

GA を用いた複雑な形状の室の制気口配置に関する研究

建設工学専攻(修士課程)
建築環境工学研究

ME11093 やまぐちこうへい
山口 紘平
指導教員 西村直也

1. 研究の背景と目的

近年、空調設備の設計段階で数値流体力学 (CFD : Computational Fluid Dynamics) (以下、CFD と記す) に基づく解析手法を使用することが一般化している。但し、その使い方は空調設計者が立案した設計の中の部分的な不具合を解決するためといったものが多く、基本設計そのものは設計者の経験や一般論に頼る所が大きい。そのため、設計者の経験に基づき除外された計画が実現されることは少なく、それらの中に優れている設計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、より顕著に表れると思われる。

優秀な計画を見落とさないためには CFD を用いて定量的に換気特性を把握することが一つの方法としてあるが、設備因子の組み合わせは無数に存在し、それらすべての組み合わせに対して解析を行うことは困難である。そこで当研究室では設備因子のうちの吹出口配置に着目し、無数にある吹出口の組み合わせの中から最適な組み合わせを探索する組み合わせ最適化問題として扱う設計支援ツールを開発と検証を行ってきた。その結果、単純な解析領域の形状の場合¹⁾、及びより現実に即した形状においても熱を考慮しない場合²⁾とした場合³⁾において設計支援ツールの有効性を示すことができた。しかし、建築は敷地や用途などの条件によって様々な形状のものが存在する。そのため、より現実的な条件に近づけるためには形状依存性の有無に関して検証することが不可欠である。本研究では、気流把握の難しい複雑な解析モデルとして事務所ビルの廊下を対象とし、気流解析を行い、IAQ (Indoor Air Quality) の向上を目指した定量把握に基づき、設計支援ツールによる計算量削減効果の形状依存性の検証を目的とする。

2. 手法

本研究では評価基準として空気齢を用い、研究対象を事務所ビルの廊下とした。本研究は二段階で構成されており、まず廊下をモデル化し、CFD により全ての制気口パターンの定量的把握を行う (第一段階)。そして、解析結果から設計支援ツールの形状依存性の検証を行う (第二段階)。

3. 解析モデルと評価方法 (第一段階)

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事務所ビルの廊下 (MODEL-A) と特徴的な廊下 (MODEL-B) (MODEL-C) の 3 パターンを作成した。また熱影響も考慮するため、それぞれのモデルに対し、夏期と冬期の 2 パターン作成した。各モデルの空調因子配置図及び熱因子配置図を図 1 に、各モデルの概要を表 1 に示す。本研究では、廊下の評価値として空気齢の下側累積頻度 95% 点 (以下 95% 点) を用いることにする。

3. 1 解析方法及び解析条件

解析はクレイドル社の STREAM version9 を使用する。解析は定常解析により得たデータから空気齢を算出した。解析条件は表 1 に示す。

3. 1 解析結果

図 2 に各モデルにおいて最も評価の高かったパターンの制気口配置を示す。

表 1 各モデルの概要と解析条件

モデル		MODEL-A	MODEL-B	MODEL-C	
廊下	床面積	[m ²] 144	253	213	
	容積	[m ³] 402.1	707.1	599.8	
	高さ	[m] 2.8	2.8	2.8	
	換気回数	[回/h] 2	2	2	
吹出口	形状	ブリーズライン	ブリーズライン	ブリーズライン	
	サイズ	[m ²] 1×0.04	1×0.04	1×0.04	
	吹出風速	[m/s] 0.71	0.72	0.77	
	吹出温度	[°C]	27	27	27
	夏期	[°C]	20	20	20
	冬期	[°C]	12	12	16
	配置候補数	[個]	8	7	11
	選択個数	[個]	495	792	4368
	組み合わせ総数	[個]			
	吹出口 (固定)	形状		ブリーズライン	
サイズ		[m ²] 1×0.04			
吹出風速		[m/s] 0.6			
吹出温度		[°C]	27		
夏期	[°C]	20			
冬期	[°C]	12			
配置数	[個]	8			
吸込口	吸込面積	[m ²] 2.8	4.2	4.2	
	吸込風速	[m/s] 0.038	0.045	0.039	
バスタード	サイズ	[m ²] 0.3×0.3	0.3×0.3	0.3×0.3	
	個数	[個]	4	4	4
照明	タイプ	埋込型 (蛍光灯2本)	埋込型 (蛍光灯2本)	埋込型 (蛍光灯2本)	
	サイズ	[m ²] 0.2×1.2	0.2×1.2	0.2×1.2	
	発熱量	[W]	90	90	90
	個数	[個]	12	20	17
温度	外気温度	[°C]	26.8	26.8	26.8
	夏期	[°C]	10.4	10.4	10.4
	冬期	[°C]	28	28	28
	室内目標温度	[°C]	19	19	19
解析条件	要素数	[X×Y×Z]	130×65×14	160×160×14	190×190×14
	気流性状		乱流	乱流	乱流
	乱流モデル		標準k-ε モデル k=0.0001 ε=0.0001	標準k-ε モデル k=0.0001 ε=0.0001	標準k-ε モデル k=0.0001 ε=0.0001
	壁		対数則条件	対数則条件	対数則条件
ドア		密閉	密閉	密閉	

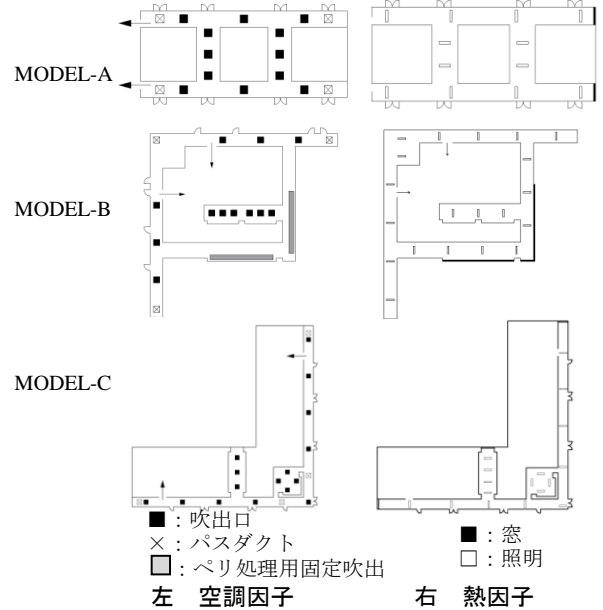


図 1 各 Model の空調因子配置図及び熱因子配置図

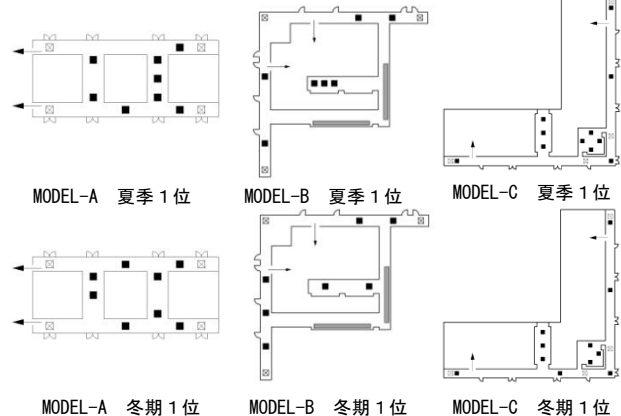


図 2 各 Model の優秀な空調因子配置図

4. 設計支援ツール（第二段階）

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優秀な解を得ることが出来る確率的メタヒューリスティクスな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。この手法により優良制気口配置の発見と計算量削減の双方の両立を目的とする。

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3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4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位置を設定する。この2つの条件から、廊下と配置可能位置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 設計支援ツールの効果の検証

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、優良個体と定義した。第二段階ではこの優良個体を95%以上の確率で発見するために必要な「計算量」を算出する。また、GAの最適なパラメータ設定を選出する。

表2にGAの設定を示す。本研究では、特に効果が大きいと考えられる集団サイズ、突然変異確率、エリート保存率の3つパラメータについて、それぞれ3水準で変化させた。27通りのパラメータの組合せを用いて、1000回の解探索を行い最も良好なGAパラメータの組み合わせを選出した。

4. 3 結果及び考察

GAの結果は表3に示す。表3より各モデルで計算量は異なっているが適切な設定を行えば20%程度の計算量（計算量削減80%程度）で優良個体を発見することができる事がわかる。特に最も制気口配置の組み合わせが多いMODEL-Cでは温度条件を問わず3%程度の計算量（計算量削減97%程度）で優良個体を発見できており、制気口配置において十分な効果が期待できる。

各パラメータに着目すると集団数20[-]、突然変異1[%]、エリート保存率10[%]の設定時が最も少ない計算量であることがわかる。ただ、MODEL-Bの夏期のみ優良個体ではない個体に収束してしまっ。これは既報²⁾でも同様の結果があることから最も削減効果の高いパラメータ設定では優良個体を発見できないリスクもあると考えられる。そのため、実際の空調設計時に用いる際は単純な計算量だけでなく解探索の安定性についても考慮しGAのパラメータを設定する必要があることがわかる。

5. まとめ

本研究では、複雑な形状の室の例として、事務所ビルの廊下を対象とし、形状が設計支援ツールに影響するか検証を行った。また、GAの適切なパラメータ設定を選出し、設計支援ツールの制気口配置における有用性を示した。

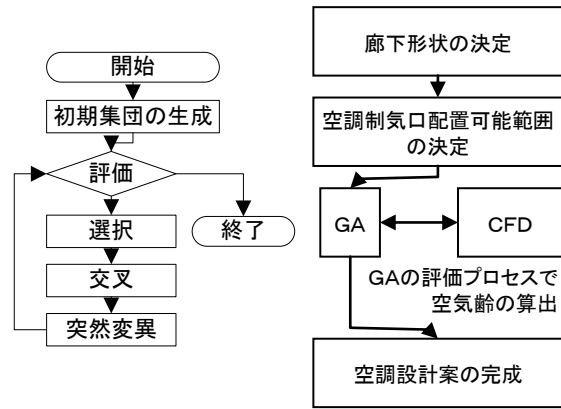


図3 GAの流れ

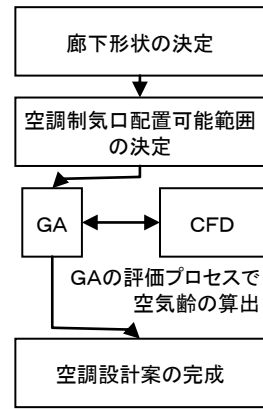


図4 換気設計の流れ

表2 GAの設定

遺伝子長	MODEL-A	12
	MODEL-B	12
	MODEL-C	16
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3 GAパラメータと各Modelの計算量

集団 [-]	突然変異 [%]	エリート [%]	計算量[%]					
			MODEL-A		MODEL-B		MODEL-C	
			夏期	冬季	夏期	冬季	夏期	冬季
20	1	0	40.81	46.26	36.24	34.60	6.80	7.99
20	1	5	29.29	30.51	27.27	21.21	4.08	4.56
20	1	10	21.41	22.42	over	16.29	3.18	3.50
20	5	0	41.21	46.46	34.60	33.33	6.30	6.52
20	5	5	30.71	33.33	26.64	22.60	4.21	4.42
20	5	10	25.05	25.45	23.36	17.42	3.66	4.03
20	10	0	41.01	47.07	32.83	33.21	7.26	6.43
20	10	5	31.92	35.96	29.42	22.60	4.78	5.29
20	10	10	28.08	27.07	24.62	18.81	4.05	4.51
30	1	0	42.02	46.67	32.95	32.83	6.80	7.01
30	1	5	33.94	39.39	28.54	25.51	5.27	5.49
30	1	10	27.47	28.28	24.62	19.44	3.87	4.01
30	5	0	40.61	49.29	31.06	32.83	6.85	6.55
30	5	5	35.56	39.39	29.92	28.03	5.22	5.77
30	5	10	28.08	29.29	25.00	20.58	3.82	4.19
30	10	0	40.00	51.11	33.71	32.83	6.73	7.26
30	10	5	35.15	40.20	31.44	27.53	5.36	5.59
30	10	10	29.90	30.71	25.13	21.09	4.24	4.58
40	1	0	43.23	47.88	32.95	32.45	6.85	7.14
40	1	5	33.33	38.79	28.54	25.76	5.01	5.33
40	1	10	30.30	31.72	25.51	21.84	4.10	4.46
40	5	0	41.21	49.70	32.20	33.33	6.87	7.39
40	5	5	36.16	39.39	29.42	25.63	5.22	5.52
40	5	10	32.12	32.53	28.79	22.85	4.81	4.92
40	10	0	43.03	48.28	34.34	32.83	6.96	7.12
40	10	5	35.96	40.81	30.81	25.88	5.29	5.49
40	10	10	32.53	35.15	26.64	22.60	4.37	4.72

■ は最適設定時の計算量
over は優良個体を発見できなかった事を表す。

【参考文献】

- 高木頭二：非一方向型クリーンルームにおける換気特性の分類に関する研究、平成14年度芝浦工業大学修士論文、2003
- 野尻賢一：事務所ビルの廊下における空調吹出口の最適化に関する研究、平成17年度芝浦工業大学学士論文、2006
- 石澤啓介：GAを用いた空調の最適設計に関する基礎的研究、平成19年度芝浦工業大学修士論文、2008
- 山口紘平：熱影響を考慮した空調制気口配置計画の最適化に関する研究、平成21年度芝浦工業大学学士論文、2010