

事務所ビルにおける室内混合損失の防止に関する研究 —CFD解析によるパーティション導入効果の検討—

2006541023 篠原尚生

白石研究室

CFD解析、事務所ビル、混合損失、ペリメータ、インテリア、パーティション

1.はじめに

近年、大規模建築の建設時に省エネ措置の届出等を義務付ける法律の制定等、エネルギー起源CO²の排出削減が喫緊の課題となっている。特に事務所ビル等の民生業務部門においては、エネルギー需要の増加傾向が著しく、省エネ対策の強化が一層求められている。

事務所ビルでは一般的に、外気温や日射等の外部負荷の影響を受けるペリメータゾーン（以下 PZ）と、室内の照明やOA機器、人間の発熱等の内部負荷の影響を受けるインテリアゾーン（以下 IZ）の二つのゾーンに分けられ、熱負荷特性の違いから個別空調システムの採用が増えている。特に冬季および中間季において IZ で冷房、PZ で暖房の冷暖併存状態となり、ゾーン間の空気の混合から熱的混合損失・利得量（以下ミキシングロス・ゲイン）が発生し、無駄なエネルギー消費を引き起こすという問題点が指摘されている。

本研究では、ミキシング防止策に関する研究の一環として PZ-IZ 間のパーティションの有無による比較実験を対象とした CFD 解析を行い、実験結果との比較から室内温熱空気環境の予測精度の検証を行うと同時に、形状の違いによるミキシングへの影響を比較・検証する。次に CFD 解析によるケーススタディを実施し、パーティションの幅や高さを変化させることによる移流フラックスや流量の差異、ミキシングの緩和効果を検討する。

2.熱的混合損失・利得の概念

本研究では、図1に示すように PZ-IZ 間のミキシング量を定義する。すなわちミキシングが PZ の FCU の暖房負荷の増加要因且つ、IZ の AHU の冷房負荷の増加要因となる場合をミキシングロスとし、逆にミキシングが FCU の暖房負荷の削減要因且つ AHU の冷房負荷の削減要因となる場合をミキシングゲインとする。

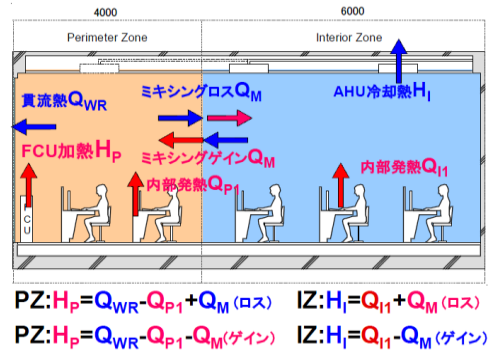


図1 熱的混合損失・利得の概念図

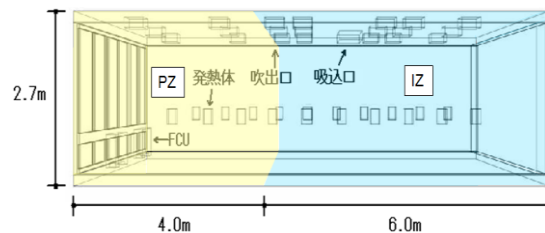


図2 解析対象（空調性能試験室）

3.解析概要

3.1 解析対象 図2に示す北九州市立大学の特殊実験棟にある空調性能試験装置を対象とする。試験室は6面の環境調整空間（以下GR）で囲まれており、事務所ビルの中間階と近い環境を実現するため、試験室の南面のGR1は外気を想定し、シングルガラス窓で仕切られており、その他3つのGRは事務所ビルの隣室を想定している。また、南面窓から4mまでをPZとし、その内側部分をIZと想定した。解析は冬季を対象としており、PZではファンコイルユニット（FCU）で暖房、IZでは空調機（AHU）による冷房で空調制御を行い、AHU吹出口は窓からそれぞれ4m、7.5mに位置する。

3.2 解析条件及び解析ケース 各ケースの解析条件を表1に示す。実験を行った4ケース（壁なし、垂壁①、袖壁①、ローパーティション①）を基本ケースとし、形状はそれぞれ垂壁高さ600mm、袖壁通路幅

表1 各解析ケースの解析条件

case	壁なし	垂壁①	垂壁②	袖壁①	袖壁②	ローパーティション①	ローパーティション②
設定条件	—	壁高600mm	壁高300mm	通路幅1540mm	通路幅2740mm	壁高1200mm	壁高1800mm
設定温度	PZ: 24°C				IZ: 22°C		
解析領域	10.0m (X) × 6.0m (Y) × 2.7m (Z)						
流入条件	AHU全風量1605m³/h	AHU全風量1622m³/h		AHU全風量1625m³/h		AHU全風量1629m³/h	
	吹出温度16.49°C	吹出温度16.61°C		吹出温度16.61°C		吹出温度16.43°C	
GR温度	FCU1風量 258m³/h FCU2風量 278m³/h $k_{in}=3/2(U_{in} \times 0.1)$ $\epsilon_{in}=C \mu k_{in}3/2/U_{in}$						
	FCU吹出温度 32.7°C		FCU吹出温度 32.9°C		FCU吹出温度 28°C		FCU吹出温度 33.1°C
	GR1 7.05°C GR2 23.2°C	GR1 7.03°C GR2 23.19°C	GR1 7.12°C GR2 22.62°C	GR1 7.00°C GR2 22.94°C	GR3 23.2°C GR4 23.2°C	GR3 23.19°C GR4 23.19°C	GR3 22.63°C GR4 22.63°C
発熱	GR5 21.04°C GR6 21.11°C	GR5 21.13°C GR6 21.22°C	GR5 20.48°C GR6 20.6°C	GR5 20.39°C GR6 20.51°C	照明: 128W × 15本		
	発熱体: 90W × 20個						

(k_{in} :乱流エネルギー[m²/s²], U_{in} :吹出し風速[m/s], ϵ_{in} : k_{in} の散逸率[m²/s³], C_{μ} :モデル定数(=0.09))

1540mm、ローパーティション高さ 1200mm として解析を行い、実験との比較から予測精度の検証を行う。各パーティションはPZとIZの境界面に設置し、厚さを50mmとする。パーティションの部材は断熱材(スチレンボード)を用いた。また、吹出温度や風量、GR温度などの値は実験より得られた値を解析条件として与えた。

3.3 ケーススタディの概要 各パーティション形状において、高さや通路幅の変化によるミキシングへの影響を検証するため、3種類の壁有りケースの壁の高さや幅を変えた3ケースのケーススタディを行い比較・検討する。ケーススタディはそれぞれ垂壁高さ300mm(垂壁②)、袖壁通路幅2740mm(袖壁②)、ローパーティション高さ1800mm(ローパーティション②)とし、吹出温度や風量等は基本ケースの各形状の解析条件を用いた。

4.解析結果(基本4ケース)

4.1 温度場及び流れ場 図3に各ケースの鉛直面の温度分布及び速度分布を示す。温度場に関しては、壁なしとローパーティションのケースではゾーン間で顕著な空気混合が生じているのに対し、垂壁・袖壁のケースでは混合が抑制されている。特に袖壁は冷風のPZ部への侵入を効果的に抑えているため、他ケースに比べてFCU吹出温度が低くなっている。流れ場に関しては、壁有りではケースにより若干差はあるものの、いずれも循環流を抑制しており、壁なしに比べ移流による空気混合を妨げていることが確認できる。

4.2 熱収支及びミキシング量 図4に壁なし条件におけるゾーン別の熱収支及びミキシング量の算出結果を示す。AHU冷却熱量、GR1からの貫流熱量、発熱量が大きくなっており、また、実験結果とCFD解析の結果は概ね一致している。

4.3 境界面での移流・拡散フラックス 図5に基本4

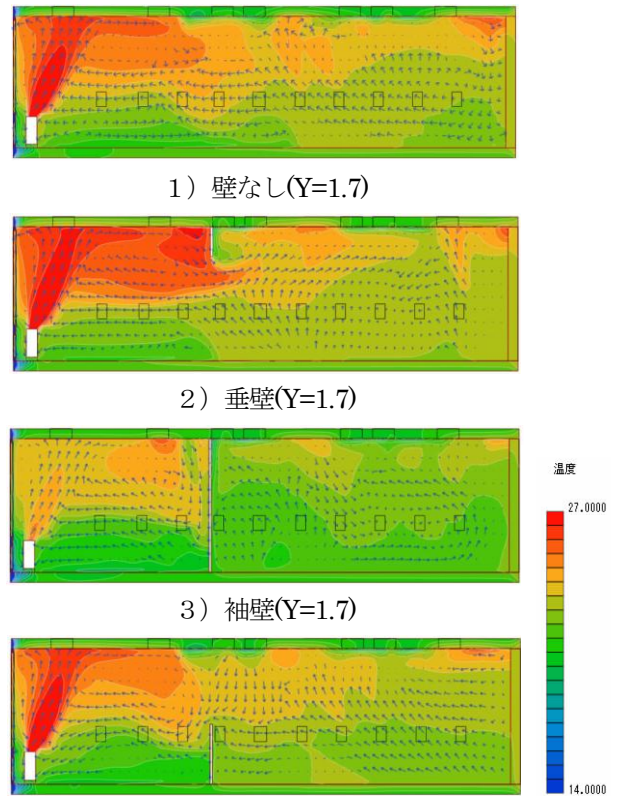


図3 鉛直面の温度分布および速度分布

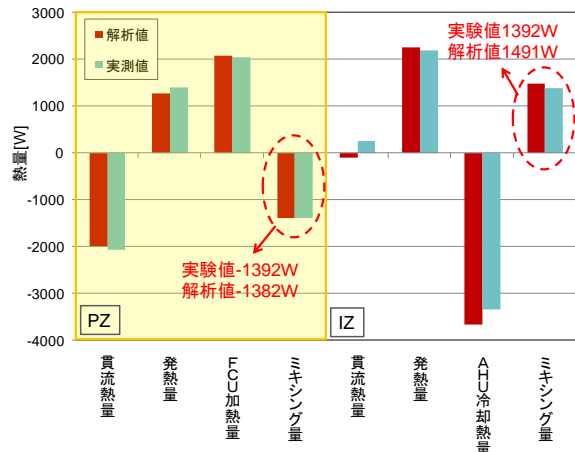


図4 壁なし条件の熱収支及びミキシング量

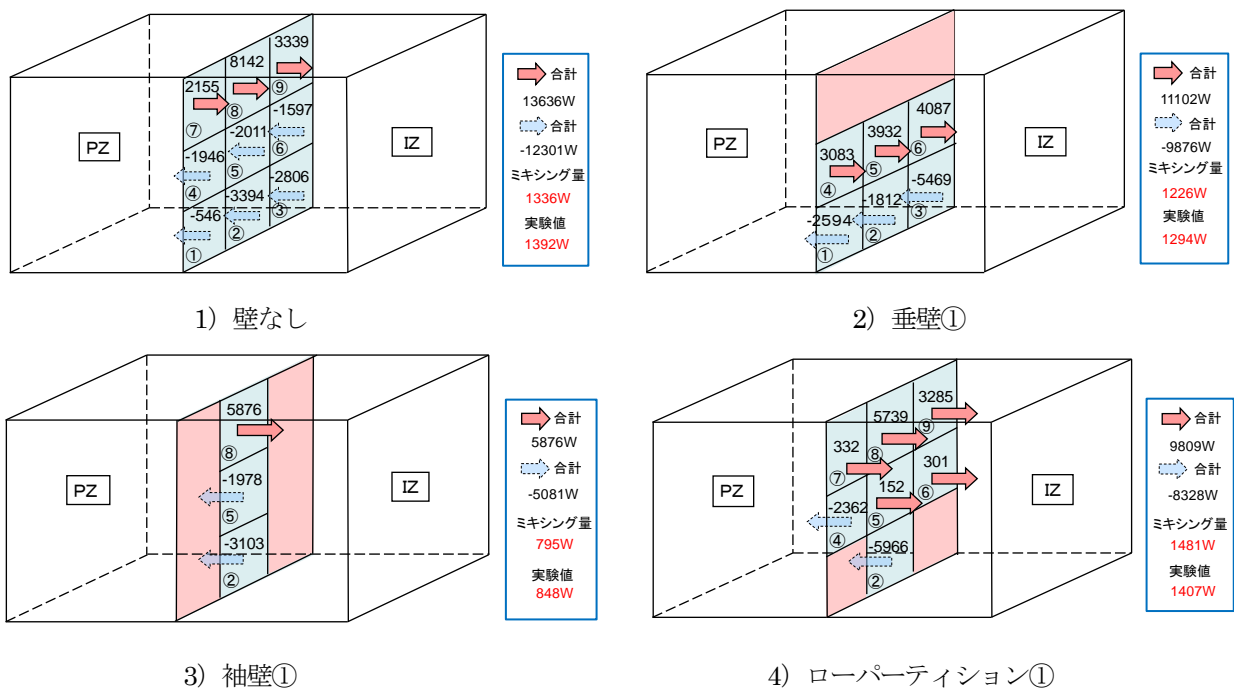


図5 PZ-IZ境界の分割面における移流フラックスの算出結果

ケースのPZ-IZ境界面における移流フラックス量^{注1)}をそれぞれ示す。また、拡散フラックス^{注2)}に関しては、移流フラックスに比して相対的に小さいため本報では省略する。また移流フラックス及び流量に関しては、境界面をパーティションの形状に合わせて数面に分割し、各分割面の総和を表示している。全てのケースにおいて境界面の上部ではPZからIZへ、下部ではIZからPZへ移流が生じており、ミキシングが発生している。これはFCUの吹き出しの影響で上部からIZ側へ温風が侵入し、それに伴いAHUの冷風が下部からPZ側へ侵入するためである。ミキシング量で比較すると、最も値が小さいのは袖壁であり、これは空間を遮蔽する面積が他のケースに比べて大きいためである。逆に、ローパーティションについては壁なし時のミキシング量とあまり差はなく、遮蔽効果が小さい形状であると言える。図6に基本4ケースにおける各分割面の境界面に対する移流フラックス及び風量の寄与率を示す。図より移流フラックスの各面での寄与率と、風量の各面での寄与率は全ケースで類似していることが確認できる。また各分割面毎に比較すると、垂壁を除いた3ケースで主に②、⑧面での移流フラックス及び寄与率が大きくなっている。これより移流は室中央で顕著であり、特に②面に比べ空間上部の⑧面の寄与率が高いことから、FCUの温風吹き出しの影響が大き

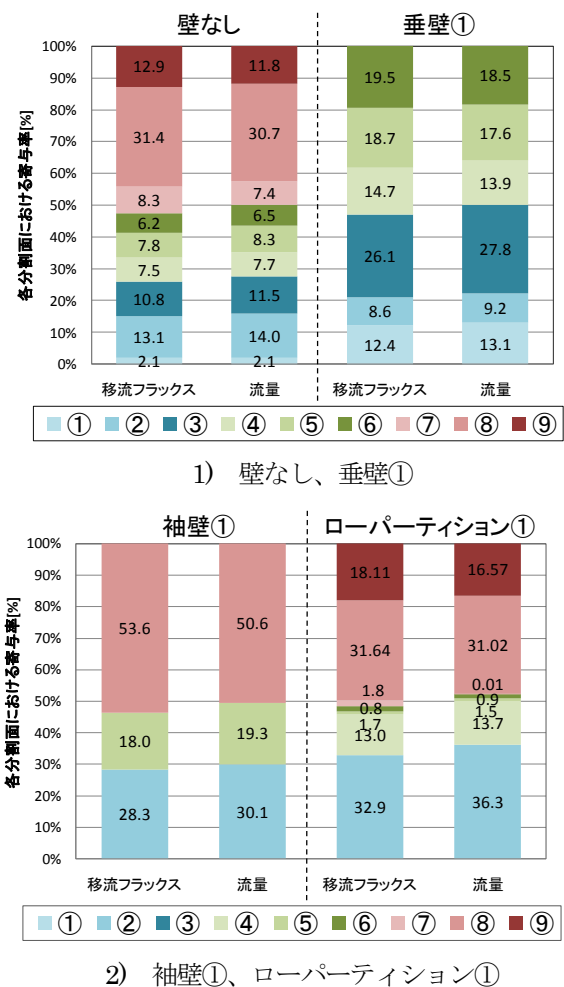


図6 基本4ケースで各分割面における移流フラックス及び風量の寄与率

いと推察される。

5.解析結果（ケーススタディ）

図7にPZ-IZ境界の基本ケース及びケーススタディにおけるミキシング量、ミキシング流量及び温度差パラメータの算出結果を示す。ここで、温度差パラメータ[°C]とは、ミキシング量[W]を空気の比熱[J/kg°C]×空気の密度[kg/m³]×ミキシング流量[m³/s]で除した値であり、ミキシングに実質的に寄与する混合温度差として定義される。まず、基本4ケースとケーススタディ間でミキシング量を比較すると、ミキシング量に最も差が生じたのは垂壁であった。これは垂壁①の場合、上部での移流の抑制が顕著であるのに対して、垂壁②では遮蔽効果が半減してしまったためと考えられる。一方、袖壁②では遮蔽面積を縮小したにもかかわらず、ミキシング量にほとんど差は見られなかった。このことからやはり移流は室中央で顕著であり、袖壁の形状変化によるミキシングへの緩和効果の差異は小さいものと思われる。次にミキシング量とミキシング流量、温度差パラメータを比較する。図より主に流量の変化とミキシング量の変化が類似していることから、ミキシング量は温度差よりも流量の変化に起因することが確認できる。しかし、ミキシング量が最も小さくなった袖壁②では流量はさほど小さくなく、温度差の影響を強く受けており、ミキシング量が流量のみによって規定されるとは言い難い。ケース間で、温度差パラメータを比較してみると、ローパーティション①、②では、両ケースで温度差が大きくなっていった。これはローパーティションの形状が上部で開けており、FCUからの温風がIZ側に侵入し、またAHUの冷風が下部中央で縮流としてPZ側へ流れ込むためこのような差が発生したと推察される。またミキシング量も、両ケースとも壁なし時より値が大きくなっており、遮蔽効果が小さいだけでなく温度差が生じ、設置に関しては逆効果であると言える。この点は、更なるケーススタディを実施し、無次元数等を導入した整理を行う必要があり、今後の検討課題として位置付けている。

6.まとめ

- 1) CFD解析によりパーティション有無の条件でのミキシング量を再現し、実験結果と概ね一致する結果が得られた。
- 2) ミキシング量に関してはPZ-IZ境界面での移流フ

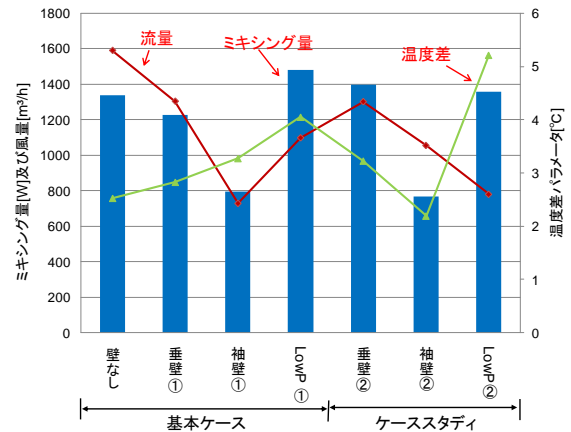


図7 境界面でのミキシング量、ミキシング流量及び温度差パラメータ算出結果

ラックスより推定し、実験では把握が困難なPZ-IZ境界面の局所的なミキシング性状に加えメカニズムの把握を行うことができた。

3) ミキシングは境界面上部でのFCU温風吹出しの影響を強く受けており、これを遮蔽することでミキシングの低減につながることを確認できた。また、パーティションの面積に応じてミキシングが変化する。

【注釈】

1) PZ-IZ境界の分割面*i*における移流フラックス C_i [W]は次式により定義される。 $C_i = \sum_{j=1}^m C_p \rho V_j A_j \theta_j$ [1]
 C_p : 空気の比熱[J/kg°C], ρ : 空気密度[kg/m³], θ_j : 面要素*j*の風上側空気温度[°C]

PZ-IZ境界の分割面*i*における流量 Q_i [m³/h]は次式により定義される。 $Q_i = 3600 \times \sum_{j=1}^m V_j A_j$ [2]

V_j : 面要素*j*の法線方向流速[m/s] A_j : 面要素の面積[m²]

2) PZ-IZ境界の分割面*i*における拡散フラックス D_i [W]は次式により定義される。

$$D_i = C_p A_j \left(\frac{\mu}{Pr} + \frac{\mu_t}{Pr_t} \right) \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad [3]$$

μ : 粘性係数[kg/(ms)] μ_t : 渦粘性係数[kg/(ms)] Pr : プラントル数[-] Pr_t : 乱流プラントル数[-] ΔT : 境界面で隣り合う要素間の温度差[°C] Δx : 境界面で隣り合う要素間の距離[m]
 尚、PZ-IZ境界の移流及び拡散によるミキシング量 Mix[W]は[2]式より以下ようになる。

$$Mix = \sum_{i=1}^9 C_i + \sum_{i=1}^9 D_i \quad [4]$$

【参考文献】1) 金田ら、事務所ビルのペリメータとインテリアゾーンの空調システムの制御と診断に関する研究、(その2) 実験による熱的混合損失・利得量の推定と評価、日本建築学会九州支部研究報告、第47号、2008年 2) 伊東ら、事務所ビルのペリメータとインテリアゾーンの空調システムの制御と診断に関する研究(その3) CFD解析による熱伝達・給気メカニズムの解明、日本建築学会九州支部研究報告、第47号、2008年 3) 中原ら、空気調和における室内混合損失の防止に関する研究第1報実大実験による要因効果分析、空気調和・衛生工学会論文集第33号 1987年