

リアルタイム情報共有を実現する モバイルCO₂濃度センシングプラットフォーム

田島 誠也¹ 中下 岬² 篠原 雅貴³ 重田 航平¹ 岩井 将行³

概要: CO₂ 濃度が上昇すると, 人体に不快感, 悪影響をもたらすといわれている. そのため, 施設の管理者などは環境衛生上良好な状態を維持するために CO₂ 濃度などを判定する必要があるとして, 建築物環境衛生管理基準が定められている. そのような場合, CO₂ センサを搭載した固定型の設置したシステムを構築するのが一般的である. しかし, 固定型センサノードを設置する手法は設置工事のコストや盗難のおそれがある. これを解決するため, 我々はユーザ参加型のセンシングに関する研究を行ってきた. ユーザ参加型センシングにおいて広範囲で効率的に調査を行うためには, センシングをいつ行ったか, どこまでの範囲がすでにセンシング済みであるかなどの情報を, 調査員同士が共有・連携して動くことが必要となる. そのためには, 調査員向けのモバイルアプリケーション・システムが必要となる. 我々はモバイル端末と CO₂ センサを用いて構築したモバイル CO₂ センシングのためのプラットフォームとして, Android 端末と CO₂ 計測センサを接続しセンシングを行うシリアル通信アプリケーションを開発した. また, サーバ上にデータ共有システムを構築し調査員や調査管理者にリアルタイムの計測情報を整理した形で提供し, モバイル計測ツールとして必要な項目を実装することにより調査員に与えるストレスを軽減・改善することができた. 本稿では, 著者らが開発したプラットフォームにより調査員に対するストレスをできるだけ軽減し, 自動化したシステムを提供できるようになったことを報告する.

A Mobile CO₂ Sensing Platform for Realizing A Real-time Information Sharing

SEIYA TAJIMA¹ MISAKI NAKASHITA² MASATAKA SHINOHARA³ KOHEI SHIGETA¹
MASAYUKI IWAI³

1. ユーザ参加型センシング

1.1 概要

GPS 受信機, 加速度センサ, マイク, 照度センサなど様々なセンサを搭載したモバイル端末であるスマートフォンの世界的な普及を背景として, 一般ユーザの持つスマー

トフォンを用いて都市空間の環境情報を空間的・時間的に詳細に収集するユーザ参加型環境センシングの実現が期待されている [1]. スマートフォンによるユーザ参加型環境センシングと, 従来のセンサネットワークの大きな違いとして, センサ精度が劣るというデメリットが挙げられる一方, 広域に安価に長期間にわたり計測を可能とするという特長が挙げられる.

このユーザ参加型環境センシングの概念により構築したシステムを用いて, 特に都市地域における住宅環境の再評価 [3] を行うことや, 住民の精神的ストレスなどの健康被害を抑えること [4] が期待されている.

1.2 大規模なユーザ参加型センシングのデメリット

このスマートフォンによる参加型環境センシングに関し

¹ 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

² 東京電機大学工学部第二情報通信工学科
Tokyo Denki University, School of Engineering Evening Division, Department of Information and Communication Engineering

³ 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

ては、様々な研究 [3], [4], [5], [6] がなされているが、多くが小規模な実験を基にしたシミュレーションを用いた研究であり、実際の都市地域で大規模な歩行センシングによって情報を収集した研究例は少ない。そこで重田ら [9] は、このユーザ参加型環境センシングの社会的な意義を示すために、総面積約 60[km²] の世田谷区内全域における騒音情報を、2700 箇所の目標地点をのべ 40 人のユーザの歩行によって計測を行った。その結果、人為的なミスによる計測ミスが多く発生したことを報告している。本研究ではユーザ参加型の気体センシングを軸とし、モバイル端末と CO₂ センサおよびデータベースサーバを用いて構築したモバイル CO₂ センシングのためのプラットフォームを提案する。このプラットフォームにより人為的なミスの削減および効率的なセンシングを行うことが可能になると考える。

1.3 プラットフォーム使用のシナリオ

今回提案するプラットフォームを用いるシナリオとして、広域かつ大人数の調査員を必要とするセンシングの他、限定された地域における低コストでの組織的かつ継続的なセンシングを想定している。このシナリオに合致する例として、時間経過によって常に変化を続ける気体から、森林など地形が環境に与える影響を調査するための実地・課外学習や、気体や過酷な環境により危険な状態になる可能性のある地域での作業者の安全確保のためのセンシング等があげられる。特に後者においては、地域職員の車両や作業従事者にモバイル端末と CO₂ センサを保持してもらうことで、熱中症が発生しやすい地域・環境の発生、ガスの発生している地域への立ち入り等をリアルタイムに検知し、警報などで素早く知らせることが可能となる。

2. CO₂ の人体への影響

CO₂ は我々の身近な気体であるが、大気における CO₂ の割合が増加すると人体へ影響があることが知られており、施設の管理者などは環境衛生上良好な状態を維持するために CO₂ 濃度などを判定する必要があるとして、建築物環境衛生管理基準が定められている。一般的には CO₂ 濃度が上昇すると、比例して室温上昇や、湿度、臭いなどの不快感指数の増加のほか、脳の働きが鈍ることで、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。消防庁 [2] によって示されている二酸化炭素の濃度と人体への影響表を表 1 に示す。

このような悪影響が発生する前に空気中の CO₂ 濃度が上昇したことを検知しユーザへの警告や周知など、CO₂ による危機を避けるシステムが必要とされる。

3. 携帯可能な CO₂ センサを用いたセンシングプラットフォーム

施設内の CO₂ を計測する場合、CO₂ センサを搭載した

表 1 二酸化炭素の濃度と人体への影響

二酸化炭素の濃度 (%)	症状発現までの暴露時間	人体への影響
< 2 %	-	はっきりした影響は認められない
2~3 %	5~10 分	呼吸深度の増加, 呼吸数の増加
3~4 %	10~30 分	頭痛, めまい, 悪心, 知覚低下
4~6 %	5~10 分	上記症状, 過呼吸による不快感
6~8 %	10~60 分	意識レベルの低下, その後意識喪失へ進む, ふるえ, けいれんなどの不随意運動を伴うこともある
8~10 %	1~10 分	同上
10 % <	< 数分	意識喪失, その後短時間で生命の危険あり
30 %	8~12 呼吸	同上

固定型のセンサノードを設置したシステムを構築するのが一般的である。しかし、固定型センサノードを設置する手法は設置工事のコストや盗難のおそれがある。CO₂ の計測手法・理論に関して、先行した研究はすでにいくつか存在する。都市における CO₂ 測定の研究 [7] では都市に焦点を当てて大気計測を行っているため、生活圏での計測とは言い難い。家庭内における CO₂ 測定の研究 [8] も存在し、家庭という生活に強く結びついた場所での計測ではあるものの、電力機器からの CO₂ 排出量の計測であるため、実 CO₂ 濃度の変化を確認することが難しい。今回提案するプラットフォームとして、Android 端末と CO₂ 計測センサを接続しセンシングを行うシリアル通信アプリケーションおよびデータベースと連携した Web サーバを開発し、これを使用する。これを用いることで、ユーザの実空間における環境の変化をリアルタイムで検知することが可能となる。また、スマートフォンだけでは収集できない気体情報 (CO₂) も本研究で提案するモバイル CO₂ センシングプラットフォームを用いることで収集することが可能となる。

3.1 システムの概要

提案するシステムにはサーバ/クライアントシステムを用いた。システム概要図を図 1 に示す。ユーザ端末のアプリケーション起動時に、センシングポイントに関する情報をサーバから取得する。ユーザの Android 端末では内蔵されているセンサおよび外部インタフェースに接続したセンサの値を取得、ネットワークが利用可能であればサーバに随時アップロードする。

これにより、センシングに参加している調査員の現在地情報を用いたセンシングポイントの割り当てが可能となる他、センシングの依頼者・管理者は、設定したセンシングポ

イントの消化ペースを鑑みて新たなセンシングポイントの設定やどのようなセンシングポイントであれば調査員がセンシングを行いやすいかを分析することが可能となる。

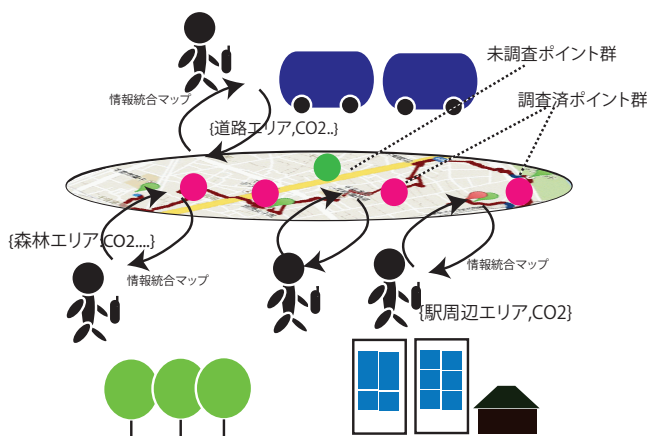


図 1 提案するシステムの概要図

3.2 CO₂ 計測センサ

CO₂ の計測方法はいくつか存在するが、NDIR 方式 CO₂ 計測センサを使用した。この方式のセンサは持ち運び可能で安価なものが選べる点が特徴としてあげられる。今回は Android 端末と通信をする必要があったため、シリアル通信に対応している C2D-W02TR (株式会社ユードム) を使用した。使用した CO₂ 計測センサの外観を図 2 に示す。この製品は MicroSD カードスロット及び給電と通信のための USB 接続のインタフェースを有し、CO₂ 濃度の他に大気中の温度、湿度が計測可能である。各センサ値は 10 秒に 1 度更新される。



図 2 C2D-W02TR (ユードム社)

3.3 センシングハードウェアとしての Android

スマートフォンには多くのセンサが搭載されている他、多くの端末に GPS 用の受信回路が搭載されており、位置情報が取得できる。Android 端末から取得できるこれらのデータを用いることで、ユーザのコンテキスト推定を始めとしたサービスが提供できる。また、アプリケーションとして実装することで、ユーザからの補助的情報の入力・

記録が可能になる。そのため、ユーザからの入力とセンサデータを一度に記録することが可能であり外部に対する IO も多彩なため、ユーザ参加型センシングに用いるデバイスとして適している。今回のアプリケーションでは CO₂ 計測センサとの接続に USB-Host 機能を有する端末が必要となる。そのため、USB-Host 機能を備えた端末を使用した。

表 2 取得できるデータの種類の

取得できるデータの種類の
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 (CO ₂ 計測センサ)
気温 (CO ₂ 計測センサ)
湿度 (CO ₂ 計測センサ)

3.4 Web サーバ及びデータベース

Android からの通信を受け付ける Web サーバとしてプログラミング言語 Python とそのライブラリとして開発された Tornado を使用し、データベースとして PostgreSQL を使用した。この Web サーバに対して Android から HTTP でアクセスし、センシングポイントの取得及びセンシング済みのデータを送信する。管理・分析用ツールもこのサーバ上で提供する。

3.5 センサとの接続方法

実際に Android 端末と CO₂ 計測センサを接続した図を図 3 に示す。また、実際の調査員の様子を図 4 に示す。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のに対して、周辺機器同士を接続するために定められた規格である。本来 USB-Host 機能を有する Android 端末であれば CO₂ 計測センサへは端末単体で給電可能であるが、長時間の計測時に端末のバッテリー消費量を減らすためにモバイルバッテリーを接続している。

3.6 アプリケーションの利用方法

アプリケーション動作中のスクリーンショットを図 5 に



図 3 CO₂ 計測センサと Android の接続の様子



図 4 センサを接続・保持しアプリを使用する調査員

示す。このアプリケーションでは、CO₂ 計測センサが接続されるとセンサとのシリアル通信開始を求めるダイアログが表示される。シリアル通信を許可するとシリアル通信を開始し、画面に CO₂ 計測センサで計測された CO₂ 濃度、温度、湿度が表示される。図 5 上部の ppm 値が CO₂ 濃度である。画面右上のセンシング用のトグルスイッチを ON にすることで、Android に内蔵されたセンサと接続されたセンサから得た表 2 に示したデータが端末の内部時間と共に CSV 形式で記録される。

センシングポイントはアプリケーション起動時にサーバにアクセス・取得したものをマップ上に表示している。調査員はこのセンシングポイント全てを回ることが目標となる。センシングポイントに到着した調査員はマップ上のセンシングポイントのアイコン（以下、ピンと呼ぶ）をタッチすることで、ポイントのセンシングデータを記録・送信

することができる。また、経路情報も端末内で記録しているため、移動経路を後から確認することができる。経路及びピンの色は、測定時の CO₂ 値によって変化する。



図 5 アプリ起動時の様子



図 6 センシング中の様子

広域で継続的なセンシングを行う場合、ユーザの現在地

[illegible]

図 7 いくつかのセンシングポイントを回り終えた後の様子

3.7 情報の共有

ユーザ参加型センシングの特徴は、多くの調査員がそれぞれの行動範囲内で同時にセンシングを行うことである。このため、大規模なユーザ参加型センシングでポイントを指定してセンシングを行う場合、効率を良くするためにはセンシングポイントが重複しないよう調整し調査員に割り当てる必要がある。実装したアプリではセンシングポイントの割り当て調整をサーバ側で行うことで、効率の良いセンシングポイントの割り当てを可能とした。また、調査員に対してマップを用いてセンシングポイントおよびポイントのセンシング情報を表示することで、センシングポイントの忘却やポイントの勘違いを防ぐことが容易となる。

4. 得られた知見

今回作成したプラットフォームにおいて CO₂ センシングを行い、調査員への聞き取りを行った結果、いくつかの問題が知見が得られた。

— CO₂ 計測センサからケーブルが外れてしまう

今回の提案では CO₂ センサと Android 端末の接続に物

理的な接続を使用したため、ユーザが操作する Android 端末と CO₂ 計測センサとの接触部分が必要となってしまう。この問題が発生した。CO₂ 計測センサが抜けてしまったため、取得したデータから CO₂ のデータが抜けてしまった (図 8)。この問題を解決するためには、Android 端末と CO₂ 計測センサの通信形態を非接触なものに変える必要がある。電力消費量等を考慮すると、Bluetooth 通信が妥当ではないかと考える。

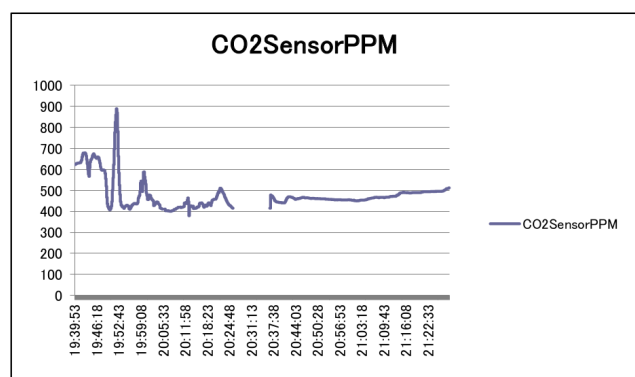


図 8 途中で CO₂ 計測センサが抜けてしまった際のデータ

— バッテリー等必要な荷物が多く重い

Android 端末のバッテリー消費量を抑えることを優先したため、可搬性が失われてしまった問題である。この問題は現状解決策が少なく、計測者に重さを感じさせてしまうモバイルバッテリーとのコネクタを長めに取りすることで鞆や手荷物の中に入れても接続可能なようにする、もしくは計測時間が短めになるようセンシングポイント数を少なくしモバイルバッテリーの必要性を低減することで解決できるのではないかと考える。

— 通信可能な状況を維持する必要がある

調査員の現在地情報を用いて効率的にセンシングポイントを割り当てるためには、通信可能な状況を維持しなければならない。これにより時間あたりのバッテリー消費量が増え、継続的なセンシングの妨げになる。バッテリー消費量を鑑みると、現在は随時通信を行っているが、効率的なセンシングポイントの割り当てのためにどの程度の通信頻度が必要かどうかの調査が必要である。

5. 今後の展望

現在は、USB-Host で CO₂ 計測センサを 1 つしか繋げることができないが、Android と Arduino を Bluetooth で接続することで複数のセンサやセンサ機器を接続可能になる。臭気センサ等の Android 端末に搭載されていないセンサを Arduino で補うことで、アプリケーションの機能を増強・拡張していく。またこれらのデータを使ったユーザへの有意なサービスの提供方法を模索していく。サーバ側

においては、センシングポイントの割り当てアルゴリズムを改善する。現在は調査員の現在地情報から一定範囲内のセンシングポイントを調査員に割り当てているが、調査員の行動範囲を学習させることでセンシングポイントに優先度を付け、より調査員の日常行動の範囲内でのセンシングが可能になる。継続的なユーザ参加型センシングにおいては、ユーザの負荷を軽減することが重要である。

今回、我々は気体や環境による悪影響を回避するために、携帯可能なシステムとしてモバイル CO₂ センサと Android 端末および Web サーバを用いたモバイルプラットフォームアプリを提案した。このプラットフォームを用いることで大規模なユーザ参加型センシングにおいて調査員に対して視覚的に訴えることができる。視覚的に訴えることで調査員に与えるストレスと操作ミスを減らすことができる。センシングポイントを流動的に割り当てることで効率的なセンシングが可能となるほか、日常空間の継続的な CO₂ 濃度の計測を可能にした。Android 端末のアプリケーションという形をとることで、CO₂ 濃度のほか、GPS 情報、気圧情報や照度情報などが同期して保存されるため、CO₂ 濃度のみの計測やバラバラのセンサノードから情報を集約した場合に比べてコンテキスト推定や解析において優れており、分析の際に有用である。

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) の一部により行われている。

参考文献

- [1] N. D. Lane, E. Miluzzo, L. Hong, D. Peebles, T. Choudhury, and A. T. Campbell, "A Survey of Mobile Phone Sensing," *IEEE Communications Magazine*, vol. 48, no. 9, pp. 140-150, 2010.
- [2] 消防庁 (1996)「二酸化炭素消化設備の安全対策について (通知)」, 入手先 (<http://www.fdma.go.jp/html/data/tuchi0809/080920yo193.pdf>) (2014 年 5 月現在).
- [3] T. Zimmerman and C. Robson, "Monitoring Residential Noise for Prospective Home Owners and renters," 9th International Conference, Pervasive 2011, pp. 34-49, 2011.
- [4] S. Santini, B. Ostermaier, and R. Adelmann, "On the Use of Sensor Nodes and Mobile Phones for the Assessment of Noise Pollution Levels in Urban Environments," 6th International Conference on Networked Sensing Systems 2009(INSS), pp.1-8, 2009.
- [5] E. D'Hondt, M. Stevens, and A. Jacobs, "Participatory noise mapping works! An evaluation of participatory sensing as an alternative to standard techniques for environmental monitoring," *Pervasive and Mobile Computing*(2012), doi: 10.1016/j.pmcj.2012.09.002.
- [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] Rohan Narayana Murty, Abhimanyu Gosain, Matthew Tierney, Andrew Brody, Amal Fahad, Josh Bers, and Matt Welsh. *Citysense: A vision for an urbanscale wireless networking testbed*. IEEE International Conference on Technologies for Homeland Security, 2008.
- [8] 荒木靖宏・グエンミントウン・森川博 (2008)「Ngn を用いた電力量および co2 排出量管理システムの設計」『電子情報通信学会総合大会講演論文集』, 2008, (2), 171
- [9] 重田航平, 青木俊介, 劉広文, 岩井将行, 瀬崎薫, "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", マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2013) シンポジウム, セッション 2A-3