VOC センサ開発の重要性

正 員 松原 一郎* 非会員 伊藤 敏雄*
非会員 村山 宣光*

Significance of the Development of VOC Sensors

Ichiro Matsubara*, Member, Toshio Itoh*, Non-member, Norimitsu Murayama*, Non-member

The environmental problems relevant to VOC, such as sick house syndrome and air pollution, have attracted attention more and more. Japanese government has recently set forth the measure to VOC by amendments to related codes and regulations. The measurement technology and sensors for hazardous chemical substances, formaldehyde, toluene and xylene, are important to control the VOC level. The development of VOC sensors is desired because it is possible to measure VOC concentration simply and quickly, which makes it possible to realize the constant self-management of VOC and to check the real time change of VOC level. Since the performance requirements to a VOC sensor depend much on the applications, it is necessary to figure out the required specifications before starting the development of target VOC sensors. High performance VOC sensors applicable to many application fields are required to construct a secure and safe society.

キーワード：VOC センサ，厚生労働省指針値，建築基準法，学校環境衛生の基準，VOC の排出抑制

Keywords：VOC sensor, MHNW guideline value, building code, school environmental health code, VOC emission limitation

1. まえがき

揮発性有機化合物（VOC）は，シックハウス症候群の原因物質として，あるいは浮遊粒子状物質（SPM）および光化学オキシダントの原因の一つとして認識されており，その対策が喫緊の課題となっている。これを受けて，国レベルでは様々な VOC 対策が実施されている。例えば，厚生労働省では 14 種類の VOC を対象に室内濃度指針値を定めている。また，建材からの VOC 放出によるシックハウス問題の対策として，国土交通省では平成 16 年に建築基準法を改正した。文部科学省でも平成 14 年に学校環境衛生の基準を改正し，教室内の VOC レベルの定期的な検査を実施することとした。環境省では大気汚染防止を目的として平成 18 年に大気汚染防止法を改正し，VOC 排出施設からの排出規制を開始した。本稿では，各省庁の VOC 関連施策について解説するとともに，VOC 管理において重要な役割を果たす VOC センサへの期待およびその開発課題について述べる。

2. VOC とは

VOC は Volatile Organic Compounds の略で揮発性有機化合物のことである。表 1 に世界保健機構（WHO）による VOC

の定義を示す。WHO では大気中に気体で存在する有機化合物を沸点により分類して定義している⁽¹⁾。沸点が 50-100℃以下の物質は，Very Volatile Organic Compounds (VVOC)，沸点が 240-260℃以上の物質は Semivolatile Organic Compounds (SVOC) と定義されているため，単に VOC と言うと狭義には沸点が 50-100℃～240-260℃の有機化合物となる。WHO の定義ではトルエンやキシレンは VOC であるが，沸点が -19.3℃のホルムアルデヒドは VOC ではなく，VVOC に分類される。

一方，環境省では大気汚染防止法に関連して，「揮発性有機化合物とは，大気中に排出され，又は飛散した時に気体である有機化合物（浮遊粒子物質及びオキシダントの生成の原因とならない物質として政令で定める物質を除く）をいう」と定義している⁽²⁾。また，後述する厚生労働省の室内濃度指針値は人体に対する影響の観点から定められたもの

Table 1. Definition of VOCs by WHO.

	Boiling Point
Very Volatile Organic Compounds (VVOC)	<0℃ ～ 50-100℃
Volatile Organic Compounds (VOC)	50-100℃ ～ 240-260℃
Semivolatile Organic Compounds (SVOC)	240-260℃ ～ 380-400℃
Particulate Organic Matter (POM)	>380-400℃

* 産業技術総合研究所
〒463-8560 名古屋市守山区下志段味穴ヶ洞 2266-98
National Institute of Advanced Industrial Science and Technology
2266-98 anagahora sidanmi moriyama Nagoya 463-8560

である。この様に、純粋に物性値による定義から規制の目的に応じた定義まで、種々の定義が存在する。本稿では、センサ開発の観点からまとめるものであり、ホルムアルデヒドや浮遊粒子物質及びオキシダントの生成の原因とならない物質も含めて広く VOC と呼ぶこととする。

個々の物質だけでなく、健康への影響という点から VOC の総量（総揮発性有機化合物：T-VOC）も注目されている。しかし、T-VOC についてはその定義が十分に定まっておらず、様々な解釈が存在するのが現状である。この様な状況の中で最も定量的な定義は、厚生労働省による報告書に記載されているものであり T-VOC を(1)式で定義している⁽³⁾。

$$T-VOC = Sid + Sum \dots\dots\dots (1)$$

Sid：ガスクロで同定された化合物の濃度の合計

Sum：未同定の各 VOC について、トルエンの検出量に換算した合計濃度

なお、採取空気中の出来る限り多くの化合物を同定すること、および目安として Sid が T-VOC の 1/2 以上であることが望ましく、また T-VOC を定める際に定量する必要がある必須 VOC として、以下の 40 種の物質が明記されている。

（芳香族炭化水素）ベンゼン、トルエン、エチルベンゼン、キシレン、スチレン、1,2,4-トリメチルベンゼン、1,3,5-トリメチルベンゼン、1,2,3-トリメチルベンゼン、1,2,4,5-テトラメチルベンゼン

（脂肪族炭化水素）n-ヘキサン、n-ヘプタン、n-オクタン、n-ノナン、n-デカン、n-ウンデカン、n-ドデカン、n-トリデカン、n-テトラデカン、n-ペンタデカン、n-ヘキサデカン、2,4-ジメチルペンタン、2,2,4-トリメチルペンタン、 α -ピネン、リモネン

（オキシ化炭化水素）1-ブタノール、ノナナール、デカナール、メチルエチルケトン、メチルイソブチルケトン

（ハロゲン化炭化水素）トリクロロエチレン、テトラクロロエチレン、1,1,1-トリクロロエタン、1,4-ジクロロベンゼン、クロロホルム、1,2-ジクロロエタン、1,2-ジクロロプロパン、四塩化炭素、クロロジブロモメタン

（その他）酢酸エチル、酢酸ブチル

3. VOC 対策のための国の施策

〈3・1〉 室内濃度指針値 厚生労働省ではシックハウスを防ぐ目的で、いくつかの VOC に対して室内濃度指針値を策定している。表 2 に現在公表されている物質の指針値、主な用途、および設定日を示す。指針値は人体に対する影響の観点から検討されたものであり、「入手可能な毒性に係る科学的知見から、人がその濃度の空気を一生涯にわたって摂取しても、健康への有害な影響は受けないであろうと判断される値」として定められた。現時点で、14 物質に対して公表されており（ノナナールは暫定値）、今後さらに増えることが予想される。なお、指針値を定める物質を選定するには以下の点が考慮された。(1)WHO 空気質ガイドライン等で指針値が提示されている化学物質、(2)居住環境内における揮発性有機化合物の全国実態調査（平成 10 年度厚生省）等の結果、室内濃度及び室内濃度／室外濃度比が高い物質、(3)パブリックコメントから特に要望のあった物質（例：エチルベンゼン）、(4)外国で新たな規制がかけられたこと等の理由により、早急に指針値策定を考慮する必要がある物質（例：クロロピリポス）。ただし、これらの指針値対象物質と体調との関連については、個人差もあり指針値以下の濃度であれば必ず安全という訳ではない。また、今後更なる科学的データが積み重なることで指針値が変更する可能性もある。T-VOC についても検討されつつあるが、現在公表されている値は、暫定目標値として位置づ

Table 2. Guideline values determined by MHNW.

VOC	MHNW guideline value	Main use	Set date
formaldehyde	0.08 ppm	adhesive, antiseptic	1997.6.13
toluene	0.07 ppm	paint solvent	2000.6.26
xylene	0.20 ppm	paint solvent	2000.6.26
paradichlorobenzene	0.04 ppm	deodorizer, repellent	2000.6.26
ethylbenzene	0.88 ppm	paint solvent	2000.12.25
styrene	0.05 ppm	plastic	2000.12.25
chlorpyrifos	0.07 ppb	repellent	2000.12.25
n-Dibutyl phthalate	0.02 ppm	plasticizer	2000.12.25
tetradecane	0.04 ppm	paint solvent	2001.7.5
2-diethylhexyl phthalate	7.60 ppb	plasticizer	2001.7.5
diazinon	0.02 ppb	repellent	2001.7.5
Acetaldehyde	0.03 ppm	Adhesive, antiseptic	2002.1.22
2-butylphenyl methylcarbamate	3.80 ppb	repellent	2002.1.22
nonanal	7.0 ppb	Adhesive, antiseptic	provisional
T-VOC	400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		provisional target

けられている。

指針値を策定するだけでなく、厚生労働省では平成 14 年に「職域における室内空気中のホルムアルデヒド濃度低減のためのガイドライン」を定め、事業者が講ずべき措置として、(1)空気中のホルムアルデヒドの測定、(2)換気等による濃度低減のための措置等を明記して、積極的な室内環境改善に努めている。

〈3・2〉 建築基準法改正によるシックハウス対策 シックハウス対策として国土交通省は建築基準法を改正し平成 15 年に施行された。その内容は建築業界の予想以上に厳しいものであり、シックハウス対策に対する国の強い意志が伺える。改正はホルムアルデヒドとクロロピリボス対策を目的としている。

ホルムアルデヒド対策としての改正では、原則として全ての建築物に機械換気設備の設置が義務付けられた。一戸建住宅あるいは共同住宅を問わず、換気回数 0.5 回/時以上の性能を持つ 24 時間換気システム等を設置する必要がある(図 1)。さらに、内装仕上げに使用するホルムアルデヒドを発散する建材の使用面積も制限された。木質建材、壁紙等ではすでに JIS 規格により、ホルムアルデヒド放散量によって建材が分類されているが、ホルムアルデヒドの放散量が大きい建材等の場合、その使用可能面積が小さくなるように制限されている。ホルムアルデヒドを全く放散しない建材しか使用していない場合も、家具等からの発散があるため、前記機械換気設備はすべての建築物に設置が義務づけられている。また、天井裏などから居室へのホルムアルデヒドの流入を防ぐための措置を行うことが必要となった。具体的には、気密層または通気止めを設けて天井裏などと居室とを区画すること、あるいは換気設備で居室に加えて天井裏なども換気するといった対策である。一方、クロロピリボスの場合はよりシンプルであり、居所を有する建築物での使用が禁止された。

この様な各種規制と共に、住宅内での VOC レベルの計測も重要視されており、住宅性能表示制度においてシックハウス対策に係る項目が設けられた。住宅の完成段階で室内の VOC 濃度を実測し、その結果を測定条件とともに表示するものである。ただし義務ではなく、この項目は「選択事項」として位置付けられている。対象物質は、ホルムアル

デヒド、アセトアルデヒド、トルエン、キシレン、エチルベンゼン、スチレンの 6 物質である。

〈3・3〉 学校環境衛生の基準 文部科学省では学校における VOC 問題、いわゆるシックスクール問題に対応すべく、平成 12 年に学校における化学物質についての室内濃度の調査を実施し、その結果を公表した。調査は、ホルムアルデヒド、トルエン、キシレン、パラジクロロベンゼンの 4 物質を対象に実施された。キシレンとパラジクロロベンゼンについては厚生労働省の指針値を越えた例はなかったものの、ホルムアルデヒドとトルエンについては指針値を超えた例があった。

そこで文部科学省では、学校環境衛生の基準を改定し、平成 14 年にこれを通知した。主な内容は、教室内の VOC 濃度検査の奨励である。定期検査としてホルムアルデヒドとトルエンを対象に、毎学年 1 回実施することとした。判定基準には厚生労働省の指針値を利用し、必要な場合は事後措置として、換気の励行、発生原因の究明、発生抑制措置を行うこととしている。また、臨時検査として、コンピュータ等新たな学校用備品の搬入等により発生の恐れがあるときにも実施することとした。さらに、校舎の新築・改築・改修時には濃度が基準値以下であることを確認させた上で引渡しを受けることにも言及している。

〈3・4〉 VOC 排出規制 上記各種施策は室内 VOC を対象としたものであるが、環境省では大気中に放出される VOC に注目し、大気汚染防止法に基づく施行規則を改正し、特に大量に排出することが想定される事業所を対象に、平成 18 年に総 VOC 排出量の規制を開始した。大気中に排出される VOC は SPM および光化学オキシダントの原因の一つであり、工場・事業場に設置される施設で VOC の排出量が多いものを「VOC 排出施設」として定め、排出口における VOC 濃度の許容限界として排出基準を定めた。排出施設はそこに設置されている送風機や排出機の能力の大きさによって分類され、それぞれの排出基準が炭素換算濃度で規定されている。一例として、化学製品の製造に用いられる乾燥施設で送風機の送風の能力が 3000m³/時以上の場合、排出基準は炭素換算濃度で 600ppmC である。さらに、改正した施行規則では、VOC の排出規制と事業者の自主的取組とを適切に組み合わせることで、VOC 排出総量を平成 12 年度比で平成 22 年度までに 3 割程度抑制することを目標として掲げた。

このような規制を客観的に運用するには、適切な VOC 濃度の測定法が用いられる必要があり、VOC 濃度の測定法が環境省告示で定められた。前述のとおり、ここでは VOC とは「揮発性有機化合物とは、大気中に排出され、又は飛散した時に気体である有機化合物(浮遊粒子物質及びオキシダントの生成の原因とならない物質として政令で定める物質を除く)」と包括的に定義されており、個別の物質ごとに測定するのではなく、炭素数として包括的に測定ができる「触媒酸化-非分散型赤外線分析計 (NDIR) および「水素炎イオン化分析計 (FID)」が採用された。

Fig. 1. An example of 24 hours ventilation system.

4. VOC センサ開発の必要性

前項ではシックハウス対策および大気汚染防止を目的とした国の施策について解説した。これらの施策を有効なものにするためには、VOC 濃度を適切に把握する必要がある。厚生労働省では表 1 に示す指針値を定めた物質について測定法を定めている（表 3）。アルデヒドについては液体クロマトグラフ法、その他の物質についてはガスクロマトグラフ／質量分析法が採用されている。これは個別の物質の濃度を知ることが目的としているが、前述のように、個別物質の濃度を必要としない大気汚染防止を目的とした場合は NDIR および FID が公定法となっている。

測定技術は適正な環境規制の基盤技術であり、新しい測定法が開発されたならば、その有効性を検証し、必要に応じて公定法を修正することも重要である。公定法は精度良く VOC 濃度を測定することを目的としているが、費用と時間がかかる方法である。従って、各現場や事業者における自主的な取り組みを促すため、簡易な測定方法を利用することも非常に重要である。VOC の測定は規制に適合しているかどうかを判断するだけでなく、日常実施している自主管理や VOC の除去効率等を迅速に把握するなど多くの目的で実施される。簡易な測定方法の代表例が VOC センサを用いる方法である。公定法に比べ厳密な定量性には劣るものの、VOC 濃度の相対的な変化や大まかなレベルをその場で迅速に知ることが可能である。また、公定法等による校正を行うことで、濃度変化を的確に把握するために有効に用いることができる。

メーカーおよび公共的機関に対して、VOC センサに関する必要性の聞き取り調査が行われている⁽⁴⁾。業務用の VOC センサのニーズとして、まず、合板メーカーや接着剤の工場での品質の検査用や住宅メーカーあるいは工務店がホルムアルデヒドの量を測定して、問題がないことを示し、顧客に対し安心を与えるといった用途がある。また、住宅メーカーや工務店と似た業務用として、顧客に品質を保証するという立場にある建築設計士事務所が工務店とは独立し

てホルムアルデヒドの量を測定することが今後、必要になることが予想される。

また、大勢の人間が集まる場所における環境対策が求められるようになることが予想される。例えば、学校の教室における空気環境に対し、前述のように文部科学省が VOC を検査項目に追加する旨の通知が出されているが、今後学校以外でも、人が大勢集まる場所、例えば、病院における患者に対する VOC 対策やホテル・旅館の客室における宿泊客に対する VOC 対策、建材や家具材等の DIY (Do It Yourself) 製品を扱うホームセンターやデパートにおけるお客に対する VOC 対策が必要となる可能性がある。

各種家電製品の付加価値を高めるためにも VOC センサが求められている。例えば、室内の VOC を分解する機能を有する空気清浄機やエアコン等では、リアルタイムに VOC が計測できるセンサがあれば、その効果を目に見える形で表すことが可能となる。さらに踏み込んで、VOC センサによる家電の制御も可能となる。室内の VOC 濃度は、新しい家具を持ち込むこと、あるいは気温の変化等により常に変化している。建築基準法の改正で設置が義務づけられている 24 時間換気システムや空気清浄機等を VOC センサからの情報で制御することで、より快適な室内空間の維持に役立つことになる。また、全国で、VOC によるシックハウスの症状を持つ人の数は、10 人に 1 人とも、500 万人程度とも言われている。シックハウス患者は、携帯型の高性能 VOC センサの製品化を切望している⁽⁴⁾。

5. VOC センサの開発課題

以上の様に、業務用、民生用を問わず、様々な分野で VOC センサの開発に対して大きなニーズがある。この様なニーズに応えるためには、実験室レベルで使用されているガスクロに代表される分析機器では対応できない。将来の VOC センサに対する要求性能として以下の機能が求められている。(1)リアルタイムモニタリング、(2)ガス種別での定量的検知、(3)ppb レベルの検知、(4)小型化、(5)電池駆動が可能な低消費電力化、(6)繰り返しモニタリング、(7)長期耐久性、(8)情報発信機能の付加。この中で、ppb レベルの対象ガスを選択的に検知することが、VOC センサの開発において最も本質的かつチャレンジングな課題である。

選択性を向上させるためには、特定の VOC にのみ高感度に応答する革新的なセンシング材料の開発が不可欠である。VOC は種類が多く、例えばホルムアルデヒドとアセトアルデヒドの様に、化学的な性質は同様でありながら炭素の数が 1 つだけ異なる様な物質が混在しており、この中から特定の物質のみに応答するという完全な選択性を有する材料の開発は容易ではない。そこで、これを補完するために、VOC に対する応答性の異なった複数のセンサ素子からの信号を用いて選択性を実現するアレイ化技術の利用も有効である。アレイ化の手法はすでに広く知られている技術であるが、MEMS 技術を用いたマイクロ集積化による小型化やより信頼性の高い情報処理技術の開発も重要な課題で

Table 3. Official measurement method determined by MHNW.

VOC	measurement method
formaldehyde	DNPH / solvent extraction - HPLC
Acetaldehyde	
toluene	1. bag sampling - GC / MS 2. solid adsorbent / solvent extraction - GC / MS 3. solid adsorbent / thermal desorption - GC / MS
xylene	
paradichlorobenzene	
ethylbenzene	
styrene	
tetradecane	solid adsorbent / solvent extraction - GC / MS
chlorpyrifos	
diazinon	
2-butylphenyl methylcarbamate	
n-Dibutyl phthalate	1. solid adsorbent / solvent extraction - GC / MS 2. solid adsorbent / thermal desorption - GC / MS
2-diethylhexyl phthalate	

ある。但しアレイ化の手法を導入する場合においても、個々の素子の選択性が高い程、より少数の素子で信頼性の高い結果が得られるため、センサ材料自身の選択性を高める努力が必要である。

一例として我々のアプローチを紹介する。ガスセンサには分子認識と信号変換の 2 つの機能が必要であるが、これらをそれぞれ有機物と無機物に役割分担させた有機無機ハイブリッド材料をセンサ材料として用いることで、従来材料に比べ高い選択性を実現しようというコンセプトである(図 2)⁽⁵⁾⁽⁶⁾。実際にインターカレーション型の有機/MoO₃材料の薄膜素子において、薄膜化プロセスの最適化と適切な有機物を選択することで、数十 ppb のアルデヒドガスを選択的に検知することに成功した⁽⁷⁾。

室内空気汚染に関しては、上記したように建築基準法において防蟻剤クロロピリホスの使用禁止、ホルムアルデヒドの使用制限と換気措置の義務づけがなされ、その汚染状況は着実に改善の方向に向かっている。しかしながら、対策がとられた物質はクロロピリホスとホルムアルデヒドの 2 物質に限定され、厚生労働省が指針値を提示している他の物質については、その発生源、抑制/促進因子、伝搬機構などに関する科学的知見も含めて注意する必要がある。中でも化学物質の総量に関連付けられた T-VOC は、個別物質毎の対策や規制より包括的で、安全性の確保という観点からも優れた指標として期待されている。従って、VOC の個別・選択的な検知に加え、T-VOC を定量的に検知できるセンサの開発も必要である。

しかし、T-VOC を簡便なセンサで定量的に検知しようとする場合に一番大きな問題となるのは T-VOC の定義である。前述した T-VOC の定義では、少なくとも 40 種類の VOC を個別に定量検知する必要があるが、これを簡便なセンサで実現することは不可能である。従って、T-VOC センサを開発する場合には、まずそのセンサの応用先に応じて合理的な定義を明確にした上で、その定義に従う T-VOC センサを開発するというステップが必要となる。

個別・選択的な検知を目的とする VOC センサに対して、T-VOC センサでは異なるアプローチで開発しなくてはなら

ない。即ち T-VOC センサでは、理想的には VOC に対して全く選択性がない材料を用いることになる。どのような種類の VOC に対しても同等にかつ高感度に応答する材料である。しかし、現実的には典型的なセンサ材料である金属酸化物や高分子材料では、VOC の種類によって応答感が異なる。材料によっては、ある種類の VOC にはほとんど応答しない場合もある。選択性のない材料の開発が望まれるが、先のアレイ化技術を導入して、応答性の異なる複数のセンサ素子の情報から、選択性の向上とは逆に T-VOC の情報をアウトプットするためのアルゴリズムの開発も重要な課題と考えられる。

6. むすび

シックハウス症候群や大気汚染など、VOC に関連する環境問題が注目されるようになってきており、国レベルでも各省庁が VOC 対策を打ち出している。このような社会状況の中で、ホルムアルデヒドなどの有害化学物質に対する計測技術やセンサに大きな関心が集まっている。特に、簡易測定用の VOC センサは、日常実施すべき自主管理や VOC の除去効率等を迅速に把握する目的でその開発が望まれている。VOC センサに対する要求性能は、利用目的によって異なるため、適用目的を明確にした上で開発に取り組む必要がある。安全安心な社会の構築に貢献するため、様々な目的に応じた高性能な VOC センサが開発されることが求められている。

謝 辞

本内容の一部は、(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO 技術開発機構)「揮発性有機化合物対策用高感度検出器の開発」で実施された。

(平成 19 年 7 月 31 日受付)

文 献

- (1) WHO, Indoor air quality : Organic pollutants, EURO Reports and Studies 111 (1987)
- (2) 大気汚染防止法 一部改正 (公布日: 2004 年 5 月 26 日, 施行日: 2005 年 6 月 1 日)
- (3) 「シックハウス (室内空気汚染) 問題に関する検討会中間報告書—第 4 回～第 5 回のまとめについて」平成 12 年 9 月
- (4) 独立行政法人産業技術総合研究所シナジーマテリアル研究センター委託調査報告書「環境モニタリングデバイスに関する調査」株式会社矢野経済研究所, 2003 年 3 月
- (5) 松原一郎・村山宣光:「有機無機ハイブリッド材料による新しい VOC センサの開発」, セラミックス, Vol.39, pp.398 (2004)
- (6) I. Matsubara, K. Hosono, N. Murayama, W. Shin, and N. Izu: "Synthesis and gas sensing properties of Polypyrrole/MoO₃ layered nanohybrids", Bull. Chem. Soc. Jpn., Vol.77, pp.1231 (2004)
- (7) T. Itoh, I. Matsubara, W. Shin, N. Izu, and M. Nishibori: "Preparation of layered organic-inorganic nanohybrid thin films of molybdenum trioxide with polyaniline derivatives for aldehyde gases sensors of several tens ppb level", Sensor and Actuators B, in press

Fig. 2. Schematic illustration of the concept of organic-inorganic hybrid sensors.

松 原 一 郎

(正員) 1987年3月大阪大学理学研究科高分子学修士課程修了。同年,工業技術院大阪工業技術研究所入所。2001年産業技術総合研究所に改組。1998年~1999年米国オークリッジ国立研究所客員研究員。センサ,超伝導体,熱電変換材料等電子機能性材料の開発に従事。博士(理学)。

村 山 宣 光

(非会員) 1984年3月京都大学工学研究科電子工学修士課程修了。民間企業を経て1986年4月,工業技術院名古屋工業技術研究所入所。2001年産業技術総合研究所に改組。1993年~1994年米国マサチューセッツ工科大学客員研究員。高温超電導,酸化物熱電変換材料,センサ等の電子導電性セラミックスの微細構造制御技術の研究に従事。博士(工学)。

伊 藤 敏 雄

(非会員) 2005年3月名古屋大学工学研究科結晶材料工学専攻博士課程修了。同年4月産業技術総合研究所へ入所。ガスセンサ,層状有機無機ハイブリッドで構成された材料の研究に従事。博士(工学)。