

ペロブスカイト型酸化物を利用した 白金族金属回収技術

野村 勝裕* 蔭山 博之*

1. はじめに

白金族金属 (Platinum group metals : 以下 PGM と略す) は、白金 (Pt), パラジウム (Pd), ロジウム (Rh), イリジウム (Ir), ルテニウム (Ru), 及びオスミウム (Os) の 6 金属の総称である。PGM は宝飾用のみならず、自動車排ガス用触媒、工業用触媒、医療用など幅広い分野で使用されている。しかし、産出量が少なく、産地も限定されているため、PGM の有効利用には、使用量の削減、及び回収による再利用が重要である。PGM のリサイクル方法として、王水などの強酸を回収媒体とした湿式法、銅などの熔融金属を媒体とした乾式法が知られているが、前者は回収効率が高くなく、後者は設備が大掛かりになる等の難点がある⁽¹⁾。

本稿では、PGM の新規回収方法として、ペロブスカイト型酸化物を回収媒体 (吸蔵材) に用いる、気相 (空気) を介した、非接触の PGM の回収について報告する。さらに、PGM を吸蔵したペロブスカイト型酸化物の酸に対する溶解性についても報告する⁽²⁾⁻⁽⁶⁾。

2. 群青色ペロブスカイト発見の経緯

ペロブスカイト型酸化物を用いた PGM の新規回収方法の詳細を述べる前に、PGM 吸蔵材であるペロブスカイト型酸化物の特徴、及びこの回収方法の原点である群青色ペロブスカイト発見の経緯を簡単に紹介する。

(1) PGM 吸蔵材-ペロブスカイト型酸化物の特徴

ペロブスカイトの名称は、化学組成 CaTiO_3 の鉱物ペロブ

スキー石 (Perovskite) (和名：灰チタン石) に由来する。この鉱物と同様な結晶構造を持つ酸化物を、ペロブスカイト型酸化物と呼ぶ。ペロブスカイト型酸化物は一般式 ABO_3 で表され、A サイト及び B サイトを占有する陽イオンの組合せ、あるいは A, B 両サイトの陽イオンと酸化物イオンの不定比性により、誘電性、超伝導性、イオン導電性、強磁性、反強磁性など、様々な電氣的、磁氣的性質が現れる⁽⁷⁾。

1981年に、岩原らによって、ペロブスカイト型酸化物のプロトン導電現象が発見された⁽⁸⁾。ここで、プロトン導電現象とは、外部から電場を印加した際、物質中を水素陽イオン (H^+ , プロトン) が移動し、電荷を運ぶ現象を意味する。以来、ペロブスカイト型酸化物はプロトン導電体として注目され、燃料電池、水素センサー、水素分離装置などの電解質材料への適用が検討されている⁽⁹⁾⁻⁽¹¹⁾。

我々は、ペロブスカイト型酸化物の内、A サイトに 3 価陽イオン、B サイトに 3 価陽イオンを含む $\text{A}^{3+}\text{B}^{3+}\text{O}_3$ 型をベースとする化合物、 $(\text{La}, \text{Sr})\text{M}^{\text{III}}\text{O}_{3-\delta}$ ($\text{M}^{\text{III}} = \text{Sc}, \text{In}, \text{Lu}$ など、 δ は酸素空孔量) に着目し、導電特性⁽¹²⁾⁽¹³⁾ 及び結晶構造⁽¹⁴⁾⁽¹⁵⁾ について研究を進めてきた。これらの化合物は、A サイトの La^{3+} イオンの一部を Sr^{2+} イオンで固溶置換することにより、電荷補償の形で結晶内に酸素空孔が導入される。高温で酸素分圧が高く水素分圧が高い (= 高水蒸気分圧) 条件では、試料周りの雰囲気ガス中の H_2O が酸素と水素に解離して結晶中に溶解し、プロトンによる導電が支配的となる⁽¹⁶⁾。これら $\text{A}^{3+}\text{B}^{3+}\text{O}_3$ 型をベースとするペロブスカイト型化合物は、従来報告されてきた A サイトに 2 価陽イオン、B サイトに 4 価陽イオンを含む $\text{A}^{2+}\text{B}^{4+}\text{O}_3$ 型をベースとするペロブスカイト型プロトン導電体、 $\text{Sr}(\text{Ce}_{0.95}\text{Y}_{0.05})\text{O}_{3-\delta}$ (SCY)⁽¹⁷⁾、 $\text{Ba}(\text{Ce}_{0.9}\text{Y}_{0.1})\text{O}_{3-\delta}$ (BCY)⁽¹⁷⁾ などと同程度のプロ

* 独立行政法人産業技術総合研究所 ユビキタスエネルギー研究部門、イオニクス材料研究グループ 主任研究員 (〒563-8577 池田市緑丘 1-8-31)

Recycling Technology for Platinum Group Metals by Using Perovskite-type Oxides; Katsuhiko Nomura, Hiroyuki Kageyama (Ionics Research Group, Research Institute for Ubiquitous Energy Devices, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), Ikeda)

Keywords: *perovskite-type oxides, platinum group metals, recycling technology, ion exchange, gas phase*

2012年11月6日受理

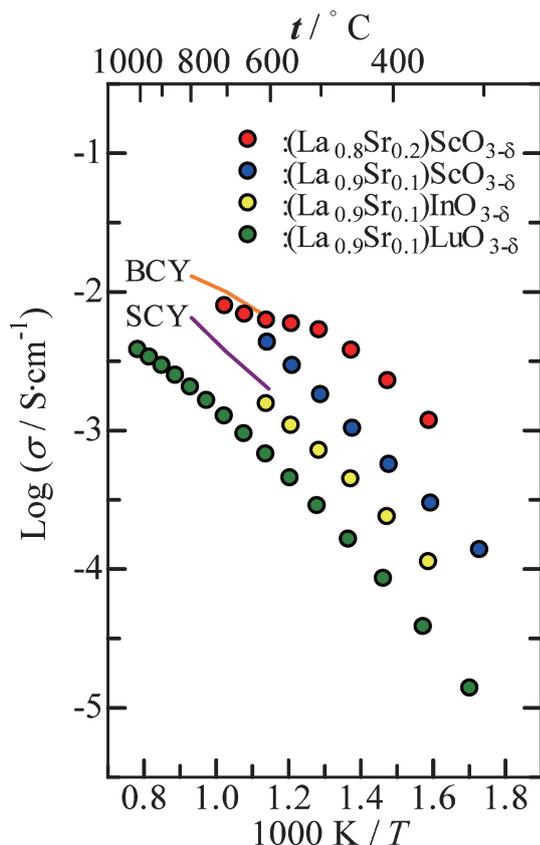


図1 ペロブスカイト型プロトン導体の水素雰囲気における全導電率のアレニウスプロット． $A^{3+}B^{3+}O_3$ 型ペロブスカイト化合物- $(La_{0.9}Sr_{0.1})ScO_{3-\delta}$ ⁽¹²⁾， $(La_{0.9}Sr_{0.1})InO_{3-\delta}$ ⁽¹²⁾， $(La_{0.9}Sr_{0.1})LuO_{3-\delta}$ ⁽¹²⁾， $(La_{0.8}Sr_{0.2})ScO_{3-\delta}$ ⁽¹³⁾及び $A^{2+}B^{4+}O_3$ 型ペロブスカイト化合物-Sr $(Ce_{0.95}Yb_{0.05})O_{3-\delta}$ (SCY)⁽¹⁷⁾，Ba $(Ce_{0.95}Yb_{0.05})O_{3-\delta}$ (BCY)⁽¹⁷⁾．

トン導電率を示す(図1)．一連の $A^{3+}B^{3+}O_3$ 型化合物の中で，ランタンスカンデート($LaScO_3$)系化合物は比較的高いプロトン導電率(873 Kで 10^{-3} S/cmのオーダー)を持ち，化学的にも安定なため，水素センサーの電解質材料への適用が検討されている⁽¹⁸⁾．

(2) 群青色ペロブスカイトの発見

セラミックス材料を燃料電池，ガスセンサーなどの電解質として用いる際には，ガス透過による性能低下を防ぐため，相対密度(=嵩密度/理論密度)95%以上の緻密焼結体が必要である．2003年当時， $LaScO_3$ 系化合物は，比較的高いプロトン導電率を持ち，化学的にも安定という長所を持つ一方で，通常の高固相反応法で焼結体を作製した場合，1873 Kという高温焼成によっても，相対密度が80%程度にしか達しないという難焼結性の材料であった．我々は， $LaScO_3$ 系化合物の緻密焼結体を作製するため，1873 Kより高い温度での焼成を試みていた．

$LaScO_3$ のAサイト(La)の20 mol%をSrで，10 mol%をBaで置換した $(La_{0.7}Sr_{0.2}Ba_{0.1})ScO_{3-\delta}$ (以下LSBSと略す)組



図2 空气中，1898 K，36 ks 焼成後の $(La_{0.7}Sr_{0.2}Ba_{0.1})ScO_{3-\delta}$ (LSBS)成形体．

成の化合物を白金(Pt)箔に載せ，空气中，1898 Kで36 ks 焼成した後の様子を図2に示す．

この実験では，LSBSとアルミナとの化学反応を避けるため，アルミナ容器(ニッカトー，材質：SSA-S，容積：約15 cm³)内にPt箔(厚さ30 μm)を置いた．Pt箔の上に直方体状のLSBS成形体を置き，同一寸法のアルミナ容器で蓋をした．焼成後，電気炉からアルミナ容器を取り出して蓋を開けて見ると，焼結体は崩壊していた．各断片の焼結は進んでいたが，驚いたことに，成形体の表面であったと推察される所から0.5 mm程度の深さまで淡赤色から群青色(ウルトラマリンブルー)に変色していた．初めてこの群青色のペロブスカイト化合物に遭遇した際には，何らかの原因によるコバルト元素の混入を疑った．その後，アルミナ容器，Pt箔を別のものに替え，新たに合成したLSBS粉末を用いて焼成を行った場合にも，同様な現象が再現された．群青色の原因を探るために蛍光X線分析による元素分析を行ったところ，試料中にはコバルトではなくPtが含まれていることが分かった．大変な驚きであった．この現象の発見をきっかけに， $LaScO_3$ 系化合物の緻密焼結体作製の研究と並行して，ペロブスカイト型酸化物とPGMとの反応性についての研究が始まった．その後， $LaScO_3$ 系化合物の緻密焼結体作製に関しては，粒度分布の異なる2種類の粉末(サブミクロンオーダー及びミクロンオーダー)を混合して焼成するという手法で，相対密度95%以上の緻密なものが得られている⁽¹⁹⁾⁽²⁰⁾．

3. ペロブスカイト型酸化物を用いたPGMの吸蔵実験

(1) 実験方法

ペロブスカイト型酸化物として， $LaScO_3$ 系化合物の1つである $(La_{0.7}Sr_{0.2}Ba_{0.1})ScO_{3-\delta}$ (LSBS)を用いた場合の例を示す．LSBSは， La_2O_3 (4N)， $SrCO_3$ (5N)， $BaCO_3$ (5N)及び Sc_2O_3 (3N)を出発物質とし，固相反応法により合成した⁽²⁾．吸蔵実験には，4種類のPGM(Pt，Pd，Rh，及びIr)を使用した．PGMの形状としては，箔状のもの，メッシュ状のもの，又はアルミナ(触媒学会参照触媒JRC-ALO-7)担体に

金属ナノ粒子として高分散担持したものを模擬廃材として用いた。LSBS粉末をPGMの箔に載せた状態、又はLSBS粉末とPGMを非接触の状態アルミナ容器(ニッカトー、材質:SSA-S、容積:約15 cm³)に入れ、同アルミナ容器で蓋をし、空气中、1273~1898 Kで36 ks焼成した。焼成前後のLSBS粉末試料について、色の変化を目視で確認するとともに、誘導結合プラズマ発光分光(ICP-AES)による元素分析を実施した。また、同試料について、粉末X線回折(XRD)法、X線吸収微細構造(XAFS)分光法などによる結晶構造解析を行った。

(2) LSBS と Pt との接触・非接触状態での反応

(a) LSBS の結晶構造

粉末XRDデータのリートベルト解析により、合成したLSBSは図3に示すような斜方晶GdFeO₃型(空間群No.62, *Pnma*)のペロブスカイト型構造を持つことが分かった⁽²⁾。この結晶構造の特徴は以下の通りである。① Bサイト陽イオン(Sc³⁺)の周りに酸素が6配位し、ScO₆八面体を形成している。ScO₆八面体のSc³⁺と酸素6個との結合距離は0.20~0.21 nmである。② ScO₆八面体は交互に傾きながら酸素を頂点共有して繋がっている。③ ScO₆八面体の隙間にAサイト陽イオン(La³⁺, Sr²⁺, Ba²⁺)が分布している。Aサイト陽イオンと再近接酸素12個との結合距離は、0.24~0.35 nmである。

(b) LSBS と Pt との接触反応

LSBS粉末(2.0 g)をPt箔に載せ、空气中、1898 Kで36 ks焼成すると、LSBS粉末は淡赤色から群青色へと変色した(図4)。ICP-AES分析により、焼成後のLSBSには0.5 mass%のPtの含有が確認された。XRDデータのリートベルト解析により、LSBSのペロブスカイト型構造は焼成前後

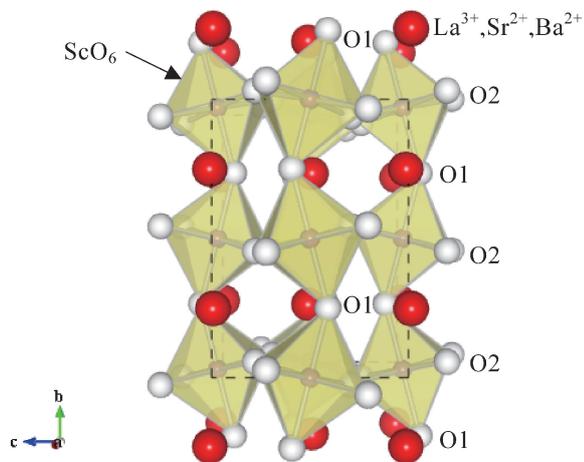


図3 (La_{0.7}Sr_{0.2}Ba_{0.1})ScO_{3-δ}(LSBS)ペロブスカイト型酸化物の結晶構造。La³⁺, Sr²⁺, Ba²⁺がAサイト(赤丸)を、Sc³⁺がBサイト(紫丸)を、OがO1及びO2サイト(白丸)を占有。点線は単位胞を表す。

で保持されることが分かった。焼成後のScO₆八面体のSc³⁺と酸素6個との結合距離は0.20~0.22 nmであった。図5(a), (b)及び(c)に、焼成後のLSBS粉末(Pt/LSBS), PtO₂·nH₂O及びPt箔のPt周りの動径構造関数を示す。Pt/LSBSのPt-O結合に対応するピークは約0.17 nmにあり、PtO₂·nH₂OのPt-O結合に対応するピークよりもやや長い位置にある。また、Pt/LSBSのピーク強度はPtO₂·nH₂Oのそれよりも大きい。これらより、Ptはイオン化してPt³⁺の状態LSBSのBサイト(Scサイト)を主に占有すると推定された(図5)⁽²⁾⁽⁶⁾。

(c) LSBS と Pt との非接触反応

LSBS粉末とPtメッシュ(#80)との反応を図6に示す。

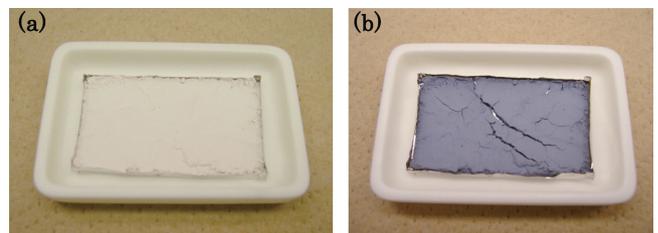


図4 (a)焼成前、及び(b)Pt箔上、空气中、1898 K、36 ks焼成後の(La_{0.7}Sr_{0.2}Ba_{0.1})ScO_{3-δ}(LSBS)粉末。

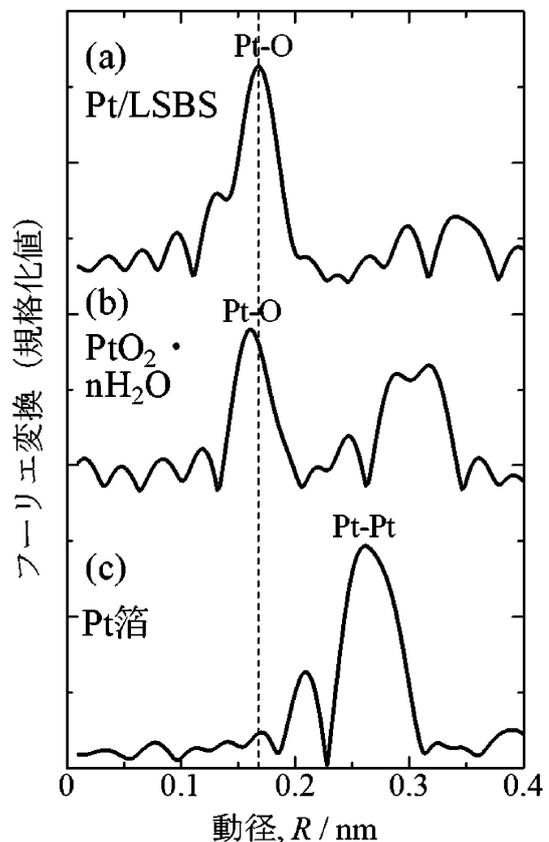


図5 (a)Pt/LSBS、(b)PtO₂·nH₂O及び(c)Pt箔のPt周りの動径構造関数⁽²⁾⁽⁶⁾。

アルミナ容器の中央に LSBS 粉末を置き、その両側に LSBS 粉末と非接触状態で Pt メッシュを置き、同サイズのアルミナ容器で蓋をし、空气中、1798 K で 36 ks 焼成すると、LSBS 粉末は淡赤色から群青色に変化した。ICP-AES 分析の結果、焼成後の LSBS 粉末には 0.2 mass% の Pt が含まれていることが分かった。また、XRD データのリートベルト解析により、LSBS のペロブスカイト型構造は、焼成前後で保持されていることが分かった。この実験結果より、LSBS 粉末と Pt 箔が離れていても吸蔵現象が起きることが分かり、ペロブスカイト型酸化物を用いた PGM の回収方法の検討を進めることとなった。

(3) LSBS と種々の PGM との反応

(a) LSBS と Pd, Rh 又は Ir との接触反応

LSBS 粉末と Pd 箔との反応例を図 7 に示す。LSBS 粉末 (2.0 g) を Pd 箔に載せ、空气中、1813 K で 36 ks 焼成すると、LSBS 粉末は淡褐色となった。ICP-AES 分析により、焼成後の LSBS には 0.9 mass% の Pd の含有が確認された。

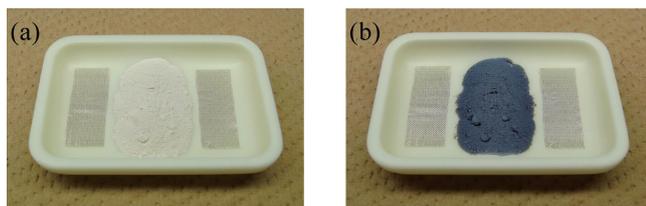


図 6 (a)焼成前、及び(b)空气中、1798 K、36 ks 焼成後の $(La_{0.7}Sr_{0.2}Ba_{0.1})ScO_{3-\delta}$ (LSBS) 粉末(中央)と Pt メッシュ(#80)(右, 左)。

XRD データのリートベルト解析により、LSBS のペロブスカイト型構造は焼成前後で保持されることが分かった。さらに、XAFS 分析により、Pd はイオン化して Pd^{3+} の状態で LSBS の B サイト (Sc サイト) を主に占有すると推定された⁽⁶⁾。

LSBS 粉末と Rh 箔との反応例を図 8 に示す。LSBS 粉末 (2.0 g) を Rh 箔に載せ、空气中、1798 K で 36 ks 焼成すると、LSBS 粉末は黒色となった。ICP-AES 分析により、焼成後の LSBS には 2.9 mass% の Rh の含有が確認された。XRD データのリートベルト解析により、LSBS のペロブスカイト型構造は焼成前後で保持されることが分かった。焼成後の XRD パターンには、ペロブスカイト相以外に Sc_2O_3 相の回折ピークが見出された。さらに、XAFS 分析により、Rh はイオン化して Rh^{3+} の状態で LSBS の B サイト (Sc サイト) を主に占有すると推定された⁽⁶⁾。

LSBS 粉末と Ir 箔との反応例を図 9 に示す。LSBS 粉末 (2.0 g) を Ir 箔に載せ、空气中、1798 K で 36 ks 焼成すると、LSBS 粉末は濃褐色となった。ICP-AES 分析により、焼成

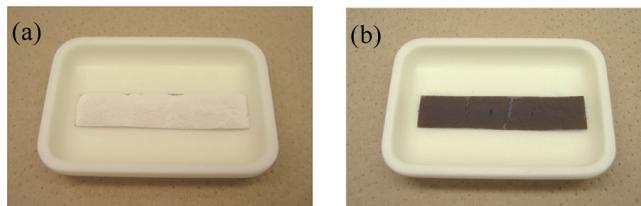


図 9 (a)焼成前、及び(b)Ir 箔上、空气中、1898 K、36 ks 焼成後の $(La_{0.7}Sr_{0.2}Ba_{0.1})ScO_{3-\delta}$ (LSBS) 粉末。

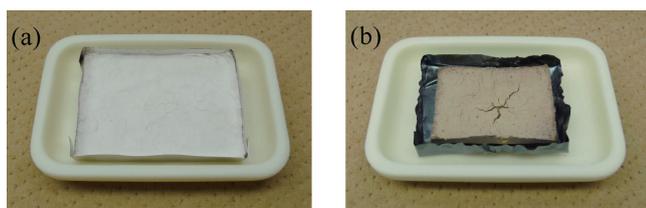


図 7 (a)焼成前、及び(b)Pd 箔上、空气中、1813 K、36 ks 焼成後の $(La_{0.7}Sr_{0.2}Ba_{0.1})ScO_{3-\delta}$ (LSBS) 粉末。

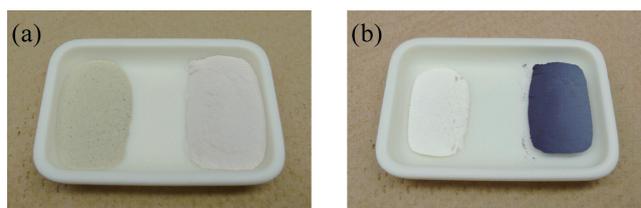


図 10 (a)焼成前、及び(b)空气中、1798 K、36 ks 焼成後の 1 mass% Rh/ Al_2O_3 (左)と $(La_{0.7}Sr_{0.2}Ba_{0.1})ScO_{3-\delta}$ (LSBS) 粉末(右)。

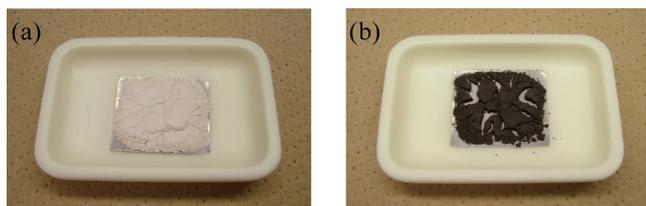


図 8 (a)焼成前、及び(b)Rh 箔上、空气中、1898 K、36 ks 焼成後の $(La_{0.7}Sr_{0.2}Ba_{0.1})ScO_{3-\delta}$ (LSBS) 粉末。

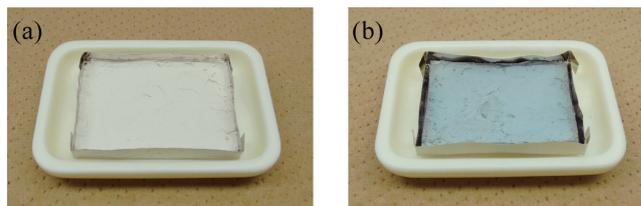


図 11 (a)焼成前、及び(b)Pt 箔上、空气中、1898 K、36 ks 焼成後の $Sr(Zr_{0.9}Y_{0.1})O_{3-\delta}$ (SZY) 粉末。

後のLSBSには11.4 mass%のIrの含有が確認された。XRDデータのリートベルト解析により、LSBSのペロブスカイト型構造は焼成前後で保持されることが分かった。焼成後のXRDパターンには、ペロブスカイト相以外に Sc_2O_3 相の回折ピークが見出された。さらに、XAFS分析により、Irはイオン化して Ir^{3+} の状態ではLSBSのBサイト(Scサイト)を主に占有すると推定された⁽⁶⁾。

(b) LSBSとRhとの非接触反応

1 mass% Rh/ Al_2O_3 とLSBS粉末との反応例を図10に示す。淡緑褐色のRh/ Al_2O_3 (0.5 g)と淡赤色のLSBS粉末(2.0 g)を非接触状態で、空气中、1798 Kで36 ks焼成するとRh/ Al_2O_3 は無色となり、LSBSは濃青色となった。ICP-AES分析により、焼成後のLSBSには0.2 mass%のRhの含有が確認された。これは、Rh/ Al_2O_3 に含まれるRhの約80%に相当する。XRDデータのリートベルト解析により、LSBSのペロブスカイト型構造は焼成前後で保持されることが分かった。

(4) 他のペロブスカイト型酸化物とPtとの反応

$\text{A}^{2+}\text{B}^{4+}\text{O}_3$ 型ペロブスカイトの1つである SrZrO_3 のBサイト(Zr)にYを10 mol%置換固溶した $\text{Sr}(\text{Zr}_{0.9}\text{Y}_{0.1})\text{O}_{3-\delta}$ (以下SZYと略す)組成の化合物と白金箔との反応を図11に示す。SZYはプロトン導電体の1つである。

SZY粉末(2.0 g)をPt箔に載せ、空气中、1898 Kで36 ks焼成すると、SZY粉末は淡青色となった。ICP-AES分析により、焼成後のSZYには0.2 mass%のPtの含有が確認された。XRDデータのリートベルト解析により、SZYは GdFeO_3 型ペロブスカイト型構造を持ち、焼成前後で結晶構造が保持されることが分かった。さらに、XAFS分析により、Ptはイオン化して Pt^{3+} の状態ではSZYのBサイト(Zrサイト)を主に占有すると推定された⁽⁴⁾。

4. 推定される反応機構

表1に、3種類のPGM箔(Pt, Rh又はIr箔)にLSBS粉末を載せ、空气中、1898 Kで36 ks焼成した際のLSBSのPGM吸蔵量、及びこれら3種類のPGMに対応するPGM酸化物の酸素中、1898 Kにおける蒸気圧⁽²¹⁾を示す。LSBSのPGM吸蔵量の大小は、PGM酸化物の蒸気圧の大小、すなわち $P(\text{IrO}_3) \gg P(\text{RhO}_2) > P(\text{PtO}_2)$ にほぼ対応していることが分かる。

3節及び4節に記した実験結果より、LSBSのPGM吸蔵現象は、図12に示すように、空气中、高温での加熱により、
i) PGMがPGM酸化物(又はPGM)の蒸気として蒸発し、
ii) 気相(空気)中を移動した後、
iii) LSBSペロブスカイト型酸化物中の安定サイト(主にScサイト)にPGMイオンとして置換固溶する、というプロセスで進行すると推定された。PGMの吸蔵量が多くなると、 Sc_2O_3 が析出することがXRD測定により確認されており、PGMとScのイオン交換反応

表1 PGM箔上に $(\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.2}\text{Ba}_{0.1})\text{ScO}_{3-\delta}$ (LSBS)粉末を載せ、空气中、1898 Kで36 ks焼成した際のLSBSのPGM吸蔵量、及びPGM酸化物の酸素中、1898 Kにおける蒸気圧⁽²¹⁾。

PGM箔の種類	LSBS粉末のPGM吸蔵量/wt%	PGM酸化物の蒸気圧/Pa
Pt	0.5	5.1
Rh	2.9	7.3
Ir	11.4	130

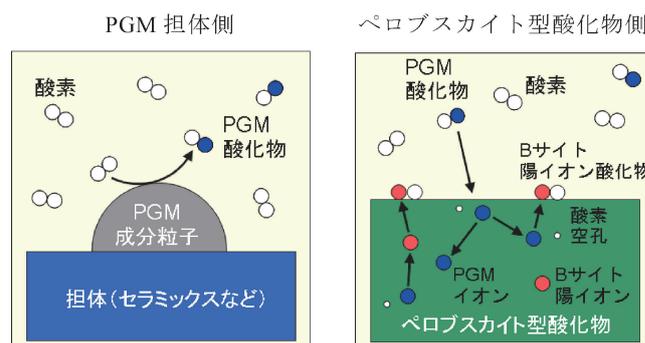


図12 ペロブスカイト型酸化物によるPGM吸蔵機構。

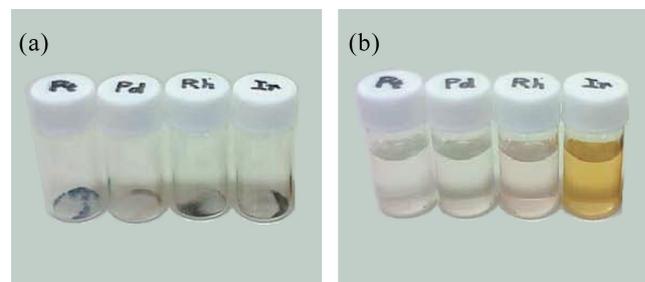


図13 濃塩酸中、333 K、21.6 ks保持前(a)、及び保持後(b)のPt, Pd, Rh又はIrを吸蔵した $(\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.2}\text{Ba}_{0.1})\text{ScO}_{3-\delta}$ (LSBS)粉末。

が起きていると考えられる。ペロブスカイト型酸化物に吸蔵されるPGMの量は、PGM酸化物(又はPGM)の蒸気圧、及びペロブスカイト型酸化物の持つPGM吸蔵能力によって変化する。

5. PGMを吸蔵したLSBS粉末の酸に対する溶解性

PGM含有LSBS粉末を塩酸、硝酸又は王水に加えた後、333 Kに加熱・保持し、それぞれの酸に対する溶解性を調べた。Rhを吸蔵したLSBS粉末(20 mg)を4 mLの酸に加え、333 Kに加熱した結果、21.6 ks保持することで濃塩酸に、32.4 ks保持することで王水に、43.2 ks保持することで濃硝酸に、完全に溶解することが分かった。他のPGM(Pt, Pd, Ir)を吸蔵したLSBSについても、333 Kで21.6 ks以上保持

することで、濃塩酸に完全に溶解した(図13)。このことは、王水にさえ難溶のIrを含む廃材からでも、溶解度向上のための前処理無しで、本回収方法によりこれら PGM を回収できる可能性があることを示唆する。LSBS に吸蔵された PGM が王水以外の酸に可溶な理由としては、LSBS の結晶構造中に PGM がイオン化して存在していることが考えられる。

6. おわりに

LSBS などのペロブスカイト型酸化物を用いた PGM の回収法は、空气中、非接触状態での加熱により PGM を不可逆的にペロブスカイト型酸化物中に吸蔵可能であり、ペロブスカイト型酸化物に吸蔵された PGM は王水以外の酸にも可溶である。また、ペロブスカイト型酸化物の PGM 吸蔵量は、PGM 酸化物(又は PGM)の蒸気圧に依存するため、加熱温度を変化させることにより、複数の PGM を含む廃材から、特定の PGM を優先的に吸蔵可能なことが期待される。さらに、LSBS などのペロブスカイト型酸化物は、最大で数 mass%~十数 mass%の PGM を不可逆的に吸蔵する性質を持つため、繰り返して吸蔵操作を行うことにより、PGM を微量しか含まない廃材からの PGM の濃縮が可能である。その結果、吸蔵に用いる吸蔵材量を大幅に減らすことができ、回収効率を上げることが期待される。今後は、PGM 吸蔵の最適条件(反応温度、反応時間など)の検討を行うとともに、より安価で PGM 吸蔵性能の高い吸蔵材の探索を進める予定である。

本稿で紹介した研究成果の一部は、文部科学省科学研究費補助金特定領域研究「配位空間の化学—分子凝集、ストレス、変換場の創成—」の援助によるものである。本研究を進めるに当たり、産業技術総合研究所・関西産学官連携センターの坪田年イノベーションコーディネータから多くのご助言を頂いた。また、産業技術総合研究所・イノベーション推進本部の伊達正和連携主幹、並びに産業技術総合研究所・環境化学技術研究部門の藤谷忠博主幹研究員には、PGM 微粒子を担持したアルミナ試料の提供、及び PGM を吸蔵した LSBS 粉末試料の酸溶解試験にご協力頂いた。この場をお借りして御礼申し上げます。

文 献

(1) 岡部 徹: 白金族金属の精錬法とリサイクル技術, 貴金属・レアメタルのリサイクル技術集成, エス・ティー・エス (2007), 85-101.
(2) K. Nomura, M. Daté, H. Kageyama and S. Tsubota: J. Mater. Res., 22(2007), 2647-2650.

(3) 野村勝裕, 伊達正和, 蔭山博之, 坪田年: 特開2008-100902.
(4) 伊達正和, 藤谷忠博, 野村勝裕, 蔭山博之: PCT/JP2009/053388.
(5) M. Daté, K. Nomura, H. Kageyama and T. Fujitani: Chem. Phys. Chem., 12(2011), 109-112.
(6) H. Kageyama, K. Nomura, K. Ohmi, M. Fujita and T. Ueda: Proceedings of the 13th Asian Conference on Solid State Ionics-Ionics for Sustainable World, ed. by B.V.R. Chowdari, J. Kawamura, J. Mizusaki and K. Amezawa, World Scientific, (2012), 621-628.
(7) 高野幹夫, 武田保雄: ペロブスカイト型および関連化合物, 第4版実験化学講座, 第16巻無機化合物, 丸善, (2003), 391-445.
(8) H. Iwahara, T. Esaka, H. Uchida and N. Maeda: Solid State Ionics, 3-4(1981), 359-363.
(9) H. Iwahara: Solid State Ionics, 77(1995), 289-298.
(10) K.D. Kreuer: Chem. Mater., 8(1996), 610-641.
(11) T. Norby: Solid State Ionics, 125(1999), 1-11.
(12) K. Nomura, T. Takeuchi, S. Tanase, H. Kageyama, K. Tanimoto and Y. Miyazaki: Solid State Ionics, 154-155(2002), 647-652.
(13) K. Nomura, T. Takeuchi, S. Kamo, H. Kageyama and Y. Miyazaki: Solid State Ionics, 175(2004), 553-555.
(14) K. Nomura, T. Takeuchi, H. Kageyama and Y. Miyazaki: Solid State Ionics, 162-163(2003), 99-104.
(15) 野村勝裕, 蔭山博之: 日本結晶学会年会講演要旨集(PA-II-12), (2005), 100.
(16) K. Nomura, T. Takeuchi, H. Kageyama and Y. Miyazaki: Proceedings of the 9th Asian Conference on Solid State Ionics-The Science and Technology of Ions in Motion, ed. by B.V.R. Chowdari et al., World Scientific, (2004), 151-161.
(17) T. Hibino, K. Mizutani, T. Yajima and H. Iwahara: Solid State Ionics, 57(1992), 303-306.
(18) C. Minagoshi, H. Imabayashi, S. Nakamura, T. Maekawa, K. Suzuki, K. Nomura and H. Kageyama: Chemical Sensors, 23(2007), Supplement A, 151-154.
(19) 野村勝裕, 蔭山博之: 特開2007-55877.
(20) 野村勝裕, 竹内友成, 蔭山博之, 宮崎義憲: 第12回燃料電池シンポジウム講演予稿集(B12), (2005), 188-191.
(21) J. C. Chaston: Platinum Metals Rev., 19(1975), 135-140.

野村勝裕
1993年 名古屋工業大学大学院工学研究科博士後期課程 修了
1993年 通商産業省工業技術院 大阪工業技術試験所(現 独立行政法人 産業技術総合研究所) 研究官
1997年~1999年 新エネルギー・産業技術総合開発機構 副主任研究員
2004年4月- 現職
専門分野: 固体イオニクス(電気化学, 結晶化学)
◎ペロブスカイト型酸化物などの機能性セラミックス材料(イオン導電性材料, 貴金属吸蔵材料など)の創製および構造-物性研究に従事。



野村勝裕



蔭山博之