

発行 © 一般社団法人 日本 MRS 事務局
〒231-0023 横浜市中区山下町 2
産業貿易センタービル B123
E-mail: general-inf@mrs-j.org
https://www.mrs-j.org/Tel. 045-263-8538

||||||| やあ こんにちは |||



石切山 一彦

材料開発のパラダイムシフトは起こるのか

株式会社東レリサーチセンター常務理事・IUPAC 賛助会員委員会委員長 いしきりやまかずひこ 石切山一彦

国連が 2015 年に採択した SDGs (持続可能な開発目標) には材料開発に関連する項目が多いが、なかでも目標 9 「産業と技術革新の基盤をつくろう」は我々への役割期待が大きい。材料・素材分野でのイノベーションは、革新的な製品群の創出に繋がることから、社会に与えるインパクトは計り知れない。これまで材料の研究開発現場では、種々の物性のトレードオフを解消し、物性・品質向上のため、物性発現メカニズムの究明や、物性低下・劣化等の本質原因の解明が求められていた。まずは仮説を立て、その仮説に基づいて材料を試作し、その妥当性を検証、そして再び仮説を立てて物性向上を図る、というサイクルを高速回転させることによって材料開発を加速してきた。謂わば、これまでは演繹的な手法により材料開発を進めてきたと言える。

ところが最近では、データ駆動科学の登場により、演繹法から帰納法への潮流変化が起こり始めている。データ駆動科学を活用すると、構造から物性への順方向予測だけでなく、その逆方向予測、すなわち本質原因を究明せずとも最適な物性のための構造を予測でき、高性能の物性を有する材料開発が進展する可能性が開けてきた。実際、その手法により新規物性を有する化合物を提案・合成し、物性向上を確認したという研究発表が徐々にではあるが増加している。演繹法である第一原理計算をはじめとするシミュレーションでは、順方向予測のみ、すなわち構造を与えないと物性は予測できず、逆方向予測は難しい。データ駆動科学の登場により、研究開発の方法がパラダイムシフトする可能性が出てきている。

それでは、従来の演繹的方法是消失するのであろうか。オックスフォード大学のオズボーン准教授らは、2013 年に 702 の職業について近い将来に自動化されるリスク分析した結果を報告している。それによると、10~20 年程度のうちに自動化される可能性が 70% 以上と高い仕事は全体の 47%、運送や物流に関連する仕事は大半が消滅、サービス業もかなりの部分が消滅、今後労働市場で生き残っていくためには、高い創造性と社会的スキルが必要と言われている。ここで興味深いのはマテリアルエンジニアとマテリアルサイエンティストの職業の消失可能性がいずれも 2% と低いことである。これは材料開発を完全自動化するのは難しいことを示唆している。これは構造と物性の関係がプロセス条件に依拠し、一義的に決まらないことも関係しているのかもしれない。

高分子材料を例にとると、少なくとも結晶性高分子では 1 次構造だけでは物性は決まらず、前処理温度や延伸条件などのプロセス条件により、その高次構造、具体的には結晶、非晶、そして剛直非晶やメソフェーズ等の中間相の状態と量が変化するために、物性は大きく異なる。また非晶は、ガラス転移温度以下では非平衡状態のため、経時的に体積緩和が生じ、緻密化する。様々なプロセスで得られた材料の高次構造や物性、しかもその経時変化のデータを収集するのは、プロセスの種類や条件が無数に存在すること、かつ材料試作・測定・解析に膨大な時間を要することから必ずしも容易ではなく、そのためマテリアルインフォマティクスを活用して物性から構造への逆方向予測するのは難しい状況となっている。とはいえ様々なプロセス条件に対する物性データを力業で収集し、あるいはシミュレーション併用等によりデータ補完ができれば、将来的には機械学習が可能になり、逆方向予測により所望の物性を有する構造やプロセス条件を予測できるようになるかもしれない。今後のマテリアルインフォマティクスの進展に大いに期待したい。

最後に国際周期表年 2019 についてご紹介させて頂きたい。今年は、① 2016 年に 113 番目の元素ニホニウム (Nh) を含む 118 番までの 4 元素名が確定し、周期表の第 7 周期までが完成したこと、② 2019 年はドミトリー・メンデレーフが元素の周期律を発表してから 150 周年に当たること等の理由により、国連と UNESCO によって「国際周期表年 2019」が宣言され、様々なイベントが開催されている。日本では、UNESCO・IUPAC (国際純正・応用化学連合) の要請により、2019 年 12 月に閉会式が開催される予定である。それを受けて国際周期表年実行委員会 (委員長: 玉尾皓平) が設立され、国際周期表年の記念事業への協賛・支援をお願いしている (詳細は <https://iypt.jp> 参照)。現在、アカデミア 61 機関、企業 36 社のご賛同を頂いているが、特に企業からは IUPAC 賛助会員へのご支援も含めて決して多い状況ではない。持続的発展のためには、国際競争力の維持・強化のみならず、SDGs をはじめとする国際協調活動も同時並行的に実施することが求められている。材料・素材分野で強みを発揮している日本の動向には世界中から熱い視線が向けられていることを認識しておく必要がある。

目次

01 やあ こんにちは
材料開発のパラダイムシフトは起こるのか
石切山一彦

02 トピックス
酸化物イオン伝導体の
新材料探索とイオン
伝導機構の解明
藤井孝太郎・
八島 正友

05 研究所紹介
産業技術センター
瀬戸窯業試験場
高橋 直哉

07 ご案内, 新刊紹介

08 To the Overseas
Members of MRS-J,
編集後記

■トピックス

酸化物イオン伝導体の新材料探索とイオン伝導機構の解明

東京工業大学理学院化学系 助教 藤井孝太郎・教授 やしま まさと
八島 正知

1. はじめに

酸化物イオン伝導体は、固体酸化物形燃料電池や酸素センサー等への応用が可能な材料である。よりイオン伝導度の高い材料の開発が求められているが、それを達成するためには、(1)新しい酸化物イオン伝導体の探索と、(2)既存の酸化物イオン伝導体におけるイオン伝導機構を解明することが必要不可欠である。酸化物イオンの伝導度は、その材料を構成する結晶構造と密接な関係がある。我々の研究グループは、構造解析を得意としており、構造を意識した新材料探索や、精密構造解析による構造物性の研究を進めている。本稿では、我々の研究グループが最近報告した新しい酸化物イオン伝導体の研究例と、酸化物イオン伝導機構を明らかにした研究例を簡単に紹介する。

2. 酸化物イオン伝導体の新構造ファミリーの発見

現在、酸化物イオン伝導の研究の多くは、特定の結晶構造型（たとえば蛍石型やペロブスカイト型など）に集中しており、酸

化物イオン伝導体の新しい構造ファミリーを見出すことは、挑戦的ではあるが、重要な課題である。そこで我々は、種々の戦略を立て、新しい酸化物イオン伝導体を見出してきた。

BaNdInO₄は、2014年に我々が発見した新しい構造型に属する新物質の酸化物イオン伝導体である¹⁾。これまでにK₂NiF₄型構造に属するAA'BO₄組成をもつ材料が、高い酸化物イオン伝導度を示すことが報告されていた。ここでAとA'は比較的大きい陽イオンで、Bは比較的小さい陽イオンである。多くのK₂NiF₄型構造において、AとA'は結晶学的に同じ席（サイト）を占有している。そこでAとA'のイオンサイズに差をつけることでAとA'が結晶学的に異なる位置を占有する新構造が得られることを期待した。比較的大きく、電子伝導度が低いと期待される陽イオンの組み合わせを検討し、最終的にBa、Nd、Inという組み合わせで、新しい構造型かつ酸化物イオン伝導体であるBaNdInO₄を見出した。未知結晶構造解析によって明らかにしたBaNdInO₄の結晶構造は、A希土構造ユニットとペロブスカイトユニットが交互に積層した新しい構造的特徴をもった酸化物であった（図-1a）。その後、酸化物イオン伝導度を向上させる目的で、Ndの一部を他のアルカリ土類金属元素に置換したBaNd_{0.9}Sr_{0.1}InO_{3.95}やBa_{1.1}Nd_{0.9}InO_{3.95}を合成し、電気伝導測定と結晶構造解析を行った。その結果、基本組成であるBaNdInO₄より酸化物イオン伝導度がBaNd_{0.9}Sr_{0.1}InO_{3.95}において20倍（図-1b）、Ba_{1.1}Nd_{0.9}InO_{3.95}において12倍高くなることを見出し、その主たる構造的要因がイオン伝導のキャリアとなる酸素空孔が増えたことによることを構造解析から明らかにした^{2,3)}。最近では、Ndを他の希土類元素に換えたBaRInO₄（R=Nd, Eu, Y, Yb）がBaNdInO₄と同型構造をもつ新物質であることを見出し^{4,5)}、BaRInO₄と似た組成の新物質探索を行い、CaFe₂O₄型構造として初めての純イオン伝導体SrYbInO₄を発見する⁶⁾など、新しい材料を発見し続けている。

一方、結合原子価法を活用したイオン伝導体候補材料のスクリーニングにより、多くの新しい酸化物イオン伝導体を見出している^{7,8,9,10)}。結合原子価法を使えば、結晶構造中の任意の位置におけるテストイオンのエネルギーを簡便に評価できる。例えば結晶構造全域について酸化物イオンのエネルギーを計算することで、酸化物イオン伝導に対するエネルギー障壁を見積もることも可能である。この手法を用い、無機結晶構造データベース（ICSD）に登録されている酸化物の中から、酸化物イオン伝導体としての可能性をもつ材料を探し出し、実際に試料を合成して実験により酸化物イオン伝導度を測定し、結晶構造と伝導機構を調べた。これまでd¹⁰の電子配置をもつ陽イオンを含む酸化物イオン伝導体がいくつか報告されているが、Sn⁴⁺（スズ）やZn²⁺（亜鉛）を主要なイオンとして含む酸化物イオン伝導体の報告例は少なかった。そこで、これらの元素を含む酸化物について、結合原子価法による酸化物イオン伝導体候補材料のスクリーニングを行い、酸化物イオン伝導体の新構造ファミリーMg₃TeO₆型構造をもつCa_{0.8}Y_{2.4}Sn_{0.8}O₆（図-2a）とBaY₂CuO₅型構造をもつBaHo₂ZnO₅

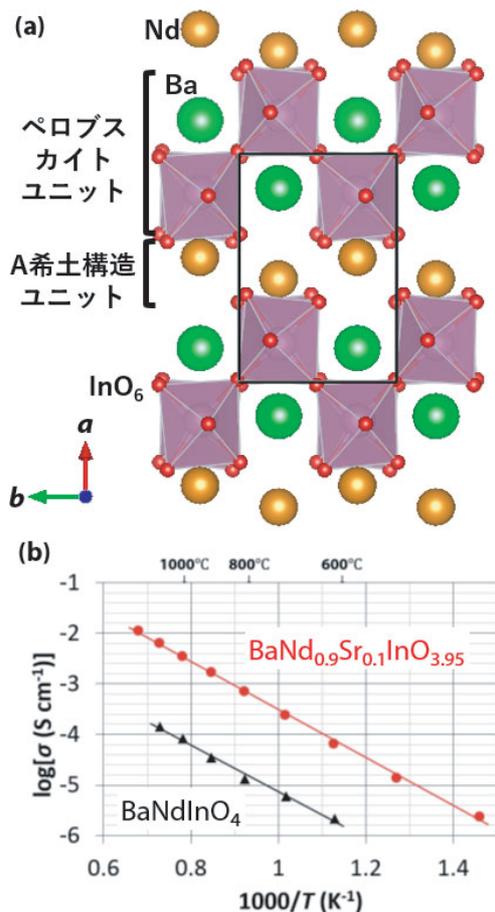


図-1 (a) BaNdInO₄の結晶構造、(b) BaNdInO₄および BaNd_{0.9}Sr_{0.1}InO_{3.95}のイオン伝導度のアレニウスプロット²⁾ © Royal Society of Chemistry

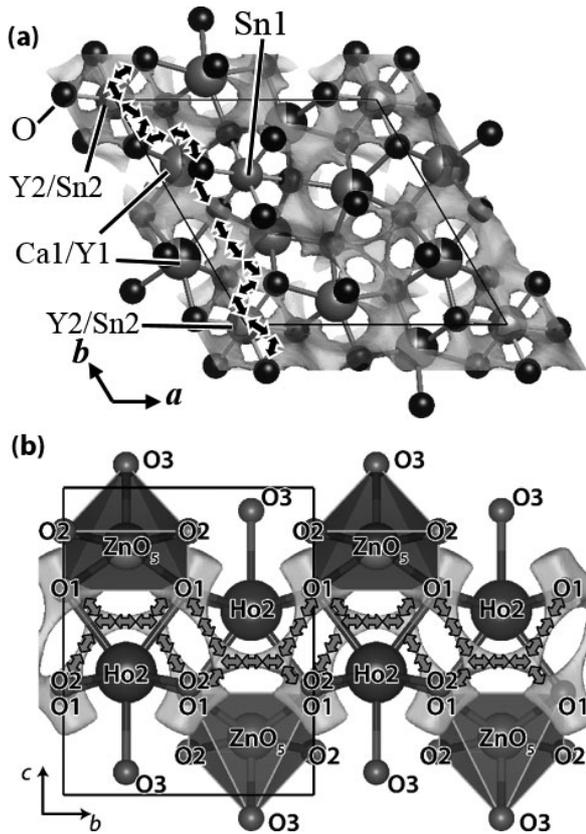


図-2 (a) Mg₅TeO₆型 Ca_{0.8}Y_{2.4}Sn_{0.8}O₆⁷⁾と、(b) BaHo₂ZnO₅型 BaHo₂ZnO₅⁸⁾の結晶構造と結合原子価に基づく酸化物イオンのエネルギー図(透過灰色の等値面)。矢印はイオン拡散経路の可能性を示す © Royal Society of Chemistry (a)、© 日本セラミックス協会 (b)

(図-2b) を発見した。それらの構造中における酸化物イオンの拡散経路を、結合原子価に基づくエネルギー計算から調べた。Ca_{0.8}Y_{2.4}Sn_{0.8}O₆では、三次元の酸化物イオン拡散、BaHo₂ZnO₅では一次元の酸化物イオン拡散が示唆された。このように、結合原子価法は新しいイオン伝導体を探索する手法として有用であり、イオン拡散経路を考察することにも活用できる。

3. 中性子回折法で明らかにする酸化物イオン伝導機構

高い酸化物イオン伝導度を示すことが知られているにもかかわらず、その機構が明確に解明されていないものがある。そのイオン伝導機構を解明することは、次の酸化物イオン伝導体を設計する指針の礎となるため、重要な課題である。我々の研究グループは、中性子回折法を主たる手法として、種々の酸化物イオン伝導体のイオン伝導機構の解明を進めてきた。

アパタイト型構造を有するランタンシリケートは、1995年に中山らによって見出された高い酸化物イオン伝導度を示す物質で、La_{9.333}Si₆O₂₆が基本組成である¹¹⁾。この材料は、「c軸方向に高いイオン伝導度を示す」、「ランタンを過剰にした組成(La_{9.333+x}Si₆O_{26+2x/3}またはLa_{9.333+x}Si_{6-4/3x}O₂₆)が高いイオン伝導度を示す」という2つの特徴をもつ。長い間、ランタン過剰組成はLa_{9.333+x}Si₆O_{26+2x/3}と記述され、その高いイオン伝導度は結晶構造中の格子間に存在する過剰な酸素(La_{9.333+x}Si₆O_{26+2x/3}の2x/3)によると言われてきた。これに対し、我々は大きな単結晶試料を作製し、そのイオン伝導度の評価と単結晶中性子回折法による構造解

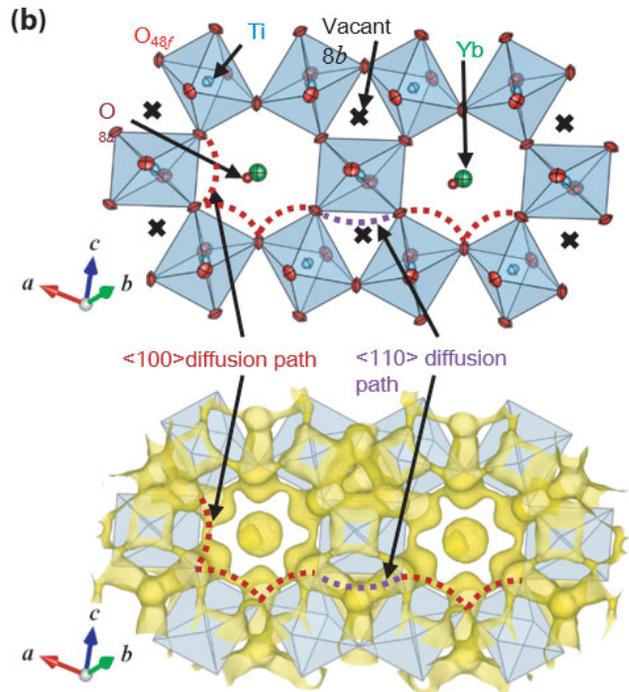
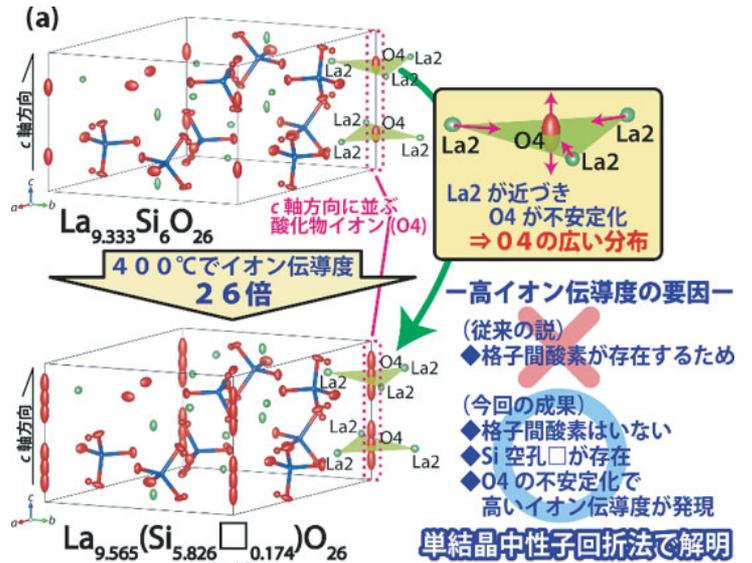


図-3 (a) アパタイト型酸化物イオン伝導体の研究概要¹²⁾、(b) パイロクロア型 Yb₂Ti₂O₇の結晶構造(上部)と核密度分布で示されたイオン拡散経路(下部)¹³⁾ © 日本セラミックス協会

析から、従来の説が間違っていることを見出した(図-3a)¹²⁾。単結晶中性子回折データに基づく構造解析と密度測定の結果、ランタン過剰組成には、これまでその存在が信じられてきた格子間酸素は存在せず、代わりにSi空孔が存在するLa_{9.333+x}Si_{6-4/3x}O₂₆という組成が正しいことをはじめて明確に示した。400°Cにおいて基本組成(La_{9.333}Si₆O₂₆)に比べ、ランタン過剰組成(La_{9.565}Si_{5.826}O₂₆)のc軸に沿った酸化物イオン伝導度は26倍高かった。この原因をアレニウスプロットから分析したところ、c軸に沿ったイオン伝導度の活性化エネルギーが低いためであることがわかった。解析した結晶構造を吟味したところ、ランタン過剰組成La_{9.565}Si_{5.826}O₂₆における、低い酸化物イオン伝導の活性化エネルギーの要因は、アパタイトチャンネル内のO4における結合原子価の総和(BVS)が高いこと(オーバーボンディング、overbonding)に

よることを見出した。これは、基本組成に比べ、ランタン過剰組成においてO4酸素が不安定化していることを示しており、チャンネル内の酸化イオンに対するポテンシャルが平滑化していることを示唆している。既報の活性化エネルギーとO4のBVSの関係にも相関が見られ、我々の提案する「O4酸素のオーバーボンディングによるポテンシャル平滑化により高い酸化イオン伝導度が生じる」という考えが正しいことが確認された。

中性子は原子核によって散乱されるため、高温においてその場測定した中性子回折データを用いて精密な構造解析を実施すると、酸化イオンの拡散経路を直接観察することもできる。我々は、高温中性子回折データを最大エントロピー法 (MEM) という情報処理の手法を組み合わせることで、種々の酸化イオン伝導体におけるイオン拡散経路を明らかにしてきた。パイロクロア型 $\text{Yb}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ の研究例では、293 K および 1173 K にて測定した中性子回折データから、MEM による核密度分布を計算した¹³⁾。その結果、 TiO_6 八面体の稜に沿った $\langle 110 \rangle$ 方向および $\langle 100 \rangle$ 方向に沿った酸化イオンの拡散経路を可視化することに成功した (図-3b)。パイロクロア型構造の酸化イオン伝導体については、いくつかのイオン拡散経路が示唆されていたが、酸化イオンの拡散経路を実験により可視化したのは本研究が初の例である。また、2016年に高い酸化イオン伝導度を示すことが報告された $\text{Ba}_3\text{MoNbO}_{8.5-\delta}$ ¹⁴⁾ についても、最近そのイオン拡散経路を報告している¹⁵⁾。 $\text{Ba}_3\text{MoNbO}_{8.5-\delta}$ は、(Mo/Nb) O_6 八面体を含む 9R polytype と (Mo/Nb) O_4 四面体を含む palmierite 型構造からなるハイブリッド構造である。この八面体サイトと四面体サイトを酸化イオンが交換すること (interexchange) により、二次元の酸化イオン拡散経路が形成されることを明らかにした。MEM で可視化したイオンの拡散経路は、イオン伝導機構を明らかにする最も重要な情報であり、上記の例で示した研究成果は、今後のイオン伝導体の設計指針に大きく寄与すると期待される。

4. まとめ

本稿では、酸化イオン伝導体に関する我々の研究成果を簡単に紹介した。我々の「結晶構造」を基盤とする研究は、新しい酸化イオン伝導体の発見や、イオン伝導機構の詳細な理解につながっている。今後もこれらの成果から系統的な理解を進めていくことで、次世代の革新的な酸化イオン伝導体の発見につなげていきたいと考えている。

本研究は、文献リストの共著者に示した多くのスタッフ・学生・共同研究者との共同研究で得られた成果である。共同研究者と研究にご協力頂いた皆様に感謝を申し上げます。本稿で紹介した研究は、科研費 (JP24850009, JP24226016, JP24246107, JP25630365, JP15H02291, JP26870190, JP16H00884, JP16H06293, JP16H06440, JP16H06438, JP16K21724, JP17H06222, JP19H00821) の支援を受けて実施したものです。また、中性子および放射光の実験は次の課題番号で実施したものです。J-PARC: 2012B0217, 2013A0136, 2013B0100, 2013B0178, 2013B0198, 2014A0011, 2014B0114, 2014B0233, 2014A M0011, 2015A0146, 2015A0190, 2015A0249, 2016A0175, 2017A0053, 2017A0111, 2017L1300; ANSTO: P2696, DB2638, MI2673, P3209, P3648, P4008, P4501, P4682, P4943, PP5198; HANARO: NB-HRPD/2013-000026, 27, 2014-0071, 72, KEK PF: 2011G185, 2013G216, 2013G053, 2014G508, 2015G047, 2016G644, 2017G168, 2018G543, JASRI SPring-8: 2012B1696, 2013B1718, 2014A1510, 2014B1660, 2014B1922, 2015B1596, 2015A1674, 2015B1901, 2016A1616。外部施設での実

験における旅費は東京大学物性研から補助を受けました (12725, 13679, 14643, 14657, 15616, 16604, 16595)。

文 献

- 1) K. Fujii, Y. Esaki, K. Omoto, M. Yashima, A. Hoshikawa, and T. Ishigaki, New Perovskite-Related Structure Family of Oxide-Ion Conducting Materials NdBaInO_4 , *Chem. Mater.*, **26**, 2488 (2014).
- 2) K. Fujii, M. Shiraiwa, Y. Esaki, M. Yashima, S. J. Kim, and S. Lee, Improved oxide-ion conductivity of NdBaInO_4 by Sr doping, *J. Mater. Chem. A*, **3**, 11985 (2015).
- 3) M. Shiraiwa, K. Fujii, Y. Esaki, S. J. Kim, S. Lee, and M. Yashima, Crystal Structure and Oxide-Ion Conductivity of $\text{Ba}_{1+x}\text{Nd}_{1-x}\text{InO}_{4-x/2}$, *J. Electrochem. Soc.*, **164**, F1392 (2017).
- 4) K. Fujii, and M. Yashima, Discovery and development of BaNdInO_4 —A brief review—, *J. Ceram. Soc. Jpn.*, **126**, 852 (2018).
- 5) (a) 特許. 6384945 (2018年8月17日取得), 八島正知, 藤井孝太郎, 尾本和樹, 江崎勇一, 齋藤千紘, ペロブスカイト関連化合物, (b) US patent, US9656878B2 (Grant on Mar. 5, 2015), M. Yashima, K. Fujii, K. Omoto, Y. Esaki, C. Saito, Perovskite related compounds.
- 6) A. Fujimoto, M. Yashima, K. Fujii, and J. R. Hester, New Oxide-Ion Conductor SrYbInO_4 with Partially Cation-Disordered CaFe_2O_4 -Type Structure, *J. Phys. Chem. C* **121**, 21272 (2017).
- 7) R. Inoue, K. Fujii, M. Shiraiwa, E. Niwa, and M. Yashima, A new structure family of oxide-ion conductor $\text{Ca}_{0.8}\text{Y}_{2.4}\text{Sn}_{0.8}\text{O}_6$ discovered by a combined technique of the bond-valence method and experiments, *Dalton Trans.*, **47**, 7515 (2018).
- 8) K. Nakamura, K. Fujii, E. Niwa, and M. Yashima, Crystal structure and electrical conductivity of BaR_2ZnO_5 ($R = \text{Sm, Gd, Dy, Ho, and Er}$)—A new structure family of oxide-ion conductors, *J. Ceram. Soc. Jpn.*, **126**, 292 (2018).
- 9) E. Niwa and M. Yashima, Discovery of Oxide-Ion Conductors with a New Crystal Structure, $\text{BaSc}_{2-x}\text{A}_x\text{Si}_3\text{O}_{10-x/2}$ ($A = \text{Mg, Ca}$) by Screening Sc-Containing Oxides through the Bond-Valence Method and Experiments, *ACS Appl. Energy Mater.*, **1**, 4009 (2018).
- 10) 特許. 6448020 (2018年12月14日取得), 八島正知, 藤井孝太郎, 尾本和樹, 上田孝志朗, 山田駿太郎, 白岩大裕, 結晶性無機化合物。
- 11) S. Nakayama, T. Kageyama, H. Aono, and Y. Sadaoka, Ionic conductivity of lanthanoid silicates, $\text{Ln}_{10}(\text{SiO}_4)_6\text{O}_3$ ($\text{Ln} = \text{La, Nd, Sm, Gd, Dy, Y, Ho, Er, and Yb}$), *J. Mater. Chem.*, **5**, 1801 (1995).
- 12) K. Fujii, M. Yashima, K. Hibino, M. Shiraiwa, K. Fukuda, S. Nakayama, N. Ishizawa, T. Hanashima, and T. Ohhara, High oxide-ion conductivity by the overbonded channel oxygens in Si-deficient $\text{La}_{9.565}(\text{Si}_{5.826}\square_{0.174})\text{O}_{26}$ apatite without interstitial oxygens, *J. Mater. Chem. A*, **6**, 10835 (2018).
- 13) W. Uno, K. Fujii, E. Niwa, S. Torii, P. Miao, T. Kamiyama, and M. Yashima, Experimental visualization of oxide-ion diffusion paths in pyrochlore-type $\text{Yb}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$, *J. Ceram. Soc. Jpn.*, **126**, 341 (2018).
- 14) S. Fop, J. M. S. Skakle, A. C. McLaughlin, P. Connor, J. T. S. Irvine, R. I. Smith and E. J. Wildman, Oxide Ion Conductivity in the Hexagonal Perovskite Derivative $\text{Ba}_3\text{MoNbO}_{8.5}$, *J. Am. Chem. Soc.*, **138**, 16764 (2016).
- 15) M. Yashima, T. Tsujiguchi, K. Fujii, E. Niwa, S. Nishioka, J. R. Hester, and K. Maeda, Direct evidence for two-dimensional oxide-ion diffusion in the hexagonal perovskite-related oxide $\text{Ba}_3\text{MoNbO}_{8.5-\delta}$, *J. Mater. Chem. A*, **7**, 13910 (2019).

■連絡先



藤井孝太郎

八島正知

東京工業大学理学院化学系
教授 八島正知
〒152-8551 東京都目黒区大岡山
2-12-1 W4-17
Email: yashima@cms.titech.ac.jp

■研究所紹介

あいち産業科学技術総合センター 産業技術センター 瀬戸窯業試験場

あいち産業科学技術総合センター 産業技術センター瀬戸窯業試験場 セラミックス技術室技師 たかはし なおや 高橋 直哉

1. はじめに

産業技術センター瀬戸窯業試験場は愛知県の公設試験研究機関であり、昭和46年(1971年)2月に愛知県瀬戸窯業技術センターとして開所以来、愛知県瀬戸地域を中心とした窯業関連企業への技術支援を行ってきました。現在は、あいち産業科学技術総合センターの組織体制(図-1)のもと、「せともの」に代表される和・洋食器やノベルティなど、窯業製品の生産技術の向上やデザイン開発で貢献するとともに、今後大きな成長が期待できるファインセラミックスの研究開発にも積極的に取り組んでいます。主な業務として、研究開発、技術相談指導、依頼試験、情報提供、人材育成を行っています。



図-1 あいち産業科学技術総合センター組織図

【研究開発】：業界のニーズ及び社会情勢に応じて研究テーマを選定し、その研究成果を講習会・講演会・刊行物等で公表しています。企業等との共同研究も行っています。

【技術相談指導】：企業からの要望により、生産現場に出向き実地に即した指導を行い、技術的問題の解決を図っています。また技術的問題の相談、問い合わせにも応じています。

【依頼試験】：企業からの依頼により、製品・原材料の分析・試験などを実施し、その結果を成績書等で報告しています。また試作のための機械器具類の貸付なども実施しています。

【情報提供】：研究成果や内外の情報を普及・提供するため、講演会・講習会・研究会を随時開催しています。また専門図書を整備し、窯業界の技術力の向上等に役立つ情報を提供しています。

【人材育成】：企業からの要望により、研修生を随時受け入れています。

本稿では、当試験場が保有しており、試験研究、技術支援や依頼分析などに利用されている設備の一部をご紹介します。

2. 設備紹介

2.1 蛍光 X 線分析装置

試料に X 線を照射し、放出される蛍光 X 線を検出・解析することで、試料に含まれる元素の種類と量を分析します(図-2)。元素の種類を特定する定性分析と組成量を決定する定量分析が可能で、セラミックス原料・製品等の分析に用いられます。

2.2 粒度測定装置 (レーザー回折散乱法)

粉末状の試料を液体中に分散させ、レーザー光を照射して得ら



図-2 蛍光 X 線分析装置



図-3 粒度測定装置

れる回折・散乱光を解析することで、試料の粒度分布を分析します(図-3)。0.04~262 μm の範囲の試料を分析可能です。セラミックス原料の品質管理を目的とした粒度分布測定などに用いられますが、粒度分布は測定手法によって大きく異なる結果が得られる場合があることに注意が必要です。

2.3 熱伝導率測定装置 (フラッシュ法)

板状の試料の片面にパルス光(キセノンフラッシュ)を照射し、反対側の面の温度変化を検出することで、試料の熱拡散率及び比熱・熱伝導率を測定します(図-4)。セラミックスをはじめ、金属材料やプラスチックについて、室温から500 $^{\circ}\text{C}$ までの温度範囲で測定が可能です。断熱材料や放熱材料の開発等に用いられます。

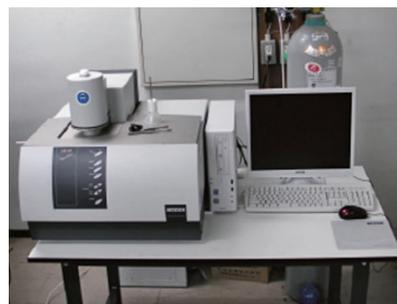


図-4 熱伝導率測定装置

2.4 熱膨張測定装置

試料を可動式の押し棒で固定しながら加熱を行い、温度変化に伴う試料の膨張・収縮を押し棒の変位として検出します（図-5）。室温から1600℃までの測定が可能で、ファインセラミックスの材料開発のための熱膨張率測定のほか、粘土の焼結やガラス転移の観測等、様々な目的で使用されます。



図-5 熱膨張測定装置

2.5 万能試験機

陶磁器、ファインセラミックス、コンクリート、ガラス等の各種材料について、3点曲げ試験や圧縮試験、引っ張り試験を行うことができます（図-6）。このうち曲げ試験については、装置を電気炉と組み合わせることで、1600℃までの高温下で試験が可能です。



図-6 万能試験機

2.6 耐火度試験機

粉末試料を三角錐（コーン）に成形し、標準コーン（ゼーゲルコーン）とともにガスバーナーによって加熱し、試験コーンと標準コーンの変形を照らし合わせることで、耐火物や窯業原料の耐熱性を評価します（図-7）。標準コーン SK019（690℃）から同 SK35（1770℃）の範囲での評価が可能です。



図-7 耐火度試験機

2.7 試作用設備

分析機器の他に、冷間等方圧プレス（CIP）やボールミル、電



図-8 試作用設備

気炉や雰囲気炉など、窯業製品の製造に関連する設備を保有しており、試験研究に使用するほか、貸付も行っています（図-8）。

2.8 釉薬テストピース・釉薬データベース

釉薬テストピースは、様々な釉薬（陶磁器の表面に施すガラス質の層）について、調合や焼成条件を変えて実際に焼成されたテストピースで、色見本のように活用されます（図-9）。国立研究開発法人産業技術総合研究所中部センターにおいて長年にわたって収集・蓄積されたものを、譲渡・使用許諾を受けて今年度から公開しています。約15万点におよぶテストピースは、そのものが大変貴重な資料ですが、現在これをデジタルデータ化する作業が進行中です。この釉薬データベースについても、既にデータ化されている分は使用可能で、釉薬の色や種類などの条件を設定して検索・閲覧することができます。

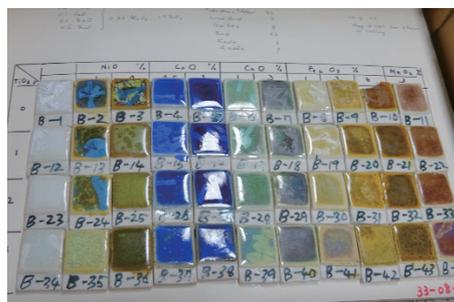


図-9 釉薬テストピース

3. おわりに

本稿では、産業技術センター瀬戸窯業試験場の概要および設備の一部を紹介させていただきました。依頼試験は有料ですが、技術相談指導は無料で実施しておりますので、窯業製品に関するご相談があるときや、依頼試験について詳しい説明が必要な場合など、お気軽にご連絡ください。

■連絡先



あいち産業科学技術総合センター 産業技術センター瀬戸窯業試験場
セラミックス技術室技師 高橋直哉
〒489-0965 瀬戸市南山口町 537
E-mail: naoya_takahashi@pref.aichi.lg.jp
Tel: 0561-21-2116 Fax: 0561-21-2128

ご 案 内

日本 MRS 組織・役員等 (2019 年 6 月～2021 年 6 月 定時総会終結時)

代表理事・会長
細野秀雄 東京工業大学元素戦略研究センターセンター長/栄誉教授

理事・副会長
有沢俊一 国立研究開発法人物質・材料研究機構機能性材料研究拠点グループリーダー

白谷正治 九州大学システム情報科学研究院研究院長/教授
松下伸広 東京工業大学物質理工学院材料系教授

理事
青木学聡 京都大学情報環境機構 IT 企画室准教授
伊熊泰郎 神奈川工科大学名誉教授
岩田展幸 日本大学理工学部教授
岡部敏弘 芝浦工業大学大学院連携大学院客員教授
酒井 均 日本ガイシ株式会社研究開発本部常勤参与/本部長補佐
佐藤貴哉 独立行政法人国立高等専門学校機構本部事務局研究推進課教授/研究統括参与

重里有三 青山学院大学大学院理工学研究科機能物質創成コース教授
高井まどか 東京大学大学院工学系研究科バイオエンジニアリング専攻教授
高梨弘毅 東北大学金属材料研究所所長/磁性材料学研究部門教授
鶴見敬章 東京工業大学物質理工学院材料系教授
出口雄吉 東レ株式会社代表取締役副社長
手嶋勝弥 信州大学先鋭材料研究所教授
豊田裕介 株式会社本田技術研究所オートモービルセンター材料開発室室長/主任研究員

中野貴由 大阪大学大学院工学研究科マテリアル生産科学専攻教授
森 利之 国立研究開発法人物質・材料研究機構エネルギー・環

境材料研究拠点上席研究員
山浦一成 国立研究開発法人物質・材料研究機構量子物質創製グループグループリーダー

渡邊友亮 明治大学理工学部応用化学科教授
山口 周 独立行政法人大学改革支援・学位授与機構研究開発部特任教授

内田儀一郎 名城大学理工学部教授
松本佳久 大分高等工業専門学校機械工学科教授/校長補佐
監 事
齋藤永宏 名古屋大学大学院工学研究科科学システム工学専攻教授
山本 寛 日本大学理工学部特任教授

顧問
梶山千里 公立大学法人福岡女子大学理事長・学長
岸 輝雄 東京大学名誉教授/国立研究開発法人物質・材料研究機構顧問

岸本直樹 国立研究開発法人物質・材料研究機構名誉研究員
鈴木淳史 横浜国立大学大学院環境情報研究院人工環境と情報部門教授

高井 治 関東学院大学材料・表面工学研究所所長・教授/名古屋大学名誉教授
増本 健 公益財団法人電磁材料研究所相談役
山本良一 山本エコプロダクツ研究所/東京大学名誉教授/国際グリーン購入ネットワーク名誉会長

吉村昌弘 国立成功大学招聘講座教授/東京工業大学名誉教授
東 雄一 公益社団法人自動車技術会常務理事
高原 淳 九州大学先端物質化学研究所分子集積化学部門複合分子システム分野教授

名誉顧問
堂山昌男 東京大学名誉教授/帝京科学大学名誉教授
長倉三郎 東京大学名誉教授/日本学士院前院長 (23 代)

■第 29 回日本 MRS 年次大会

日時：2019 年 11 月 27 日(水)～29 日(金)
場所：横浜情報文化センター、横浜市開港記念会館、万国橋会議センター、産業貿易センタービル
懇親会：11 月 29 日(金)19:00-20:30、ホテルメルパルク横浜 2 階「エトワール」
★国際シンポジウム ◎ Representative
A 織り成すスピニングが生み出す新しい物性と応用
◎長尾全寛 (名大)
B 高強度レーザ光源を用いた固体材料の新しい光機能
◎沖本洋一 (東工大)
C★ プラズマライフサイエンス
◎金子俊郎 (東北大)
D ナノカーボンマテリアル
◎青木伸之 (千葉大)
E 計算機シミュレーションによる先端材料の解析・機能創成
◎吉矢真人 (大阪大)
F★ イオンビームを利用した革新的材料創製
◎雨倉 宏 (物材機構)
G マテリアルズ・フロンティア
◎伊藤 建 (東海大)
H エコものづくりセクション
◎岡部敏弘 (芝浦工大)
I スマート社会・スマートライフのためのバイオセンサ・バイオ燃料電池
◎四反田功 (理科大)
J★ 界面におけるナノバイオテクノロジー
◎田中 賢 (九大)
K 有機イオンエレクトロニクス—バイオミメティックデバイス—
◎金藤敬一 (大阪工大)
L ソフトマテリアルサイエンス～高分子化学を基盤とした溶液・表面・界面・バルクの機能

◎渡邊順司 (甲南大)
M ソフトアクチュエータ
◎奥崎秀典 (山梨大)
N 自己組織化材料とその機能 XVI
◎藪内一博 (中部大)
O 先導的スマートインターフェースの確立
◎中西 淳 (物材機構)
P 変形下にある高分子材料の解析技術最前線
◎中嶋 健 (東工大)
S1 社会実装材料研究シンポジウム
◎松本佳久 (大分高専)
S2 バイオ・先端材料関連研究シンポジウム
◎兼松秀行 (鈴鹿高専)
連絡先：日本 MRS 事務局 meetings2019@mrs-j.org

■共催・協賛

▽高強度金属材料の機能発現機構—転位論の基礎から材料強度化まで—、主催：日本金属学会、協賛：日本 MRS ほか、日時・場所：9 月 4 日(水)、東京大学 (本郷キャンパス) 工学部 4 号館、連絡先：日本金属学会・中屋宛、nakaya@wood3-staff.t.u-tokyo.ac.jp

▽11th International Symposium on Transparent Oxide and Related Materials for Electronics and Optics (TOEO-11)、日時・場所：2019 年 10 月 7～9 日、東大寺総合文化センター、奈良市、連絡先：Prof. Norifumi Fujimura (Osaka Prefecture University)、fujim@pe.osakafu-u.ac.jp

■新刊紹介

Trans. MRS-J, vol. 44, No. 3, June, 2019 が刊行されました。論文標題、著者は、下記のとおりです。

Review Paper

▽Keiichi Kaneto, Fumito Hata, Sadahito Uto, Mechanisms of Contraction Force in Conducting Polymer Polypyrrole Softactuator

Regular Papers

- ▽Akane Kitamura, Norito Ishikawa, Keietsu Kondo, Yuki Fujimura, Syunya Yamamoto, Tetsuya Yamaki, FE-SEM observations of multiple nanohillocks on SrTiO₃ irradiated with swift heavy ions
- ▽Kaoru Nobuoka, Satoshi Kitaoka, Metal Ion-Responsive Gelation in Nicotinic Based Ionic Liquid
- ▽Satoshi Kitaoka, Kaoru Nobuoka, Shintaro Izawa, Investigation of Suitable Structure of Ionic Liquids for the Synthesis of Phthalocyanines
- ▽Takeru Ito, Yoshiki Kiyota, Tatsuma Oda, Masayuki Watanabe,

- Seiji Ono, Yoshiki Oda, Toshiyuki Misawa, Toru Isono, Saki Otake, Yosuke Okamura, Shinichi Koguchi, Masashi Higuchi, Yu Nagase, Highly Conductive Polymer Electrolytes Constructed from Polymerizable Ionic-Liquid and Inorganic Cluster
- ▽Doppo Matsubara, Yoshiaki Wakashima, Yasushi Fujisawa, Hidemaru Shimizu, Akihisa Kitamori, Koichiro Ishikawa, A novel method for estimating ultimate clamp force in lag screw timber joints with steel side plates
- ▽Takashi Wakamatsu, Effects of salts on pre-crystalline lysozyme aggregation characterized by forward static light scattering



To the Overseas Members of MRS-J

■New trend in materials research and development p. 1
Kazuhiko ISHIKIRIYAMA, Toray Research Center, Inc., Managing Director, Chairman of IUPAC Company Associates in Japan

Materials development has been carried out by the process of doing the essentiality investigation and verifying its validity to improve the physical property. In the meantime, not only forward prediction from structure to property but also backward prediction has begun recently using material informatics. Nevertheless, the physical properties of a material relate not only to its structure but also the manufacturing process. We hope that physical property values of materials obtained under various process conditions and data completion using simulations will make backward predictions possible in the near future.

■Exploration of New Oxide-ion Conductors and Investigation of Ion Migration Mechanism p. 2
Kotaro FUJII, Assistant Professor Dr. and Masatomo YASHIMA, Professor Dr., Tokyo Institute of Technology

In this article, we briefly review our recent works on the discovery of new structural oxide-ion conductors, precise structure analysis and oxide-ion diffusion visualization of oxide-ion conductors. Oxide-ion conductors attract much interest because of their varied uses in oxygen sensors and solid-oxide fuel cells (SOFCs). Oxide-ion conductivity is strongly dependent on the crystal structure, and several structure-types, such as fluorite- and perovskite-types, are known to show high oxide-ion conductivity. An exploration of new structure family of oxide-ion conductors is very challenging, but important task for further developments in materials science and solid state ionics. Recently we have discovered several new structural-type oxide-ion conductors such as BaNdInO₄ and its related materials, CaFe₂O₄-

type SrYbInO₄, Mg₃TeO₆-type Ca_{0.8}Y_{2.4}Sn_{0.8}O₆, and BaY₂CuO₅-type BaHo₂ZnO₅. Understanding the oxide-ion diffusion mechanism of fast oxide-ion conductors is also important. We have recently revealed the origin of high oxide-ion conductivities of the apatite-type lanthanum silicates. We have successfully visualized the oxide-ion diffusion pathway in the pyrochlore-type Yb₂Ti₂O₇ and the hexagonal perovskite-related oxide Ba₃MoNbO_{8.5-δ} by neutron diffraction techniques.

■Introduction of the Seto Ceramic Research Institute p. 5
Naoya TAKAHASHI, Assistant Director, Seto Ceramic Research Institute, Industrial Research Center, Aichi Center for Industry and Science Technology

Seto Ceramic Research Institute is a public research organization in Aichi Prefecture. Since its opening in 1971, we have provided technical support to ceramics related companies in the Seto area of Aichi Prefecture. We have various equipment for performing XRF analysis, particle size analysis, thermal expansion test, thermal conductivity measurement, etc. We use these to conduct research and analysis on request. We also own production facilities such as CIP, ball mills, electric furnaces and atmosphere furnaces. Furthermore, we have recently launched glaze samples. We have test pieces with different preparation and firing conditions for various glazes, and the number is about 150,000 in total.

■The 29th Annual Meeting of MRS-J

The annual meeting of the MRS-J will be held in Yokohama Media & Communications Center, Yokohama Port Opening Plaza, Bankokubashi Kaigi Center and, Industry & Trade Center, from November 27 to 29, 2019

編後記 今年もあっという間に初夏の時期となりました。個人的には、これから本番となる夏の風物を楽しみつつも、これまで
集記 はかどってなかった研究に取組む良い機会にしたいと思っています。皆様も、ぜひ充実した夏をお過ごしください。本
号におきましても、材料分野の研究、開発でご活躍されている方々に、大変お忙しい中ご執筆いただき、おかげさまで無
事発行させていただくことになりました。この場をお借りし御礼申し上げます。 (籠宮)

© 日本 MRS 〒274-8501 千葉県船橋市習志野台 7-24-1 日本大学理工学部 岩田展幸研究室

E-mail: iwata.nobuyuki@nihon-u.ac.jp

2019 年日本 MRS ニュース編集委員会 第 31 卷 第 3 号 2019 年 8 月 10 日発行

委員長: 岩田展幸 (日本大学理工学部)

委員: 鮫島宗一郎 (鹿児島大学学術研究院)、西本右子 (神奈川大学)、川又由雄 (東京工業高等専門学校)、狩野 旬 (岡山大学大学院)、新國広幸 (東京工業高等専門学校)、寺迫智昭 (愛媛大学大学院)、松田晃史 (東京工業大学物質理工学院)、寺西義一 (東京都立産業技術研究センター)、鈴木俊之 ((株)パーキンエルマージャパン)、籠宮 功 (名古屋工業大学)

顧問: 山本 寛 (日本大学理工学部)、岸本直樹 (物質・材料研究機構)、松下伸広 (東京工業大学物質理工学院)、伊藤 浩 (東京工業高等専門学校)、小林知洋 (理化学研究所)、寺田教男 (鹿児島大学大学院理工学研究科)、小棹理子 (湘北短期大学総合ビジネス・情報学科)

編集: 清水正秀 (東京 CTB) 出版: 株式会社内田老鶴圃 印刷: 三美印刷株式会社