

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 18 日現在

機関番号：17301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21H01626

研究課題名(和文) ダイナミック吸着燃焼に基づいた生体ガスの高感度・高選択的センシング技術の確立

研究課題名(英文) Development of highly sensitive and selective VOC sensing technology based on the dynamic adsorption/combustion behavior

研究代表者

兵頭 健生 (HYODO, TAKEO)

長崎大学・工学研究科・教授

研究者番号：70295096

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、アセトンおよびエタノールに対する吸着燃焼式ガスセンサの応答特性を明らかにするために、「触媒組成の最適化」「作動メカニズムの解明」および「作動条件の確立」することを目的とした。特に、アルミナを触媒基材とし、PtあるいはPdを主担持材料として各種材料を共担持した際の特性を詳細に検討した。その結果、貴金属と酸化物とを共担持する場合「Ptと酸化ニッケル」や「Pdと酸化鉄」が、貴金属同士を共担持する場合「PtとPd」がセンサ特性を改善した。なお、Pdに対して「Ir, Ag, 酸化銅や酸化マンガンを」共担持すると、エタノール応答が大きく低減し、相対的にアセトン選択性が高くなることも確認できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、アセトンおよびエタノールを検知するための吸着燃焼式マイクロガスセンサの触媒材料を一から見直し、貴金属および酸化物の共担持による応答特性の改善に注力した。「センサの触媒組成や作動条件」と「センサ特性」との関連性や作動メカニズムについてはまだ解明途中であるものの、組成の選択や作動条件の最適設定がセンサ応答の改善に重要であることを明らかにできたことから、これらの結果は今後のガスセンサの設計に対して重要な知見となる。また、環境モニタリングやヘルスケアなどへの今後のガスセンサの応用・活用に対しても、その可能性を高めることに寄与できたと考えている。

研究成果の概要(英文)：We focused on "optimizing the catalyst composition", "clarifying the operating mechanism", and "establishing the operating conditions" in this study, to clarify the response properties of adsorption/combustion-type gas sensors to acetone and ethanol. In particular, the effects of the co-loading of various materials (main material: Pt or Pd) on gamma alumina (catalyst substrate) were investigated in detail. The co-loading of "Pt and nickel oxide", "Pd and iron oxide", or "Pt and Pd" was effective in improving the responses to both acetone and ethanol. On the other hand, the co-loading of Pd with "Ir, Ag, copper oxide, or manganese oxide" on the gamma-alumina surface reduced the ethanol response to enhance the acetone selectivity.

研究分野：化学センサ

キーワード：ガスセンサ 揮発性有機化合物 吸着燃焼式センサ 酸化触媒

1. 研究開始当初の背景

現在の社会には、人間の健康に様々な悪影響を及ぼす揮発性有機化合物 (VOCs) が数多く存在する。各種建材 (塗料、接着剤、樹脂など) から室内に拡散される VOCs は、「シックハウス症候群」や「化学物質過敏症」の発症原因となる。一方、呼吸ガスや皮膚ガス、腸内ガスにも数限りない種類の VOCs が無機ガス (腸内で生成する H_2 など) とともに含有され、疾病時には特有な VOCs (バイオマーカー) の濃度が増加することが確認されている。例えば、アセトンは糖尿病や代謝活動の、イソプレンやペンタンは心疾患の、トルエンや 1-ノナールは肺がんのバイオマーカーであることが報告されている。そのため、それらを選択的に検知できるウェアラブルデバイスが開発され、それらの濃度変化を IoT (Internet of Things) 技術によりオートマチックにデータ収集することができれば、通常的生活環境のなかで「完全無侵襲」「リアルタイム」「ストレスレス」でヘルスケアや疾病診断をすることが可能となる。すなわち、現在のヘルスケア・疾病診断の手法に大きな影響・波及効果を及ぼすと期待できる。

我々は、超微量の VOCs を検出するため、触媒燃焼式ガスセンサをダイナミック (動的) 作動させることで「VOC 吸着」機能と「ガスセンシング」機能をあわせ持つ「吸着燃焼式ガスセンサ」を研究してきた。低温で VOC を触媒材料の表面に吸着させたのち、急速加熱によりそれらを燃焼させることで、発生した大きな燃焼熱をセンシング信号として出力できるため、数十 ppb の VOC を検知することが可能であることをこれまで見出している。最近では、ガス検知膜の触媒担体である γ -アルミナ ($\gamma-Al_2O_3$) に Pd や Au を最適割合で含浸担持したり超音波還元法によりコア (Au) / シェル (Pd) ナノ粒子として高分散担持したりすることで、劇的に VOC 応答が改善することも明らかにした。また、Pt と金属酸化物 (CeO_2 あるいは Bi_2O_3) を $\gamma-Al_2O_3$ に共担持するによっても、VOC 応答特性が改善することを確認してきた。ただし、その触媒材料の組成を最適化するに至っていない状況である。また、その触媒活性や熱伝導性がセンサ特性に及ぼす影響についても、さらに詳細な検討が必要であった。

2. 研究の目的

本研究では、特定の VOCs (アセトンおよびエタノール) に対する吸着燃焼式マイクロガスセンサの応答特性を明らかにするために、「触媒組成の最適化」「作動メカニズムの解明」および「作動条件の確立」することを目的とした。特に、「VOCs を吸着して反応場となる触媒材料の表面性状・組成・微細構造」が「ダイナミック吸着燃焼挙動」に与える影響を、「吸着・触媒材料の設計・制御法」と「吸着特性・触媒活性の評価技術」を駆使して解明することを試みた。さらに、吸着燃焼式マイクロガスセンサの作動メカニズムについても検討した。

3. 研究の方法

(1) 触媒材料の調製方法

$\gamma-Al_2O_3$ に任意の Pt 担持量となるように H_2PtCl_6 水溶液を含浸したのち焼成 ($500^\circ C$, 1 h) することで、Pt を担持した $\gamma-Al_2O_3$ 粉末 ($nPt/\gamma-Al_2O_3$ (n : Pt 担持量, 0.1–10 wt%)) を調製した。また、Pt と金属酸化物 (MO) を共担持した試料 ($10Pt/10MO/\gamma-Al_2O_3$, MO: CeO_2 , CuO , Fe_2O_3 , Gd_2O_3 , La_2O_3 , Mn_2O_3 , NiO)、Pt と貴金属 (N: Au, Pd, Rh, Ag, Ir) を共担持した試料 ($10N/10Pt/\gamma-Al_2O_3$) を、それぞれの前駆体溶液を用いて順次含浸法により担持処理することで調製した。一方、任意の Pd 担持量となるように $Pd(NO_3)_2$ 水溶液を含浸処理することで $mPd/\gamma-Al_2O_3$ (m : Pd 担持量, 0.1–10 wt%) を調製した。また、Pd と金属酸化物 (MO) を共担持した試料 ($10Pd/10MO/\gamma-Al_2O_3$, MO: CeO_2 , CuO , Fe_2O_3 , Gd_2O_3 , La_2O_3 , Mn_2O_3 , NiO , Co_3O_4) も、それぞれの前駆体溶液を用いて順次含浸法により担持処理することで調製した。

(2) 触媒材料の評価方法

得られた触媒材料のエタノールおよびアセトンに対する酸化活性は、触媒粉末を粒状 (920 mesh) に成形した試料を固定床流通式反応装置に設置し、パーミエーターを用いて乾燥空気希釈のアセトンおよびエタノール (500 ppm) を流しながら (流量: $100\text{ cm}^3\text{ min}^{-1}$ 、空間速度: $30,557\text{ h}^{-1}$ 、乾燥空気希釈) 出口側の各種ガス濃度をガスクロマトグラフおよびガスクロマトグラフ質量分析計により分析することにより評価した。結晶構造は、粉末 X 線回折 (リガク, Miniflex600-DX) により評価した。また、窒素吸脱着特性 (マイクロメリティックス, TriStar3000) を評価することにより、比表面積を評価した。さらに、代表的な触媒材料の熱伝導率についても評価した (C-Therm., TRIDENT)。

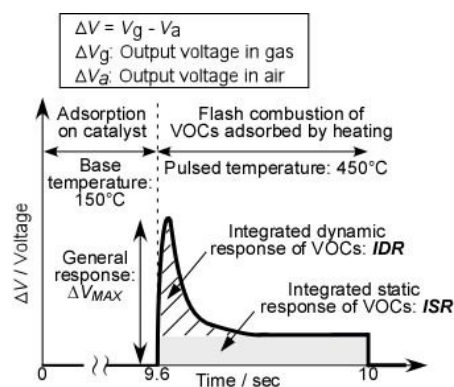


Fig. 1. Sensor-signal profile of typical adsorption/combustion-type gas sensors to VOCs.

(3) センサの作製方法および評価方法

半導体微細加工技術 (micro electro mechanical systems; MEMS) により作製したセンサプラットフォーム (一對の Pt ヒータ部を設置) のそれぞれの Pt ヒータ表面に触媒粉末と参照粉末 ($\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$) からなるペーストをディスペンサで塗布・製膜したのち、 500°C で 1 h 焼成することで吸着燃焼式ガスセンサを作製した。なお、ガス検知膜の膜厚は、 $20\text{--}30\ \mu\text{m}$ 程度に調整した。センサ素子のガス検知膜と参照膜は、Pt ヒータを介してセンサ特性評価用のブリッジ回路に組み込み、エタノールおよびアセトンに対する応答特性を評価した。

Fig. 1 に、典型的なセンサシグナルの概略を示す。センサの応答は、10 s 間に $0.4\ \text{s}$ だけベース温度 ($150\text{--}400^\circ\text{C}$) からパルス加熱 (450°C) にすることで測定した。被検ガス (アセトンおよびエタノール) 中の出力 (V_g) と空気中の出力 (V_a) の差 ($V_g - V_a$) から応答波形を求めた。センサシグナル (ΔV) は被検ガス中と空気中の出力の差と定義し、 ΔV の最大値 (ΔV_{MAX}) を応答値とした。また、得られたセンサシグナルを積分処理することでダイナミック (吸着燃焼に関わる) 積分応答値 (*IDR*) とスタティック積分応答値 (*ISR*) も求めた。

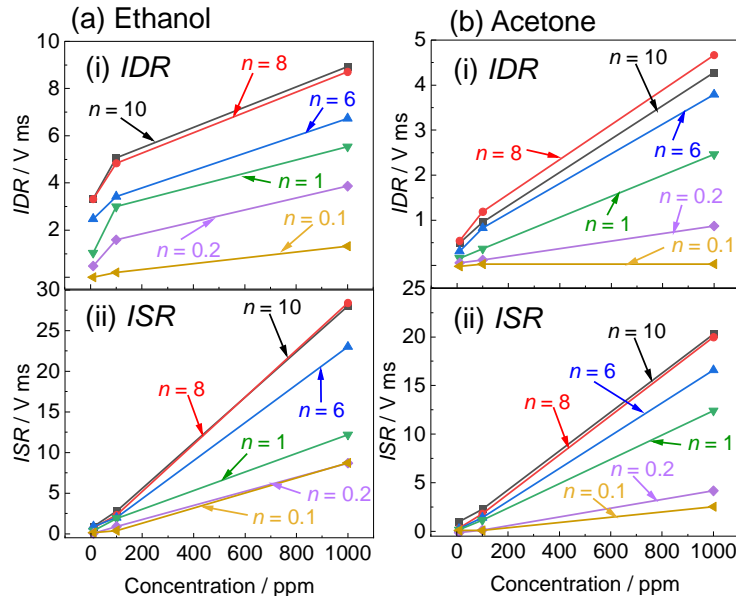


Fig. 2. Concentration dependences of *IDR* and *ISR* of $n\text{Pt}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ sensors to ethanol and acetone.

4. 研究成果

(1) Pt 担持が応答特性に与える影響

Fig. 2 に、 $n\text{Pt}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ センサのエタノールとアセトンに対する *IDR* および *ISR* の濃度依存性を示す。いずれのセンサも VOC 濃度の増加とともに応答値 (*ISR* と *IDR*) は増加すること、*ISR* は直線的に増加するのに対して *IDR* は高濃度側では応答値の増加ペースが小さくなること、Pt の担持量が多くなるとともに *ISR* は大きくなり *IDR* は Pt の担持量が 8 wt% の場合に最大値を示すことを確認した。 $10\text{Pt}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ センサの 1,000 ppm エタノールに対する *ISR* 値は約 28 であり、アセトンの値 (約 20) よりも若干大きかった。一方、このセンサの 1,000 ppm エタノールに対する *IDR* 値は約 8.9 であり、アセトンに対する値 (約 4.3) の約 2 倍であった。*IDR* は *ISR* と比較して、ベース温度時の触媒表面ガス吸着がその特性に大きく影響する。そこで、 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 表面へ Pt と金属酸化物を共担持することで、アセトンに対する *IDR* の改善を試みた。

(2) Pt および MO の共担持が応答特性に与える影響

Fig. 3 に、 $10\text{Pt}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ センサおよび $10\text{Pt}/10\text{MO}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ センサのエタノールとアセトンに対する *IDR* の濃度依存性を示す。アセトンに対する *IDR* は、 Fe_2O_3 , La_2O_3 , Gd_2O_3 あるいは NiO を Pt と共担持することで向上し、なかでも、 $10\text{Pt}/10\text{NiO}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ は最大の *IDR* を示した。一方、エタノールに対する *IDR* も上記の 4 種類の MO に加えて CeO_2 を Pt と共担持することで向上した。 $10\text{Pt}/10\text{NiO}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ の *IDR* はエタノールに対しても最大であったが、 $10\text{Pt}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ と比較するとアセトン応答の改善効果の方が大きかった。エタノールに対する *IDR* が、アセトンに対する *IDR* より大

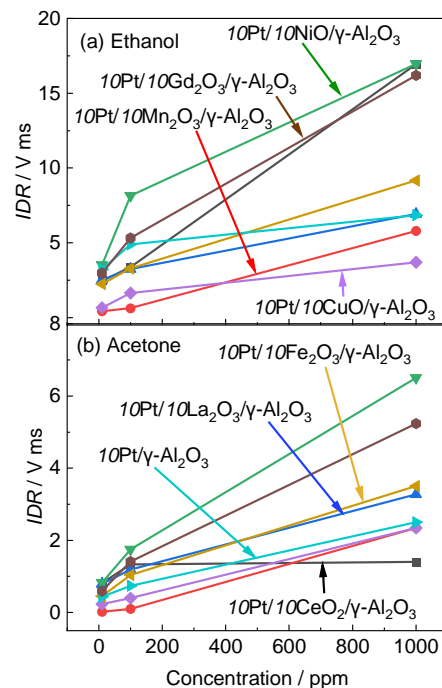


Fig. 3. Concentration dependences of *IDR* of $10\text{Pt}/10\text{MO}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ sensors to ethanol and acetone.

きいのは、エタノールの方がアセトンに比べて、ベース温度での吸着量が多いことやパルス加熱時の燃焼特性が高いことが原因と考えられる。また、エタノールは、ベース温度で部分分解生成物に変化し、それらが触媒表面に吸着したために応答値が増加した可能性もある。そこで、ベース温度がこれらガスに対する応答特性に与える影響を評価し、エタノールに対してアセトン選択性を改善できる作動条件を探索した。

Fig. 4 に、 $10\text{Pt}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ センサおよび $10\text{Pt}/10\text{MO}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ センサの 1,000 ppm エタノールおよびアセトンに対する ISR のベース温度依存性を示す。いずれのセンサの場合も、エタノールに対する ISR はベース温度が高くなるにつれて減少した。アセトンに対する ISR もベース温度の増加とともに減少する傾向は確認されたが、 La_2O_3 , NiO あるいは CeO_2 と Pt を共担持した場合に、ベース温度が 200°C で最大値を示した。低いベース温度では、両ガスともに吸着量が多いものの、ベース温度が上昇すると吸着せずに燃焼する割合が増加すると考えられる。そのため、触媒表面に吸着するエタノールやアセトンの量が重要な ISR はベース温度の上昇とともに減少したことが考えられる。ただし、センサによってはアセトンの最大 ISR を示す温度が高温側にシフトした。これは、アセトンが部分的に分解したこと、生成した部分分解生成物が触媒表面に吸着したためと考えられる。このように、高温でアセトン応答が向上する触媒と作動条件を最適化することができれば、エタノールに対してアセトンを選択的に検知可能なセンサを開発できる可能性があることがわかった。

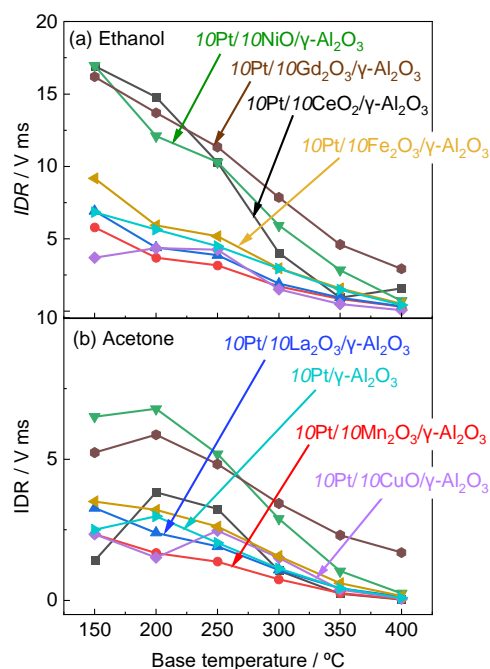


Fig. 4 Variations in ISR and IDR values of $10\text{Pt}/10\text{MO}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ sensors to 1,000 ppm ethanol and acetone with base temperature.

(3) Pt と他貴金属との共担持がセンサ特性に与える影響

Fig. 5 に、 $n\text{Pt}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ センサおよび $m\text{Pd}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ センサのアセトンおよびエタノール (1,000 ppm) に対する応答波形 (T_B : 150°C , T_P : 450°C) を示す。アセトンに対しては、 $n\text{Pt}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ センサはパルス加熱直後に大きく応答する波形を示したのに対し、 $m\text{Pd}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ センサはパルス加熱直後の大きな応答は見られず、徐々に応答値が増加した。ただし、エタノールに対しては、いずれのセンサもパルス加熱直後に大きく応答する波形が確認された。アセトンに対してパルス加熱直後に特異的な大きな応答を示した Pt 系センサに着目し、アセトン応答の更なる向上を目指した。

Fig. 6 に、 $10\text{Pt}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ センサおよび $10\text{N}/10\text{Pt}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ センサのアセトンとエタノール (1,000 ppm) に対する IDR の T_B 依存性を示す。アセトンに対する IDR は、 Pd , Au , Rh , Ir を共担持することで向上し、なかでも、 $10\text{Pd}/10\text{Pt}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ は最大の IDR を示した。なお、アセトンに対する IDR は、すべてのセンサで T_B が 200°C で最大値を示した。エタノールに対する IDR は、 Pd , Au , Rh を共担持することで向上した。また、エタノールに対する IDR は、いずれのセンサの場合も T_B が高くなるにつれて減少した。一方、 ISR は T_B による影響が小さいことが確認された。これは、今回の作動条件では T_P がすべて等しかったためと考えられる。なお、これらのセンサの中で、エタノールに対して IDR が低い Ir や Ag を共担持したものが、 IDR のアセトン選択性が高い。これは、エタノールの酸化活性が相対的に低下したためと考えている。

(4) Pd と MO との共担持がセンサ特性に与える影響

Pt と貴金属を共担持したセンサでは、アセトンと比較してエタノール応答の改善効果の方が大きかった。そこで、アセトンの IDR が小さかった Pd 系触媒に着目し、これに金属酸化物を共担持した $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 触媒を用い、アセトンの IDR の改善を試みるとともに、 T_B による影響を評価することでエタノールに対してアセトンを選択

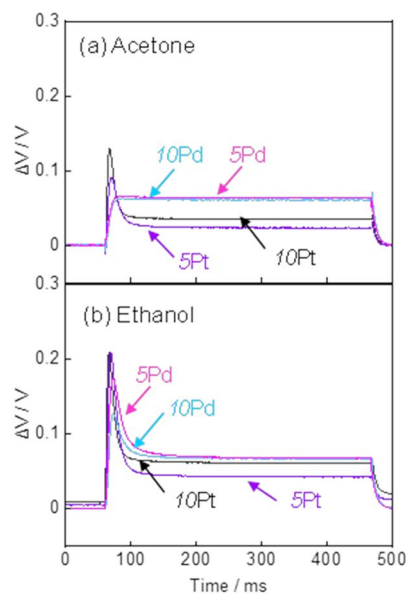


Fig. 5. Response transients of $n\text{Pt}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ and $m\text{Pd}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ sensors to 1,000 ppm acetone and ethanol.

的に検出できる条件を探索した。Fig. 7 に, $10\text{Pd}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ センサおよび $10\text{Pd}/10\text{MO}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ センサのアセトンおよびエタノール (1,000 ppm) に対する IDR の T_B 依存性を示す。いずれのセンサの場合も, アセトンに対する応答は, T_B を高温にすることで昇温直後の大きな応答が確認されるようになった。 IDR は T_B が $250\text{--}300^\circ\text{C}$ で最大値を示し, Fe_2O_3 , NiO , CeO_2 , Co_3O_4 を共担持した場合に大きく向上した。なかでも, $10\text{Pd}/10\text{Fe}_2\text{O}_3/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ センサは最大の IDR を示した。一方, エタノールに対する IDR は, Fe_2O_3 , Gd_2O_3 , NiO を共担持することで改善された。その最大値は T_B が $200\text{--}250^\circ\text{C}$ の場合であり, Pt 系触媒を用いた場合と比較して高温側にシフトした。これは, アセトンやエタノールが部分的に分解したことで, 生成した部分分解生成物が触媒表面に吸着したためと考えられる。なお, この系についても, エタノールに対する IDR が小さい CuO や Mn_2O_3 を共担持した場合に, アセトンに対する IDR が 250°C で相対的に高くなるのがわかった。

(5) その他の研究成果

このほかにも, 各種アルコールに対する応答特性を評価し, そのシグナルプロファイルや IDR , ISR はアルコールの種類に依存することを確認できた。また, 触媒の基材 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ を $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ に置換したり, Pt を担持したりした際の熱伝導率を測定した。その結果, $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ の置換量が多いほど, Pt 担持量が多いほど熱伝導率が高くなることを確認した。また, $n\text{Pt}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ の場合, やはりアセトンに対する酸化活性に比べて, エタノールに対する酸化活性のほうが高いことを確認した。今後, これらの基礎特性をセンサ設計やセンサ作動条件の最適化に活かすことで, 応答特性の改善につながると考えられる。

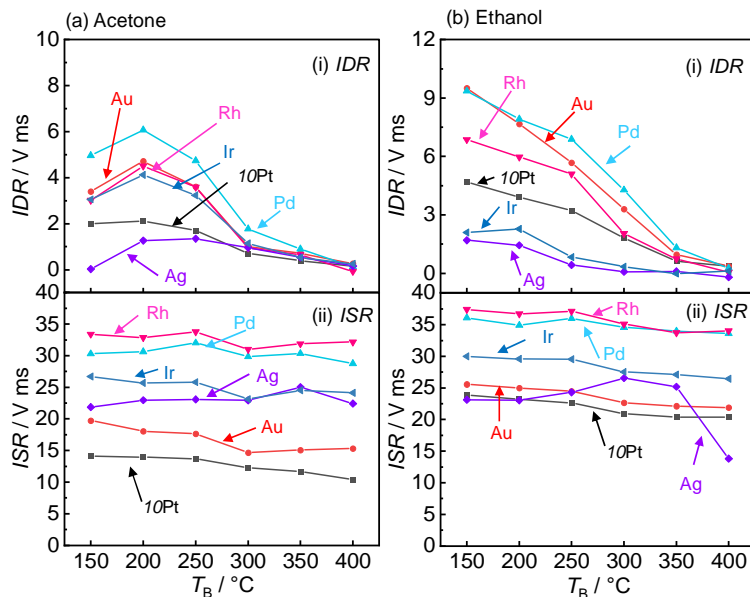


Fig. 6. T_B dependences of IDR and ISR of $10\text{N}/10\text{Pt}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ sensors to 1,000 ppm acetone and ethanol.

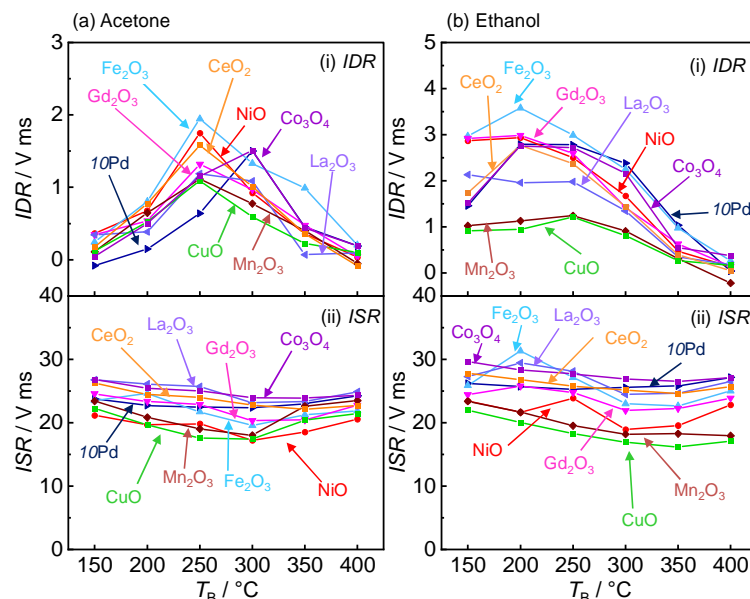


Fig. 7. Variations in IDR values of $10\text{Pd}/10\text{MO}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ sensors to 1,000 ppm acetone and ethanol with T_B .

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Takeo Hyodo	4. 巻 130
2. 論文標題 Development of advanced gas-sensing devices based on the microstructural and compositional controls of various promising materials and their different operating mechanism	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of the Ceramic Society of Japan	6. 最初と最後の頁 739-751
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2109/jcersj2.22071	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Takeo Hyodo, Takeru Hiura, Kazunori Nagae, Taro Ueda, and Yasuhiro Shimizu	4. 巻 9
2. 論文標題 Effects of catalytic combustion behavior and adsorption/desorption properties on ethanol-sensing characteristics of adsorption/combustion-type gas sensors	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Asian Ceramic Societies	6. 最初と最後の頁 1015-1030
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1080/21870764.2021.1933836	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Takeo Hyodo, Kazunori Nagae, Taro Ueda, Takahiko Sasahara, and Yasuhiro Shimizu	4. 巻 35
2. 論文標題 Sensing behavior of adsorption/combustion-type gas microsensors to various alcoholic vapors	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Sensors and Materials	6. 最初と最後の頁 3851-3861
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.18494/SAM4403	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Taro Ueda, Takumi Matsuo, Takeo Hyodo, and Yasuhiro Shimizu	4. 巻 58
2. 論文標題 Effects of heat treatments of Pt-loaded Al ₂ O ₃ on catalytic activities of CO oxidation and combustion-type CO sensors	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Materials Science	6. 最初と最後の頁 9459-9472
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s10853-023-08655-5	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 4件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 Takeo Hyodo, Taro Ueda, and Yasuhiro Shimizu
2. 発表標題 Dynamic VOC-sensing behavior of adsorption/combustion-type micro gas sensors
3. 学会等名 The 18th International Conference on Nano/Micro Engineered and Molecular Systems (IEEE-NEMS 2023) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 成末まなみ, 上田太郎, 笹原隆彦, 兵頭健生, 清水康博
2. 発表標題 Pt担持アルミナ触媒を用いた吸着燃焼式マイクロガスセンサのVOC応答特性
3. 学会等名 第60回化学関連支部合同九州大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Takeo Hyodo and Taro Ueda
2. 発表標題 Effects of base materials (γ -Alumina and/or α -Alumina) on VOC-sensing properties of adsorption/combustion-type micro gas sensors
3. 学会等名 The 19th International Meeting on Chemical Sensors (IMCS2023) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Manami Narisue, Taro Ueda, Takahiko Sasahara, Takeo Hyodo, Yasuhiro Shimizu
2. 発表標題 VOC-response characteristics of adsorption/combustion-type micro gas sensor using Pt-loaded alumina catalysts
3. 学会等名 The 19th International Meeting on Chemical Sensors (IMCS2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Takeo Hyodo and Taro Ueda
2. 発表標題 Dynamic sensing characteristics of adsorption/combustion-type gas microsensors to volatile organic compounds (VOCs)
3. 学会等名 The 5th Korea-Taiwan-Japan Joint Symposium on the Sensors and the Related Materials (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 兵頭健生
2. 発表標題 機能性セラミックスの微細構造・組成制御とガスセンサデバイスへの応用
3. 学会等名 日本セラミックス協会関西支部2022年度支部セミナー (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松浦侑馬, 別府晃拓, 上田太郎, 笹原隆彦, 鎌田 海, 兵頭健生, 清水康博
2. 発表標題 吸着燃焼式マイクロガスセンサ: 触媒担体の組成がVOC検知特性に及ぼす効果
3. 学会等名 トークトークシャワー・イン・九州2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 兵頭健生
2. 発表標題 吸着燃焼式マイクロガスセンサの原理, 特性と高感度化
3. 学会等名 「ガスセンサの作動原理と材料設計, 高感度化, 選択性の向上」, 技術情報協会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 兵頭健生
2. 発表標題 セラミックスの微細構造・組成精密制御法の構築と化学センサデバイスの高機能化
3. 学会等名 日本セラミックス協会2022年年会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>長崎大学工学部化学・物質工学コース 機能材料化学研究室 化学センサ（ガスセンサなど）に関する研究 https://www.cms.nagasaki-u.ac.jp/lab/zaika/ 長崎大学工学部化学・物質工学コース 機能材料化学研究室 化学センサ（ガスセンサなど）に関する研究 https://www.cms.nagasaki-u.ac.jp/lab/zaika/research.htm</p>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	上田 太郎 (Ueda Taro) (10524928)	長崎大学・工学研究科・助教 (17301)	
研究分担者	清水 康博 (Shimizu Yasuhiro) (20150518)	長崎大学・工学研究科・教授 (17301)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------