

ハウスダスト除去を目的とした空調システムに関する研究

－実大居室における気流の測定と分析－

栗原玄太

指導教員 赤林伸一教授
(東北大学) 吉野 博教授

1 研究目的

近年、省エネルギー性や温熱快適性を向上させるため、住宅の高気密・高断熱化が推進されている。一方、換気量不足による室内湿度の上昇、結露問題の発生及びハウスダストの増加に伴い、カビ・ダニなどによる微生物汚染が拡大しつつある。ハウスダストには、アレルゲンとなるカビの胞子やダニの死骸・フンが含まれており、居住者に対して、喘息やアトピー等のアレルギー症状を引き起こすことが報告されている。また、揮発性に乏しい準揮発性有機化合物 (SVOC) がハウスダストに付着し、カビ・ダニと同様に喘息等の原因となると疑われている。特に、呼吸域が床付近の子供にとって、床面に堆積したハウスダストがアレルギー症状の原因となる可能性は高く、子供のアレルギー疾患が増加している一因と考えられている。

そこで、床面に堆積したハウスダストを効率良く除去することが可能な空調システムを開発するために、本研究では、試作システムを設置した実大居室における気流の測定と分析を行い、基礎データを収集するとともに、CFD (数値流体解析) を用いて、試作システムによる室内気流を検討することを目的とする。

表 1：実験条件

	ハウスダスト除去システム		排気方法	
	室内空気循環 (吹出口数2個)	室内換気 (吹出口数1個)	天井隅の 排気口より排気	壁と床の間の スリットより排気
Case1	×	○	○	×
Case2	×	○	×	○
Case3	○	×	×	○
Case4	○	○	○	○

表 2：設定条件

実験ケース	換気回数 ^{*1}	風量(m ³ /h)		風速(m/s)	温度(℃)		
		設定目標 ^{*2} 合計	設定風量 ^{*3} 合計		室内	外気	吹出
Case1-1	2.5	67.5	68.5	3.34	19.69	3.84	21.59
Case2-1	2.5	67.5	Case1-1と同じ	Case1-1と同じ	18.95	2.55	22.37
Case3-1	1	27(13.5)	28.0 (14.0 / 12.0)	0.24 / 0.19	19.69	5.31	22.49
Case3-2	2.5	67.5(33.8)	69.3 (34.9 / 34.4)	0.60 / 0.54	18.78	3.75	20.13
Case3-3	5	135(67.5)	136.1 (68.3 / 67.8)	1.17 / 1.06	19.42	11.57	19.77
Case3-4	10	270(135)	264.2 (134.0 / 130.2)	2.40 / 2.14	19.00	5.88	20.00
Case4-1	0.5 / 5	148.5	149.6 ^{*5}	*5	19.65	5.93	20.15

^{*1} Case4では、「換気システム / 循環システム」それぞれの設定換気回数を表記。
^{*2} Case3カッコン内は、吹出口1つ当たりの設定目標風量。
^{*3} 目標値に対し±10%以内のバラつきに設定。カッコン内は、吹出口1つ当たり(北側 / 南側)の設定風量。
^{*4} Case1, 2では、吹出口1つ。Case3では、北側 / 南側の2つを表記。
^{*5} 換気システムは、13.5m³/h(0.66m³/s)。循環システムは、Case3-3と同じ。

2 研究概要

2.1 実験による検討：東北大学構内に設置された2階建て木造実験住宅の1室（以下、実験室。2.7m×5.4m×2.3m）で実験を行う。図1に実験室の概要を、図2に空調システムの概要を示す。本システムの特徴は、床面のダストを壁と床の取合部のスリットから除去する点である。主な実験条件を表1に、各条件の設定条件を表2に示す。超音波風速計 (CLIMATEC, CYG-81000) により、床上0.1m, 0.75m, 1.65mで各24箇所、計78箇所において、室内気流が定常状態に達してから10分間の風向・風速を測定する。同時に、スモークテストによる目視観測も行う。

2.2 CFDによる検討：表3に解析条件を示す。実験に基づいた設定条件を与え、汎用流体解析ソフト(FlowDesigner)により、実験条件毎(表2)の気流及び温度分布の解析を行う。

3 実験結果

3.1 システムの比較：Case1-1, 2-1は排気経路の異なるシステムである。図4(1),(4),(5)より、両ケースともに、吹出噴流は減衰しながら床面に達し、吹出口の真下を中心に放射状に分布している。窓が設置されている南側と北側から室中央へと向かう気流は、窓面付近のコールドドラフトによる下降気流 (実

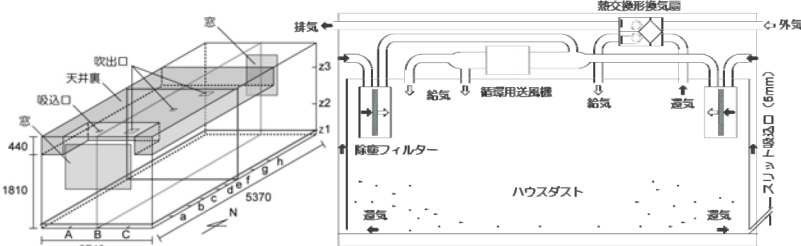


図 1：実験室の概要

図 2：空調システムの概要

表 3：解析条件

計算コード	ソフトウェア - FlowDesignerV5
乱流モデル	標準k-εモデル
解法	改良SIMPLE法
境界条件	・壁面境界条件は、風速は一般化対数則。
	・床・東壁面は隣室を想定し、断熱条件で与える。
	・天井、西壁面、南壁面、北壁面には実験に基いた暖房負荷を与えた。
	・吹出口：流速境界、流入温度は、実験に基く。
流入流出条件	・吸込口：流速境界
	・ $k=3/2(I/U_n)^2$ I:乱流強度(=0.05) U_n :吹出速度[m/s]
	・ $\epsilon_{in}=C_\mu k^{3/2}/l_n$ C_μ :モデル定数(=0.09) l_n :吹出口長さ[m]

験は冬季に実施し、室内外温度差は約 15℃) に由来し、吹出口の真下を中心に放射状に広がった気流と衝突する。この事により、測定面 b,c 列間及び g,h 列間において上昇気流が生じ、その一部は中央高さ付近で室中央へと戻る循環流となる。一方、スリット排気の Case2-1 (図 4(3)) と比べて、天井排気の Case1-1 (図 4(2)) では、天井吸入口に近い a,b 列の床面における気流の鉛直成分が大きく、天井吸入口の有無が気流に影響を与えていることが推察される。

3.2 吹出風量の比較: Case3-3, 3-4 (図 4(2),(3)) では吹出風量が異なるが、2つの吹出口からの噴流が床面で放射状に分散した後、c,d 列間で衝突して循環流を形成するという流れは一致しており、全断面において概ね同様の結果となる。但し、上部では違いが見られ、北向き気流が主である Case3-3 に対して、吹出風量の大きい Case3-4 では、吹出噴流に合流しようとする流れが強い。吹出風量の小さい Case3-1, 3-2 では、大部分が上向きの気流となり、室内外温度差等の外乱の影響を受けやすいことがわかる。

4 数値解析結果と実験結果の比較

例として、Case1-1 の数値解析結果を図 3(2),(3)に示す。前述の実験結果で確認された床面付近での発散流 (図 3(2),図 4(1))、窓付近のコールドドラフトによる下降気流 (図 3(3),図 4(4))、両者が衝突することにより生じる循環流 (図 3(3),図 4(4)) 等が数値解析結果でも再現されており、実験結果

と数値解析結果は概ね一致することがわかった。数値解析では、熱を考慮しない等温での解析も実施しており、その結果、窓付近の下降気流は見られず、床面付近での発散流は、南北の壁面まで到達している。室内外温度差が気流性状に大きく影響していることが確認できる。

気流速度の実験値と数値解析値を図 6 に示す。吹出風速の±3%の範囲内に大部分がプロットされており、両者はほぼ一致している。結果が異なるのは、b,c 列の床面と吹出口の真下の測定点である。b,c 列の床面における差は、コールドドラフトと吹出噴流の衝突位置のズレが原因と考えられる。吹出口直下の気流速度については、多点風速計による計測も行っており、概ね一致することが確認できる (図 5)。

5 まとめ

- ①システムの排気経路が異なる場合、天井吸入口付近の気流に若干違いが見られた。
- ②吹出風量が異なる場合、上部の気流に相違が見られたが、室全体の流れは殆ど同様である。
- ③室内気流の数値解析結果と実験結果は概ね一致することが確認され、実験と併用することにより詳細な室内の気流性状の解析が可能である。
- ④実験では、特に吹出風量が小さい場合に、室内外温度差等の外乱の影響を受けやすいことが確認できる。従って、外乱を考慮した換気システムの開発が必要と考えられる。

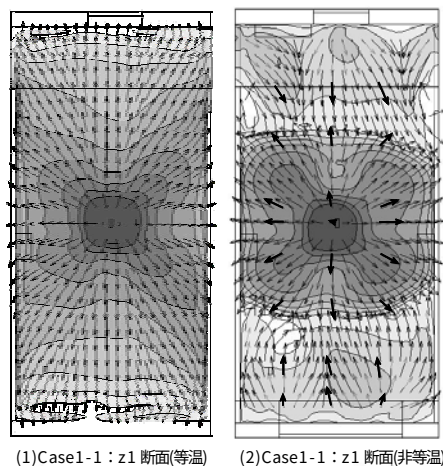


図 3: 室内の気流速度ベクトル (数値解析)

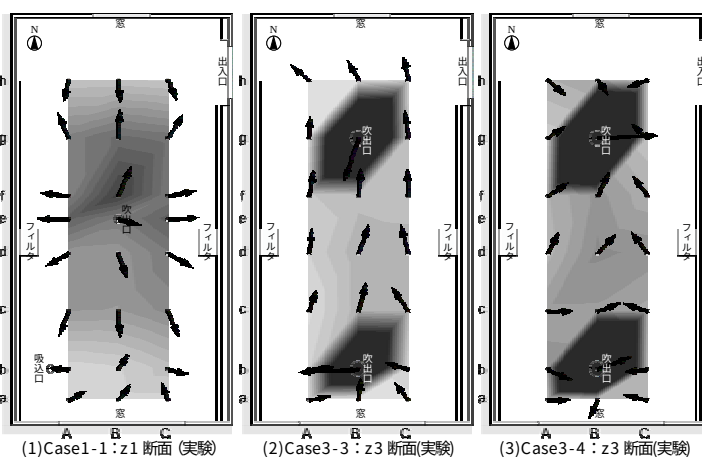


図 4: 室内の気流速度ベクトル (実験)

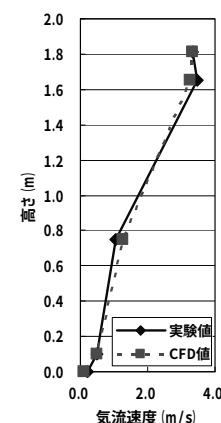


図 5: 吹出口直下の気流速度

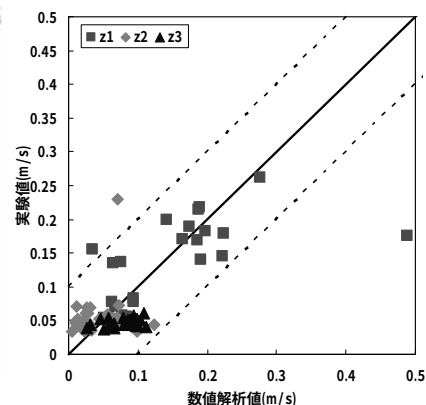


図 6: 気流速度の比較