

気体情報の時系列解析による 集合施設的生活環境・活動状況推測システム

篠原 雅貴¹ 田島 誠也² 中下 岬³ 近藤 亮磨¹ 岩井 将行¹

概要：近年，スマートフォンや環境測定機器の発達により温度，湿度，CO₂ 濃度などの気体の調査を容易に行えるようになった。スマートフォンに搭載されたセンサ（温度センサ，湿度センサ）で温度と湿度を測定でき，スマートフォンに環境測定機器を接続すれば臭気や CO₂ 濃度を測定することが可能である。例えば，CO₂ 濃度を測定する場合，従来の手法では，CO₂ 濃度センサを搭載した機器を設置し，システム化したものを用いることが一般的であるが，これは設置工事のコストや，災害または人為的な機器の破損の恐れがある。今回の手法では，スマートフォンに CO₂ 濃度センサを接続することによって，上記のようなリスクを回避しつつ低コストで広域的な調査を行うことが可能になった。

An Estimation System of Building Air Health and Indoor User Activities Using Air Measuring Mobile Application

MASATAKA SHINOHARA¹ SEIYA TAJIMA² MISAKI NAKASHITA³ RYOMA KONDO¹ MASAYUKI IWAI¹

1. モバイル端末と CO₂ 濃度センサを用いた 気体調査

スマートフォンと環境測定機器

スマートフォンには端末の動きを検知するセンサ（加速度センサ，ジャイロセンサなど）や，方位情報や位置情報を測位するセンサ（地磁気センサ，GPS センサ），周辺の温度・湿度のような環境情報を検知するセンサ（温度センサ，湿度センサ，圧力センサ，照度センサなど）が搭載されている。また，環境情報測定機器の小型化と発達によりスマートフォンと環境情報測定機器を接続した環境センシングが可能になった。これにより，スマートフォンセンサ情報に加えて CO₂ 濃度や臭気情報など，より多くの環境

情報を取得することが可能である。

CO₂ の人体への影響と測定手法

空気中における CO₂ の割合が高い空間は人体へ影響があることが知られ，一般的に CO₂ 濃度が上昇すると，脳の働きが鈍り，眠気，疲れを感じるなどの悪影響をもたらすといわれている。さらに高濃度になると，意識レベルの低下，震え，痙攣などの不随意運動を伴うこともある [1]。ビルや高齢者介護施設，学校などの集団生活環境において環境衛生上良好な状態を維持するために CO₂ 濃度に対して建築物環境衛生管理基準が定められている。この場合，CO₂ 濃度を監視するシステムが必要である。従来の手法では，固定 CO₂ センサノードの設置し監視体制を構築するが，この手法では設置コストや災害または人為的な機器の破損のリスク，一点の屋内位置情報のみの CO₂ 濃度監視体制といった問題が挙げられる。したがって，低コストで破損のリスクが低い，複数地点の屋内位置情報 CO₂ 濃度監視体制手法を提案する。

空気滞留位置の特定

屋内施設における空気滞留位置は，CO₂ 濃度が高いなどの気体情報によって発見することができる。CO₂ の濃度が高いということは，換気効率が悪い位置であると推測でき，

¹ 東京電機大学未来科学部情報メディア学科
Tokyo Denki University, School of Science and Technology for Future Life, Department of Information Systems and Multimedia Design

² 東京電機大学未来科学研究科情報メディア学専攻
Tokyo Denki University, Graduate School of Science and Technology for Future Life

³ 東京電機大学工学部第二部情報通信工学科
Tokyo Denki University, School of Engineering Evening Division, Department of Information and Communication Engineering

集合生活環境における風邪やインフルエンザなどのウィルスの蔓延を引き起こす恐れがある。そこで、換気効率を良くすることで上記の問題を予防することが可能であると考えられる。

想定シナリオ

近年、PM2.5 や花粉、煙草などの大気中の粒子による健康被害に対する関心が高まっている。本研究で空気滞留位置を特定することで、人体に有害な粒子を含んでいる可能性のある外気の進入があるかを調査することも可能である。今回は CO₂ センサを用いた測定であるが、PM2.5 や花粉などを測定可能なセンサを用いれば本研究の手法を応用してより高精度に CO₂ と同様に花粉や PM2.5 の進入経路の特定が可能になると考えられる。

1.1 関連研究

我々はスマートフォンと CO₂ 濃度センサを接続し測定可能とするプラットフォームを開発したが、スマートフォンを用いた屋内環境センシングを行った例は少ない。CO₂ 濃度および相対湿度変化に基づいた住宅内滞在人数の推定を行った研究が宮城教育大学の菅原らによって行われている [2]。また、室内 CO₂ 濃度と眠気・集中力の関係を非分散型赤外線吸収を用いて CO₂ 濃度を計測し、眠気と CO₂ 濃度の関係を探る研究と実験が長野県伊那北高等学校で行われている [3]。上記に示した通り、いずれの研究も複数地点での情報は得ていない。また実験方法についてもスマートフォンを用いた本実験と異なる。

CO₂ は温室効果ガスに含まれ、温室効果ガスによる環境への影響が問題視されている [4]。この環境問題に対して、スマートフォンセンサを用いた交通移動量による CO₂ 排出量の推定を行った研究がある [5]。これは、スマートフォンセンサを用いたユーザ参加型センシングの有用性を示唆している [6]。また、ユーザ参加型センシングに対する研究として重田らによるユーザ参加型センシングにおける誤計測地点の検知・修正手法の研究 [7] や青木らによるユーザ参加型環境センシングにおける状態依存型プライバシー保護手法の研究 [8] が行われている。

1.2 モバイル端末による測定の現状の問題点

モバイル端末を用いた大規模な測定は人件費などのコストがかかる。したがって、本研究のテーマは周辺環境測定を主要な行動として行うのではなく、人間の行動に付随して測定を行うことを期待している。

本研究では、CO₂ デテクタ (C2D-W02TR) をスマートフォンに接続し、屋内環境センシングを行った。CO₂ デテクタの画像を図 5 に示す。また、測定結果を分析し施設内における空気滞留位置の特定や屋内での活動状況を推定するシステムを考察する。

2. アンケート回答型気体調査アプリケーション

本章では、スマートフォンと CO₂ デテクタによる接続方法と屋内環境センシング実験のためのアプリケーションの概要と実装について述べる。

スマートフォンに CO₂ デテクタを接続した端末を用いて気体情報を取得するためのシステムを構築するために、Android を用いたアプリケーションを開発した。気体調査アプリケーション画面の調査員入力画面と、Wi-Fi アクセスポイント取得画面を図 1[1]、図 1[2] に示す。

AIRT (AIRmeasuringTool : AIRT) を起動すると上から順に以下の項目が表示される。

- アンケート項目
 - 調査部屋の棟名
 - 調査部屋階数
 - 調査部屋名
 - 最大収容人数
 - 現在在室人数
 - 全体的な人の活動
 - 換気扇などの動作
 - 測定高
 - 快適度
 - ドアまでの距離
- CO₂ デテクタ情報取得時間
- 気圧情報
- CO₂ 濃度
- 気温
- 湿度
- センサ ON/OFF ボタン
- Check ボタン
- EditClear ボタン

センサボタンを ON にしている間、スマートフォンに搭載されているセンサ情報と CO₂ デテクタが取得した CO₂ 濃度、温度、湿度情報が自動で csv ファイルで出力され、Check ボタンが押下できるようになる。Check ボタンを押下すると、調査員が回答したアンケート項目とアンケート項目下に表示されている項目一覧が csv ファイルで出力される。EditClear ボタンは調査員が入力したアンケート項目をリセットする。

調査員がより快適に調査する手法として、Wi-Fi のアクセスポイントを取得し、棟、階数場所情報と関連付けてアプリケーションに学習させる。これによって、調査時に Wi-Fi のアクセスポイントを取得した時点で学習した場所を推薦することが可能になる。



[1] 調査員入力画面 [2] Wi-FiAP 取得一覧
 図 1 気体調査アプリケーション画面

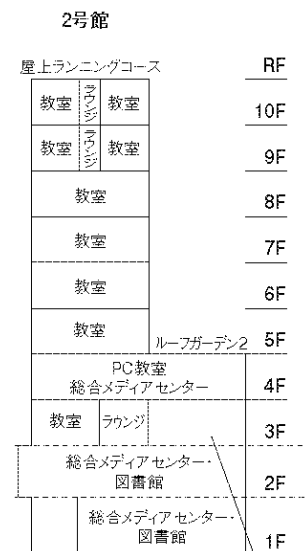


図 3 2号館内図

3. モバイル端末を用いた大学キャンパス内気体調査

スマートフォンに CO₂ デテクタを接続した屋内環境センシングでは、施設内を移動し様々なポイントで測定することが可能なため空気滞留位置を発見しやすい。本研究では、ビルや高齢者介護施設などの集合生活環境に対して適用可能であることを示すために、東京電機大学千住キャンパスにおいて、最も収容人数の多い棟である 2 号館 5 階～10 階の気体調査を行った。東京電機大学千住キャンパス図と 2 号館内図を図 2、図 3 に示す。

本章では、東京電機大学千住キャンパス 2 号館 5 階～10 階の気体情報を収集した屋内環境センシング実験について述べる。

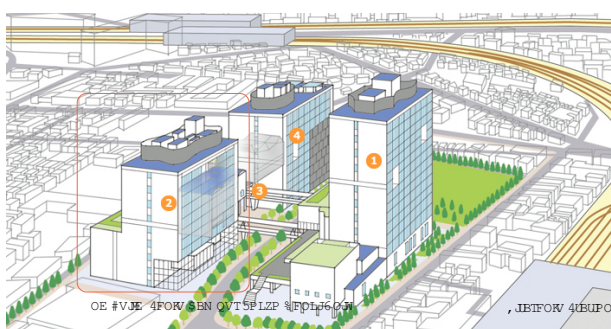


図 2 東京電機大学千住キャンパスビル群

3.1 気体情報調査による取得情報と手順

本調査において使用する機器の接続図と、フロア内を巡回する順序を図 5、図 6 に示す。図 5 の接続には USB On-The-Go (以下、OTG) に対応したケーブルが必要になる。OTG とは、USB2.0 の追加仕様であり、PC と周辺機器が Host と Function という形で明確に役割を分担して接

続されることに対し、周辺機器同士を接続するために定められた規格である。本調査で取得するセンサ情報一覧を表 1 に示す。

図 6 は調査場所のフロア案内図であり、番号が付与され

表 1 取得できるデータの種類の種類

取得できるデータの種類の種類
端末内部時間
加速度 (X, Y, Z)
重力加速度 (X, Y, Z)
地磁気 (X, Y, Z)
方位 (Pitch, Roll, Azimuth)
ジャイロ (X, Y, Z)
音圧
GPS 位置情報 (緯度, 経度, 高度)
近接情報
照度
気圧
気温
湿度
CO ₂ 濃度

ている箇所はチェックポイントである。本調査を行う調査員は以下の手順に従って気体情報の調査及び測定を行う。また、調査員の様子を図 4 に示す。

- (1) AIRT のセンサボタンをタップし、ON にする。
- (2) 未測定のチェックポイントがある教室に移動する。なお、チェックポイントは小さい値から順番で行う。
- (3) 未測定のチェックポイントに移動する。
- (4) 教室を移動した場合は、AIRT に表示されているアンケートに回答する。前回のチェックポイントと同様の教室で測定を行う場合は、棟・階数・場所情報を変更をしない。
- (5) AIRT 中央に表示されている測定高項目の“天井側”

を選択する。

- (6) チェックポイントの天井側を CO₂ デテクタで測定し、AIRT に表示されている測定時間が更新された後に、チェックボタンを押下する (この時、AIRT に表示されている内容を csv ファイルに出力される)。
- (7) AIRT 中央に表示されている測定高項目の“中央”を選択する。
- (8) CO₂ デテクタを調査員の身長の高さの位置で測定し、AIRT に表示されている測定時間が更新された後にチェックボタンを押下する (この時、AIRT に表示されている内容を csv ファイルに出力される)。
- (9) AIRT 中央に表示されている測定高の項目の“足元”を選択する。
- (10) CO₂ デテクタを足元の位置で測定し、AIRT に表示されている測定時間が更新された後にチェックボタンを押下する (この時、AIRT に表示されている内容を csv ファイルに出力される)。
- (11) 1つのチェックポイントで測定が終了した場合、(3)に戻る。また、全てのチェックポイントで測定が終了した場合、AIRT のセンサボタンを OFF にし、調査を終了する。

なお、CO₂ デテクタの最短測定更新間隔は 10 秒という仕様になっている。そのため、1つのチェックポイントにつき“天井側”，“中央”，“足元”と 3 回に及ぶチェックを行うので最低 30 秒を必要とする。



[1] 床から 1m の高さ



[2] 床から 2m の高さ

図 4 調査員の様子 (計測ポールを用いた例)

3.2 空気滞留位置の分析

本調査終了後、教室ごとに測定したデータを全てグラフ化した。グラフの例として 1つの教室のデータを図 7 に示す。なお、図 7 のデータは 2014 年 5 月 15 日午後 12 時 40 分に測定を行ったデータである。図 7 中の横軸の 2 桁の英数字列は、それぞれチェックポイントと測定高を示している。H は“天井側”，M は“中央”，L は“足元”を意味する。図 7 のグラフを元に、チェックポイント 1 で CO₂ が滞留していることがわかった。図 6 の中央はエスカレータであるため人流が多いと推測できる。また、2901 教室右



図 5 スマートフォンと CO₂ デテクタの接続図

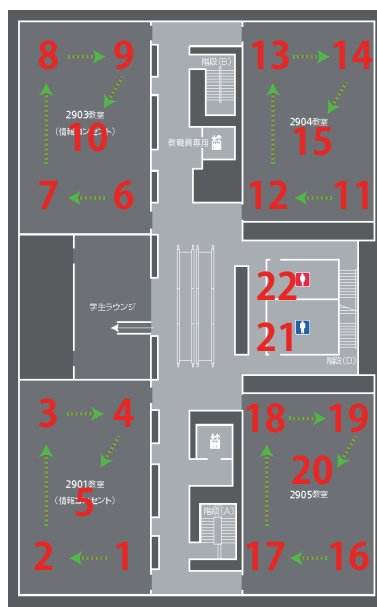


図 6 測定順序の一例 (9 階)

の階段は非常階段であるため、チェックポイント 1 周辺の人流は少ないと推測できる。また、他の教室の測定データと比べて、CO₂ 濃度が 1000ppm を越えていた教室は 2901 教室のみであった。実際にこの教室で授業が行われていたかどうか調べたところ、教室の収容人数に近い人数が講義を受けていたことがわかった。2号館 9 階の各教室の CO₂ 濃度の分散値と CO₂ 濃度の最大値、最小値の図を図 8、図 9 に示す。本調査では、「暑い」、「蒸している」という学生の意見から図 6 の 21、22 の 2 点を特別に調査を行った。その結果、通常よりも高い CO₂ 濃度値が測定された。全ての調査結果から、ドア入り口付近と教室中央は全体的に CO₂ 濃度が低い傾向が見られた (図 10)。これは教室中央に換気ダクトが設置されていることが関係していると考えられる。

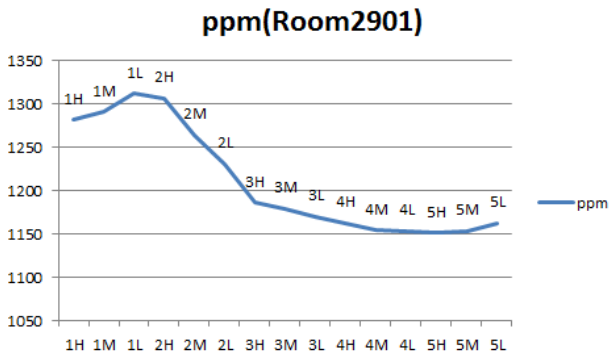


図 7 2901 教室のチェックポイントによる CO₂ 濃度グラフ

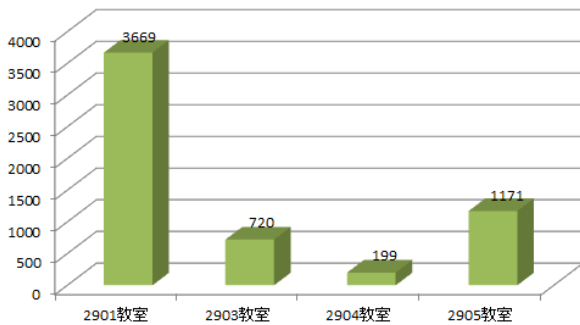


図 8 2 号館 9F 各教室の CO₂ 濃度分散値

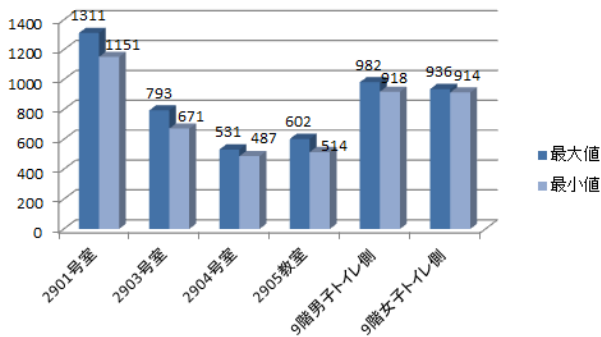


図 9 2 号館 9F 各教室の CO₂ 濃度の最大値, 最小値

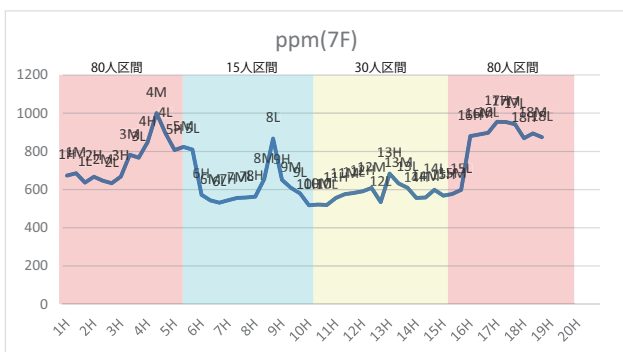


図 10 2 号館 7F の屋内環境センシング結果 (CO₂ 濃度レベル)

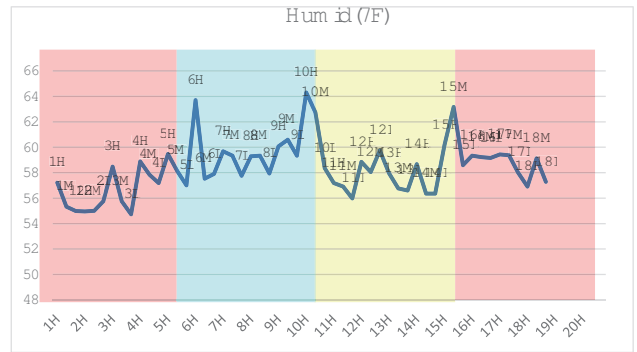


図 11 2 号館 7F の屋内環境センシング結果 (相対湿度)

3.3 授業教室を利用した教室内の複数地点における気体情報計測

大学キャンパス内気体調査の一環として、教室内の複数地点における気体計測実験を行った。これは複数の CO₂ デテクタを用いて複数地点の計測を実現した。本実験では、授業教室を利用し、約 90 分間に及ぶ気体調査を行った。よって教室における授業開始から授業終了までの気体情報データを取得した。CO₂ デテクタ設置位置図と本実験で得たデータのグラフを図 12, 図 13 に示す。図 13 から分析すると授業開始後 30 分間は、CO₂ 濃度が上昇していることがわかる。これは人から排出される CO₂ が教室内に滞留しているとみられる。また教室中央データ以外の CO₂ 濃度が上昇傾向にある時、教室中央 CO₂ 濃度は減少傾向である。



図 12 2903 教室 CO₂ デテクタ設置位置図

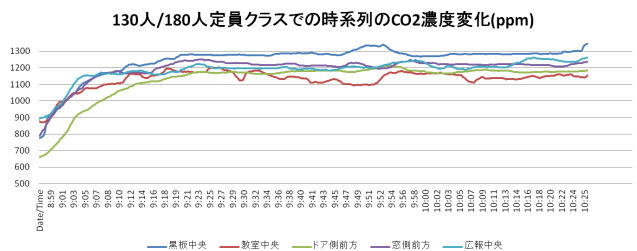


図 13 2903 教室 CO₂ 濃度グラフ

4. 調査員へのアンケートと得られた知見

本調査終了後、調査員へアプリケーション使用感のアンケートを行った。その意見として、屋内環境センシング中の測定高の切り替えを忘れ、誤計測をしてしまうことがあることが挙げられた。

今後の課題として屋内環境センシングで用いる AIRT の改良が挙げられる。調査員の意見からもあるように、調査員のミスによる誤計測を起こさない設計にする必要がある。具体的には、測定高を自動で設定する機能が挙げられる。また、アンケート調査の機械学習による自動入力をアプリケーションに実装し調査員の負担を軽減するという改善点も考えられる。

5. まとめ

モバイル端末を用いた屋内環境センシングを行い、気体情報データの分析を行った結果、空気が滞留しやすい場所を特定することができた。授業中に行った屋内環境センシングでは、調査開始 30 分以降は CO₂ 濃度が安定した値に収束することがわかった。授業などでの CO₂ 濃度を測定したい場合は、授業開始 30 分後からの測定が有効であるといえる。

屋内で活動している人間は CO₂ や水分を放出していることから、屋内環境の CO₂ 濃度や湿度の変化量により大まかな活動状況を推定可能と考えられる。今後の展望として今回の調査結果に加え、大学のキャンパス以外での調査をし調査結果に差異が無いか分析、活動状況の推定を行う。

謝辞

本研究は H26 科研費若手研究 (A) (代表者:岩井将行, 課題番号:25700007) の一部に加えて、東京電機大学総合研究所研究 Q14J × -04 の一部補助を受け行ったものである。また、大学キャンパス内気体調査に協力していただいた、東京電機大学岩井研究室の末吉佑一氏、新谷渉氏に深く感謝致します。

参考文献

- [1] 消防庁(1996)「二酸化炭素消化設備の安全対策について(通知)」, <http://www.fdma.go.jp/html/data/tuchi0809/080920yo193.pdf> (2014年5月現在)。
- [2] 菅原正則, 上野美佳 (2009) CO₂ 濃度変化に基づいた住宅内滞在人数の推定, 日本建築学会東北支部研究報告集, 第72号, 計画系 (2009-6), pp. 63-66
- [3] 井口龍輝, 小尾美優, 小松奎吾, 中山克哉, 原茉莉子, (2013) 室内 CO₂ 濃度と眠気・集中力の関係, http://www.nagano-c.ed.jp/ina/B_educationalinfo/2013/03/2013_kadaikenkyuuhappyou/2013co2naka.pdf
- [4] 気象庁 (2010) 「温室効果ガスの種類」, http://www.data.kishou.go.jp/obs-env/portal/chishiki_ondanka/pdf/p04.pdf
- [5] V.Manzoni, D.Maniloff, K.Kloeckl, and C.Ratti, "Transportation mode identification and real-time co2 emission estimation using smartphones" <http://senseable.mit.edu/co2go/images/co2go-technical-report.pdf>

- [6] N. Maisonneuve, M. Stevens, and B. Ochab, "Participatory noise pollution monitoring using mobile phones," *Information Polity*, Vol. 15, No. 1-2, pp. 51-71 (2010).
- [7] 重田航平, 青木俊介, 劉広文, 岩井将行, 瀬崎薫, (2013) モバイル端末を用いたユーザ参加型環境センシングにおける誤計測地点の検知・修正手法, http://www.mcl.iis.u-tokyo.ac.jp/ShunAoki/ShunAoki_files/papers/DICOM02013_2.pdf
- [8] 青木俊介, 岩井将行, 瀬崎薫, (2013) ユーザ参加型環境センシングにおける状態依存型プライバシー保護手法, http://www.mcl.iis.u-tokyo.ac.jp/ShunAoki/ShunAoki_files/papers/ASN_201305.pdf