

低濃度酸化性ガスセンサの複素インピーダンスを考慮したガス濃度測定と種類判別手法に対する一検討

A Study on Gas Concentration Measurement and Type Discrimination Methods Considering Complex Impedance of Low Concentration Oxidizing Gas Sensor

○北野涼介¹, 佐伯勝敏²

*Ryosuke Kitano¹, Katsutoshi Saeki²

Abstract: In this paper, we propose concentration measurement and kind distinction techniques of the gas in consideration of complex impedance changing by the adsorption of the gas molecule in the gas sensor. We considered a gas sensor as equivalent RC parallel circuit and simulated the equivalent circuit. As a result, it is shown that the propose technique can be the possibility of measuring gas concentrations and discriminating gas types according to measure the sensor's discharge voltage by applying a pulse voltage to the sensor.

1. まえがき

化石燃料の燃焼によって発生する NO₂ (二酸化窒素) や SO₂ (二酸化硫黄) は, 呼吸器疾患や大気汚染の原因となることから^{[1][2]}, 環境省によって環境上の条件や測定方法が定められている^[3]. しかし大規模な設備を必要とすることから, 一般家庭などで用いるには不向きである.

本稿では, ガス分子の吸着によって複素インピーダンスが変化するガスセンサ^[4]を使用した, ガス濃度測定および種類判別を行うための手法について検討を行った.

2. 本論

Fig.1 に使用する低濃度酸化性ガスセンサの模式図を示す. 本センサは楕型電極上に感応膜として CuPc (銅フタロシアニン) を蒸着しており, 電子受容性ガス分子が吸着することによって複素インピーダンスが変化し, また濃度や種類に応じて変化量が異なることから, ガスセンサとしての利用が可能となる. また電気的特性として RC 並列回路と等価として扱うことができる^[4].

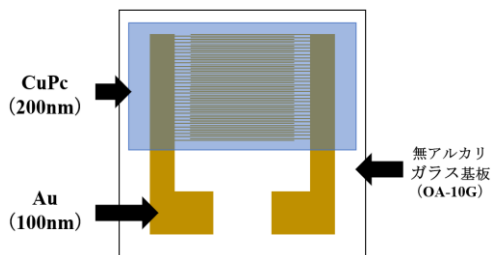


Figure 1. Schematic diagram of a low concentration oxidizing gas sensor

Fig.2 に濃度測定回路を示す. 同回路は矩形波発振回路の出力段に抵抗とセンサから成るセンサ分圧回路, およびボルテージフォロワ回路によるトリガー信号回路を接続することで構成しており, 回路中抵抗 R_s およびコンデンサ C_s による並列回路がセンサ部分である.

センサの複素インピーダンスが変化することで, センサ分圧回路中 Output 部分の放電電圧が変化するため, センサをガスにばく露する前後の放電電圧の変化からガス濃度測定および種類判別を行う. またトリガー信号回路は測定に使用する Arduino マイコンボードと回路の同期を取るために使用する.

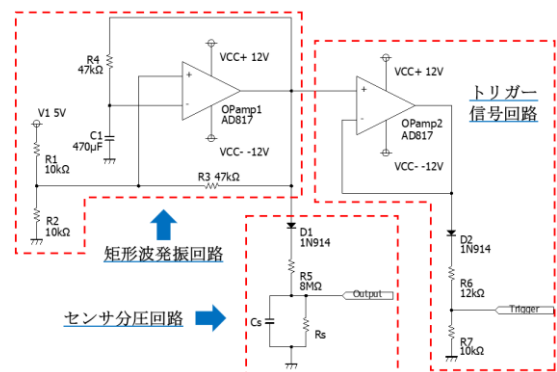


Figure 2. Concentration measurement circuit

Fig.3 にセンサの Cole-Cole プロットを示す. 同図は 0.5 ppm の NO₂ ガスをばく露する前後の複素インピーダンスについて, 1 Hz から 100 kHz までプロットしたものであり, 図中に示す虚数成分が最も大きい周波数における複素インピーダンスの値から, RC 並列回路のインピーダンスの式(1)を用いて抵抗成分および容量成分を算出し, Fig.2 中抵抗 R_s およびコンデンサ C_s の値

1 : 日大理工・院 (前)・電子 2 : 日大理工・教員・電子

としてシミュレーションを行った。

Table 1.に算出した値を示す。

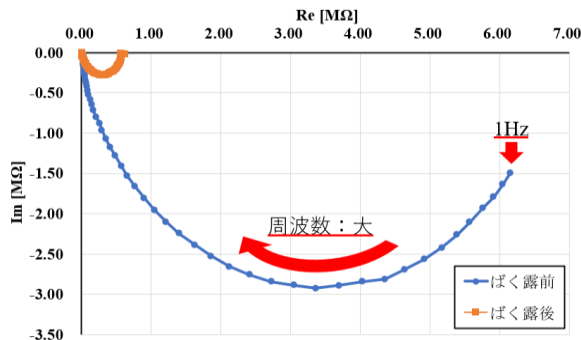


Figure 3. Experimental results of cole-cole plot of low concentration oxidizing gas sensor

$$Z = \frac{R}{1 + \omega^2 C^2 R^2} - j \frac{\omega C R^2}{1 + \omega^2 C^2 R^2} \quad (1)$$

Z:複素インピーダンス R:センサの抵抗成分 C:センサの容量成分

Table 1. Calculated values of resistance and capacitance

	抵抗成分	容量成分
ばく露前	7.3 MΩ	1.0 nF
ばく露後	0.7 MΩ	0.5 nF

Fig.4 に、LTspice による濃度測定回路のシミュレーション結果を示す。同図は 1.68 s のタイミングで矩形波発振回路が立ち下がることによるセンサ分圧回路出力の放電電圧について、センサ部分の抵抗 R_s およびコンデンサ C_s の値を変化させた時のシミュレーションである。同図よりセンサの抵抗値の変化を放電開始時のピーク電圧の変化として、またセンサの抵抗値および容量値の変化を放電時間の変化として得られることから、この 2 つのパラメータの変化によってガス濃度および種類判別を行える可能性がある。

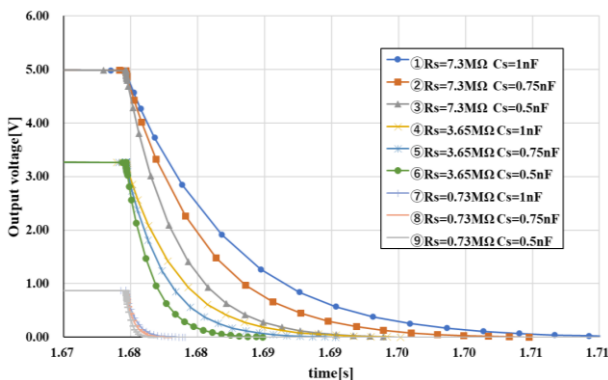


Figure 4. Simulation results of output voltage of concentration measurement circuit

Fig.5 に Arduino マイコンボードによって測定した濃度測定回路出力を示す。同図はセンサ部分の抵抗 R_s およびコンデンサ C_s について、センサの代用としてディスクリートの抵抗およびコンデンサを接続して測定を行ったものである。同図より Fig.4 に示したシミュレーション結果と近い結果を得ることができたが、測定データについて時間情報を付与していないため、特に放電時間については正確なデータは得られていない。

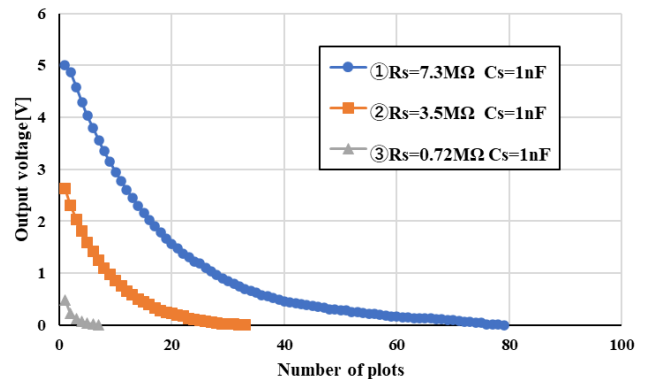


Figure 5. Output voltage of concentration measurement circuit measured by Arduino microcontroller board

3. まとめ

ガス濃度測定および種類判別手法として、低濃度酸化性ガスセンサのインピーダンス変化を考慮した測定回路および測定方法について検討を行い、シミュレーションにより放電電圧の変化の違いからガス濃度測定および種類判別を行える可能性があることを明らかにした。

今後は Arduino マイコンボードによる測定時に時間情報を付与した上で、実際のセンサにより NO_2 ガスおよび SO_2 ガスについて測定を行い、放電電圧の変化にどのような違いが得られるのか検討する予定である。

4. 参考文献

- [1] 独立行政法人環境再生保全機構：「二酸化窒素 (NO_2) の概要，年平均値の推移」，発行年不明 (2022 年 9 月 12 日閲覧)。
- [2] 独立行政法人環境再生保全機構：「二酸化硫黄 (SO_2) の概要，年平均値の推移」，発行年不明 (2022 年 9 月 12 日閲覧)。
- [3] 環境省：「環境基本法 (平成 5 年法律第 91 号) 第 16 条第 1 項」，1998 年。
- [4] 佐伯勝敏，堀口拓：「複素インピーダンスを用いた低濃度酸化性ガスセンサ」，電学論 A, Vol.138, No.5, pp.244-249, 2018 年。