

換気をしつつ室内の温度を保つ方法

2614 曾我麟太郎 2504 井田遥翔 2506 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

空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 空気口(窓)を多くして短時間で多くの空気室外に排出すること

が必要である。

空気口を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温度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。

空気口を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、空気口を3つにする場合も4つの時と同様である。

したがって最適な空気口の数は2つであると考えられる。また、空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)

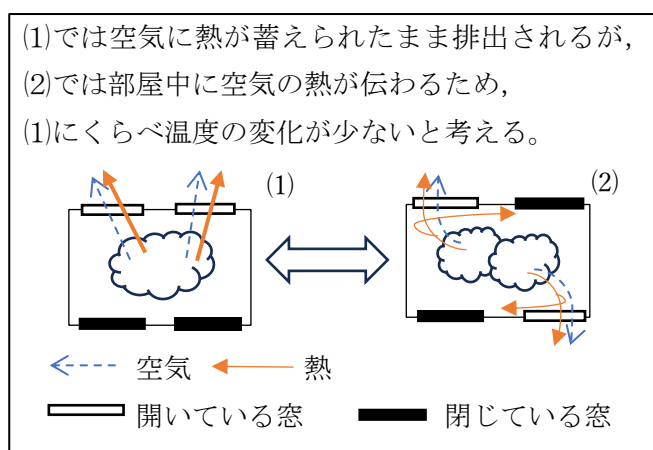


図1 換気の様子

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
- ・その他接着剤など



図2 実験装置(アクリルで作成した教室モデル)

4. 研究

4-1. 予備実験

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 風速が上がりきるの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を 3 回繰り返す。
 - ④ 風速計—扇風機間の距離を①～③を行ったときの距離から 5cm 離れさせ、①～③を再度行う。
- ①～④までを繰り返す。

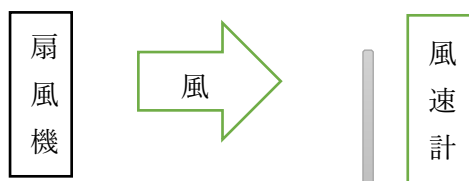


図3 実験装置の模式図（予備実験）

4-1-3. 予備実験の結果

表1 風速と風速計—扇風機間距離の関係

距離	1回目	2回目	3回目	平均
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

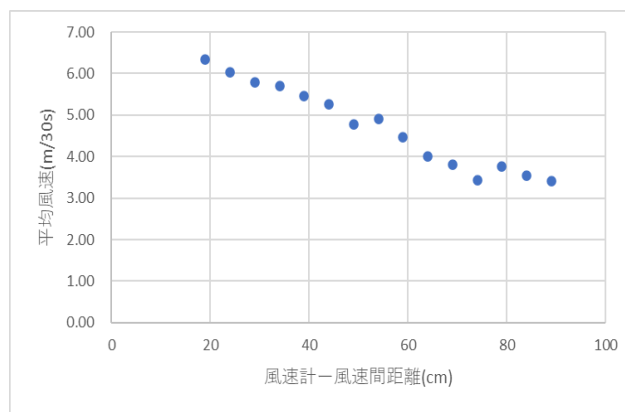


図4 風速と風速計—扇風機間距離の関係

4-1-4. 予備実験の考察

図4より風速と風速計—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—風速間距離による風速を関数化し、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と考える。

これをもとに風速と風速計—扇風機間距離の関係を予想した。(図5)

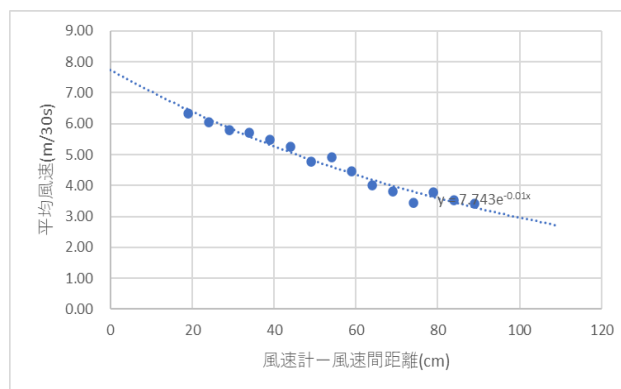


図5 風速と風速計—扇風機距離の関係予想

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. 本実験

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)
- 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/30s 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)



図 6 実験の写真

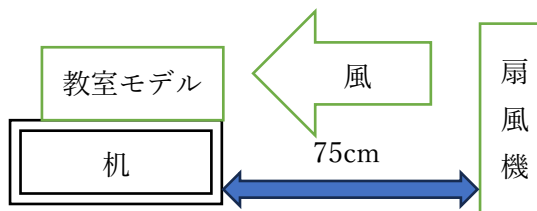


図 7 実験の模式図

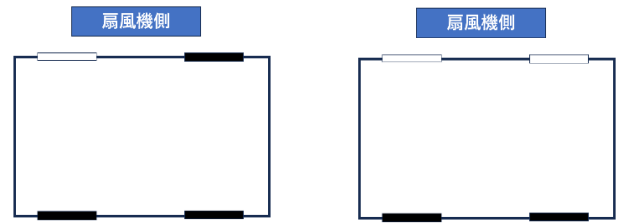


図 8 片面モデル



図 9 両面モデル



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. 本実験の結果

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

本実験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い。

撮影した映像の 0.1 倍速時で解析し、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。

4-2-3. 本実験の考察

時間に関して、本実験の結果より、仮説通りに対角線上に窓を開けることで、温度を保ちつつ最

速で換気を行えることが分かった。しかし、窓を開けてから煙が排出され切るまでの時間が非常に短く、煙が排出され切ったとみなす基準も目視による確認であるため、正確なデータを得ることができなかった。

したがって、実験方法に問題があったと推察する。具体的には、煙をエアロゾルに見立てて実験したこと、教室モデルのサイズが小さすぎたことが挙げられる。

本実験で換気によって排出する対象としたエアロゾルは、空気とは別に存在するコロイドである。そのため、教室を縮小してモデル化する際、エアロゾルも縮小する必要がある。一般的にエアロゾルのサイズは $0.1\sim 1\mu\text{m}$ ほどのものから、 $100\mu\text{m}$ のものまで様々なサイズのものが分布している。本研究では教室を $1/43$ スケールでモデル化しているため、エアロゾルのモデルのサイズは約 $0.0023\mu\text{m}\sim 0.023\mu\text{m}$ 、大きいものでは $2.3\mu\text{m}$ が適当である。一方線香の煙のサイズが $1\mu\text{m}$ ほどであり、大きさもそろっている。そのため線香の煙はエアロゾルのモデルとしてサイズが不適当な場合がほとんどであり、線香の煙はエアロゾルのモデルとして不適当である。

また、本実験では、線香の煙が教室を満たしているということは、エアロゾルが教室を満たしているということを意味する。対して実際のエアロゾルは空気に滞在するものもあれば、沈んでいくものもある。したがってエアロゾルが教室を満たすという状況は現実的にはほぼないと考え、実験の前提を見直す必要がある。

温度に関しては、温度変化の差がわずかにみられた。しかし、水銀温度計を用いて温度を計測したことに加えて、条件をそろえるためにすべてのパターンで窓を開けた7秒後に温度を測定したため、換気直後の温度を測ることはできなかった。また、本実験において線香を燃焼させる時間は統一したが、それによって換気直前の教室モデル内の温度をすべてのパターンで全く同じにすることができると言い切ることはできない。

温度について正確な結論を出すためには実験の方法及び値の測定方法を見直す必要がある。ま

た線香の燃焼時間を固定して実験を行う場合、実験の回数を増やす必要がある。

5. 展望

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。

6. 謝辞

本研究に当たり、助言をくださった千藤先生ほか物理の先生方に深く感謝申し上げます。

7. 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)