

CFDによる自然対流を伴う工場内の気流性状の予測と汚染物質拡散解析による比較

建築環境工学分野 新井陳秀

1. はじめに

建築物は量産品の製品開発のように試作テストの繰り返しによる完成は困難であり、シミュレーションなどによる開発が重要である。

本研究は汚染ガスの発生する高温高湿工場内の換気による気流性状を数値解析により把握し、排気口の配置、高さ位置をシミュレーションし、高効率システムの場合（本研究ではより小さな排気風量で行える換気を高効率とみなす）を検討することを目的とする。

2. 概要

2-1 研究概要

正願地の研究¹⁾では、気流ベクトルの向きにより、汚染空気の漏洩を検討したが、本研究は汚染物質の濃度分布より汚染空気漏洩を検討した。そして、第一に現状の排気口システムでの最適排気風量の確認を行い、第二に最適・高効率な排気口の位置・数の条件を検討する。

2-2 工場の概要

対象工場の概観を図1に示す。研究対象となる工場（図1,2）はL字型で、規模は35.1m×31.12m×9.09m（内寸法）である。工場内には、汚染ガスを発生する高温の液体が入ったタンク槽が計13個、床に設置されている（a槽～m槽）。図に示すa～mは発熱体である。開口A～Dは製品搬入出の際に開き、常時は閉じた状態である。工場は第3種機械換気を適用しており、排気口は開口部の対面の壁に計5箇所設置され（E1～E5）、E1～E5が強制排気口で、開口部が開いた時に開口A～Dから汚染空気が外部に漏れない程度の風量に設定されている。大きな開口の近くに下層階とつながっている開口が計4箇所（S6～S9）に設置されている（S1～S4は下層階との温度差を利用して工場内に空気を供給している自然給気開口である（タンク槽の埋め込まれた部分からの放熱により、下層階は工場内よりも温度が高い[送風機容量：1340m³/min]）。また、工場内での作業工程は全て機械によって行われている。

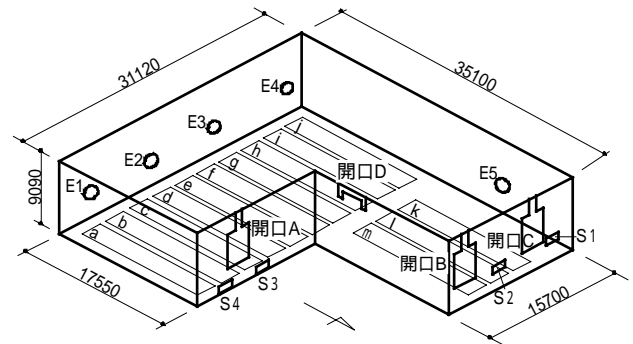


図1 工場の概観

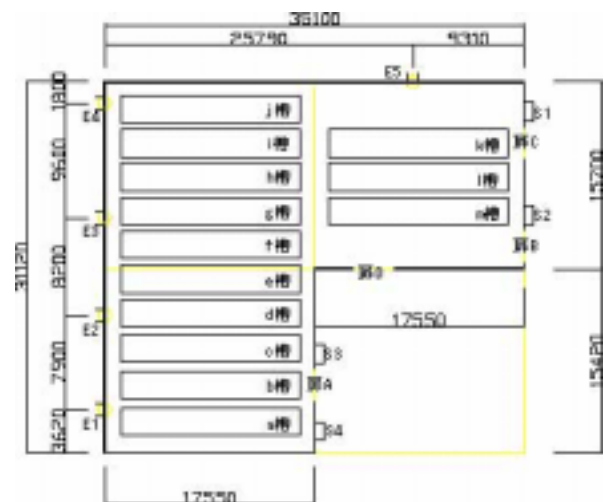


図2 工場平面図

3. 解析による汚染空気漏洩の判定

3-1 解析モデルの概要

工場のタンク槽は発熱体とし、汚染ガスの発生はd,e,f,g,j槽から拡散物質が発生するものとした。本解析では同一の開口で流入、流出が同時に生じる場合を考慮し、外部空間も解析領域に含めた。外部空間の解析境界は開口から十分遠方に設け、境界の全圧が0（大気圧）になるように設定している。

3-2 解析条件

工場の扉A～Dは製品搬入の際にだけ開かれ、解析は通常の開閉状態で汚染ガスが外部へ漏れる可能性が

高い①扉開口条件 A+D（扉 A 及び扉 D が同時に開いた条件）②扉開口条件 C+D（扉 C 及び扉 D が開いた状態）を行った。

解析方法を表 1、初期条件を表 2、境界条件を表 3、発生条件を表 4、発熱条件を表 5 に示す。解析は製品搬入出用の扉が製品が出入りしている時間のみ開くため、開いている時間は非常に短く定常状態に達しないため、非定常解析（10 秒）とした。また、解析対象となる工場が建物内に存在するため、解析対象外の空間の条件は天候などに左右されず、一定としている。

表 1 . 解析方法

解析法	非定常(10s)
メッシュ数	メッシュ数279942 (74*97*39)

表 2 . 初期条件

解析空間	-30[Pa]
	36[] 汚染物質
解析外空間	0[P]
	29[]

表 3 . 境界条件

流入出条件	排気口1	流速境界2.71 ~ 3.33[m/s]
	排気口2	流速境界2.71 ~ 3.33[m/s]
	排気口3	流速境界2.71 ~ 3.33[m/s]
	排気口4	流速境界2.71 ~ 3.33[m/s]
	排気口5	流速境界2.71 ~ 3.33[m/s]
	給気口1	0.15[m/s] 35.2[]
	給気口2	0.17[m/s] 35.4[]
	給気口3	0.3[m/s] 37.8[]
	給気口4	0.23[m/s] 34.5[]
	壁面熱移動条件	天井・壁・床 天井・壁・床

表 4 . 発生条件

発煙	d槽	汚染物質発生
	e槽	汚染物質発生
	f槽	汚染物質発生
	g槽	汚染物質発生
	i槽	汚染物質発生

表 5 . 発熱条件

タンク槽	表面温度[]	発熱量[W]	発煙
a,b	60	243,607	
k	60	212,807	
d,e,f,g,j	40	74,955	汚染物質
c,h,i,l,m	15	28,108	

3 - 3 排気風量変更による解析結果

現在の工場の排気口位置（床高 3m）での扉開口条件 A+D の解析結果の表示断面（扉 A 断面）を図 3 に、

41500~51000m³/h の幅（排気風速 2.71~3.33m/s）で 500m³/h ごとに行った解析結果の内、漏洩の境目と見られる排気風量での解析結果の扉 A の天井付近の汚染物質濃度分布(ppm)を図 4, 5 に示す。

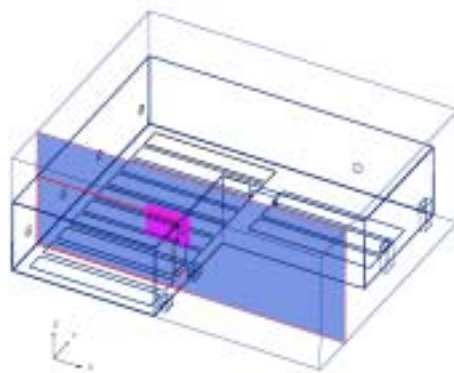


図 3 工場 扉 A 断面

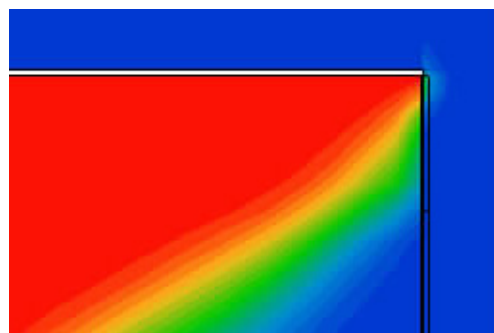


図 4 排気風量 47500m³/h

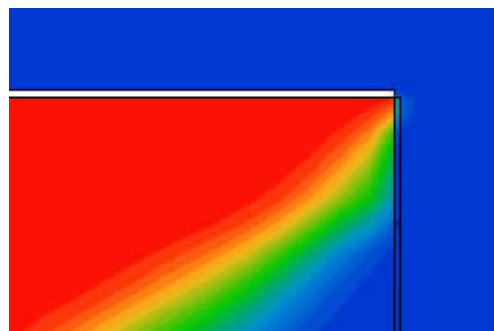


図 5 排気風量 48000m³/h



3 - 3 - 1 排気風量の違いによる解析結果の考察

汚染空気の漏れについて極度に微少な漏れでは外部へは大きな影響がないとも考えられる。しかし、漏れた汚染空気が外部の空間にどういった影響を与えるかは外部空間の広さなど条件によって異なる。そのため、漏れが許容される範囲が不明確かつ確立されていないので、漏れ量ではなく漏れの有無で判定を行った。

図 4, 5 の開口部の上部に見られるように総排気量

47500m³/hまでは工場内から外部への拡散物質の漏れが確認される。このことから現状の排気では拡散物質が工場外に漏れるのを防ぐには総排気量 48000m³/h（排気風速 3.14m/s）が必要であることが考えられる。汚染空気漏洩の境界排気風量を表 6 に示す。

表 6 汚染空気漏洩の境界排気風量

条件	汚染空気の漏れ	排気風量 (m ³ /h)	排気風速 (m/s)
A+D	扉Aのみ	47500	3.1
A+D	なし	48000	3.14

4. システムの比較検討

4-1 シミュレーション概要

排気口の高さ、設置数を変化させた場合の高効率条件の検討のためのシミュレーションを行った。各排気口（E1～E5）の境界条件は風量を均等に分配して与える。開口の条件は扉開口条件A+D、扉開口条件C+Dである。シミュレーションは以下の手順で行う。

(1) 「3. 解析による汚染空気漏洩の判定」の結果の漏れのない排気風量を基に、排気口の設置数・配置と高さの変化を組み合わせ行ったパターンを図 6、7 に示す。

(2) 解析を行ったパターンで汚染空気漏洩の見られないパターンについては汚染空気漏洩の境界風量を確認する。

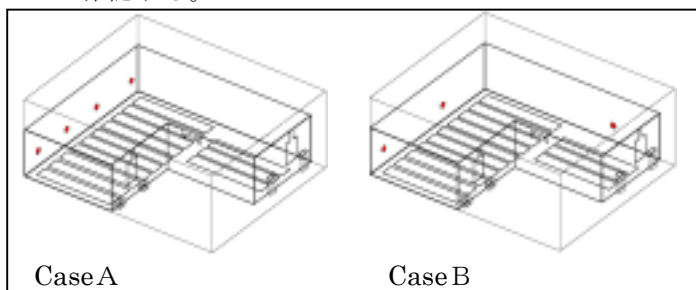


図 6 排気口の数を変更

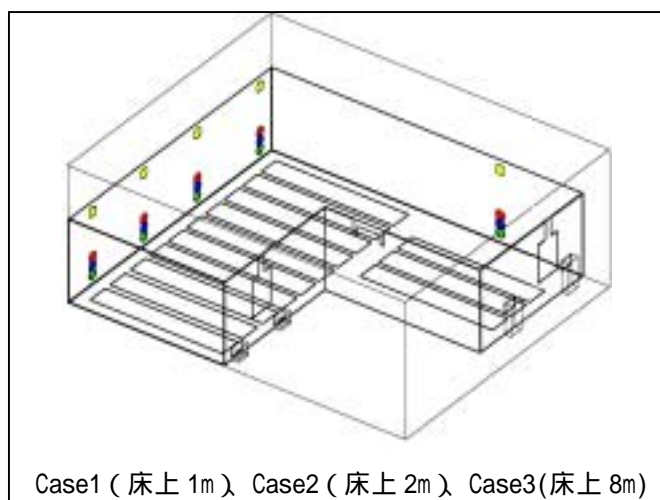


図 7 排気口の高さを変更（現状：床上 3m）

4-2 Case A、Case B による解析結果

扉開口条件 A+D での排気風量 48000 m³/h の Case A、Case B の解析結果の扉 A の天井付近での汚染物質濃度分布 (ppm) を図 8、9 に示す。

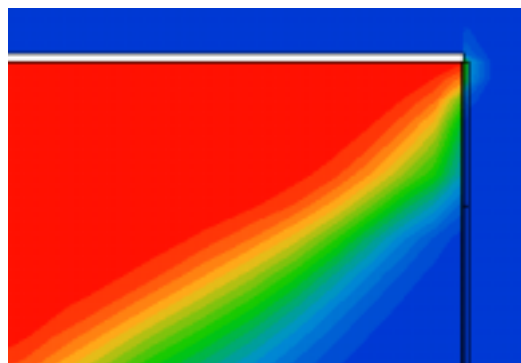


図 8 Case A（排気風量 48000m³/h）

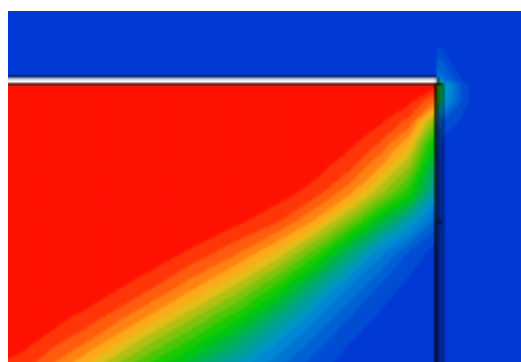


図 9 Case B（排気風量 48000m³/h）



4-2-1 Case A、Case B による解析結果の考察

Case A、B ともに排気風量 48000m³/h では扉 A の上部から微少ではあるが汚染空気の漏れがある。

Case A の結果（図 8）から汚染空気の漏れを防ぐには、既存モデルの E5 は必要になってくると考えられる。

Case B の結果（図 9）から E1～E4 の設置されている壁には少ない数により集中的に排気を行うより、いくつかの排気口に分配して排気を行うパターンの方が、より少ない総排気風量で汚染空気の漏れを防ぐことができる。

4-3 排気口高さ変更による解析結果

扉開口条件 A+D での排気風量 48000 m³/h の Case1、Case2、Case3 の解析結果の扉 A の天井付近での汚染物質濃度分布 (ppm) を図 10、11、12 に示す。

防ぐことができると考えられる。一方、図 11 から Case2 では扉 A の上部から汚染空気の漏れがある。

扉開口条件 A+D では排気高さ 3 m 以下では漏れが見られるモデルと見られないモデルがあり、8 m 排気では現状より効率が高くなっているのが見られるため、高さの影響はあるが一定の関係は認められない。

4 - 4 排気口条件変更による解析結果

行った汚染空気漏洩の境界風量の判定結果を表 7 に示す。

表 7 排気口条件変更の汚染空気漏洩の境界風量

パターン	拡散物質の漏れ	排気風量 (m ³ /h)	排気風速 (m/s)	備考
既存モデル	扉Aのみ	47500	3.1	既存モデル
	なし	48000	3.14	
Case A	扉Aのみ	48000	3.14	排気口数: 4 (排気口5なし)
Case B	扉Aのみ	48000	3.14	排気口数: 3 (排気口2, 4なし)
Case 1	扉Aのみ	46500	3.04	排気口の高さ: 床上1m
	なし	47000	3.07	
	なし	48000	3.14	
Case 2	扉Aのみ	48000	3.14	排気口の高さ: 床上2m
	なし	46500	3.04	
Case 3	なし	47000	3.07	排気口の高さ: 床上8m
	なし	48000	3.14	
	なし	48000	3.14	

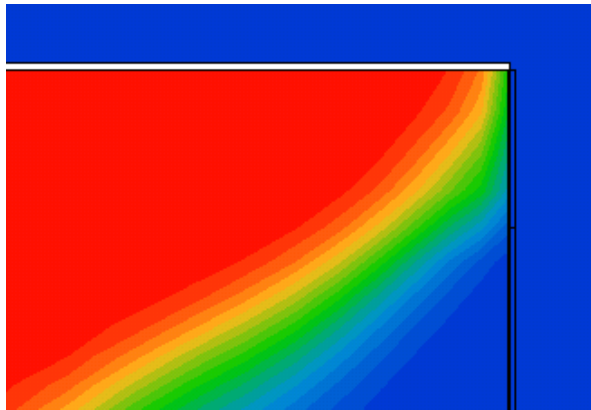


図 10 Case1(排気口高さ 1m) 排気風量 48000m³/h

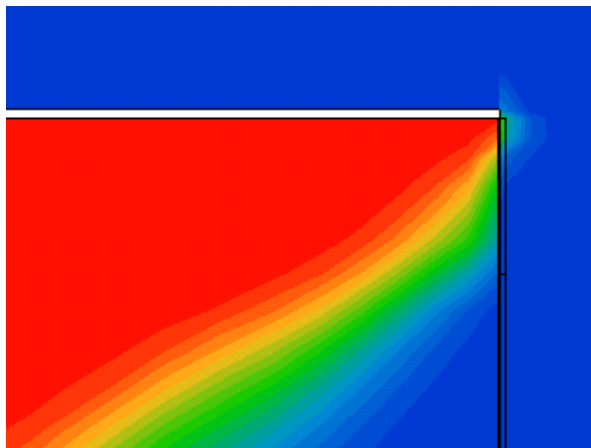


図 11 Case2(排気口高さ 2m) 排気風量 48000m³/h

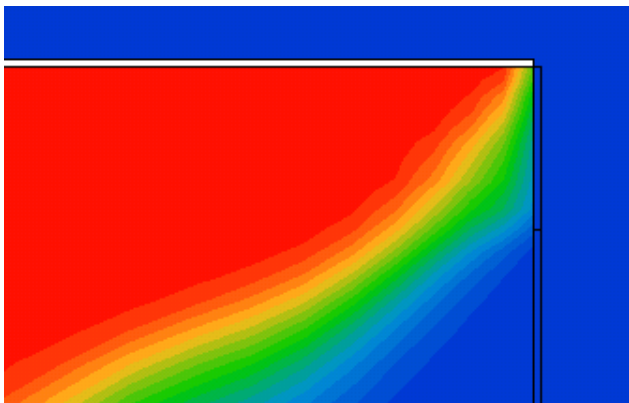
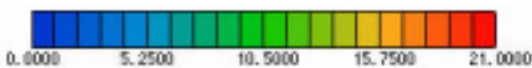


図 12 Case3(排気口高さ 8m) 排気風量 48000m³/h



4 - 3 - 1 排気口高さ変更による解析結果の考察

Case1、3 (図 10、12) では扉 A からの汚染空気の漏れはなく扉 A の天井付近の汚染物質濃度の低い範囲が微少ではあるが室内側に寄っている。そのため、現状の実モデルより小さい排気風量で汚染空気の漏れを

5 結論

- 1) 製品搬入出用扉と排気口の位置関係が重要で、製品搬入出用開口部の位置や大きさが異なると汚染空気の漏れを抑える排気風量が異なる。
- 2) 扉開口条件 A+D では数値解析の結果より、汚染空気の漏れを防ぐ最小排気風量は正願地の研究の結果より大きい 48000m³/h (排気風速 3.14m/s) であった。このことから流速分布からだけでは汚染空気の漏洩を判断するのは危険であることを明らかにした。
- 3) 排気口数・配置は気流が循環せず、一方向に流れるように適当に分散させることが望ましい。その分散の最適値は今回のシミュレーションの検討数が充分でなく、明らかに出来なかった。今後、排気口の数・配置の他のパターンのシミュレーションが必要である。
- 4) 扉開口条件 A+D では排気口の高さ 1m、8m においても現状モデルより小さい排気風量で漏れの防止が可能であった。排気口高さが排気効率に影響することは明らかにしたが、最適値を見つけるには至らなかった。

<参考文献>1) 正願地寛: CFDによる自然対流を伴う工場内の気流性状の予測に関する研究 (2003)