

GAを用いた空調の最適設計に関する基礎的研究

建設工学専攻(修士課程)
建築環境工学研究

507010-7 石澤啓介
指導教員 西村直也

1. 背景と目的

近年、空調設備、空調制気口の計画・設計段階で数値流体解析(CFD: Computational Fluid Dynamics)を使用することは一般化している。但し、その使われ方は空調設計者が基本計画を行ったものに対し、部分的な不具合を解決する為といったものが多く、基本計画そのものは設計者の経験や一般論に頼る所が大きい。その為、設計者が感覚的に悪いと思われる計画が検討されることは少ない。しかし、それらの中に優れている計画が存在する可能性は十分にある。特にこの様な傾向は経験や一般論が成立しにくい特殊な形状の室において、より顕著に現れると思われる。

それらの例として、事務所ビルの廊下が挙げられる。事務所ビルの廊下は利用頻度が高いにも関わらず、滞在時間が短く、非居住域である為、その空調設計は軽視されがちである。その為、ニオイが長時間にわたり滞留するなどの問題が発生することがあり、利用者の快適性の面からはその空気環境には改善の余地が未だに見受けられる。さらに形状が複雑なものも多く、その換気特性を把握する為には個別に気流解析などの手段が必要となる。

そこで本研究では事務所ビルの廊下を対象として、熱の影響も含めた気流解析を行い、室内空気質(IAQ: Indoor Air Quality)に着目した定量把握に基づく、空調吹出口の配置を組合せ最適化問題として扱う設計支援ツールの提案を目的とする。

2. 研究手法

本研究では評価基準として空気齢及びPMV(予測平均温冷感申告)を用い、研究対象を事務所ビルの廊下とした。研究では、まず廊下のモデル化を行う。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CFDを行う。そして、解析結果に対し吹出口配置に関する考察を行う。最後に解析結果から最適化と考察を行う。

2. 1 解析モデルと評価方法

廊下のモデル化では、実在の廊下を参考に廊下形状の決定と空調設備因子及び温熱因子の設定を行う。廊下は形状による空気齢の違いを比較する為に実在する建物を参考に標準的な中規模事務所ビルの廊下(MODEL-A)と特徴的な廊下(MODEL-B)の2パターンを作成した。

本研究では、温熱環境による気流性状の違いを把握する為、それぞれのモデルに対し、夏期と冬期の2パターンを作成した。夏期は夏至を、冬期は冬至を想定し、時刻は正午とした。

各モデルの平面図及び吹出口の配置候補場所を図1、図2に、窓・照明配置を図3、図4に、各モデルの概要を表1に示す。図1、2の■は吹出口の配置候補位置を、○はパスタクトの位置を、図3、4の■は窓、□は照明の位置を示している。

本研究では、廊下の評価値として空気齢とPMVの下側累積頻度95%点(以下95%点)を用いることにする。工学として95%点を使用することは一般的であることから適当であると考えられる。

2. 2 解析方法及び解析条件

解析はクレイドル社のSTREAM version7を使用する。解析は定常解析とし、STREAMによって各モデルのSVE3を算出し、その後空気齢に変換して用いた。解析条件を表1に示す。

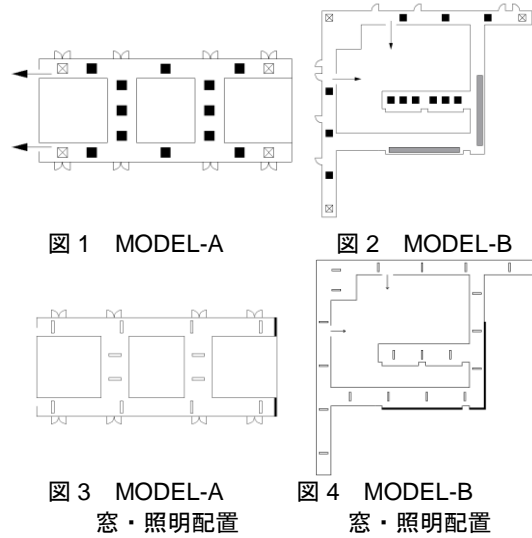


表1 各モデルの概要及び解析条件

		MODEL-A	MODEL-B
廊下	容積 [m ³]	402.8	708.4
	換気回数 [回/h]	2.0	1.9
吹出口	タイプ	ブリーズライン	ブリーズライン
	サイズ [m]	0.04 × 1	0.04 × 1
	吹出風速 [m/s]	0.71	0.71
	吹出温度 [°C]	夏:28 冬:10	夏:28 冬:20
	相対湿度 [%]	夏:60 冬:40	夏:60 冬:40
	配置候補箇所	12	12
	選択個数	8	7
吸込口(トイレ)	入口面積 [m ²]	2.5	4.2
	吸込風速 [m/s]	0.05	0.05
	個数	2	2
パスタクト	サイズ [m]	0.3 × 0.3	0.3 × 0.3
	個数	4	3
その他	要素数	91520	384000
	パターン総数	495	792
照明	タイプ	蛍光灯2本	蛍光灯2本
	サイズ [m]	0.3 × 1.3	0.3 × 1.3
	発熱量 [W/m ²]	41	41
	個数	12	20
床発熱	サイズ [m]	夏: 2 × 0.062 冬: 2 × 4.400	なし (日射が室内に入らない)
	発熱量 [W/m ²]	夏:50 冬:233	
	個数	2	
解析条件	気流性状		乱流
	乱流モデル		標準k-εモデル
	壁		対数則条件
	パスタクト		自然流出流入

3. 考察

本研究では、計算された空気齢を基に視覚的な確認の為に空気齢コンター図、気流ベクトル図及び風速コンター図を作成し、空調制気口配置による空気齢とPMVの違いを比較した。考察は空気齢とPMVのデータに対しそれぞれ95%点順位上位・下位10パターン及び空間分布について行った。以下にMODEL-A、Bから共通して得られた考察結果を示す。

3. 1 空気齢による考察

空気齢95%点順位上位10パターンの冷暖房時を比較した結果、冷房時と暖房時では最適な空調制気口の配置が異なることが分かった。図5に冷房時と暖房時の最も良い空調制気口配置を示す。また、平均的には冷房時は暖房時よりも空気齢は良いが、上位パターンにおいては暖房時の方が良い傾向にあることも分かった。

MODEL-Aは137秒、MODEL-Bは146秒、冷房時は暖房時より空気齢95%点の平均値が良かった。これらは暖められた空気の浮力によって生じた気流の為だと考えられる。図6に示した風速コンター図を見ると暖房時は冷房時より窓付近など全体的に強いドラフトが生じていることが分かる。

3. 2 PMVによる考察

PMV95%点順位上位10パターンの冷暖房時を比較した結果、空調制気口配置によるPMVの差はほとんどないことが分かった。表2に各モデルにおけるPMV95%点が良い時と悪い時の差を示す。また、居住域(床上1.2m~1.8m)は天井や床付近よりPMVのばらつきが小さく、平均的にPMVは十分に良い傾向にあることが分かった。

4. 最適化を用いた設計支援ツール

空調の基本設計から人間の経験則や先入観を排除し定量的評価に基づく配置設計を行うための方法の1つとして、全ての制気口配置について解析し、その結果から最も良い物を設計案として検討する方法が考えられる。しかし、現実的に配置の全組合せを解析するには膨大な時間が必要であり不可能である。そこで、全解探索を行わなくてもある程度優秀な解を得ることが出来る最適化アルゴリズムを用いた設計支援ツールの提案を行う。この支援ツールの目的は優良制気口配置の発見と計算量削減の2つである。

本研究では、最適化アルゴリズムとして遺伝的アルゴリズム(GA: Genetic Algorithm)を用いる。GAとは、環境に適応した生物が生き残っていく自然淘汰の過程を模倣した計算により、問題に対する最適解を見付ける最適化手法である。図7にその流れを示す。

4. 1 設計支援ツールの流れ

GAを用いた換気設計の流れを図8に示す。まず、基本となる廊下の形状を決定する。次に、梁や柱など物理的な制約から空調制気口が配置できない場所を調べ、空調制気口が配置可能な範囲を設定する。この2つの条件から、廊下と配置可能範囲に関するデータを作成し、計算機上で扱える形にする。最後に最適化とその評価プロセスでCFDを連携させ、終了条件を満たすまで解探索を行い最適な空調制気口の配置パターンを得る。評価値は空気齢95%点を用いる。

4. 2 GAの設定

表3にGAの設定を示す。本研究では、集団サイズ、突然変異確率、エリート保存率の各パラメータについて、各3水準で変化させた。3x3x3、つまり27通りのパラメータの組合せを用いて、1000回の解探索を行った。本研究では、全モデルにおいて評価値の良かった上位1%の個体を換気効率が十分良い個体であると判断し、優良個体とした。

4. 3 結果及び考察

表4に計算量が最少になった時の設定と優良個体を発見するまでに要する計算量を示す。計算量とは全解探索と比べての計算時間を%で表したものである。いずれのモデルもN=20、Pm=1%、Pse=10%の設定で計算量が最少となり、計算量が大幅に削減されている。このことからGAが換気設計に有用であることが分かった。

5. まとめ

本研究では、事務所ビルの廊下に対しCFDを行い、空調制気口の配置の違いや冷暖房の違いによる気流性状の違いを把握した。また、その結果を用いて空調設計支援ツールとしてGAを用いた最適化設計手法を提案し、その有用性を示した。今後の課題としては吹出口形状などの設計パラメータの検討などが挙げられる。

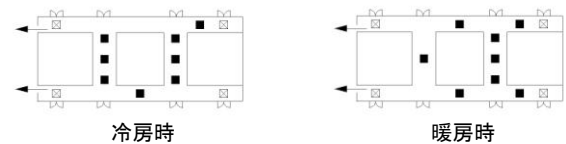


図5 MODEL-Aの冷暖房時の最適な空調制気口配置

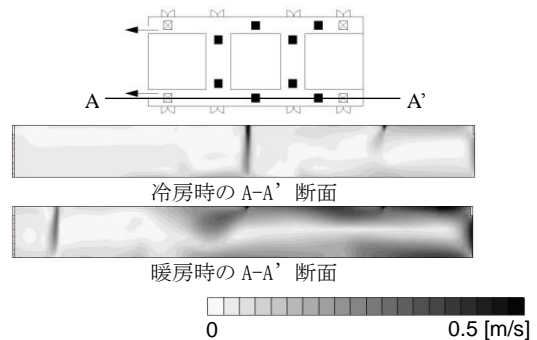


図6 断面方向の風速コンター図

表2 空調制気口の配置によるPMV95%点の差

モデル名	95%点最小値	95%点最大値	最小値と最大値の差
A冷房	1.409	1.452	0.043
A暖房	1.091	1.302	0.211
B冷房	1.321	1.346	0.025
B暖房	0.423	0.444	0.021

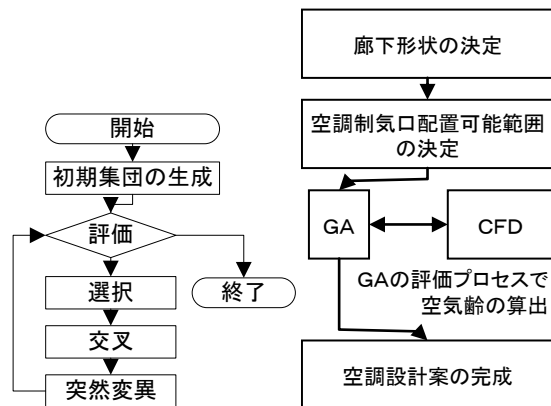


図7 GAの流れ

図8 換気設計の流れ

表3 GAの設定条件

遺伝子長	MODEL-A	12
	MODEL-B	12
集団サイズ	20, 30, 40	
交叉方法	部分写像交叉	
交叉確率	80%	
突然変異方法	2点交換	
突然変異確率	1%、5%、10%	
選択方法	ルーレット選択	
エリート保存率	0%、5%、10%	

表4 計算量

モデル名	N	Pm	Pse	計算量
MODEL-A(冷房)	20	1%	10%	23%
MODEL-A(暖房)	20	1%	10%	28%
MODEL-B(冷房)	20	1%	10%	18%
MODEL-B(暖房)	20	1%	10%	14%

N:集団サイズ Pm:突然変異確率 Pse:エリート保存率

【参考文献】

- 1) ISO7730, Ergonomics of the Thermal Environment, 2005.11
- 2) 村上、加藤: 新たな換気効率指標と三次元乱流数値シミュレーションによる算出法、空気調和・衛生工学論文集、1986

【本研究に関する発表論文】

- 3) 石澤、西村他: 空調制気口配置計画に関する研究、第25回空気清浄とコンタミネーションコントロール研究大会予稿集、2007.4
- 4) 石澤、西村他: 複雑な形状の室における空調制気口の配置計画に関する研究、日本建築学会大会梗概集、2007.8
- 5) 石澤、西村他: 空調制気口配置計画に関する研究 その2、第26回空気清浄とコンタミネーションコントロール研究大会予稿集、2008.4