

# 情報教育のための教室内の ICT を活用した空気の測定および改善

土肥 紳一<sup>1)</sup>

1) 東京電機大学 情報環境学部

dohi@chiba.dendai.ac.jp

## Air measurement of using ICT and improvement of air condition in classroom for information education

Shinichi Dohi<sup>1)</sup>

1) School of Information Environment, Tokyo Denki University.

### 概要

情報教育で利用する情報端末は、学生さんにノート PC 等の購入を求める BYOD(Bring Your Own Device) を取り入れる大学が増えている。情報端末はバッテリーの性能が向上し、満タンに充電しておけば 1 日程度利用できるようになったこと、無線 LAN 環境が充実したことにより、情報教育の場はコンピュータ教室から一般の講義室に移り変わろうとしている。すでにコンピュータ教室を設置しない大学も出ている。さらにノート PC は、タブレット型に推移し始めており、BYOD を中心とした機器や設備が注目されている。

教室内に BYOD の機器が持ち込まれると、その発熱に加え、受講者自身の発熱や水蒸気が生じ、教室内の気温と湿度が上昇する。これらは、空調の温度設定によって比較的容易に制御できる。もう一つ注目すべき点は、受講者の呼気に含まれる二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) である。教室内に多くの受講者が集まると、CO<sub>2</sub> 濃度は上昇する。筆者も長年、情報教育を担当してきたが、本研究を行うまでは CO<sub>2</sub> 濃度を意識して授業を行ったことはなかった。一般的に CO<sub>2</sub> 濃度が 1000ppm(0.1%) を超えると、眠気等の症状を誘発すると言われているが、情報教育の現場では意識されていないのが現実であろう。

本論文では、情報教育を実施する大規模や中規模の授業を対象に、空調等の環境が異なる教室内の空気を測定した。その結果と改善策について述べる。

## 1 はじめに

情報教育で利用する情報端末は、学生さんにノート PC 等の購入を求める BYOD の形態を取り入れる大学が増えている [1]。さらにノート PC は、タブレット型に推移し始めている。このような状況の中、情報教育を実施する教室は、コンピュータ教室から講義室へ広がるようになった。情報端末を設置するコンピュータ教室は、電源、情報コンセント、フリーアクセス、ノングレタイプ照明、空調等の設備が必要であり、多くの費用がかかる。また、情報端末を定期的にリリースする等の手間が発生する。

教材提示用のプロジェクタや書画カメラ、空調の設備は、講義室に常設されていることが一般的である。BYOD によって講義室を利用する場合は、電源コンセント、WiFi 等の必要最小限の設備を加えることで費用を削減できる。コスト削減を目的に、コンピュータ教室を設置しない大学も出ている [2]。

受講者が教室に集まると、BYOD で使用する機器

自体の発熱や受講者自身の発熱が生じる。さらに受講者の呼気が排出される。呼気の成分は、酸素が約 16%、CO<sub>2</sub> が約 4% と言われている。したがって教室に多くの受講者が集まると、呼気から排出された CO<sub>2</sub> によって教室内の空気の悪化を招く。

大気の成分は、酸素が約 21%、窒素が約 78%、二酸化炭素が約 0.04% と言われている。0.04% は 100 万分率、すなわち ppm(parts per million) に換算すると 400ppm になる。空気中の CO<sub>2</sub> の割合は僅かであるが、人体への影響は 1000ppm(0.1%) を超えると、眠気等の症状を誘発すると言われている。CO<sub>2</sub> 濃度の基準値は、厚生労働省では 1000ppm、文部科学省では 1500ppm と定められている [3][4]。受講者の呼気による教室内の空気の悪化によって、これらの基準を超えている可能性がある。

本論文では、情報教育を実施するいくつかの規模の授業を対象に教室内の空気を測定した。2 章では約 280 名を対象とした大規模な授業、3 章では約 60 名を対象とした中規模な授業、4 章では中規模かつ窓が開

かない空調だけの授業，空調が停止した場合の影響，5章では3章で取り上げた教室を対象にCO<sub>2</sub>濃度の可視化の試み，6章ではまとめと今後の課題を述べる．

## 2 大規模な授業での測定

大規模な授業として，約280名が受講するカリキュラム計画を対象に，2015年と2016年について測定を行った．以下にその内容を述べる．

### 2.1 カリキュラム計画について

情報環境学部は必修科目と学年が無く， Semester制と単位制を取り入れている．必修科目の代わりに事前履修条件を導入し，科目の履修順序を明確にしている．新入生は約1週間の集中講義で，各自の卒業までの時間割を作成することを授業の目的としている．

授業の前半は，BYODで持ち込んだノートPCに対して，学部の授業で必要になるアプリケーションやメールを含むネットワーク等の設定を行い，後半は設定が終わったノートPCを活用しながら，卒業までの時間割を作成する内容となっている．担当者は教員が約10名，SA(Student Assistant)が約10名である．その他，科目の説明等は各担当者に依頼している．

### 2.2 連携教室について

カリキュラム計画は，約280名の受講者を一斉に指導できる連携教室(207教室と208教室)を使う．この2つの教室は同じ形状の教室である．なお，教卓は，日毎に交互に入れ替えることによって，指導の公平性を担保した．各教室には，約140名の学生さんが着席する．3人掛けの机に3名が着生するため，中央に位置する学生さんは，窮屈な思いを強いられる．このような環境で，各自が持ち込んだノートPCを扱うため，テクノストレスが加わる．カリキュラム計画の教室の様子を図1に，207教室のレイアウトを図2に示す．教室の大きさは，幅約20m，奥行き約12m，高さ約3mである． は学生さんの着席位置を， は教授者の位置を，細長い は入口および窓を示している．

### 2.3 測定装置について

使用した測定装置はデータロガー(ST-501N)1台である．教卓に配置した様子を図3に示す．この装置は，現在，後継機種種のST-501NBになっている[5]．測定前にノートPCとデータロガーをUSBケーブルで接続し，ノートPCから日時，測定間隔等を専用のアプリケーション(STLogger)で設定する．その後，記録ボタン(Rec)を押すと記録が開始される．データの回収は，再びノートPCとUSBケーブルで接続し，STLoggerでデータを取り出す．WiFiの機能は無い．



図1 カリキュラム計画の教室の様子

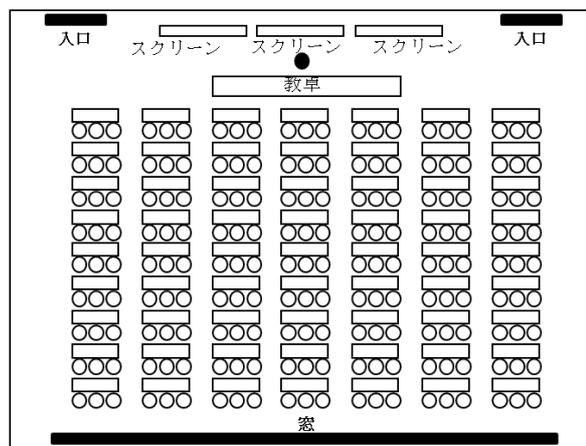


図2 207教室のレイアウト



図3 ノートPCとデータロガー(ST-501N)の様子

### 2.4 不快指数について

不快指数(Discomfort Index, 以下DIと略)は，蒸し暑さを表す指標として使われている．気象庁のtenki.jpによると，乾湿温度計で乾球温度( $T_d$ )と湿球温度( $T_w$ )から式(1)で求めることができる．

$$DI = 0.72(T_d + T_w) + 40.6 \quad (1)$$

表 1 不快指数 (DI)

DI	体感
~55	寒い
55~60	肌寒い
60~65	何も感じない
65~70	快い
70~75	暑くない
75~80	やや暑い
80~85	暑くて汗が出る
85~	暑くてたまらない

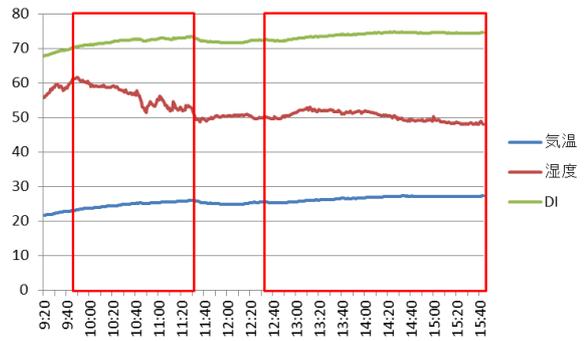


図 5 気温, 湿度, DI (2015 年 4 月 6 日 207 教室)

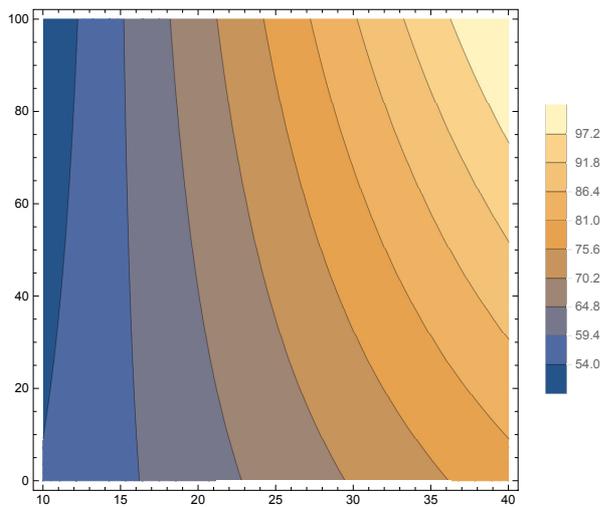


図 4 不快指数 (DI) の等高線表示

DI が 70 以上で一般に不快となり, 75 以上で半数の人が必ず不快, 85 以上でほとんどの人が不快になると言われている [6]. DI と体感の関係は, 表 1 に示す.

データロガーでは, 乾球温度すなわち気温 ( $T_d$ ) と湿度 ( $H$ ) が測定できる. ウィキペディアによるとこの 2 つから, 式 (2) で DI を求めることができる [7].

$$DI = 0.81T_d + 0.01H(0.99T_d - 14.3) + 46.3 \quad (2)$$

式 (2) を *Mathematica* で等高線表示したものを図 4 に示す. 横軸が気温 ( $T_d$ ), 縦軸が湿度 ( $H$ ) である. 使用した *Mathematica* のプログラムをリスト 1 に示す. 一例であるが, 気温 27 度辺りに着目すると, 湿度が高くなると DI が高くなる様子が窺える.

リスト 1 不快指数の等高線表示プログラム

```

1 DI[Td_, H_] := 0.81 * Td + 0.01 * H * (0.99 * Td
  - 14.3) + 46.3
2 ContourPlot[DI[t, h], {t, 10, 40}, {h, 0, 100},
  PlotLegends -> Automatic, Contours -> 9]

```

## 2.5 気温, 湿度の測定結果と DI

図 5 は, 2015 年 4 月 6 日に実施したカリキュラム計画の気温, 湿度, DI の推移を示したものである. 9:20~15:43 のデータを表示した. 赤枠で囲んだ部分が, 授業を実施している時間帯を示している. 授業開始後, ノート PC の電源が入り, 気温が少し上昇するが, 空調が機能しており気温の上昇は抑えられている. また湿度は, 時間の経過に伴って低下している. 授業中の DI は 70%~75% で不快を感じる領域にあり, 体感は「暑くない」であった.

## 2.6 CO<sub>2</sub> 濃度の測定結果

図 6 は, CO<sub>2</sub> 濃度の推移を示したものである. 先ほど同様に赤枠で囲んだ部分が, 授業を実施している時間帯である. CO<sub>2</sub> 濃度は, 授業開始後教室のドアと窓を閉め切っていたため急激に上昇し, 10:43 に 4224ppm を記録した. 筆者は教卓で指導を行っていたが, 空気の悪さを実感し, データロガーで CO<sub>2</sub> 濃度の異常を確認したため, 急遽, ドアと窓の解放を行った. その後, CO<sub>2</sub> 濃度は 11:30 の時点で 1047ppm まで急速に低下した.

11:30 から 12:30 までは昼休みに入り, ドアと窓の解放を行ったままの状態でも, CO<sub>2</sub> 濃度は 500ppm に低下した. 12:30 から授業を再開し, しばらくすると CO<sub>2</sub> 濃度が上昇した. ドアと窓は解放していたが, 空気が流れが午前中と比較して弱かったため, 換気効果が低下し, 13:10~15:45 にかけて 1000~2000ppm の CO<sub>2</sub> 濃度となった.

## 2.7 考察

CO<sub>2</sub> 濃度は, ドアや窓を解放することによって大気を循環すると, 急速に改善できることが分かった. また, 最初から教室に居る人は, CO<sub>2</sub> 濃度が上昇しても空気の汚れを感じにくく, BYOD を活用した作業に集中していると, さらに気が付きにくいことが分かった. 今回は CO<sub>2</sub> 濃度の測定によってその異常を検出

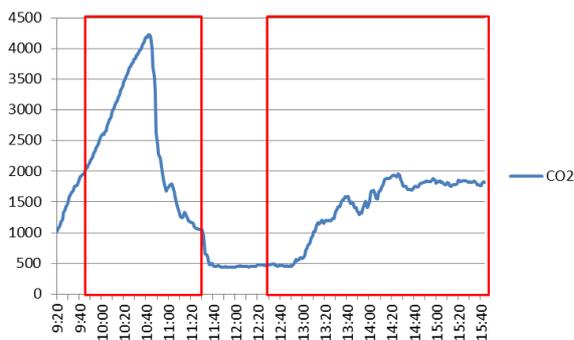


図6 CO<sub>2</sub>濃度(2015年4月6日207教室)

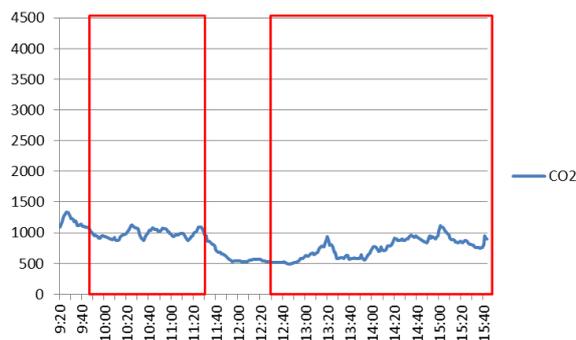


図8 CO<sub>2</sub>濃度(2016年4月6日207教室)

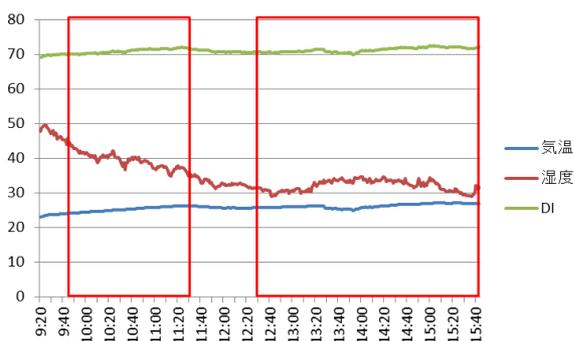


図7 気温,湿度,DI(2016年4月6日207教室)



図9 i-roomの様子

し換気を行えたが、測定していなければ十分な換気を行わないまま授業を継続し、気分が悪いと申し出る学生さんが出ていた可能性がある。

式(2)では、 $DI$ の算出に $CO_2$ 濃度は無関係なため、 $DI$ が不快を示さないからと言って安心できないことが窺える。

### 2.8 2016年の測定結果

2015年の経験を基に、2016年の実施では $CO_2$ 濃度に注意しながら換気を行いながら授業を行った。その結果を図7と図8に示す。 $DI$ は65%~70%で不快を感じない領域にあり、体感は「快い」となった。 $CO_2$ 濃度は、全体を通じて、1500ppm以下に抑えられており換気による改善効果が示された。

## 3 中規模な授業での測定

60名程度(中規模)の受講者が集まるコンピュータプログラミングAの授業を対象に2016年9月14日に測定した。

### 3.1 コンピュータプログラミングAについて

コンピュータプログラミングAは、Java言語を使い手続き型プログラミングの入門を学習する。この授業は履修者数が多いため、5クラスに分割して実施している。

### 3.2 i-roomについて

筆者が担当するクラスは、i-roomを使う。この教室は、ワークショップ棟の2階に位置する。1階は木工等を行う作業場として使われており、塗装等の作業の場合は、有機溶剤の異臭が漂ってくる。また、工具の騒音等が避けられない。i-roomは西日が当たり、夏場は教室内の気温は30度近くまで上昇する。

i-roomは、テーブルが8個並ぶ形状の教室である。スクリーンは3箇所分散配置され、着席する位置によっては、教卓に背中を向けることになる。教室の様子は図9に、教室のレイアウトは図10に示す。大きさは、教卓側の幅が約11m、奥行き約13m、高さ約3mである。、、は、2.2節で述べた通りである。

### 3.3 気温,湿度の測定結果とDI

測定装置は2.3節で示したデータロガー1台であり教卓に配置した。図11は、測定した気温と湿度、および $DI$ の推移を示したものである。授業時間は、14:30~16:20であり、赤枠で示した。測定は13:10から開始し、受講者が居ない状態を含めて行った。この日の受講者数は、教授者、TA( Teaching Assistant), SAを含め、約65名である。14:20頃から受講者が集まり始

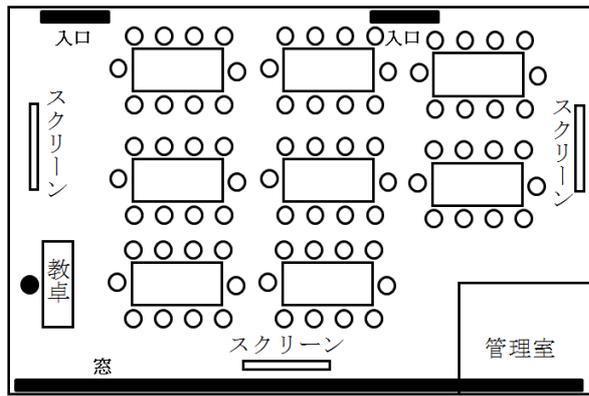


図 10 i-room のレイアウト



図 12 CO<sub>2</sub> 濃度 (2016 年 9 月 14 日 i-room)

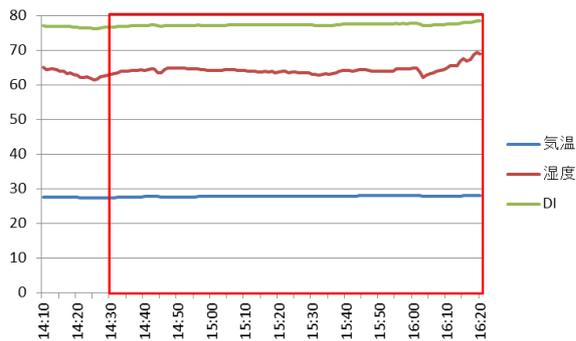


図 11 気温, 湿度, DI (2016 年 9 月 14 日 i-room)



図 13 PC 教室 3 の様子

め、ノート PC の電源が入り、室温が少し上昇するはずであるが、空調が機能しており室温と湿度の上昇は抑えられている。DI は 75 ~ 80% で半数の人が必ず不快を感じる領域にあり、体感は「やや暑い」の状況になっていた。

### 3.4 CO<sub>2</sub> 濃度の測定結果

CO<sub>2</sub> 濃度の測定結果は、図 12 に示す。授業開始後教室のドアと窓を閉め切っていたため、急激に上昇し 1200ppm に達した。i-room は、換気の機能が付いており、その機能も作動した状態であったが、換気能力を超えていることが窺える。15:35 の時点で CO<sub>2</sub> 濃度が 1200ppm 近くに上昇したため、入口のドアと窓の解放を行った。その後、CO<sub>2</sub> は低下し、15:40 以降は 1000ppm を下回った。

### 3.5 考察

ここでも、ドアや窓を開放し換気を行うことが効果的であることが示された。窓を解放すると、風が入って空気の循環には好都合であるが、スクリーンが風で揺れる問題が発生する。また、雨天の場合は雨が吹き込む。真夏日では気温の上昇を、真冬日では気温の低下を招く。季節によっては、蚊等の害虫の侵入も発生するため、窓の解放には限界がある。

## 4 中規模かつ窓が開かない空調だけの授業

2012 年 4 月に開設した東京千住キャンパスは、窓が開かない構造(フィックス窓)になっており、教室内の空気は、空調だけで制御されている。

### 4.1 コンピュータ基礎 II について

コンピュータ基礎 II は、工学部第二部電気電子工学科の 1 年生を対象としたプログラミング入門の授業である。受講者は約 50 名、社会人も含まれる。プログラミング言語は C 言語を学習する。この授業では BYOD は導入していないため、シンクライアントが設置されたコンピュータ教室(PC 教室 3)を利用する。開講時間は火曜日の 19:50 ~ 21:20 である。教室の様子は図 13 に、教室のレイアウトは図 14 に示す。PC 教室 3 の大きさは、幅約 18m、奥行き約 10m、高さ約 3m である。、、は、2.2 節で述べた通りである。

### 4.2 測定結果と考察

図 15 と図 16 は、2016 年 1 月 19 日の授業の気温、湿度、DI、CO<sub>2</sub> 濃度の推移を示したものである。この日の受講者数は、教授者、TA を含め、約 45 名であった。不快指数は 65% ~ 70% で不快を感じない領域に

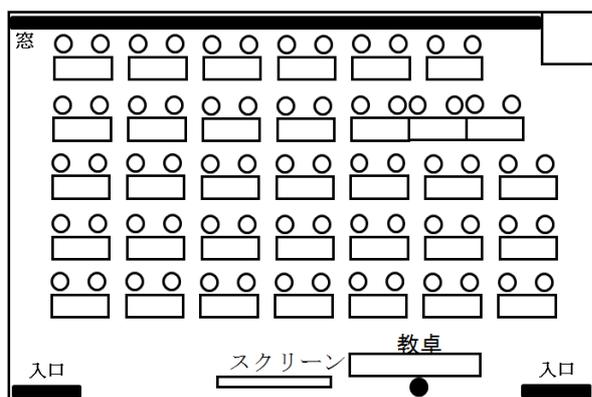


図 14 PC 教室 3 のレイアウト

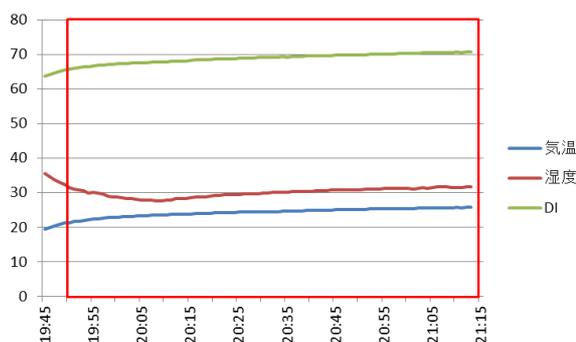


図 17 気温, 湿度,  $DI$ (2016 年 1 月 26 日 PC 教室 3)

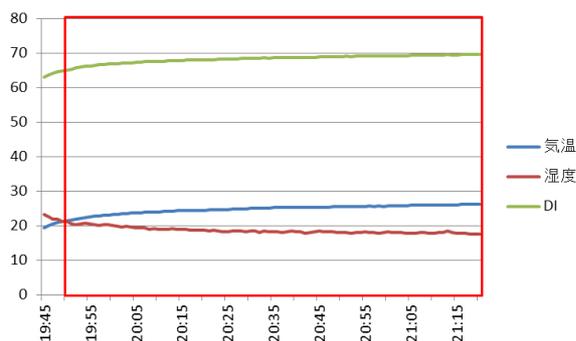


図 15 気温, 湿度,  $DI$ (2016 年 1 月 19 日 PC 教室 3)



図 18  $CO_2$  濃度 (2016 年 1 月 26 日 PC 教室 3)

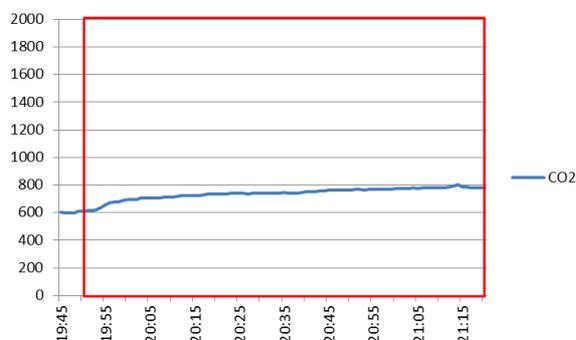


図 16  $CO_2$  濃度 (2016 年 1 月 19 日 PC 教室 3)

あり, 体感は「快い」に,  $CO_2$  濃度は 800ppm 以下に抑えられ, 理想的に制御されていることが分かった。

一方, 図 17 と図 18 は, 2016 年 1 月 26 日の測定結果である。この日は, 期末試験を実施した。授業終了後に測定結果を見て分かったことであるが, 20:10 以降, 空気が停止し  $CO_2$  濃度, 気温, 湿度,  $DI$  の上昇を招いていた。補講日を利用したため, 途中で空気が止まったようである。 $CO_2$  濃度は, 最高で 1875ppm に達していた。最初から教室に在ると, 空気の悪さを感じにくいことを体験し, 空調を過信することなく  $CO_2$  濃度の正確な測定が必要であることが分かった。

## 5 ICT を活用した空気の測定

これまでの測定は, データロガー 1 台のみで行っており, 教室内の一か所しか測定できなかった。座席が自由席の場合は, 一般的に教卓から離れた位置に受講者が着席する傾向があり,  $CO_2$  濃度の差が考えられる。また教室の構造によって, 空気の攪拌(かくはん)に偏りが生じることが考えられる。この様子を探るために, 教室内に複数の測定装置を配置し, 時刻の同期をとりながら測定でき, データの回収が容易に行える ICT を活用した測定装置を導入することにした。

### 5.1 導入した測定装置

測定装置は, ワイヤレスデータロガー (RTR-576-H, 以下子機と略) である [8]。1 台の親機 (RTR-500C) で, 最大 32 台の子機を登録できる。親機とノート PC は USB ケーブルで接続し, 親機と子機の間は WiFi で通信できる。これらの関係を図 19 に示す。左側がノート PC, 右下がノート PC と USB ケーブルで接続した親機, 右上の 2 台が子機である。 $CO_2$  センサーは子機に内蔵されており, 気温と湿度センサー (HHA-3151) は, ケーブルで子機と接続されている。親機と子機の間は, WiFi が届く範囲 (100m 程度) で自由に配置でき, 通常の教室は十分にカバーできる。



図 19 ノート PC, 子機, 親機の様子



図 20 i-room の机に分散配置した子機の様子

## 5.2 子機と親機の事前の設定

測定には親機を 1 台, 子機を 14 台使用した. 最初に親機とノート PC を USB ケーブルで接続し, RTR-500C ユーティリティで親機名を設定する. 親機名は Sie-RTR-500C とした. 次にノート PC と子機を USB ケーブルで接続し, グループ名は SieG1 に, 子機名は Sie01 ~ Sie14 を設定した. 再び, ノート PC と親機を USB ケーブルで接続し, RTR-500C ユーティリティを使って, 親機が管理する子機名を登録した.

親機の電源は, USB ケーブルでノート PC から供給する. 子機の電源は, AC アダプターもしくは単三アルカリ乾電池 4 本が使える. 教室内の電源コンセントを確保することが難しかったため, 乾電池を使った. i-room は他の授業でも使用しており, 子機は配置したままにできないため, 測定毎に配置と回収を行った. Sie01 ~ Sie14 の子機は, i-room 内の机, 書棚等へ分散配置した. この様子を図 20 と図 21 に示す. なお, 親機は教卓に配置したが図 21 には記載を省略した. 測定時の測定間隔の設定, 開始, 停止, データの回収は, ノート PC を接続した親機から一括して行え, 大変便利である. なお, 子機にはスイッチ類が付いているが, 測定中は, 電源スイッチを含め, 操作をロックできる機能が付いており, うっかり操作等を防止できる.

## 5.3 測定結果と CO<sub>2</sub> 濃度分布の可視化

測定は, 2016 年 9 月 12 日 11:20 ~ 16:27 にかけて行った. 代表して子機 (Sie06) の結果を図 22 に示す. この日は, 11:30 ~ 13:10 に筆者が担当する大学院の教育システム工学特論の授業を行い, 受講者は教授者を含め約 20 名であった. CO<sub>2</sub> 濃度は, 800ppm を下回っていた. その後, 14:30 ~ 16:20 に学部のコンピュータプログラミング A の授業を行った. 受講者は教授者, TA, SA を含め約 60 名であった. 64 名が

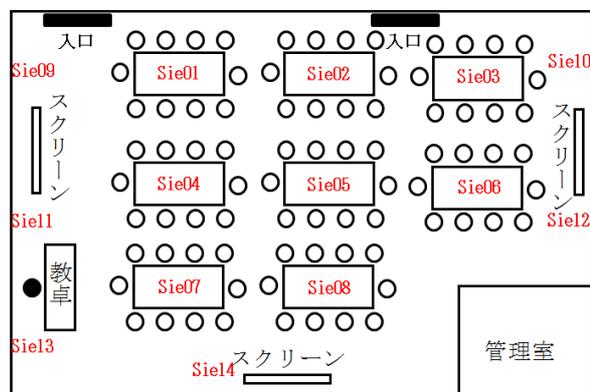


図 21 i-room の子機の配置

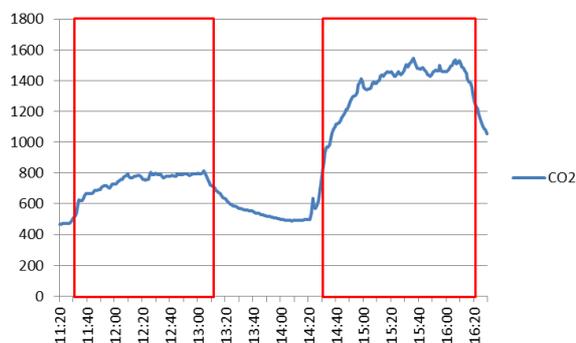


図 22 CO<sub>2</sub> 濃度 (2016 年 9 月 12 日 i-room Sie6)

教室の定員になっており, ほぼ定員状態である. なおデータの回収は, 子機 1 台につき 20 秒程度であり, 14 台の回収に約 5 分程度を要した.

CO<sub>2</sub> 濃度分布の可視化を行うため, i-room は 14 × 24 のマス目に分割し, Sie01 ~ Sie14 の配置に近いマス目に測定結果を設定した. 測定値が存在しないマス目は線形補完を行った. グラフの表示は Mathematica V11 の ListPlot3D を使った. CO<sub>2</sub> 濃度 (最大値の分布) を表示するために使用した Mathematica のプロ

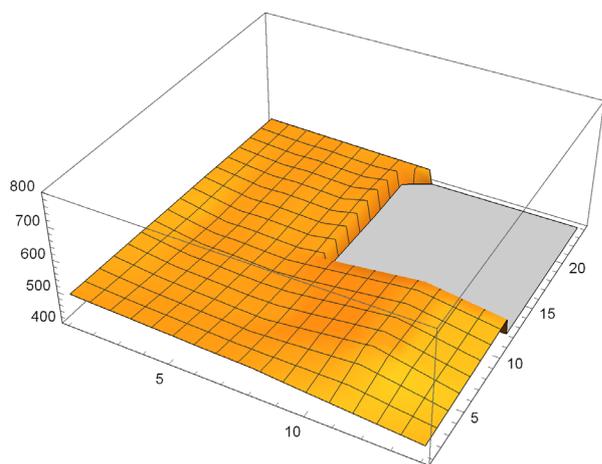


図 23 CO<sub>2</sub> 濃度最小値の分布 (2016 年 9 月 12 日 i-room)

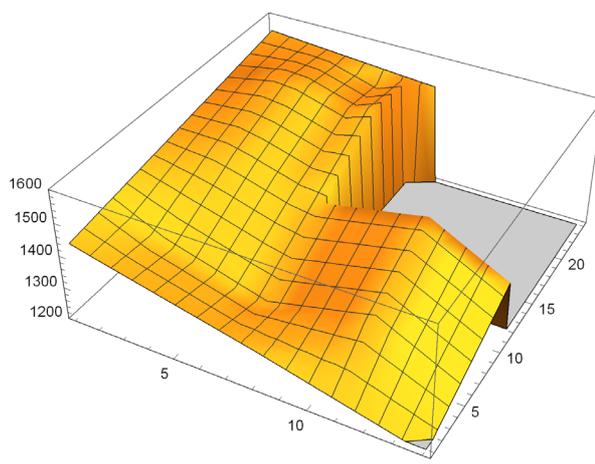


図 24 CO<sub>2</sub> 濃度最大値の分布 (2016 年 9 月 12 日 i-room)

グラムをリスト 2 に示す．なお，データ部分は紙面の都合で途中を省略した．

リスト 2 CO<sub>2</sub> 濃度 (最大値の分布) 表示プログラム

```

1 Co2MaxMatrix:={
2   {1433,1414,1396,1378, 途中省略 ,1187},
3   {1438,1415,1392,1373, 途中省略 ,1202},
4     途中省略
5   {1557,1551,1545,1539, 途中省略 ,0}
6 }
7 ListPlot3D [ Co2MaxMatrix, PlotRange
  ->{1200,1600}]

```

CO<sub>2</sub> 濃度分布の顕著な特徴を探るために，各子機が測定した最小値と最大値に着目し，その結果を図 23 と図 24 に示した．最小値の分布は i-room に受講者が居ない場合を，最大値の分布は受講者が最も多い場合の CO<sub>2</sub> 濃度分布を可視化できたことになる．図 24 の最大値の分布に着目すると，図 5.2 で示した Sie08, Sie10, Sie12 周辺に濃度の高い部分があることが分かった．この部分は，教室内の空気の循環が悪い部分を示していると考えられ，換気の改善に活用できる．測定したデータを使って，時間軸の中で CO<sub>2</sub> 濃度がどのように変化しているのかを分析する予定である．

## 6 まとめと今後の課題

情報教育を実施する授業を対象に，教室形状の異なるいくつかの授業で気温，湿度，CO<sub>2</sub> 濃度を測定した．この結果，気温や湿度の上昇は体感として感じやすく，空調によって制御し易いことが分かった．

一方，CO<sub>2</sub> 濃度は，多くの受講者が集まる授業で換気が不十分な場合，急速に上昇することが分かった．この上昇に気付かないまま，授業を行っている可能性がある．受講者があくびをするなどの行動は，教室内の空気の悪化が原因かも知れない．CO<sub>2</sub> 濃度の上昇

は，気温や湿度と異なり測定装置がないと気が付かない．1000ppm 辺りを超えた段階で，換気を促すような簡易チェッカーが教室があると便利である．ICT を活用する情報教育では，その操作に集中するあまり，CO<sub>2</sub> 濃度の上昇を認識しにくい傾向が窺える．受講者のモチベーションの向上を目指し，教室内の空気を測定し，換気に注意しながら授業を行っていきたい．本研究の一部は，科学研究費補助金 (基盤研究 (C) 課題番号 15K01090) として行っている．

## 参考文献

- [1] 殷 成久, 藤村 直美. 新入生 PC 必携化講習会の実施. AXIES 講演論文集, W2E-1, 2013 .
- [2] 田中 雅章, 神田 あづさ, 大森 晃, 松尾 徳朗, 加藤 成明. 演習室のない情報処理演習の運営. PC カンファレンス講演論文集, pp.189-190, 2016 .
- [3] <http://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/seikatsu-eisei10/>, 建築物環境衛生管理基準, 厚生労働省, 2016 年 9 月 30 日 12:00 閲覧 .
- [4] [http://www.mext.go.jp/a\\_menu/kenko/hoken/1292482.htm](http://www.mext.go.jp/a_menu/kenko/hoken/1292482.htm), [改訂版] 学校環境衛生管理マニュアル「学校環境衛生基準」の理論と実践, 文部科学省, 2016 年 9 月 30 日 12:00 閲覧 .
- [5] <http://www.ureruzo.com/gas/CO2st501.htm>, データロガー, 2016 年 9 月 30 日 12:00 閲覧 .
- [6] <http://www.tenki.jp/dic/word/不快指数/>, 気象庁, 2016 年 9 月 30 日 12:00 閲覧 .
- [7] <https://ja.wikipedia.org/wiki/不快指数/>, 2016 年 9 月 30 日 12:00 閲覧 .
- [8] [http://www.tandd.co.jp/product/rtr500\\_series.html](http://www.tandd.co.jp/product/rtr500_series.html), ワイヤレスデータロガー, 2016 年 9 月 30 日 12:00 閲覧 .