

# ストレスのモニタリング センサーの開発

Development of stress monitoring sensor

## 増田 佳丈・崔 弼圭

国立研究開発法人 産業技術総合研究所 極限機能材料研究部門  
電子セラミックスグループ



増田 佳丈 (ますだ よしたけ)  
1994年筑波大学卒業。'96年同大学院博士前期課程修了。'96年日本特殊陶業(株)。'98年名古屋大学大学院博士後期課程。'00-'06年同大学院助手。'04年名古屋大学大学院博士(工学)学位取得。'06年産業技術総合研究所。'11年同主任研究員。'18年同研究グループ長。'21年名古屋大学大学院客員教授。研究テーマ:セラミックス, ナノ材料 他

Key Words: gas sensor, semiconductor type gas sensor, metal oxide nanomaterials, stress monitoring sensor

### Abstract

低濃度ガスやニオイのセンシングに対するニーズが強まっている。特に、呼吸や皮膚ガスなどの生体ガスを利用した健康状態やストレス状態のモニタリングへの期待が高まっている。本稿では、ストレスにより放出されるニオイの紹介、ならびに、ガスセンサーを用いたストレスモニタリングの提案について紹介したい。ガスセンサーの開発においては、水溶液中でのセラミックスの結晶成長を用いてガスセンサー感応膜を作製することで低濃度ガスの検知を実現している。また、複数のセンサーを搭載したセンサーアレイを用いてデータ解析を行い、低濃度ガスの識別を実現している。

### ■国内外のメンタルヘルスの状況

ユニセフの基幹報告書『世界子供白書2021』<sup>1)</sup>は、「子どもたちのメンタルヘルス」を取り上げ、家庭、学校、コミュニティにおけるリスク要因と保護要因がどのようにメンタルヘルスの結果を形成するかに焦点を当て、考察している。具体的には、主要なメッセージとして以下の内容等を指摘している。「学校は、子どもたちの幸福を支える重要なスキルを学ぶ、健全で包括的な環境であると同時に、子どもたちがいじめや人種差別、その他の差別、仲間からのプレッシャー、学業成績に関するストレスを経験する場所でもある。ユニセフのレポート『変わりゆく子ども時代プロジェクト

ト(The Changing Childhood Project)』のためにギャラップ社が実施した調査によると、2021年上半期、対象の21カ国で15～24歳の若者の19%が、しばしば憂うつな気分になったり、何かをする気がほとんどなくなったりすると自己申告した。10～19歳の若者の13%以上が、世界保健機関(WHO)が定義するところの病気の診断を受けていると推定されている。人数としては、15～19歳の若者が8,600万人、10～14歳の若者が8,000万人に相当する。ところの病気と診断されているもののうち、不安やうつが約40%を占め、その他には、注意欠陥・多動性障害(ADHD)、行為障害、知的障害、双極性障害、摂食障害、自閉症、統合失調症、パーソナリティ障害などがある。思春期の若者の自殺者数は、年間4万5,800人と推定され、11分に1人以上の割合で発生している。自殺は、10～19歳の若者にとって5番目に多い死因である。15～19歳の若者の間では、交通事故、結核、対人暴力に次いで4番目に多い死因であり、それを男女別にみると、女子では3番目、男子では4番目に多い死因とされる。」

死因における自殺の割合では、日本も非常に深刻であり、厚生労働省の「令和5年版自殺対策白

■ Yoshitake Masuda, Pil Gyu Choi

Electroceramics Group, Innovative Functional Materials Research Institute, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)

書」<sup>2)</sup>の「人口動態統計でみた自殺者数の年次推移」にある「令和3年の死因順位別にみた年齢階級及び性別の死亡者数，死亡率，構成割合」では，年齢階級の10-14歳，15-19歳，20-24歳，25-29歳，30-34歳，35-39歳のいずれにおいても，死因の第1位が自殺となっており，それぞれ，29.0%，52.5%，58.9%，53.4%，41.2%，30.2%と高い割合である。また，人口10万人当たりの死亡者である「死亡率」は，それぞれ，2.4，11.5，21.8，20.9，19.0，18.3と高い値となっている。40歳以上においても，悪性新生物（腫瘍）や心疾患，脳血管疾患が増加するため，割合順位が下がるだけであり，40-44歳，45-49歳，50-54歳の「死亡率」は，それぞれ，19.2，20.4，20.4と高い値となっている。

『世界子供白書2021』<sup>1)</sup>では，「支援が求められているにもかかわらず，世界のメンタルヘルスの問題に対する政府支出の平均は，保健分野全般に対する政府支出の平均のわずか2.1%に過ぎない。」とも報告しており，日本をはじめ，各国での大幅な支援拡大が急務となっている。また，大手企業によるメンタルヘルスケア分野への社会貢献，資金支援，技術開発等も強く望まれる。

### ■心理的ストレスにより皮膚から放出される特徴的なニオイ

呼吸や皮膚ガスなどの生体ガスと，疾患等との相関が指摘され，生体ガスのセンシングによる健康状態等のモニタリングへの期待が高まっている。資生堂は，緊張による心理的ストレスが加わることで特徴的なニオイが皮膚ガスとして放出される現象を発見し，その成分として2つの化合物を特定した<sup>3)</sup>。具体的には，初対面のインタビューからの質問に20分間回答し続ける試験が行われた。インタビューストレス試験では，リラックしている時と比べて，心拍数が増し交感神経が優位となり，さらにはストレスホルモンと言われるコルチゾールが唾液中で増加し，緊張によるストレス状態を生じる，と報告している。インタ

ビューストレスを受けた人の皮膚ガスについて，臭気判定士による評価を行い，特有の「硫黄化合物系のニオイ」がすることを発見した。また，分析と同時にニオイの確認ができる「匂い嗅ぎ付ガスクロマトグラフ質量分析計（GC/MS-ODP）」を用いて，主要成分がジメチルトリスルフィド（dimethyl trisulfide）とアリルメルカプタン（allyl mercaptan）であることを見出した。

### ■ストレスのモニタリングセンサーの開発

ガス警報器や，エアコン，空気清浄機，自動車等において，水素やプロパン等の可燃性ガスなどを検知するガスセンサーが利用されている。セラミックスを感応膜に用いた半導体式ガスセンサーでは，ガスセンサー表面の吸着酸素と検知対象ガスとの酸化反応により，センサーの抵抗値が変化する原理を用いて，ガスの検知を行っている。本研究では，ガスセンサーの感応膜として，酸化スズナノシート樹枝状構造膜を開発し，これを用いて，資生堂が報告したストレスマーカーガス（アリルメルカプタン）を検知対象としたガスセンサーを開発した<sup>4,5)</sup>。

従来，酸化スズなどのセラミックス材料は高温での焼成により合成されてきたが，本研究では，水溶液中での結晶成長を用いることにより，検知対象ガスとの反応性の高い準安定結晶面を持つ，酸化スズナノシート樹枝状構造膜を作製した<sup>4-7)</sup>。さらに，合成条件を変化させて，酸化スズナノシートの微細構造を制御することにより，サイズや形状の異なる酸化スズナノシート樹枝状構造膜を開発した。形状等を変化させた4種類のセンサー素子を搭載したセンサーアレイを開発し，これらのセンサーからの応答シグナルを，主成分分析を用いてデータ解析することにより，アリルメルカプタンと，空気や他のバイオマーカーガスとの識別を実現した（図1）。搭載したセンサー（結晶成長時間：30分）は，54 ppmのアリルメルカプタンに対して，高い応答（81.75）を示した。また，

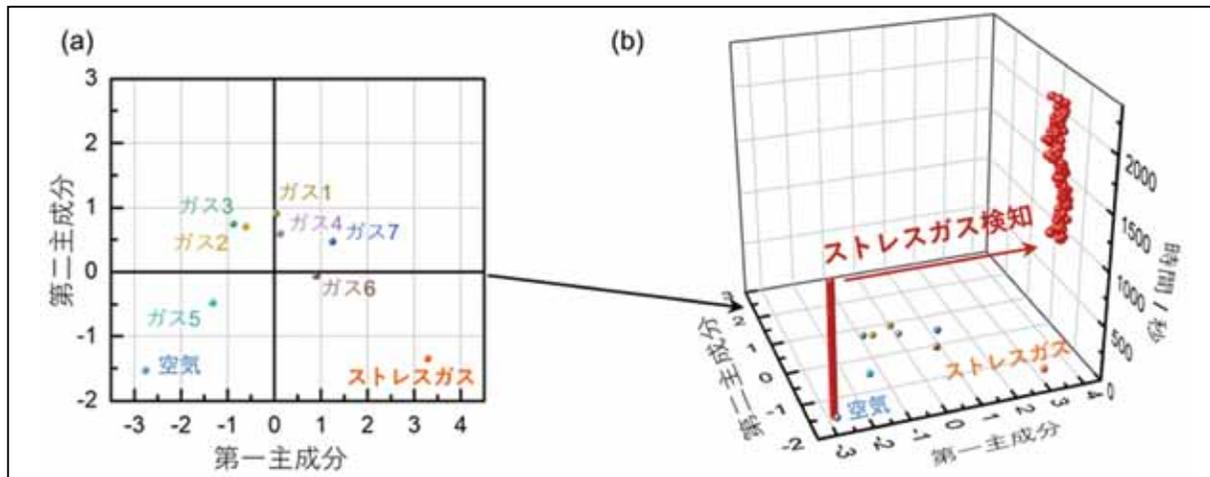


図1 (a) 各種ガスに対するセンサーアレイからの応答値を主成分分析した結果。(b) 測定対象ガスを空気からストレスガスに変化させた際の、センサーアレイ応答値の時間変化 (赤い●印, 5秒間隔で測定) <sup>4)</sup>。

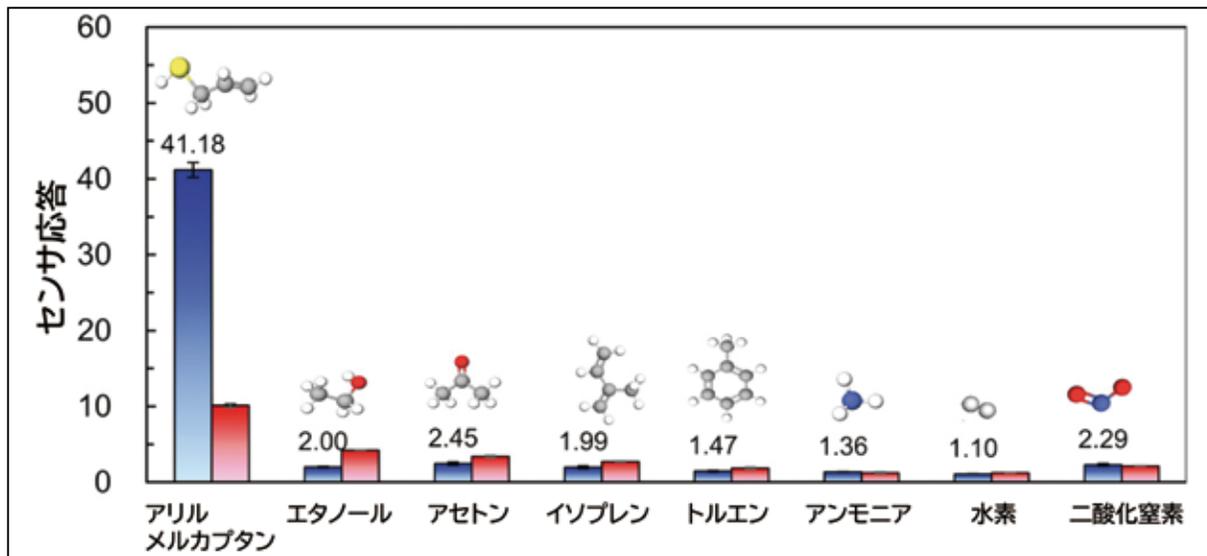


図2 各種ガス (20 ppm) に対する NiO 型センサー (青) および MnO<sub>2</sub>/NiO 複合型センサー (赤) の応答<sup>9)</sup>。Reprinted with permission from ref <sup>9)</sup>. Copyright 2024 John Wiley and Sons.

このセンサーは、アセトン (応答値: 18.63), エタノール (20.76), アセトアルデヒド (16.36), 水素 (12.65), イソブレン (12.61), パラキシレン (9.60), トルエン (3.65) にも応答することを確認している。

さらに、酸化スズナノシート樹枝状構造膜の微細構造を制御することにより、糖尿病マーカーと

して報告されているアセトンガスへの応答特性を向上させ、40 ppt のアセトンガスの検知も実現した<sup>8)</sup>。これらのガスセンサーは、イソブレン、トルエン、パラキシレン、水素、酢酸、アンモニア、NO<sub>2</sub> 等のガスにも応答するため、様々な低濃度ガス検知への展開が期待される。

アリルメルカプタンの検知に向けて、ニッケル

系の新たなナノ材料も開発された<sup>9)</sup>。本手法では、溶液中での結晶成長を用いて NiO 型センサーおよび MnO<sub>2</sub>/NiO 複合型センサーを作製した。特に、NiO ナノシート樹枝状構造膜を有する NiO 型センサーにおいては、40 ppm のアリルメルカプタンに対して、応答値 56.69 を実現した (図 2)。また、アリルメルカプタン (20 ppm) への高い応答 (41.18) を示す一方、エタノール、アセトン、イソブレン、トルエン、アンモニア、水素、NO<sub>2</sub> への応答は 2.5 未満であり、アリルメルカプタンへの高いガス選択性も実現した。ガス選択性は、様々な生体ガスの中から、アリルメルカプタンを識別するための特性を示している。

#### ■おわりに

本稿で提案した生体ガスからのストレス検知にとどまらず、今後、様々な手法でのストレス検知技術が開発されることが望まれる。例えば、スマートフォンの利用内容・投稿内容等の解析からストレス状態の変化が読み取れる可能性も考えられる。スマートウォッチを利用して、起床時間、就寝時間、行動履歴等を追うことで変化をとらえることができるかも知れない。授業・部活中の状況や、就寝中の状態、歩行状態、食事の様子等を定点カメラを用いて動画解析し、小さな変化を見つけ出すことができるかも知れない。これらの技術を総合的に用いたストレスの常時モニタリングは、子供のストレス状態の変化・増加を保護者や学校へ知らせるツールになる可能性がある。ストレスの高まった時間・場所を追うことで、原因の特定にも一定の効果が期待できる。スマートウォッチから心拍数の増加・位置情報を保護者へ知らせるサービスはすぐにでも開始できるかも知れない。しかし、一方で、ストレスをもたらしている深刻な事案の解決には多くの取り組みが必要である。センシング技術は、冒頭の自殺・いじめの問題については、ごくわずかな一助にしかならない。名古屋大学 内田教授は、いじめ事案につい

て、学校や教育委員会の対応の鈍さを指摘するとともに、寝屋川市や旭川市の取り組みを紹介し、下記のように記載している<sup>10)</sup>。「旭川市のような個別事案を知れば知るほど、子供の「生命、権利、自由を守っていく」という今津市長の言葉が、私には重く響いてくる。教育の制度がどうであれ、そこに通う子供にとって、学校は安全・安心な場でなければならない。被害者が救われない現状は、明らかに問題だ。」ストレスを取り巻く様々な技術的、社会的、政治的、教育的な課題への取り組みが増え、一刻も早く課題解決に向かうことが強く望まれる。

#### 文 献

- 1) ユニセフ基幹報告書『世界子供白書 2021』, 子どもたちのメンタルヘルス, (2021). [https://www.unicef.or.jp/sowc/2021/pdf/UNICEF\\_SOWC\\_2021.pdf](https://www.unicef.or.jp/sowc/2021/pdf/UNICEF_SOWC_2021.pdf), <https://www.unicef.or.jp/sowc/2021/>
- 2) 厚生労働省「令和5年版自殺対策白書」「人口動態統計でみた自殺者数の年次推移」, (2023). [https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/hukushi\\_kaigo/seikatsuhogo/jisatsu/jisatsuhakusyo2023.html](https://www.mhlw.go.jp/content/r5hs-1-1-02.pdf)
- 3) Shiseido Company Limited, Characteristic Odor Emanating From Skin During Emotional Tension. 2018 Oct 2. <https://corp.shiseido.com/jp/news/detail.html?n=00000000002513>, [https://corp.shiseido.com/jp/newsimg/2513\\_i3p50\\_jp.pdf](https://corp.shiseido.com/jp/newsimg/2513_i3p50_jp.pdf)
- 4) 崔 弼圭, 増田 佳丈, ストレスのモニタリングが可能なセンサーアレイを開発 - 緊張により発生するストレスガスを機械学習により識別 -. 産総研公式 WEB. 2022 Aug 25. [https://www.aist.go.jp/aist\\_j/press\\_release/pr2022/pr20220825/pr20220825.html](https://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2022/pr20220825/pr20220825.html)
- 5) P.G. Choi, Y. Masuda, Nanosheet-type tin oxide gas sensor array for mental stress monitoring, Scientific Reports, 12; 13874, 2022. DOI: 10.1038/s41598-022-18117-8
- 6) Y. Masuda, <http://staff.aist.go.jp/masuda-y/index.html>.
- 7) Y. Masuda, Liquid Phase Synthesis of Ceramics Nanostructures, J. Jpn. Soc. Powder Powder Metallurgy, 69; 22-6, 2022. DOI: 10.2497/jjspm.69.22
- 8) C. Li, P.G. Choi, Y. Masuda, Large-lateral-area SnO<sub>2</sub> nanosheets with a loose structure for high performance acetone sensor at the ppt level, Journal of Hazardous Materials, 455; 131592, 2023. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2023.131592
- 9) C. Li, P.G. Choi, Y. Masuda, Highly Sensitive and Selective Gas Sensors Based on NiO/MnO<sub>2</sub>@NiO Nanosheets to Detect Allyl Mercaptan Gas Released by Humans under Psychological Stress, Advanced Science, 14; 2202442, 2022. DOI: 10.1002/adv.202202442
- 10) 内田 良, 名古屋大学大学院教育発達科学研究科 教授, いじめ対応教育的アプローチの限界出席停止. Yahoo! ニュース (エキスパート), 2021 Dec 31. <https://news.yahoo.co.jp/expert/articles/55ce03dcef46027318e61e1e102ba87cb82ff5b>