

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 31 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22350007

研究課題名（和文） 超高深さ分解計測を用いた高温ナノイオニクス現象の解明と  
高活性燃料電池電極の創製

研究課題名（英文） Ultra High Resolution Depth Resolved Analysis on High Temperature  
Nano-ionics Phenomena to Development of High Active Fuel Cell Electrode

研究代表者

内本 喜晴（UCHIMOTO YOSHIHARU）

京都大学・大学院人間・環境学研究科

研究者番号：50193909

研究成果の概要（和文）：

高輝度放射光を用いた新規な「その場」計測法を開発し、それを適用することにより、これまで未解明な高温電気化学デバイスにおける電極反応機構を明らかにし、電極設計指針を確立した。カソード材料として、ペロブスカイト類縁構造を有する酸化物に着目した。「その場」深さ分解 X 線吸収法を開発し、同系に適用した結果、カソード/気相界面において、ポテンシャルが変化していると考えられ、界面反応が律速過程であることを示した。

研究成果の概要（英文）：

For high temperature electrochemical devices, the cathode reaction mechanism for electrode or electrode/electrolyte are discussed. Especially, we discuss the rate-determining-step for the perovskite-related oxides cathode/electrolyte. We investigated in situ depth resolved X-ray absorption spectroscopy (XAS) measurement for high temperature electrochemical devices component materials under the operating condition of high temperature electrochemical devices. The in situ XAS results clearly indicated that the rate-determining step is the reaction at electrode/electrolyte interface.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	6,500,000	1,950,000	8,450,000
2011 年度	6,000,000	1,800,000	7,800,000
2012 年度	2,500,000	750,000	3,250,000
年度			
年度			
総計	15,000,000	4,500,000	19,500,000

研究分野：化学

科研費の分科・細目：基礎化学・物理化学

キーワード：燃料電池、電極反応、固体イオニクス、X 線吸収、その場分析

## 1. 研究開始当初の背景

電気化学デバイスの反応場は、大きな電位勾配が発生している電極/固体電解質ヘテロ界面である。全固体電気化学デバイスの場合も電極/固体電解質ヘテロ界面で起こる電荷移動反応が、反応を律し、デバイスの性能を決定する場合が多い。しかし、デバイス作動時のヘテロ界面の情報がこれまで全くと言っていいほど明らかにされておらず、ブ

ラックボックスとなっている。電極/固体電解質ヘテロ界面においては、イオンによって電位差の緩和が起こっていると考えられる。すなわち、金属/半導体ヘテロ界面においては、両者の仕事関数の相違から電荷の移動が生じる。その結果、空間電荷層が形成され、バンド屈曲、いわゆるショットキーバリアが形成される。一方、イオン導電体/電子導電体（もしくは混合導電体）界面においても本

質的に同様の現象が起こるが、イオンによる電荷移動が起こりえることが半導体の場合と大きく異なる。このイオンによる緩和過程により、界面・表面に表面電荷やイオン欠陥の濃縮等の現象が起こるはずであると予想される。しかし、これまで電極/固体電解質ヘテロ界面の知見は乏しく、デバイス設計が困難な原因となっていた。

## 2. 研究の目的

本申請はこの課題に正面から取り組み、  
 ・電極/固体電解質で実際に電荷交換（イオンと電子の交換反応）が進行している状態でのその場測定

・電極/固体電解質界面を選択して、X線吸収微細構造法(XAS)測定によりナノオーダーでの計測

を可能とする。この情報を基に、全固体ヘテロ接触界面での電荷交換の学理を追求する。これが可能となったのは最近のシンクロトロンビームを用いた計測装置の発展により、ナノ界面の“その場”観測技術が飛躍的に進歩したことがあげられる。具体的には、電極/固体電解質積層対の電極側から、電極の表面に対して硬X線を垂直に入射する。X線の侵入経路はすべて蛍光X線の発生源となる。蛍光X線の一部は電極表面から外部に脱出し、これが検出される。表面から低角の領域では、電極の表面近傍で発生した蛍光X線のみが検出される。一方、高角の領域には、表面だけでなく電極内部深くからの蛍光X線も同時に検出される。つまり、検出角を変えることで、検出深さをコントロールすることができる。測定する角度領域は試料表面から数十ミリラジアン以内の浅い範囲であり、ナノ～サブナノメートルの深さ分解能が得られる。実際この手法によって、多層膜デバイスであるハードディスクの多層膜界面の情報を得た例がある。これにより、これまで不可能とされてきた電極/固体電解質の情報を、ナノレベルで系統的に展開することが現実のものとなってきた。

## 3. 研究の方法

本研究では、高温固体電気化学反応機構の解明と学理の確立を目的とする。具体的には、ペロブスカイト類縁構造を有する酸化物の構造解析や電極反応機構の解明を行い、薄膜の作製および特性評価などの固体化学からのアプローチを合わせることで、ペロブスカイト類縁構造を有する酸化物のSOFCカソード材料に焦点を絞る。パルスレーザー堆積(PLD)法を用いて電解質上にnmオーダーで平滑な電極薄膜を作製し、カソード/電解質ヘテロ接触界面におけるナノイオニクス現象の理解を目指す。

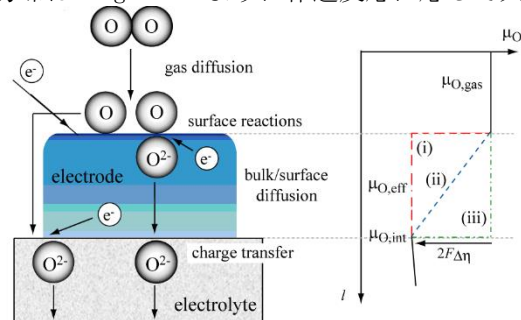
ペロブスカイト類縁構造を有する酸化物

では酸素が内部を高速に拡散することができ、バルク経路を通った電極反応の進行が可能であり、生成した酸化物イオンの伝導経路が増えるという利点がある。複雑なカソード反応機構において、律速段階を見つけることができれば、カソード反応の効率化に有益である。まず、ペロブスカイト類縁構造を有する酸化物の酸素不定比性と電子構造、局所構造の関係、および、酸素不定比性が酸化物イオン電導等の電気化学特性に及ぼす効果について調べる。これらの基礎的なデータをもとに温度および雰囲気をもとにSOFC作動条件下と平衡状態にしたときの各構造を理解するために高温 XAFS 測定を用いて解析を行う。

## 4. 研究成果

固体酸化物形燃料電池 (SOFC) 等の高温電気化学デバイス作動条件下における電極の *in situ* 状態を直接評価する手法の確立が渴望されている。Fig. 1 の左図に酸化物イオン導電性を有する空気極における酸素の還元反応を示す。気相中を移動した酸素が電極表面に吸着、解離し、酸化物イオンに還元される。還元された酸素は電極内部に入り込み、電極内部を經由して電極/電解質界面に到達する。最後に酸化物イオンが電解質内部に移動することで、電極における反応が完了する。この時に過電圧のかかる反応が電極反応における律速過程となる。一般的に酸化物イオン伝導体上にある電極において、過電圧  $\eta$  は次式に示すように、電極/電解質界面における酸素ポテンシャル  $\mu_{0, \text{int}}$  の、平衡状態における値  $\mu_{0, \text{gas}}$  からのずれと解釈される。

電極が混合導電体で酸素ガスの拡散による濃度過電圧がない場合、律速反応が1つだけと仮定すると、電極内の酸素ポテンシャル分布は Fig. 1 のように律速反応に応じて大



**Fig. 1.** Schematic illustration of electrochemical oxygen reduction reaction and oxygen potential profiles in a dense mixed conductor electrode on oxide conductor electrolyte when rate-determining step are (i) surface reactions (ii) bulk diffusion and (iii) charge transfer.

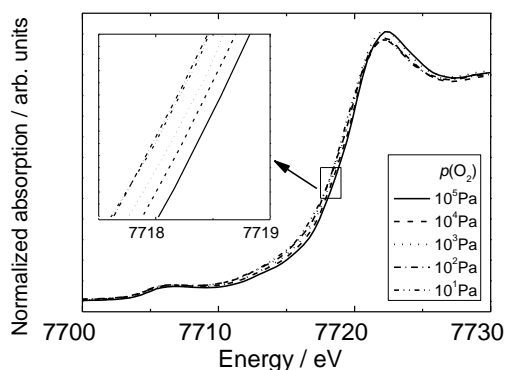
別される。すなわち律速反応が表面反応のときは、(i)のように電極表面で酸素ポテンシャルの勾配が生じ、電極中の酸素ポテンシ

ルはほぼ一定値と見なすことができる。したがってこのとき電極内での実効酸素ポテンシャル  $\mu_{0, \text{eff}}$  は、 $\mu_{0, \text{eff}} = \mu_{0, \text{int}}$  と表される。律速反応が電極内の酸化物イオン拡散あるいは電極/電解質界面での電荷移動反応のときは、電極内の実効酸素ポテンシャルはそれぞれ(ii), (iii) で示されるように、 $\mu_{0, \text{int}}$  とは異なる値をとる。以上より、電極内部の酸素ポテンシャル分布から電極内部の過電圧分布が分かるため、律速過程の解明には酸素ポテンシャル分布の解析が非常に有効である。

代表的な SOFC カソード電極材料である (La, Sr) (Co, Fe)O<sub>3</sub> に対して、XAFS を用いた点欠陥構造の変化とそれに伴う電子、局所構造の変化について研究を行った。La<sub>0.6</sub>Sr<sub>0.4</sub>CoO<sub>3- $\delta$</sub>  について、0 K 吸収端と Co L 吸収端の X 線吸収端近傍構造 (XANES) から Co 3d 軌道と O 2p 軌道が強く混成していること、また、酸素欠損の増加により混成軌道が非局在化し導電率を減少させることが分かった。また、La<sub>0.6</sub>Sr<sub>0.4</sub>Co<sub>0.8</sub>Fe<sub>0.2</sub>O<sub>3- $\delta$</sub>  に対して、Co, Fe L 吸収端 XANES から、酸素空孔の導入による価数の補償が Co によって優先的に行われていること、Fe K 吸収端広域 X 線吸収端近傍構造 (EXAFS) から、酸素空孔の導入に対して Fe 周りの局所歪みが大きくなることが分かった [4]。さらに、La<sub>0.6</sub>Sr<sub>0.4</sub>FeO<sub>3- $\delta$</sub>  の EXAFS 解析から、酸素空孔が La 周りに優先的に取り込まれること、局所構造変化による酸化物イオン移動の変化の関係を明らかにした。

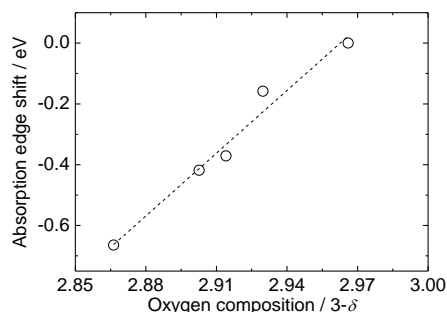
酸素不定比性を有する LSC ではポテンシャルの評価方法として XANES による Co の平均価数変化が利用できる。XAFS 測定用試料として酸素分圧 10<sup>1</sup>~10<sup>5</sup> Pa において 800° C、4hr 熱処理後、急冷した LSC バルク試料を用い、透過法により測定を行った。

Fig. 2 に、800° C、種々の酸素分圧下で熱



**Fig. 2.** Co K-edge XANES spectra of La<sub>0.6</sub>Sr<sub>0.4</sub>CoO<sub>3- $\delta$</sub>  annealed under various oxygen partial pressures at 1073 K.

処理後、急冷して得られた LSC における Co K 吸収端の XANES スペクトルを示す。熱処理時の酸素分圧が低いほど、吸収端位置が低エネルギー側にシフトする傾向が見られた。Co の平均価数変化に対応する結果を考えると次のような欠陥平衡の考え方が適用できる。すなわち、酸素分圧の低下により LSC における酸素空孔量が増加し、それに伴い Co の平均価数が減少したためと考えられる。ヨードメトリー滴定結果との比較により、LSC における Co の平均価数と Co-K 吸収端位置の間には、良い相関が確認され、LSC における酸素ポテンシャルが Co の平均価数で評価できることが明らかになった (Fig. 3)。以上の結果は、XAFS 測定により LSC の酸素ポテンシャルを評価できるということを示している。



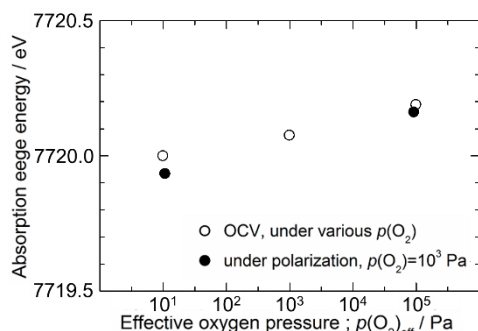
**Fig. 3.** Shift of absorption edge energy at Co K-edge XANES of La<sub>0.6</sub>Sr<sub>0.4</sub>CoO<sub>3- $\delta$</sub>  annealed under various oxygen partial pressures at 1073 K.

この結果を踏まえ、GDC 上に成膜した LSC 薄膜電極を用い、SOFC 作動条件下における *in situ* XAFS 測定を行った。測定条件は以下のとおりである。作用極には、PLD 法により GDC 上に作製した LSC 薄膜電極を用いた。対極、参照極には LSC - Pt 混合物、Pt をそれぞれ用いた。高温電気化学 *in situ* XAFS 測定は SPring-8、BL-01B1 において、Co K 吸収端について蛍光法により行った。測定は、温度 800° C、酸素分圧 10<sup>1</sup>~10<sup>5</sup> Pa、印加電圧 -400~+200mV の条件で行った。なお電圧を印加した際には電位-時間曲線を測定し、定常状態に達したのを確認してから各 XAFS 測定を行った。XAFS 測定前後にはインピーダンス測定を行い、電気化学セルが正常に機能していること、および試料の状態が変わっていないことを確認した。このときの掃引周波数は 0.1~10<sup>5</sup> Hz とした。またインピーダンスプロットから電解質抵抗を求め、電圧印加時に観測される定常電流値から IR 損を見積もり、電極にかかる過電圧を算出した。

800° C、空気中において、-400~+200mV の電圧を印加した際に得られた Co K 吸収端の XANES スペクトルより、吸収端位置は、開回路状態に比べ、カソード分極させることにより低エネルギー側に、アノード分極させることにより高エネルギー側にシフトした。この

結果は、電圧の印加により LSC 薄膜中における Co の平均価数が変化していることを示している。一般に、酸化物イオン伝導体上の電極における過電圧は、電極における酸素ポテンシャルの平衡状態からの変分に対応すると考えられている。Co *K* 吸収端の位置から見積もった LSC 薄膜における Co の平均価数を、印加した過電圧量に相当する酸素分圧に対してプロットしたものを Fig. 4 に示す。両者の間には非常に良い一致が見られた。以上の結果より、GDC 電解質上の LSC 緻密電極では、分極によって電極内の酸素ポテンシャルが変化し、その変化量が対応する  $p(\text{O}_2)$  変化によるものとほぼ一致することが判明した。

*in situ* XAFS の結果、分極時の電極付近の酸素ポテンシャルは Fig. 1 中に示す(i)の分



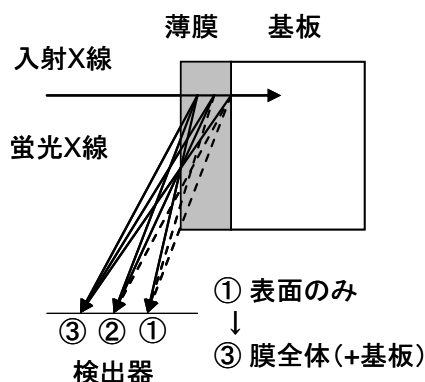
**Fig. 4.** Absorption edge energies for Co *K*-edge of the  $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{CoO}_{3-\delta}$  thin film electrode on the  $\text{Ce}_{0.9}\text{Gd}_{0.1}\text{O}_{1.95}$  electrolyte as a function of effective oxygen pressure.

布をとり、電極表面で酸素ポテンシャルに勾配が生じていることが判明した。したがって、今回測定した GDC 電解質上の LSC 混合導電性緻密電極におけるカソード反応は表面反応律速であることが確認された以上の結果は、高温ヘテロ接触界面における反応機構を *in situ* 測定し、電極表面で酸素ポテンシャルが劇的に変化することを捉えた最初の例である混合導電性電極における詳細な酸素化学ポテンシャル分布の評価のためには、*in situ* XAFS をさらに発展させ、電極内部の深さ方向へのプロファイル解明が求められている。そこで混合導電性電極に対して深さ方向に分解能を有する深さ分解 XAFS 測定を高温かつ過電圧印加状態で行うことで、電極内部の酸素化学ポテンシャル分布についての知見を得ることを目指した。

Fig. 5 に深さ分解 XAFS 測定の原理を示す。蛍光 X 線の脱出深度は、図に示される通り、その出射角度によって異なる。すなわち、低角 (Fig. 5 中①) では内部の蛍光 X 線は材料により自己吸収するため試料表面近傍の蛍光 X 線のみが検出されるのに対し、高角 (例えば Fig. 5 中③) になるにつれて、より深

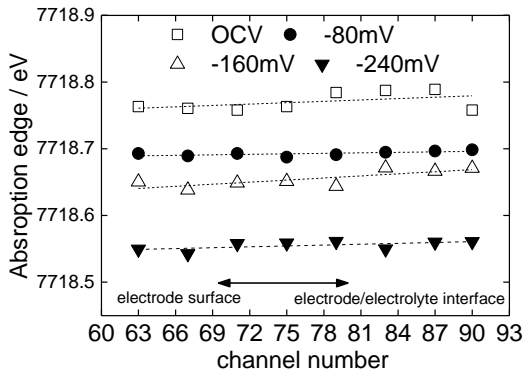
いところからの蛍光 X 線も検出されるようになる。従って、出射角度を変化させて蛍光 X 線を検出することにより、深さ方向に分解能を有した XAFS 測定が可能になる。

XAFS 測定により LSC の酸素ポテンシャルが評価できることから、Fig. 6 に様々な電圧を

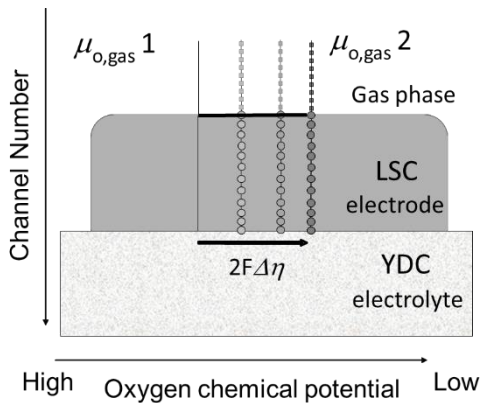


**Fig. 5.** Principle of depth-resolved X-ray absorption measurements.

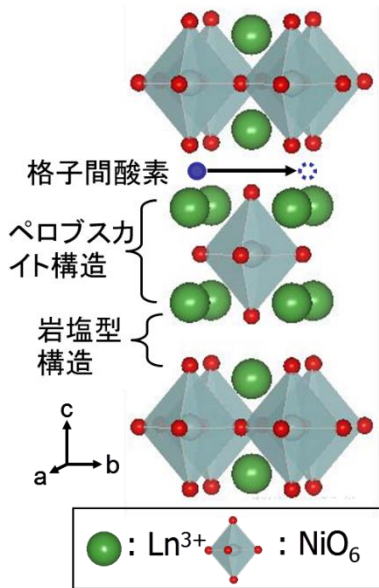
印加した LSC 薄膜の Co *K* 吸収端 XANES の吸収端位置を示す。図内の横軸の番号は蛍光 X 線の検出に用いた PILATUS 二次元検出器のチャンネル番号を表す。大きい番号ほど低検出角度、すなわち電極薄膜表面からの信号をより多く含むスペクトルに対応する。一方、小さい番号ほど高検出角度、すなわち電極/電解質界面からの信号をより多く含むスペクトルに対応する。Fig. 6 より、いずれの印加電圧においてもチャンネル番号に対して吸収端エネルギーは変化しないことが分かった。一方、電圧の印加に対応して、吸収端エネルギーが減少していることが分かった。このことは、酸素化学ポテンシャルは電極表面で変化し、電極内部では一定であることを示している。すなわち、Fig. 7 に示すように混合導電体電極 LSC は電圧の印加量によらず、電圧印加に対して電極表面でポテンシャルが急激に変化し、電極内部および電極/電解質界面ではポテンシャルの変化が生じないということが分かった。以上より、LSC/YDC における電極の律速過程が表面反応であり、電極内部のポテンシャルに変化がないことが直接示された  $\text{K}_2\text{NiF}_4$  構造を持つ  $\text{Ln}_2\text{NiO}_{4+\delta}$  ( $\text{Ln} = \text{La}, \text{Nd}, \text{Pr}$ ) は、Fig. 8 に示すようにペロブスカイト構造と岩塩型構造が交互に積み重なった層状ペロブスカイト構造を有する。岩塩型構造中に過剰酸素を有し、それによる高い氧化物イオン/電子混合導電性を示すことから、低温作動型 SOFC のカソード材料として期待されている。本研究では、 $\text{K}_2\text{NiF}_4$  構造を持つ混合導電性電極を対象にし、イオン移動速度を制御した高機能電極の構築とその設計指針を確立することを目的とした。そのため、*in situ* XAFS 測定を用いて電極反応の律速過程を明らかにした。



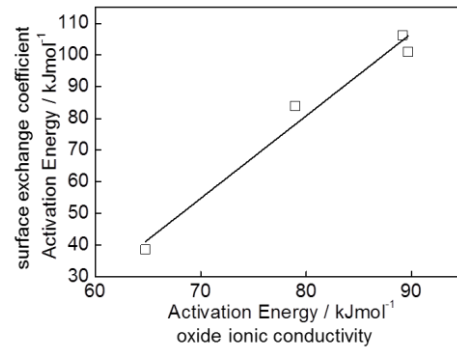
**Fig. 6** Absorption edge of *in situ* Co *K*-edge XANES from various PILATUS channels for LSC thin film under various applied electrical potential.



**Fig. 7** Oxygen potential depth profile of the electrode reaction for high temperature electrochemical device.



**Fig. 8.** Unit cell of typical  $K_2NiF_4$  structure.



**Fig. 9** Activation energy of surface exchange coefficient as a function of activation energy of oxide ionic conductivity.

その結果、開回路状態で酸素分圧を変化させたときの Ni *K* 吸収端の XANES スペクトルと、酸素分圧を  $p(O_2) = 10^3$  Pa に固定し、酸素分圧の変化に対応するよう電圧を印加した Ni *K* 吸収端の XANES スペクトルの吸収端エネルギーの変化量が一致した。つまり、LSC/GDC の系と同様に電極過電圧による酸素ポテンシャル変化が空気/電極の界面で急激に変化していることを示しており、NNO モデル電極における電極反応の律速過程が表面反応であることを示している。このことは、電極特性の向上には表面交換反応の促進が必要であることを示している。そのため、表面交換反応係数が電極材料のどのような物性によって変化するかを明らかにすることで電極特性の向上が見込まれる。

本研究では SOFC の高効率化、低温化に不可欠である、電極反応の理解とりわけ過電圧を生じる律速過程の理解のために、*in situ* 条件での電極状態の直接観察手法の開発を行った。さらに、酸化物イオン-電子混合導電性材料に対して、イオン移動速度を制御した高機能電極の構築とその設計指針を確立することを目的とした。高温で雰囲気・印加電圧を制御しながら X 線吸収分光測定を行うことができる高温電気化学 *in situ* XAFS 測定装置の作製に成功し、これを用いた SOFC 混合導電性酸化カソードの *in situ* 観察を行った。分極時の電極付近の酸素ポテンシャルは電極表面で急激に変化していることから、LSC 混合導電性電極並びに NNO 混合導電性電極におけるカソード反応は表面反応律速であることが確認された。

格子間酸素を導電種とする NNO 混合導電性電極において、表面交換反応（酸化物イオン導電率）とボトルネックサイズにより相関があることが分かった。さらに、格子のミスマッチによる圧縮応力を制御したエピタキシャル薄膜を用いることで、ボトルネックサイ

ズのみならずキャリアイオン濃度の制御も可能であることが分かった。また、深さ分解 XAFS から、格子のミスマッチは電極 - 電解質界面にて生じており、界面から離れるほど緩和されることが分かった。以上より、格子のミスマッチを利用する場合には、ボトルネックサイズを広げる方向に応力がかかるようにすれば酸化物イオン導電率が増大し、結果表面交換反応が促進されると予想される。

#### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 3 件)

1. Y. Orikasa, T. Ina, T. Nakao, A. Mineshige, K. Amezawa, M. Oishi, H. Arai, Z. Ogumi, Y. Uchimoto, "X-ray Absorption Spectroscopic Study on  $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{CoO}_{3-\delta}$  Cathode Materials Related with Oxygen Vacancy Formation", *J. Phys. Chem. C*, 2011, **115**, 16433 - 16438
2. Y. Orikasa, T. Nakao, M. Oishi, T. Ina, A. Mineshige, K. Amezawa, H. Arai, Z. Ogumi, Y. Uchimoto, "Local Structural Analysis for Oxide Ionic Transport in  $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{FeO}_{3-\delta}$  Cathodes", *J. Mater. Chem.*, 2011, **21**, 14013 - 14019
3. Y. Orikasa, T. Ina, T. Nakao, A. Mineshige, K. Amezawa, M. Oishi, H. Arai, Z. Ogumi, Y. Uchimoto, "X-ray Absorption Spectroscopic Study on Mixed Conductive  $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Co}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}\text{O}_{3-\delta}$  Cathodes I. Electrical Conductivity and Electronic Structure", *Phys. Chem. Chem. Phys.*, 2011, **13**, 16637 - 16643

[学会発表] (計 10 件)

1. Toshiaki Ina, Takayuki Nakao, Yuki Orikasa, Hajime Tanida, Tomoya Uruga, Koji Amezawa, Atsushi Mineshige and Yoshiharu Uchimoto, "Oxygen Chemical Potential Profile of SOFC Cathode by in-situ Depth Resolved XAS Measurement", The 62th annual meeting of the international society of electrochemistry, Sept. 12, 2011 (Niigata, Japan)
2. 伊奈稔哲、内本喜晴、折笠有基、大石昌嗣、荒井創、小久見善八、嶺重温、雨澤浩史、ペロブスカイト型酸化物  $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{FeO}_{3-\delta}$  における酸素点欠陥が及ぼす局所構造変化と酸素空孔拡散、電気化学会 78 回大会、2011 年 3 月 29 日 (横浜国立大学)
3. 伊奈稔哲、内本喜晴、折笠有基、大石昌嗣、荒井創、小久見善八、嶺重温、雨澤浩史、 $(\text{La}, \text{Sr})(\text{Co}, \text{Fe})\text{O}_3$  における局所構造変化と酸化物イオン拡散の関係、電気化学会 78 回大会、2011 年 3 月 29 日
4. 伊奈稔哲、折笠有基、内本喜晴、深さ分解 XAFS 法による高温系電気化学反応解析、第 21 回電極材料研究会、2011 年 7 月 29 日 (横浜国

立大学)

5. 伊奈稔哲、折笠有基、内本喜晴、高温電解系における格子間酸素系カソード材料の点欠陥構造と反応活性、第 35 回電解技術討論会、2011 年 11 月 15 日 (同志社大学)
6. Yuki Orikasa, Toshiaki Ina, Takayuki Nakao, Tomokazu Fukutsuka, Atsushi Mineshige, Koji Amezawa, Tatsuya Kawada and Yoshiharu Uchimoto, "Rate Determining Step of High Temperature Cathode Reaction Studied by In Situ Electrochemical XAS", 217th ECS Meeting, April 28, 2010 (Vancouver, Canada)
7. Takayuki Nakao, Toshiaki Ina, Yuki Orikasa, Tomokazu Fukutsuka, Yasuko Terada, Hajime Tanida, Tomoya Uruga, Masafumi Takagaki, Hidenori Toyokawa, Koji Amezawa, Tatsuya Kawada, Atsushi Mineshige and Yoshiharu Uchimoto, "Electronic and Local Structure Analysis of the Electrolyte / Electrode Interface of IT-SOFC by Depth Resolved XAFS", 217th ECS Meeting, April 27, 2010 (Vancouver, Canada)
8. Toshiaki Ina, Takayuki Nakao, Yuki Orikasa, Tomokazu Fukutsuka, Atsushi Mineshige, Koji Amezawa, Tatsuya Kawada and Yoshiharu Uchimoto, "Correlation Between Electrochemical Properties and Local and/or Oxygen Defect Structures of  $\text{Ln}_2\text{NiO}_4$  (Ln = La, Nd)", 217th ECS Meeting, April 29, 2010 (Vancouver, Canada)
9. Yoshiharu Uchimoto, Koji Amezawa, Yuki Orikasa and Tatsuya Kawada, "Rate Determining Step of SOFC Cathode Reaction Studied by in situ Electrochemical X-ray Absorption Spectroscopy", 2010 MRS Fall Meeting, Nov. 30, 2010 (Boston, MA, USA)
10. 中尾孝之、折笠有基、伊奈稔哲、嶺重温、雨澤浩史、川田達也、内本喜晴、その場 X 線吸収分光法を用いた LSCF/YDC モデル電極における電極反応機構の解明、第 13 回 XAFS 討論会、2010 年 9 月 4 日 (立命館大学びわこくさつキャンパス)

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

内本 喜晴 (UCHIMOTO YOSHIHARU)  
京都大学・大学院人間・環境学研究科・  
教授 研究者番号：50193909

##### (2) 研究分担者

折笠 有基 (ORIKASA YUKI)  
京都大学・大学院人間・環境学研究科・  
助教 研究者番号：20589733