

換気をしつつ室内の温度を保つ方法

3517 曾我麟太郎 3502 井田遥翔 3504 伊藤遼祐

我々は室内の温度変化を抑えつつできるだけ少ない時間で換気を行う方法を明らかにすることを目的とし、対角線上に窓を開けることが最適であると仮説を立て研究を行った。実際の教室を縮小したモデルを作成し、汚染物質を煙に見立てて実験を行った。その結果、現時点では対角線上に窓を開けると最も早く換気を行うことができるという結論を得ることができたが、それぞれの結果に換気が終わるまでの時間の差はあまり見られなかった。この実験は実際の教室で起こる温度変化が起こらず、線香の煙が汚染物質のモデルとして適切でない可能性があるため、実験方法を再度考えて実験を行う必要があると考えた。

1. 目的

通気口を窓のみに限定し教室の空気を入れ替える際、教室内の空気の温度変化を少なくしつつ比較的早く空気を入れ替える方法を明らかにし、生活に快適な温度を保ちつつ、換気する方法を確立すること。

(以下、「換気＝教室内の空気を全体的に入れ替えること」とする。)

2. 仮説

換気を行う際、室内の温度を保ちつつ、短い時間で換気を行うためには、

- ① 空気が熱を蓄えている状態で室外に排出されないこと
- ② 通気口(窓)を多くして短時間で多くの空気を室外に排出すること

が必要である。

通気口を1つにすると、換気に時間がかかるため、空気が蓄えている熱が比較的低温の低い室内の空気や換気によって入ってきた空気に伝わりながら排出される。そのため①は満たすが②を満たさない。

通気口を4つにする場合、換気に時間はかからないが、室内の空気が熱を蓄えたまま排出される。そのため②は満たすが①を満たさない。また、通気口を3つにする場合も4つの時と同様である。

したがって最適な通気口の数は2つであると考えられる。また、通気口は対角線上に配置することで①、②を満たすことができると考える。(図1)

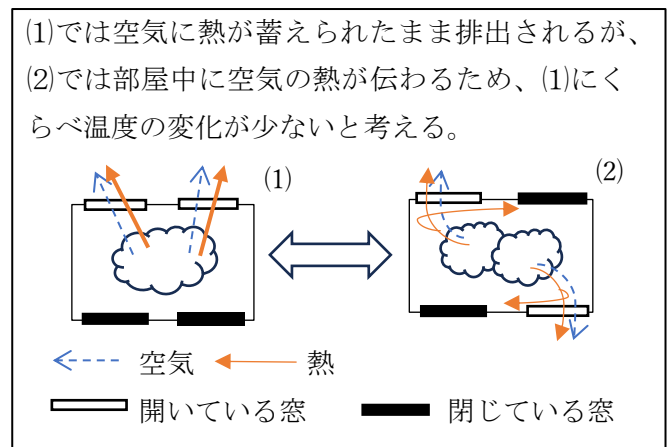


図1 換気の様子

3. 器具、材料等

- ・線香 ・マッチ
- ・スマートフォン
(ストップウォッチ、カメラ)
- ・アクリル板(アクリサンデー製)
- ・太田式ハンド風速計 ・扇風機
- ・水銀温度計 ・ちりとり
- ・段ボールモデル
- ・接着剤



図2 実験装置
(アクリルで作成した)

4. 研究

4 - 1. 予備実験 1

4 - 1 - 1. 目的

教室内の空気のふるまいを本実験で再現するため、扇風機の風速と距離の関係を調べる。

4 - 1 - 2. 方法

- ① 扇風機を「強」設定で起動し、風速が上がりきるまでちりとりで風速計に風が当たるこ

とを防ぐ。

- ② 風速が上がりきると同時に測定を開始し、太田式ハンド風速計で 30 秒間の平均風速を測定する。
 - ③ ①～②の手順を 3 回繰り返す。
 - ④ 風速計一扇風機間の距離を①～③の手順を行ったときの距離から 5cm 離れさせ、①～③の手順を再度行う。
- ①～④までの手順を繰り返す。

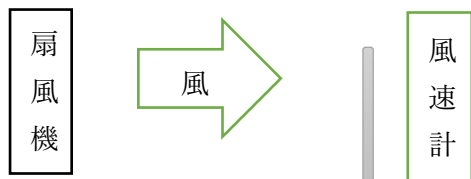


図 3 実験装置の模式図 (予備実験)

4 - 1 - 3. 予備実験 1 の結果

表 1 風速と風速計一扇風機間距離の関係

距離[cm]	1 回目	2 回目	3 回目	平均風速
19	6.5	6.3	6.2	6.33
24	6.3	6.0	5.8	6.03
29	5.8	5.6	6.0	5.80
34	5.5	5.6	6.0	5.70
39	5.5	5.4	5.5	5.47
44	5.3	5.3	5.2	5.27
49	4.9	4.4	5.0	4.77
54	4.7	5.1	4.9	4.90
59	4.6	4.4	4.4	4.47
64	3.8	3.8	4.4	4.00
69	4.0	3.9	3.5	3.80
74	3.5	3.4	3.4	3.43
79	4.0	4.0	3.3	3.77
84	3.8	3.5	3.3	3.53
89	3.8	3.6	2.8	3.40

平均風速 [m/s]

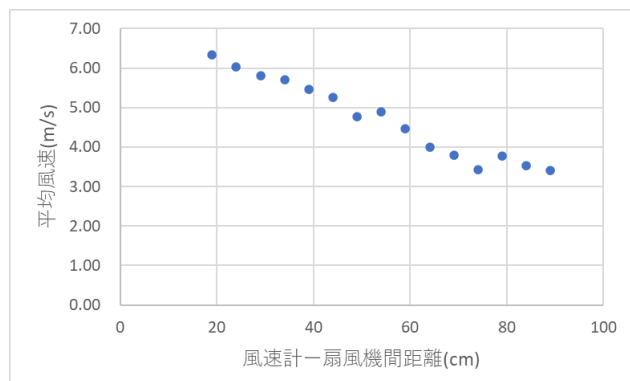


図 4 風速と距離の関係

4 - 1 - 4. 予備実験 1 の考察

図 4 より風速と風速計一扇風機間距離には負の

相関がみられた。

また、得られたデータをもとに風速計一扇風機間距離 x による風速 y を関数化し、指数関数

$$y = 7.743e^{-0.01x}$$

を得た。

74～89cm で傾きが緩やかになったため一次関数でないを考える。

これをもとに風速と風速計一扇風機間距離の関係を予想した。(図 5)

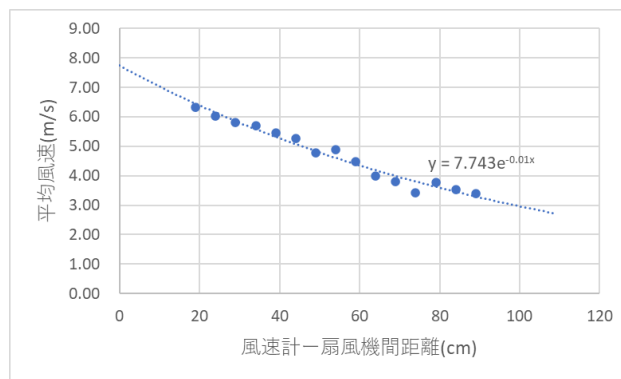


図 5 風速と風速計一扇風機距離の関係予想

図 5 より得た指数関数から推測できる風速を用いて本実験を行った。(本実験では $x=75$ に設定した)

4 - 2. 実験 1

4 - 2 - 1. 方法

- ① 教室のモデルを作成する
(1/43 スケール, 図 2)
原寸 : 縦 8.6m 横 7.8m 高さ 2.8m
モデル: 縦 198mm 横 180mm 高さ 64.0mm
- ② 実験器具を配置する (図 6, 7) 図 4 風速と風速計一扇風機間距離の関係
- ③ 5 分間線香を焚き教室モデル内を煙で満たす。
- ④ 図 8～10 に示すパターンで窓を開け、煙が排出される様子を動画にとる。
- ⑤ 煙の排出を開始した 7 秒後に教室モデル中央付近の温度を計測する。
- ⑥ すべてのパターンで速さ、温度を測定し、結果を比較する。(教室の窓の流入風速が 0.084m/s である場合を想定する)

本研究ではモデル実験を行った。モデル内の空気 (流体) のふるまいを現実のものに近づけるためレイノルズ数

$$Re = \frac{\rho v L}{\mu}$$

(Re :レイノルズ数 ρ :流体密度 v :流体速度
 L :長さ μ :流体粘度)
 を用いた。



図6 実験の写真

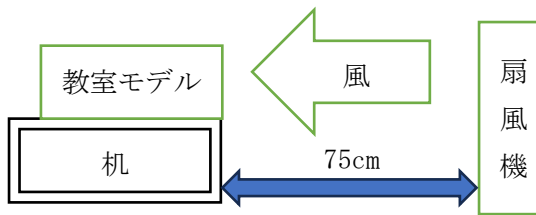


図7 実験の模式図

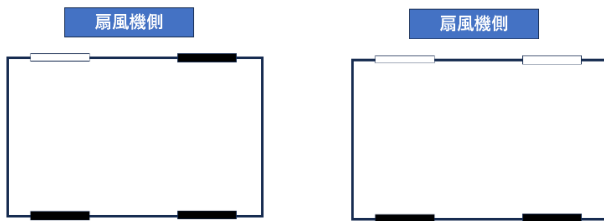


図8 片面モデル

図9 正面モデル



図10 対角線モデル

図8~10まで

■ 閉じている窓 □ 開いている窓 とする。

4-2-2. 実験1の結果

表2 パターンごとの温度と温度変化

パターン	片面	両面	対角線
モデル外温度(°C)	22.8°C	22.5°C	22.7°C
モデル内温度(°C)	24°C	24.5°C	24.2°C
温度差(°C)	1.2°C	2°C	1.5°C

実験1ではモデル内で線香を焚く時間を統一することで、換気前のモデル内温度の変化も統一できるとみなした。

線香による加熱によって換気前のモデル内温

度はモデル外温度よりも高くなる。換気によってモデル外の空気を取り込むため、換気後のモデル内温度はモデル外温度に近づく。したがって、モデル外温度とモデル内温度の温度差が小さいほど温度変化が大きかったといえる。

撮影した映像を0.1倍速再生で解析し、窓が全開状態(風を遮るものが何もない状態)になった時からモデル内から煙が実験前とほぼ同様とみなせる状態になるまでの時間を計測した。

表3 排出速度

パターン	片面	両面	対角線
時間(0.1s)	41.1	17.07	14.93

対角線—両面—片面の順番で換気が早かった。

4-3. 実験2

4-3-1. 方法

- 24°Cに設定した室内に外箱を設置する。
- 外箱に設置した温度計が30°Cを指し示すまでドライヤーで温める。
- 外箱の中に内箱を入れ、5分間放置し、内箱に取り付けた温度計の様子をスマートフォンで撮影する。
- 内箱を取り出す。

(外箱:縦:1m 横:1m 高さ:1m

内箱:縦:1.43m 横:0.39m 高さ:0.14m
 で制作した。)

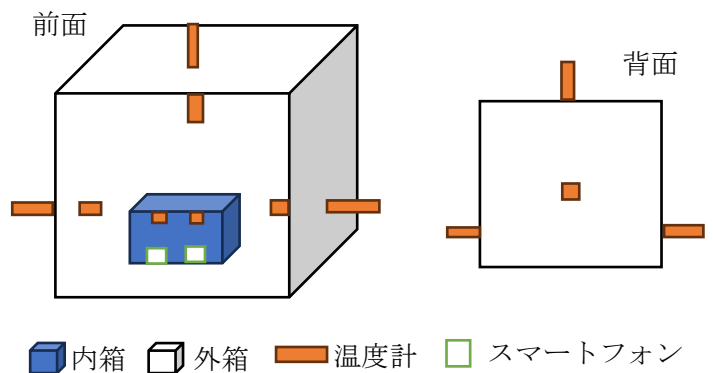


図11 実験図

4 - 3 - 2. 結果

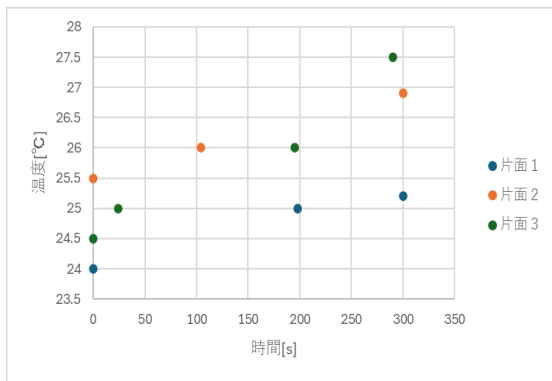


図 12 時間と温度の関係(片面モデル)

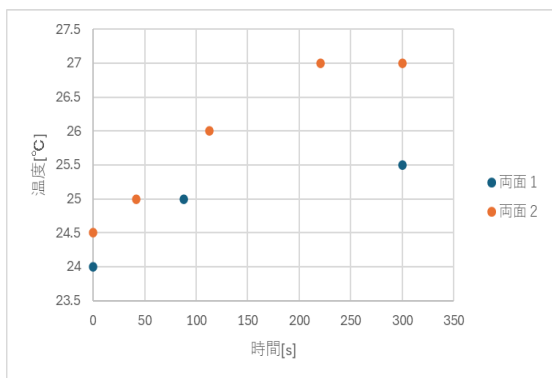


図 13 時間と温度の関係(両面モデル)

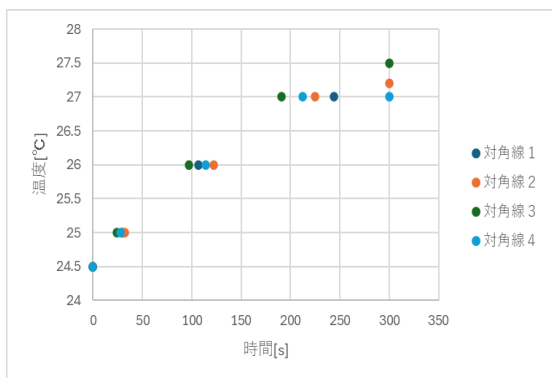


図 14 時間と温度の関係(対角線モデル)

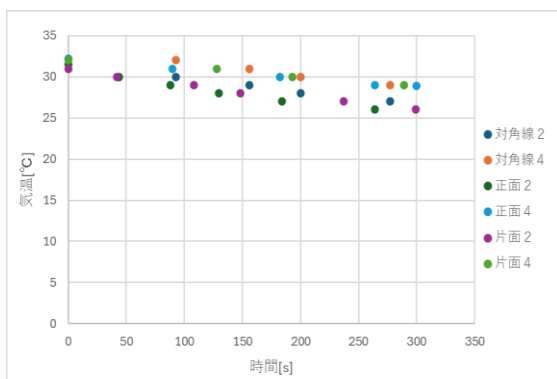


図 15 時間と温度の関係(外箱)

エアコンディショナーを用いて 24°C に設定した室内で実験を行ったが、開始時点の温度にばらつきがあった。

5. 考察

実験 1 の結果より対角線上に窓を開けることがもっとも素早く換気を行う方法だと考えられる。

一方で温度変化の観点では、実験 1 と実験 2 で大きな相違があった。

実験 1 の結果では、温度変化は、片面—対角線—両面の順に温度変化が大きかったが、実験 2 での温度変化は、平均して両面—片面—対角線の順に大きかった。この結果の原因として、モデルの大きさが異なっていたことや、実験 1 と異なり実験 2 では扇風機を用いて換気をしなかったからと考えられる。

一方で、実験 2 で得られたデータはあまり正確でなかったとも考えられる。

具体的には

- ① スマートフォンの内部発熱を考慮していなかったこと。
- ② 外箱内の温度が安定していないこと。
- ③ 計測ごとに初期温度が異なっていたこと。

が主に挙げられる。

① に関しては、スマートフォンの発熱量は一定だとみなすと、各モデルごとでその分だけ温度上昇があったと考えることができ、どのモデルが最も温度変化が小さいかという結果自体には影響を及ぼさないと考えることができる。しかし、温度によって気流が大きく変化せず、実験に大きな影響を及ぼさなかったとは言いきれないため、スマートフォンによる熱は実験を不正確なものにした可能性がある。

② と ③ でも外箱の温度の変化の様子が場所によって異なり、同じ場所でも実験ごと温度の下がり方が異なっていたことから、室内の気流を一定にできていなかった可能性が大きい。

その他の原因として、内箱の様子はスマートフォンで撮影したので温度の情報が正確に読み取りきれなかったことも挙げられる。しかし、このことは、開始温度の読み取りにのみ影響を与えるとも考えられ、温度変化だけに着目したときは、実験結果に大きな影響を及ぼさない可能性がある。

また、実験 2 の片面と両面モデルのデータはば

らつきが大きく、対角線モデルのデータはばらつきが少なかった。このことから、対角線上に窓を開ける事で安定して換気を行うことができる可能性が高いと考える。

しかし、実験のデータが少ないため、この実験の結果と考察すべてに対して、断定的な結論を出すことはできず、問いに対して正確な答えを提示するためには、より多くの実験を重ねることが必要である。

6. 展望

実験データがまだ少ない状態なので実験を重ねていきたい。また、今回の実験では実験方法に問題があったと考えられるため、実際の換気中の教室を再現できる実験をすることが必要である。

具体的には

- ①コンピュータシミュレーション
- ②実際の教室で実験
- ③モデルのサイズを本実験よりも拡大し、エアロゾルのモデルとしてふさわしい物質を用いて実験

が挙げられる。①は流体を完璧に再現してシミュレーションすることが難しく、③はサイズや振る舞いだけでなく、安全に実験を行える物質を使う必要があり、現実的に厳しい面がある。したがって②を中心に実験を行い、研究を進めていこうと考えている。

7. 謝辞

本研究に当たり、助言をくださった千藤先生、原田先生ほか物理の先生方、および、実験2で温かいご協力をくださった鈴木康平氏に深く感謝申し上げます。

8. 参考文献

- ・不完全混合室内における換気効率・温熱環境形成効率評価指標に関する研究：第2報-CFDに基づく局所領域の温熱環境形成寄与率評価指標の開発（加藤信介、小林光、村上周三 1998）
（https://www.jstage.jst.go.jp/article/shase/23/69/23_KJ00006792048/_article-char/ja）
（2023年12月 最終閲覧）
- ・効率的な換気方法

（https://www.city.ota.tokyo.jp/seikatsu/hoken/eisei/sumai_soudan/kanki.html）

（2023年7月 最終閲覧）

- ・特別WEBコラム 新型コロナウイルス禍に学ぶ
応用物理
新型コロナウイルスのエアロゾル感染シミュレーション
池田 圭 株式会社アテナシス
（https://www.jsap.or.jp/columns-covid19/covid19_1-2-1）
（2023年12月 最終閲覧）
- ・熱設計の検証 ②流れの可視化技術財団法人
神奈川科学技術アカデミー 教育研修講座
「エレクトロニクス実装における熱と信頼性」
2009年5月27日 かながわサイエンスパーク
防衛大学校 機械工学科 中村 元
（https://www.nda.ac.jp/~nhajime/pdf/lecture_KAST-2_20090527.pdf）
（2023年12月 最終閲覧）