

電気集塵装置によるにおい物質低減に関する検討

A Study on Reduction of Odorous Substances with Electrostatic Precipitator

川田 吉弘, 立田 翔太, 清水 洋隆

Yoshihiro Kawada, Shota Tatsuta and Hirotaka Shimizu

The electrostatic precipitator is a device for reducing suspended fine particles, which is widely used from home air cleaner to industrial applications. However, odorous substances cannot be almost reduced with the electrostatic precipitator. Most odorous substances are liquids at room temperature, however these become volatile if vaporized. Generally, gaseous substance is not removed from air with electrostatic precipitator. In this study, we investigated that odorous substances are removed with an electrostatic precipitator, and then, odorous substances are reduced by the ozone generated with corona discharge. The measurement of odorous substances is used odorous sensor corrected for ozone concentration. Furthermore, collected substances at collected electrode in electrostatic precipitator are analyzed by a Fourier transform infrared (FT-IR) with the Nujol methods.

Keyword: Odorous substances, Corona discharge, Electrostatic Precipitator, Air Cleaner, Filtration

1. はじめに

生活環境において発生する煙草, 線香, 料理等の煙には, においと浮遊粒子が混在している。室内ならば換気もあるが, 新鮮な大気でのにおいや浮遊粒子濃度を希釈するのみで, においや浮遊粒子の除去には至らない。

においを発する物質をにおい物質とすると, におい物質となる因子には, 溶解性, 揮発性, 官能基がある^[1]。アンモニアのような気体やメントールのような固体もあるが, におい物質の大半は常温下において液体である。におい物質が揮発して, 微粒子状となり拡散して鼻腔内に取り込まれ, 嗅粘液ににおい物質が分散し, 嗅細胞に受容されるメカニズムから, 揮発性や嗅粘液への溶解性は因子に含まれる。またにおいの質や強度を決定する因子として官能基がある。におい物質は低濃度であることが多く, 構成される分子も多種多様であることから, においの評価, 分析は, 複雑かつ時間のかかる作業となる。

におい物質は微粒子状になるというプロセスから, フィルタでもにおいは取れる可能性はある。家庭用空気清浄機では, においや浮遊粒子を除去するために, 活性炭やゼオライトなどの吸着剤を入れた脱臭フィルタを粒子捕集用の繊維フィルタと組み合わせて使用する例がある。ただしフィルタ層を厚くすると, ガスを流通させるためのファンの消費電力が増加する^[2]。またフィルタに捕集されたにおい物質は, 常にガス流にさらされることから, フィルタからにおいを発生することもある。家庭用空気清浄機では, ガスセンサを用いて, におい検出時以外はフィルタの通気流量を低下させる等の制御を行っ

ている。

本研究では, 微小粒子の捕集効率が高い電気集塵装置に着目した。電気集塵装置において粒径 20nm 程度の微小浮遊粒子捕集は確認されている^[3]。におい物質も気体分子であれば, 粒径 0.3~1.0nm 程度の粒子である^[4]。におい物質に電荷を付与し, クーロン力により電極板へ移動・捕集できれば, 気流中のにおいは低減できる。フィルタのようにガス流路中に捕集した粒子が残留しないため, 効率の良いにおい低減効果を期待できる。一方で, 電気集塵装置で発生するオゾンを用いても, におい物質はわずかに低減する結果もある^[5]。本研究では, 電気集塵装置におけるにおいの低減をリアルタイムの評価ができ, かつ実機に組み込み, 制御に用いることも可能な 2 種類のセンサに注目した^[6,7]。本報告では, においを検出するガスセンサ出力をオゾン濃度により補正することを試みた。言い換えれば, ガスセンサとオゾンセンサを用いて, 電気集塵方式の空気清浄機のおいに与える影響を評価した研究である。また電気集塵で捕集した物質の解析について, Nujol 法を用いて, FT-IR により測定したのであわせて報告する。

2. 実験方法

2.1. 実験装置および実験方法

実験装置概略図を図 1 に示す。断面寸法が縦 500mm×横 500mm のアクリル製ダクト内で実験を行った^[8]。電気集塵装置に流入, および処理され流出する粒子個数濃度をデジタル粉塵計(柴田科学製 LD-5R)により計測した。

サンプリング流量を 1.7L/min とし、質量濃度変換係数は 0.001 とした。デジタル粉塵計は室内大気において比較的高度濃度な環境における、粒径 0.1-10 μ m 程度の広い粒径範囲の浮遊粒子に対し、重量濃度に換算した値を示す。電気集塵装置に流入する粒子濃度を 0.3~0.5mg/m³ 程度となるよう、線香の煙を室内大気で希釈した。電気集塵装置で処理されたガスは、ダクト通過後、室内へ回り込まないよう、ダクトにより室外へ排出した。電気集塵装置の上流側および下流側の粒子濃度より、集塵率 η は式 (1) を用いて算出した。

$$\eta = (1 - M_{out} / M_{in}) \times 100 \quad [\%] \quad (1)$$

ここで、 M_{in} は集塵装置上流側の重量粒子濃度、 M_{out} は集塵装置下流側の重量粒子濃度を示す。

また、電気集塵装置の上流、下流ににおいを検出するための臭気用のガスセンサ（フィガロ技研製 TGS2602, 検出抵抗:100k Ω , 以下、ガスセンサと称す）を設けた^[9]。このセンサは、空気の汚れ（VOC, アンモニア, 硫化水素など）を検知対象ガスとしている^[10]。またオゾンモニタ（FIS 製 SP61-02F, 以下オゾンセンサと称す）を下流側に設け、0.4ppm 以下のオゾンを選定した。粒子濃度、ガスセンサ出力、オゾンセンサ出力は、それぞれ実験条件変更後 5 分間保持し、各濃度が安定していることを確認した後、5 分間、1 秒毎の計測を行い、平均値を計測値とした。

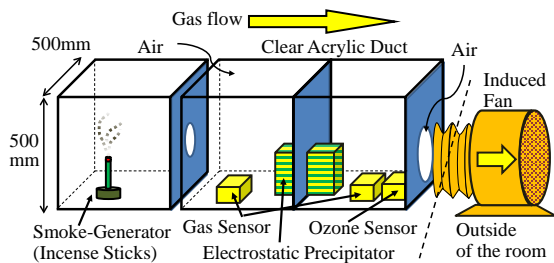
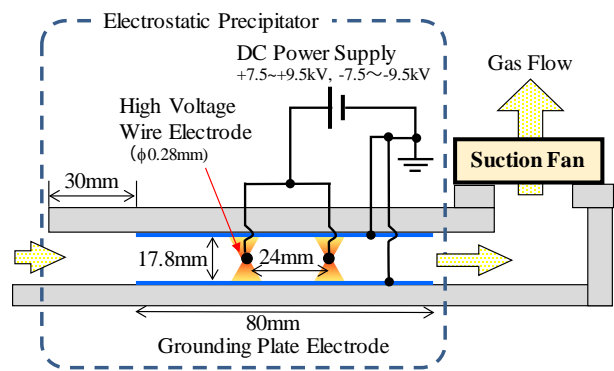


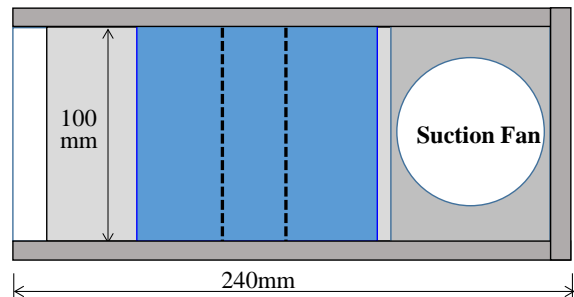
図 1 実験装置概略図

2.2. 電気集塵装置

電気集塵装置概略を図 2 に示す。厚さ 0.1mm のステンレス製接地平板電極を 17.8mm の空隙を持たせ平行に配置し、接地平板電極間の中央に直径 0.28mm のステンレス製ワイヤ電極を、ガス流方向に 2 本、24mm 間隔で配置した。本試験範囲における放電電流特性を図 3 に示す。放電電流は直流電源のモニタ電流とした。電気集塵装置に接続した端子を開放として電圧を 10kV まで印加しても電流は流れなかった。つまり電源や電線等において漏れ電流がないことを確認した。電流 0.01mA 以上流れた際の印加電圧を放電開始電圧とすると、正極性で 6.5kV, 負極性で -6.8kV 程度であった。本試験においては安定して放電することを条件に、ワイヤ電極に直流正極性 7.5kV ~ 9.5kV, もしくは負極性 -7.5 ~ -9.5kV の電圧を印加した。アクリルで製作したダクト間を通過する処理ガス流速は平均 6.0m/s とし、電気集塵装置で処理されたガスは下流の吸引ファンにより電気集塵装置外へ上向きに排出した。



(a) Side view



(b) Top view

図 2 電気集塵装置概略図

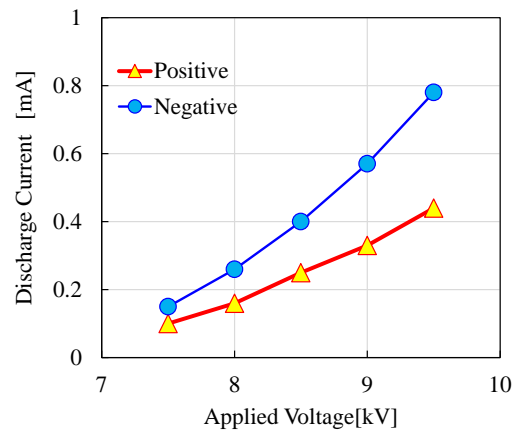


図 3 本装置における印加電圧の放電電流特性

2.3. FT-IR による測定

電気集塵装置に取り込まれたガス成分、および電気集塵電極に捕集された粒子の成分について、フーリエ変換赤外線吸光光度計 (FT-IR, 島津製作所製 IRAffinity-1) を用いて測定した。それぞれの FT-IR の測定条件を表 1 に示す。ガス成分は光路長 10cm, 塩化ナトリウム (NaCl) 製窓材を用いたガスセルにより測定した^[11]。電極表面に

表 1 FT-IR による測定の条件

	ガス	捕集粒子
方法	ガスセルによる測定	Nujol法
光路長	10cm	0.1mm
窓材	NaCl	NaCl
窓材の厚さ	5mm × 2枚	4mm × 2枚
分解能	0.5cm ⁻¹	1.0cm ⁻¹
積算回数	32回	64回

捕集された粒子の成分は Nujol (ヌジョール) 法を適用した。流動パラフィン (和光純薬工業製, IR 用) 数滴を捕集後の集塵電極に垂らし, 極板上の捕集物を洗い流して流動パラフィンに溶解させた。流動パラフィンを塩化ナトリウム板 (表 1 における窓材) にはさみ, 赤外線透過させて測定した。

3. ガスセンサ出力のオゾン濃度補正

今回用いたガスセンサはにおいに関する評価指標として, 他の研究者も用いた例がある^[6]。センサ部に酸化金属を用いており, 対象物質と酸化金属が反応し, 酸化の状態が変わることで抵抗値が変化することを用いている。つまり, センサ部が感知する物質は酸化金属表面を還元することから, センサ部の電気抵抗値が増加しセンサ両端に生じる電位差が上昇する^[12]。一方, オゾンのような酸化作用を持つ物質が流入した場合, 酸化金属の電気抵抗値は低下し, センサ出力は低下すると考えられ, におい物質が低減してきたと見誤る可能性がある。

電気集塵装置の発生オゾン濃度を把握する。室内大気における発生オゾン濃度とコロナ放電の印加電圧の関係を図 4 に示す。コロナ放電空間を通過する平均ガス流速は, 以降の集塵やにおい評価の試験と同様の 6m/s とした。また, 本試験で用いたオゾンセンサの最大は 0.4ppm までしか計測できないため, 負コロナ放電, 9kV 以上印加時は 0.4ppm 以上であった。一方, 正コロナ放電では最大 0.05ppm 程度と, 負コロナ放電と比較し低い値であった。オゾン濃度とセンサ出力の相関を図 5 に示す。このとき, オゾン以外のガスは一定となるよう, 誘電体バリア放電を用いて室内大気から発生させたオゾンを, 試験ダクト外部から添加した。オゾン濃度の増加に対し, ガスセンサの出力は線形で低下することを確認した。ただし, 同一オゾン濃度においても, オゾン濃度増加時のガスセンサ出力は低い値, オゾン濃度低下時では高い値となった。これは, 検出から出力まで, つまり検出遅れ時間がガスセンサ, オゾンセンサで異なることに由来し, 一定時間経過後はオゾン濃度が一定であれば中間の値になると考えられる。この実験結果を線形近似し, ガスセンサの出力をオゾン濃度に対して補正した。具体的な補正式を式 (2) に示す。

$$V_{cor} = V_{raw} + 1.77 \times C_{O_3} \quad (2)$$

ここで, V_{cor} は補正したセンサ出力[V], V_{raw} は実験で得られたセンサ出力[V], C_{O_3} はオゾン濃度[ppm]を示す。

4. 実験結果および考察

4.1. 集塵特性

印加電圧に対する集塵率を図 6 に示す^[7]。縦軸は対数で表示する。負コロナ放電においては最大 99% 以上, 正コロナ放電においては最大 80% 程度の集塵率であった。

また負コロナ放電においては, 同一印加電圧における放電電流が高く, 集塵率も正コロナ放電より高い結果であった。これは一般的な電気集塵装置と同様の結果であった^[13]。

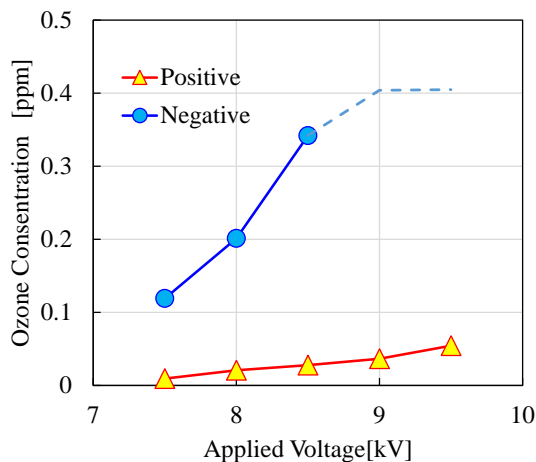


図 4 室内大気におけるコロナ放電印加電圧に対するオゾン発生特性

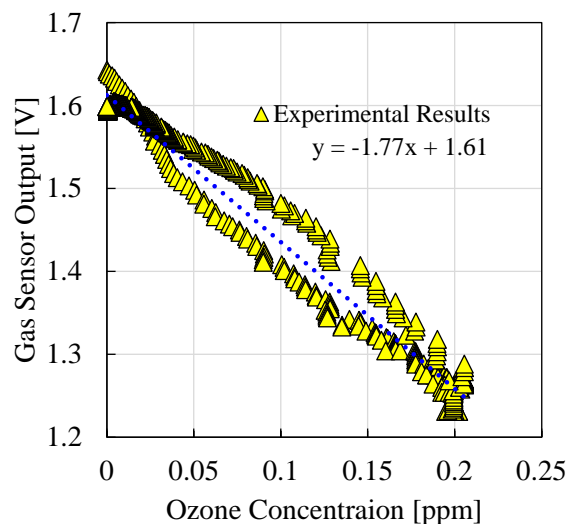


図 5 外部オゾン発生器を用いたオゾン濃度に対するガスセンサの出力変化

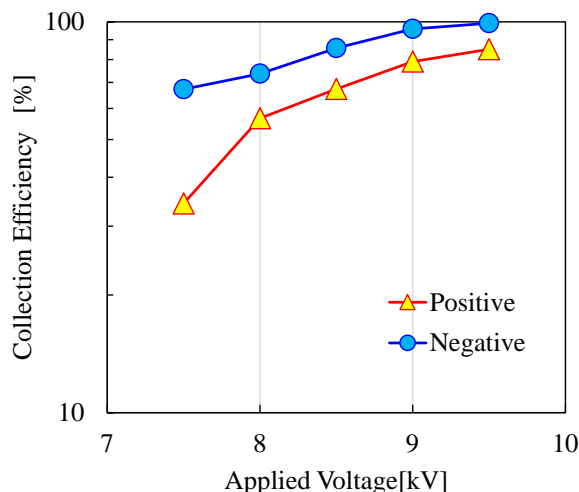


図 6 印加電圧に対する集塵特性

4.2. ガスセンサによるにおい低減評価

コロナ放電印加電圧に対するガスセンサの出力特性を図7に示す。また、本実験における下流オゾン濃度を図8に示す。本結果はいずれも3章で述べたオゾン濃度補正を施した実験結果であり、図8のオゾン濃度を補正に使用した。また破線は上流側のセンサ出力を示す。同程度の上流側ガス濃度となるよう正コロナ放電、負コロナ放電実験時の条件はそろえたが、負コロナ放電実験時のほうが高いセンサ出力電圧であった。本実験において、破線に対する実線の低下分がにおい物質の低減を示す。負コロナ放電では、下流側センサ出力は0.1~0.2V程度低下した。電気集塵装置におい物質が流入した図8の結果において、オゾン濃度は図4と比較し低い値となった。具体的には、負コロナ放電における印加電圧-8.5~9.5kVの条件のみオゾンが検出された。室内大気に比べ線香燃焼ガスには炭化水素や一酸化炭素COが含まれる。これらの物質とオゾンが反応したと考えられる。燃焼ガス中には、においを発生する物質も多種含まれており、またオゾンによる脱臭効果は他の研究者からも多くの結果が得られていることから^[14]、オゾンによるにおい物質低減がなされたと考えられる。また、著者らは、同様の実験

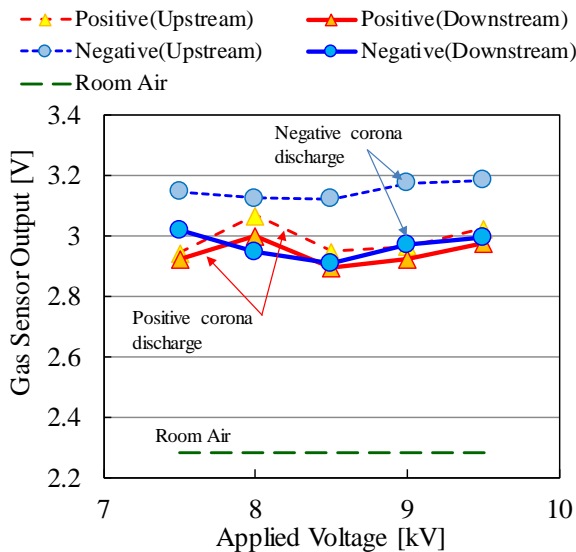


図7 印加電圧に対するガスセンサの出力特性

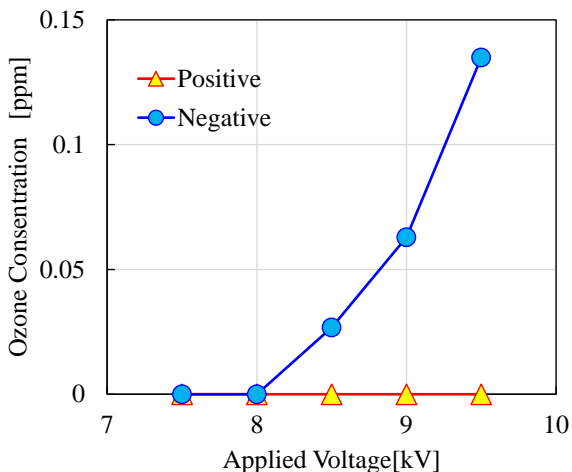


図8 図7試験時における排出オゾン濃度特性

装置において、負コロナ放電時に、アンモニア及びアルデヒド濃度が低下し、酢酸濃度が増加する結果も得られている。これらは負コロナ放電が作用し、かつ一部のオゾンが酸化に働き、アルデヒドから酢酸が生成されたと考えられる^[5,14]。

4.3. 電極捕集物質の検討

波数 4000cm⁻¹~2000cm⁻¹における、電気集塵装置処理前の試験ガス成分(上)、Nujol 法により電極表面の物質を含む流動パラフィン(中)、流動パラフィン(下)の吸光度を図9に示す。試験ガスのバックグラウンドは室内大気をガスセルに封入した状態、電極表面物質を含む流動パラフィンについては、流動パラフィンをバックグラウンドとして赤外線吸光度を測定した。流動パラフィンはメチレン基(-CH₂-)の吸収により 2853cm⁻¹ および 2926cm⁻¹ 付近にピークを持つ^[15]。試験ガス CO, CO₂によるピーク(2100~1900cm⁻¹)、およびベンゼン環など一部の C-H 結合を持つ物質(3150~2900cm⁻¹)は試験ガス中のみ吸光が生じたが、電極表面からは検出されなかった。一方、水(2400~2300cm⁻¹)や水素と結合をもつ物質(4000~2900cm⁻¹)は流動パラフィンでは検出されないが、試験ガス中及び電極表面物質からは検出された。この結果では、においを含む物質は、水分や油分(水素結合をもつ物質)と一緒に電気集塵される可能性はあることが示された。ただし、においに結びつく物質、および官能基を示した結果は得られていない。今後、時間や試験ガス濃度を変えて、電極へ捕集された物質の更なる解析を進める。

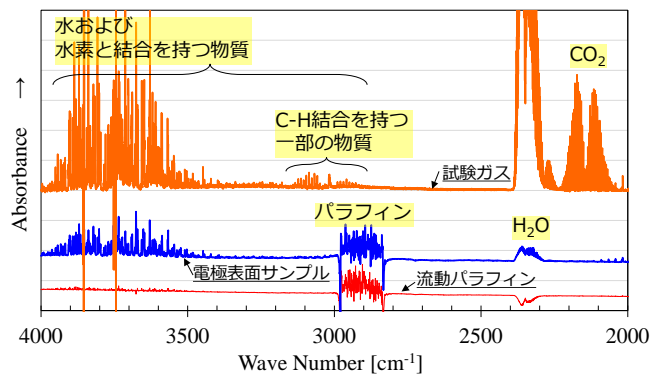


図9 FT-IRによる試験ガス中および電極表面における赤外線吸収スペクトル

5. おわりに

におい物質を電気集塵装置で低減することを目的に、ガスセンサ等を用いて評価を行った。

- (1)負コロナ放電で最大99%以上、正コロナ放電で最大80%程度、微小浮遊粒子を低減ができる装置を用いた。また、今回におい評価に用いたガスセンサはオゾンによる影響を受けるため、オゾン濃度に対する補正を行った。

(2) 負コロナ放電ではにおいの低減が示された。正コロナ放電では、においの低減は示されなかった。オゾンによる脱臭効果は他の研究者からも多数報告されており、このにおい低減はオゾンによるものと考えられる。

(3) 電極捕集物質の解析を行ったところ、水分や油分と考えられるスペクトルは見られたが、おいに結びつく官能基の検出はできなかった。

これらより、電気集塵装置によるにおい低減について、コロナ放電により発生するオゾンによりわずかに低減することは確認できたが、クーロン力によるにおい物質の電極表面への捕集は確認できなかった。今後、試験条件の変更や電極材料の変更（吸着材などの含有）を行い、におい物質を電極へ捕集する。捕集し、放電由来の活性物やオゾンにより分解低減することを試みる。

参考文献

- [1] 矢内雅人編, においの分析・評価と最新脱臭/消臭技術実務集, 技術情報協会, 東京, pp.3-15(2008)
- [2] 日本空気清浄協会編, 室内大気清浄便覧, p.239-240, オーム社(2000)
- [3] 安本浩二, 瑞慶覧章朝, 河野良宏, 交流電界による電気集じん装置の高性能化, 富士時報, Vol.79, No.2, pp.149-152 (2006)
- [4] ウィリアム C.ハインズ著, 早川一也監訳:「エアロゾルテクノロジー」井上書院, pp.7-9 (1985)
- [5] 川田吉弘, 立田翔太, 清水洋隆, 負コロナ放電を用いた浮遊粒子と臭気の高減, 平成 29 年電気学会全国大会, 1-103, p.119(2017)
- [6] 並木和則, 新倉幸紀, 鍵直樹, 臭気センサーを用いた低境界風速における喫煙・非喫煙量空間境界面での環境たばこ煙の動的挙動評価, 第 33 回空気浄化とコンタミネーションコントロール研究大会予稿集, pp. 169-172(2016)
- [7] 川田吉弘, 立田翔太, 清水洋隆, 電気集塵装置によるにおいと浮遊粒子の同時除去に関する研究, 2017 年静電気学会春期講演会論文集, pp.81-86(2017)
- [8] 川田吉弘, 清水洋隆, 電気集塵装置による閉鎖空間浮遊粒子の高減, 電気学会論文誌 A, Vol.136 No.7 pp.427-433 (2016)
- [9] 立田翔太, 川田吉弘, 清水洋隆, センサによるにおい評価手法の構築, 職業大フォーラム 2016 講演論文集 11-C2-6, pp.116-117 (2016)
- [10] フィガロ技研株式会社ホームページ <<http://www.figaro.co.jp>>, TGS2602 センサ仕様書(アクセス日 2017.10.16)
- [11] 田隅三生編著:「赤外分光測定法 基礎と最新手法」株式会社エス・ティ・ジャパン, p.8-9 (2012)
- [12] エレセラ出版委員会編, セラミックセンサ, 学献社, pp.17-25(1980)
- [13] 静電気学会編, 静電気ハンドブック, pp.491-492 (1981)
- [14] 日本オゾン協会編, オゾンハンドブック, pp.272-

273(2004)

[15] 堀口博著 「赤外吸光図説総覧」, p.7, 三共出版 (1973)

(原稿受付 2017/11/14, 受理 2017/7/13)

*川田 吉弘, 博士 (工学)

職業能力開発総合大学校, 〒187-0035 東京都小平市小川西町 2-32-1

Yoshihiro Kawada, Polytechnic University, 2-32-1 Ogawa-Nishi-Machi, Kodaira, Tokyo 187-0035

Email: kawada@uitech.ac.jp

*立田 翔太,

北海道職業能力開発促進センター旭川訓練センター,

〒097-8418 旭川市永山 8 条 20 丁目 3 番 1 号

Shota Tatsuta, Asahikawa VTC/Hokkaido Polytechnic Center,

20-3-1 Nagayama Hachi-jo, Asahikawa, Hokkaido 079-8418

*清水 洋隆, 博士 (工学)

職業能力開発総合大学校, 〒187-0035 東京都小平市小川西町 2-32-1

Hiroataka Shimizu, Polytechnic University, 2-32-1 Ogawa-Nishi-Machi, Kodaira, Tokyo 187-0035

Email: shimizu@uitech.ac.jp