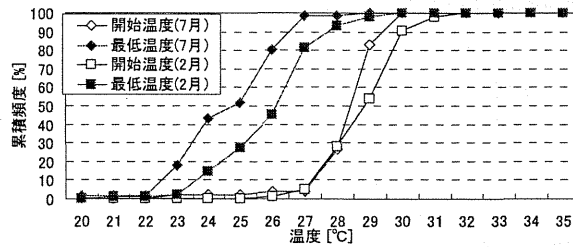


図 3.31 2月と7月のエアコン使用開始温度と最低温度

c) エアコン使用開始時の温湿度 (図 3.32)

図 3.32 は HouseA において、2月の日中にエアコンを使用開始したときの温湿度と、使用開始2時間前の温湿度を示している。29.2℃より室温が高い場合は、湿度に関係なくエアコンを使用していることが多い。一方、温度がそれ以下のときは、湿度が約80%以上でエアコンを使用している。さらに、日中の温度が28.2℃を下回れば、湿度に関係なく、エアコンは使用していない。つまり、HouseA では温度が28.2~29.2℃の間においては、エアコンを使用するかどうかの決定に湿度が大きく関係するといえる。

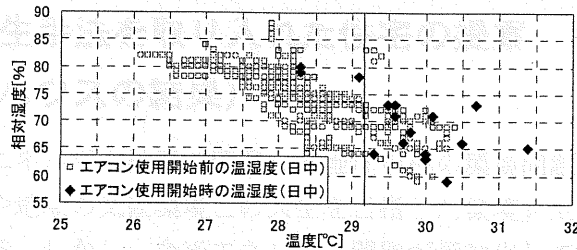


図 3.30 エアコン使用開始時と開始前の温湿度(2月日中)

本研究は、インドネシア・スラバヤに建てられた環境共生住宅を対象に、室内外の温熱環境の測定を行い、導入されたパッシブ手法の効果の改善と室内温熱環境の評価を行うことで、熱帯地域における環境共生住宅のあり方を模索することを目的としている。

4.1.1 環境手法を取り入れたエコハウスでの実験(2001年近畿)

(1) エコハウスの概要

① 建物概要

対象となる建物は、インドネシア・スラバヤ工科大学構内に建てられた実験施設である。図4.1にも断平面図と建物中央断面図を示す。1階はロフトであり、2階と3階には住居空間と居室がある。実験住宅には様々なパッシブ手法が取り入れられている。

- (1) 共用空間をヒミオアンプスペースとして換気の促進を図る。
- (2) 屋根に断熱層と空気を設け、ダブルルーフ構造とし日射熱を効果的に排熱する。
- (3) 換気機を取りこぼしは夏期素材の材料としてココナツワラ繊維を用いる。
- (4) 大断面積と深い軒により、室内おしび問題への自然の遮蔽を行う。
- (5) タロスベンチレーションによって居室での夜間換気の促進を行う。
- (6) 気体は熱伝導率であり、気体は一般気体よりも大きめの寸法となっており、夜間換気による換気効果と高める。
- (7) 居室の床に水蒸気ハイブリッドモルタル層の導入、正冷却放射冷却を行う。冷却水に地下水を用い、永循環ポンプの動力は太陽光発電によって得られた電力を用いている。

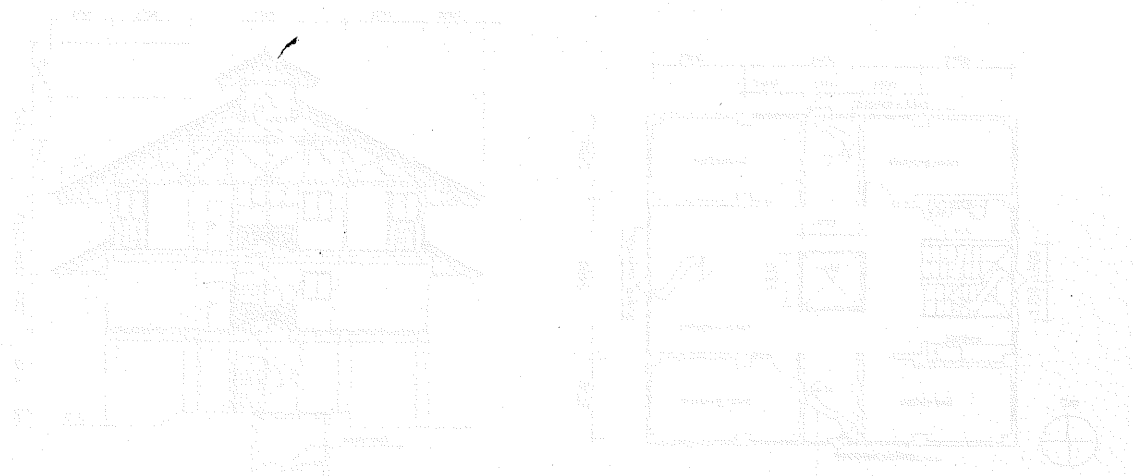


図4.1 (左) 建物中央南北方向断面図 (右) 断平面図

第4章 環境共生手法を取り入れた住宅の提案

(エコハウスの結果)

地球温暖化問題やエネルギー枯渇の問題など地球規模の環境問題が深刻化してきている現在、省エネルギーや地域の気候環境との共生を目指した環境共生住宅の研究が欧米を中心になされてきている。しかし、今後エネルギー問題が深刻化してくるのは、冷房を必要とする東南アジアを中心とした経済発展途上国と予想される。

本研究は、インドネシア・スラバヤに建てられた環境共生住宅を対象に、室内外の温熱環境の測定を行い、導入されたパッシブ手法の効果の検討と室内温熱環境の評価を行うことで、暑熱帯地域における環境共生住宅のあり方を模索することを目的としている¹⁾²⁾。

4.1 環境手法を取り入れたエコハウスでの実験 (2001年近畿)

(1) エコハウスの概要

a) 建物概要

対象となる建物は、インドネシア・スラバヤ工科大学構内に建てられた実験施設である。図4.1に2階平面図と建物中央断面図を示す。1階はピロティであり、2階と3階には共用空間と居室がある。実験住宅には様々なパッシブ手法が取り入れられている。

- (1) 共用空間をセミオープンスペースとして換気の促進を図る。
- (2) 屋根に断熱層と空気層を設け、ダブルルーフ構造とし日射熱を効果的に排熱する。
- (3) 屋根断熱材には現地産材の材料としてココナッツ繊維を用いる。
- (4) 大屋根と深い軒により、室内および周壁への日射の遮蔽を行う。
- (5) クロスベンチレーションによって居室での夜間換気の促進を行う。
- (6) 躯体はRC造であり、柱梁は一般住宅よりも大きめの寸法となっており、夜間換気による蓄冷効果を高める。
- (7) 居室の床に水循環パイプをモルタルで埋め込み、床冷却放射冷房を行う。冷却水には市水を用い、水循環ポンプの動力は太陽光発電によって得られた電力を用いている。

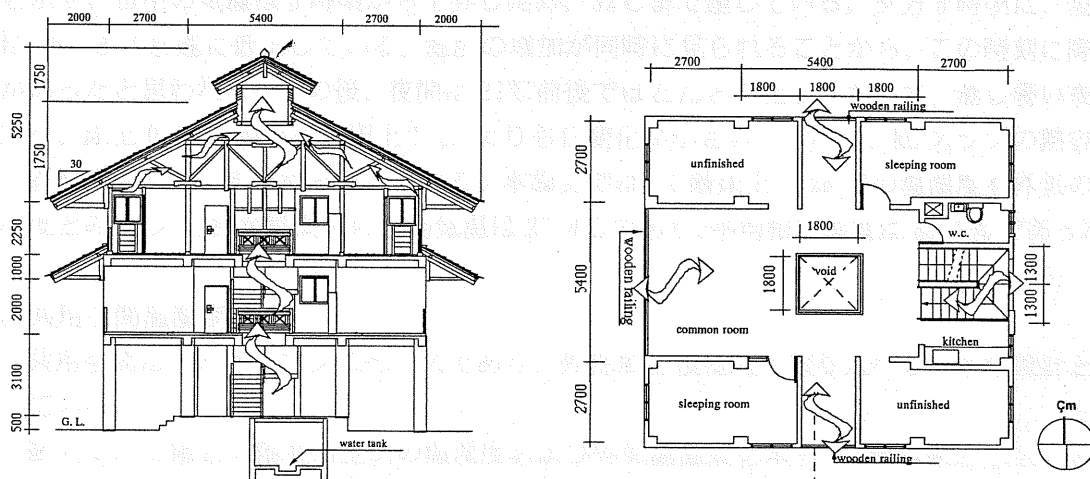


図4.1 (左) 建物中央南北方向断面図 (右) 2階平面図

b) 測定概要

測定は、1998年7/27～8/7と1998年12/13～1999年1/17に行われた。1月の測定は、後半から雨季に入っている。測定は、表4.1に示すように、開口部の開閉状態と水循環の運転モードを変えて行われた。温湿度の測定には「おんどとり」を用い、各表面温度、水温は熱電対を用いて測定した。

表 4.1 開口部と水循環のパターン

		12/13～ 12/15	12/20～ 12/26	12/27～ 1/2	1/3～ 1/9	1/10～ 1/16
運転モード		ⅢA	ⅢB	Ⅳ	Ⅱ	Ⅰ
居室窓の開閉状態	8:00～17:00	OPEN	OPEN	CLOSE	CLOSE	OPEN
	夜間 17:00～	CLOSE	CLOSE	OPEN	CLOSE	OPEN
水循環システムの運転		ON	OFF	ON	ON	ON

測定個所

各階共用空間： 0.1[m]+FL、1.2[m]+FL での温湿度。

2階、3階北東側居室：0.1[m]+FL、1.2[m]+FL での温湿度。床、天井、室内側壁、間仕切り壁、受照面外気側表面での表面温度。

2階、3階南西側居室：0.1[m]+FL、1.2[m]+FL での温湿度。

屋根：瓦表面、通気層空気温度、断熱層上下表面温度。

循環水：タンク供給水、2階、3階からの還り水温度

(2) 実測結果

a) 1階共用空間温湿度

図4.2に12/25(日中の気温が測定期間中最も高い日)、12/26の1階共用空間の温湿度を示す。日中の気温は6時頃から上昇し始め、32℃まで達している。夕方5時頃に、温度は26℃まで急速に低下している。湿度の増加が同時に見られることから、この時刻に降雨があったと思われる。その後、夜間は27℃前後でほとんど変化しておらず、蒸し暑い夜が続く。床上0.1mの温度は、床上1.2mよりも日変化が小さい。これは、RCスラブの熱容量の影響を受けているためと考えられる。本論文では、1階床上1.2mでの温湿度を外気の温湿度とみなした。測定期間中の平均気温は27.4℃であり、平均相対湿度は81.3%であった。

b) 共用空間温湿度

共用空間はセミオープンスペースであり、外部風を積極的に取り入れるような設計となっている。

図4.3に2階と3階共用空間の温湿度および外気温湿度を示す。2階は床上1.2m、3階は床上4.5mでの測定値である。日中、2階の温度は外気よりも1～2℃程度低くなっている。

2階共用空間は、天井、床、壁などの熱容量の大きな躯体に囲まれており、温度変化が他に比べ小さくなるためと考えられる。3階は、外気温度とほぼ同じか、 0.5°C 程度低くなっている。屋根による日射遮蔽が効いていると思われる。夜間は、日中にと比べると2階・3階共に、外気との温度差が小さい。風の強い地域であり、夜間の方が外気との換気（通風）が大きいためであろう。絶対湿度については、床上 4.5m での値は、2階共用空間の絶対湿度と比較しても常に小さくなっている。絶対湿度は下部へ行くほど高くなる傾向にある。

c) 居室温湿度（2階と3階の比較）

図4.4に開口部を日中閉じた場合の、2階と3階北東室床上 1.2m での温湿度を示す。2階北東室の室温が 30°C 以下になるのに対し、3階は外気と同じように変化している。3階には天井が無く、壁の上部が開口となっているため、開口部を閉じた場合でも外気との換気が行われる。その為、日中の気温は外気温度よりもやや低くなっている。日中の絶対湿度にはあまり違いが見られず、1階共用空間と同じような変化をしている。開口部の開閉状態に依らず、夜間は2階の北東室の絶対湿度がやや低くなっている。

d) 居室温湿度（2階北東室と南西室）

図4.5に2階北東室と2階南西室の温湿度を示す。

南西室の室温は、北東室よりもやや低めになっている場合が多い。北東室では朝方に温度が上がっている。朝日が室内に入射することが原因である。実際、2階北東室床表面の温度センサーには日射が当たった跡が見られ、高い表面温度が測定されている。

開口部が開いた状態では、ほとんどの場合北東室の方が外気温度に近い。これは、風通しの違いによるものと考えられる。実験建物の東側と北側は広場になっており、南側と西側には同程度の高さの建物があることから、北東側居室での風通しが良いことが考えられる。

e) 居室各部の温度（2階北東室）

図4.6に、2階北東室の床表面、東側壁室内側表面、間仕切り壁表面、天井表面温度と室温を示す。2階北東室間仕切り壁の表面温度と天井表面温度はほぼ同じような変化をしている。図4.6に示すように、日中に開口部を開放し、夜間に閉じた場合は、夜間の壁表面温度は室温とほぼ同じであり、日中は室温よりも 1°C 程度低い。受照面側の温度変化は、天井と間仕切りに比べて大きくなっている。受照面壁表面温度のみ、夜間にゆっくりと低下している。

f) 循環水温度

図4.7に、床冷却用の循環水の給水温度と2階および3階からの還水温度を示す。平均給水温度は 28.4°C である。2階からの還水、3階からの還水共に供給水との差は 0.4°C 程度であり、床内部での熱交換量は非常に少ない。実際、図4.6に示されるように、床表面温度は天井表面温度や壁表面温度とほとんど同じような変化をしている。特に夜間などには、床表面温度が循環水温度よりも低くなるため、結果的に夜間換気による床への蓄冷を妨げ

る形となっている。水循環により床を冷却するには、より低温の水を循環させる必要がある。また、水循環による床冷却放射冷房を効果的に行うには、循環水用のパイプを床表面から 2cm 以下の更に浅いところへ埋め込む必要があると思われる。

(3) 居室の温熱環境の評価

a) 解析方法

2 階および 3 階北東室を対象に、居室の温湿度、平均放射温度 (MRT)、PMV を計算した。壁、床、天井については、1 次元熱伝導方程式を解いた。外気には 1 階共用空間床上 1.2m での温湿度を、3 階天井小屋裏の部分には 3 階共用空間床上 4.5m での温湿度を用いた。日射量については、天空の形態係数を考慮して、実測値を天空放射と直達日射に分離し、それらを用いて各壁面に当たる日射量を算出した。ただ、後述の解析より判断すると、測定値が実際より低めの値とされていると判断し、測定値を 1.4 倍した値を用いることとした。MRT は居室中央部での値であり、日射を考慮している³⁾。PMV の計算では、代謝量を 65 [W]、仕事量を 0、人体周りの風速は開口部を閉じた場合で 0.1 [m/s]、開放した場合は 0.5 [m/s] とした⁴⁾。プログラム精度の確認のため、計算には、終日開口部を閉じた場合の実測値を用いた。図 9 および図 10 に外気温湿度と補正後の日射量を示す。

b) 解析結果と実測値との比較

図 4.10 に、2 階北東室室温の実測値と解析結果を示す。外気との換気回数は 0.3 [回/h] としている。計算値は、夕方の外気温度の低下による室温低下を表現できていないが、実測とおおむね一致している。

図 4.11 には 3 階北東室の解析結果を示す。換気回数は天井下の小屋裏、共用空間、外気と、それぞれ 15 [回/h]、0.3 [回/h]、3 [回/h] とした。2 階と比較して、木造であること、天井が張られていないことによって室温が上昇している様子が再現できている。

図 4.12 に、3 階北東室の室温および MRT を示す。図 4.13 には PMV 値を示す。日中の室温は 32℃まで、MRT は 34℃まで上昇している。日中の PMV は 3 を越えており、かなり暑い環境にあることが分かる。

c) 各種パラメータが温熱環境に及ぼす影響

・日射遮蔽を行った場合

MRT の上昇には、天空放射や反射日射などの日射成分が大きな影響を及ぼしていると思われる。そこで、室内や壁に入射する日射を、ブラインドを用いて 2/3、1/3 に遮蔽した場合の解析を行った。図 4.14 および図 4.15 に MRT、PMV の計算結果を示す。日射遮蔽を行った場合の室温はほとんど変わらなかった。しかし、MRT は日射を 2/3 にした場合で 2℃、1/3 にすると 3℃程度低くなり、結果として PMV は 2 程度になる。日射遮蔽の効果は大きい。

・壁体構造を変更した場合

3 階の室温の上昇には、天井を張っていないことと壁が木造であることが影響していると判断し、天井を張った場合、壁材を 2 階同様の煉瓦造とした場合の解析を行った。天井

を張った場合の換気回数は、小屋裏との間を 0[回/h]、共用空間および外気とは、0.3[回/h]とした。図 4.16 に結果を示す。

天井を張ると張らない場合に比べ、日中の室温は 0.3℃程度低く夜間はやや高くなり、変動が緩やかになる。MRT や PMV はほとんど変わらない。

壁を木造から煉瓦造にすると、室温は 1.5℃程度低下する。壁の熱抵抗の影響が伺える。

・夜間換気を行った場合

夜間の躯体への蓄冷効果を調べるため、夜間換気を行った場合の解析を行った。結果を図 4.17 に示す。外気、小屋裏、共用空間との換気回数は 10[回/h]、15[回/h]、10[回/h]とした。

夜間換気を行うことによって、夜間の室温は 0.5℃程度低下し、日中の室温も同程度下がる事が分かる。

・総合的な改善を行った場合

以上より、3 階の温熱環境を改善するためには、日射の遮蔽を前提として、壁体に断熱性の高い材料を使うこと、天井を張り外部との換気を減らすこと、外気温度が低くなったときの夜間換気が有効であることがわかった。そこで、これらの変更を全て行った場合の結果を図 4.18 および図 4.19 に示す。夜間は換気によって室温は 26℃近くまで下がり、日中の室温は 29℃以下に保たれる。PMV は、日中でも 1 をやや越える程度である。

d)まとめ

本論文では、インドネシア・スラバヤに建てられた環境共生実験住宅の温熱環境の実測結果を評価し、熱計算に基づき温熱環境の改善方策について検討した。

共用空間は開放的な設計であり、外気との通風が効果的に行われていることが分かった。中でも、2 階部分では夜間に躯体への蓄冷が行われており、日中の室温も外気よりも低い値となっていた。居室では、日中に開口部を閉じ夜間に開放する場合に、室温は最も低く保たれていた。

日射遮蔽や壁体の断熱性を高めることにより、室温を低く保てる事が、解析により分かった。また、開口部を開放して通風を行う場合よりも、開口部を閉じた場合に最も快適に近い PMV が得られた。風速が増すと PMV 値が下がることから、外部風を取り入れずに室内に風を発生させることが有効であろう。

4. 2 エコハウスに取り入れられた個々の手法の検討

- (1) 熱容量
- (2) 夜間換気

4. 3 個々の手法を改善した場合の結果

- (1) 熱容量
- (2) 夜間換気

4. 4 ゲストハウスの実測結果と解析 (2001年近畿支部)

(1) ゲストハウスの実測目的

現在、東南アジア地域では、急激な経済発展や都市化に伴い、エネルギー消費量が増大しつつあり、温暖化や環境汚染、資源の枯渇といった地球規模の問題が注目されている。特に、東南アジアのような熱帯蒸暑気候下では冷房が急速に普及し、深刻な問題となりつつある。しかし、このような地域を対象とした研究は少ない。

本研究では、熱帯蒸暑気候下において、化石燃料に依存しない冷房システム(パッシブクーリング)の効果的な導入方法とその有用性についての検討を行っている。本報では、熱帯気候下での熱容量の大きな建物の温熱環境に注目し、マレーシア・ペナンにおいて、実測を行った結果とそれを基にした解析結果²⁾を報告する。

(2) 実測の概要

a) 測定対象建物の概要

今回、測定を行った建物はマレーシア理科大学構内にある宿泊施設(ゲストハウス)である。その平面図を図4.21に示す。床面積は約400m²の2階建てであり、1F北側、1F南側、1F西側、2F北側、2F南側の計5つのブースに分かれている。それぞれのブース内の間取りは、ほぼ同じような構成になっており、中央に主寝室、その周囲に3つの部屋とバス、トイレが設置されている。2F北側ブース内だけリビングがあり、ピロティになっている。主寝室には、クーラー、および天井ファンが設置されており、周囲の部屋との間の間仕切り壁には、開口(欄間など)が床上2mの位置に設けられている。間仕切り壁は厚さ12cmのRC造、外壁は厚い部分で35cm、薄い部分で15cmのRC造であり、比較的、熱容量は大きい。床は25cmのRC造、屋根は合板+瓦であり、軒の出は約1mほどである。窓は全て木製のガラリ付き窓であり、網戸はない。



図 4.20 ゲストハウス正面

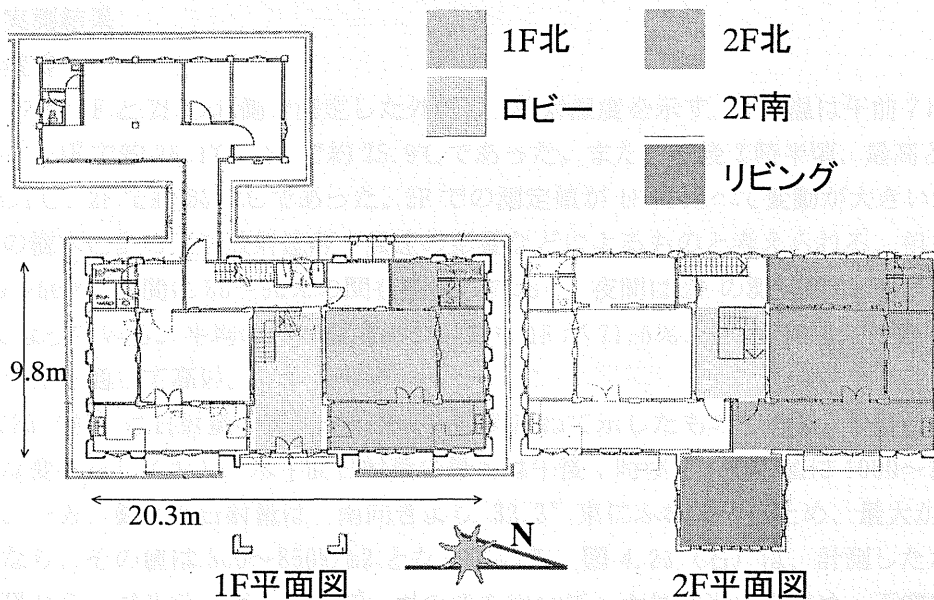


図 4.21 ゲストハウスの平面図 (左) 1階、(右) 2階

(: 室温湿度 / : 壁表面温度 / : 床表面温度の測定点を表す)

b) 温熱環境調査の概要

調査は 2001 年 11 月 11 日から 13 日の 3 日間にかけて、ゲストハウス内の温熱環境及び外部環境を測定した。温湿度の測定にはロガー付き小型温湿度計を用い、5 分毎に測定した。

外気の温湿度は、ロガー付き小型温湿度計をゲストハウスの 1F 北側、2F 北側の北部屋の窓から、日射のあたらない様に吊り下げて行った。日射量はゲストハウス正面の広場に日射計を 2 台設置し、水平面と南から東に 32.3° ふれた方向の鉛直面日射量を 1 分毎に計測した。

1、2F の北側と 2F の南側、そしてロビー部分での温湿度と壁・床の表面温度を測定した。その際、開口部の開閉状態とエアコンの運転状態を、表 4.2 に示すスケジュールで変えた。ロビーでは 1F 床上 1.2m、1F 床上 3m、および 2F 床上 1.2m の 3 箇所温湿度の測定を行っており、測定箇所は図 4.21 に示している。また、各ブース内には、2 人ずつが宿泊していた。

表 4.2 各主寝室における開口部の開閉とエアコンの運転状態

(: 窓開放状態 : エアコン on 状態)

		11日				12日				13日							
時刻		0	4	8	12	16	20	0	4	8	12	16	20	0	4	8	12
1F	窓開閉			8~10													
北	エアコン	0:20~7:50														10~13	
2F	窓開閉			8:40~19:00													
北	エアコン	0:20~8:40					19:00~8:00							23:00~10:00			
2F	窓開閉						19:00~8:00							23:00~9:00			
南	エアコン	0:20~8:00															

(3) 実測結果

a) 外部環境

図 4.22 に 1F と 2F の北側で測定した外気温、相対湿度を示す。外気温は午前 7 時頃に最低となり、1F で約 26.1℃、2F で約 25.9℃であった。また、午後 2 時半頃、最高となり 1F で約 33.1℃、2F で約 33.8℃であった。2F での測定値が 1F に比べて変動が大きいのが、これは近くの樹木による天空放射遮蔽や風速の影響などによるものと考えられる。相対湿度は日中 55~60%、夜間に 85~90%の間を推移しており、夜間は 2F の測定値が 1F に比べて約 5% 高くなっている。平均の相対湿度についても 1F が 71.6%、2F が 76.0% であり、2F のほうが全体を通して高い。

図 4.23 (左) は日射量の実測結果を、3 日間重ねて示したものである。3 日もほぼ同じような変動をしており、水平面日射量の最大は午後 1 時頃で、その値は 1000~1100W/m² である。一方、鉛直面日射量は、南向きより 32.3° 東にふれていたので、最大が午前 11 時頃になり、その値は 800~850W/m² となっている。図 4.23 (右) は、計測した水平面全天日射量から、ベルラーゲの式とブーガの式を用いて、大気透過率を求め、天空放射と南面直達日射量を推定したものである。日中の大気透過率は 0.6~0.8 であるが、夕方は曇りがちであったため、0.2~0.3 まで落ちている。

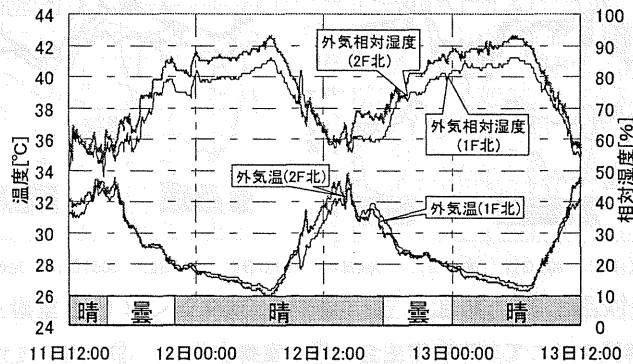


図 4.22 測定期間中の外気温度と相対湿度、天候

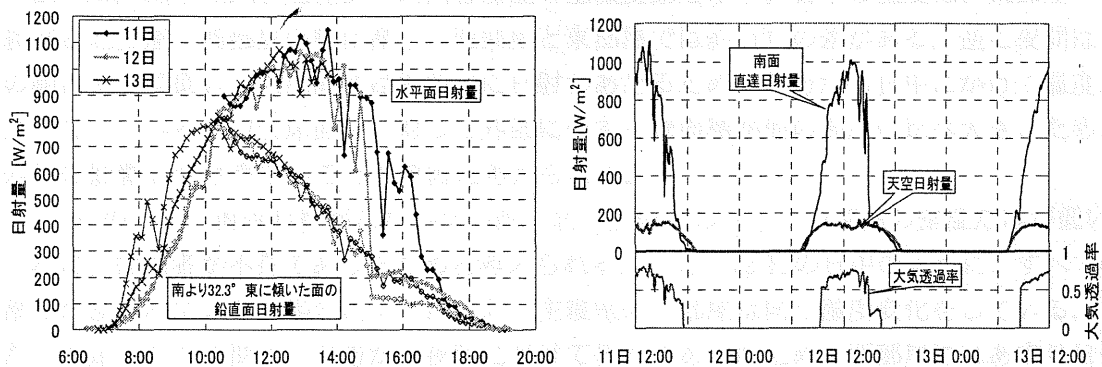


図 4.23 (左) 日射量の実測結果、(右) 日射量と大気透過率

b) ゲストハウス内の温湿度測定結果

・各主寝室の温湿度比較

図 4.24 に各主寝室とリビングの温度（左）、相対湿度、絶対湿度（右）を示す。12 日の午前中から夕方までの、エアコンを使用せずに閉め切った状態では、室温はリビング、2F 南側主寝室、2F 北側主寝室、1F 北側主寝室の順で高い。各主寝室の室温は 1F より 2F の方が、北側より南側の方が高い。これは屋根と南壁にあたる日射量によるものと考えられる。また、リビングの室温は、ほとんどエアコンを運転していない各主寝室に比べると、日中と夜間の温度差が激しい。これは北・南・東壁が外気に面し、窓が多いため、外気との換気量が多く、また、午前中は東からの日射が直接あたるのが原因として考えられる。

絶対湿度（図 4.24 右）は、午後 2 時頃最低となり、午前 0 時頃に最高となる。2F 南側主寝室、1F 北側主寝室の絶対湿度はほとんど差がなく、どちらも外気の絶対湿度に近い。リビング、2F 北側主寝室はエアコンの除湿の影響をかなり受けており、絶対湿度は低い。また、リビング、2F 北側主寝室ではエアコンを停止すると絶対湿度は急激に上昇し、約 2 時間で外気とほぼ等しくなる。窓を閉め切っても換気量が多いことが分かる。

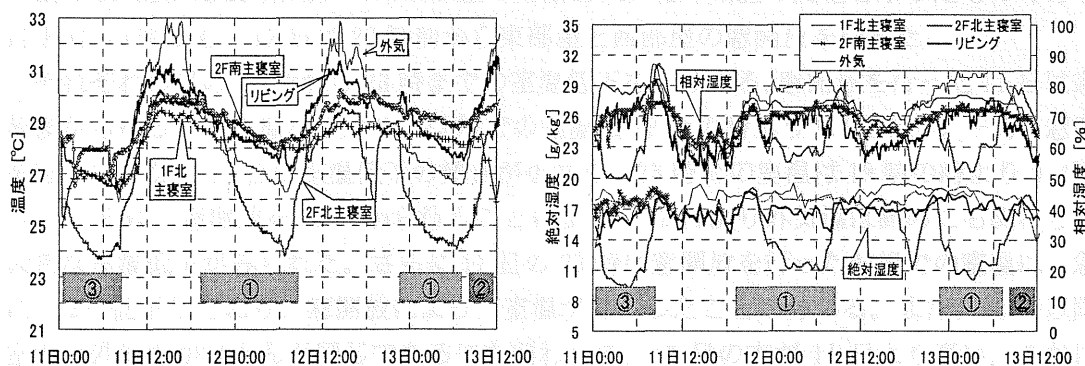


図 4.24 各主寝室とリビング内の温湿度（左：温度、右：相対湿度）

（①：2F 北主寝室、②：1F 北主寝室、③：全主寝室でエアコンを運転）

・1F 北側ブース内における温湿度比較

図 4.25（左）に 1F 北側ブース内各部屋の室温変動を示す。日中の温度は、東部屋、主寝室と北部屋、西部屋の順に高く、西部屋と東部屋では約 1℃の差がある。逆に夜間はこの順に室温は低い。東部屋には午前中に日射があたるため、朝方から日中にかけて温度が高くなっている。また、床面積に対して外部に面する壁面積が他の部屋に比べ大きいため、外気の影響を受けやすいことも原因と考えられる。

11 日の日中、直達日射があたらない西・北・主寝室の中で、西部屋の室温だけが低い。これは、宿泊者が不在であったためと考えられる。一方、12 日の日中のように、すべての部屋が使われていない場合には、西・北・主寝室の 3 部屋は同じ温度変化をしている。また、測定した 3 日間は、夕方から夜間にかけて曇りであったため、西部屋にはあまり日射があたらなかったことも、西部屋の室温が低い原因として考えられる。

図 4.25（右）には 1F 北側ブース内各部屋における絶対湿度と相対湿度を示す。絶対湿度については、北部屋だけが約 2g/kg' ほど高くなっている。この値は相対湿度、絶対湿度

度共に、常に高くなっていることから、小型温湿度計のセンサー感度の違いによる影響が考えられる。

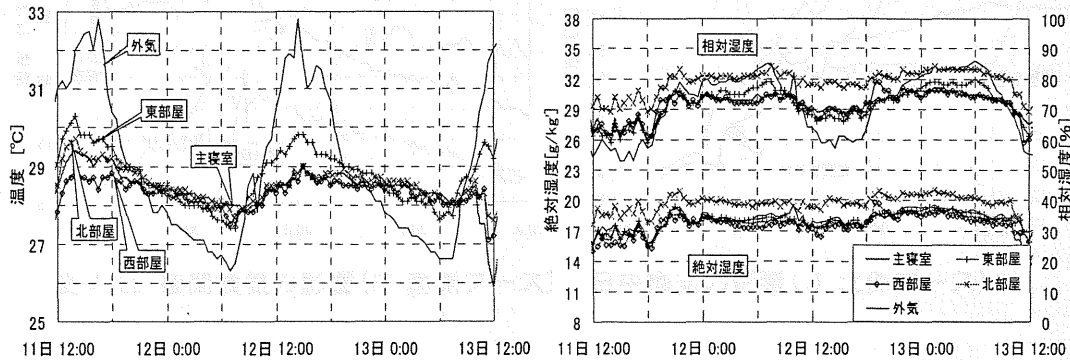


図 4.25 1F 北側ブース内各部屋の温湿度（左：温度、右：相対湿度と絶対湿度）

・窓開放の影響

図 4.26 (左) は 2F 南側ブース東部屋の室温と、2F 北外気温の変化を示したものである。11 日は 19 時から、12 日は 23 時前から東部屋と西部屋の窓開放を行った。

それぞれの日の 19 時から 23 時までの室温低下を比較する。窓開放を行った 11 日は窓開放後からゆっくり室温が下がり、23 時での室温は 19 時の時より 0.9℃低い。一方、窓開放を行っていない 12 日は室温低下の傾きが小さく、23 時での室温は 19 時の時より 0.4℃低い。11 日は、窓開放を 19 時から行うことにより、12 日より外気温は高めにも関わらず、大きな室温低下がみられた。さらに 12 日の 23 時に窓開放を行った前後での室温は、急激に 0.9℃低下しており、窓開放によって室温が低下したことが分かる。また、23 時以降の室温は外気温がほとんど同じであるにも関わらず、12 日の方が 11 日より高い。これは外部風の強さの違いによるものと思われる。外部風によってその室温低下には差が生じるだろうが、窓開放が室温低下に効果があることは確認できた。

図 4.26 (右) は、2F 北側主寝室の室温と 1F 北外気温の関係を示している。11 日は、日中に窓開放を行い、12 日は窓開放を行わなかった。2 日間の外気温にあまり大差はないが、午前 11 時すぎから窓開放を行った 11 日の室温の方が高くなっている。日中の窓開放は、外気温が室温より高いため、室温を上昇させてしまう。窓開放は外気の温度が室温より低い夜間に行うのが効果的であるが、風速や外気温に大きく影響されるので、その効果と有効な方法については検討しなければならない。

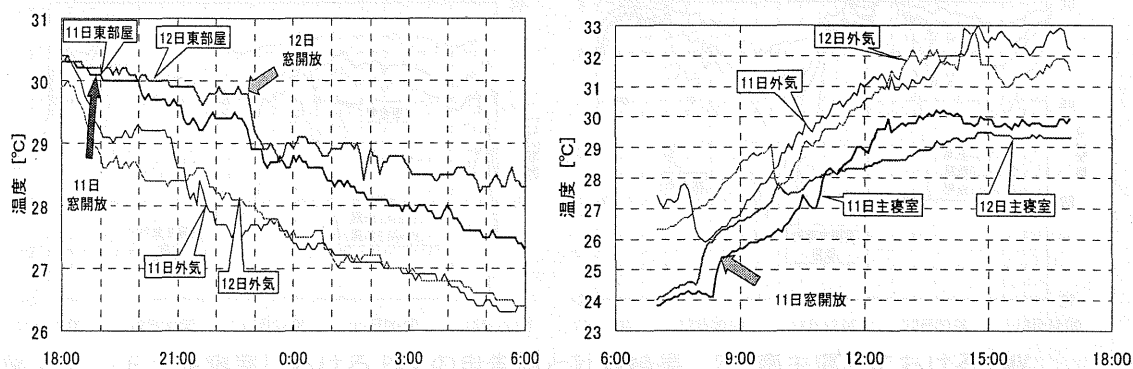


図 4.26 夜間換気の影響(2F 南側ブース)、日中換気の影響(1F 北側ブース)

・PMV の算出

図 4.27 に、1F 北側ブース主寝室と 2F 南側ブース主寝室にける在室者の温冷感の申告値と、実測値を元にした PMV の計算結果を示す。クロ値は 0.56clo、代謝量は安静時のもので 58.2W/m² とした。人体周りでの風速は 0m/s から 1.0m/s まで変化させて計算した。なお、主寝室には天井ファンが設置されているが、ここでの風速の計測結果は表 4.3 に示す。

両主寝室の PMV の計算結果は、室温の変動と非常によく似た形をしている。在室時には大部分の時間において天井ファンは運転されており、風速は平均しておよそ 0.5m/s 前後の値をとっていた(表 4.3)。そこで、風速 0.5m/s の場合の PMV の変動を両主寝室で比較すると、1F 北側主寝室では常に +1 から +2 の間で大きな変動もなく、快適性は比較的高い。2F 南主寝室では +1 から +3 の値をとっており、1F 北主寝室より、変動が激しい。午後 2 時半ごろと午後 7 時半ごろには最高となり、PMV の値は +3 を超えている。

申告値との比較を行うと、両主寝室において、申告値の方が計算値より低い。特に、2F 南側主寝室においては申告値が計算結果よりかなり、低い値をとっている。これは、-1 と低く申告されたのが、外から帰ってきた時であり、相当な汗をかいていたことと、外部環境と比較した相対的な温冷感として、申告してしまったことなどが原因として考えられる。

風速別の PMV を比較すると、風速は大きいほど PMV の値は小さくなっていることが分かる。また、室温が低いほど、風速による PMV の変化は大きい。つまり、気温が低いときほど温冷感に与える風速の影響は大きく、暑いときほど風速の影響は小さくなるといえる。また、風速 0m/s と 0.5m/s による PMV の違いのほうが、風速 0.5m/s と 1.0m/s による PMV の違いより大きい。これにより、少しの風を室内でおこすことで冷房がなくてもよい可能性がある。

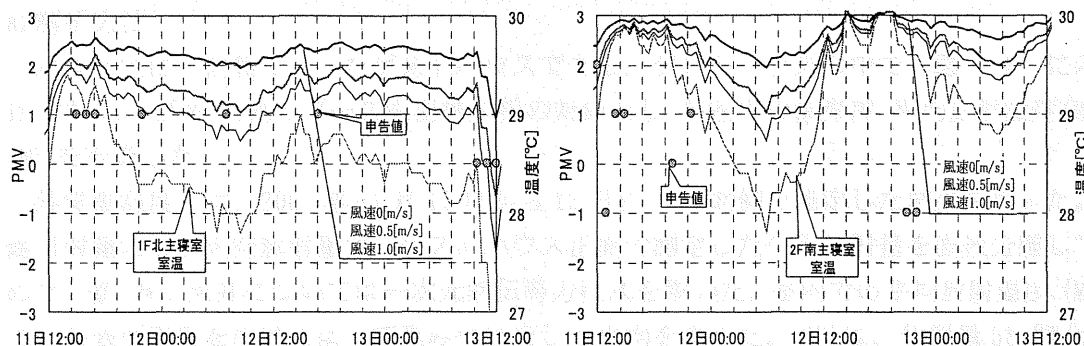


図 4.27 1F 北主寝室における PMV の申告値と計算結果、2F 南主寝室における PMV の申告値と計算結果

表 4.3 室内風速の実測結果

	室内風速 [m/s]
天井ファン強	0.3~1.0
天井ファン弱	0.1~0.5
ファン off	0.1 以下

・熱容量の検討

ゲストハウスは比較的熱容量が大きい建物であり、主寝室の室温は外気と比較しても、かなり変動が小さい。日中は約 2℃ 低く、夜間は逆に約 2℃ 高い。

各主寝室の室温比較を行うと、同じ条件下では 2F 南、2F 北、1F 北の順に室温が高くなっている。また、リビングは他の主寝室に比べ、室温変動が激しいことが分かった。

1F 北側ブース内の各部屋における室温変動の比較を行うと、東部屋の室温変動が一番大きく、西部屋の室温変動が一番小さいことが分かった。主寝室のように周囲を他の部屋で囲まれているような部屋の構造は、その室温変動を小さくすることが分かった。

夜間における窓開放は室温降下に効果があり、逆に日中の窓開放は室温を上昇させてしまうことが分かった。PMV の値は風速によって大きく変化し、風を室内でおこすことで、快適性はかなり高くなることが分かった。

(4) ゲストハウスの解析

これまでに熱帯地域の住宅温熱環境に関して行った調査解析では、夜間に換気を行い日中に外気との換気を小さくすることにより、終日、室温を低く保つことが可能であると予想されている^{1), 2)}。また、建物に熱容量を持たせて、夜間に躯体を冷やすという方法の効果についても検討してきた。今回は、マレーシア・ペナンにおいて熱容量の大きな住宅(ゲストハウス)の温熱環境調査を行う機会を得た。前報(その 1)³⁾では、その測定結果を報告した。本報では、熱容量の影響を明らかにするために行った温湿度と PMV の解析結果について報告する。

a) 解析方法

対象住宅は、前報で示したゲストハウスである。ゲストハウスの中で、図 4.21 に示す 1F 北側および 2F 南側のブースを温熱解析の対象とし、各室内の温湿度、平均放射温度(MRT)、PMV を計算した。

外気温湿度には、2001 年 11 月 11 日から 13 日に、2F 北側で測定した結果を用いた。直達日射量および天空放射量は、ゲストハウス正面で測定した全天日射量を直散分離して求めた。壁、床、天井については一次元熱伝導方程式を解いた。室内での平均放射温度(MRT)は、各表面温度を面積によって重み付けをして平均を求めた。PMV は、代謝量 58.2W/m²、仕事量を 0、着衣量は 0.56clo、人体周りの風速は 0~1.5m/s として計算を行った⁴⁾。各室間および室内と外気での換気回数は 3 章で示す値で解析を行った。

b) 解析結果と実測結果の比較

各部屋間の換気回数は窓・ドア開放時は 20~30 回/h、閉鎖時は 0 とした。外気と部屋の間の換気回数は、窓開放時は 5~30 回/h、閉鎖時は 0.5~2 回/h とした。ただし、1F 北側ブースの東部屋では、外気に面した窓の上に開口部があったため、窓を閉じた場合でも換気回数は 15 回/h とした。窓の開閉については、測定期間中の記録に基づいて定めた。また、解析対象とした期間は、冷房を使用していない時間帯としている。

・ 1F 北側ブース

1F 北側では、午前 7 時~8 時、午後 7 時~8 時に窓を開放していた。図 4.28 に 1F 北側ブースの主寝室および東側での温湿度の実測結果と解析結果の比較を示す。主寝室、東部屋の両室において、解析結果は実測値をほぼ再現できている。本解析では、東部屋と外気との換気量を他室と外気との換気量よりも大きな値としている。建物外の風速は東側が最も強く、次いで南側、北側および西側は弱くなっていた。また、窓上にある開口も影響して、東部屋は他室に比べて換気量が多いと考えられ、測定結果を見ても、東側での室温変動が大きくなっていることなどがその理由である。

相対湿度は、主寝室、東部屋の両室において解析値は常に実測値よりも 5~10% 程度高い値となっていた。湿度に関しては、さらに検討が必要である。

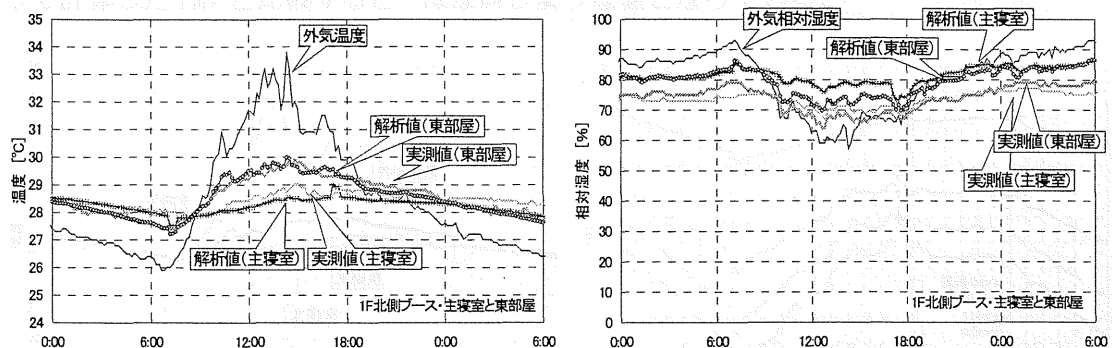


図 4.28 主寝室・東部屋室温の解析値と実測値 (左: 1F 北側ブース、右: 1F 北側ブース)

・2F 南側ブース

図 4.29 に、2F 南側ブースの主寝室および東部屋での温湿度の解析結果と実測結果の比較を示す。主寝室の室温はほぼ実測値を再現できている。東部屋では午前 8~10 時頃の計算値が実測よりやや低い値となっている。窓ガラスを通しての日射がうまく表現されていないことが考えられる。しかし午後 10 時過ぎの温度低下などはよく表現されている。最高室温は東側で 30.8℃であり、主寝室の 30℃と比較すると 0.8℃程度高くなっている。これは、図 4.31 で示すように平均放射温度が高いことから、屋根からの熱流の影響が大きいことを示している。ここでも相対湿度は実測値よりも 10%程度高い値である。

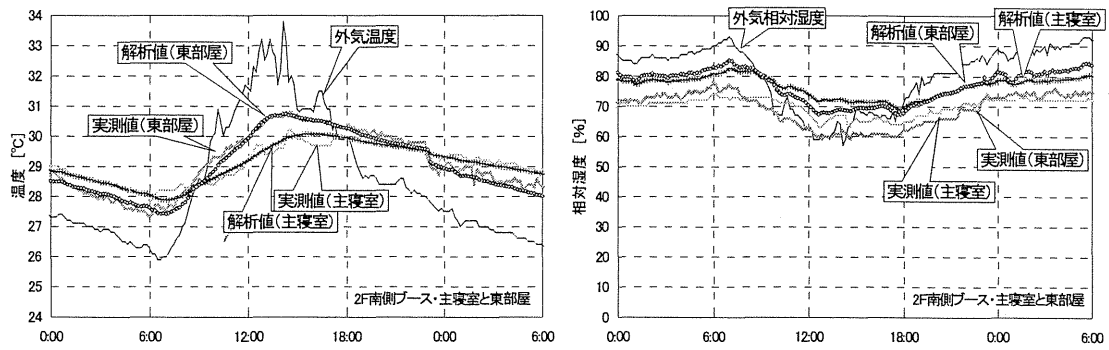


図 4.29 主寝室・東部屋室温の解析値と実測値 (左：2F 南側ブース、右：1F 北側ブース)

c) 現状での温熱環境

・1F 北側ブース

平均放射温度を図 4.30 (左) に示す。平均放射温度は室温の変動に強く依存しているために、室温の高い東側が最も高くなっている。また、外気に面する壁が無い主寝室の平均放射温度は、最も低い値で推移している。

図 4.30 (右) には 1F 北側ブース主寝室での PMV を示す。主寝室には天井にファンが設置されており、ファン稼動時には室内で最大 1.2m/s 程度の風速が得られる。ここでは、風速を 0~1.5m/s まで変化させて PMV を求めた。PMV の変動は室温や平均放射温度の変動に依存している。その為、室温が高くなる午後 6 時付近での値が最も高く、無風の場合で 2.5、風速が 1.5m/s の場合でも 1 を超えており、かなり暑い環境となっていた。実測結果を基にして計算した PMV と比較すると³⁾ほぼ同じような値となっている。

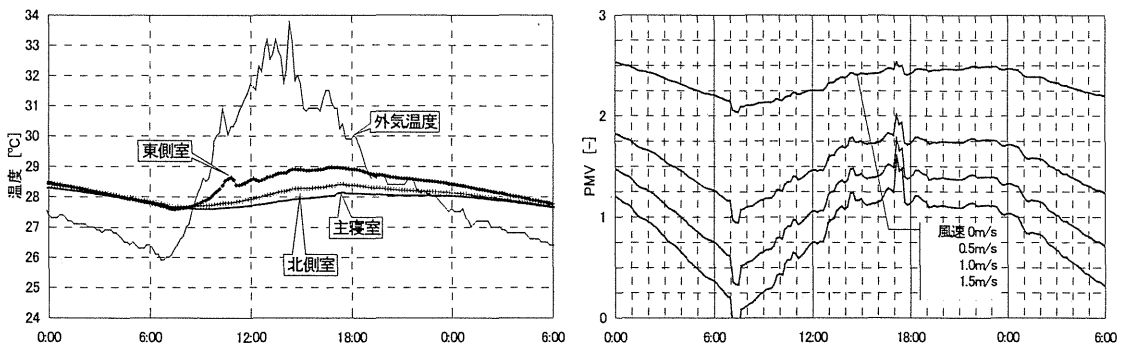


図 4.30 1F 北側ブース主寝室・東部屋・北部屋での MRT (左)、PMV (右)

・2F 南側ブース

図 4.31 に、2F 南側ブースでの各部屋の平均放射温度 (左)「と、主寝室での PMV (右) を示す。平均放射温度は、1F 北側ブースと同じく室温が高い東部屋が最も高くなっている。また、南部屋では直達日射は南側から来るために南側壁および屋根からの日射熱によって壁表面温度が高くなり、平均放射温度は午後 2 時の時点で東部屋や西部屋に比べて 0.5℃程度高くなっている。主寝室以外の部屋では、天井がないため屋根からの熱流入が大きい。主寝室では図 2 の断面図で示すように屋根裏が存在するために、平均放射温度の最大値は他の部屋よりも低く 29.6℃であった。

図 4.31 に風速を変えた場合の主寝室での PMV を示す。最も室温が低い午前 7 時での PMV は、無風の場合 2.25、風速が 1.5m/s の場合に 0.5 程度となった。1F と比較すると、全体的に 1 以上高い値となっている。最も高くなる午後 2 時~6 時には、風速が大きくても 3 以上の値となっており、暑い環境であることが分かる。実測値を用いて求めた PMV と比較すると、やや高めの数値となっている。1 つには、実測では屋根からの輻射の影響を考慮していないために、平均放射温度が低くなっていることがある。もう 1 つは、1F 北側にも共通であるが、計算で得られた相対湿度が実測値よりも 10%ほど高い値となっていることである。計算では相対湿度が 10%上昇すると、PMV では約 0.25 高くなる。

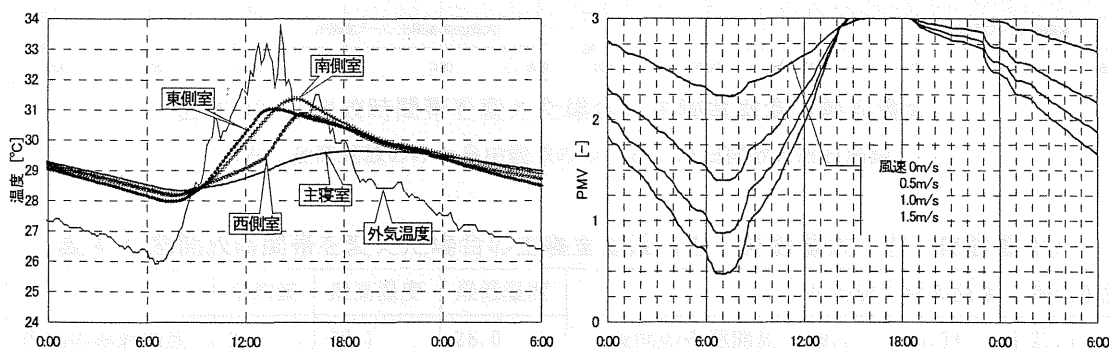


図 4.31 2F 南側ブース主寝室・東部屋・南部屋での MRT (左)、PMV (右)

d) 建物熱容量と窓開放の影響

実測では、2F 南側ブースにおいて夜間に窓開放を行った。解析においては、その窓開放スケジュールに従って、換気量を決定した。ここで決定した換気量を用いて、窓開放を行う時間帯を変えた場合の解析結果を示す。日中に窓開放を行う場合は午前 6 時から午後 6 時までを、夜間では午後 6 時から午前 6 時までとした。

・窓開放の影響 (2F 南ブース主寝室)

図 4.32 に窓開放時間帯を変えて室温解析を行った結果を示す。また、表 4.4 に各場合の主寝室室温の平均値と最大値・最小値を示す。

平均気温では、夜間のみ窓開放を行った場合が最も低く、次いで終日窓を開放しなかった場合が低い値となっている。日中に開放した場合は、日中に開放しない場合よりも 0.4~0.6℃高くなっていた。最高気温では、夜間のみ窓開放を行った場合が最も低くなって

おり、日中に窓を開放した場合と比べると1℃、終日窓開放の場合よりも0.3℃低くなっている。最低気温では、終日窓開放を行った場合が27.9℃と最も低い値となっている。窓開放時間帯は午前6時から午後6時までとしており、外気温度が最も低くなる7時において窓を開放していた終日開放の場合が最も低い値となっていることから、夜間窓開放は、外気温度が低くなる7時頃まで行うことが効果的であるといえる。夜間に窓開放を行うことによって、行わない場合よりも午前6時の時点での室温が約1.1℃低くなっている。また、日中の室温も、夜間に窓開放を行わなかった場合と比較すると、日中に窓開放を行った場合では、0.3℃程度低い値となっている。窓開放によって躯体が冷やされ、日中の室温が低く保たれている様子が伺える（夜間窓開放と終日閉鎖の最高気温の比較、もしくは日中開放と終日開放時の最高気温を比較）。

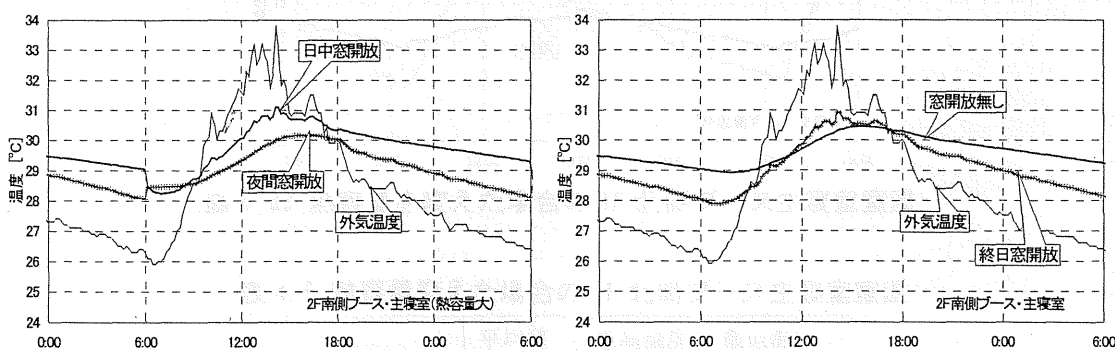


図 4.32 窓開放時間帯を変えた場合の主寝室室温（熱容量大）
 （左：夜間開放のみと日中開放のみ、右：終日開放と終日閉鎖）

表 4.4 窓開放時間帯を変えた場合の主寝室室温（左：熱容量大、右：熱容量小）

	平均値	最高温度	最低温度		平均値	最高温度	最低温度
夜間のみ窓開放	29.1	30.1	28.0	夜間のみ窓開放	29.1	30.7+	27.7-
日中のみ窓開放	29.7	31.1	28.2	日中のみ窓開放	29.7	31.4+	27.9-
終日開放	29.2	30.9	27.9	終日開放	29.2	31.3+	27.4-
終日閉鎖	29.6	30.4	28.9	終日閉鎖	29.6	30.8+	28.5-

・熱容量の影響（2F 南ブース主寝室）

次に、同様の計算を間仕切り壁の厚さを実際の3分の1にした場合について行った。主寝室室温の平均値、最大値・最小値の結果を表2に示す。表中にある符号は熱容量が大きい場合との比較である。最低温度は、熱容量が小さい場合の方が、0.3~0.5℃低くなっていた。それに対して、最大値は0.4~0.6℃上昇している。熱容量があることにより、日中のピーク値を下げる事が出来ると言える。また、平均値では窓開放の時間帯によらず、すべて同じ値であった。室温の最低値・最高値については、熱容量が大きい場合の傾向と同じであった。

・熱容量の影響（1F 北ブース主寝室）

最も熱容量の効果が大きいと思われる、1F 北ブース主寝室において、夜間窓開放による室温低下を調べる解析を行った。結果を図 4.33 および表 4.5 に示す。ここでは、前解析で最も室温を低く保つことの出来た、夜間に窓を開放し日中に閉鎖するパターンで解析を行った。夜間に窓を開放する時間は、外気温度が室温よりも低くなっている午後 7時から午前 7時までとした。1F では現状でも室温が $28 \pm 0.6^\circ\text{C}$ で変動していたが、熱容量の小さい場合は、その変動が $28 \pm 1.0^\circ\text{C}$ 程度となり、温度変化が大きくなった。温度の違いは 2F 南ブース主寝室と同じような傾向にある。

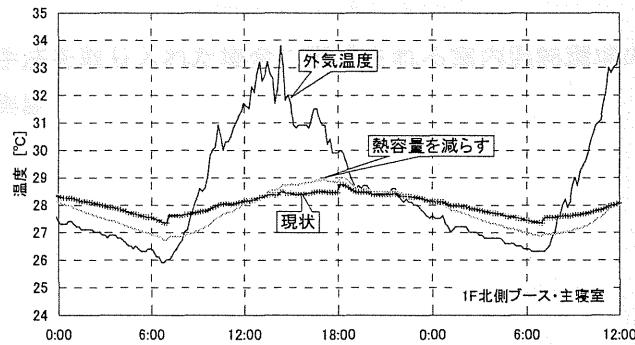


図 4.33 熱容量を変えた場合の 1F 北側ブース主寝室室温

表 4.5 熱容量変えた場合の 1F 北側ブース主寝室室温

	平均値	最高温度	最低温度
現状	28.1	28.4	27.3
間仕切り 1/3	27.9-	28.9+	26.7-

e) 結論

マレーシア・ペナンに建つゲストハウスにおいて、熱容量と窓開放の影響を調べるために温熱環境解析を行った。

主寝室においては、1F 北側ブースおよび 2F 南側ブース共に、室温も平均放射温度も低く保たれていた。主寝室における PMV は、1F 北側では風速が 1m/s の時に 0.2~1.5 程度であり、やや暑い環境にあることが分かる。2F 南側では、常に 0.9 以上で高いときには 3 を超える環境にあることが分かった。ただし、相対湿度が現状よりも 10% 程度高い値であったことから、現状の PMV は 0.25 程度小さい値である可能性がある。

東部屋においては、両ブース共に午前中の日射の影響を大きく受けていた。1F 北側ブースにおいては、窓以外にも開口部があることから、最も外気の影響を受けやすい部屋となっていた。

窓開放は、夜間にのみ行った場合が日中・夜間共に室温を低く保てることが分かった。特に、日中に窓開放を行う場合と比較すると、平均して 0.6°C 程度室温を低く保てることが分かった。

熱容量がある場合は、主寝室においては、日中のピーク温度を 0.3°C 程度低く保つことが出来るが、夜間においては逆に 0.2°C 程度室温が高くなることが分かった。日中に使う部屋については熱容量が大きく夜間換気を行うことが有効であるが、夜間に使う部屋に対

しては、利用に際し検討が必要であることが分かった。

4. 5 住宅で取り入れられている環境共生手法 (パッシブクーリング)

(1) とられている手法についての調査 (ブラインド・簾の使用状況。居住者の意識。)

4. 6 住宅で取り入れられている手法の効果の定量化

(1) 環境手法の程度：数値計算

4. 7 これらの手法を取り入れた場合に形成される室内温熱環境の評価

(1) 実住宅での実験

第5章 結論

INTRODUCTION

In developing countries like Indonesia, the energy consumption for cooling is expected to increase rapidly (IEA 2001). For air conditioning system is prevailing in a tropical area such as Southern Area and it will give a significant influence on energy consumption and environmental problems. The combination of the energy conservation and an improvement in thermal environment of houses is required by utilizing passive cooling systems suitable to local climate. In this respect, it is necessary to survey the local climate, customer, lifestyle and energy demand in each country.

This paper shows the results of the survey on the indoor thermal environment and the style in Surabaja, Indonesia. Two kinds of detached houses for the low and middle-income people, and Rumah Sunda Sumba (apartment house named "Sumba" in Indonesian), which is apartment houses for the low income people, were selected for this survey.

SURVEY OF THERMAL ENVIRONMENT

Three types of houses in Surabaja, Indonesia are selected. They are detached houses (Figures 1 and 2) for the low and middle income residents (called "low income houses" and "middle income house" hereafter), and Rumah Sunda Sumba (called "Sumba") (Figures 3 and 4), which is an apartment house for the low income people. A steady type thermal computer is used to measure the temperature and humidity in these houses. Inquire into the lifestyle, and the evaluation of the room condition are also made as identical. This survey was carried out from February to early March in 2001.

Air temperature, humidity and solar radiation are measured in an experimental house built in an campus of ITS (Institute of Technology in Surabaja).

TYPE OF HOUSE

Low income houses

Seven houses in the campus of ITS are selected for this survey. In Figure 1 a typical plan of low income house is shown. The floor area is 36 m² and there are a living room, two bedrooms and a wash bath. A front veranda and a back kitchen are added to the original plan.

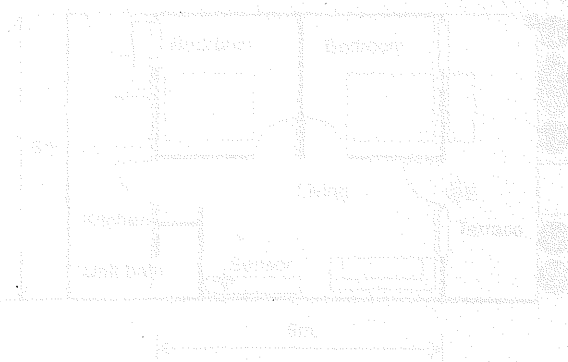


Figure 1 Plan of Low Income House