

ブリーズエアを用いた換気の効率に関する研究

1. 背景と目的

近年、扇風機やエアノズル等の製品において周囲の空気を誘引することで、吹出した空気より遥かに大量の風量を供給できるものが広まっている。これは面積が極端に小さい吹出口から空気を高速に吹出すことで誘引効果を生み出し高い効果を生み出している。建築においてこの技術はエアカーテンに応用され、汚染物質の拡散防止、乾燥、冷却など多用途に用いられる。しかし、これらは局所的な送風を目的としており、部屋全体の換気効率向上に応用した例は少ない。自然換気の一例としてベンチレーターやモニターを設置した自然換気設備は存在するが、その効果は外気条件に左右されるだけでなく、騒音や害虫の侵入といったデメリットも存在する。

本研究では部屋の壁近傍をモデル化して、低風量で部屋全体の換気効率を向上させる空調システムの構築を目的とする。本研究はその基礎的段階として吹出形状や吹出速度により、どの程度の誘引効果が期待できるかについて検討を行った。具体的には数値流体力学(CFD: Computational Fluid Dynamics)を用いて気流解析を行い、給排気条件の調整や空調ユニット形状の最適化を行った。また、解析結果に与える影響が大きいと考えられるパラメータをいくつか選出し、パラメータサーベイを行うことで最も良好な結果となる組み合わせの選出を行った。

2. 手法

本研究では、まず解析対象のモデル化を行った。次に、そのモデルの評価方法を決定し、評価値を算出するために気流解析を行った。そして、解析結果に対して給排気条件や空調ユニットの形状に関する検討を行った。解析には Cradle 社製の STREAM version11 を使用した。

2. 1 解析対象

図1に解析モデル、表1にその概要と解析条件を示す。床面にスリット状の吹出口を、その鉛直上の壁面に今回提案する空調ユニットを設置する。天井裏で排気することを想定し、天井と壁の間に 0.2m のスリットを吸込口として設けた。室内側からの給気条件は厚生労働省の「職場における喫煙対策の為のガイドライン」¹⁾に記載されている推奨値を参考に 0.1m/s に設定した。

2. 2 評価基準

評価基準は解析モデルの形状に依存せず室内の換気性能を滞留の影響も含めて定量的に把握するため、既往の研究²⁾³⁾⁴⁾と同様に空気余命の下側累積頻度 95%点とした。以下、この空気余命 95%点値を評価値と呼ぶ。また、解析結果より陰圧部分の広がり方を確認した。そして、空調ユニットを設置しない状態の空気余命からの削減率を算出した。

2. 3 空調ユニットについて

図2にこれまで解析を行った空調ユニット6種類の形状と吹出方向を示す。床吹出口からの気流は曲面に沿うように流れ(コアンダ効果)、速度が上がることで陰圧が発生する。また、上部に設けた吹出口から高速気流を吹出すことにより陰圧を発生させ、周辺の空気を誘引する仕組みとなっている。表2に解析結果への影響が大きいと考えられるパラメータを示す。吹出倍率とは空調ユニット近傍での流速に対する空調ユニット吹出速度の割合である。計 80 通りから最も良好な組み合わせを選出した。

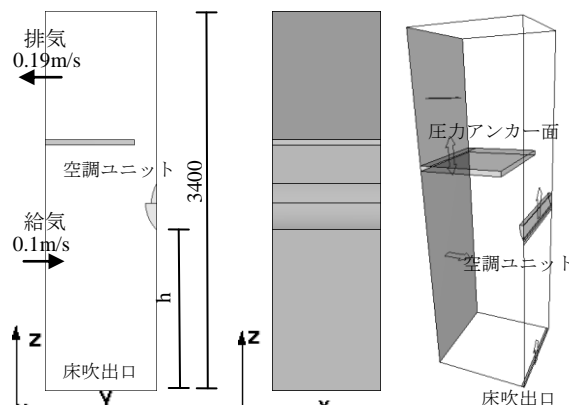


図1 解析モデル

表1 解析モデルの概要及び解析条件

解析モデル	床面積	m ²	1.0	
	天井高	m	2.2	
室容積	m ³	2.2		
高さ	m	3.4		
吹出口 (固定)	大きさ	m×m	1.0×2.2	
	吹出風速	m/s	0.10	
吸込口 (天井裏)	大きさ	m×m	1.0×1.15	
	吸込風速	m/s	0.19	
吹出口 (床)	形状	-	スリット	
	大きさ	m×m	1.0×0.02	
	吹出風速	m/s	1.0~5.0	
吹出口 (空調ユニット)	形状	-	スリット	
	大きさ	m×m	1.0×0.005	
	吹出風速	m/s	1.25~50.0	
天井	大きさ	m×m	0.8×0.05	
	切り込み	m	0.2	
解析条件	定常/非定常	-	定常	
	気流性状	-	乱流	
	乱流モデル	-	-	標準k-εモデル
		-	-	k=0.0001
		-	-	ε=0.0001
要素数	X×Y×Z	35×75×130		
壁面条件	-	-	対数則条件	

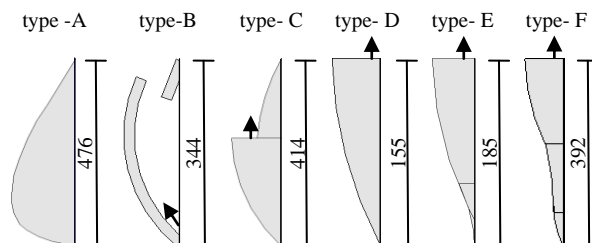


図2 空調ユニット

表2 解析パラメータと変化水準

パラメータ	変化水準
床吹出速度v[m/s]	1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0
空調ユニット設置高さh[mm]	1400, 1500, 1600, 1700
空調ユニット吹出倍率[-]	2.5, 5.0, 10.0, 20.0

3. 解析結果・考察

図2に中で最も良好な結果を示した type-E について取り上げ、各解析パラメータについて考察を行う。

3. 1 床吹出速度について

図3に空調ユニット設置高さ $h=1400\text{mm}$ の空気余命、図4に流速ベクトル図(5.0倍)を示す。基本的には床吹出速度と空気余命には相関関係が見られるが、 4.0m/s と 5.0m/s ではほとんど評価値に差がないことが分かる。また、ほぼ全てのモデルにおいて 5.0m/s で吹出すと天井裏に入りきらなかった気流が渦を形成し、空気が滞留するために空気余命が長くなる傾向が確認された。従って、この条件での最適値は 4.0m/s となった。

3. 2 空調ユニット設置高さについて

図5に空調ユニット吹出倍率5.0倍の空気余命、図6に圧力コンター図($v=4.0\text{m/s}$)を示す。空気余命との相関関係が見られないのは、今回設定した変化水準内では天井裏の陰圧と空調ユニットによる陰圧が途切れなかったことが影響していると考えられる。しかし、陰圧を示すラインは大きく広がった方が誘引される範囲も広くなるため、今回の最適値は $h=1400\text{mm}$ となった。また、極端な高さとして、 $h=1000\text{mm}$ 、 1900mm と設定した場合は気流性状が大きく乱れて空気余命も長くなった。

3. 3 空調ユニット吹出倍率について

図7に床吹出速度 4.0m/s の空気余命、図8に流速ベクトル図($h=1400\text{mm}$)を示す。基本的には吹出倍率が大きくなるに伴って空気余命も短くなる傾向がある。しかし、10.0倍や20.0倍のときは誘引する空気量が大きすぎて天井付近に渦を形成する、または室内の気流性状を著しく乱すケースが確認されたため、今回の最適値は5.0倍となった。

3. 4 まとめ

空調ユニットを設置しない場合の評価値は28.07秒であった。type-Eにおける最適設定 $v=4.0\text{m/s}$ 、 $h=1400\text{mm}$ 、空調ユニット吹出倍率5倍、評価値11.01秒と比較すると、空気余命を約61%削減できることが可能となった。また、各パラメータが評価値に与える影響が大きい順に床吹出速度、空調ユニット吹出倍率、空調ユニット設置高さとなった。空調ユニットの形状によって最適設定の組み合わせは異なるが、以下のような傾向は多くの形状で一致することが分かった。

- 床吹出速度は 5.0m/s になると渦を形成しやすいため、概ね 4.0m/s が最適値となる。
- 高さ変化による評価値への影響は小さいものの、設置高さは低い方が空気余命も短くなる傾向がある。
- 空調ユニット吹出倍率は高倍率になるほど空気余命を短縮できるが、床吹出速度と同様に渦の形成を助長することがある。

4. 今後の課題

解析対象を拡大した際にも効果を発揮し、同様の傾向を得ることが出来るのか検証する必要がある。また、今回は熱影響を考慮していないため、室内温度と吹出温度による換気効率の差異を解析パラメータに加え、最適な組み合わせを選出する。さらに、空調ユニットの形状の最適化を図り換気効率の向上を目指す。

【参考文献】

- 1)厚生労働省：http://www.mhlw.go.jp/topics/tobacco/houkoku/060300.html
- 2)宍戸和歌子：障害物のある空間の換気性状に関する研究、芝浦工業大学、(2006)
- 3)西村直也他：遺伝的アルゴリズムを用いた空調制気口の最適配置に関する研究、日本空気清浄協会、空気清浄：コンタミネーションコントロール 51(6),p.20-25, (2014)
- 4)山口純平：GAを用いた複雑な形状の室の制気口配置に関する研究、芝浦工業大学大学院、(2012)

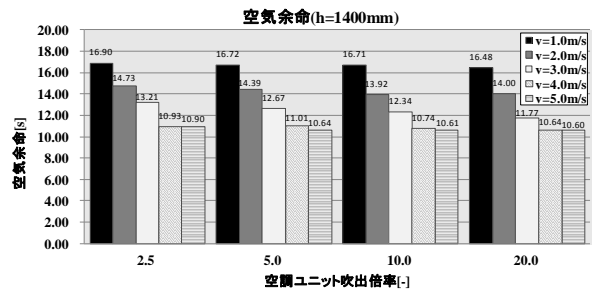


図3 空気余命 ($h=1400\text{mm}$)

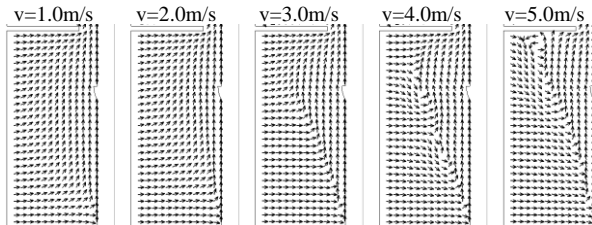


図4 流速ベクトル図 ($h=1400\text{mm}$, 5.0倍)

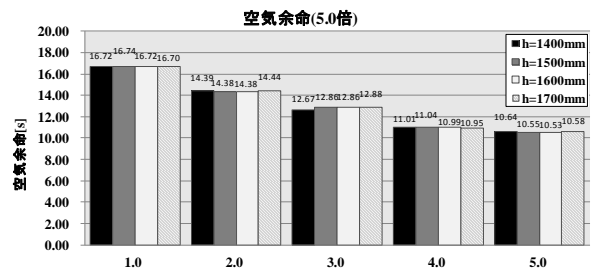


図5 空気余命 (5.0倍)

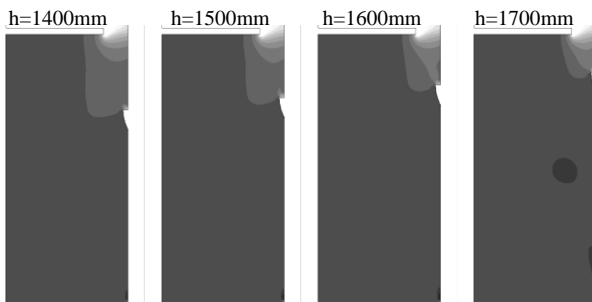


図6 圧力コンター図 ($v=4.0\text{m/s}$, 5.0倍)

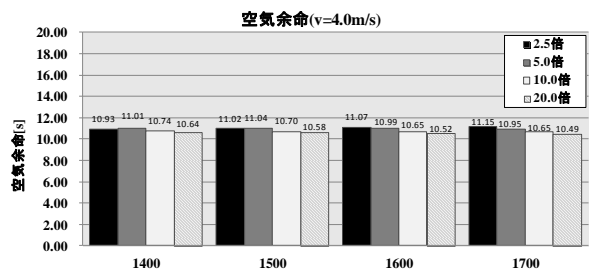


図7 空気余命 ($v=4.0\text{m/s}$)

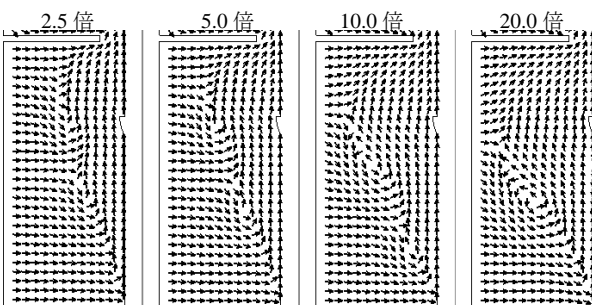


図8 気流ベクトル図 ($v=4.0\text{m/s}$, $h=1400\text{mm}$)