

機関番号：32708

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2008 年度 ～ 2010 年度

課題番号：20360265

研究課題名（和文） 温熱快適性評価と省エネ評価に基づく自然換気利用建物の評価手法の構築

研究課題名（英文） Proposal of evaluation method on naturally ventilated buildings based on evaluation of thermal comfort and energy saving

研究代表者

大場 正昭（OHBA MASAOKI）

東京工芸大学・工学部・教授

研究者番号：90130947

研究成果の概要（和文）：通風時の快適性は風のゆらぎや汗の冷却効果に影響を受ける。被験者実験から、皮膚の発汗量周期は、気流周期と高い相関があり、気流周期 0.02Hz から 0.3Hz の範囲で有意であり、短周期の気流変動よりも、長周期のときに汗の蒸発放熱が促進されることが判った。自然換気利用建物の温熱環境調査から、中間期では、窓下自然換気口が開いていても流入気流が足元に流れるので、執務者の 60%が気流を感じないと申告していた。熱・換気回路網マクロモデル（COMIS/TRNSYS）に通風局所相似モデル（LDSM）を組み合わせた連成モデルを構築した。連成モデルに予測平均温冷感申告の温熱環境指標を組み、自然換気利用建物を複合的に評価するマクロモデルを作成し、精度検証の段階にある。

研究成果の概要（英文）：The cooling effects by natural wind fluctuation and sweat evaporation are very important for evaluating the thermal comfort condition in cross-ventilated environment. It was found that the frequency of sweating rate had a high correlation with the frequency of sinusoid wave flow and the evaporation heat loss through sweating was promoted in longer frequency of wind velocity than in higher frequency. Through field measurement of naturally ventilated building, it was found that the 60% of office workers in the investigated room could not feel the movement of air in intermediate season because the naturally ventilated vents were located under the windows. A COMIS-LDSM model with a combination of TRNSYS thermal multizone building model was proposed. Furthermore the Predicted Mean Vote was incorporated into the TRNSYS network model and currently the verification of the network model is being undertaken.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	6,400,000	1,920,000	8,320,000
2009 年度	5,300,000	1,590,000	6,890,000
2010 年度	2,800,000	840,000	3,640,000
年度			
年度			
総計	14,500,000	3,750,000	18,850,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学、建築環境・設備

キーワード：空気環境

## 1. 研究開始当初の背景

地球温暖化の原因である温室効果ガスの排出量対策として、建築部門の環境負荷削減が社会的に急務な課題であり、方策の一つとして自然換気・通風の有効利用が検討されている。しかし、通風時の気流構造の解明や通風量の定量的な検討は行われてきたが、通風時の快適性のメカニズムは風のゆらぎや汗の冷却効果等が複合的に影響するので、未だ十分に解明されていない。

## 2. 研究の目的

- (1) 自然通風は大きな気流変動の非定常流れであるので、通風のゆらぎを時間的・空間的に解明し、被験者の主観申告値と皮膚表面温度・発汗波を関連させながら発汗の蒸発効果を定量評価する。皮膚表面温度の計測評価法を検討する。
- (2) 既存の人体温熱生理モデルを精度検証し、皮膚温とぬれ面積率の予測精度を明らかにする。数値サーマルマネキンのCFD解析により、通風時の温熱環境シミュレーションの開発を目指す。
- (3) 通風局所相似モデルと熱・換気マクロモデルを連成させた熱・換気回路網計算プログラムを作成し、通風時の室内空気・温熱環境に対応できる連成プログラムへと展開させ、空調負荷削減の定量評価ツールを構築する。
- (4) 自然換気利用建物の温熱環境調査から、自然換気運用時の温熱環境の実態を把握し、改善点を明らかにする。
- (5) 自然換気計画マニュアルに必要な自然換気・通風設計支援データベースを作成する。
- (6) 温熱快適性評価と省エネ評価に基づいた自然換気利用建物の評価手法を提案することを目指す。

## 3. 研究の方法

- (1) 皮膚の発汗・蒸発効果の定量評価
  - ① 定常風の温熱快適性に係わる被験者実験  
通風型人工気候室を用いて、極暑温熱環境を再現し、定常風環境下で温湿度と風速を系統的に変化させ、体の各部位での蒸発現象（蒸発量や蒸発速度など）の相違を明らかにする。  
皮膚の表面温度の時刻変化を、表面温度の時刻変化と近傍温度の温度差との関数で統計解析する数値プログラムを開発する。
  - ② 変動風の温熱快適性に係わる被験者実験  
前項①と同様に、通風型人工気候室を用いて、気流の変動周期が皮膚温及び発汗量特性に及ぼす影響を明らかにする。発汗周期を分析して、気流変動と汗の蒸発量変動との相互関係、蒸発周期と気流性状との関係を明らかにする。初夏の学校の温熱環境を想定して、温冷感と快適感に及ぼす変動風の有効性を

明らかにする。

- (2) 既存の人体温熱生理モデルの精度検証  
被験者実験の検証データを基に、定常風と変動風における2-nodeモデルと64-nodeモデルの予測精度を明らかにする。次に多面体セルで数値人体モデルを作成し、通風環境下での身体周辺微気象をCFD解析するための乱流モデルを検討する。

- (3) 通風局所相似モデルと熱・換気マクロモデルの連成熱・換気回路網計算プログラムの開発

通風局所相似モデル、内部発熱条件及び次世代省エネ基準の建物熱性能を組み入れた汎用型熱・換気マクロモデル（COMIS/TRNSYSの改良版）を開発する。連成プログラムを逐次改良することにより空調負荷の予測精度を向上させる。

- (4) 自然換気利用建物の温熱環境調査

自然換気利用建物における自然換気時の室内温熱環境と自然換気量、執務者の寒暑感、気流感などについて把握することを目的として、官庁建物の実測を2009年と2010年に実施する。自然換気利用時と空調利用時の実測調査結果を比較することにより、自然換気利用建物の温熱環境の実態を明らかにする。

- (5) 自然換気・通風設計支援データベースの整備

日本建築学会標準問題用住宅モデルを対象に、連成熱・換気回路網計算プログラムを用いて、建蔽率、開口部の位置、開口部の開閉条件、気候特性を変数として空調負荷削減量を算出し、自然換気・通風設計支援データベースを作成する。特に天窗通風の有効性を定量的に明らかにする。

- (6) 自然換気利用建物の評価手法の提案

連成熱・換気回路網計算プログラムに、PMV温熱指標を組み入れることで、自然換気利用建物を、空調エネルギー削減効果と温熱快適性評価を同時に評価できる新たな手法を提案することを目指す。

## 4. 研究成果

- (1) 皮膚の発汗・蒸発効果の定量評価

- ① 定常風の温熱快適性に係わる被験者実験  
35°C、70%の極暑環境下で行った、発汗量と風速の関係に関する被験者実験結果より、部位別の発汗量と風速の関係は、個人差が大きいものの、概ね風速が上昇するにつれて発汗量が低下する傾向が見られた。全身発汗量は、部位別の発汗量に比較すると個人差が小さく、風速の影響も少ない結果となった。全身蒸発量は、風速によって変化し、風速が低いほど蒸発率が低下することが確認された。平均皮膚表面温度は風速の影響が小さいが、部位別の皮膚温は各部位での蒸散状況の影

響を大きく受けるために気流曝露面積や吹き出気流との風向も影響することや、発汗量の個人差の影響により、皮膚温の個人差も大きいことがわかった。

複数の建築材料で統計解析を行い、得られたそれぞれの回帰係数や AIC（赤池情報量基準）を、建築材料の材料特性と合わせて考えることにより、影響の大きい過去の時点を把握できることが示された。

## ②変動風の温熱快適性に係わる被験者実験

気温、相対湿度、平均風速および気流振幅は一定で、気流の変動周期を変えて実験を行った。得られた知見は、平均皮膚温は気流周期によらず、ほぼ一定である。皮膚の発汗量周期は、気流周期と高い相関があり、気流周期 0.02Hz から 0.3Hz の範囲で有意水準 5% で有意であった(図 1)。短周期の気流変動よりも、長周期のときに汗の蒸発放熱が促進された。ぬれ面積率は、周期定常風の周期が長周期になるに従い低下した。

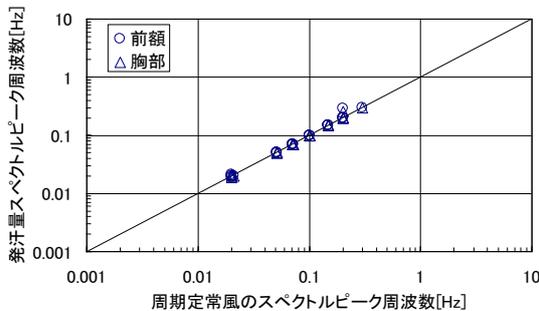
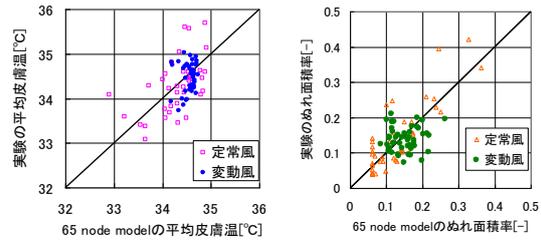


図 1 発汗量および風速変動のスペクトルピーク周波数の関係

初夏の温熱環境を想定し、温湿度一定で周期定常風の周期のみ変化させた条件では、気流変動が温冷感と快適感に及ぼす影響は小さかった。「Comfort」の快適感は静的で持続的な心理量である。通風気流の快適感は、非定常的心理量であるので、今後、動的な「気持ち良さ」を評価する必要性が示唆された。

(2) 既存の人体温熱生理モデルの精度検証  
実験条件を再現するために、実験結果の気温及び相対湿度で、静穏気流下 60 分間の条件で前室環境を再現した。次に本計算に移り、実験気流速度で 60 分間の計算を行った。2 node model における定常風における平均誤差率は平均皮膚温が 20.4%、ぬれ面積率は 35.1% となった。変動風では平均皮膚温度、ぬれ面積率ともに、予測精度が低下した。65 node model (図 2) は、定常風における平均誤差率は平均皮膚温が 19.9%、ぬれ面積率は 33.0% となった。2 node model よりも変動風における生理量予測精度が良かった。



(1) 平均皮膚温 (2) ぬれ面積率

図 2 65 node model における予測値と実測値の比較

在室者の温熱快適性を評価する際には、室内における気流の分布、特に居住域における気流性状の予測が不可欠である。市街地に建つ戸建住宅の通風現象を、周辺建物を含めた数値シミュレーション (CFD) により再現した。通風現象の予測精度を向上させるため、CFD 解析結果と実測結果とを比較した。その結果、開口部に近いバルコニーとその手摺壁については、気流の通過割合を数値的に再現すること、流入境界条件については、サイクル境界条件を適用することが、予測精度向上に有効であることが分かった。三次非線形低 Re 型 k-ε モデルに LK モデルを組み込んだモデルを使用した場合、サーマルマネキン実験で得た通風気流による冷却効果を、比較的高精度で予測可能であることが分かった(図 3)。

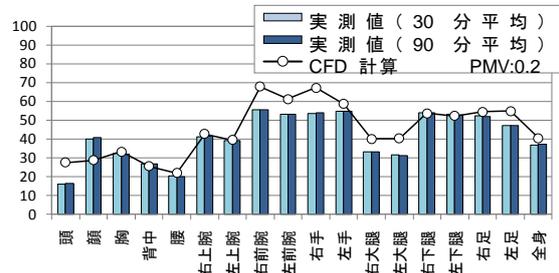


図 3 頭熱損失量の CFD 値と実験値の比較

## (3) 通風局所相似モデルと熱・換気マクロモデルの連成熱・換気回路網計算プログラムの開発

換気回路網計算プログラム COMIS に通風局所相似モデル (LDSM) を組み込んだ COMIS-LDSM モデルと多数室温熱解析プログラム TRNSYS を連成させた (図 4)。局所相似モデルは、通風時における開口部の流量係数変化を開口部周辺気流の力学的相似性に基づいて説明するモデルである。入力条件は、開口の風圧と接線方向動圧及び流出入開口部の通風性能である。初期条件として、任意の室内圧を与えて、開口の換気駆動力と法線方向動圧の比に対応した流量係数を通風性能特性曲線から選定する。収束は各室の流出入風量の収支が成り立つまで室内圧を変えて繰り返し計算を行う。開口部の流出入風向角と

通風量、室内冷房負荷が算出される。

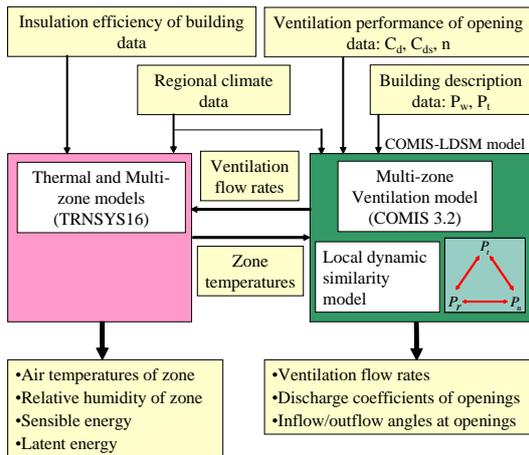


図4 熱・換気回路網の連成プログラム

(4) 自然換気利用建物の温熱環境調査  
 千葉にある官庁建物で温熱環境調査した。自然換気口が開いているときは、自然換気口近傍の風速は 0.5m/s 以上、確保されていた。中間期の換気回数は 3~7 回/h で、設計時の自然換気量が得られていた (図5)。中間期では、自然換気口が開いていても流入気流が足元に流れたので、執務者の 60%が気流を感じないと申告した (図6)。夏期は空調気流の影響が大きくなり、中間期より気流を感じると申告した執務者が 20%増加した。PMV 値と寒暑感申告値の対応は、夏期のほうが中間期よりもよく対応した。

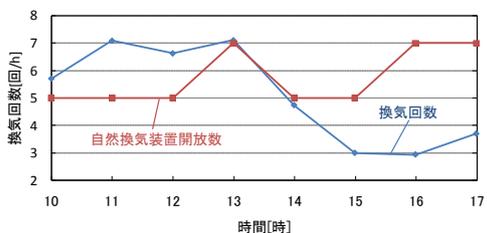


図5 中間期の換気回数との自然換気装置の開口数

申告項目	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
寒暑感	非常に寒い	寒い	やや寒い	どちらでもない	やや暑い	暑い	非常に暑い
快適感	非常に不快	不快	やや不快	どちらでもない	やや快適	快適	非常に快適
気流感	感じない	やや感じる	感じる	非常に感じる			
受容度	明らかに受け入れられない	どちらかといえば受け入れられない	どちらかといえば受け入れられる	明らかに受け入れられる			

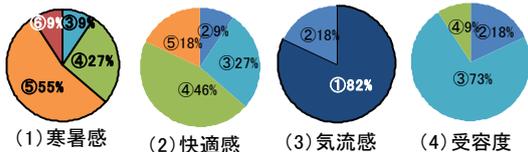


図6 中間期の主観申告の比率

(5) 自然換気・通風設計支援データベースの整備  
 密集住宅地の建物外表面の風圧と接線方向

動圧のデータベースを作成し、建蔽率の違いによる風圧係数と接線方向動圧係数の特徴を把握した (図7、図8)。

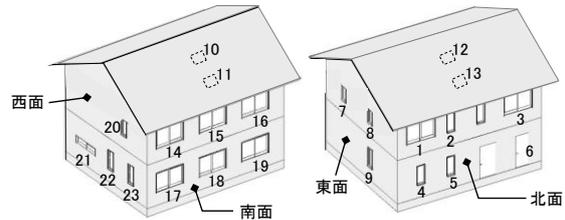


図7 日本建築学会標準問題用住宅モデル

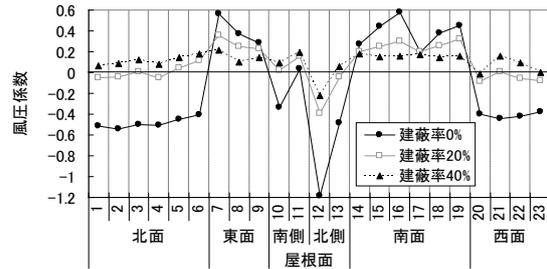


図8 風向角 135° の各開口部の風圧係数

積極的に通風を取り入れた場合、冷房負荷の削減率は各建蔽率とも 50%以上あることが明らかになった。主要都市における通風利用による戸建住宅の冷房負荷の削減効果を評価した。その結果、積極的に通風を取り入れた場合 (Case3), 積算冷房負荷は 11~18%削減できることが明らかになった (図9)。

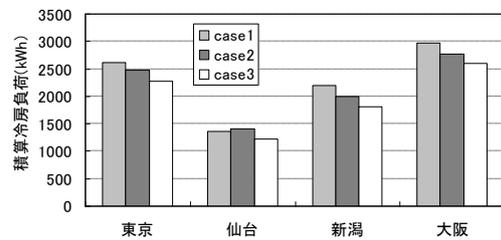


図9 各都市の住宅の積算冷房負荷の比較

建蔽率 0%では、天窓を利用した場合と天窓を利用しない場合の積算冷房負荷はほぼ同じであるが、建蔽率 20%と 40%では天窓を利用しない場合よりも積算冷房負荷の削減率が 2~4%増加した。

(6) 自然換気利用建物の評価手法の提案  
 熱・換気回路網マクロモデル (COMIS/TRNSYS) に通風局所相似モデル (LDSM) を組み合わせた連成モデルに、予測平均温冷感申告の温熱環境指標を組み込むことにより、従来の換気量や空調負荷量などの空調評価指標に、居住者の温熱快適性評価を組み合わせた「自然換気利用建物を複合的に評価する」マクロモデルを作成し、精度検証の段階にある。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計2件)

① K. Mizutani, M. Ohba, H. Sato, “Characteristics of fluctuating airflow produced by climate controllable wind tunnel”, Proceedings of 21st National Symposium on Wind Engineering, 査読有、2010.12, 125-130

② M. Ohba, T. Kurabuchi, K. Tsukamoto, T. Nonaka and T. Goto: A simulation study on the reduction of cooling loads in a detached house by cross-ventilation using the local dynamic similarity model, *The International Journal of Ventilation*, Volume 8, Number 3, 査読有 pp.251-264, 2009.12

風工学シンポジウム論文集へのアクセス  
<http://www.jstage.jst.go.jp/browse/kazekosymp/-char/ja/>

[学会発表] (計16件)

① 鈴木駿輔, 倉淵隆, 大場正昭, 遠藤智行, 他4名:市街地に建つ戸建住宅の通風気流分布による冷涼感予測に関する研究, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, pp.2435-2438, 2010.9、山口

② 大場正昭, 森上伸也, 飯野由香利, 水谷国男, 他2名:気流の乱れと発汗蒸散効果に関する被験者実験 その1 定常風における皮膚温とぬれ面積率について, 日本建築学会学術講演梗概集, D-2, pp.515-516, 2010.9、富山

③ Kenji Tsukamoto, Masaaki OHBA, Takashi Kurabuchi, Tomoyuki Endo and Toshihiro Nonaka: Building simulation on reduction of cooling loads for detach house in intermediate and raining seasons by cross-ventilation in Japan, the 3rd International Conference on Passive and Low Energy Cooling for the Built Environment (PALENC 2010), 2010.09

④ Masaaki OHBA, Kenji Tsukamoto, Takashi Kurabuchi and Toshihiro Nonaka: Building simulation on utilization of roof window in detached house by using cross-ventilation, the AIVC conference in 2010, 2010.10

⑤ 塚本健二, 大場正昭, 倉淵隆, 野中俊宏, 遠藤智行, 鶴田久美子, 鈴木駿輔, 森上伸也, 倫裕發:局所相似モデルを適用した通風時における戸建住宅の冷房負荷削減効果に関する研究 その3 日本の主要都市における年間の冷房負荷に関する検討, 日本建築学会学術講演梗概集, D-2, pp.813-814, 2010.9

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

大場 正昭 (OHBA MASA AKI)  
東京工芸大学・工学部・教授  
研究者番号:90130947

### (2)研究分担者

水谷 国男 (MIZUTANI KUNIO)  
東京工芸大学・工学部・教授  
研究者番号:40468913

#### 【2008年度-2009年度の研究分担者】

倉淵 隆 (KURABUCHI TAKASHI)  
東京理科大学・工学部・教授  
研究者番号:70178094

飯野 秋成 (IINO AKINARI)  
新潟工科大学・工学部・教授  
研究者番号:80272706

飯野 由香利 (IINO YUKARI)  
新潟青陵大学・看護福祉学部・非常勤講師  
研究者番号:40212477

### (3)連携研究者

遠藤 智行 (ENDO TOMOYUKI)  
関東学院大学・工学部・准教授  
研究者番号:90385534

#### 【研究分担者からの変更 (2010年度)】

倉淵 隆 (KURABUCHI TAKASHI)  
東京理科大学・工学部・教授  
研究者番号:70178094

飯野 秋成 (IINO AKINARI)  
新潟工科大学・工学部・教授  
研究者番号:80272706

飯野 由香利 (IINO YUKARI)  
新潟青陵大学・看護福祉学部・非常勤講師  
研究者番号:40212477