HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	CFDによる高断熱高気密住宅の夏期の温熱環境解析
Author(s)	西澤, 繁毅; 森, 太郎; 絵内, 正道 他
Citation	大会学術講演梗概集. D-2, 環境工学II, 熱, 湿気, 温熱感, 自然エネルギー, 気流・換気・排煙, 数値流体, 空気清浄, 暖冷房・空調, 熱源設備, 設備応用, 1999, 653-654
Issue Date	1999-07-30
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/50603
Rights	日本建築学会. 本文データは学協会の許諾に基づきCiNiiから複製したものである.
Type	journal article
File Information	GKKD-2_653-654.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

Architectural Institute of Japan

41327

日本建築学会大会学術講演梗概集
(中　国) 1999 年 9 月

CFDによる高断熱高気密住宅の夏期の温熱環境解析

正会員○西澤繁毅[1)]
同　森太郎[2)]
同　絵内正道[3)]
同　羽山広文[4)]

CFD、高断熱高気密住宅、夏の環境改善

1. はじめに

北海道では冬期への対応として住宅の高断熱高気密化が進んできたが、その特徴を夏期に活かせないまま住環境を悪化させてしまう例も少なくない。本報では、北海道大学構内のローエネルギーハウスを対象にした温度分布と換気性状の実測結果[1)]をもとにして、CFDによる解析を行い、居室の気流動と室温分布をあわせた室内温熱環境の検討を行った。

2. 対象住宅の概要

ローエネルギーハウスにはスタック換気方式が採用されている。アースチューブから地下室に取り込まれた外気は、内外温度差により通気塔を上昇し、頂部排気口より排出されることで換気が行われる。各居室への給気は、通気塔の小型の内内換気用ファンと、地下室から2階をつなぐ階段室によって配送される(case1、図1)。また、case2として、上方に開放した熱対流型換気システムをローエネルギーハウスに適用した。これは、アースチューブをすべて閉じ、階段室の扉を開放し、上方の開口として通気塔頂部の排気口の他に小屋裏の天窓を使用し、小屋裏と2階居室の間仕切りを一部取り外して熱気排出、冷気取入のための開口としたものである(図2)。

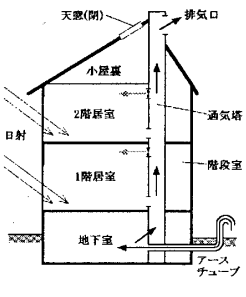


図1　case1 スタック換気概略

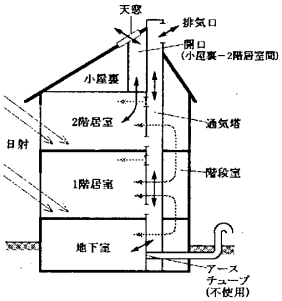


図2　case2 熱対流型換気概略

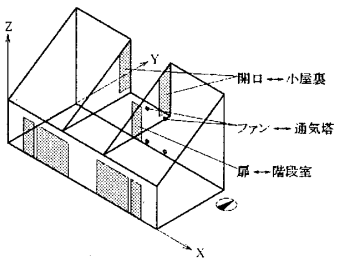


図3　解析空間モデル

◆ 連続の式

$$\frac{\partial U}{\partial x}+\frac{\partial V}{\partial y}+\frac{\partial W}{\partial z}=0$$

◆ 運動方程式

$$\rho\frac{\partial}{\partial x}(U\cdot U)+\rho\frac{\partial}{\partial y}(V\cdot U)+\rho\frac{\partial}{\partial z}(W\cdot U)=\frac{\partial}{\partial x}\left\{\mu_{\sigma}\left(\frac{\partial U}{\partial x}+\frac{\partial U}{\partial x}\right)\right\}+\frac{\partial}{\partial y}\left\{\mu_{\sigma}\left(\frac{\partial U}{\partial y}+\frac{\partial V}{\partial x}\right)\right\}+\frac{\partial}{\partial z}\left\{\mu_{\sigma}\left(\frac{\partial U}{\partial z}+\frac{\partial W}{\partial x}\right)\right\}-\frac{\partial}{\partial x}\left(P+\frac{2}{3}\rho k\right)$$

$$\rho\frac{\partial}{\partial x}(U\cdot V)+\rho\frac{\partial}{\partial y}(V\cdot V)+\rho\frac{\partial}{\partial z}(W\cdot V)=\frac{\partial}{\partial x}\left\{\mu_{\sigma}\left(\frac{\partial U}{\partial y}+\frac{\partial V}{\partial x}\right)\right\}+\frac{\partial}{\partial y}\left\{\mu_{\sigma}\left(\frac{\partial V}{\partial y}+\frac{\partial V}{\partial y}\right)\right\}+\frac{\partial}{\partial z}\left\{\mu_{\sigma}\left(\frac{\partial W}{\partial y}+\frac{\partial V}{\partial z}\right)\right\}-\frac{\partial}{\partial y}\left(P+\frac{2}{3}\rho k\right)$$

$$\rho\frac{\partial}{\partial x}(U\cdot W)+\rho\frac{\partial}{\partial y}(V\cdot W)+\rho\frac{\partial}{\partial z}(W\cdot W)=\frac{\partial}{\partial x}\left\{\mu_{\sigma}\left(\frac{\partial U}{\partial z}+\frac{\partial W}{\partial x}\right)\right\}+\frac{\partial}{\partial y}\left\{\mu_{\sigma}\left(\frac{\partial V}{\partial z}+\frac{\partial W}{\partial y}\right)\right\}+\frac{\partial}{\partial z}\left\{\mu_{\sigma}\left(\frac{\partial W}{\partial z}+\frac{\partial W}{\partial z}\right)\right\}-\frac{\partial}{\partial z}\left(P+\frac{2}{3}\rho k\right)+\rho g\beta(\overline{T}-T_0)$$

◆k-ε 輸送方程式

$$\rho\frac{\partial}{\partial x}(U\cdot k)+\rho\frac{\partial}{\partial y}(V\cdot k)+\rho\frac{\partial}{\partial z}(W\cdot k)=\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{\mu_{\sigma}}{\sigma_k}\frac{\partial k}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{\mu_{\sigma}}{\sigma_k}\frac{\partial k}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{\mu_{\sigma}}{\sigma_k}\frac{\partial k}{\partial z}\right)+P_k+G_k-\rho\varepsilon$$

$$\rho\frac{\partial}{\partial x}(U\cdot\varepsilon)+\rho\frac{\partial}{\partial y}(V\cdot\varepsilon)+\rho\frac{\partial}{\partial z}(W\cdot\varepsilon)=\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{\mu_{\sigma}}{\sigma_{\varepsilon}}\frac{\partial\varepsilon}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{\mu_{\sigma}}{\sigma_{\varepsilon}}\frac{\partial\varepsilon}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{\mu_{\sigma}}{\sigma_{\varepsilon}}\frac{\partial\varepsilon}{\partial z}\right)+\frac{\varepsilon}{k}(C_1P_k-C_2\rho\varepsilon+C_3G_k)$$

◆温度輸送方程式

$$\rho C\frac{\partial}{\partial x}(U\cdot T)+\rho C\frac{\partial}{\partial y}(V\cdot T)+\rho C\frac{\partial}{\partial z}(W\cdot T)=\frac{\partial}{\partial x}\left(\lambda_{\sigma}\frac{\partial T}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\lambda_{\sigma}\frac{\partial T}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(\lambda_{\sigma}\frac{\partial T}{\partial z}\right)$$

$$P_k=\mu_t\left\{2\left(\frac{\partial U}{\partial x}\right)^2+2\left(\frac{\partial V}{\partial y}\right)^2+2\left(\frac{\partial W}{\partial w}\right)^2+\left(\frac{\partial V}{\partial x}+\frac{\partial U}{\partial y}\right)^2+\left(\frac{\partial W}{\partial y}+\frac{\partial V}{\partial z}\right)^2+\left(\frac{\partial U}{\partial z}+\frac{\partial W}{\partial x}\right)^2\right\}\qquad G_k=g\beta\frac{\mu_t}{\rho\sigma_t}\left(\frac{\partial T}{\partial z}\right)$$

$$\mu_{\sigma}=\mu+\mu_t=\mu+C_{\mu}\rho k^2/\varepsilon\qquad\lambda_{\sigma}=\lambda+\lambda_t=\lambda+\mu_t/\mathrm{Pr}_t$$

$$C_{\mu}=0.09,\ C_1=1.44,\ C_2=1.92\qquad C_3=\begin{cases}1.44 & (G_k>0)\\ 0 & (G_k<0)\end{cases}$$

$$\sigma_k=1.0,\ \sigma_{\varepsilon}=1.3$$

3. CFD解析の概要[2)3)]と解析モデル

気流場の計算には、一般的な非等温の標準k-ε 2方程式乱流モデルを用いた。基礎式を下に示す。離散化手法として有限体積法を、解法にはSIMPLE法を使用した。また、移流項の差分スキームには1次精度風上差分を用いている。解析はローエネルギーハウス2階居室を対象とし、解析モデルを図3に、解析ケースと境界条件を表1のように定め、case1(スタック換気)とcase2(熱対流型換気)で各2回行った。境界流出入速度は固定条件とし、多種トレーサーガス法による換気量測定結果[1)]から流出入空気量を算定して設定条件としている。温度の境界値、初期値には、実測で得られた室温、壁表面温度を用いており、開口部では固定条件、壁面境界層では一般化対数法則に基づく壁関数を使用している。

4. 解析結果

case1とcase2の14:00の室内気流場と温度場の結果を、y-z(南北)方向断面①、②と、x-z方向断面(東西)③につ

表1　解析ケースと境界条件

				case1 通常型－扉閉		case2 熱対流型	
日時				1998/9/9 14:00	1998/9/9 16:00	1998/9/6 12:00	1998/9/6 14:00
境界流速条件	通気塔	→ ファン (片側) →	流入量 [m³/h] (流入速度 [m/s])	28.8 (0.8)	28.8 (0.8)	28.8 (0.8)	28.8 (0.8)
		← 吸込口 (片側) ←	流出量 [m³/h] (流出速度 [m/s])	28.8 (0.8)	28.8 (0.8)	28.8 (0.8)	28.8 (0.8)
	階段室	→ 扉 (開放) 1.4m² →	流入量 [m³/h] (最大流入速度 [m/s])			105.6 (0.03)	179.1 (0.04)
	小屋裏	→ 開口 (片側) →	流入量 [m³/h] (最大流入速度 [m/s])			179.9 (0.20)	150.2 (0.17)
		← 1.3m² ←	流出量 [m³/h] (最大流出速度 [m/s])			232.7 (0.36)	239.75 (0.35)
境界温度	通気塔		[℃]	26.1	25.8	26.4	26.8
	階段室		[℃]			26.3	27.0
	小屋裏		[℃]			27.4	27.7
	南面窓表面温度(最大値)		[℃]	37.1	30.1	37.7	33.7
	外気温		[℃]	25.8	23.2	24.9	24.7
	全天日射量		[MJ/m²h]	1.93	0.70	2.82	2.01

Numerical Simulation of Thermal Environment in the Insulated House by Using CFD Analysis

NISHIZAWA Shigeki, MORI Taro, HAYAMA Hirohumi and ENAI Masamichi

NII-Electronic Library Service

Architectural Institute of Japan

いて示す(case1:図4～9、case2:図10～15)。

i)気流動

解析の結果、室内気流場は、過大な日射取得熱[注]による南面窓付近の上昇流(case1:0.29m/s MAX、case2:0.22m/s MAX)を駆動力とする、斜天井→北面壁→床面→南面という熱対流(図5、11)に強く支配されている。それに図4、10に現れているファンによる中央低天井部の低温の噴流の下降流が加わり、さらに熱対流換気を行うcase2では、図12に現れている小屋裏から流入降下する流れが熱対流に合流して全体の流れが形成されている。case1とcase2では、中央低天井部のファンによる噴流の降下の様子が異なり、さらにcase2では小屋裏から流下する流れが加わって複雑な気流場を形成しているが、斜天井部の熱対流にそれほど大きな影響を与えていない。また、case2では小屋裏の開口から外気に排出される流れが生じるものの、熱対流に及ぼす影響は小さく、熱対流面に直交する方向の開口では速やかな熱気の排出が期待できないことを示している。

ii)解析結果と実測結果の比較

温度分布は頂部に熱気がたまり上下方向に温度むらが形成される結果となっており(図16)、実測の結果(図17)よりも上下温度差が大きく得られている。この違いは実空間と解析空間モデルのズレや乱流モデルの適否、境界条件の検討不足などが要因であると考えられるが、中央低天井部のファンによる噴流の下降(図7、13)や、小屋裏から流下する低温の流れとそれに巻き込まれて下降する流れ(図12、15)が表現されており、定性的な傾向はおおむね把握できている。

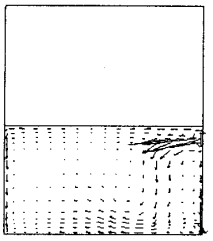


図4 case1-断面①-気流動

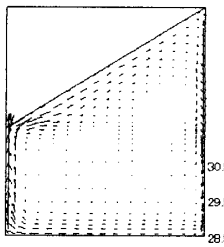


図5 case1-断面②-気流動

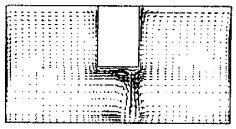


図6 case1-断面③-気流動

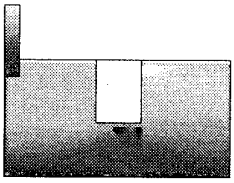


図9 case1-断面③-温度分布

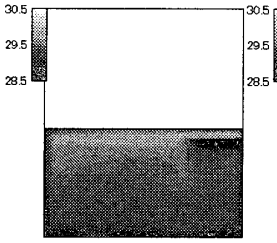


図7 case1-断面①-温度分布

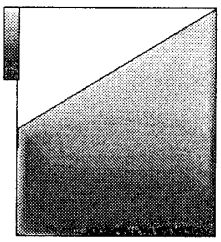
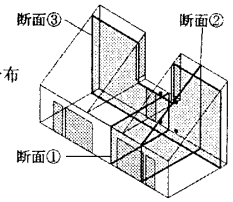


図8 case1-断面②-温度分布



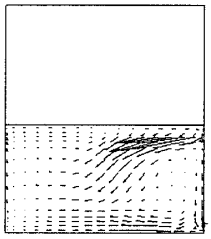


図10 case2-断面①-気流動

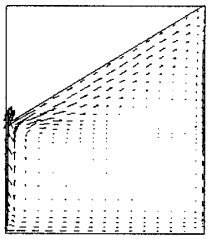


図11 case2-断面②-気流動

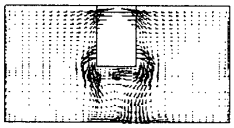


図12 case2-断面③-気流動

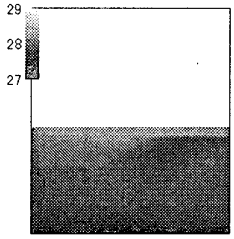


図13 case2-断面①-温度分布

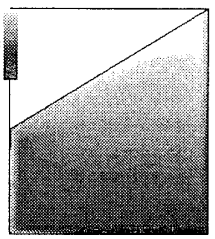


図14 case2-断面②-温度分布

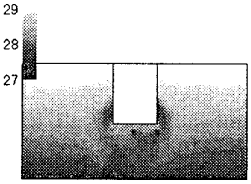


図15 case2-断面③温度分布

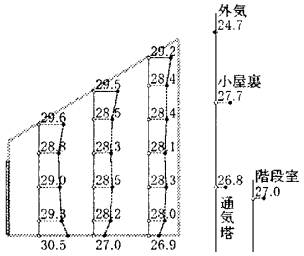


図16 case2 実測による温度分布

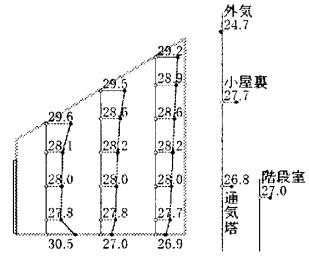


図17 case2 CFD解析による温度分布

5. まとめ

CFDによる流れの詳細検討から、過大な日射取得熱が室内に大きな熱対流を引き起こし、上方開放の熱対流型換気を行っているcase2でも、室内環境を悪化させていることが確認された。高断熱高気密住宅の夏期の温熱環境改善のためには日射遮蔽の励行と熱気を排出する開口の形態と設置部位に留意する必要があるだろう。

本報のCFD解析結果では、温度分布の再現性に不十分な点が残った。解析の精度を検討して今後の展開につなげていきたい。

注)日射取得熱が過大となるのは、実測の際に南面窓に備えられているオーイングを使用していないためである。

【謝辞】 本研究の一部は、科学技術振興事業団戦略的基礎研究推進事業:自立型都市を目指した都市代謝システムの開発プロジェクトの援助によってなされたものである。記して感謝する。

【参考文献】

1)福島他:「多種トレーサーガス法による高断熱高気密住宅の夏期の換気性状把握」(建築学会大会, 1999)
2) 荒川忠一:「数値流体工学」(東京大学出版, 1994)
3) 加藤信介:「数値流体力学CFDの室内環境への応用(1)～(7)」(空気調和・衛生工学 Vol.71 No.6～Vol.72 No.1)

1) 北海道大学大学院工学研究科 Graduate School of Eng., Hokkaido Univ.
2) 北海道大学大学院工学研究科 助手 工博 Research Assoc., Graduate School of Eng., Hokkaido Univ., Dr. Eng.
3) 北海道大学大学院工学研究科 教授 工博 Prof., Graduate School of Eng., Hokkaido Univ., Dr. Eng.
4) 北海道大学大学院工学研究科 助教授 工博 Assoc. Prof., Graduate School of Eng., Hokkaido Univ., Dr. Eng.

NII-Electronic Library Service