

## (コロナ対策) 工学部講義棟教室における空気モニタリングと換気アラートについて

工学部附属社会基盤 i センシングセンター

2020.11.10

### 1. 背景

新型コロナウイルス感染症厚生労働省対策本部では、多数の人が利用する商業施設等においてどのような換気を行えば良いのかについて、『「換気の悪い密閉空間」を改善するための換気の方法』(2020年4月3日)をまとめた。しかし、厚生労働省が示している最低基準は、これまでの空調と衛生の観点からの基準を再喚起しただけであり、さまざまなリスクセンスの人がいる実際の場を考慮して安全性を定量的に確保することが必要と考えられる。空気感染病を扱う病室などに求められる性能は、米国疾病制御防止センター(CDC)のガイドラインによれば、時間換気回数(Air Change per Hour, ACH)が12(新築)と6(既存)である。したがって、ACHが6以上であれば、エアロゾル感染リスクを低減できると考えられる。

この方法の適用性を検証するため、本センターでは、2020年5~6月のイエローステージにおいて愛媛大学工学部講義棟の講義室を対象として、機械換気、強制換気、自然換気による換気時に室内の風速および浮遊するエアロゾル汚染物質(二酸化炭素、粉塵など)の計測を行ってきた(添付資料)。コロナウイルスは咳やくしゃみなどの飛沫に含まれ、それが蒸発した飛沫核として空気中を漂うとされる。従って、飛沫を計測することは有効であると考えた。PM<sub>2.5</sub>と10を計測できるセンサを用いて計測したが、この程度の大きさの飛沫は無風状態でも室内沈降することが判明し、PM値の変化量を指標として用いるのは有効ではないとの知見を得た。一方、CO<sub>2</sub>は飛沫核の指標として利用できそうである。窓と入り口の2箇所を開け強制換気した状態では、およそ9分でCO<sub>2</sub>濃度が初期状態になった。CO<sub>2</sub>の入れ替え完了という観点で計算すればACHは6.6となり、少なくとも自然換気+強制換気が必要であろう。

そこで、本センターとして、空気を入れ換えるタイミングや空気入れ替え完了等を知らせるシステムを構築した。本センターのセンシング部門がセンサネットワークを構築し、CO<sub>2</sub>等の物理データを取得することが可能である。次節で示すが、現状では、教卓上のCO<sub>2</sub>センサの画面上にCO<sub>2</sub>濃度がリアルタイムに表示され、また、30秒毎にCO<sub>2</sub>のモニタリング結果をウェブ上で誰もが閲覧できるようになっている。この閲覧機能は、フリーのソフトウェアを使用しているため、今後は独自サーバを構築し、情報を一元集約していく予定である。

### 2. 装置説明

#### (1) センサ部(図1左図)

- ・シー・エイチ・シー・システム社のCO<sub>2</sub>コントローラー(NMA-VRC-IIM)を使用した。
- ・測定範囲: CO<sub>2</sub>濃度 0~3,000 ppm、温度 0~50℃、湿度 20~90%の表示が可能
- ・非分散型赤外線吸収方式(デュアルビームセンサ内蔵)
- ・アナログ出力(4~20mA、0~10V)によって、無線ノードにデータを転送。

#### (2) 無線ノード(図1右図)

- ・Raspberry Pi 3 B+ スターターキット(SSCI-038805)
- ・ポリカプラボックス(防水防塵・鍵付き)で被覆
- ・24V AC/DC アダプター(壁コンセントから電源をとる)

### (3) 設置状況

工学部の講義を実施する以下の 24 部屋に設置した（設置状況写真は図 2 に示す）.

- ・ 工学部講義棟（EL12, EL13, EL14, EL15, EL16, EL21, EL22, EL23, EL24, EL26, EL31, EL32, EL33, EL34, EL35, EL43, EL44, EL45）
- ・ 工学部 4 号館（E411, E421）
- ・ 工学部 5 号館（E531, E551, E571, E591）



図 1: CO2 コントローラー, および無線ノードが収納されたプラボックス (左), Raspberry Pi によって構築された無線ノード (右)



図 2: 工学部関連教室の CO2 センサノードの設置写真

### 3. 使い方

図 3 の写真のように, センサ部は随時 CO2 濃度等を表示しているので, 基本的に装置に触る必要は無い. ただし, 電源を教室壁コンセントからとっているので, 足下のコードに注意.

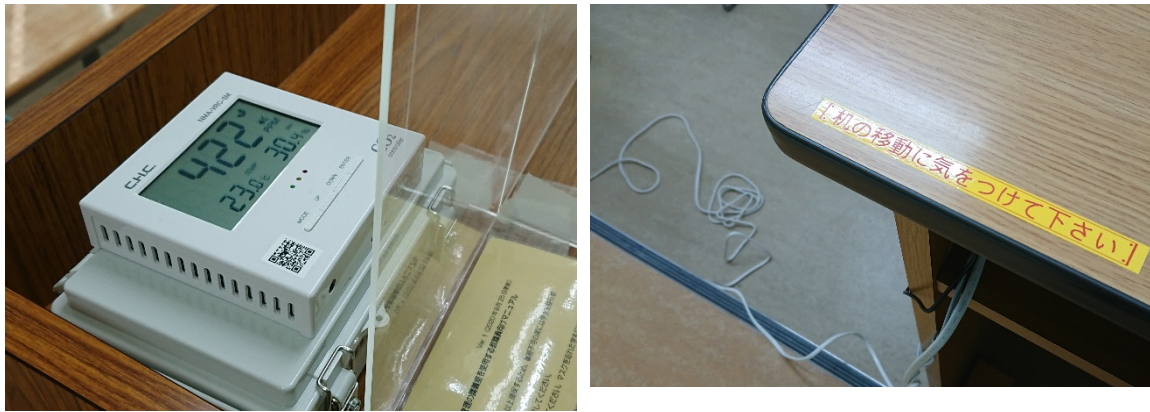


図 3: 装置の設置（基本的にセンサノードには触らない。ただし、コードには注意。）

#### (1) 表示

図 4 に示すように、センサ部(CO2 コントローラ)の表示は以下の通りである。XXX[ppm]が CO2 の現在濃度である。現在濃度は一目で分かるように 3 種類の LED 表示となっており、**緑色 (<800ppm)**、**黄色(800ppm～1200ppm)**、**赤(>1200ppm)**と表示が変化する。

表示	意味（単位）	説明
650 <sup>°</sup> PPM	CO <sub>2</sub> 濃度 (ppm) (ppm は 100 万分の 1)	現在の CO <sub>2</sub> 濃度。
TEMP 25.4 <sup>°C</sup>	温度（℃）	現在の温度。
RH 60%	湿度（％）	現在の相対湿度。
	ブザー	ブザーアイコン。工場出荷時には、ブザーは OFF に設定されています。
CALLing	校正	CO <sub>2</sub> 濃度計測値の精度が低下した場合に校正します。
ALARM 1	アラームレベル 1	HVAC モードでは、AL1 以下で緑色、AL1 以上で黄色 LED が作動します。温室モードでは AL1 以上で緑色、AL1 以下で黄色 LED が作動します。
ALARM 2	アラームレベル 2	HVAC モードでは、AL2 以上でリレーが反転し、ブザーと赤色 LED が作動します。AL 1 以下でリレーが OFF に戻ります。温室モードでは、AL2 以下でリレーが反転しブザーと赤色 LED が作動します。AL 1 以上でリレーが OFF に戻ります。
ALTI	高度	実際の設置高度レベルに調整します。
RcFS	工場出荷時設定の復元	ユーザー設定を取り消し、工場出荷時の設定に戻します。
	ロック	「ON」でボタン操作が無効になります。
BLANK	ブランク	液晶画面上の表示内容を部分的あるいは全面的に消すことができます。

図 4: センサ部(CO2 コントローラ)の表示

## (2) モニタリング状況

各部屋の CO2 濃度は、無線ネットワークによって 30 秒毎にデータが集約されている。現在はフリーサーバを用いてモニタリングしているが、近日中に専用サーバに切り替え予定である。

- ・ EL12, EL13, EL14, EL15, EL16, EL21, EL22, EL23

<https://thingspeak.com/channels/1134072>

- ・ EL24, EL26, EL31, EL32, EL33, EL34, EL35, EL43

<https://thingspeak.com/channels/1142917>

- ・ EL44, EL45, E411, E421, E531, E551, E571, E591

<https://thingspeak.com/channels/1154961>

なお、各部屋のセンサボックスに図 5 のように QR コードが添付されており、それを読み取ることで誰でも自由に CO2 濃度が遠隔で確認できる。スマホからこの QR コードの示す URL にアクセスした場合の画面を図 6 に示す。



図 5: CO2 センサノードに添付された QR コード

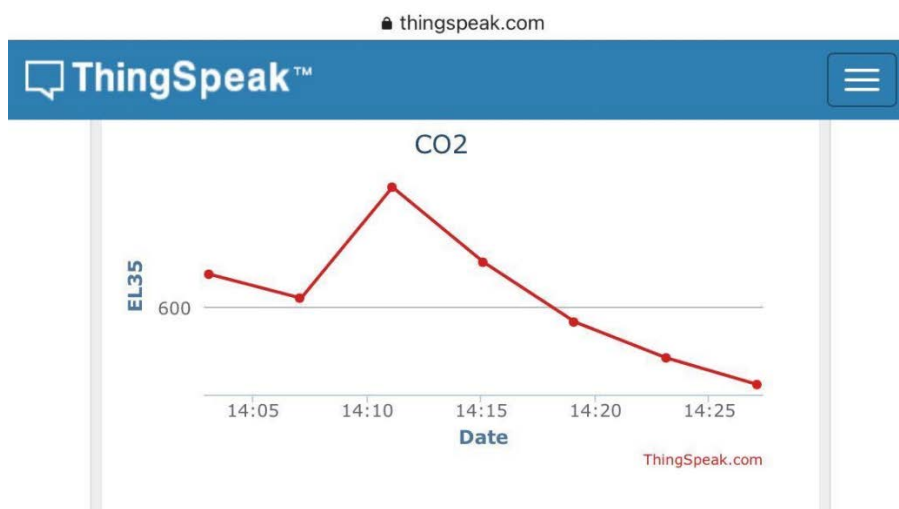


図 6 CO2 のモニタリング状況（スマホからのアクセス画面）

#### 4. 教員へのお願い

CO2 センサノードを教卓横に設置しています．基本的に触ることはありません．

無人時の CO2 濃度は 400ppm 前後が平均です．800ppm からセンサ部の LED が黄色になります．CO2 濃度が 1000ppm を超える場合は換気を強化してください．なお，別添に示しているように，窓・扉の全開＋工場扇による空気攪拌で，空気の完全入れ替えにおよそ 10 分（EL31 の小部屋）かかります．また，エアコンによる機械換気（普通・ロスナイ）の効果は驚くほど小さいです．窓や扉の全開でも換気が不足する場合は，教室に配置された工場扇にて強制的に換気してください．

今後，i センシングセンターのアナリシス部門でモニタリングデータを一元集約し，その解析結果をフィードバックしていく予定です．換気の基準，タイミング，回数等が変わるかも知れません．

また，CO2 センサの画面が消えている，あるいは，センサ部画面に Er.3～7 の表示が出ている場合は，下記のいずれかまでご連絡ください．

- ・工学部等技術班 副技術長 重松和恵（9814）
- ・工学部総務チーム 伊藤剛大（8440）
- ・社会基盤 i センシングセンター長 中畑和之（9812）



# コロナウイルス対策のための 教室換気実験とアラートシステムの構築

(6月9日教室換気実験, 天気 晴れ時々曇り)

夏季の冷房期間における「換気の徹底」と「熱中症の予防」について（依頼）

日頃より皆様には省エネルギー対策の取組にご協力いただいているところですが、今夏は新型コロナウイルス感染症の影響により、これまでとは異なる生活環境下であることから、下記の点にご留意いただき、適切な教育・研究環境を確保した上で、無理のない範囲で省エネルギー対策の取組にご協力いただきますようお願い致します。

記

1. 「換気の徹底」について

○ エアコン使用時も室内を密閉空間にしないように30分に1回は5分以上、2方向の窓や扉を開けましょう。

○ 始業時、昼休憩、午後4時の3回は、全窓を開けて換気しましょう。

○ 部屋に備え付けの機械換気設備がある場合は、常にONにしておきましょう。

2. 「熱中症の予防」について

○ 換気で外気を取り入れることにより室温の上昇が予想されます。換気時はエアコンの温度設定を通常時より下げて運転するなど、可能な限り室温が28℃以上にならないように適宜調整をお願いします。

○ 換気中にエアコンを停止する必要はありません。〔エアコンは運転開始直後が最も消費電力が多く、短時間ならつけたままでも電気代は大きく変わらないため。〕

新型コロナウイルス感染症制御における「換気」に関して

白井 克彦

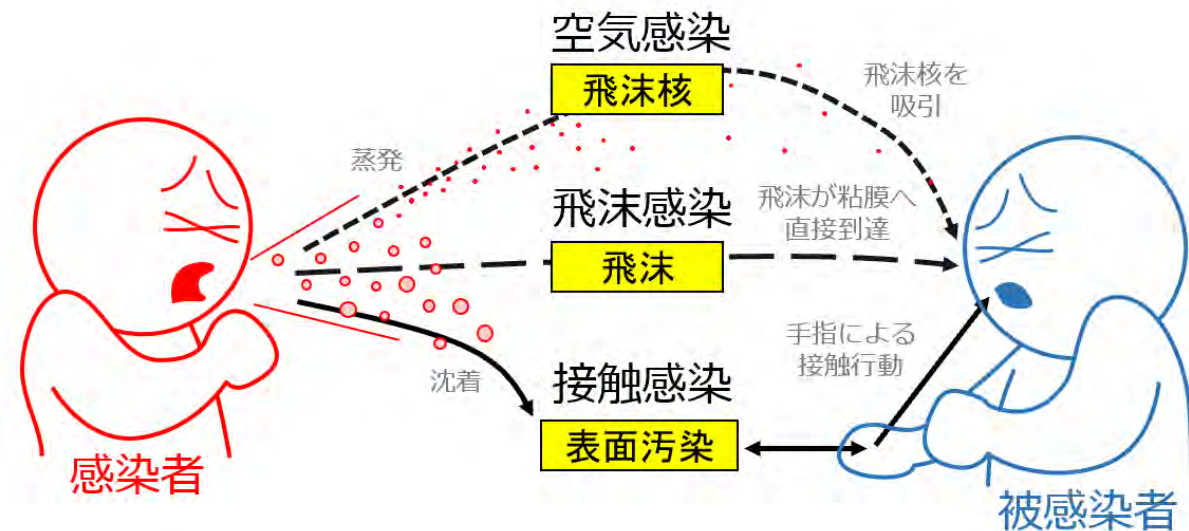
元 早稲田大学 総長

古谷 誠章

早稲田大学建築学科 教授

田辺 新一

早稲田大学建築学科 教授



室内環境では、主に3つの感染経路がある

SARS-CoV-2の大きさは、 $0.05\text{--}0.2\mu\text{m}$  ( $\mu\text{m}$ は $\text{mm}$ の $1/1000$ )と報告されている。  
エアロゾルは分野によって定義が異なっているが、一般的には固体・気体の混合体のことを指す。

**SARS-CoV-2は、咳、くしゃみ、会話時などに発生する飛沫の中に含まれて空気中に出る。**  
**発生するエアロゾルの大きさは、 $0.25\mu\text{m}$ から数 $\text{mm}$ 程度である。大きな飛沫は遠くまで飛ばず、沈降してしまうため、距離が離れていれば飛沫感染リスクを低減できる。**  
**水分が蒸発してサイズが数 $\mu\text{m}$ 以下となったものを飛沫核と呼ぶ。**  
**この飛沫核や小さな飛沫は一定時間空気中に漂う。**



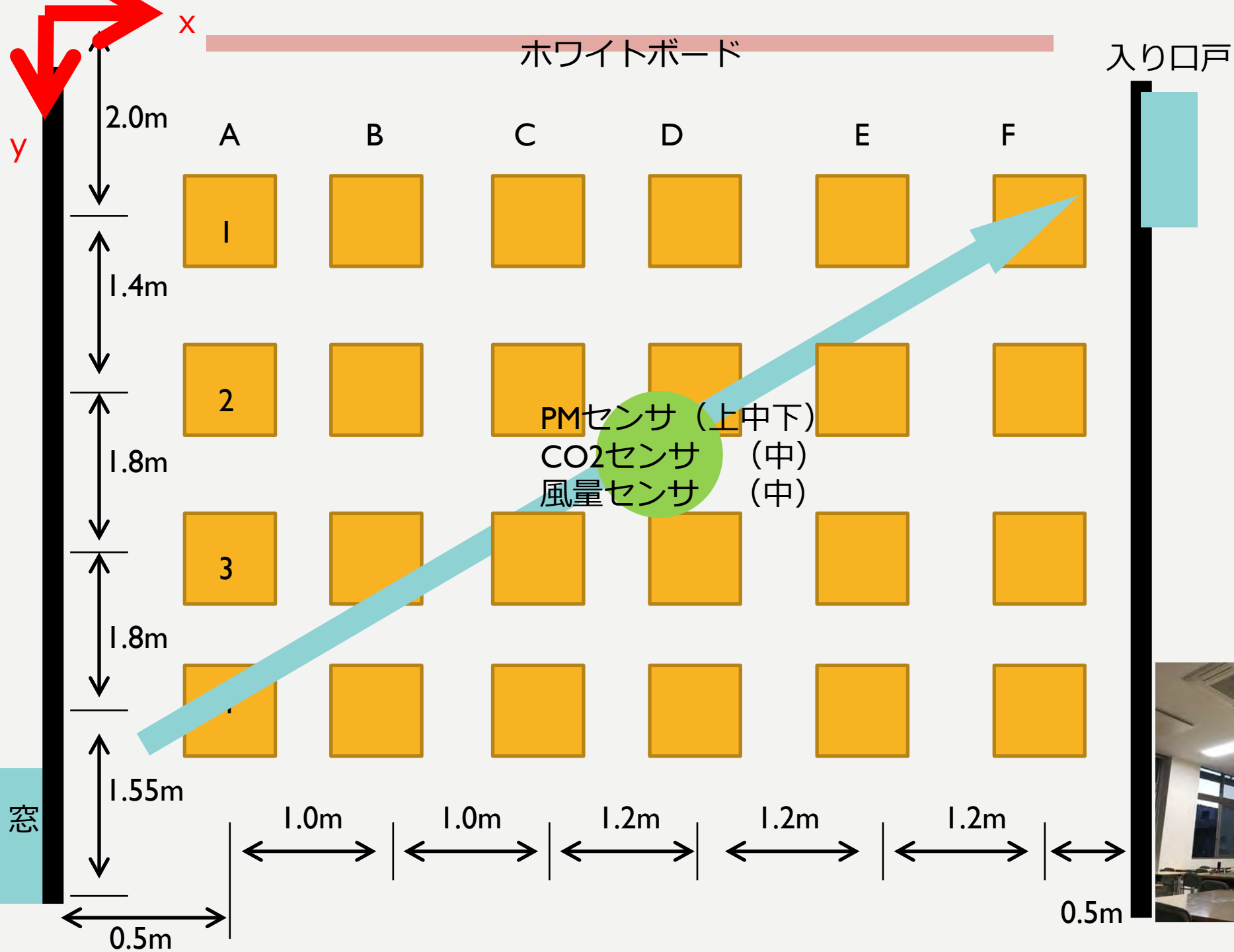
飛沫核や小さな飛沫は、どの程度、換気によって希釈されるのか？  
iセンシングセンターの教員によって、定量的にデータを計測してみた。

## 換気実験の様子

城北キャンパス 工学部講義棟 4F 4I番教室



外



廊下



## 実験に使った簡易センサの種類

- ・ 風速計： Testo, 熱線式スマートプローブ風速計



- ・ PMセンサ： ヤグチ電子工業, ポケットPM2.5センサー



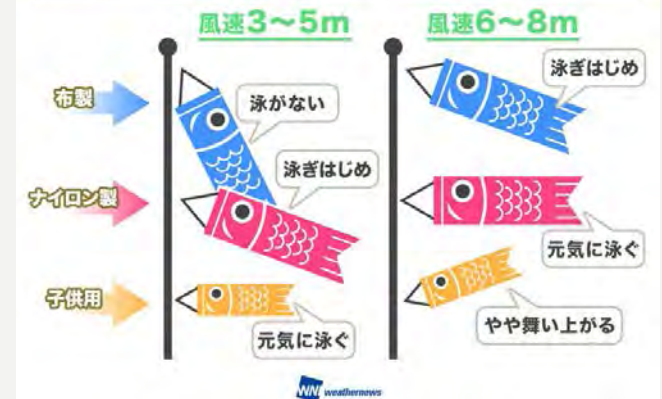
- ・ CO2センサ： ユニ電子, Logtta CO2



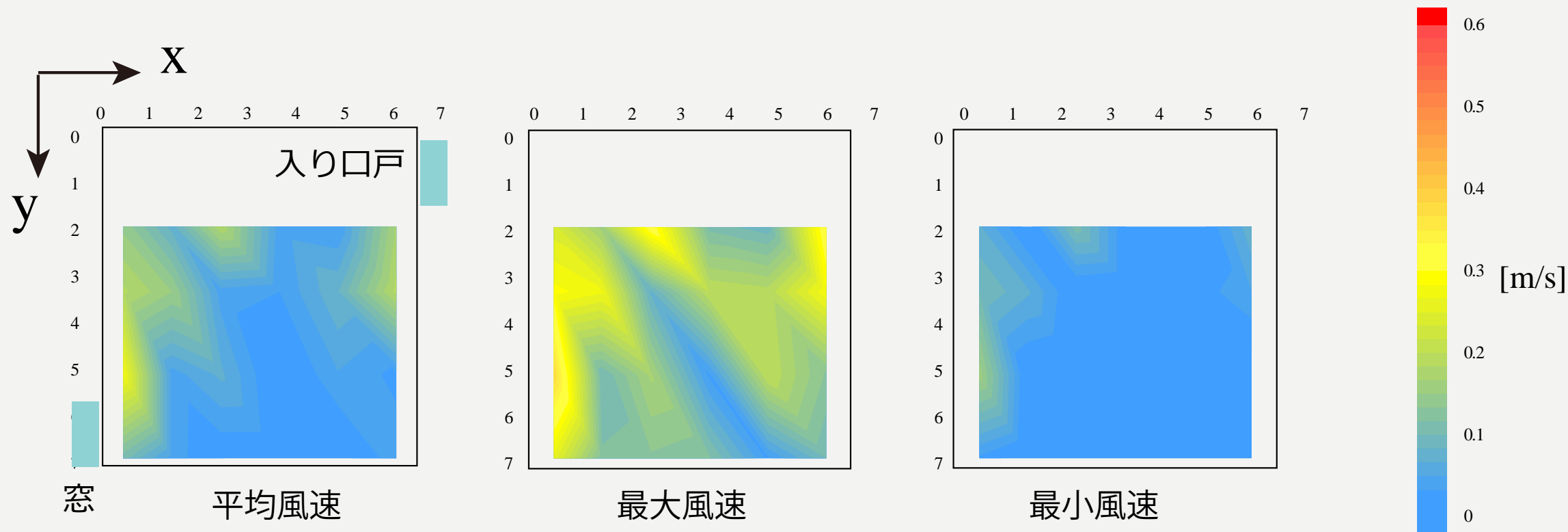
## 6/9 松山市の気象

時	気圧		降水量 (mm)	気温 (℃)	湿度 (%)	風速(m/s)・風向		日照	全天
	現地	海面						時間	日射量
						風速	風向	(h)	(MJ/m <sup>2</sup> )
16	1011.9	1015.8	--	28.9	44	2.2	北西	0.6	1.7
17	1012	1015.9	--	29.4	46	2.8	南南西	1	1.69
18	1012.3	1016.2	--	27.9	50	1.8	南南西	0.6	0.66
19	1012.1	1016	--	27.6	48	4	南南西	1	0.39

## こいのぼりと風速の関係

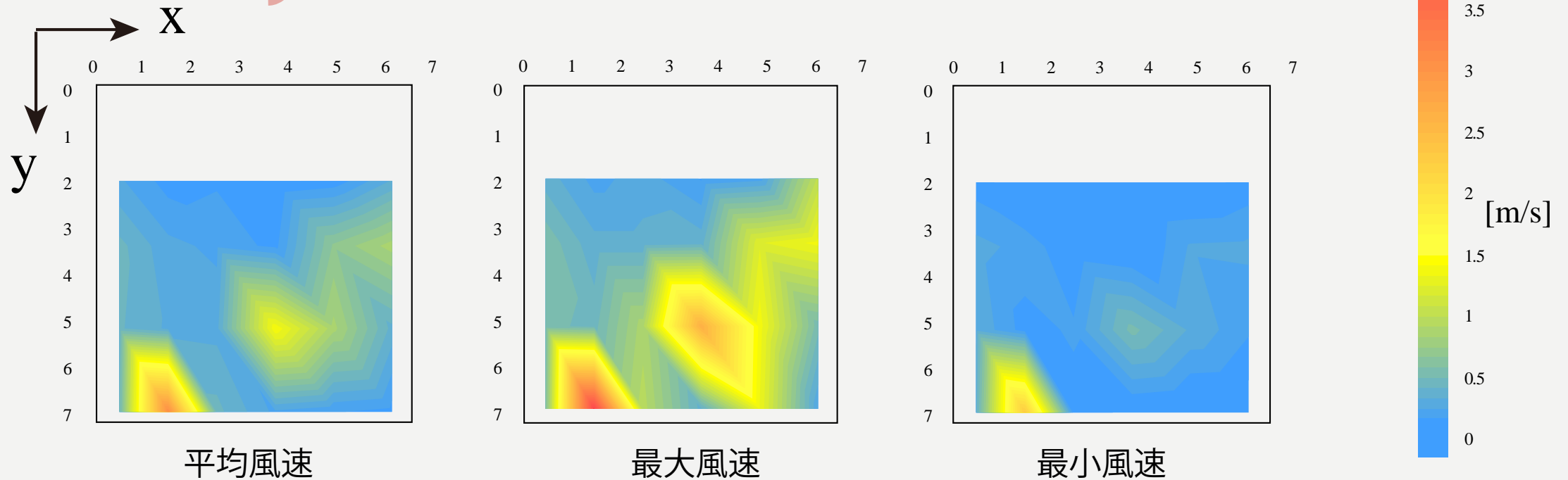
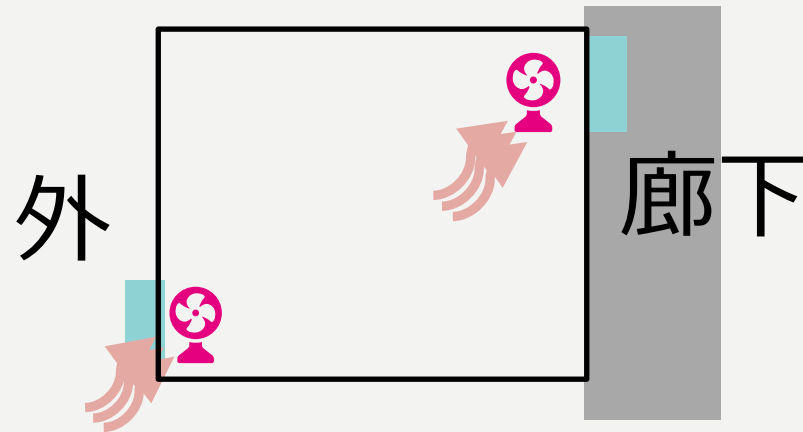


# 窓と入り口を開けた状態での風速分布



風は教室の窓・壁周辺で生じている.

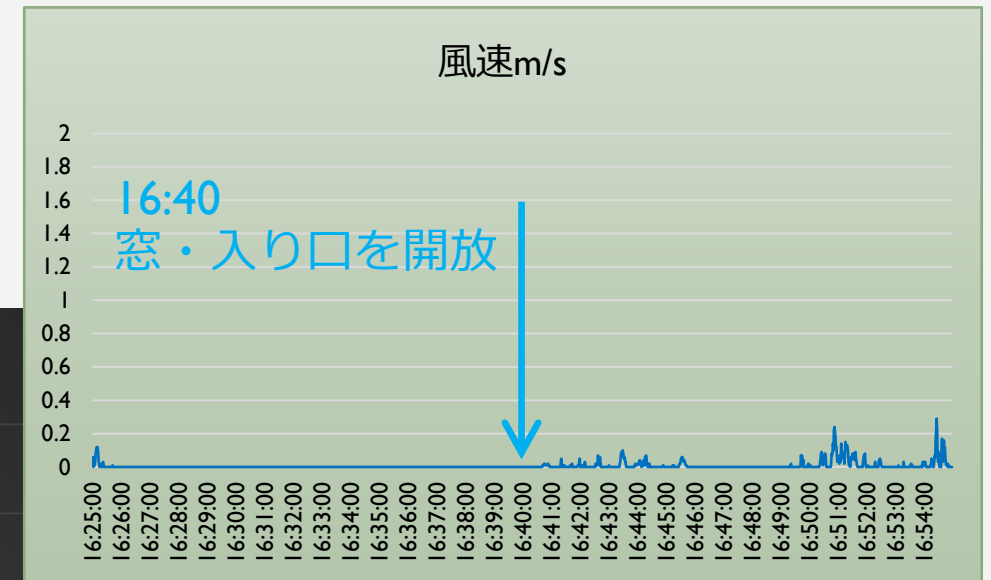
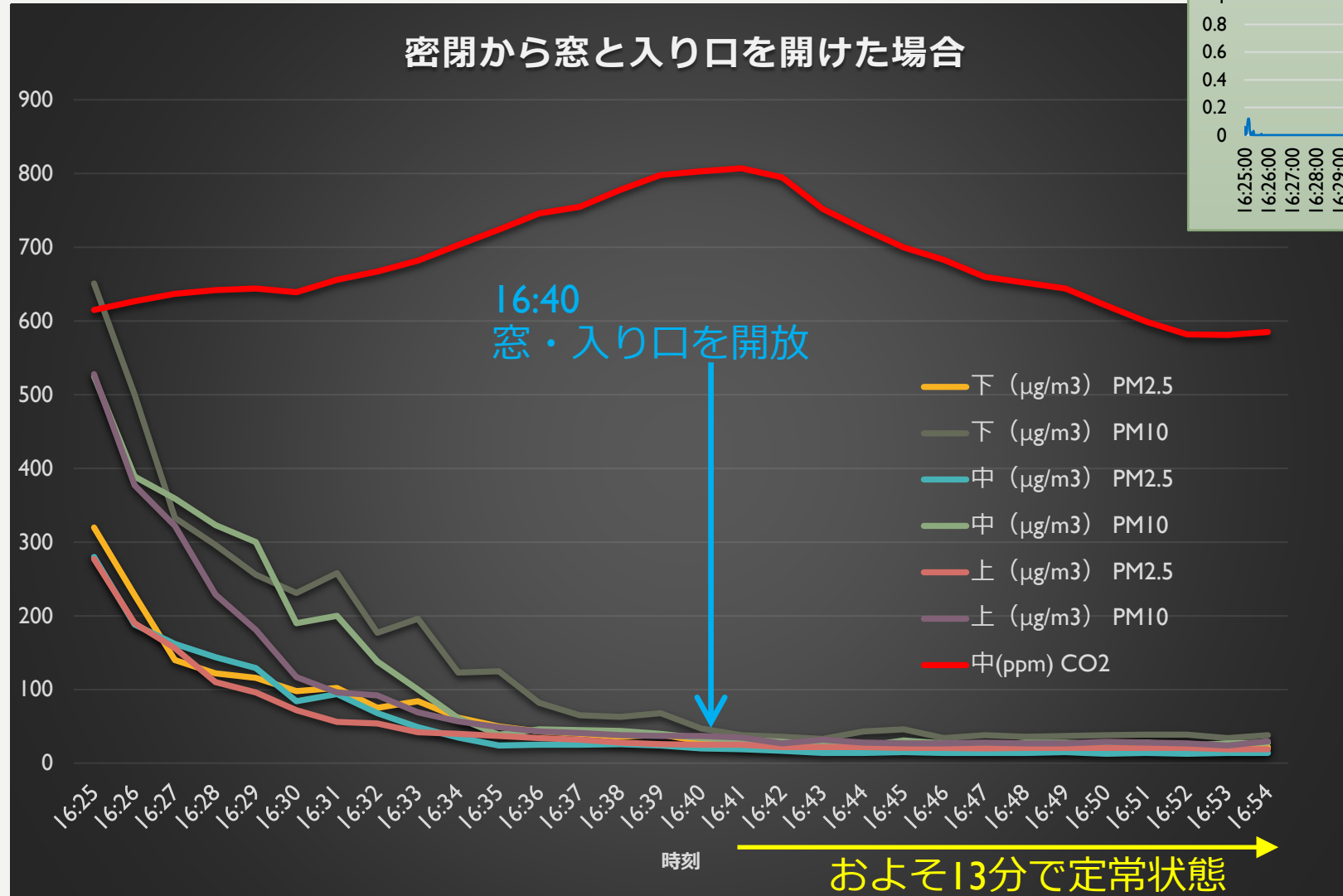
# 窓と入り口を開け、かつ扇風機を回した状態



風は窓と入り口を抜ける直線上で強く起こっている



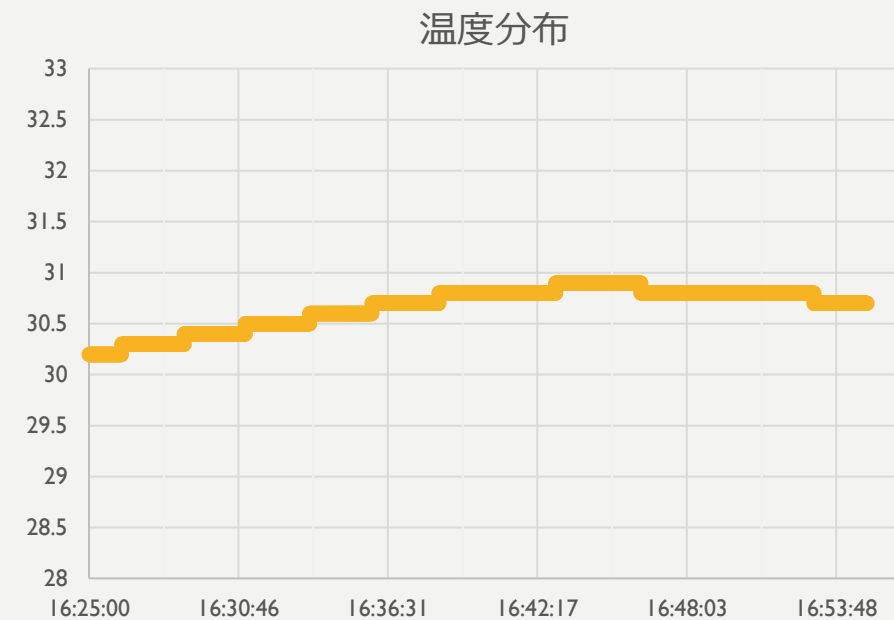
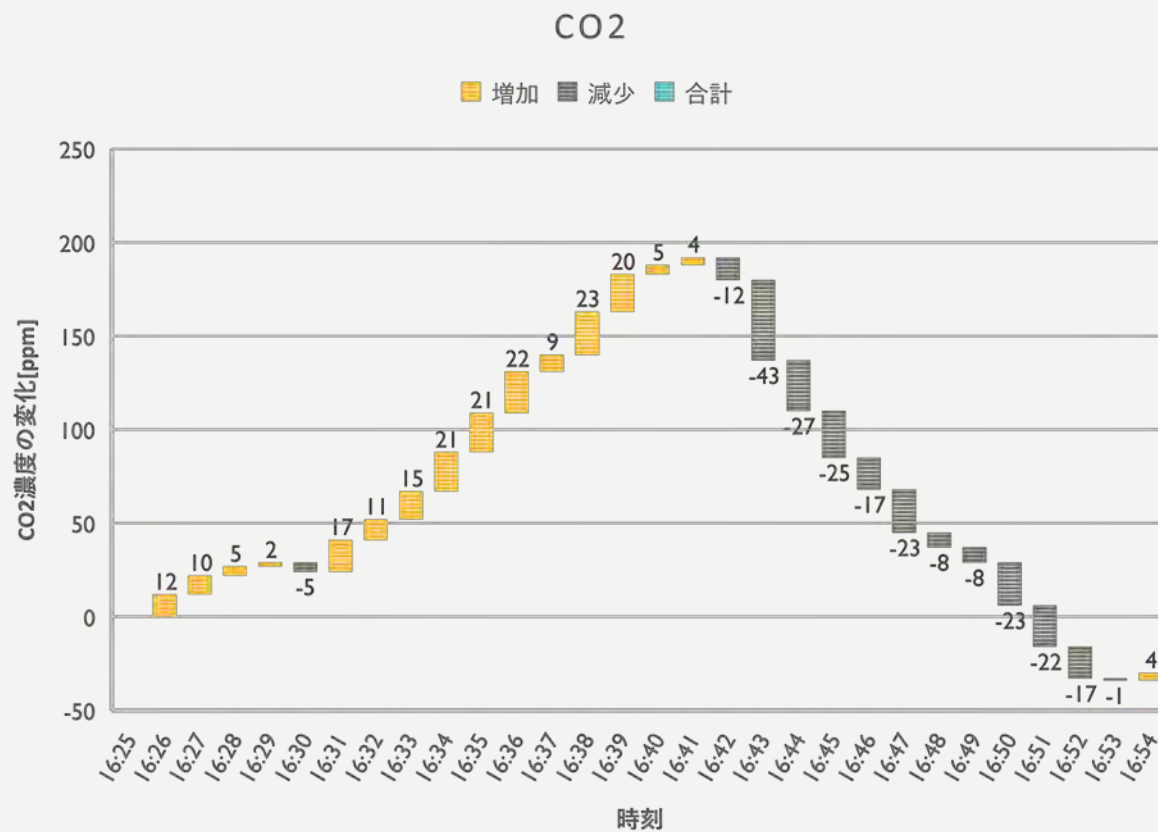
スモーク散布後しばらく観察  
→ 窓と入り口を開けた状態



風速はゼロ（空気の流れはない）だが、微粒子は沈降する

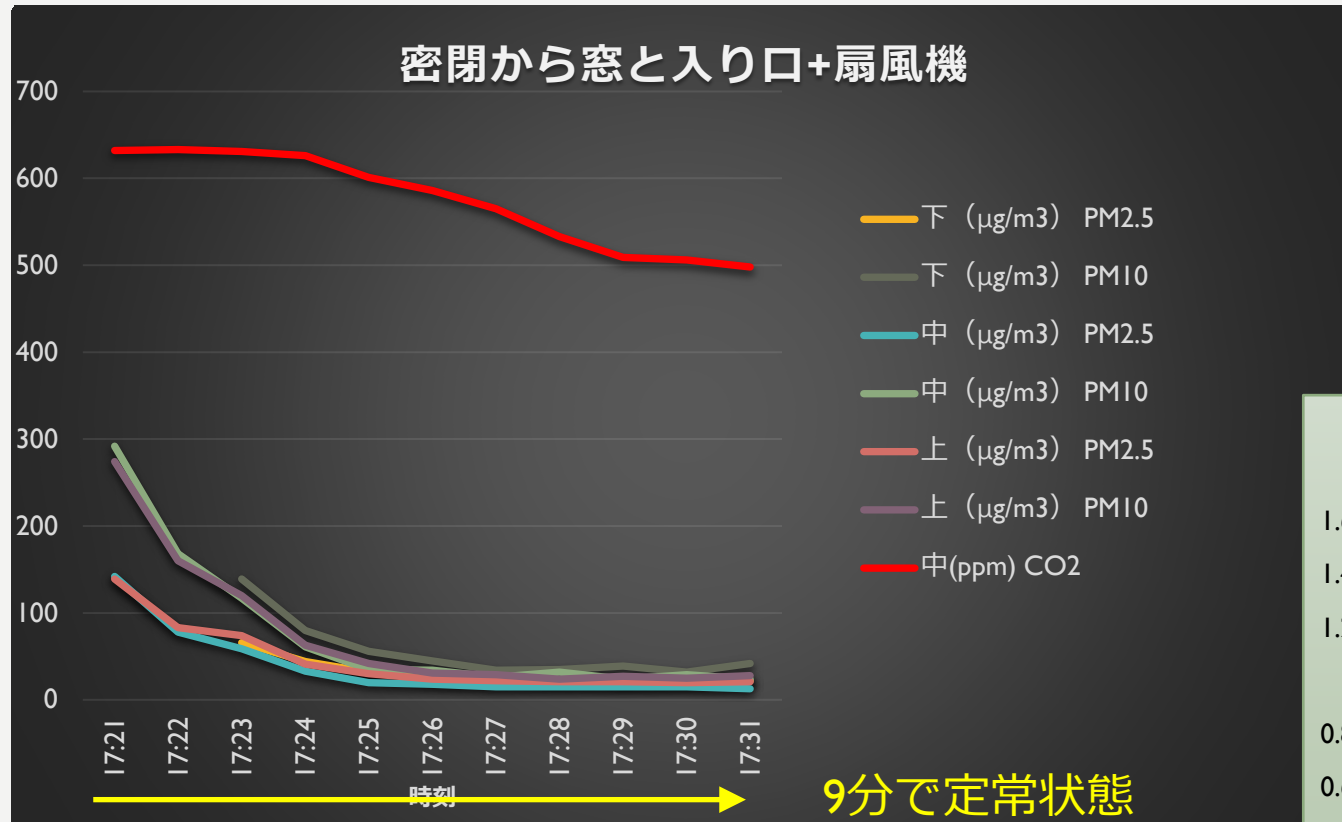


PM2.5より小さい飛沫核は、  
本センサでは計測が困難？！

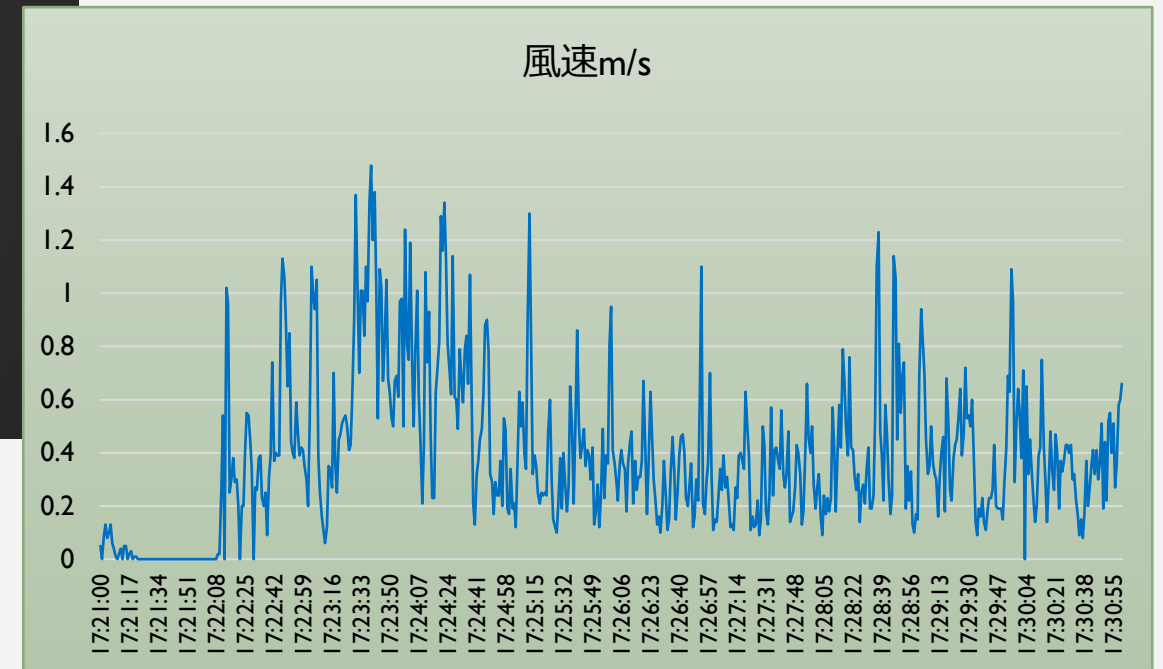


微粒子は沈降してしまうが，CO2は沈降せずに室内を漂うため，換気の指標としては有用

## 窓と入り口を開け扇風機を回した状態

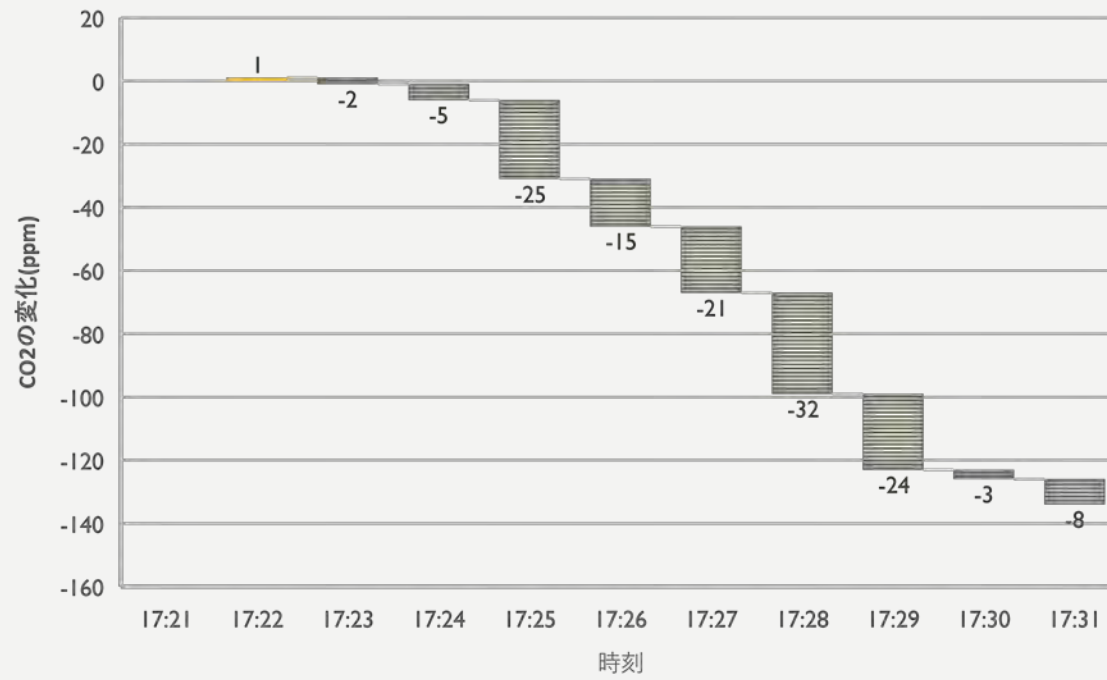


扇風機である程度空気を攪拌  
させても、PMの値は低下する。  
→ 飛沫核に？！

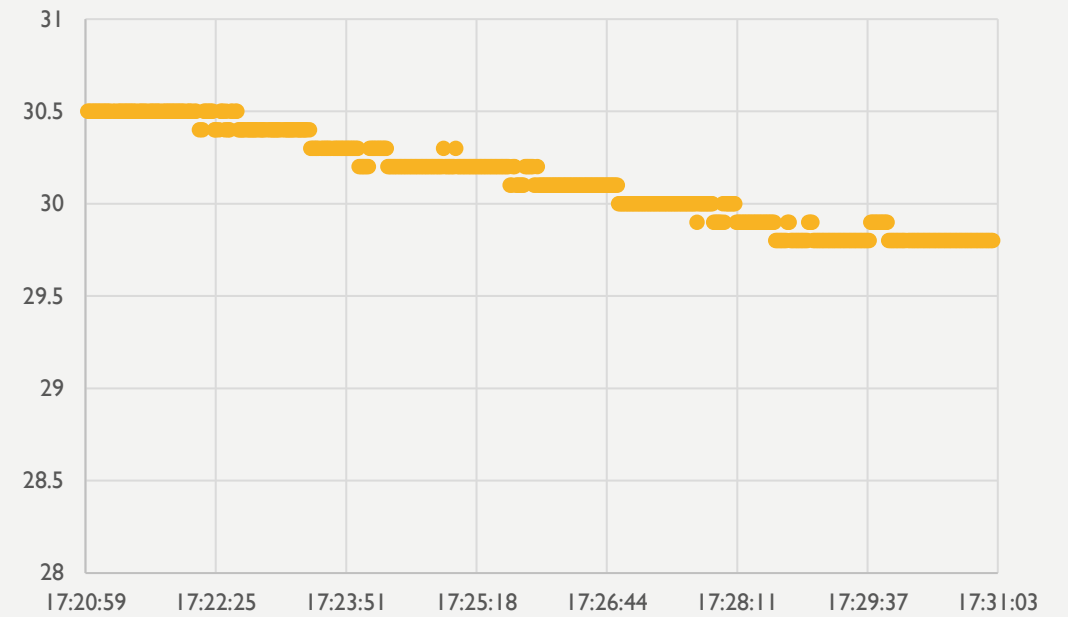


## CO2

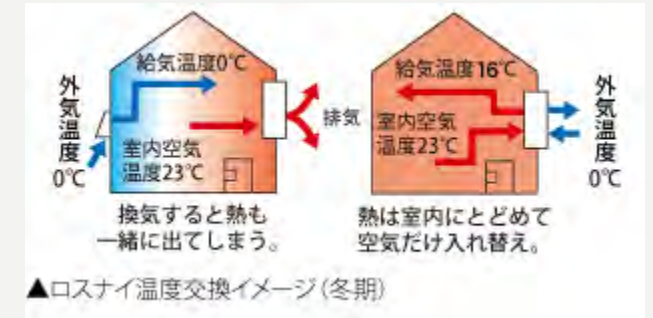
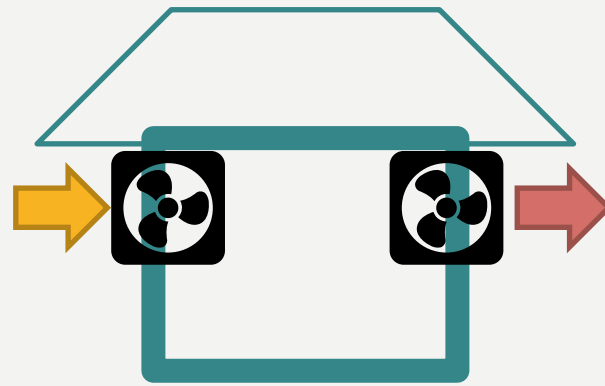
■ 増加 ■ 減少 ■ 合計



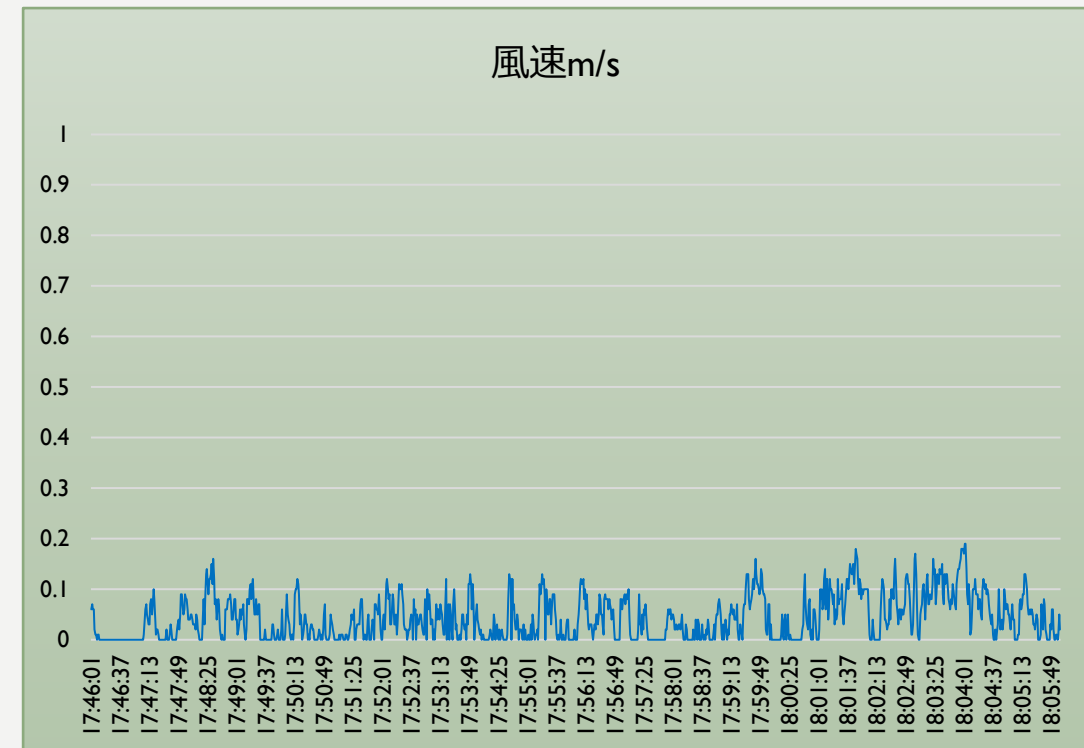
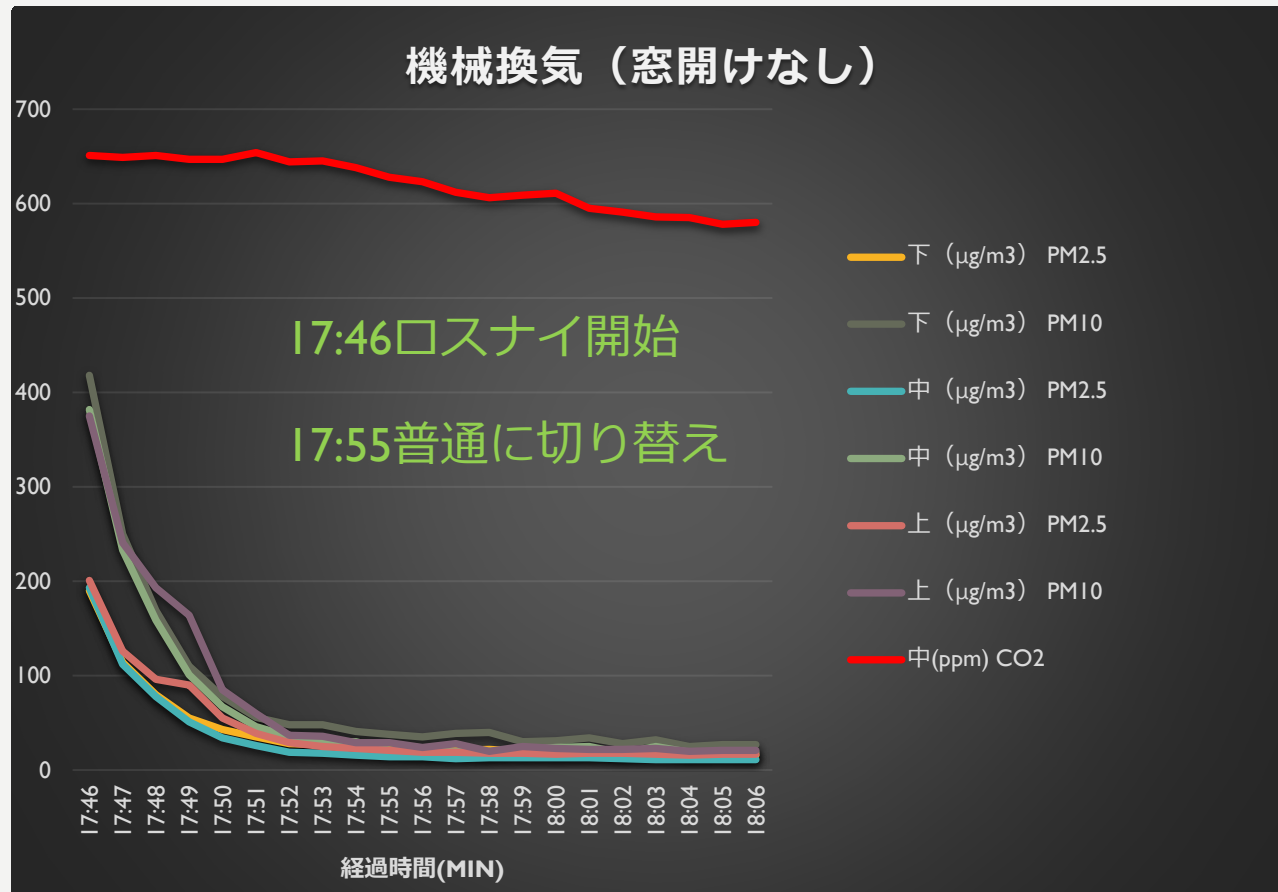
## 温度分布



# 機械換気のみ



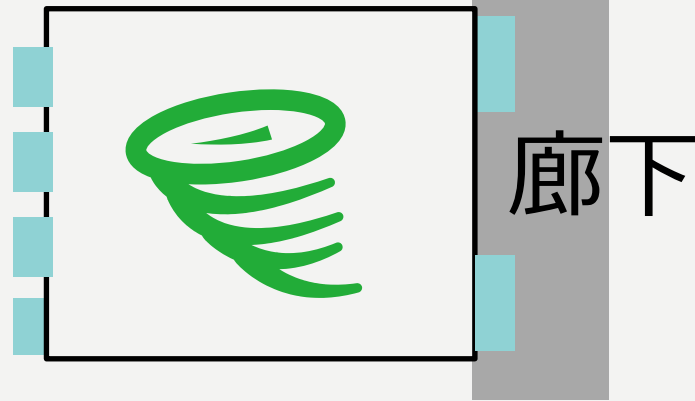
[https://www.mitsubishielectric.co.jp/ldg/ja/air/products/ventilationfan/about/detail\\_03.html](https://www.mitsubishielectric.co.jp/ldg/ja/air/products/ventilationfan/about/detail_03.html)



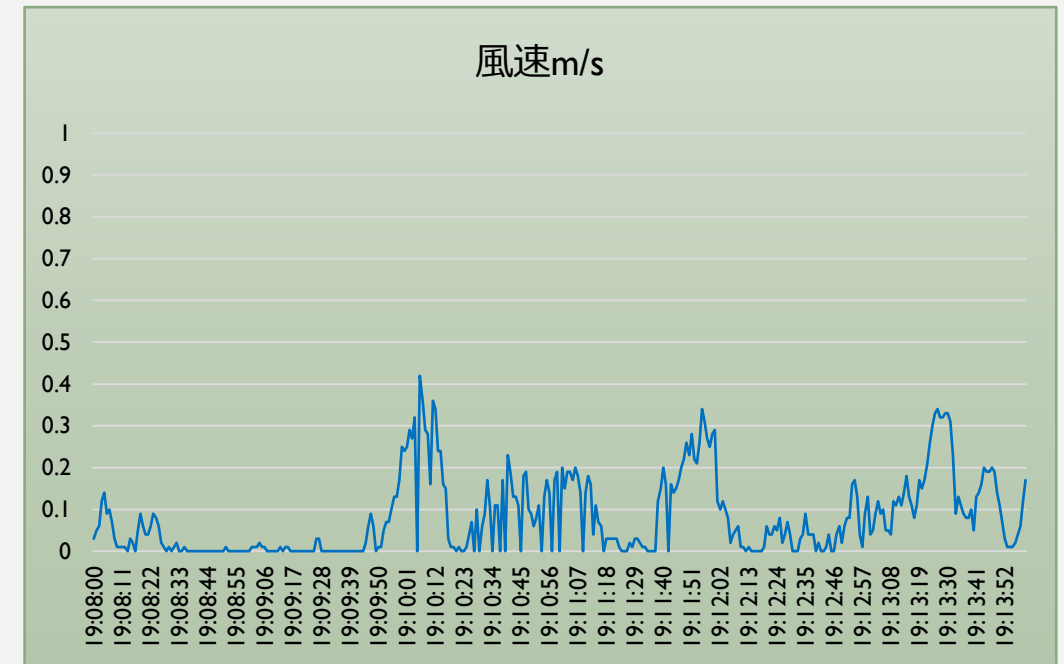
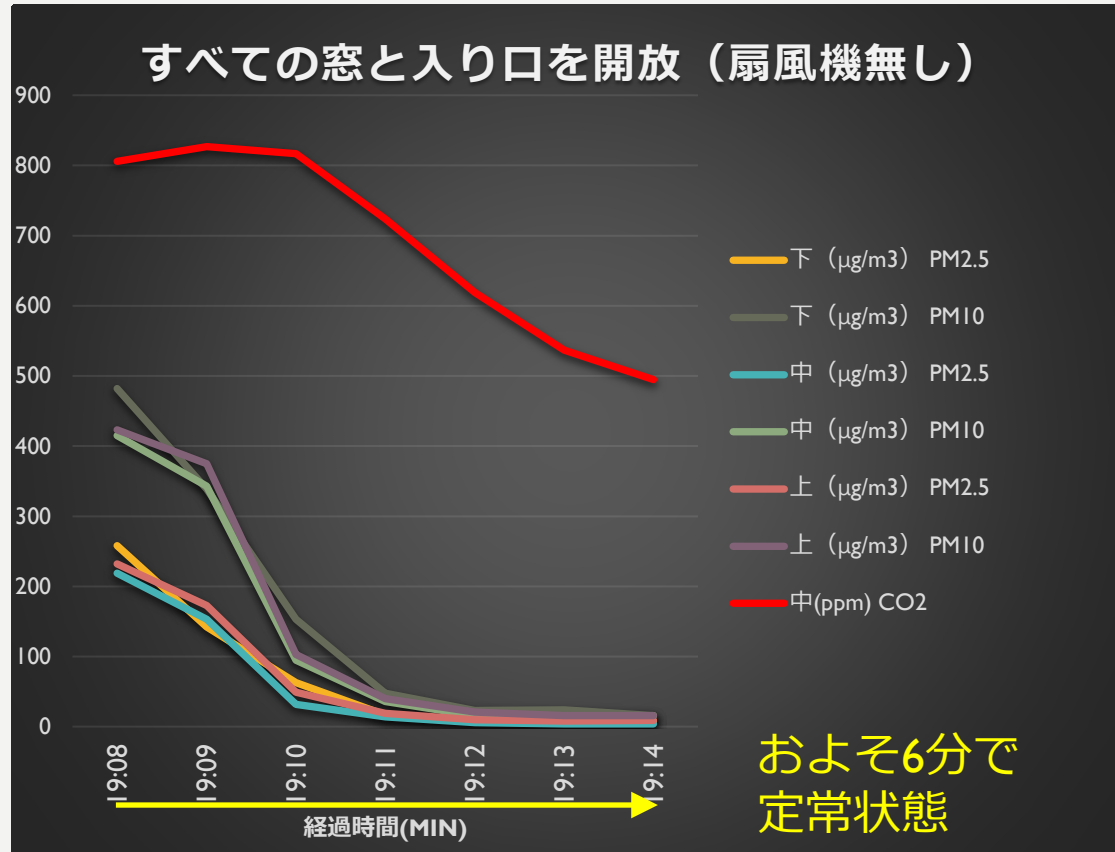


## 全窓・扉開放（扇風機なし）

外



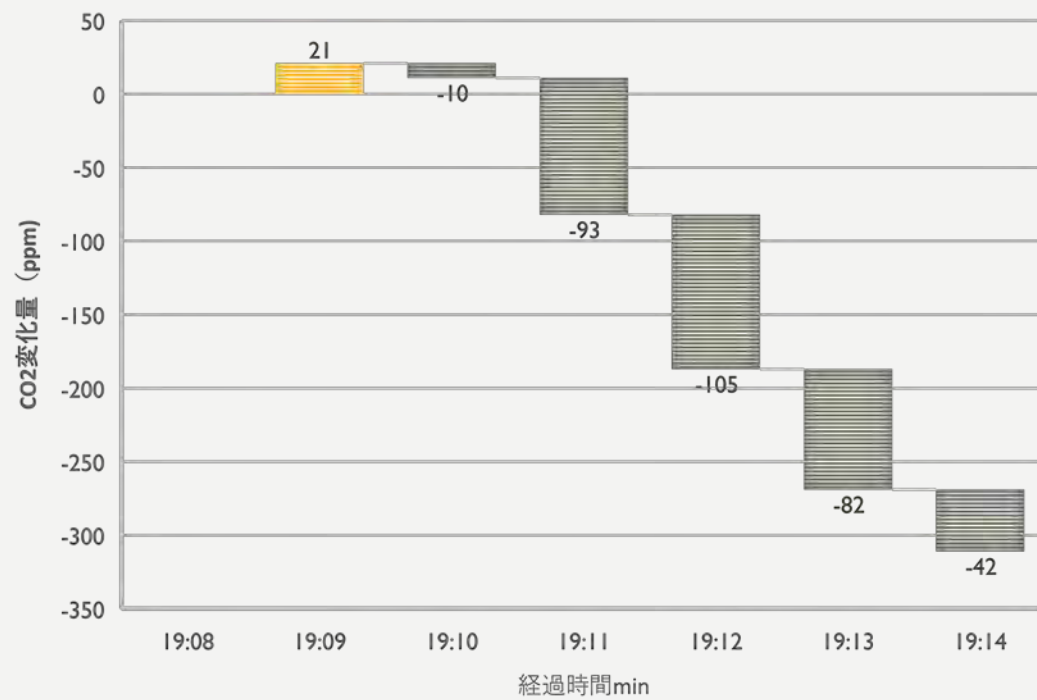
廊下



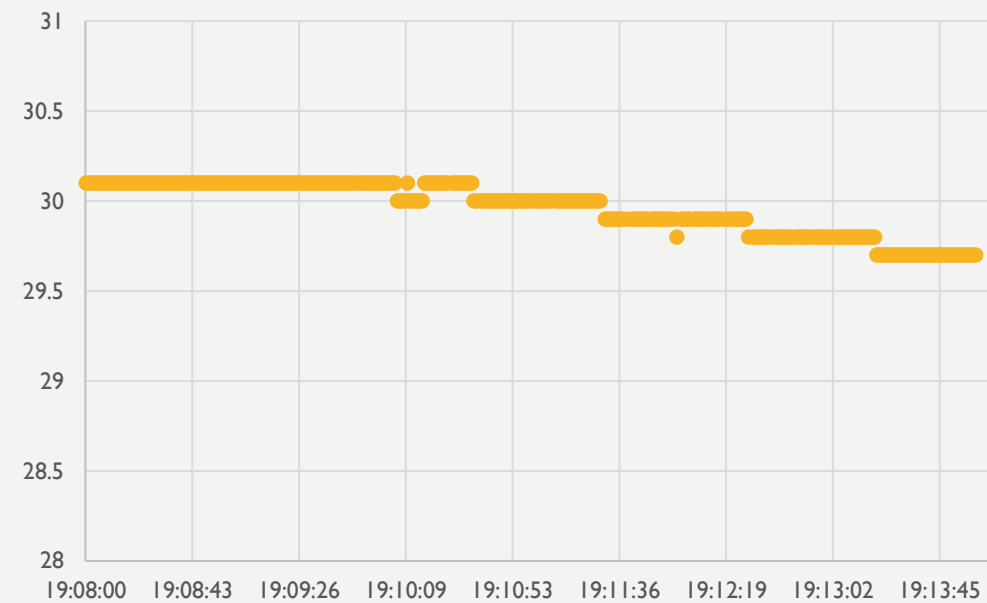
全開放だけで室内の風速は0.4m/sまで上昇（2箇所を開けたよりも風速は大きい。ただし、夕方であることも関連か。）

## CO2

■ 増加 ■ 減少 ■ 合計



## 温度



## 全窓・扉開放時の可視実験



開放



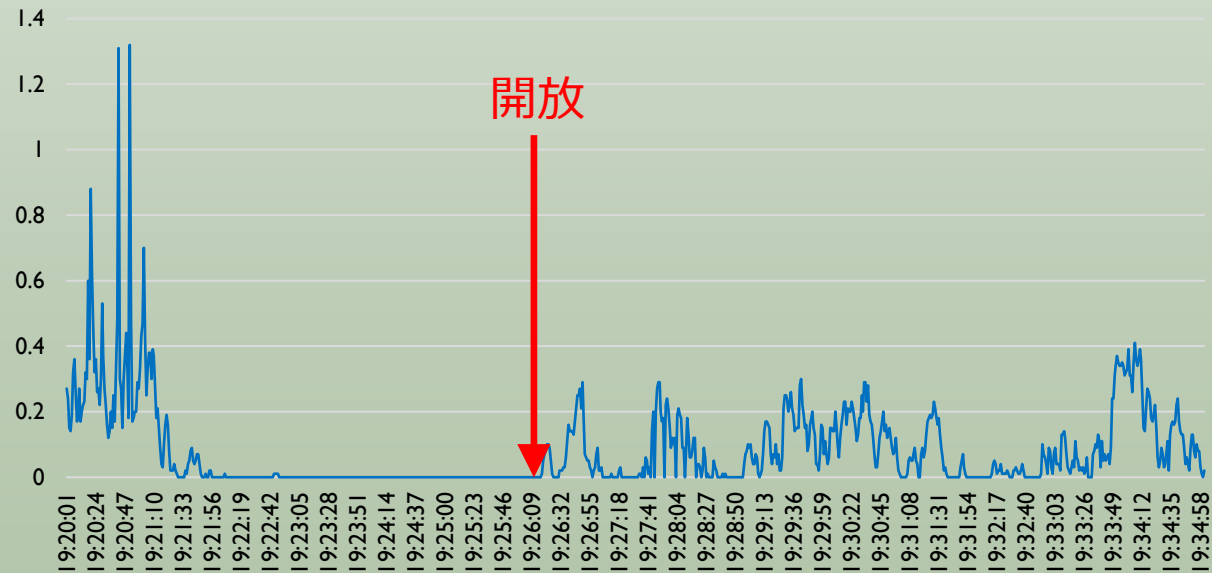
19 : 20

19 : 25

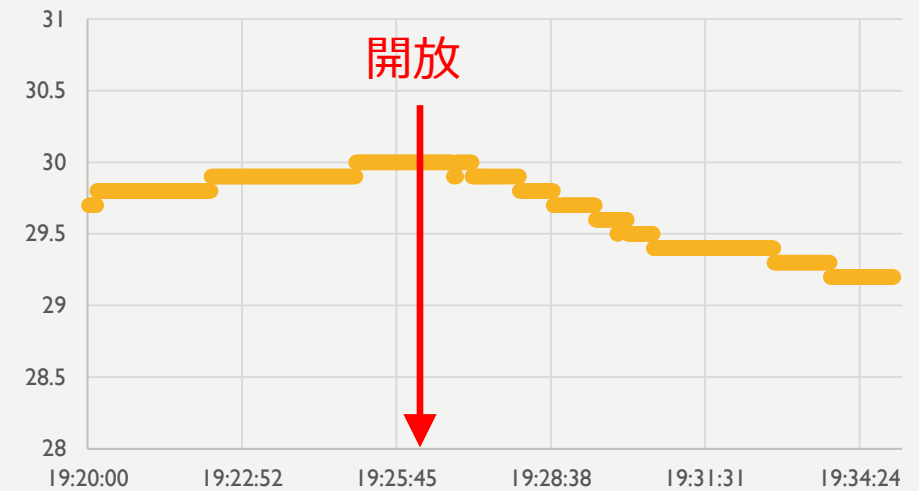
19 : 26

19 : 31

風速(m/s)



温度



# 大きな教室での自然換気効果 (EL43、126M<sup>2</sup>)



2020-0604 19:51



2020-0604 19:39



2020-0604 20:21

- この実験の際、部屋の内外で肌感覚や目視で空気の入れ替わりはなかった（JMA松山では下表）。スモークが完全に消散するには約40分を要した。
- 内外の温度差や屋外の風に影響を受けることがわかった。

時	気圧(hPa)		降水量	気温	湿度	風向・風速(m/s)		日照時間	天気
	現地	海面	(mm)	(°C)	(%)	風速	風向	(h)	
18	1001	1005	--	25.9	60	1.9	西南西	0.8	曇
19	1001	1005	--	25.5	63	1.3	南南西	0.1	曇
20	1002	1006	--	24.6	67	2.3	北東	0	晴れ

- ・PM2.5と10を計測したが、無風状態でも室内沈降するため飛沫核の指標としては有用ではない。一方、CO2は飛沫核の指標として利用できそうである。
- ・窓と入り口の2箇所を開けた状態では、およそ13分でCO2濃度が初期状態になった。また、2箇所を開けて扇風機を回した状態では、およそ9分であった。
- ・機械換気ではCO2濃度の減少量が緩やかであった。→ 機械換気だけでは不十分
- ・全ての窓・扉を開放した状態では、風速はわずかであるが、およそ5分でCO2濃度が初期状態になった。これは、可視化実験の実験とも一致する。→ 窓を全開にするのが一番良い。
- ・風速分布を測ると、窓と入り口の2箇所を開けた状態では、部屋の周辺に風が感じられた。さらに扇風機を加えると、窓と入り口の線上風速が大きくなった。  
→ 風の通り道を作ってあげたとしても、自然風の状態では、窓（給気）と入り口（排気）の線上を空気が通ってくれるとは限らない。

まとめると、窓・扉の全開がベスト。そのとき、室内空気の循環・攪拌はさらに有効。

また、全開できない場合は、排気・給気の2台を組み合わせた扇風機による強制換気が代替として有効である。



では、空気を入れ換えるタイミングは？ また、どうやったら空気入れ替え完了がわかるのか？



- ・ 外気の温度・風向き・風量に影響を受ける.
- ・ 教室の大きさ・形状・配置にも影響を受ける
- ・ 収容している人の数にも依存
- ・ もっと他に有効な指標があるかもしれない



## iセンシングセンター製 換気アラートシステムの開発

- ・ 全教室の常時モニタリングし、情報を集めたい（工学部講義棟だけで15室）
- ・ AIによって適切な換気タイミングをアラートしたい（教室毎に特徴があるため）
- ・ 安価に作りたい（市販サービスでは、端末1台3万、月額保守料3500円/台）

合計 ¥1,348,830

## SII社の場合

- 自作マイコンでCO2の濃度を、積層信号灯で教室毎表示
- 利点:
- SII社なので品質は安心
  - CO2データの収集は早々に稼働できる
- Ethernet



- フロアに1台ベース局を設置。
- 無線で送られてくる各教室のCO2データをEthernetでサーバに中継

欠点(1)ノード、ベースともAC電源が必要→設置場所は制約される

欠点(2)付属アプリの仕様がわからないのでパトライト用改造が難しいかもしれない

## アナリシス部門に聞いてみた

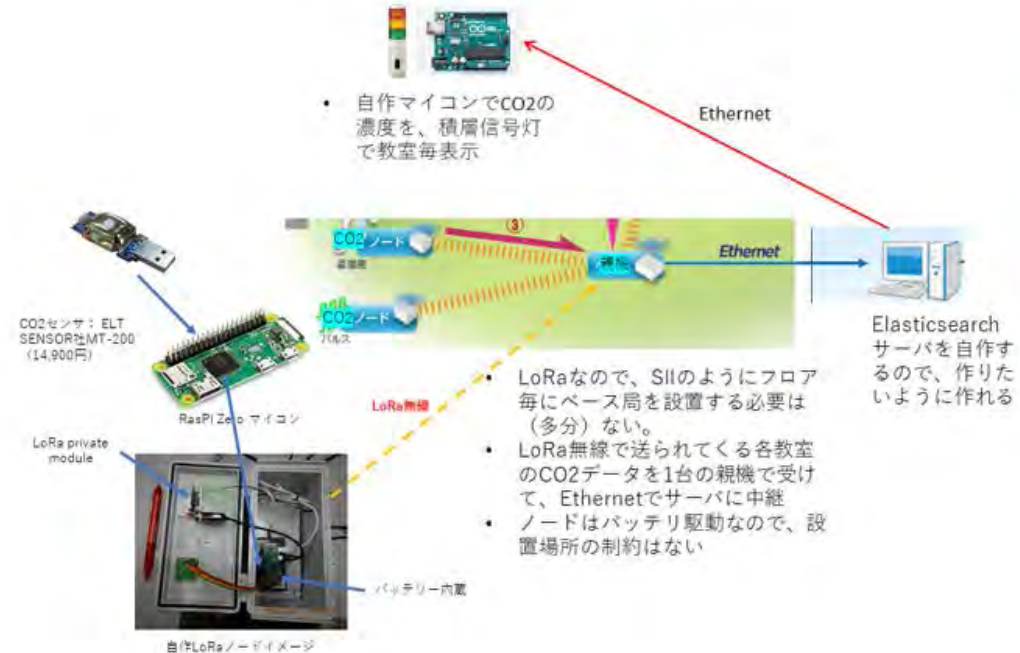
- AIの導入は面白そう（簡単にできる）

## センシング部門に見積ってもらった

- 自作自前のシステム
- 改良拡張可能
- 初期コストのみ

合計 ¥1,063,436

## （自作LoRaノード）+（高いCO2センサ）の場合



- LoRaなので、SIIのようにフロア毎にベース局を設置する必要は（多分）ない。
- LoRa無線で送られてくる各教室のCO2データを1台の親機で受けて、Ethernetでサーバに中継
- ノードはバッテリー駆動なので、設置場所の制約はない

- 利点:
- Logtta CO2のセンサ (S-300-3Vと同じELT Sensor社のセンサー)
- 欠点:
- 事前評価が必要



USB I/Fなので、こんな使い方ができる可能性（お楽しみ）がある

- ・愛媛大学の学生と附属施設の生徒・児童のため、ぜひファンディングにご協力下さい。  
(iセンシングセンターの教員は、学内インセンティブ経費を使わせて下さい。)
- ・システム製作・検証にご協力頂ける学生さんを紹介して下さい。
- ・工学部以外の方、一緒にやりませんか？  
また、学外の方のサポート、ウエルカムです！

お問い合わせは

電話番号：089-927-9676

E-mail：i\_sain@stu.ehime-u.ac.jp

工学部附属社会基盤iセンシングセンターまで

