

平成 30 年 5 月 31 日現在

機関番号：13903

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26420680

研究課題名(和文)酸素透過性セラミックスにおけるヤーン・テラーイオンの導入効果

研究課題名(英文) Effects of Jahn-Teller ions in mixed conductive oxides on oxygen permeation properties

研究代表者

籠宮 功 (Kagomiya, Isao)

名古屋工業大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：40318811

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、ヤーン・テラーイオンに注目することで、酸素透過性セラミックスの高性能化の有効指針を見出すことを目的とした。そのために、Fe系混合導電性ペロブスカイト酸化物に着目し、ヤーン・テラーイオン(Fe<sup>4+</sup>)を系統的に導入し、ヤーン・テラーイオン導入量と酸素透過性・酸素欠陥拡散性と の相関関係を調査した。La<sub>1-x</sub>Sr<sub>x</sub>FeO<sub>3-d</sub>の全導電率の酸素分圧依存性、導電率緩和法より得られた化学拡散係数は、Fe<sup>4+</sup>量の少ない低酸素分圧領域に比べ、高酸素分圧領域において、酸素欠陥が拡散しやすいことを示唆した。このことから、Fe<sup>4+</sup>に伴う局所歪みが酸素欠陥の拡散を促進させる一要因となると考えている。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is to evaluate the effect of Jahn-Teller ions on oxygen permeation properties in the Fe-based mixed conductive perovskites. We investigated oxygen partial pressure dependence of total conductivity and chemical diffusion coefficient  $D_{chem}$  by using an electrical conductivity relaxation method in La<sub>1-x</sub>Sr<sub>x</sub>FeO<sub>3</sub>. The P<sub>O2</sub> dependence of total conductivity showed that the dominating charge carrier was Fe<sup>4+</sup> under the high P<sub>O2</sub> range. In the high P<sub>O2</sub> range, the oxygen vacancy diffusibility showed higher than that in the low P<sub>O2</sub> range. It suggests that the local distortions around the Jahn-Teller ion (Fe<sup>4+</sup>) promote the oxygen vacancy diffusion.

研究分野：無機物性

キーワード：酸素透過性セラミックス

1. 研究開始当初の背景

酸素透過性(酸化物イオン・電子混合導電性)セラミックスは、Fig. 1に示すように、水を簡単に製造できる次世代エネルギー関連材料として期待が高い。ここで注目する酸素透過性は、メタン/大気などの酸素分圧差圧環境下の緻密セラミックス間を、互いに逆方向の電子伝導および、酸素欠陥を介した酸化物イオンの拡散により、酸素ガスが透過する現象である。このとき、酸素分圧差のみが駆動源であり、その他の外部電力が不要であるため、優れた省エネ効果を発揮する。しかし、この酸素透過過程において、熱活性型を特徴とするイオン欠陥の拡散が電子伝導に比べ律速段階である。すなわち、温度の下降とともに酸素透過性能の急激な低下を招く。このことが、800°C以下で実用に要求される高い透過性能の実現を困難にしてきた。最近、筆者らは、高い酸素透過性を有するFe系層状ペロブスカイトにおいて、 $3+$ 価で安定なFeサイトと  $3+ \leftrightarrow 4+$ の価数揺動の生じるFeサイトの2種類が存在し、価数揺動するFeサイト周囲の酸素8面体に限り、温度上昇に伴う欠陥生成とヤーン・テラー歪みが同時に顕在化することを示唆する結果を得ている。このことから、「ヤーン・テラー歪み」と、欠陥生成・欠陥の拡散との間に強い相関があることが新たに分かってきた。具体的に筆者らは、Fig. 2に示したモデルを提案している。混合原子価イオンを有する酸化物において、ヤーン・テラーイオン(例えば酸素八面体内の $Fe^{4+}$ )の周囲はヤーン・テラー歪みを伴うと考えることができる。この歪みの緩和のために、酸素8面体の一部に欠陥が生成される。ここで、ヤーン・テラーイオン $Fe^{4+}$ が移動すると( $Fe^{3+}$ に局在するホールがホッピング伝導すると)、構造緩和を伴う。すなわち、イオン欠陥もヤーン・テラーイオンと共に移動するといったモデルである。(例えば、Fig. 2(a)から(b)のように移動する。)したがって、イオン欠陥がヤーン・テラーイオンの移動に追従することで、ホールホッピング伝導と同程度のイオン拡散が高速化する可能性があると考えている。

2. 研究の目的

本研究では、以上の着想から、ヤーン・テラーイオンに注目することで、これまでと異なる視点から、酸素透過性セラミックスの高性能化の有効指針を見出すことを目的とする。具体的には、Fe系混合導電性ペロブスカイト酸化物として、 $La_{1-x}Sr_xFeO_{3-\delta}$ 、 $Sm_{1-x}Ca_xFeO_{3-\delta}$ 、 $La_{1-x}Ca_xFeO_{3-\delta}$ に着目し、ヤーン・テラーイオン(具体的には $Fe^{4+}$ )を系統的に導入し、ヤーン・テラーイオン導入量と酸素透過性・イオン導電性との相関関係を明らかにする。

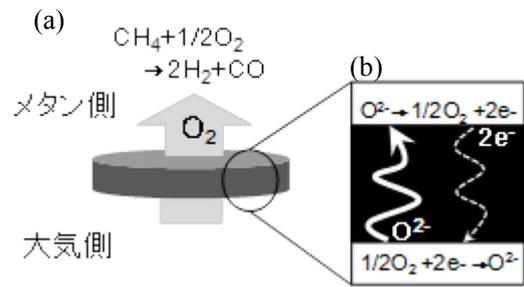


Fig. 1 酸素透過性セラミックスを用いた部分酸化改質水素製造(大気中より純酸素をセラミックスで分離し、メタンと反応させることで水素を得る) (b) 酸素透過性セラミックス内の電子・イオン導電機構

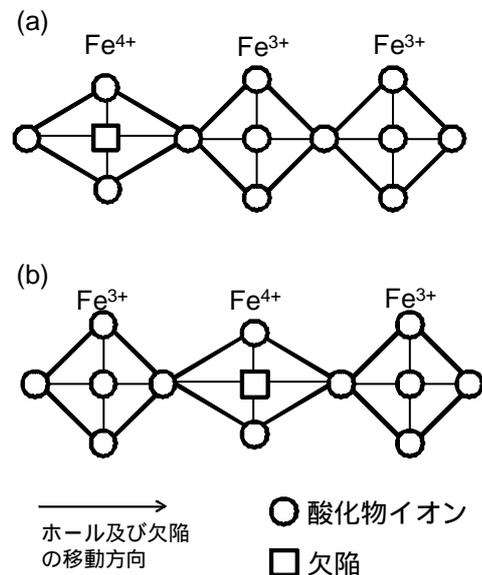


Fig. 2 各酸素八面体内に $Fe^{3+}$ もしくは $Fe^{4+}$ が存在する時の、ヤーン・テラーイオン( $Fe^{4+}$ )の移動に伴う欠陥移動モデル。時間の経過とともに(a)から(b)のように移動する。

この検討結果に基づいて、ヤーン・テラーイオンの導入量およびヤーン・テラー歪みの観点から、酸素透過性を向上させる指針を新たに提案したい。

3. 研究の方法

3.1 試料作製

$A_xB_{1-x}FeO_3$  セラミックス試料(A=La, Sm; B=Sr, Ca)を、固相反応法、あるいは有機錯体重合法(Pechini法)で作製した。固相反応法では、出発原料として、 $La_2O_3(99.99\%)$ 、 $Sm_2O_3(99.9\%)$ 、 $SrCO_3(99.9\%)$ 、 $CaCO_3(99.9\%)$ および $\alpha-Fe_2O_3(99.9\%)$ を用い、目的組成にしたがい秤量し、湿式ボールミルを約24h行った。乾燥後、 $900^\circ C \times 5h$ で力焼し、粉碎、圧粉を経て、 $1150 - 1300^\circ C \times 10h$ で大気中で焼成した。

有機錯体重合法では、出発原料として、上

記  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  (99.9%) の代わりに  $\text{Fe}(\text{NO}_3) \cdot 9\text{H}_2\text{O}$  (99.9%) を用い、 $\text{La}_2\text{O}_3$ 、 $\text{SrCO}_3$ 、 $\text{CaCO}_3$  を硝酸に、 $\text{Fe}(\text{NO}_3) \cdot 9\text{H}_2\text{O}$  をイオン交換水に溶解させた。この溶液にクエン酸およびエチレングリコールを加え  $70^\circ\text{C} \times 1\text{ h}$  の条件で混合し、開放系で  $70\text{-}80^\circ\text{C} \times 24\text{ h}$  加熱してゲル化させた。得られたゲルを、 $130\text{-}300^\circ\text{C}$  で乾燥させ、その後  $600^\circ\text{C} \times 3\text{ h}$  で脱炭し、 $900^\circ\text{C} \times 5\text{-}6\text{ h}$  で力焼を行った。この力焼粉末について再度湿式ボールミルを行い、乾燥後、粉碎、造粒を行った。この試料を金型に充填し、一軸加圧成形した後、 $200\text{ MPa}$  で  $2\text{ min}$  の条件で冷間静水圧(CIP)成形を行った。成形後、大気中で  $1150\text{-}1300^\circ\text{C} \times 10\text{ h}$  の条件で焼成した。

### 3.2 試料評価

アルキメデス法を用いて焼結体の見かけ密度を測定し、各試料の理論密度を用いて相対密度を算出した。

走査電子顕微鏡 (SEM) (日本電子株式会社, JSM-6010LA, JSM-6360LV) を用いて焼結体の破断面及び研磨面を観察した。ここで、チャージアップを避けるため、この研磨面について Au スパッタを行った。観察の際の加速電圧は  $15\text{ kV}$  とした。

各焼結体の全導電率を電流源、電圧計を用い、四端子法もしくは van der Paw 法にて大気中で測定した。測定温度は、 $25\text{-}900^\circ\text{C}$  とした。また、一部の試料においては、その周囲雰囲気酸素分圧を  $10^{-1}\text{-}10^{-25}\text{ atm}$  に変化させ、全導電率の酸素分圧依存性についても測定した。

導電率緩和法により、化学拡散係数 ( $D_{\text{chem}}$ )、表面反応係数 ( $k_{\text{chem}}$ ) を評価した。石英ガラス管内に焼結体試料を設置し、空気、 $\text{N}_2$ 、 $\text{H}_2$  の混合ガスにより試料周囲の酸素分圧を制御し、石英ガラス管内をこの混合ガスで充填した。この際、酸素分圧の低下に伴う全導電率の減少を確認した。試料の全導電率が一定の値 ( $\sigma_0$ ) に到達した後、ガスを切り替え、試料周囲の雰囲気ガスを瞬時に酸素分圧の高い雰囲気に入れ替えた。その際の全導電率の経時変化を測定し、全導電率が一定値になった時点で測定を終了した。測定温度範囲は、 $700\text{-}900^\circ\text{C}$  とした。

酸素透過速度  $J_{\text{O}_2}$  は、ガスクロマトグラフを用い、大気/He(流量:  $20\text{ sccm}$ ) の酸素分圧差下において  $900\text{-}1000^\circ\text{C}$  の温度範囲で測定した。この  $J_{\text{O}_2}$  のアレニウスプロットから酸素透過速度の活性化エネルギー  $E_1$  を算出した。さらに低酸素分圧側の He 流量を  $20\text{-}50\text{ sccm}$  に変化させることで、 $J_{\text{O}_2}$  の酸素分圧差依存性を評価した。

## 4. 研究成果

ここでは紙面の関係上、 $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{FeO}_{3-\delta}$  において、主に得られた成果について示す。

有機錯体重合法により作製した  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{FeO}_{3-\delta}$  ( $x = 0.2, 0.5$ ) の試料の SEM 画像

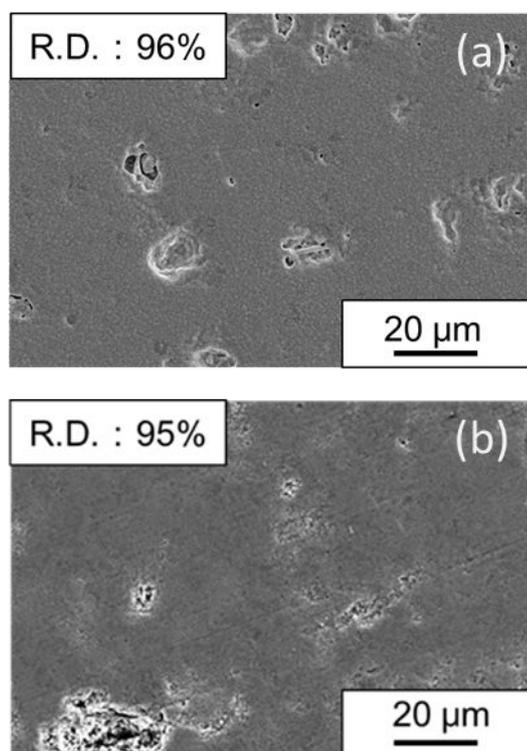


Fig. 3 作製した  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{FeO}_{3-\delta}$  ( $x = 0.2, 0.5$ ) 焼結体試料の SEM 画像

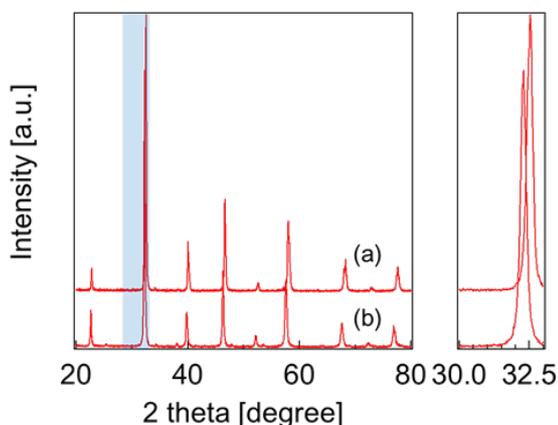


Fig. 4 作製した  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{FeO}_{3-\delta}$  試料の XRPD パターン. (a)  $x = 0.5$ , (b)  $x = 0.2$ .

を Fig. 3 に示す。気孔はほとんど見られず、アルキメデス法により見積もられた相対密度も、それぞれ 96%、95%であり、緻密な焼結体が作製されていることを確認した。

Fig. 4 に、作製した試料の XRPD パターンを示す。いずれの試料においても、観測されたピークは、すべてペロブスカイト相に起因するものであり、二次相のピークは確認されなかった。有機錯体重合法を用いたことで、原子レベルでの各元素の混合が可能となったためである。なお、 $x = 0.5$  の試料と比較して、 $x = 0.2$  の試料においてピーク位置が低角度側にシフトしていることを確認した。これは、 $x = 0.2$  の試料ではイオン半径の大きい La が多く固溶したために、格子定数

が大きくなったことが原因であると考えられる。

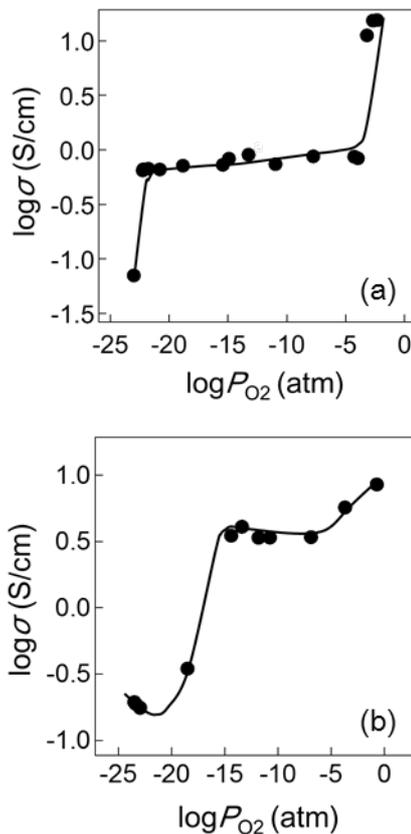


Fig. 5  $x = 0.2$  の試料における全導電率の酸素分圧依存性. (a) 800 °C, (b) 900 °C

Fig. 5 に各温度における全導電率の酸素分圧依存性の一例として、 $x = 0.2$  の試料の場合について示す。いずれの温度においても、全導電率の変化挙動が異なる 3 つの領域を確認した。高酸素分圧領域( $P_{O_2} = 10^{-1} - 10^{-5}$  atm)では、酸素分圧の低下に伴い全導電率が減少した。この挙動は伝導キャリアがホールである場合の典型的な挙動である。したがって、高酸素分圧領域ではホール、つまり  $Fe^{4+}$  が多く存在していることが分かった。一方で、本測定中最も低い酸素分圧領域( $P_{O_2} = 10^{-22} - 10^{-25}$  atm)では、酸素分圧の低下に伴い全導電率が上昇する、すなわち電子キャリアが支配的な挙動を示すことから、 $Fe^{3+}$  および  $Fe^{2+}$  の存在割合が大きいことを示唆する。また、それらの中間の酸素分圧領域( $P_{O_2} = 10^{-5} - 10^{-22}$  atm)では、酸素分圧の低下に伴い、全導電率がわずかに減少した後、急激に減少する特異な挙動がみられた。これは LSF における酸素欠損量の酸素分圧依存性にも確認されている挙動である。 $P_{O_2} = 10^{-5} - 10^{-20}$  atm の範囲では、周囲の酸素分圧雰囲気に対して、試料の酸素欠損量が平衡に達するまでに長時間を要するためであると考えている。このように平衡に達するまで時間がかかる領域であるものの、酸素分圧の低下に伴い全導電率は減少傾向であるため、 $P_{O_2} = 10^{-5} - 10^{-20}$  atm ではホー

ル伝導が支配的であることが分かる。従って、 $P_{O_2} = 10^{-1} - 10^{-5}$  atm の領域と比較して  $P_{O_2} =$

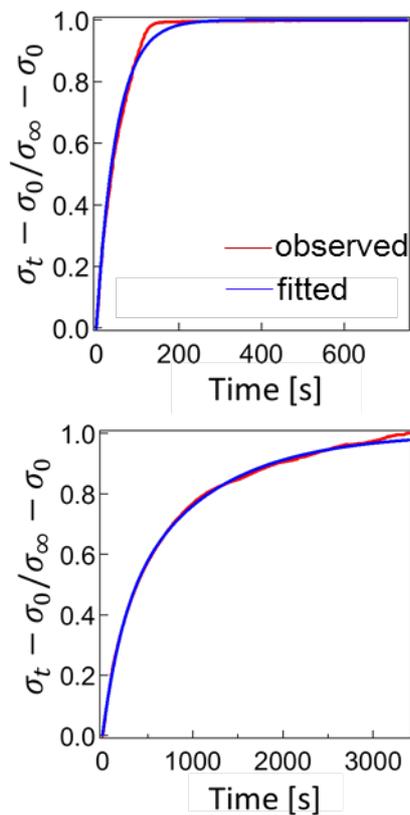


Fig. 6  $x = 0.2$  の試料における 900 °C で酸素分圧を変化させた際の全導電率の経時変化(a)  $P_{O_2}: 10^{-5} - 10^{-1}$  atm, (b)  $P_{O_2}: 10^{-22} - 10^{-17}$  atm

$10^{-5} - 10^{-20}$  atm の領域ではホール( $Fe^{4+}$ )が少量であると考えられることができる。以上得られた結果に基づいて、2 つの酸素分圧領域(高酸素分圧領域( $Fe^{4+}$ が多い領域):  $P_{O_2} = 10^{-1} - 10^{-5}$  atm、低酸素分圧領域( $Fe^{4+}$ が少ない領域):  $P_{O_2} = 10^{-5} - 10^{-22}$  atm)にて導電率緩和を行い、化学拡散係数  $D_{chem}$  を見積もった。導電率緩和測定結果の一例として、 $x = 0.2$  の試料について、上記 2 つの酸素分圧領域にて酸素分圧を瞬時に変化させた際の全導電率の経時変化を Fig. 6 に示す。測定温度は 900°C である。これより得られた全導電率の経時変化について、この系の拡散モデルより得られる式を用いフィッティングを行った。この結果についても Fig. 6 に示す。

フィッティングによって、実測値が良く再現されていることを確認した。また、全導電率が一定値となるまでに要する緩和時間は、低酸素分圧領域と比較して高酸素分圧領域の場合の方が短い傾向が見られた。このことは、高酸素分圧領域の方が、低酸素分圧領域に比べ、酸素欠陥が拡散しやすいことを意味する。ただし、この緩和時間は、導電率緩和測定時の分圧変化の遅延にも影響を受けている。今回の測定では、この遅延の効果は排除しきれていない。この点の改善は今後の課題である。

各試料( $x = 0.2, 0.5$ )の各温度、各酸素分圧領域の導電率緩和測定より見積もられた化学拡散係数  $D_{chem}$  の温度依存性をまとめた結果を Fig. 7 に示す。いずれの試料においても、高酸素分圧領域( $Fe^{4+}$ が多い領域)における  $D_{chem}$  の方が、低酸素分圧領域( $Fe^{4+}$ が少ない領域)に比べて大きな値を示した。上述のように、導電率緩和時における分圧変化の遅延の影響が排除しきれていないが、 $D_{chem}$  に顕著な違いが見られることから、定性的には、高酸素分圧側に比べ、低酸素分圧側の拡散しやすいことを示唆する。また、 $x = 0.2, 0.5$  の各試料の違いについて比較してみると、低酸素分圧領域においては、 $x = 0.5$  に比べ、 $x = 0.2$  の試料の方が、いずれの測定温度においても小さい化学拡散係数を示した。高酸素分圧側では、両試料ともほぼ同程度の化学拡散係数を示した。

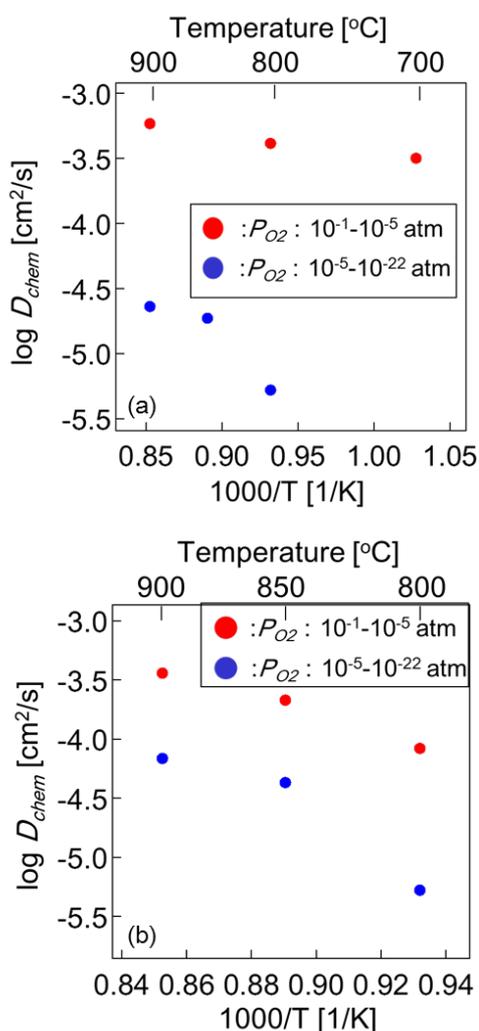


Fig. 7 導電率緩和法により見積もられた(a)  $x = 0.2$ , (b)  $x = 0.5$  の各試料の化学拡散係数のアレニウスプロット

以上得られた化学拡散係数より、空孔拡散係数  $D_v$  の導出を試みた。化学拡散係数から空孔拡散係数  $D_v$  は、以下の関係にある。

$$D_{chem} = \Gamma_V D_v \quad (1)$$

ここで、 $\Gamma_V$  は thermodynamic factor と呼ばれ、本試料においては、

$$\Gamma_V = -1/2 \cdot (\partial \ln P_{O_2} / \partial \ln C_v) \quad (2)$$

と表すことができる。ここで  $C_v$  は、各酸素分圧下の酸素欠損濃度である。ところで、本試料の電気的中性条件より酸素欠損濃度とホール濃度( $[Fe^{4+}]_{Fe}$ )の関係は、La に対する Sr の固溶モル分率  $x$  を用いることで、式(3)のように示せる。

$$x = 2C_v + [Fe^{4+}]_{Fe} \quad (3)$$

したがって、ホール濃度の酸素分圧依存性が分かれば、酸素欠損濃度が分かる。ホール伝導の移動度は、一般に酸素分圧に依存しないため、この系の全導電率の酸素分圧依存性はホール濃度のみに依存すると考えることができる。以上より、全導電率の酸素分圧依存性より、 $\Gamma_V$  を見積もり、空孔拡散係数  $D_v$  を求めた。一例として、 $x = 0.2$  の試料の 900 $^{\circ}C$  における  $D_v$  は、高酸素分圧領域において、 $D_v = 7.6 \times 10^{-5} cm^2/s$ 、低酸素分圧領域において、 $D_v = 1.1 \times 10^{-5} cm^2/s$  と見積もられた。化学拡散係数と同様に、高酸素分圧領域の方が高い値を示した。

以上のように、高酸素分圧領域で拡散が容易である理由について、各酸素分圧領域におけるヤーン・テラーイオン( $Fe^{4+}$ )の存在量との関係から考察する。

一般的に、立方晶のような対称性が高く歪みが存在しない構造の方が酸化物イオンの拡散に有利であることが知られている。しかし、本研究により得られた結果は、上述のように局所歪みを生じさせるヤーン・テラーイオン( $Fe^{4+}$ )の多い領域の方が、欠陥の拡散が容易であることを示唆している。ペロブスカイト構造を有する混合導電性酸化物においては、Fig. 8(a)のように、二つの A サイトイオンと一つの B サイトイオンより形成されるボトルネック(図中緑色の三角形)が広いことも拡散を容易にする重要な因子である。ヤーン・テラーイオンが B サイトに存在すれば、Fig. 8(b)のようにこのボトルネックが広がる。ヤーン・テラーイオン( $Fe^{4+}$ )の多い領域においてこのボトルネックが広がることが、酸化物イオンの拡散を容易にしている一要因であると考えることができる。

以上得られた成果に加え、 $Sm_{1-x}Ca_xFeO_{3-\delta}$ 、 $La_{1-x}Ca_xFeO_{3-\delta}$  の酸素透過性についても調べ、Ca 固溶量に伴う、 $Fe^{4+}$  イオンの存在量、結晶構造の変化を系統的に評価し、これらと酸素透過性、欠陥の拡散との相関関係を調べ、高い酸素透過性を示す条件について有効な指針を得た。

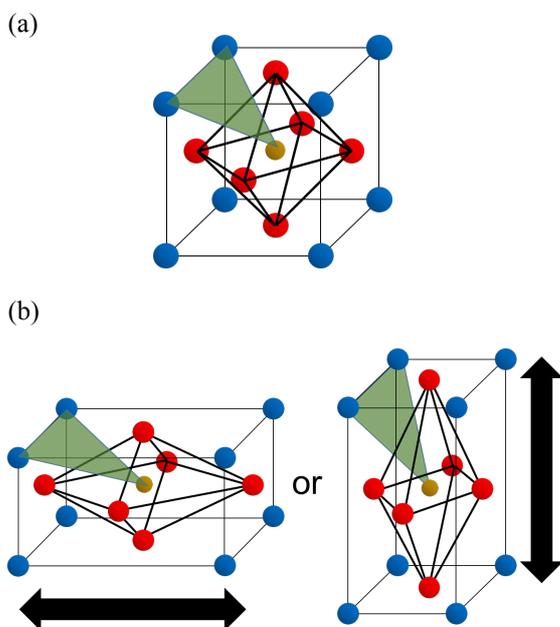


Fig. 8 (a)ペロブスカイト構造及びビオン拡散のボトルネック(緑色三角形) (b) ヤーン・テラーイオン( $\text{Fe}^{4+}$ )の存在量に基づいた低酸素分圧領域下におけるペロブスカイト局所構造のモデル図. 赤球: 酸化物イオン、青球:A サイト、橙球:B サイト.

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 7 件)

1. I. Kagomiya, Y. Hirota, K. Kakimoto, K. Fujii, M. Shirakawa, M. Yashima, A. Fuwa and S. Nakamura, "Weak ferromagnetic ordering in brownmillerite  $\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$  and its effect on electric field gradients", *Phys. Chem. Chem. Phys.* **19**, 31194-31201 (2017). (査読有)
2. I. Kagomiya, Y. Hirota, K. Tsunekawa, K. Kakimoto, "Oxygen permeation properties of mixed conductive  $\text{Sm}_{0.5}\text{Ca}_{0.5}\text{FeO}_3$ ", *Solid State Ion.* **317**, 83-88 (2018). (査読有)
3. I. Kagomiya, Y. Hirota, K. Tsunekawa, K. Kakimoto, "Crystal structure and oxygen permeation properties of  $\text{Sm}_{1-x}\text{Ca}_x\text{FeO}_3$  ( $x = 0.2-0.3$ )", *J. Ceram. Soc. Jpn.* **125**, 242-246 (2017). (査読有)
4. I. Kagomiya, S. Kaneko, Y. Yagi, K. Kakimoto, K. Park, K. Cho, "Dependence of power density on anode functional layer thickness", *Ionics* **23**(2), 427-433 (2017). (査読有)
5. I. Kagomiya, Y. Shimono, K. Kakimoto, "Crystal structure and oxygen permeation properties of  $(\text{La}, \text{Ba}, \text{Sr})(\text{Co}, \text{Ta})\text{O}_{3-\delta}$ ", *Solid State Ion.* **285**, 180-186 (2016). (査読有)

〔学会発表〕(計 32 件)

1. 恒川恭介・籠宮功・柿本健一・小椋裕介, "酸素透過性 $(\text{La}_x\text{Ca}_{1-x})\text{FeO}_{3-\delta}$ の酸化物イオン

拡散および表面交換反応", 日本セラミックス協会 2018 年年会, 2018 年 3 月 15-19 日, 東北大学.

2. 村山智紀・籠宮功・柿本健一・小椋裕介, "  $\text{La}_x\text{Ca}_{1-x}\text{FeO}_{3-\delta}$  ( $0 < x < 1$ ) の結晶構造と酸素透過特性 ", 平成 29 年度日本セラミックス協会東海支部学術研究発表会, 2017 年 12 月 9 日, 名古屋工業大学.

3. 村山智紀、籠宮功、柿本健一、小椋裕介, "La-Ca-Fe 系酸化物の酸素透過特性", 日本セラミックス協会 2017 年年会, 2017 年 0 月 17- 19 日, 日本大学.

4. 籠宮功、廣田有貴、恒川恭介、柿本健一, "  $(\text{Sm}_{1-x}\text{Ca}_x)\text{FeO}_3$  の酸素透過性およびその酸素分圧差依存性 ", 日本セラミックス協会 2017 年年会, 2017 年 3 月 17-19 日, 日本大学.

5. I. Kagomiya, Y. Ohyama, K. Kakimoto, "Influence of different oxygen partial pressure on oxide ion diffusion in  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{FeO}_3$  ", International Workshop on Advanced Ceramics 07( 国際学会 ), 2016 年 9 月 26-28 日, Limoges, France.

6. 大山裕斗・籠宮功・柿本健一, "  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{FeO}_3$  の酸化物イオン拡散特性に及ぼすヤーンテラーイオンの効果 ", 第 41 回固体イオニクス討論会, 2015 年 11 月 25-27 日, 北海道大学.

7. I. Kagomiya, Y. Shimono, K. Kakimoto, "Influence of crystal structure on oxygen permeabilities and ion transport properties in mixed conductive  $(\text{La}, \text{Ba}, \text{Sr})(\text{Co}, \text{Ta})\text{O}_{3-\delta}$  ", 2015 Symposium for the Promotion of Applied Research Collaboration in Asia(招待講演), 2015 年 2 月 8-11 日, Taipei, Taiwan.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 1 件)

名称: 「空気極材料、空気極、および固体酸化物形燃料電池」

発明者: 籠宮功、村山智紀、小椋裕介

権利者: 名古屋工業大学、東邦ガス株式会社

種類: HOIM 4/86

番号: 特願 2017-037302

出願年月日: 2017 年 2 月 28 日

国内外の別: 国内

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

籠宮 功 (KAGOMIYA Isao)

名古屋工業大学・工学研究科・准教授

研究者番号: 40318811

### (2) 連携研究者

中村 真一 (NAKAMURA Shin)

帝京大学・理工学部・准教授

研究者番号: 80217851