

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 30 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26289233

研究課題名(和文) 軟X線吸収・発光分光同時測定による機能性酸化物の電子構造のオペランド評価

研究課題名(英文) Operando analysis of electronic structures of functionalized oxides by simultaneous soft X-ray absorption and emission spectroscopy measurements

研究代表者

雨澤 浩史 (Amezawa, Koji)

東北大学・多元物質科学研究所・教授

研究者番号：90263136

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、温度、雰囲気、通電・分極状態を制御した特殊環境下において機能性酸化物の占有・非占有軌道の電子構造の同時評価を可能とする軟X線吸収分光ならびに発光分光のオペランド測定技術を、世界に先駆けて開発・確立することに成功した。また、開発された手法を、主に固体酸化物形燃料電池の空気極候補である3d遷移金属複合酸化物に適用し、これら酸化物電極の電池作動下における電子構造をオペランド評価した。本測定技術により、機能性酸化物の電子構造を、それらが使用される条件下において明らかにすることが初めて可能となり、酸化物材料の様々な機能性ならびにその起源に対する理解を深められることが期待される。

研究成果の概要(英文)：In this work, we succeeded to establish operando soft X-ray absorption and emission spectroscopic (SXAS and SXES) techniques, which enable us to simultaneously evaluate electronic structures in occupied and unoccupied orbitals of functionalized oxides while controlling temperature, atmosphere, and polarization. The developed techniques were applied to investigate the electronic structures of complex oxides containing 3d transition metals for the solid oxide fuel cell cathodes under their operating conditions. The developed operando SXAS and SXES techniques are expected as a powerful tool for the deep understandings of materials' functions and their natures by clarifying the electronic structures under their usage environments.

研究分野：工学

キーワード：オペランド測定 軟X線吸収分光 軟X線発光分光 機能性酸化物 電子構造

### 1. 研究開始当初の背景

機能性酸化物材料は、燃料電池や蓄電池に代表される高温電気化学デバイス等、多くの最先端デバイスの主たる構成成分として用いられている。酸化物の材料機能物性の多くは、その電子構造に由来すると言われている。例えば、酸化物の電子導電性や反応触媒活性は、フェルミレベル近傍の電子状態によって決定されることが知られている。したがって、酸化物材料の材料機能物性をさらに向上させ、上述の各種デバイスの高性能化、高耐久性化、高信頼性化を図るためには、デバイスが作動する条件下における酸化物の電子構造を正確に把握し、その知見に基づいた材料設計・開発を行うことが重要である。しかしながら、デバイスが作動する条件は多種多様であり、汎用の測定機器を使用することのできない条件であることも多い。固体酸化物形燃料電池 (SOFC) であれば、700~1000 の高温で、酸素、水素、水蒸気ガスが含まれる特殊環境で作動する。リチウムイオン二次電池であれば、作動温度こそ室温近辺ではあるが、不活性ガス雰囲気かつ電解液中での測定が要求される。さらにいずれのデバイスにおいても、材料は通電状態に曝される。しかしながら、これまで、酸化物材料が実際に使用される高温、制御雰囲気、通電状態といった特殊環境下において電子構造を実験的に直接評価できる手法は皆無であった。これは、材料の電子構造評価に多用される光電子分光 (XPS, UPS 等)、軟 X 線吸収・発光分光などの分析手法が、いずれも超高真空を要する手法であったことに起因する。そのため、酸化物の電子状態は、室温、超高真空といったデバイス作動条件とは異なる条件下で評価された状態や、導電率や磁化率などの電子構造に起因する材料機能物性から類推するしかない状況であった。

### 2. 研究の目的

以上の背景を踏まえ、本研究では、高温(室温~1000 )・制御雰囲気(酸素分圧等)・通電状態といった特殊環境下に機能性酸化物の電子構造評価を可能とする測定技術を、世界に先駆けて開発・確立することを目的とした。このような技術が確立され、実際のデバイス作動条件下における各種機能性酸化物の電子構造(価電子帯・伝導帯の状態密度、スピン状態など)を明らかにすることが可能になれば、酸化物材料の電気伝導特性、反応触媒活性、磁気特性など、様々な機能性ならびにその起源に対する理解を飛躍的に促進させることができると期待される。本研究では、酸化物の電子状態を評価する手法として、軟 X 線 (< 1 keV) の吸収分光ならびに発光分光測定に着目した。X 線吸収分光は、X 線照射により内殻電子が外殻の空軌道へ遷移する過程を観測する分光測定であり、その吸収スペクトルから非占有軌道の状態密度を評価することができる。一方、X 線発

光分光は、X 線照射により発生した内殻の電子空孔に外殻電子が落ち込む過程を観測する分光測定であり、その発光スペクトルから占有軌道の状態密度を評価することができる。特に本研究では、固体酸化物形燃料電池やリチウムイオン二次電池用材料の評価を念頭に、高温、制御雰囲気下において、軟 X 線吸収および発光分光を測定することのできるオペランド測定技術を確立することを目指した。開発されたオペランド測定技術を用い、固体酸化物形燃料電池空気極やリチウムイオン二次電池正極に用いられる各種 3d 遷移金属複合酸化物を測定対象に、室温~高温、制御雰囲気、通電下における電子構造評価を行った。

### 3. 研究の方法

#### (1) 高温、制御雰囲気、通電下でのオペランド軟 X 線吸収分光法

$\text{Ce}_{0.9}\text{Gd}_{0.1}\text{O}_{1.95}$  電解質上に PLD 法で製膜した  $\text{La}_2\text{NiO}_{4+\delta}$  緻密薄膜電極を測定対象に、高温、制御雰囲気、通電下でのオペランド軟 X 線吸収分光法。対極・参照極には多孔質 Pt を用い、3 電極式電気化学セルを作製した。Pt-Ir 電気炉を有する専用の高温試料ホルダーを製作し、これを SPring-8 BL27SU の大気圧環境下軟 X 線分光用差動排気システムに接続することで、オペランド軟 X 線吸収分光測定を可能とした。Ni L-, O K-吸収端の軟 X 線吸収スペクトルを、温度 773 K、酸素分圧  $10^{-3}$  bar、直流分極化(過電圧-155 ~ +20 mV)において、蛍光法により測定した。

#### (2) 高温、制御雰囲気でのオペランド軟 X 線吸収・発光分光同時測定法

高温、制御雰囲気において、軟 X 線吸収に加え、軟 X 線発光分光も同時にオペランド測定することのできる手法を確立した。測定対象には、温度、酸素分圧に応じて Co のスピン状態が変化することが知られている  $\text{LaCoO}_3$  の焼結体を用いた。試料は、1573 K で 4 時間焼結後、 $4 \times 4 \times 0.8$  mm に成形し、100%  $\text{O}_2$  雰囲気下で 973 K、48 時間アニールを施した。測定は、SPring-8 BL17SU において、専用の高温試料ホルダーを搭載することで行われた。本研究で開発された試料ホルダーの概略を Fig. 1 に示す。O K-端の軟 X 線発

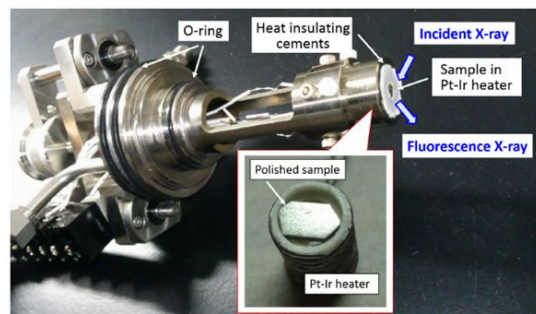


Fig. 1. Sample holder for simultaneous operando XAS/XES measurements..

光・吸収スペクトルを、室温～873 K、酸素分圧  $10^{-4}$ ～ $10^{-2}$  bar において測定した。

(3) 高温、制御雰囲気、通電下でのオペランド軟 X 線吸収・発光分光同時測定法

(1),(2)の手法をさらに発展させ、高温、制御雰囲気、通電下でのオペランド軟 X 線吸収・発光分光同時測定法の確立を行った。測定には、 $\text{Ce}_{0.9}\text{Gd}_{0.1}\text{O}_{1.95}$  (GDC) 電解質の上に製膜した  $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{CoO}_{3-d}$  (LSC64) 緻密膜を作用極、多孔質 Pt を対極・参照極とした 3 電極式電気化学セルを用いた。LSC64 緻密膜は PLD 法により製膜した。軟 X 線吸収・発光分光同時測定は、(2) で開発した高温試料ホルダーを改良したシステムを SPring-8 の BL17SU に搭載することで行った。温度は 973 K、雰囲気は He 希釈の酸素ガスを用いることで全圧を 1 bar としつつ、酸素分圧が  $10^{-3}$  bar となるように制御した。セルの電気化学評価として交流インピーダンス法も合わせて行った。

#### 4. 研究成果

(1) 高温、制御雰囲気、通電下でのオペランド軟 X 線吸収分光法

Fig. 2 に、773 K、 $p(\text{O}_2) = 10^{-3}$ 、 $10^{-4}$  bar 下の OCV 状態と、 $10^{-3}$  bar 下の直流分極状態 (過電圧 -46 mV) における  $\text{La}_2\text{NiO}_{4+\delta}$  薄膜電極で観測された O K-吸収端の軟 X 線吸収スペクトルを示す。約 528.5 eV にみられるピークは Ni 3d 軌道と混成する O 2p 軌道に由来すると考えられる。Fig. 2 に示される通り、カソード分極させることにより、約 528.5 eV のピーク強度が減少した。この結果は、カソード分極に伴い、電極酸化物の Ni 3d と O 2p の混成軌道に新たな空軌道が形成されたこと、すなわち、電極酸化物が部分的に還元されたことを示している。この結果は、 $\text{La}_2\text{NiO}_{4+\delta}$  薄膜電

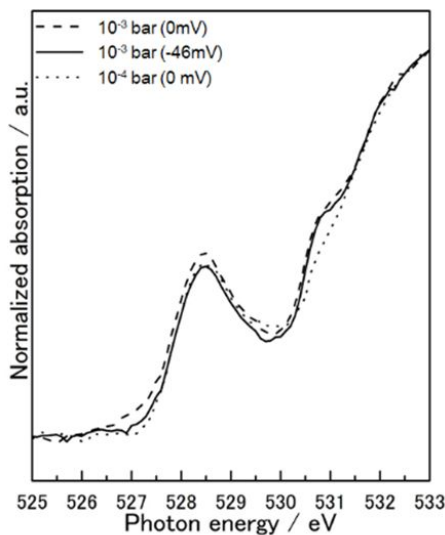


Fig. 2. Soft X-ray absorption spectra of  $\text{La}_2\text{NiO}_{4+\delta}$  at O K-edge measured under  $p(\text{O}_2) = 10^{-3}$  bar at 773 K with -80 mV and under OCV condition in  $p(\text{O}_2) = 10^{-3}$  and  $10^{-4}$  bar at 773 K.

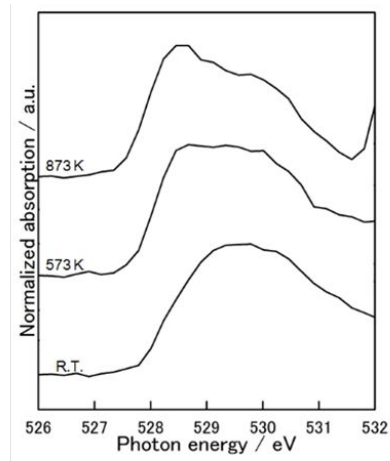


Fig. 3. Soft X-ray absorption spectra of  $\text{LaCoO}_3$  at O K-edge measured at various temperature under  $p(\text{O}_2) = 10^{-4}$  bar.

極表面からの酸素の供給が十分でないことを表しており、このことから同電極における電極反応が表面反応律速であることが明らかにされた。

(2) 高温、制御雰囲気でのオペランド軟 X 線吸収・発光分光同時測定法

Fig. 3 に、 $p(\text{O}_2) = 10^{-4}$  bar 下、種々の温度において測定された  $\text{LaCoO}_3$  の O K-端軟 X 線吸収スペクトルを示す。約 527-531 eV のピークが、O 2p 軌道と Co 3d 軌道からなる混成軌道における空軌道の情報を持っている。Fig. 3 に示される通り、温度上昇に伴いピーク位置ならびに強度に変化が見られた。これは、 $\text{Co}^{3+}$  の中間スピンから高スピンへのスピン転移により、Co 3d 軌道内の電子が  $t_{2g}$  軌道から  $e_g$  軌道へと遷移したことに由来すると考えられる。

Fig. 4(a)に、 $p(\text{O}_2) = 10^{-4}$  bar 下、種々の温度において、Fig. 4(b)に室温、 $p(\text{O}_2) = 10^{-2}$ 、 $10^{-4}$  bar 下において測定された  $\text{LaCoO}_3$  の O K-端軟 X 線発光スペクトルを示す。これら軟 X 線発光スペクトルは、550 eV の軟 X 線を入射することにより、非共鳴の発光スペクトルとして測定された。Fig. 4(a)より、室温から 873 K の温度域において軟 X 線発光分光測定が可能であることが分かった。また、Fig. 2(b)より、 $p(\text{O}_2) = 10^{-2}$  bar 以下の酸素分圧下での測定も

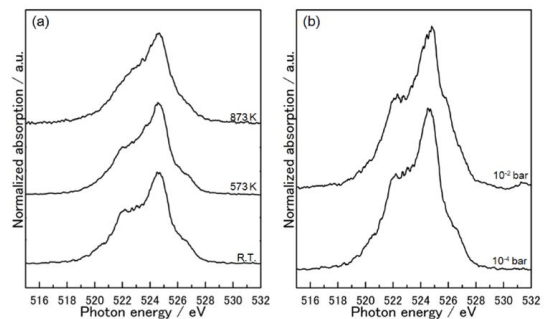


Fig. 4. Soft X-ray emission spectra of  $\text{LaCoO}_3$  at O K-edge measured (a) at various temperature under  $p(\text{O}_2) = 10^{-4}$  bar and (b) at R.T. under  $p(\text{O}_2) = 10^{-2}$  and  $10^{-4}$  bar.



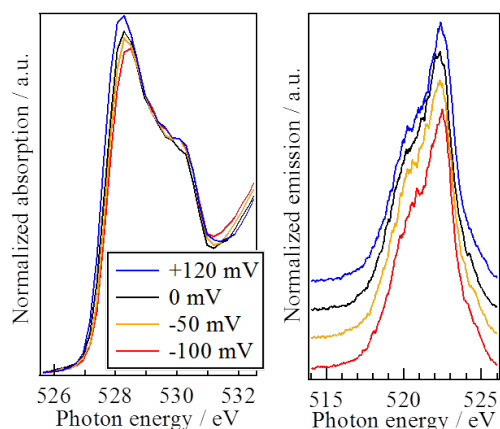


Fig. 5. X-ray (a) absorption and (b) emission spectra of  $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{CoO}_{3-d}$  at O K-edge measured under  $p(\text{O}_2) = 10^{-3}$  bar at 773 K with various applied voltages.

可能であることが分かった。

### (3) 高温、制御雰囲気、通電下でのオペランド軟 X 線吸収・発光分光同時測定法

Fig. 5 (a)に、種々の電圧を印加した際の LSC64 薄膜電極の O K-吸収端軟 X 線吸収スペクトルを示す。約 527-531 eV のピークが O 2p 軌道と Co 3d 軌道からなる混成軌道における空軌道の情報を表している。オーム損を考慮すると、印加電圧 +120, -50, -100 mV から、電極過電圧はそれぞれ +95, -45, -93 mV と見積もられる。表面反応が律速過程であれば、電極過電圧は電極において実効的な酸素分圧の変化を引き起こし、それらはそれぞれ約  $10^{-1}$ ,  $10^{-4}$ ,  $10^{-5}$  bar に相当する。528 eV 付近のピークの増減は、このような実効的な酸素分圧の変化に伴うホールの増減によるものと考えられる。一方 Fig. 5(b)に、529.9 eV の X 線を入射した際に得られた軟 X 線発光スペクトルを示す。軟 X 線発光スペクトルには電圧印加による明確な変化は見られなかった。以上の結果は、電極酸化物における電子状態は、電極への電圧の印加に伴い、非占有軌道に顕著な変化はみられるものの、占有軌道はほとんど影響を受けないことを表している。

本研究を通し、温度、雰囲気、通電状態を制御しながら、軟 X 線吸収分光ならびに発光分光を同時測定することのできる手法を、世界で初めて開発することに成功した。また、開発された手法を用い、固体酸化物形燃料電池の空気極材料候補である各種 3d 遷移金属複合酸化物の電子状態のオペランド評価を実施し、電極への電圧印加に伴う電子構造変化を明らかにした。本研究で確立された技術は、各種電気化学デバイス作動下における 3d 遷移金属複合酸化物の電子・化学状態を明らかにするうえで、有用なツールとなると期待される。

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 13 件)

- (1) Takashi Nakamura, Ryo Oike, Yuta Kimura, Yusuke Tamenori, Tatsuya Kawada, Koji Amezawa, Operando Soft X-ray Absorption Spectroscopic Study on a Solid Oxide Fuel Cell Cathode during Electrochemical Oxygen Reduction, *ChemSusChem*, 査読有, Vol. 10, No. 9, 2017, p. 2008-2014, doi/10.1002/cssc.201700237/abstract
- (2) Genki Imai, Takashi Nakamura, Koji Amezawa, Defect chemistry and thermodynamic properties of proton dissolution into  $\text{BaZr}_{0.9}\text{Y}_{0.1}\text{O}_{3-\delta}$ , 査読有, *Solid State Ionics*, Vol. 303, 2017, p. 12-15, doi/10.1016/j.ssi.2017.02.004
- (3) 雨澤浩史, XAFS を用いた固体酸化物形燃料電池の電極反応解析 (解説論文), 表面科学, 査読有, Vol. 37, No. 2, 2016, p. 84-89, doi/10.1380/jssj.37.84
- (4) Yihan Ling, Fang Wang, Yusuke Okamoto, Takashi Nakamura, Koji Amezawa, Oxygen Nonstoichiometry and Thermodynamic Explanation of Large Oxygen-Deficient Ruddlesden-Popper Oxides  $\text{La}_x\text{Sr}_{3-x}\text{Fe}_2\text{O}_{7-\delta}$ , *Journal of the American Ceramic Society*, 査読有, Vol. 99, No. 11, 2016, p. 3792-3801, doi/10.1111/jace.14410/abstract
- (5) R. A. Budiman, Y. Uzumaki, H. J. Hong, T. Miyazaki, S. Hashimoto, T. Nakamura, K. Yashiro, K. Amezawa, T. Kawada, Oxygen nonstoichiometry and transport properties of  $\text{LaNi}_{0.6}\text{Co}_{0.4}\text{O}_{3-\delta}$ , *Solid State Ionics*, 査読有, Vol. 292, 2016, p. 52-58, doi/10.1016/j.ssi.2016.05.005
- (6) Yihan Ling, Fang Wang, Yusuke Okamoto, Takashi Nakamura, Koji Amezawa, Oxygen nonstoichiometry and thermodynamic quantities in the Ruddlesden-Popper oxides  $\text{La}_x\text{Sr}_{3-x}\text{Fe}_2\text{O}_{7-\delta}$ , *Solid State Ionics*, 査読有, Vol. 288, 2016, p. 298-302, doi/10.1016/j.ssi.2016.01.016
- (7) Fang Wang, Koki Igarashi, Takashi Nakamura, Keiji Yashiro, Junichiro Mizusaki, Koji Amezawa, Tailoring the chemical stability of cobalt-rich perovskite mixed conductor, *Solid State Ionics*, 査読有, Vol. 288, 2016, p. 2-5, doi/10.1016/j.ssi.2016.01.018
- (8) Takashi Nakamura, Ryo Oike, Yihan Ling, Yusuke Tamenori, Koji Amezawa, The determining factor for interstitial oxygen formation in Ruddlesden-Popper type  $\text{La}_2\text{NiO}_4$ -based oxides, *Physical Chemistry Chemical Physics*, 査読有, Vol. 18, 2016, p. 1564-1569, doi/10.1039/C5CP05993C
- (9) R. Oike, Y. Okamoto, T. Tokushima, T. Nakamura, K. Amezawa, In-Situ Simultaneous Soft X-ray Absorption and Emission Spectroscopy under Controlled Atmosphere and Temperature, *Electrochemistry*, 査読有, Vol. 84, No. 10, 2016, p. 793-796 (電気化学会 2016 年

論文賞受賞)

doi/10.5796/electrochemistry.84.793

(10) Takayoshi Ishimoto, Yumi Ito, Tomofumi Tada, Ryo Oike, Takashi Nakamura, Koji Amezawa, Michihisa Koyama, Theoretical study on temperature effect of electronic structure and spin state in LaCoO<sub>3</sub> by using density functional theory, *Solid State Ionics*, 査読有, Vol. 285, 2016, p. 195-201

doi/10.1016/j.ssi.2015.08.017

(11) Takayoshi Ishimoto, Kenji Sato, Tomofumi Tada, Koji Amezawa, Michihisa Koyama, Theoretical Study on Oxygen Dissociation Reaction on LaSrCoO<sub>3</sub>, *Electrochemical Society Transactions*, 査読有, Vol. 68, No. 1, 2015, p. 651-655

doi/10.1149/06801.0651ecst

(12) Takashi Nakamura, Yihan Ling, Koji Amezawa, The effect of interstitial oxygen formation on the crystal lattice deformation in layered perovskite oxides for electrochemical devices, *Journal of Materials Chemistry A*, 査読有, Vol. 3, No.19, 2015, p. 10471-10479

doi/10.1039/C5TA01504A

(13) Yihan Ling, Fang Wang, Riyan Achmad Budiman, Takashi Nakamura, Koji Amezawa, Oxygen nonstoichiometry, the defect equilibrium model and thermodynamic quantities of the Ruddlesden-Popper oxide Sr<sub>3</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>7-δ</sub>, *Physical Chemistry Chemical Physics*, 査読有, Vol. 17, No. 11, 2015, p. 7489-7497

doi/10.1039/c4cp05719h

〔学会発表〕(計 51 件)

以下,招待講演等 19 件についてのみ情報を記す。

(1) 中村崇司, 酸素不定比性に着目した機能性酸化物の電気化学的機能発現に関する研究(電気化学会進歩賞受賞記念講演), 電気化学会第 84 回大会, 2017.3.26, 首都大学東京(八王子市)

(2) 雨澤浩史, 放射光 X 線を利用した固体酸化物形燃料電池のオペランド反応解析(招待講演), 東北大学光・量子ビーム科学連携推進室第 6 回ワークショップ-光・量子ビームの工学応用-, 2017.1.5, 東北大学(仙台市)

(3) 雨澤浩史, 高温・制御雰囲気下での放射光 X 線吸収分光測定技術の開発とこれを用いた電池反応機構のオペランド評価(招待講演), 第 98 回新電池構想部会講演会, 2016.11.14, 東京理科大学(東京都新宿区)

(4) 雨澤浩史, 軟 X 線吸収・発光分光による酸化物型全固体電池のオペランド計測(招待講演), 立命館大学 SR センター公開シンポジウム, 2016.11.11, 立命館大学(草津市)

(5) K. Amezawa, Y. Fujimaki, R. Oike, K. Mizuno, T. Nakamura, Y. Kimura, K. Nitta, Y. Terada, Y. Tamemori, K. Yashiro, T. Kawada, Operando Analysis of Solid Oxide Fuel Cells Using Synchrotron Radiation (招待講演), 13th

International Conference on Flow Dynamics, 2016.10.10, Sendai International Center, Sendai, Japan

(6) 雨澤浩史, 放射光オペランド計測による固体酸化物形燃料電池の反応解析(招待講演), 第 19 回 XAFS 討論会, 2016.9.5, あいちシンクロトロン光センター(瀬戸市)

(7) Koji Amezawa, Reaction Distribution in Rare Earth-containing Oxide Cathode for Solid Oxide Fuel Cells (招待講演), *Rare Earths 2016*, 2016.6.6, Hokkaido Univ., Sapporo, Japan

(8) 雨澤浩史, X 線吸収分光測定を用いた固体酸化物形燃料電池反応のオペランド評価(招待講演)第 46 回セミコンファレンス(第 28 回東北若手の会), 2015.12.4, 花巻温泉ホテル千秋閣(花巻市)

(9) 雨澤浩史, 中村崇司, 川田達也, 放射光 X 線を用いた固体酸化物形燃料電池のオペランド計測(招待講演), 2015 年真空・表面科学合同講演会, 2015.12.3, つくば国際会議場(つくば市)

(10) 雨澤浩史, オペランド X 線吸収分光法による固体酸化物形燃料電池の反応解析(招待講演), 第 28 回秋季シンポジウム(日本セラミックス協会), 2015.9.16, 富山大学(富山市)

(11) Koji Amezawa, Yoshinobu Fujimaki, Takashi Nakamura, Katherine D. Bagarinao, Katsuhiko Yamaji, Kiyofumi Nitta, Yasuko Terada, Keiji Yashiro, Fumitada Iguchi, Hiroo Yugami, Tatsuya Kawada, Quantitative Evaluation of Effective Reaction Area in Solid Oxide Fuel Cell Cathodes (招待講演), *20th International Conference on Solid State Ionics (SSI-20)*, 2015.6.15, Keystone, Colorado, USA

(12) 雨澤浩史, 藤巻義信, 大池諒, 中村崇司, 新田清文, 寺田靖子, 為則裕雄, 川田達也, 放射光 X 線吸収分光法を用いた固体酸化物形燃料電池の電極反応解析(招待講演), 第 2 回放射光利用研究セミナー, 2015.3.30, JST 東京本部別館(東京都千代田区)

(13) 雨澤浩史, 放射光軟 X 線・硬 X 線を用いた固体酸化物形燃料電池反応・材料のその場評価(招待講演), SPRUC 研究会~放射光分光分析を用いたその場観察研究の最前線~, 2015.2.27, 京都大学(宇治市)

(14) 雨澤浩史, 放射光 X 線吸収分光法を用いた固体酸化物形燃料電池電極反応のオペランド解析(招待講演), 物性分光研究会, 2015.2.8, 京都大学(宇治市)

(15) 雨澤浩史, 硬・軟 X 線吸収分光法を用いた固体酸化物形燃料電池電極反応のオペランド計測(招待講演), 平成 26 年度日本真空学会 12 月研究例会「次世代放射光における加速器・真空科学と表面分析」, 2014.12.3, 東北大学(仙台市)

(16) 雨澤浩史, 藤巻義信, 大池諒, 中村崇司, 川田達也, 内本喜晴, 谷田肇, 新田清文, 寺田靖子, 為則雄祐, 宇留賀朋哉, X 線吸収分光法によるエネルギー変換デバイスのオペ

ランド観測 (招待講演), 放射光学会第 7 回若手研究会「最先端オペランド観測で明らかになる物性科学」, 2014.9.30, 東京大学 (柏市)

(17) Koji Amezawa, In Situ Analysis of Electrode Reactions in Solid Oxide Fuel Cells (招待講演), The 6th IEEE International Nanoelectronics Conference, *IEEE INEC 2014*, 2014.7.29, Hokkaido Univ., Sapporo, Japan

(18) K. Amezawa, Y. Fujimaki, T. Nakamura, K. Nitta, Y. Terada, F. Iguchi, H. Yugami, T. Kawada, Direct Evaluation of Electrochemical Reactions in Solid Oxide Fuel Cells under Operation (招待講演), *CIMTEC 2014 6th Forum on New Materials*, 2014.6.17, Montecatini Terme, Italy

〔図書〕(計 0 件)

なし

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

なし

取得状況 (計 0 件)

なし

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.tagen.tohoku.ac.jp/labo/amezawa/research-j2.html>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

雨澤 浩史 (AMEZAWA KOJI)  
東北大学・多元物質科学研究所・教授  
研究者番号: 90263136

### (2) 研究分担者

八代 圭司 (YASHIRO KEIJI)  
東北大学・環境科学研究科・准教授  
研究者番号: 20323107

井口 史匡 (IGUCHI FUMITADA)  
東北大学・工学研究科・准教授  
研究者番号: 00361113

中村 崇司 (NAKAMURA TAKASHI)  
東北大学・多元物質科学研究所・助教  
研究者番号: 20643232

木村 勇太 (KIMURA YUTA)  
東北大学・多元物質科学研究所・助教  
研究者番号: 60774081

### (3) 連携研究者

なし