

### 世界初電池駆動式ガス警報器に搭載された Pt-SnO<sub>2</sub>, Pd/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 触媒の XAFS 分析

和田敬広<sup>1,2</sup>, 村田尚義<sup>3</sup>, 上原広充<sup>3</sup>, 鈴木卓弥<sup>3</sup>, 仁谷浩明<sup>4</sup>, 丹羽尉博<sup>4</sup>, 宇尾基弘<sup>1,5</sup>, 朝倉清高<sup>2</sup>

<sup>1</sup>東京医科歯科大学大学院 医歯学総合研究科 先端材料評価学分野, <sup>2</sup>北海道大学 触媒科学研究所,

<sup>3</sup>富士電機株式会社, <sup>4</sup>高エネルギー加速器研究所, <sup>5</sup>東京大学大学院 工学研究科 マテリアル工学専攻

#### XAFS Analysis of Pt-SnO<sub>2</sub> and Pd/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> catalysts in the world's first battery driven gas sensor

Takahiro WADA<sup>1,2</sup>, Naoyoshi MURATA<sup>3</sup>, Hiromitsu UEHARA<sup>3</sup>, Takuya SUZUKI<sup>3</sup>, Hiroaki NITANI<sup>4</sup>,  
Yasuhiro NIWA<sup>4</sup>, Motohiro UO<sup>1,5</sup>, Kiyotaka ASAKURA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Advanced Biomaterials Department, Graduate School of Medical and Dental Sciences, Tokyo Medical and Dental University,

<sup>2</sup>Institute for Catalysis, Hokkaido University, <sup>3</sup>Corporate R & D Headquarters, Fuji Electric Co., Ltd., <sup>4</sup>Photon Factory, Institute of Materials Structure Science, <sup>5</sup>Department of Materials Engineering, Graduate School of Engineering, The University of Tokyo

#### Abstract

ガス警報器開発では長年、電源コードがない電池駆動式ガス警報器の製品化が望まれていた。MEMS 技術により半導体式ガスセンサ部 (SnO<sub>2</sub>) と触媒層 (Pt-SnO<sub>2</sub>, Pd/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 触媒) を積層させ、マイクロ化し、低消費電力で動く、センサが開発された。XAFS 法により活性化に必要な Pt-SnO<sub>2</sub> の Pt 周りの局所構造およびセンサの雑ガスに対するメタンの選択性低下原因である Pd/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 触媒の失活構造に関する基礎的知見を得ることで、実用化に必要な長寿命を達成した。それらを明らかにする過程で XAFS 法が非常に有効であった。今後、XAFS 法により、より精密な構造解析を行うためには、PF 後継機である 1 nmrad を超える高輝度光源の一刻も早い完成が望まれる。

#### 1. はじめに

メタンなどの天然ガスは、環境負荷が小さく、扱いも容易な家庭用エネルギー源として広く家庭で用いられており、2011 年では、日本の家庭でのエネルギー消費の 1/5 を担っている [1]。そのため、万一のガス漏れを検知するためにガス警報器などの保安機器が開発されている。しかし、従来のガス警報器は、空気中の酸素やメタンを活性化するためガスセンサを一定の高温に保つ必要があり、消費電力が大きくなるため、近くに 100V のコンセントが必要など設置場所の制約を受けやすいという課題がある。設置上の制約を解消するため、電池駆動式ガス警報器が強く望まれており、研究・開発が進められてきた。電池駆動式で実用に耐えうる長期間稼働させるには、消費電力を従来の数千分の一にする必要があり、MEMS 技術によるガスセンサ部の小型化、パルス状の電力供給などの技術により超低消費電力化が達成された [2-8]。

開発されたガスセンサは Fig. 1 に示すようにガスを検知する SnO<sub>2</sub> 層以外にも反応性を上げるため、白金 (Pt) を SnO<sub>2</sub> 相に添加した Pt-SnO<sub>2</sub> 層および Pd/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 層を積層することで、メタンに対し高選択性・高耐久性を実現した [7,8]。今回、MEMS 化のために従来とは異なる手法で触媒を調製したことから、XAFS 法によりそれぞれの金属の

局所構造を調べた。また、開発段階では電池寿命以内で雑ガスに対するメタンの選択性が低下してしまうセンサもあり、その原因究明も必要であった。

本稿では、開発したセンサと同じ手法で作製した Pt-SnO<sub>2</sub> 層、Pd/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 層のモデル触媒を蛍光 XAFS 分析した [9]。その結果、Pt は微粒子ではなく、SnO<sub>2</sub> 格子中に Sn に置き換わる形で原子状に高分散している金属酸化物固溶型の構造を取っていることが分かり、SnO<sub>2</sub> 結晶格子構造で高活性、アモルファス化では活性が下がることを見出した。また、反応最中についても蛍光 XAFS で調べたところ、反応中でも SnO<sub>2</sub> 格子構造を維持しており、Pt 微粒子が形成されないことが観測された [10]。これより、SnO<sub>2</sub> の格子構造とその中に高分散した構造が活性に重要であることが示唆された。Pd/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 層に関しては PdO 微粒子として Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> に担持されていることが確認できた。また、モデル触媒ではなく、加速耐久試験によりメタン選択性の低下が認められたセンサの Pd/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 層をマイクロビームによる蛍光 XAFS で分析し、特性変動の機構を検討した [11]。その結果、選択性低下前のガスセンサでは Pd/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 層の Pd は PdO の状態で存在するが、選択性低下後では Pd(0) に還元していることがわかり、その量と選択性の間に相関がみられた。以上で得た知見は製品開発にフィードバックされ、

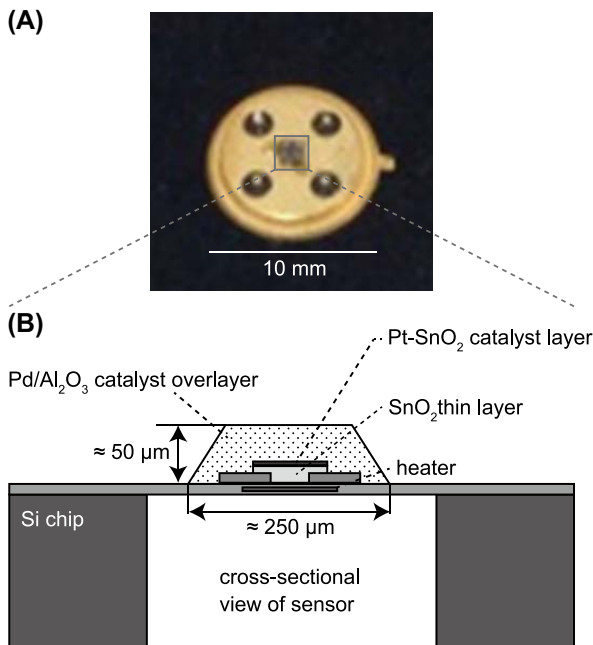


Figure 1 Diagram of  $\mu$ -gas sensor chip cross section.

高性能化，製品の信頼性向上に役立てられている [7,8,12-14]。

## 2. Pt-SnO<sub>2</sub> モデル触媒の構造解析

Fig. 1 に示すように SnO<sub>2</sub> 層上部に Pt を添加した Pt-SnO<sub>2</sub> 層を積層することでガスセンサの長期耐久性が向上することが確認されている [7,8]。Pt-SnO<sub>2</sub> の構造に関しては Pt 酸化物や Pt 金属が微粒子状で存在という報告がされていた [15-17]。一方，ごく微量 (0.2 wt.%) の Pt を含むセンサの高エネルギー分解蛍光 EXAFS 法によると，ルチル構造の Sn の位置に Pt イオンが存在するという報告もある [18,19]。今回開発されたセンサの Pt (0-15 at.%) の場合の局所構造を XAFS 分析で調べた。

Pt の添加量を 0 - 15 at.% の範囲で変えてモデル試料を作製し，Sn K-edge, Pt L<sub>3</sub>-edge の XAFS 測定結果を Figs. 2-3 に示す。第一配位圏内のカーブフィッティングの結果，Pt-O の結合距離は PtO<sub>2</sub> の Pt-O の結合距離や SnO<sub>2</sub> 内の Sn-O の結合距離よりも短くなっており，Pt-O の結合距離は Pt 添加量に限らず，誤差の範囲で一致した。また，Pt-O の配位数は 5 at.% で 6.0 となり，これは Pt が SnO<sub>2</sub> ルチル型結晶構造のオクタヘドラルサイトに存在することを示唆している。Pt 添加量を増やしていくと，10 at.% までは配位数は 6.0 を保つが，以降は添加量が増えるにしたがい徐々に減少していく。このことから Pt 周辺に部分的にアモルファス構造ができているものと考えられる。また，Sn K-edge の FT-EXAFS では 14 at.% では 3 Å 以降の結合が確認されなくなっている。一方，Pt L<sub>3</sub>-edge の FT-EXAFS では 11 at.% より高濃度で 2.5 Å 以降の結合が確認されなくなっている。つまり，SnO<sub>2</sub> のルチル構造が崩れてアモルファス化したことがわかる。しかしながら，Pt 微粒子が生成されている結果は得られなかった。本結果を

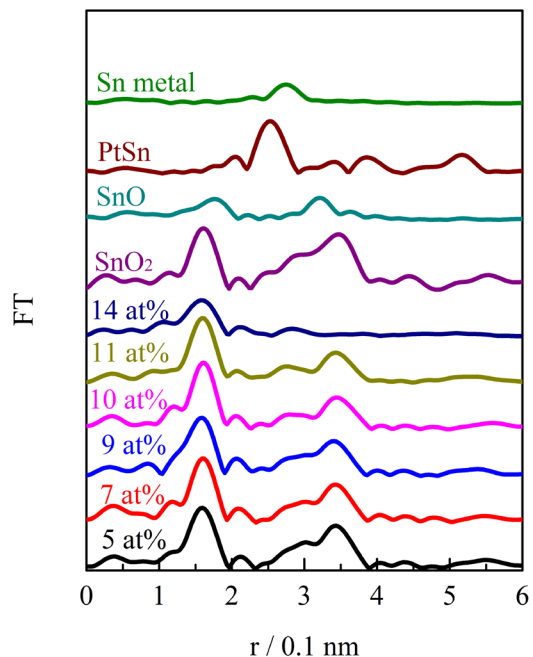


Figure 2 Fourier transforms of Sn K-edge EXAFS spectra of Pt-SnO<sub>2</sub> with various Pt loadings and references samples. From bottom to top 5 at.%, 7 at.%, 9 at.%, 10 at.%, 11 at.%, 14 at.%, PtO<sub>2</sub>, PtSn alloy, and Pt foil [13].

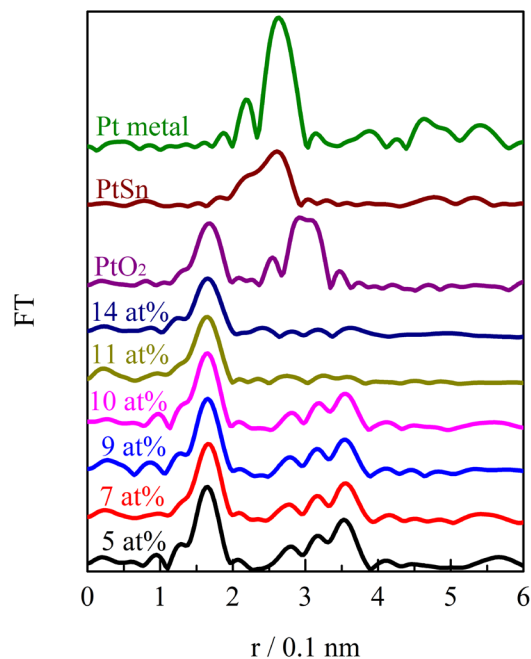


Figure 3 Fourier transforms of Pt L<sub>3</sub>-edge EXAFS spectra of Pt-SnO<sub>2</sub> with various Pt loadings and references samples. From bottom to top 5 at.%, 7 at.%, 9 at.%, 10 at.%, 11 at.%, 14 at.%, PtO<sub>2</sub>, PtSn alloy, and Pt foil [13].

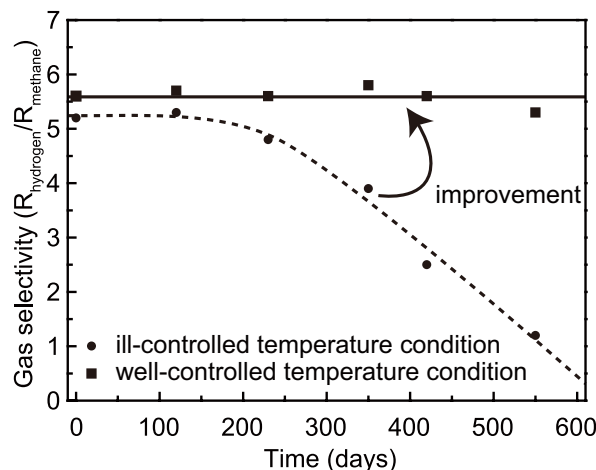
支持する結果は X 線回折，X 線光電子分光でも得られた。反応性に関しては，9-10 at.% の Pt 添加量が良いことが分かっており，それは今回のアモルファス化がおこる添加量と一致している。

また, in-situ でも測定が行える装置を開発し, 還元ガス中 ( $H_2$ ) で Pt-SnO<sub>2</sub> を高温にしたときの変化を追跡したところ, Pt 金属微粒子の生成が認められず, 還元ガス中においてもルチル構造として構造が安定していることが確認された [10].

以上より, 従来, Pt は Pt 微粒子として SnO<sub>2</sub> 相に分散しており, それが酸化反応に高活性と考えられていたが, 本研究のガスセンサの Pt-SnO<sub>2</sub> 層は Pt イオンが SnO<sub>2</sub> のルチル型構造の Sn サイトに存在した金属酸化物固溶型触媒を取っており, それが高活性であるということが分かった。この金属酸化物固溶型触媒が, 金属薄膜触媒あるいは金属担持触媒と比較して, 高い活性や高い熱的安定性を有するため, ガスセンサの耐久性向上に繋がっていると考えられる。

### 3. ガスセンサに使用された Pd/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 触媒の分析

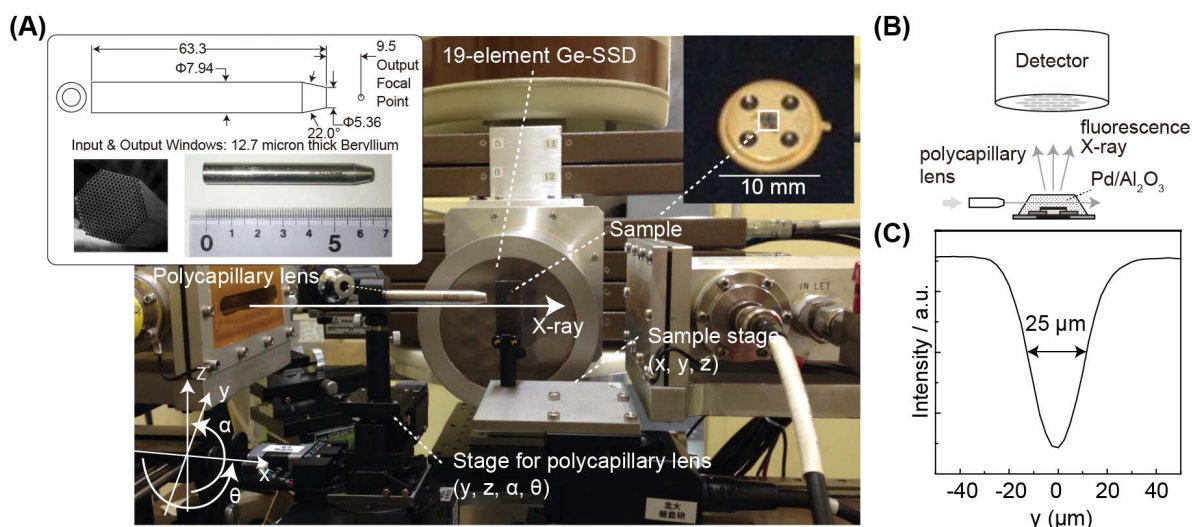
モデル触媒により, ガスセンサの Pt-SnO<sub>2</sub> の Pt の構造という最も基礎的な知見を得ることができた。また, 本稿では触れないが Pd/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 層のモデル触媒の分析では, Pd は PdO として存在することが分かった [20]。一方, モデル触媒ではなく, 実際のガスセンサそのものを測定したい場合も存在する。Fig. 4 にガスセンサのヒーター周辺と端で温度勾配のある改良前のセンサとその温度勾配を解消した改良後のセンサの加速耐久試験の結果を示す。温度勾配のある改良前のセンサでは加速耐久試験の結果, 電池の寿命よりも短時間でメタン選択性の低下が認められた。この特性変動の機構を解明するためにも特性変動したガスセンサの Pd/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 触媒そのものがどのような変化をしているのか調べる必要があった。しかしながら, Fig. 1 にも示したように Pd/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 触媒は数十~数百  $\mu\text{m}$  というサイズである。一般的な XAFS 測定は 0. 数~数 mm サイズのビームを用いており, この分析には適さない。そこで, X線を数十  $\mu\text{m}$  径に集光したマイクロビームを用いた。



**Figure 4** Fourier transforms of Pt L<sub>3</sub>-edge EXAFS spectra of Pt-SnO<sub>2</sub> with various Pt loadings and references samples. From bottom to top 5 at.%, 7 at.%, 9 at.%, 10 at.%, 11 at.%, 14 at.%, PtO<sub>2</sub>, PtSn alloy, and Pt foil [13].

現在, マイクロビームは得る X線集光光学素子としては, Kirkpatrick Baez (K-B) ミラー, フレネルゾーンプレート (FZP), ポリキャピラリーレンズ等が用いられている。ポリキャピラリーレンズは, 多数のガラス製の細管を束ねた構造で細管内を X線が全反射することで X線を集光しており, ・比較的容易にセットアップ可能, ・エネルギーによって焦点位置が変わらない, ・数十  $\mu\text{m}$  径のビームが得られる等の特徴を持つ。現在, 市販の蛍光 X線分析装置や PF BL-4A などでもマイクロビームを得る光学素子として幅広く使用されている。本研究では, Pd K 吸収端を測定することから AR-NW10A を使用する必要があり, 容易にセットアップできることが重要な要素の一つであったことからポリキャピラリーレンズを X線集光光学素子として選択した。

Fig. 5A, B に実際に AR-NW10A でサンプル用ステージ, ポリキャピラリーレンズ用ステージを設置した写真, 模式図



**Figure 5** (A) Photograph and (B) diagram of experimental setup. (C) Spatial resolution of polycapillary lens measured by knife-edge scan.

を載せた。ポリキャピラリーレンズは、4軸 ( $y, z, \theta, \alpha$ ) のステージがあれば調整でき、X線の光軸とポリキャピラリーレンズの軸を一致させることでX線を数十  $\mu\text{m}$  まで集光できる。ポリキャピラリーをセッティングした後にサンプルホルダーに設置したワイヤーを走査してビーム径を測定したところ、Pd K 吸収端のエネルギーで約 25  $\mu\text{m}$  径 (半値幅) のビームが得られていることを確認した (Fig. 5C)。

サンプルは加速耐久試験を行い、選択性の低下前のセンサと選択性の低下が認められたセンサ3種との合計4種のPd K 吸収端 XANES 測定を行った。ここでいう、選択性の低下というのは、下記の条件で水素を検出する感度とメタンを検出する感度の比が所定の比よりも下がったことを意味し、都市ガスに含まれるメタンのみを他の還元ガスよりも選択的に検知できる指標になっている。選択性が低下することで誤検知の可能性が高まる。具体的な式を下記に示す。

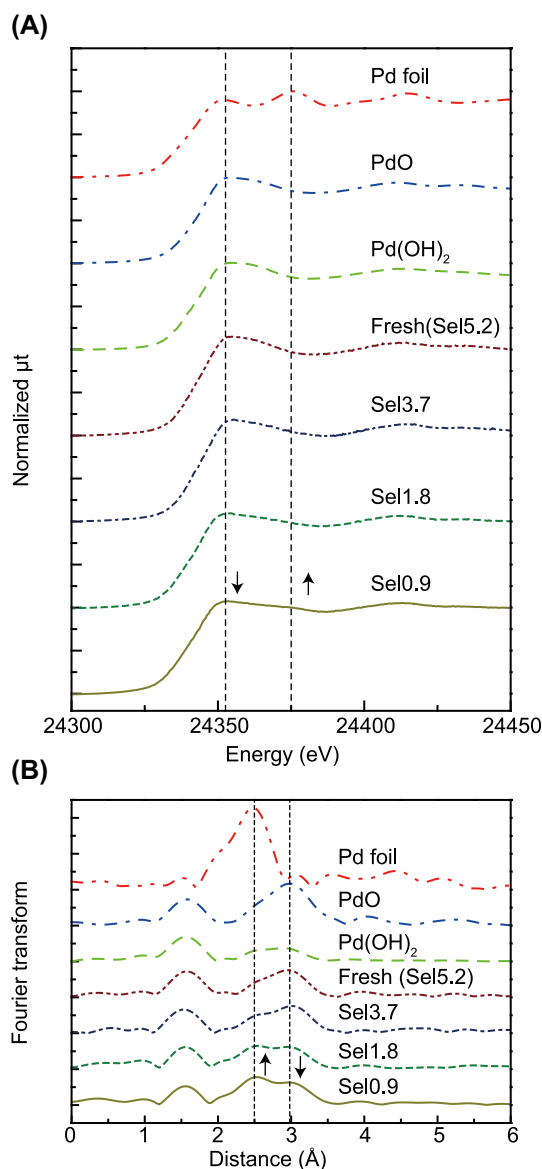
$$\text{Sel} = R_{\text{hydrogen}} / R_{\text{methane}}$$

ここで、 $R_{\text{hydrogen}}$ 、 $R_{\text{methane}}$  はそれぞれ 1000 ppm の水素、メタン中 (20°C, 湿度 65%) の抵抗値である。測定には、Sel = 5.2, Sel = 3.7, Sel = 1.8, Sel = 0.9 を用い、それぞれ、Sel 5.2, Sel 3.7, Sel 1.8, Sel 0.9 とよぶ。なお、Sel 5.2 が選択性低下前の Fresh なセンサである。

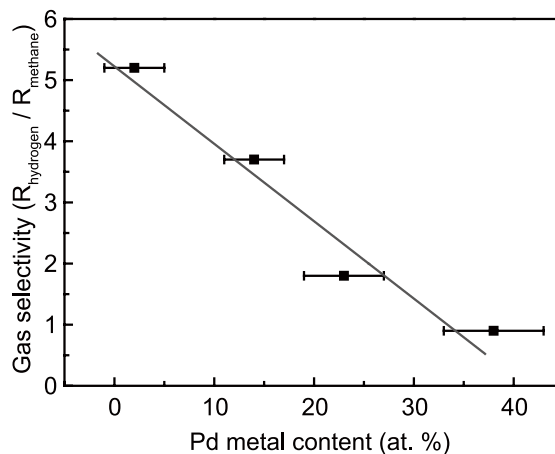
Fig. 6A に各選択性のガスセンサの Pd/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 触媒の XANES スペクトルを示した。選択性低下前のセンサ (Sel 5.2) は PdO と同じ XANES スペクトルを示しており、モデル触媒のときと同様に PdO の状態で積層されていることがわかった。一方、選択性低下が認められていたものは低下の割合に応じて、スペクトルの 24350 eV の強度が下がり、24375 eV の強度が上がる傾向が見られた。FT-EXAFS の結果 (Fig. 6B) では、選択性が下がるに連れ、2.5 Å のピークが上昇していることがわかる。これは Pd foil のピーク位置と一致している。スペクトルの変化の形状、EXAFS による Pd-Pd bond の確認、PdO は比較的低温度でも還元することから Pd foil (Pd(0)) と PdO の XANES スペクトルでフィッティングを行ったところ、スペクトルを再現することができた。

Fig. 7 にフィッティングから求めた Pd(0) の割合を選択性に対して示した。このように Pd(0) の量が多くなるにつれて選択性は低下していることがわかった。従来の研究では Pd/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 触媒はメタンの選択性を向上させるという報告がある [21]。メタンは他の還元ガス (水素, アルコール, 一酸化炭素など) と比べて不活性であり、メタンは分解されずに SnO<sub>2</sub> 層まで届き、他の還元ガスは PdO により分解される。しかし、選択性が低下したセンサでは PdO が還元し、Pd(0) になることにより、活性が変化し、その結果、メタンの選択性が低下したものと考えられる。

また、Pd/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 層内部の温度分布と Pd 状態の分布を調べるため、センサ配置とビーム照射の位置を変えて測定した。センサとビームの配置およびその配置での Sel 0.9



**Figure 6** Pd K-edge XAFS spectra of various degraded samples. (A) XANES spectra, and (B) their Fourier transforms. From bottom to top Sel0.9, Sel1.8, Sel3.7, Fresh (Sel5.2), Pd(OH)<sub>2</sub>, PdO, and Pd foil [11].



**Figure 7** Relation between the methane selectivity and PdO content [11].

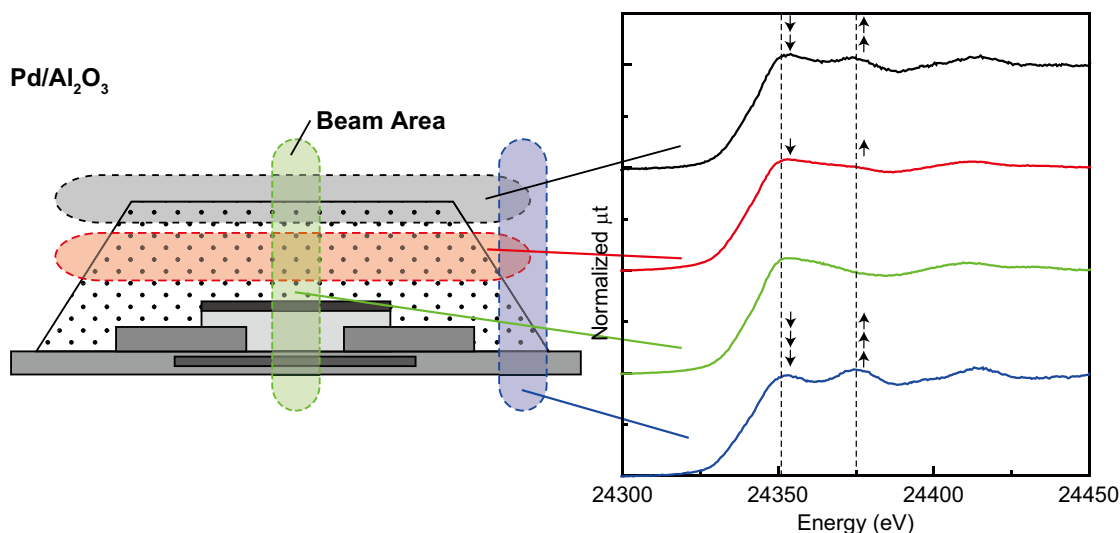


Figure 8 The XANES spectra of some regions of Pd/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> catalyst over layer.

の XANES スペクトルを Fig. 8 に示す。触媒の表面、端は Pd(0) 量が多く、内部の情報が多い配置では PdO が主体で Pd(0) 量が少ないことがわかった。Pd/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 層を形状管理していない改良前のセンサの温度分布に関する熱シミュレーションの結果から、Pd/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 層の中心温度に対して、表面、端に向かうに従い、温度が低下していることがわかっていて。この結果は、XANES による Pd(0) の分布と整合が付く。これらの結果から、Pd/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 層の温度分布が悪いセンサは、ある一定以下の温度領域で試験環境の雑ガスの影響を強く受けることで、PdO から Pd(0) への還元が起き、選択性が低下したものと考えられる。実際に端の温度低下を防ぐ処置を施した改良後のセンサでは特性変動は認められず (Fig. 4)、長期間、性能を保つことが確認された。

#### 4. まとめ、展望

本研究では、ガス警報器内のガスセンサに組み込まれた触媒層のモデル触媒の XAFS 分析から始まり、実際にガスセンサにおける触媒層をマイクロビームで分析することにより、特性変動の機構まで検討した。この知見は実際の開発現場にフィードバックされ、高性能化、製品の信頼性を飛躍的に向上させ、市販化できるようになった [12]。放射光による分析が基礎から実用化まで役立った一つの研究例にあたると思っている。

世の中にはガスセンサに限らず、マイクロ～ナノの形状で存在している物が多数ある。それらを分析に適すように実際の製品に組み込まれた対象物を測定するにはマイクロ～ナノビームが必要である。従来、マイクロビームの利用はセッティング等、少し敷居の高いものであったが、PF では BL-15A1 が建設され、BL-4A も現役であり、他放射光施設でも含めて、ここ数年、誰でも利用できるように設備が進んでいるように感じる。本稿で行ったエネルギー領域に関しては PF では自分でポリキャピラリーを NW10A に設置する必要があるが、ユーザーの声が高まれば導入されるだろう。また、数十～数百ナノのビームも使われ始め

ており、実際のセンサ、MEMS、医学応用 [22,23] などの分析等、応用範囲は広く、多種多様なユーザーが利用、参入すべきものと感じる。このためには、PF が後継機として、1 nmrad をきる新高輝度光源を一刻も早く建設することが望まれる。それができなければ日本の学術研究が遅れ、それを元にしたイノベーション創出も遅れると考えられる。

最後に本研究は、極めて製品開発の現場に近いという点で大学の研究者としては多数の困難が生じた。特に大学と企業での求めるものが異なるという点である。例えば、大学では重要な結果が出れば熟考ののち論文として広く公表したいところであるが、企業としては競争・特許等もあり、逆に重要であればあるほど発表したくないというのがそれぞれの立場である。また、製品発売であればそのスケジュール等の都合で大学のみで発表するときよりも多くの苦労があった。これは大学側のみならず、企業側も多くの苦労があったと思われる。しかし、障壁はあるものの、産学のお互いの強みを活かして、研究を進めることが日本、世界に役立つものと考えている。本稿の内容も富士電機及びその協力企業の方にご協力いただき公表に踏み切ったものであり、大変感謝している。

#### 5. 謝辞

本実験で使用した実験装置・反応セルは触媒科学研究所 技術部に作製していただいた。PF での実験は PF PAC 課題番号 2010G592, 2012G680 のもとで行われた。JSPS 科研費 24890061, 15K20426, 北海道大学触媒科学研究所共同利用・共同研究 (課題番号: 15A1003) の助成を受けて実施された。また、XAFS 測定を含む本研究の一部は独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) による「次世代高信頼性ガスセンサー技術開発」プロジェクトの支援の下で行った。

## 引用文献

- [1] United Nations, 2010 Energy Statistics Yearbook. <http://unstats.un.org/UNSD/energy/yearbook/default.htm> (accessed Jun. 5, 2014)
- [2] T. Suzuki, K. Kunihara, M. Kobayashi, S. Tabata, K. Higaki, and H. Ohnishi, *Sens. Actuators B Chem.* **109** (2), 185 (2005).
- [3] S. Tabata, K. Higaki, H. Ohnishi, T. Suzuki, K. Kunihara, and M. Kobayashi, *Sens. Actuators B Chem.* **109** (2), 190 (2005).
- [4] T. Suzuki, K. Onodera, F. Inoue, and K. Tsuda, *Jpn. Patent JP3812215* (2006).
- [5] M. Kobayashi, M. Yoshida, T. Suzuki, K. Kunihara, S. Tabata, K. Higaki, H. Ohnishi, and T. Hashimoto, *Jpn. Patent JP4376093* (2009).
- [6] T. Suzuki, S. Soma, and T. Nagase, *Technologies Supporting Society and Industry* **58** (1), 37 (2012).
- [7] A. Nonaka, T. Nakajima, H. Ohnishi, M. Okamura, N. Murata, and T. Suzuki, *Proc. the 57th Chem. Sensor Sym.* 30 Sup. B, 13 (2014).
- [8] T. Suzuki, M. Okamura, N. Murata, A. Nonaka, T. Nakajima, and H. Ohnishi, *Proc. the 57th Chem. Sensor Sym.* 30 Sup. B, 16 (2014).
- [9] N. Murata, T. Suzuki, M. Kobayashi, F. Togoh, and K. Asakura, *Phys. Chem. Chem. Phys.* **15** (41), 17938 (2013).
- [10] N. Murata, M. Kobayashi, Y. Okada, T. Suzuki, H. Nitani, Y. Niwa, H. Abe, T. Wada, S. Mukai, H. Uehara, H. Ariga, S. Takakusagi, and K. Asakura, *Rev. Sci. Instrum.* **86** 034102 (2015).
- [11] T. Wada, N. Murata, T. Suzuki, H. Uehara, H. Nitani, Y. Niwa, M. Uo, and K. Asakura, *Nano-Micro Letters* **7** (3), 255 (2015).
- [12] 大阪ガスプレスリリース, 世界初の電池式家庭用ガス警報器の開発について. [http://www.osakagas.co.jp/company/press/pr\\_2015/1222923\\_15658.html](http://www.osakagas.co.jp/company/press/pr_2015/1222923_15658.html) (accessed Apr. 22, 2015)
- [13] 物質構造科学研究所, IMSS ニュース・成果, PFでのXAFS測定による触媒開発が世界初の電池式ガス警報器の商品化へ. <http://www2.kek.jp/imss/news/2015/topics/0605gas-sens/> (accessed Jun. 5, 2015)
- [14] 触媒科学研究所プレスリリース, バッテリー駆動ガスセンサーの開発に貢献. <http://www.cat.hokudai.ac.jp/achievements/achievements20150605.pdf> (accessed Nov. 30, 2015)
- [15] M. Gaidi, M. Labeau, B. Chenevier, and J. L. Hazemann, *Sens. Actuators B Chem.* **48** (1-3), 277 (1998).
- [16] A. Kowal, M. Li, M. Shao, K. Sasaki, M. B. Vukmirovic, J. Zhang, N. S. Marinkovic, P. Liu, A. I. Frenkel, and R. R. Adzic, *Nature Materials* **8** (4), 325 (2009).
- [17] L. Madler, T. Sahm, A. Gurlo, J. D. Grunwaldt, N. Barsan, U. Weimar, and S. E. Pratsinis, *Journal of Nanoparticle Research* **8** (6), 783 (2006).
- [18] M. Hubner, D. Koziej, M. Bauer, N. Barsan, K. Kvashnina, M. D. Rossell, U. Weimar, and J. D. Grunwaldt, *Angewandte Chemie-International Edition* **50** (12), 2841 (2011).
- [19] M. Hubner, N. Barsan, and U. Weimar, *Sens. Actuators B Chem.* **171**, 172 (2012).
- [20] N. Murata, Ph.D. thesis (2015).
- [21] J. C. Kim, H. K. Jun, J.-S. Huh, and D. D. Lee, *Sens. Actuators B Chem.* **45** (3), 271 (1997).
- [22] M. J. Pushie, I. J. Pickering, M. Korbas, M. J. Hackett, and G. N. George, *Chemical Reviews* **114** (17), 8499 (2014).
- [23] 杉山知子, 和田敬広, 宇尾基弘, *PF News* **33**, 16 (2015). (原稿受付日: 2015年12月25日)

## 著者紹介

和田敬広 Takahiro WADA



東京医科歯科大学 医歯学総合研究科  
先端材料評価学分野 助教  
〒113-8549 東京都文京区湯島 1-5-45  
TEL: 03-5803-5469  
FAX: 03-5803-5467  
e-mail: wada.abm@tmd.ac.jp

略歴: 2012年北海道大学工学研究科博士課程修了。博士(工学)。2012年東京医科歯科大学助教。2015年北海道大学触媒科学研究所共同研究フェロー(併任)。

最近の研究: 放射光を用いた実生体材料, デバイスの空間分解分析

趣味: 映画観賞, 散歩, 展示会見学

村田尚義 Naoyoshi MURATA



富士電機株式会社 技術開発本部  
〒191-8502 東京都日野市富士町1番地  
TEL: 042-586-1020  
FAX: 042-585-6331  
e-mail: murata-naoyoshi@fujielectric.com

略歴: 2008年青山学院大学理工学研究科卒業, 2008年富士電機株式会社入社, 2016年北海道大学工学研究科博士課程修了見込。

最近の研究: 半導体式ガスセンサの研究開発

趣味: サッカー, 映画鑑賞

上原広充 Hiromitsu UEHARA



富士電機株式会社 技術開発本部  
〒191-8502 東京都日野市富士町1番地  
TEL: 042-586-1020  
FAX: 042-585-6331  
e-mail: uehara-hiromitsu@fujielectric.com

略歴: 2009年北海道大学理学院化学専攻修了。博士(理学)。2009年科学技

術振興機構 ERATO 研究員, 2010 年北海道大学触媒化学研究センター特任助教, 2011 年高エネルギー加速器研究機構共同研究研究員 (兼任), 2015 年より富士電機株式会社。最近の研究: 半導体式ガスセンサの応用開発  
趣味: 散歩

鈴木卓弥 Takuya SUZUKI



富士電機株式会社 技術開発本部  
〒191-8502 東京都日野市富士町1番地

TEL: 042-586-1020

FAX: 042-585-6331

e-mail: suzuki-takuya@fujielectric.com

略歴: 1994 年東京大学工学部卒業,

1994 年富士電機株式会社入社

最近の研究: 半導体式ガスセンサの研究開発

趣味: 山歩き, 読書

丹羽尉博 Yasuhiro NIWA

高エネルギー加速器研究機構

構造物質科学研究所 技師

〒305-0801 茨城県つくば市大穂1-1

TEL: 029-864-5444

FAX: 029-864-2801

e-mail: yasuhiro.niwa@kek.jp

略歴: 2005 年高エネルギー加速器研究機構物質構造科学研究所研究員。2009 年同技術員。2011 年同准技師。

2012 年同技師。

最近の研究: シングルショット DXAFS を用いた不可逆反応過程の解明

趣味: 写真撮影, 車

仁谷浩明 Hiroaki NITANI



高エネルギー加速器研究機構

構造物質科学研究所 助教

〒305-0801 茨城県つくば市大穂1-1

TEL: 029-864-5444

FAX: 029-864-2801

e-mail: hiroaki.nitani@kek.jp

略歴: 2007 年大阪大学大学院工学研究

科博士後期課程修了, 2007 年日本学術振興会特別研究員 (PD), 2008 年産業技術総合研究所特別研究員, 2009 年高エネルギー加速器 研究機構物質構造科学研究所助教。博士 (工学)。

最近の研究: XAFS 実験ステーションおよび測定手法の高度化技術開発

趣味: アキバ系サブカルチャー

宇尾基弘 Motohiro UO



東京医科歯科大学 医歯学総合研究科

先端材料評価学分野 教授

〒113-8549 東京都文京区湯島1-5-45

TEL: 03-5803-5467

FAX: 03-5803-5467

e-mail: uo.abm@tmd.ac.jp

略歴: 1992 年東京大学大学院工学系研究

科修了。博士 (工学)。東京大学工学部助手, 北海道大学歯学部助手・准教授を経て 2011 年より現職。2014 年より東京大学マテリアル工学専攻 教授 (併任)。

最近の研究: 放射光を用いた生体内微量元素・微小異物の検出と分布・状態分析

趣味: 車 (の運転) と飛行機 (に乗ること)

朝倉清高 Kiyotaka ASAKURA



北海道大学 触媒科学研究所 教授

〒001-0021 北海道札幌市北区北21条西10丁目

TEL: 011-706-9113

FAX: 011-706-9113

e-mail: askr@cat.hokudai.ac.jp

略歴: 1984 年東京大学助手, 1987 年

PhD, 1992 年 FHI-MPG in Berlin に留学, 1994 年東京大学スペクトル化学助教授, 1999 年北海道大学触媒化学研究センター教授, 2014 年同センター長, 2015 年北海道大学触媒科学研究所教授・所長 (改組)。

最近の研究: 燃料電池触媒表面の XAFS による解析

趣味: 放射光実験