

ニオイセンサー制御手法の開発

Development of Odor Sensor Control Method

技術開発センター
第二開発室
今井 靖
Osamu Imai

技術開発センター
第二開発室 室長
柴田 将貴
Masaki Shibata

技術開発センター
第二開発室 リーダー
森次 晋介
Shinsuke Moritsugu

技術開発センター
第二開発室 上席主任技師
濱崎 啓司
Keiji Hamasaki

技術開発センター
開発管理室
盛満 幸輝
Kouki Morimitsu

1. 緒言

室内の揮発性有機化合物 (Volatile Organic Compounds) による、「シックハウス症候群」が注目され¹⁾、室内空気質の管理は重要な課題である。空気清浄機は、これに対処するために広く使用されており²⁾、空気中の有害物質や不快な臭気を除去する役割を担っている。

当社の空気清浄機に搭載されているニオイセンサーは、周囲の空気質を監視し、ニオイ成分が検出された場合に、動作を制御するための重要なコンポーネントである。現在、センサーメーカーが推奨する制御プログラム³⁾では、ニオイセンサーの出力が特定のニオイ判定値 (任意の定数) を越えた場合に、臭気が存在すると判定し、空気清浄機の動作を制御する仕組みが採用されている。

しかし、このニオイ判定値による制御では、ニオイ判定値に到達しない入力に対しての不感帯が発生し、ニオイに対するセンサーの反応速度に限界がある。

本稿では、センサー出力をサンプリングし、離散データの変化量を使って、より動的な制御の検討と、制御プログラムの開発を行う。具体的には、センサー出力の時間変化を監視し、単位時間あたりの変化量を制御モデルに組み込むことで、ニオイをより迅速に検出し、空気清浄機の動作を効率的に制御することを目指す。この制御により、空気清浄機がニオイに対しての適切な動作を行い、使用者の快適な環境の維持とともに、ニオイ除去効率の向上も期待する。

2. ニオイセンサーについて

2.1 半導体式ニオイセンサー

本稿で使用したニオイセンサーは半導体式ニオイセンサー (以下、ニオイセンサーとする) と呼ばれ、酸化物質半導体から構成されており、揮発性有機化学物質やアンモニア等のニオイ成分がセンサー表面の酸素分子を奪い、電気抵抗が変化することで、ニオイ成分を検知する。具体的には、清浄空間においてはセンサーの抵

抗値は高い値を示し、ニオイ成分が存在する空間においてはセンサーの抵抗値は低くなる。このニオイセンサーには、小型で高感度、低コスト等のメリットがあり、家庭や工業用のガス漏れ検知や空気清浄機に広く使用されている。しかし、ガス種の選択性の低さ、温湿度や長時間使用が起因するセンサー出力のドリフトというデメリットもある。

2.2 ニオイ判定値による制御について

制御の入力としてセンサー抵抗値の比を用いる。この比は、清浄空間における抵抗値を基準とし、ニオイ成分が存在する空間における抵抗値との比をとる。その後、この比とニオイ判定値を比較することにより、ニオイの有無を判定する。制御の対象は、空気清浄機の動作であり、主に動作モードを決定する。

さらに、ニオイセンサーの制御マニュアルには、ニオイ判定値の参考値が記載されている。例えば、空気清浄機の動作モードが3パターンある場合、ニオイ判定値は0.85と0.76になる。つまり、弊社の空気清浄機製品に組み込むのであれば、センサー抵抗値の比がニオイ判定値0.85を超えた場合に弱モードから中モードに遷移し、0.76を超えた場合には中モードから強モードに遷移することになる。

また、センサー抵抗値の算出は、センサーの検出抵抗に印可されている電圧値を用いる。下記に制御モデル (1) と、抵抗値の比の算出式 (2) を記載する。

制御モデル

$$u = \begin{cases} 2 & (K_{St} > R_{ref}) \\ 1 & (K_{th} > R_{ref}) \text{ AND } (R_{ref} \geq K_{St}) \\ 0 & (R_{ref} \geq K_{th}) \end{cases} \quad (1)$$

u : 空気清浄機の動作モードを示す変数

K_{th}, K_{St} : 設定したニオイ判定値

R_{ref} : センサー抵抗値の比

センサー抵抗値の比の算出式

$$R_s = \left(\frac{V_C}{V_{RL}} - 1 \right) R_L$$

$$R_{ref} = \frac{R_s}{R_o} \quad (2)$$

R_{ref} :ニオイ成分の存在する空間における抵抗比

R_s :現在の抵抗値

R_o :清浄空間における抵抗値、 R_L :検出抵抗

V_c :駆動電圧、 V_{RL} :検出抵抗にかかる電圧

3. 実験方法

3.1 ハードウェア

センサー部を構成しているハードウェアの回路図を Fig.1 に示す。ニオイセンサーは NISSHA 製 SP3S-AQ2-01 を使用し、センサーへの電源供給は安定化電源 A & D 製 AD-8724D を使用し、DC 5 V を印可した。また、センサー出力をロガーで記録した。ロガーは OMRON 製 ZR-RX25A を使用し、サンプリング間隔を 500 ms とした。

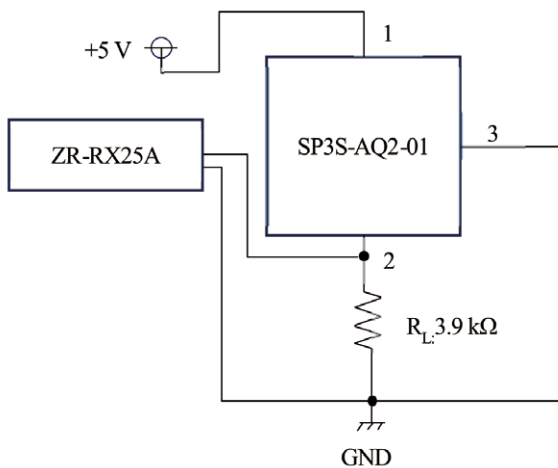


Fig.1 Schematic of odor sensor circuit.

3.2 評価ガスとガス濃度について

評価ガスはアンモニア (900-1000 ppm) を使用し、ガス濃度の測定には検知管 (北川式:アンモニア検知管 105SD) を用いた。

Table1 にアンモニアの臭気情報を記載する。ヒトがニオイを感知した際、空気清浄機もニオイを検知することを期待し、実験におけるアンモニア濃度は 0.6 ppm を最大値とする。

また、Table1 の「Odor intensity」とは、ヒトが感じるニオイの程度の指標であり、悪臭防止法⁴⁾で定められている。臭気強度 2 とは「何のニオイか分かる弱いニオイ」に相当し、その時のアンモニア濃度は 0.6 ppm となる。臭気強度とニオイの程度を Table2 にまとめた。

Table 1 Odor intensity and concentration of ammonia

Odor intensity	1	2	3	4	5
Concentration [ppm]	0.1	0.6	2	10	40

Table 2 Odor intensity to odor

Odor intensity	Odor
0	Odorless
1	Barely detectable odor
2	A weak odor that can be recognized
3	An easily detectable odor
4	Strong odor
5	Intense odor

3.3 実験方法

ガスバッグ (5 L) を用意し、この中にニオイセンサーを置く。ガスバッグ内の初期ガス濃度の調整を混合空気 (窒素 :79%、酸素 :21%) で行い、ロガーでセンサー出力の記録を開始する。その後、アンモニアを所定量注入する。注入後、検知管を用いてガスバッグ内のアンモニア濃度の測定を行う。アンモニア濃度の条件を、0.2 ppm、0.4 ppm、0.6 ppm とする。90 min 経過後、再度検知管でアンモニア濃度の測定を行うことで、ガスバッグ内の濃度が一定であることの確認をする。

4. 実験結果と考察

4.1 ニオイセンサーの感度評価

Fig.2 に、初期ガス濃度におけるセンサー抵抗値を基準とし、アンモニア注入後センサー抵抗値との比を示す。60 min 経過した地点においてのセンサー抵抗値の比は、アンモニア濃度が 0.2 ppm では 69 %、0.4 ppm では 64 %、0.6 ppm では 56 % であった。アンモニア注入直後とその 90 min 後に、検知管でアンモニア濃度を測定し、ガスバッグ内の濃度が一定であったことを確認した。微量なアンモニア濃度の差に対しても、センサー抵抗値の比に差が生じていることから、感度が高いことが確認できた。センサー抵抗値の変化の大きさはアンモニア濃度に依存すると考えられる。

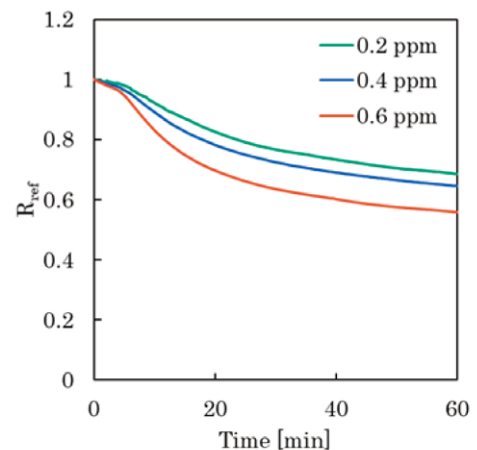


Fig.2 Variation of odor sensor resistance ratio with ammonia concentration.

また、2.2 節で記載したニオイ判定値を参考にし、空気清浄機がニオイを検知するまでの時間を確認した。ニオイ判定値 0.85 としたときの時間は、0.2 ppm で 17.2 min、0.4 ppm で 13.1 min、0.6 ppm で 9.1 min となる。またニオイ判定値 0.76 においては、0.2 ppm で 30.3 min、0.4 ppm で 22.3 min、0.6 ppm で 13.7 min となる。濃度が高い方がセンサー抵抗値の変化が急であり、空気清浄機がニオイ検知にかかる時間も早いことが分かる。これは、濃度に対応してセンサー表面のニオイ成分が多いことに起因すると考えられる。

4.2 センサー出力の単位時間あたりの変化量評価

Fig.3 に、Fig.2 のグラフの単位時間あたりの変化量を示した。マイコンでの処理を想定し、単純な単位時間あたりの変化量の式 (3) を用いて変化量を算出している。式 (3) の $t_2 - t_1$ (以下、二点間の時間差分とする) は 5 min である。単位時間あたりの変化量で示した場合、センサーの反応には変曲点があることが観察できた。アンモニアの注入直後から、急激に変化量が大きくなっており、その後は徐々に小さくなっている。これについては、全ての濃度で確認できており、ニオイセンサーのガスに対する挙動だと推察する。

また、変曲点においての変化量は、0.2 ppm では -0.012、0.4 ppm では -0.015、0.6 ppm では -0.023 であった。これは、4.1 節で記載した内容と同様に、アンモニア濃度に依存していると考えられる。

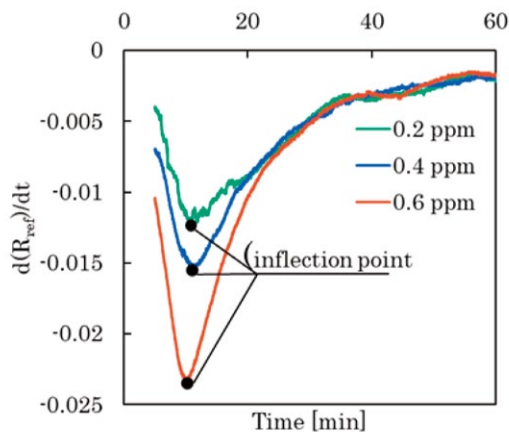


Fig.3 Change per unit of time in resistance ratio graph.

単位時間あたりの変化量の式

$$\frac{dR_{ref}}{dt} = \frac{R_{ref2} - R_{ref1}}{t_2 - t_1} \quad (3)$$

4.3 考察

ニオイセンサーは、ニオイ成分が多いとセンサー抵抗値の比の変化が大きかった。ニオイ判定値による制御は、センサー抵抗値の比に対して閾値を設

けているため、ニオイの検出を安定して行える制御だと言える。また、センサー抵抗値の比が変化する過程を単位時間あたりの変化量で観察したところ、変化量の大きさに関係なく、ニオイに対してセンサーが反応したと推測できる挙動を確認できた。この挙動は、ニオイ判定値による制御の不感帯となるデータを採用できるので、比較的早くニオイを検出できることを示唆している。

以上のことから、センサー抵抗値の比を単位時間あたりの変化量で観察し、それに基づいて制御を行うプログラムを作成する。そのために、Fig.3 に示す変曲点に至るまでの過渡状態を検出する必要がある。これを実現するために、変化量の絶対値が単調増加し続ける時間を検出する方法を検討した。Fig.4 には、この検出対象となる時間 T を示している。

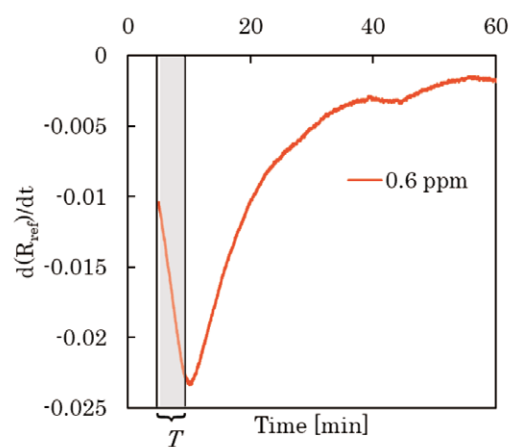


Fig.4 Detection of transient state T .

5. 制御の検討

5.1 データ処理に関して

単位時間あたりの変化量の観察のために用いた式 (3) は、曲線に当てはめた場合、二点間の時間差分によってデータの分解能が決まる。さらに、マイコンでニオイセンサー等のアナログデータを扱うにあたっては、ハンチングや不感帯、遅れ、ヒステリシス等についても注意する必要がある。よって、センサー抵抗値の比の単位時間あたりの変化量に対して、 T が検出できるようにデータ処理を行った。以降、センサー抵抗値の変化が最も大きく、過渡状態の検出が容易であると考え、Fig.3 の 0.6 ppm のデータを取り扱った。

5.2 二点間の距離の決定

二点間の時間差分を条件としてデータ処理を行った。条件は 0.5 min、1 min、3 min、5 min とする。処理結果を Fig.5 に示す。変曲点までの過渡状態の検出を目的とし、開始から 10 min までを観察する。二点間の時間差分が 0.5 min と 1 min においては、ハンチングが確認でき、3 min と 5 min においては比較的少ないことが確認できた。また、データの遅れは 5 min が最

も遅れており、0.5 min が最も早いことが確認できた。評価項目を、 T が検出できることとした。ハンチングが少なく、遅れが少ないことから、二点間の時間差分は 3 min を選択した。

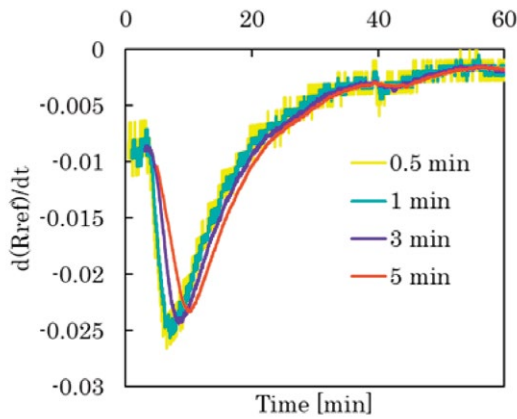
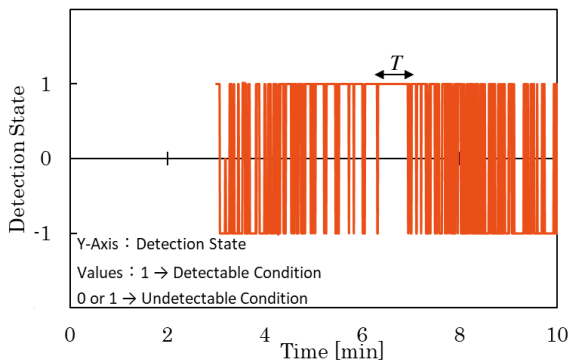


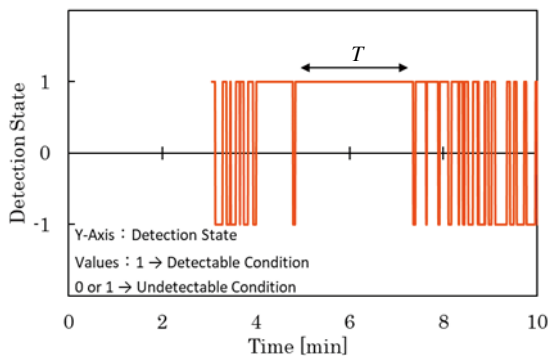
Fig.5 Processing results per unit time.

5.3 移動平均によるデータ処理

5.2 節で決定した 3 min のデータに対して、移動平均でフィルターをかけた。移動平均とは、時系列のデータに対して、直近もしくは前後の n 個のデータの平均を計算して新しいデータとすることで、元のデータの特徴を残したまま、平滑化したデータを得ることができる計算方法である。



(a)



(b)

Fig.6 Results from filtering. (a):No filtering, (b):Filtering

さらに、フィルターをかけたデータとそうでないデータに対して、 T が検出可能であるか否かの状態を出力させることを考える。具体的には、それぞれのデータに対して、時間軸においての過去のデータと現在のデータを比較する。現在の単位時間あたりの変化量の絶対値が大きくなっていった場合に 1 を、小さくなっていった場合は -1、同じ場合であれば 0 を出力させる。つまり、出力が継続的に 1 であれば、グラフの変化量の絶対値が単調増加していることを示し、 T の検出が可能になる。結果を Fig.6 に示す。移動平均の計算には直近の 8 個のデータを採用した。

変曲点までの過渡状態を観察するため、グラフの時間軸の最大を 60 min から 10 min に変更した。グラフより、フィルターをかけたデータの方が、かけていないデータに対して、1 の出力が継続していることが分かる。これは、フィルターによって、ハンチングが低減したと考えられる。また、 T は 2 min 以上であることが確認できた。このことから、5.2 節と 5.3 節の処理で、過渡状態を検出するためには T を 2 min 以上とすることが望ましいと考えられる。

5.4 単位時間あたりの変化量を観察する制御モデル

以上のことから、変曲点までの過渡状態を検出するためには、 T を 2 min 以上継続することで実現される。以下に制御モデル (4) を記載する。ここで、5.2 節と 5.3 節の処理はデータの処理でありモデルには記載しない。

$$u = \begin{cases} 1, & (t \geq T) \\ 0, & (t < T) \end{cases} \quad (4)$$

u : 空気清浄機の動作モードを示す変数

T : 2 min を表す定数

t : 4.2 節の T の継続時間

6. 比較実験

ニオイ判定値を用いた制御と単位時間あたりの変化量を観察する制御において、それぞれがニオイを判定する時間を計測する。当社の空気清浄機 (MC-S201) に制御プログラムを書きこみ、試験を行った。試験方法については、3.3 に記載した内容と類似しているため、変更点のみ記載し、その他は省略する。変更点は 3 点あり、①評価濃度はアンモニア 0.6 ppm のみであり、②センサーへの電源供給を空気清浄機から行い、③ロガーでの出力を分岐させ空気清浄機に入力することである。ニオイ判定をした場合、本体動作モードが遷移するようにプログラムを作成しており、目視によってニオイ判定時間を計測した。結果を Table 3 に記載する。

ニオイ判定値による制御より、単位時間あたりの変化量を観察する制御の方が 1.7 min (19.3%) 早くニオイを検出した。これは、ニオイ判定値には不感帯となるデータにおいて、センサー抵抗値の比を単位時間あたり

の変化量で確認する制御方式が有効であったためであると考える。

Table 3 The Results of the detection time experiment

Contoroll program	Odor detection time [min]
Odor detection threshold	8.8
Amount of change per unit time	7.1

7. 結論

これまでに得られた実験結果を要約すると、次の通りである。

- 1) ニオイセンサーはアンモニア濃度 0.2 ppm の差を検知しており、感度が高いことが確認できた。
- 2) ニオイに対するセンサー抵抗値の比を単位時間あたりの変化量にして観察した場合、変曲点を確認することができる。この変曲点に至るまでの過渡状態を検知することで、ニオイを検出することができる。
- 3) ニオイ判定値による制御と比較して、単位時間あたりの変化量を観察する制御は、アンモニア 0.6 ppm の検出が 19.3 % 早い結果となった。

今後は、他のガス種や実験環境を増やし、センサーに関するデータを更に収集する。また、本稿では行えなかったが、ニオイ判定値と、単位時間あたりの変化量を観察する制御の両方を組み、最適なニオイセンサーの制御を作成したい。

参考文献

- 1) 日本建築学会：特集健康建築 シックハウスから健康住宅へ 建築雑誌 第117巻 第1491号(2002)
- 2) 池田耕一：室内空気汚染に対する建築的対応 臨床環境医学：日本臨床環境医学会会誌(1998)19-26
- 3) フィガロ技研株式会社 HP「動画でわかる!ガスセンサ 解説動画 1-6」
<https://www.figaro.co.jp/movie/>
- 4) 悪臭法令研究会：四改版 ハンドブック悪臭防止法(2001)