

# 教室の換気効率測定 第 2 報

静岡県立三島北高等学校  
科学部 2年 初又 虎大 他 2名

## 1 動機

今、世の中では新型コロナウイルスが猛威を振るっている。ニュースなどでも様々な芸能人、政治家などの新型コロナウイルス感染の知らせが続いている。一時期感染状況が落ち着いていたが、オミクロン株の出現など気を緩めることのできない状態が続いている。また、コロナ禍に陥ってから私たちはクラスターという言葉をよく耳にするようになった。学生の身としては学校クラスターという言葉を知ると気になる。学校や会社など人が多く集まる場所では感染が広がると言われている。感染を抑えるには換気が有効的と言われているがその効果に確証を得られなかった。しかし、どのように空気が流れ換気をするのか分かれば感染拡大を防ぐことができると考えた。したがってまずは実際の教室を用いて私たちの学校生活内の換気状況を調べ改善に努めていく。

## 2 研究にあたって

まず今回の研究では測定の効率化のため、模型実験を行うことにした。本校の普通教室の 1/25 サイズと 1/20 サイズの模型の 2 種類を製作した。

### 初代教室模型 (図 1)

・柱に磁石テープを張り付け、また各窓の大きさに合わせた磁石シートを用意し、磁力による窓の開閉を再現した。これにより任意の窓を開閉可能。

- ・木製
- ・2020 年 7 月頃製作
- ・普通教室 1/20



図 1 初代教室模型

### 2 代目教室模型 (図 2)

・窓のついている面を二重壁にし、間に窓の形に数か所切り抜いた紙と切り抜いていない紙を挟み、切り抜いていない紙を天井側から引き抜くことで任意の窓の開閉が可能。

- ・ポリプロピレン製
- ・2020 年 10 月頃製作
- ・普通教室 1/25 サイズ

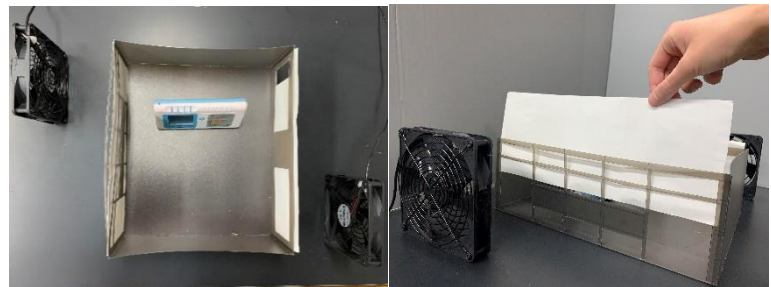


図 2 2 代目教室模型

## 3 (1) 実験 1 換気シミュレーション

開閉する窓の組み合わせによって空気の動きがどのように変化するか観察した。

### ア 実験方法

初代教室模型の中心に香 (コーン型) を設置し煙を溜める。煙が十分に溜まり香の火が消えたのを確認した後、模型の窓を開ける。また、実際の状況を考慮して風も再現したパターンでも検証する。風は模型の窓の前に小型の扇風機 (図 3) を設置して再現する。この際上からスマートフォンで煙の

動きを撮影する。

- ・風が直線に流れるように窓を開ける（以後直線型）（図4）
- ・風が対角線上に流れるように窓を開ける（以後対角型）（図5）
- ・教室の片側のみ窓を開ける（以後U字型）（図6）

の3パターンの開け方と風の有無で計6通りの実験を行った。

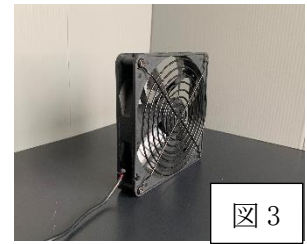


図3

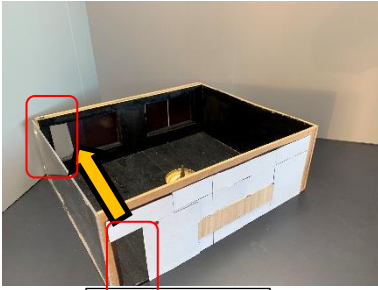


図4 直線型

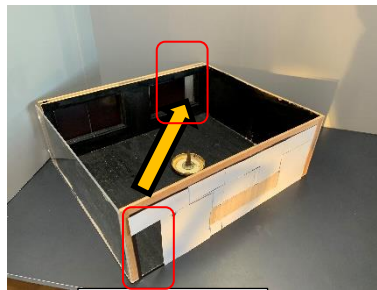


図5 対角型

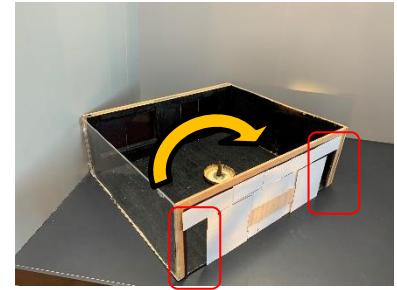


図6 U字型

## イ 結果

まず、扇風機による風を発生させない場合、直線型、対角型、U字型のすべてのパターンで、窓の付近の煙から順に外に排出されるという現象が見られた。よって模型中央の煙は排出されにくい。

次に、風を発生させた場合について以下の結果が得られた。

ここでは、図の上側を前方、下側を後方、右側を廊下側、左側を屋外側とする。また、風は廊下側から屋外側へ流れるものとする。

図7は教室後方の廊下側と屋外側の窓を開けた直線型の画像である。この際、真っ直ぐ入った風は中央部で教室前方に流れ渦を巻くように吹くものとそのまま向かいの窓から排出されるものとに分離した。教室中央には煙が溜まっているのが確認された。

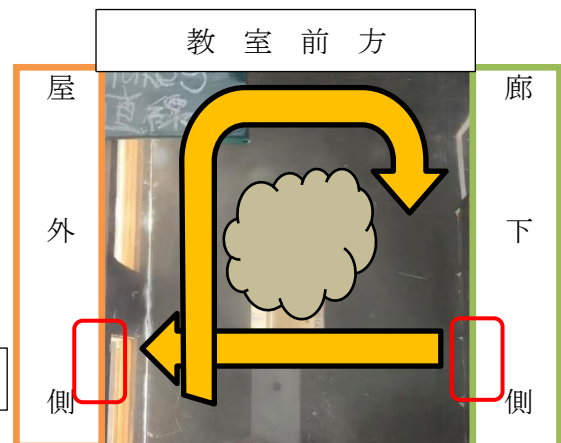


図7 直線型

図8 教室後方の廊下側と教室前方の屋外側の窓を開けた対角型のシミュレーションの画像である。入ってきた風は正面の壁にぶつかり教室前方方向に進む。その風は前方の窓に吸い込まれる。また、このとき上手く窓に入れず前方の壁にぶつかり教室前方の廊下側に流れる風も見られた。この風は教室前方の廊下側の煙を教室後方に運んでいた。

これは反対に教室前方の廊下側と教室後方の屋外側の窓を開けた場合でも見られた。

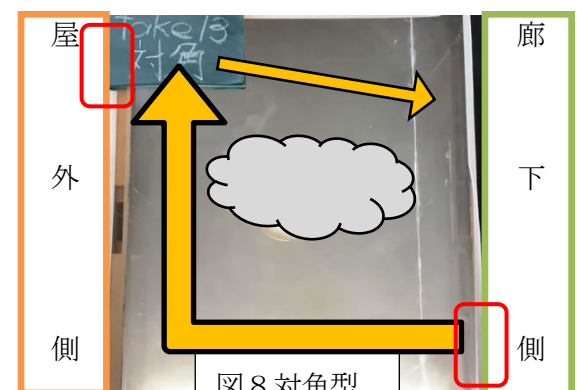


図8 対角型

図9は教室後方の廊下側と教室前方の廊下側の窓を開けたU字型のシミュレーションの画像である。入ってきた風は渦を巻き壁に沿って流れ、教室前方の窓から排出される。また教室中央の廊下側付近に煙が溜まっているのが確認された。

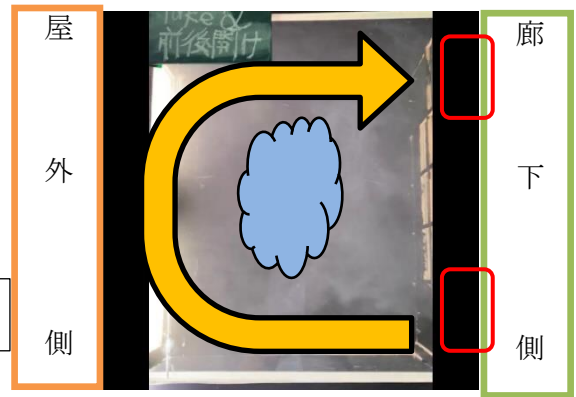


図9 U字型

### ウ 考察

風がない場合、特に規則的に動くわけではなく窓の周りの空気から循環していく。

風が直線上に流れるように窓を開けた場合、入ってきた風はそのまま向かいの窓から出て行ってしまっただけでなく、一部の風は教室内で渦を巻き、汚れた空気を循環させてしまう可能性がある。つまり逆に人体に悪影響を及ぼす。

また風を対角線上に流れるように窓を開けた場合、どちらから風が流れても教室全体に風が行き届き最も短い時間で煙の濃さが薄くなった。つまり換気効率が最も良いと思われる。

教室の片側のみを開けた場合、今回の実験では比較的大部分の換気が行われ一見、換気方法として有効に思えるが、実際の教室では教室後方だけ風が流入し教室前方からは風が排出される現象が起こることは少なく、現実的に有効ではない。

したがって風があるとき、窓は対角線上に開けるべきであると考えられる。

## (2) 実験2 二酸化炭素濃度の測定①

それぞれの窓をどれくらいの大きさに開ければよいかを調べた。

### ア 実験方法

必要な場所の窓を切り抜いた紙と切り抜いていない紙の2枚を挟んだ2代目教室模型内に線香を焚き、二酸化炭素濃度が2000ppmを超えるまで煙を溜めその後に実験1でも使用した小型扇風機を設置し、切り抜いていない方の紙を引き抜き、30秒ごとに二酸化炭素濃度の推移を測定した。

窓の開け方は、

- ① 入口面積を一か所、出口面積を一か所のもの
- ② 入口面積を一か所、出口面積を二か所のもの
- ③ 入口面積を二か所、出口面積を一か所のもの
- ④ 入口面積を二か所、出口面積を二か所のもの (図10)

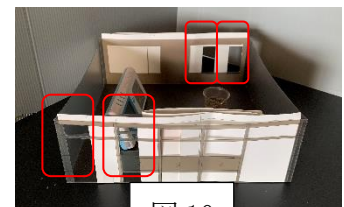


図10

のパターンで測定する。

なお窓の開け方は実験1に基づき対角型で開け測定器の設置場所は教室内の一か所で固定した。

### イ 結果

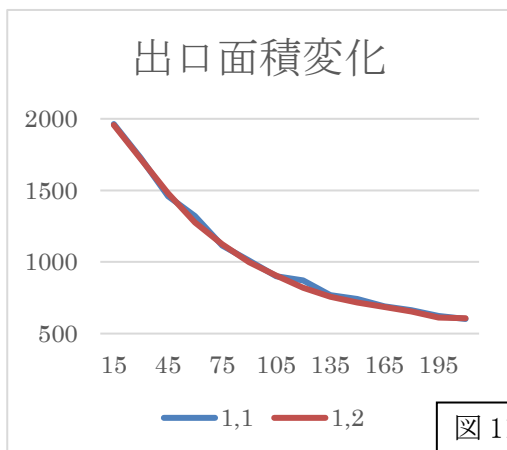


図11

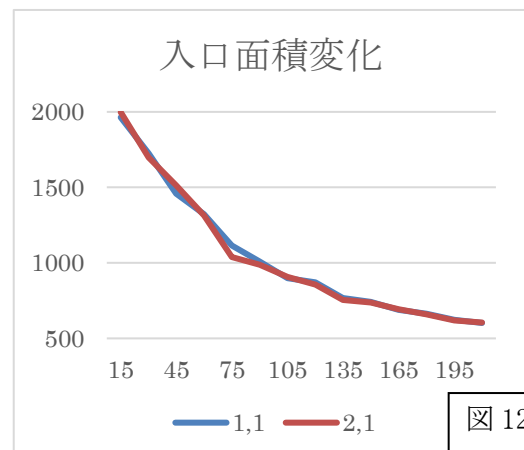


図12

図 11 はパターン①、②の結果の比較を、図 12 はパターン①、③の結果の比較を表したものである。  
 図 13 はパターン①、④の結果の比較を表したものである。(1:1 と 2:2)

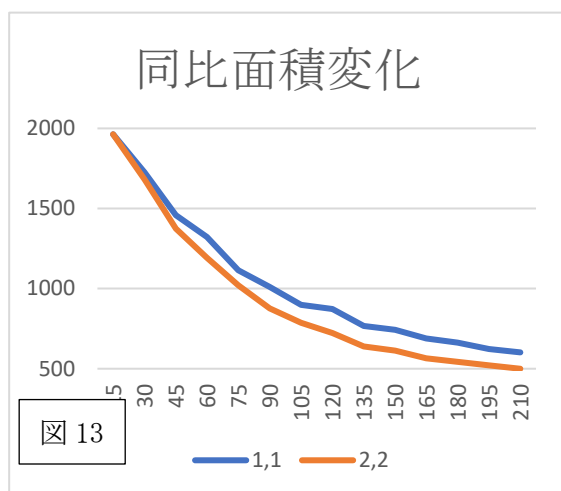


図 11 から、風の入る側の窓を一か所、風の出る側の窓も一か所で開けて換気をした場合、換気後の二酸化炭素濃度は 602ppm となるのに対して風の入る側の窓を一か所、出る側の窓を二か所開けた場合、換気後の二酸化炭素濃度は 607ppm となり出口面積を変化させても教室内の二酸化炭素濃度の減少量に差は見られなかった。

図 12 から、風の入る側の窓を一か所、風の出る側の窓も一か所で開けて換気をした場合、換気後の二酸化炭素濃度は 602ppm となるのに対して風の入る側の窓を二か所、出る側の窓を一か所開けた場合、換気後の二酸化炭素濃度は 605ppm となり入口面積を変化させても教室内の二酸化炭素濃度の減少量に差は見られなかった。

図 13 から風の入る側の窓を一か所、出る側の窓も一か所開けて換気をした場合、換気後の二酸化炭素濃度は 602ppm となるのに対して風の入る側の窓を二か所、出る側も窓を二か所開けて換気をした場合、換気後の二酸化炭素濃度は 499ppm となり、約 103ppm の差が見られ、開ける面積を大きくするほど二酸化炭素濃度の減少量は大きくなった。

## ウ 考察

効率よく換気を行うためには、風の出口面積と入口面積の片方だけを大きくするのではなく両方を大きくすることが必要である。これは風の入る側の窓を大きくしたことにより教室内により多くの風が吹き込み、教室内を十分に循環した後出る側の窓を大きくしたことによりその風が循環し続けることなく排出されたためである。そのため実際の教室で換気をする場合は対角を同じ面積で開けるのが好ましい。しかし、教室の体積に合わせて適切な面積の窓を開け、換気をする必要がある。今回模型として使った教室は実際に換気を行う場合、対角の窓を 2 ヶ所ずつ開ければ十分な換気が可能なためそれ以上開ける必要はないとわかる。

### (3) 実験 3 本物の教室での二酸化炭素濃度変化測定①

今までの実験の結果が本物の教室においても立証できるかを調べた。

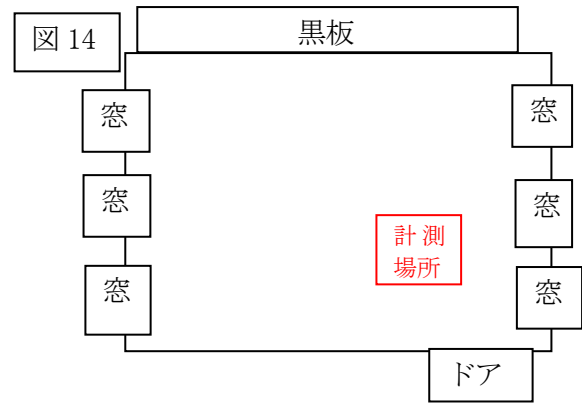
#### ア 実験方法

実際の教室で人がいる中、様々な窓の開け方による二酸化炭素濃度の推移を測定した。

※授業開始 5 分後と授業終了 5 分前に計測を行った。これは、人の動きのある休み時間と人の動きのない授業中の両方で、計測を行うためである。

※ここでは、模型に使用した形の教室での実験が困難だったため形の違う本校の教室 (図 14) で実験

を行った。



イ 結果

次の図 15、16 は、実験 4 の結果を表したものである。

図 15 の見方

	日目
時限目	窓の開き方
	気温 (000→00,0)
	開始後の二酸化炭素濃度
	終了前の二酸化炭素濃度

窓の開き方の見方

- 3:3 左右3か所とも開
- × 1:0 どこか1か所のみ開
- 4 2:2 左右2か所ずつ開
- 対角 1:1 対角 (図5)
- 直線 1:1 直線 (図4)
- U字 2:0 (図6)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	○	○	○	○	直線	○		○	4	4		U字	4	4
	291	289	292	289	285	293		303	285	282		292	273	315
	533	686	596	546	1164	500		486	534	567		1292	1280	1080
	466	413	580	475	987	505		462	489	651		1282	1132	1090
2	○	○	○	○	○		○	○	4	4	○	直線		×
	304	304	306	306	305		297	306	305	314	300	300		316
	548	590	645	509	579		480	457	492	510	595	1100		1784
	591	464	490	419	550		485	463	481	490	545	970		1859
3	○	○	○	○	○	○	○	○		4	○		対角	×
	319	317	302	308	307	305	305	310		322	316		280	314
	506	564	730		540	616	505	462		486	598		1130	2134
	472	472	496	400	578	488	486	497		528	563		900	2035
4	○	○			○		○				○			
	307	324			299		305				324			
	495	527			576		481				513			
		544			532		446							
5	○	○	○			○	○			4	○		4	
	314	324	308			317	295			310	320		290	
	514	431	503				464			570	524		994	
	474	429	462			418				569	544		1145	
6		○	○	×	○	○		○	○					
		322	308	306	311	309		300	306					
		432	546	710	546	478		446	451					
		442	563	809	460	451		438	446					

図 15

※書かれていない箇所は授業などの関係で計測が困難だったときである。

※12日目以降はエアコンが稼働しているため窓の開きが11日目以前より15cmほど小さくなっている。

1:1(対角)	1:2	2:1	1:3	3:1	2:2	3:3	窓の開け方
1130	1006	948	964	1054	686	576	授業後の二酸化炭素濃度
900	1116	893	1045	1126	749	532	授業後の二酸化炭素濃度

図 16

※図 16 の見方

### ウ 考察

図 15 より、まずエアコンのついていない 11 日目以前は平均的に 550 程度の二酸化炭素濃度を保っているが、エアコンのついている 12 日目以降は平均的に 1300 程度まで上昇する。そのため、エアコンのついているときは涼しくしたいがために、窓を閉めすぎてしまうことに注意したい。

次に、○のときに 500 前後だったものが×になると 7、800 程度になることから、窓を閉めると二酸化炭素濃度は高くなることがわかる。そして、13 日目の対角と 14 日目の×を見ると窓を 2 つ開けているときは 1000 程度だった二酸化炭素濃度が窓を 1 つしか開けていないときは 2000 程度まで上昇した。このことから、窓を 2 つ以上開けることが必要だとわかる。

さらに、12 日目の U 字型、直線、13 日目の対角の結果を見ると U 字型よりも直線型、対角型のほうが換気効率が良いことがわかる。今回の計測場所は実験①の結果からすると、対角型、U 字型の煙が溜まった場所にあたるので対角型、U 字型についてはさらに換気ができることが期待できる。また、直線型の空気の通り道にあっていた可能性が高い。このことから、実験 1 の結果にあったように対角型に窓を開けるのが一番換気効率が良いことがわかる。最後に、図 16 の結果から実験 2 の結果にあったように入り口と出口どちらかの窓を大きくしても意味はなく、入り口と出口両方の窓を同時に大きくすると換気が早くなることがわかる。また、結果の中に傾向と合わない数値が現れたが、これはカーテンによるなんらかの影響があったと考察した。

ここからの実験は実験③の結果をもとにエアコン、カーテンの換気効率への影響を調べていく。

### (4) 実験 4 ドライアイスを用いた二酸化炭素濃度測定

エアコンの有無による換気効率の変化を調べた。

#### ア 実験方法

模型に使用した形の実際の教室に火災報知機に関係から今までとは違うドライアイスで二酸化炭素をためた後、窓を開け風を流し、その際の二酸化炭素濃度の変化を計測した。

#### イ 結果

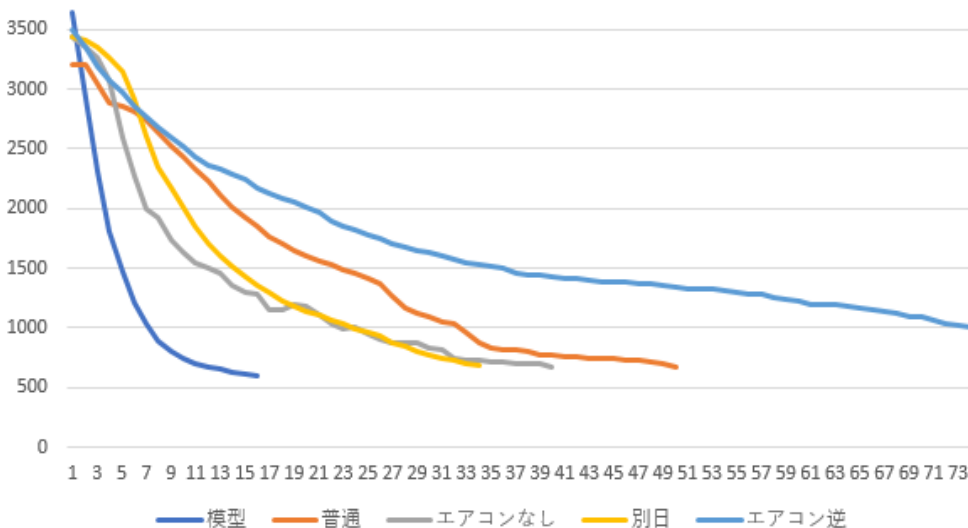
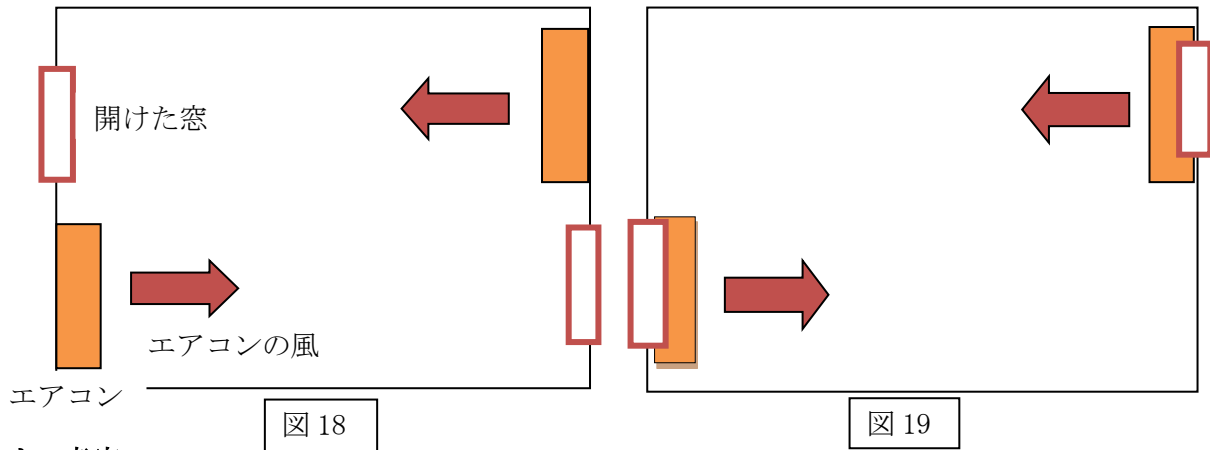


図 17

※図 17 において、「普通」、「エアコン逆」の計測日の風速は 1 メートル、別日では風速 2 メートル、エアコンなしでは風速 3 メートルだった。

※次の図 18、19 は普通、エアコン逆での窓の開け方である。



### ウ 考察

まず、模型での実験の風速は現実的でないと考えられる。そして、やはり風速が早いと換気は早く行われると考えられる。

別日とエアコンなしの差は風速によるものと考えられるが、別日と普通ほどの差は別日とエアコンなしの間には見られないのでエアコンなしよりもエアコン有のほうが換気効率が良いと考えられる。しかし、エアコン逆のように窓を開けると逆効果で換気がとても遅くなってしまいうのでエアコンをつける場合普通の窓の開け方をすると、換気効率が良くなると考えられる。

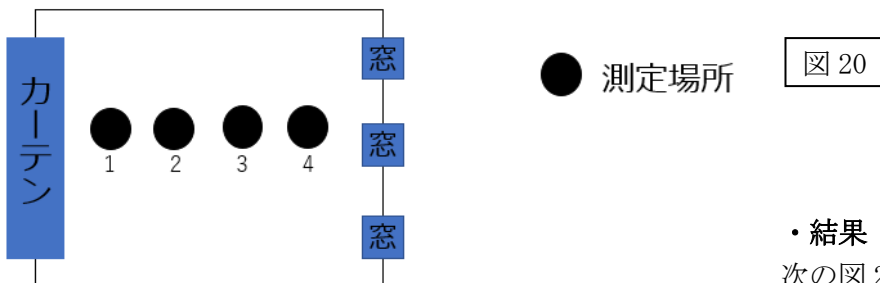
## (5) 実験 5 本物の教室での二酸化炭素濃度測定②

カーテンの有無による換気効率への影響を調べた。

### ア 実験方法

実験③のように本物の教室で授業中に二酸化炭素濃度を測定した。

※ここでは実験③より測定位置を増やした。(図 20) また、カーテンを閉めた場合でも実験を行った。



### ・結果

次の図 21 は実験の結果である。

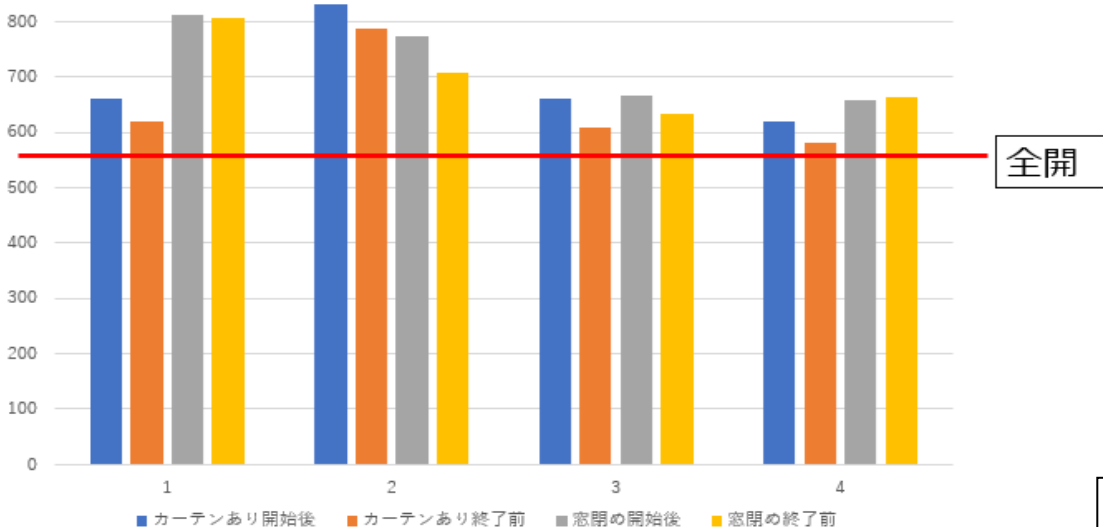


図 21

## イ考察

カーテンのある場所の窓を閉めた状態では1, 2, 3, 4のどの場所でも二酸化炭素濃度は高くなった。しかし、カーテンの状態を見たときに、教室右側では窓を閉めた時と同様に二酸化炭素濃度は高くなったが、教室の一番左側にあたる1の場所では二酸化炭素濃度は低くなった。

このことから、カーテンを閉めると窓を閉めた時と同じ状況になるが、カーテンを閉めた窓の付近のみ換気が行われていると考えられる。

## 6 まとめ

- ・まず、教室換気において窓を2つ以上開けるということは絶対条件である。
  - ・教室内の換気では風がない日は十分な換気が行われず、教室中央に汚れた空気がたまるため扇風機やエアコンなどを用いて空気を循環させる必要がある。
  - ・風が吹いている日は対角線上に窓を開けるのが最も効率の良い換気方法である。
  - ・教室の換気を充分に行うためには窓を大きく開けることが重要だが、窓2枚ずつ2か所の計4か所を開けると十分な換気が行われることがわかった。
  - ・カーテンを閉めるとカーテンのそばは換気が行われるが、それ以外では窓を閉めたのと同じ状況になるということが分かった。
  - ・エアコンをつける場合、エアコンの風が当たる場所の窓を開けるべきである。
- つまり、カーテンの有無を考えなければ図22のような開け方が教室の換気においては最適である

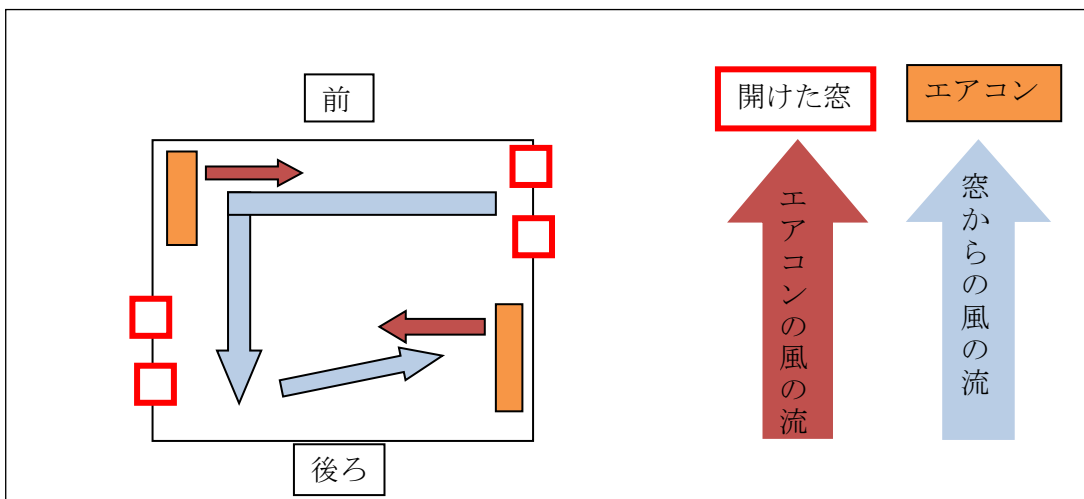


図 22

※窓からの風は逆の風向きも考えられる。

## 7 今後の展開

模型での実験の風速がありえないという点に着目し、模型での風速が実際の教室では、風速何メートルにあたるのかを調べるエアコンをつけた場合に窓を閉めがちになることから、温度と換気の間係を調べていくとともに、これまで行ってきた授業中の二酸化炭素濃度測定やドライアイスで二酸化炭素を溜めた実験を続けていきたい。