

安価で不確かな CO₂ センサを用いた正確な値の変動取得手法

和田 剛史[†] 岩井 将行^{††}

[†] 東京電機大学未来科学部情報メディア学科

E-mail: [†]wada@cps.im.dendai.ac.jp, ^{††}iwai@im.dendai.ac.jp

あらまし 多くの室内の二酸化炭素濃度を計測するには、大量の CO₂ センサが必要になる。CO₂ センサは、光学式と接触式の 2 種類に分けられ、光学式は、非分散赤外線方式（以下、NDIR 方式とする）、光音響方式があり、接触式は固体電解質方式、電気化学式、半導体式がある。CO₂ センサで一般的なのは NDIR 方式で、特定ガスのみ感知するため正確性が非常に高いが、安い物で 15,000 円と単価が高いため運用コストが高い。対して、半導体式の CO₂ センサであれば、安い物で 700 円と単価が低いため運用コストが低い。そこで本研究では、安価で精度が低い CO₂ センサで計測するために、精度が高い CO₂ センサで取得したデータをもとに、精度が低い CO₂ センサを補正することを試みた。重回帰分析によって算出された重回帰式を用いた補正方法と、線形回帰モデルによる予測を用いた補正方法の精度を比較、検討した。

キーワード 二酸化炭素, センサ, 補正, キャリブレーション, Arduino

Accurate Value Fluctuation Acquisition Method using Inexpensive and Uncertain CO₂ Sensor

Tsuyoshi WADA[†] and Masayuki IWAI^{††}

[†] Tokyo Denki University, School of Science and Technology for Future Life, Department of Information Systems and Multi-media Design

E-mail: [†]wada@cps.im.dendai.ac.jp, ^{††}iwai@im.dendai.ac.jp

Abstract To measure carbon dioxide concentration in many rooms, a large amount of CO₂ sensor is required. The CO₂ sensor is divided into two types, optical type and contact type, the optical type is a non-dispersive infrared type (hereinafter referred to as NDIR type), the photoacoustic type, the contact type is a solid electrolyte type, an electrochemical type, a semiconductor. There is an expression. The NDIR method which is common in CO₂ sensors is very accurate because it senses only specific gases, but the operation cost is high because the unit prices are as high as 15,000 yen for cheap ones. On the other hand, if the semiconductor type CO₂ sensor is used, the operation cost is low because it is 700 yen for a cheap item and the unit price is low. Therefore, in this research, in order to measure with a low cost and low accuracy CO₂ sensor, we attempted to correct the CO₂ sensor with low precision based on the data acquired with the highly accurate CO₂ sensor. The accuracy of the correction method using the multiple regression equation calculated by multiple regression analysis and the correction method using the prediction by the linear regression model were compared and examined.

Key words CO₂, Sensor, Correction, Calibration, Arduino

1. はじめに

二酸化炭素に関する問題が多数発生している。空気中の二酸化炭素濃度が増加することで人体への悪影響が起こる問題 [1] がある。このことから、室内の二酸化炭素濃度を計測できるシステムに需要があると考えられ、高層建築物のようなオフィスが密集する建築物では大量に CO₂ センサを用意する必要があ

る

CO₂ センサの計測方法は、光学式と接触式の 2 種類に分けられる。光学式は、NDIR 方式、光音響方式があり、接触式は固体電解質方式、電気化学式、半導体式がある。CO₂ センサで一般的なのは NDIR 方式で、特定ガスのみ感知するため正確性が非常に高いが、安い物で 15,000 円と単価が高いため運用コストが高い。対して、半導体式の CO₂ センサであれば、安

い物で 700 円と単価が低いため運用コストが低い。そこで、大量に導入するためには安価なガスセンサである半導体方式のセンサを用いて二酸化炭素を計測する必要がある。しかし、半導体方式のセンサは、センサ自体のキャリブレーションしなければ正確な二酸化炭素量を計測できず、キャリブレーションには大掛かりな施設が必要になる。そのため本研究では、精度が高い NDIR 方式の CO₂ センサを用いて精度が低い CO₂ センサを補正し正確な値の変動取得法を提案する。

2. 関連研究

橋本らは温熱・空気環境といった室内環境の質が集中度に及ぼす影響を考察しており、室内の二酸化炭素濃度と集中度の低下や眠気にも密接な関係があると述べている [2]。

二酸化炭素の計測手法・理論に関して、先行した研究はすでに存在する。Rohan Narayana Murty らは、都市における二酸化炭素測定の研究では都市に焦点を当てて大気計測を行っている [3]。

荒木靖宏らは、家庭内における二酸化炭素測定の研究も存在し、家庭という生活に強く結びついた場所での計測で、電力機器からの二酸化炭素排出量の計測を行っている [4]。

これらの研究は室内の実二酸化炭素濃度の変化を確認することが難しいため、室内での二酸化炭素濃度を計測できるシステムが必要とされている。

3. 二酸化炭素の人体への影響

二酸化炭素は、大気における二酸化炭素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、施設の管理者等は環境衛生上良好な状態を維持するために二酸化炭素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。一般的には二酸化炭素濃度が上昇すると、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。消防庁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 [1]。

このような悪影響が発生する前に空気中の二酸化炭素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、二酸化炭素による危機を避けるシステムが必要とされる。

4. 提案手法

精度が低いセンサの補正法として、重回帰分析を用いた。目的変数を精度が高いセンサで得た値、説明変数を精度が低いセンサで得た値とした。分析結果から求められた重回帰式を利用し、精度が低いセンサの値から二酸化炭素の ppm 量を予測する。

他の方法として、線形回帰モデルを用いた予測での補正法を用いた。精度が低いセンサで取得した値、前の値との差、10 個おきの分散値、2 乗した値と精度が高いセンサで取得した値をデータセットとし、これらのデータをトレーニング用データセット、テスト用データセットに 2 分割し、学習させた。どちらもプログラミング言語は python3.5 で、scikit-learn という

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

表 1: 二酸化炭素の濃度と人体への影響

ライブラリを利用し、重回帰分析、線形回帰モデルを用いた予測をした。これらの精度を比較する。

5. 装置構成

本研究では 2 種類のセンサと 1 つのマイコンからなる装置を作成した。どんな場所であっても計測できるよう、省スペースな運用が可能な Arduino uno を使い、センサは正解データの計測に MH-Z16 を使い、補正対象のセンサとして MQ-135 を用いた。

MH-Z16 は NDIR 方式の CO₂ センサであるため正確に二酸化炭素の ppm 量が計測でき、キャリブレーションは 5 分ほどプリヒートさせた後にキャリブレーション用のソースコードを Arduino 上で実行すれば良い。MQ-135 は半導体方式のガスセンサであるため、ベンゼン、アルコール、煙や一酸化炭素や二酸化炭素に反応するため精度が低い。これらのセンサは Arduino への接続が容易であり、本研究の目的を満たしているため選択した。また、計測データは SD カードにリアルタイムに記録する。

6. 実験

6.1 実験概要

広空間と狭空間で 2 つの MQ-135 と MH-Z16 を同時に計測する。実験場所として、広空間は大学内の横 1269cm, 縦 1069cm, 高さ 351cm の教室を使用した。狭空間は横 620cm, 縦 750cm, 高さ 280cm の研究室を使用した。空調を止めた広空間の中心で計測を開始した。図 1 は装置全体である。狭空間での実験も同様に行った。

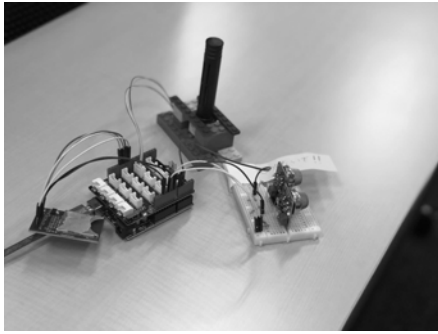


図 1: 計測装置



図 5: 狭空間での MH-Z16 の取得値

6.2 結果および考察

図 2, 3, 4, 5 は実験で得られたデータのグラフである.

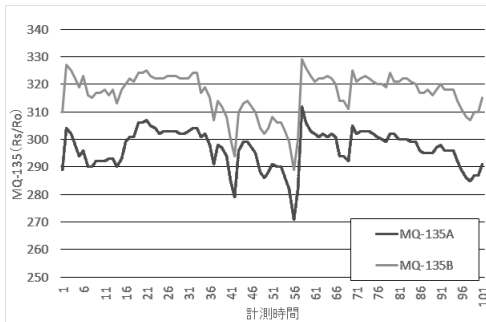


図 2: 広空間での MQ-135 の取得値

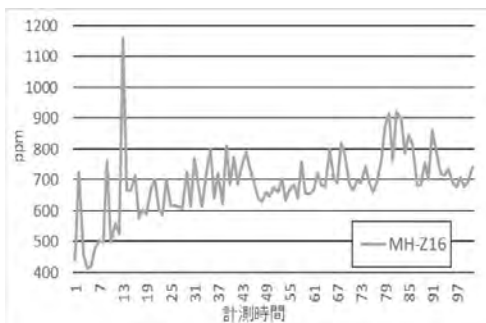


図 3: 広空間での MH-Z16 の取得値

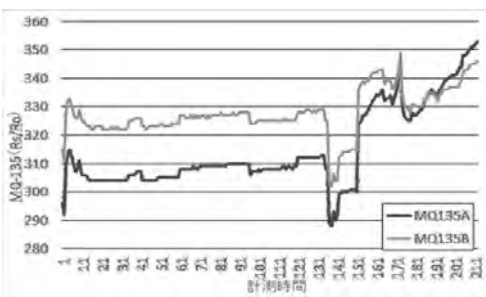


図 4: 狭空間での MQ-135 の取得値

どちらの実験も 2つの MQ-135 の値は個体差からか、ほぼ平行するような値を取った. MH-Z16 はセンサの感度が敏感なため、上下の激しい値を得た.

6.3 重回帰分析

表 2 は重回帰分析の結果である.

表 2: 重回帰分析

	広空間	狭空間
重決定係数	0.051	0.747
切片	796.070	1635.917
回帰係数 1	8.640	-8.434
回帰係数 2	15.915	-17.216

1 に近づくほど精度が高いことを表す重決定係数は狭空間では約 0.747, 広空間では約 0.051 であった. そのため、狭空間ではある程度精度を持って補正を行うことが出来ることを示している. この結果から、重回帰式 1, 2 を求められた.

$$y = 1635.917 - 8.434x_1 - 17.216x_2 \quad (1)$$

$$y = 796.070 + 8.640x_1 + 15.915x_2 \quad (2)$$

この時 x_1, x_2 は MQ-135 の値, y の値は二酸化炭素の ppm 量であり、式を利用することにより二酸化炭素の ppm 量が予測出来る. 図 6 は広空間で計測した MQ-135 の値を式 1 に代入することで得た CO₂ の ppm 量の予測値と広空間での MH-Z16 の計測結果を比較したものである. 計測開始直後は MH-Z16 と

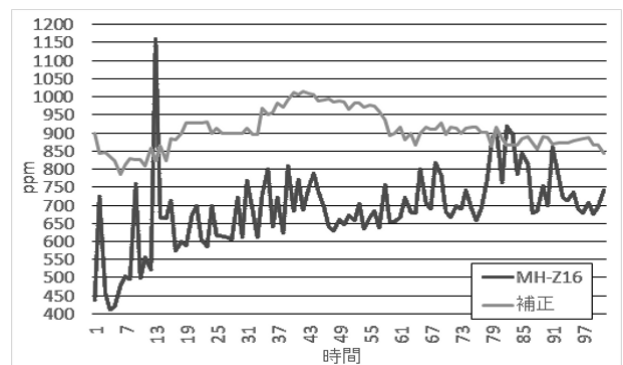


図 6: 補正結果

の差が大きくなった. しかし、数時間経過後は差が小さくなっ

たため、長時間稼働させることで精度を高い状態で維持できると考えられる。

6.4 線形回帰モデルを用いた機械学習

線形回帰モデルを用いた予測を行った結果、図7のような結果が得られた。

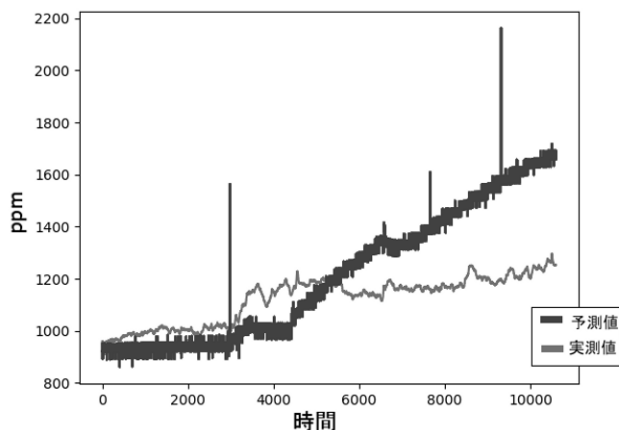


図7: 線形回帰モデルでの予測結果

予測値の前の値との差が約500ppm程出てしまう時があった。線形回帰モデルの精度は決定係数を計算することでわかるため、決定係数を算出するため、scikit-learnのscore関数を使用し、計算をした結果、約0.5の値を取得した。以上のことから、線形回帰モデルでの精度は低く実用性に欠けるため、今回は重回帰分析での補正法を有意とした。

7. まとめと展望

本研究ではMQ-135のセンサ値の補正法として、重回帰分析を用いた方法と線形回帰モデルを用いた方法を提案、検討し、より正確な値を取得できるよう試みた。

重回帰分析を用いた補正法は永続的な運用を前提条件とすれば十分な精度が得られた。線形回帰モデルを用いたMQ-135の補正も試みたが、精度が高くなかったため、補正法としては実用性に欠けることがわかった。

展望として、より多くのデータを用いた線形回帰モデルでの補正方法は、より正確な値を取得できると考えられるため、線形回帰モデルでの補正方法を検討したい。

文 献

- [1] 消防庁, "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>, 1996
- [2] 橋本哲, "室内環境の改善によるプロダクティビティ向上に関する調査研究.", 空気調和・衛生工学会論文集 93, 67-76, 2004
- [3] 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
- [4] 荒木靖宏, ゲンミンタウン, 森川博, "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, 171, 2008-02