

## 先端研究助成基金助成金(最先端・次世代研究開発支援プログラム) 実績報告書

本様式の内容は一般に公表されます

研究課題名	高速酸素透過膜による純酸素燃焼イノベーション
研究機関・ 部局・職名	東北大学・大学院工学研究科・教授
氏名	高村 仁

1. 研究実施期間 平成23年2月10日～平成26年3月31日

2. 収支の状況

(単位:円)

	交付決定額	交付を受けた額	利息等収入額	収入額合計	執行額	未執行額	既返還額
直接経費	126,000,000	126,000,000	0	126,000,000	126,000,000	0	0
間接経費	37,800,000	37,800,000	0	37,800,000	37,800,000	0	0
合計	163,800,000	163,800,000	0	163,800,000	163,800,000	0	0

3. 執行額内訳

(単位:円)

費目	平成22年度	平成23年度	平成24年度	平成25年度	合計
物品費	0	13,037,362	62,002,971	20,180,984	95,221,317
旅費	0	3,183,946	2,071,662	3,795,456	9,051,064
謝金・人件費等	0	862,259	4,003,245	1,160,034	6,025,538
その他	0	2,346,513	2,535,470	10,820,098	15,702,081
直接経費計	0	19,430,080	70,613,348	35,956,572	126,000,000
間接経費計	105,000	16,011,000	10,935,000	10,749,000	37,800,000
合計	105,000	35,441,080	81,548,348	46,705,572	163,800,000

4. 主な購入物品(1品又は1組若しくは1式の価格が50万円以上のもの)

物品名	仕様・型・性能等	数量	単価 (単位:円)	金額 (単位:円)	納入 年月日	設置研究機関名
電気冷凍機	TAインスツルメント製RCS90	1	1,197,000	1,197,000	2011/8/24	東北大学
Tzeroサンプルプレスキット	TAインスツルメント製 901600.901	1	516,600	516,600	2011/8/24	東北大学
示差走査熱量計	テイ・エイ・インスツルメント製 DSC Q2000	1	2,992,500	2,992,500	2011/8/25	東北大学
配向解析ソフトウェア	ブルカー・エイック クスエス製 規格なし	1	798,000	798,000	2011/12/22	東北大学
コンパクトクレードル	ブルカー・エイック クスエス製 規格なし	1	1,134,000	1,134,000	2011/12/22	東北大学
キャニスター	日本エア・リ キード(株)製	2	315,000	630,000	2012/4/17	東北大学
原子層堆積装置	OpAL	1	32,739,000	32,739,000	2012/4/27	東北大学
排ガス除外装置	MAK-025EP	1	2,100,000	2,100,000	2012/5/30	東北大学
回転補償子型多入射角高速 分光エリプソメーター	M-2000U-Tt	1	19,950,000	19,950,000	2012/11/22	東北大学
ハイ・パフォーマンス・コン ピュータ	HPGシステム ズ(株)製 型番 なし	1	2,467,500	2,467,500	2013/6/27	東北大学
高性能充放電システム(8CH)	(米)Scribner 社製 580	1	2,016,000	2,016,000	2013/12/25	東北大学
バッテリーシステム制御架台	(株)プレスト製 1200×750× 1200H	1	899,850	899,850	2014/2/27	東北大学

様式20

誘電率測定装置用インターフェース	(独)Novocontrol Technologies GmbH社製 POT/GAL±14V10A	1	2,992,500	2,992,500	2014/2/28	東北大学
超高温サンプルホルダーベースユニット	(ノルウェー)ノレックス社製 PROBOSTA T-4B	1	1,491,840	1,491,840	2014/3/14	東北大学

5. 研究成果の概要

本研究は、一段で空気中の酸素から100%の純酸素を取出せる酸素透過膜の開発を目的としており、特に、作動温度を600°C近傍まで低減し、かつ、より高い酸素透過量を発現させることを目指している。今までの実績としては、Bi-Sr-Fe系、ならびに、Ti置換Ba-Sr-Co-Fe系新規酸素透過膜の開発と、それらを10 μm程度の薄膜として多孔質支持体上に形成する技術を確立し、より低温での作動を可能にしたことが挙げられる。さらに、酸素透過量を制限する膜表面での酸素交換反応に関しても多孔体による表面修飾が有効であることを見出した。応用に関しては純酸素・酸素富化燃焼で課題となる酸素透過膜の炭酸ガス(CO<sub>2</sub>)耐性について検討を行い、高濃度炭酸ガス中でも使用可能な膜を開発した。

課題番号	GR011
------	-------

## 先端研究助成基金助成金(最先端・次世代研究開発支援プログラム) 研究成果報告書

本様式の内容は一般に公表されます
------------------

研究課題名 (下段英語表記)	高速酸素透過膜による純酸素燃焼イノベーション
	Innovation in Oxygen-Enhanced Combustion by Fast Oxygen Permeable Membranes
研究機関・部局・ 職名 (下段英語表記)	東北大学・大学院工学研究科・教授
	Professor, Graduate School of Engineering, Tohoku University
氏名 (下段英語表記)	高村 仁
	TAKAMURA, Hitoshi

### 研究成果の概要

(和文): 酸素透過膜は石炭をクリーンに活用するためのガス化処理や、燃焼・焼却炉の燃料原単位削減、排気ガス削減に寄与しうる材料である。本研究では、空気から一段で高効率に酸素を分離しうる酸素透過膜の開発を行なった。低温で高い酸素透過速度を示す材料として、Bi-Sr-Fe系やBa-Sr-Co-Fe系のペロブスカイト型酸化物が探索され、数10 μm厚の膜において毎分20 cc/cm<sup>2</sup>の透過速度を得る指針を得た。700°C以下での作動には膜表面を多孔体層で修飾することが有効であり透過速度は最大8倍増加する。また、燃焼プロセスへの応用で重要な二酸化炭素耐性のある酸素透過膜が開発された。

(英文): Oxygen permeation membranes can be used for clean coal gasification and improvement of combustion efficiencies. The purpose of this study is to develop the fast oxygen permeation membranes to be used for one-step oxygen separation from air. Bi-Sr-Fe- and Ba-Sr-Co-Fe-based perovskite-type oxides are explored; the design of membrane materials showing an oxygen permeation rate of 20 sccm/cm<sup>2</sup> is proposed. A use of porous layer is effective to lower their operation temperatures, especially, down to below 700°C, which enhances the oxygen permeation rate by a factor of 8. CO<sub>2</sub>-tolerant oxygen permeation membranes to be used for combustion processes have been also developed.

## 様式21

### 1. 執行金額 163,800,000円

(うち、直接経費 126,000,000円、 間接経費 37,800,000円)

### 2. 研究実施期間 平成23年2月10日～平成26年3月31日

### 3. 研究目的

現在、二酸化炭素の排出量削減、回収システムの高効率化のために純酸素の有効利用が注目されている。燃焼器において高濃度酸素が利用できれば、燃焼温度が上昇しカルノー効率が飛躍的に向上する。さらに、純酸素燃焼は二酸化炭素の貯留システムとの整合性に優れる。また、ごみ焼却においても酸素燃焼技術は利用燃料の大幅な削減とダイオキシン分解除去などグリーン技術として多大なメリットがある。本研究では現行の酸素製造技術より電力原単位を大幅に削減可能と期待される酸素透過膜に着目し、高効率純酸素製造を可能とする新規酸素透過膜の開発を行う。研究のポイントは現在 800～1,000℃で稼働する酸素透過膜の作動温度を 600℃近傍に低減し、かつ、より高い酸素透過量を発現させる点にあり、(1)新規酸素透過膜と(2)薄膜型酸素透過構造体を開発し、(3)酸素透過膜システムの優位性を明らかとすることである。

### 4. 研究計画・方法

#### (1) 新規酸素透過膜の開発

純酸素製造に用いる酸素透過膜は、酸素分圧  $1\sim 10^{-4}$  atm 領域と 600～700℃近傍での作動が望まれる。よって、これらの条件で高い酸化物イオン・電子混合導電性と化学的安定性を有する系として、Bi 系と侵入型酸素イオンを含む層状ペロブスカイト型酸化物に着目した。Bi 系材料は耐還元性に乏しく従来の酸素透過膜の応用には不向きであったが、酸化雰囲気では化学的に安定であり、300℃でも高酸化物イオン伝導性を発現する。侵入型酸化物イオンは、近年、層状ペロブスカイトでその存在と高い移動度が注目されている。これら材料に関して化学量論比の制御と緻密化条件の最適化を行い、酸素透過量の評価を行なう。さらに置換元素が酸素透過量に及ぼす影響を欠陥平衡と併せて明らかとする。

#### (2) 薄膜型酸素透過構造体の開発

酸素透過量を高めるためには、酸素透過の薄膜化が有効である。本研究では、多孔質体基板上への緻密な酸素透過薄膜の作製をスピコーティング法により行なった。この手法により厚さ 10 μm 程度の薄膜型酸素透過構造体を得られる。薄膜化材料としては、Bi 系と高い酸素透過量を得られる Ba-Sr-Co-Fe 系ペロブスカイト型酸化物を選択した。さらに数 10 nm の領域で緻密酸化物膜が得られる原子層堆積 (ALD)法も試みた。また、600℃近傍では膜表面の気-固相界面における酸素の乖離再結合が酸素透過を律する。そこで、酸素乖離・再結合を促進する触媒層の開発とその効果の定量解析を行なう。

(3) 酸素透過膜型純酸素システムの効率と優位性

空気からの酸素分離は、混合物からのエントロピー回収であるため、吸熱反応となる。吸熱量、膜の作動温度と酸素透過による発熱量、補機動力なども含めて酸素製造システムとしての有効性を検証する必要がある、実作動環境に近い条件で酸素透過試験を行なう。また、実作動環境下では二酸化炭素濃度が高く酸素透過膜の劣化や透過速度の低減が懸念される。そこで、酸素透過膜の二酸化炭素耐性についても検討を行う。

5. 研究成果・波及効果

(1) 新規酸素透過膜の開発

本研究で探索を行った酸素透過膜材料とその意図は下記の通りである。

Bi-Sr-Fe 系 (BSF)

- ・  $\text{Bi}_{1-x}\text{Sr}_x\text{FeO}_{3-\delta}$  ( $x = 0.3, 0.5$ ) (Bi の高い分極率による高イオン伝導度)
- ・  $\text{Bi}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}(\text{Fe}_{1-x}\text{Mn}_x)\text{O}_{3-\delta}$  ( $M = \text{Co}, \text{Mn}$ ) (低い電子伝導度を改善)
- ・  $(\text{Bi}_{1-x}\text{La}_x)\text{FeO}_{3-\delta}$  (低い電子伝導度を改善)

Ba-Sr-Co-Fe 系 (BCSF)

- ・  $\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}(\text{Co}_{0.8}\text{Fe}_{0.2})_{1-x}\text{M}_x\text{O}_{3-\delta}$  ( $M = \text{Ti}, \text{Zr}$ ) (化学的安定性向上と表面交換反応の促進)
- ・  $(\text{A}_{0.25}\text{Ba}_{0.25})\text{Sr}_{0.5}(\text{Co}_{0.8}\text{Fe}_{0.2})\text{O}_{3-\delta}$  ( $A = \text{Na}, \text{K}, \text{Cs}$ ) (自由体積とイオン伝導度の向上)

Nd-Ni 系 (NN)

- ・  $\text{Nd}_2\text{Ni}_{1-x}\text{M}_x\text{O}_{4+\delta}$  ( $M = \text{Al}, \text{Fe}$ ) (侵入型酸化物イオン量  $\delta$  を増加)

Bi-Sr-Fe 系 (BSF) は本グループにおいて混合導電性と酸素透過性が初めて確認された系であり高酸素分圧側で利用可能である。しかし、アクセプターである Sr が全て酸素空孔の生成に寄与するため、電子伝導性が他の混合導電性ペロブスカイト型酸化物に比べて低い。そこで本研究では、Fe サイトに Mn 置換を試みた。 $\text{Bi}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}(\text{Fe}_{1-x}\text{Mn}_x)\text{O}_{3-\delta}$  では  $x = 0.5$  までの Mn 置換が可能であり無添加 BSF に比して 20 倍高い電子 (p 型) 伝導度を示し所期の効果が得られた。また、BSF 系材料の酸素透過速度から算出される酸化物イオン伝導度は  $800^\circ\text{C}$  で  $0.168 \text{ S/cm}$  と高く、低温作動に適していることが確認された。また、本系は混合導電性ペロブスカイト型酸化物としては小さい熱膨張係数( $\approx 13 \times 10^{-6} / \text{K}$ )も応用上好ましい。

表 1 に、 $700^\circ\text{C}$ において各系で最高の酸素透過速度を示した試料の膜厚、酸素分圧勾配、酸素透過速度、ならびに、毎分  $20 \text{ cc/cm}^2$  を得るための膜厚( $\mu\text{m}$ )を示す。BCSF 系と BSF 系は数  $10 \mu\text{m}$  の領域において目標の透過速度を達成できる見込みを得た。

表 1: 開発された酸素透過膜の  $700^\circ\text{C}$ における透過速度と毎分  $20 \text{ cc/cm}^2$ に必要な膜厚

	膜厚 $t / \mu\text{m}$	酸素分圧 $\log(P_1/P_2)$	透過速度 $j_{\text{O}_2}$ 毎分 $\text{cc/cm}^2$	毎分 $20 \text{ cc/cm}^2$ に必要な膜厚 $t / \mu\text{m}$
BCSF 系	110	1	3.3	36
BSF 系	960	2	0.10	48
Fe 添加 NN 系	610	2	0.058	0.32

(2) 薄膜型酸素透過構造体の開発

(1)で得られた新規材料においても小さい酸素分圧勾配と低温で高酸素透過速度を得るためには薄膜化と表面交換反応の促進が重要である。そこで、本研究ではBSF系材料とBSCF系材料をスピンコーティング法により多孔質基板上に緻密薄膜として得るプロセスを確立した。基板は膜材料とポリマー造孔材を混合し、焼結条件を最適化することで強度とガス透過性を兼ね備える多孔質体とした。多孔質体上に同組成の薄膜を成膜し、図1に示す緻密かつ10 μm厚の均一なBSF薄膜を得た。この作製手法はBSCF系にも有効であり、緻密かつ11 μm厚の薄膜が作製された(図2)。ALD法ではTiO<sub>2</sub>-ZrO<sub>2</sub>系、SrO-TiO<sub>2</sub>系で数10 nmの緻密薄膜を得た。

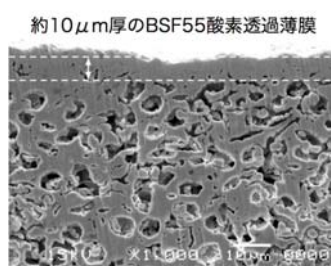


図1:10 μm厚のBSF薄膜

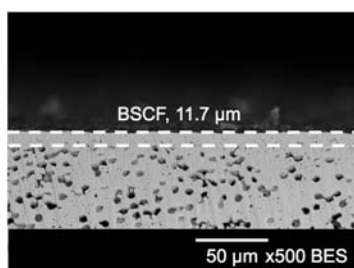
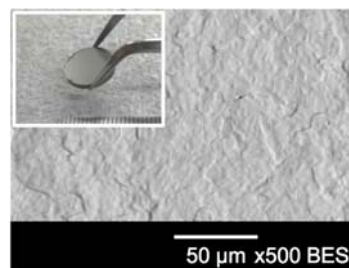


図2:多孔質基板上のBSCF薄膜の断面と表面のSEM像



透過速度を高める表面修飾に関しては、Ba<sub>0.5</sub>Sr<sub>0.5</sub>Co<sub>0.8</sub>Fe<sub>0.2</sub>O<sub>3-δ</sub> (BSCF)において反応サイトを増やす多孔体層の付加が有効であった。図3にはテープキャスト法により作製されたBSCF膜に同組成の多孔体層をスクリーン印刷した試料の断面SEM像を示す。図4にその多孔体層を有するBSCF膜の酸素透過速度の温度依存性を示す。表面修飾がない場合(w/o printing)、700°C近傍において酸素透過速度が急激に低減するが多孔体層を膜両面に付加すると725°Cにおいて約8倍酸素透過速度が向上した。なお伝送線モデル解析から、酸素透過に寄与する多孔体層の厚さは1~2 μm程度と判明した。図5には400°Cの重量緩和曲線を示すが、多孔体層があるBSCFでは多孔体層がない場合に比べて雰囲気変化への追従が速い。この測定から見掛けの化学表面交換反応係数k<sub>chem</sub>は、3.2×10<sup>-6</sup> cm/s(多孔体層なし)、1.1×10<sup>-5</sup> cm/s(多孔体層あり)と定量化された。

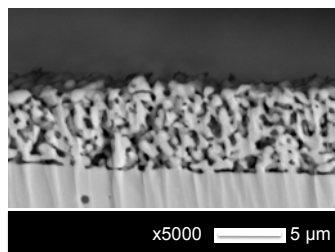


図3:表面修飾BSCF膜

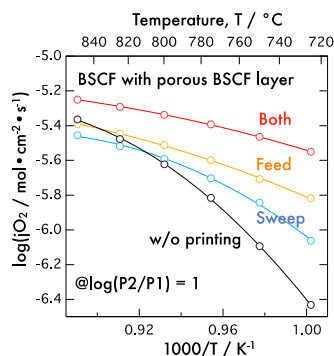


図4:表面修飾BSCFの酸素透過速度

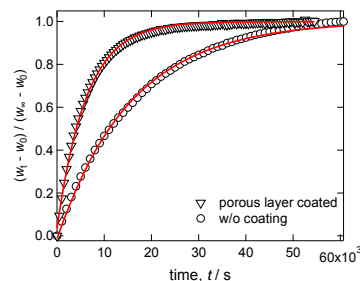


図5:400°Cの重量緩和曲線

(3) 酸素透過膜型純酸素システムの効率と優位性

効率解析のために実作動環境下(空気-減圧雰囲気)で BSCF 膜の酸素透過特性を評価した。図 6 に、BSCF 膜に供給する空気量と酸素分離後の空気組成の関係を示す。膜の片側を真空ポンプに接続した場合(Vacuum)、ヘリウムを供給した場合(He)よりも空气中残存酸素が減少している。すなわち、空気供給量を調整することでほぼ全ての酸素を分離可能(残存酸素≈1%程度)となり熱損失を最小化できることが確認された。また、実作動環境では二酸化炭素が存在し、酸素透過速度に及ぼす影響が懸念される。図 7 に BSCF 膜の酸素透過速度の CO<sub>2</sub> 濃度依存性を示す。800°Cでは、数 1000 ppm CO<sub>2</sub> から徐々に透過量が減少し始め 2%以上で急激に減少している。CO<sub>2</sub> 吸着特性や CO<sub>2</sub> 雰囲気高温 XRD から、酸素透過速度の減少にはアルカリ土類炭酸塩の形成に加えて CO<sub>2</sub> の膜表面への吸着が影響していることが示された。この解決策として BSCF への Ti、Zr 置換を試みたところ、図 8 に示すように 10%Ti (T10)、50%Ti(T50)、5%Zr (Z05) 置換 BSCF では、無添加 BSCF に比して CO<sub>2</sub> の吸着量・反応量が少なくなり、特に T50 では CO<sub>2</sub> との反応をほぼ完全に抑制できた。

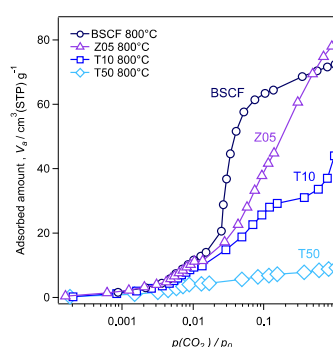
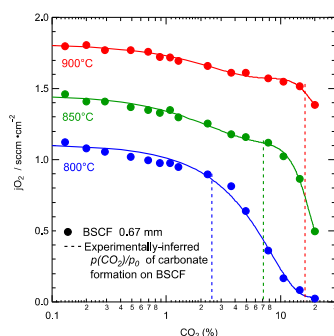
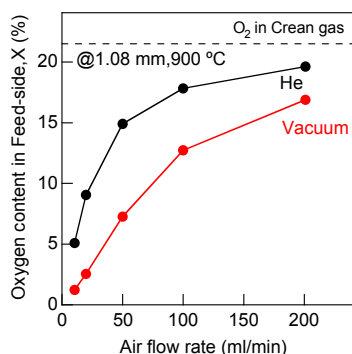


図 6: BSCF の空気-減圧下での酸素透過速度  
 図 7: BSCF の酸素透過速度の CO<sub>2</sub> 濃度依存性  
 図 8: Ti, Zr 置換 BSCF の CO<sub>2</sub> 吸着特性 (800°C)

以上により、本研究では純酸素製造を指向した新規酸素透過膜として多孔体層で表面修飾した Ba<sub>0.5</sub>Sr<sub>0.5</sub>Co<sub>0.8</sub>Fe<sub>0.2</sub>O<sub>3-δ</sub> (BSCF) や Bi<sub>1-x</sub>Sr<sub>x</sub>FeO<sub>3-δ</sub> (BSF) 膜を開発した。これら膜では数 10μm の領域において目標の毎分 20 cc/cm<sup>2</sup> の透過速度を実現しうる見込みを得た。特に、多孔体層により低温領域において透過速度を 8 倍増加させ、表面交換律速を解消できたことは重要である。また、実作動条件化において空気からほぼ全ての酸素を分離できたこと、BSCF 膜の二酸化炭素耐性を向上させた点は応用上重要な成果である。

高効率かつ簡便な酸素製造技術は、石炭をクリーンに活用するためのガス化処理や、熱機関の効率改善に寄与できる。また、各種燃焼・焼却炉の燃料原単位削減、排気ガス削減にも大きく資することからグリーンイノベーションに寄与する重要な技術と期待される。

6. 研究発表等

<p>雑誌論文 計 11 件</p>	<p>(掲載済み一査読有り) 計 8 件</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● H. Takahashi, H. Takamura, “Preparation and Ionic Conductivity of Al-Doped <math>Mg_{0.5}Ti_2(PO_4)_3</math>”, <i>Mater. Trans.</i>, <b>53</b> (2012) 932-935. <a href="http://dx.doi.org/10.2320/matertrans.MBW201111">http://dx.doi.org/10.2320/matertrans.MBW201111</a></li> <li>● H. Takahashi, H. Takamura, “Ionic Conductivity and Crystal Structure of TM-doped <math>Mg_{0.5}Ti_2(PO_4)_3</math> (TM = Fe, Mn, Co and Nb)”, <i>Key Engineering Materials</i>, <b>508</b> (2012) 291-299. <a href="http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.508.291">http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.508.291</a></li> <li>● K. Takahashi, K. Hattori, T. Yamazaki, K. Takada, M. Matsuo, S. Orimo, H. Maekawa, H. Takamura, “All-solid-state lithium battery with <math>LiBH_4</math> solid electrolyte”, <i>J. Power Sources</i>, <b>226</b> (2013) 61-64. <a href="http://dx.doi.org/10.1016/j.jpowsour.2012.10.079">http://dx.doi.org/10.1016/j.jpowsour.2012.10.079</a></li> <li>● D. Baek, A. Kamegawa, H. Takamura, “Mixed conductivity and electrode properties of Mn-doped Bi-Sr-Fe-based perovskite-type oxides”, <i>Solid State Ionics</i>, <b>253</b> (2013) 211-216. <a href="http://dx.doi.org/10.1016/j.ssi.2013.09.056">http://dx.doi.org/10.1016/j.ssi.2013.09.056</a></li> <li>● Y. Hayamizu, M. Kato, H. Takamura, “Effects of surface modification on the oxygen permeation of <math>Ba_{0.5}Sr_{0.5}Co_{0.8}Fe_{0.2}O_{3-\delta}</math> membrane”, <i>J. Membr. Sci.</i>, <b>462</b> (2014) 147-152. <a href="http://dx.doi.org/10.1016/j.memsci.2014.03.038">http://dx.doi.org/10.1016/j.memsci.2014.03.038</a></li> <li>● T.J. Udovic, M. Matsuo, A. Unemoto, N. Verdal, V. Stavila, A.V. Skripov, J.J. Rush, H. Takamura and S.-I. Orimo, “Sodium superionic conduction in <math>Na_2B_{12}H_{12}</math>”, <i>Chem. Commun.</i>, <b>50</b> (2014) 3750-3752. <a href="http://dx.doi.org/10.1039/C3CC49805K">http://dx.doi.org/10.1039/C3CC49805K</a></li> <li>● H.T. Hai, H. Takamura, J. Koike, “Oxidation behavior of Cu-Ag core-shell particles for solar cell applications”, <i>J. Alloys Comp.</i>, <b>564</b> (2013) 71-77. <a href="http://dx.doi.org/10.1016/j.jallcom.2013.02.048">http://dx.doi.org/10.1016/j.jallcom.2013.02.048</a></li> <li>● R. Miyazaki, H. Maekawa, H. Takamura, “Synthesis of rock-salt type lithium borohydride and its peculiar <math>Li^+</math> ion conduction properties”, <i>APL Materials</i>, <b>2</b> (2014) 056109-1-3 (Open Access). <a href="http://dx.doi.org/10.1063/1.4876638">http://dx.doi.org/10.1063/1.4876638</a></li> </ul> <p>(掲載済み一査読無し) 計 0 件</p> <p>(未掲載) 計 3 件</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● D. Baek, A. Kamegawa, H. Takamura, “Preparation and electrode properties of composite cathodes based on <math>Bi_{1-x}Sr_xFeO_{3-\delta}</math> with Perovskite-type structure”, <i>Solid State Ionics</i>, in press. <a href="http://dx.doi.org/10.1016/j.ssi.2014.01.006">http://dx.doi.org/10.1016/j.ssi.2014.01.006</a></li> <li>● K. Takahashi, H. Maekawa, H. Takamura, “Effects of intermediate layer on interfacial resistance for all-solid-state lithium batteries using lithium borohydride”, <i>Solid State Ionics</i>, in press. <a href="http://dx.doi.org/10.1016/j.ssi.2013.10.028">http://dx.doi.org/10.1016/j.ssi.2013.10.028</a></li> <li>● I. Oikawa and H. Takamura, “<math>^{45}Sc</math> NMR spectroscopy and first-principles calculation on the symmetry of <math>ScO_6</math> polyhedra in <math>BaO-Sc_2O_3</math>-based oxides”, <i>Dalton Trans.</i>, in press. <a href="http://dx.doi.org/10.1039/C4DT00426D">http://dx.doi.org/10.1039/C4DT00426D</a></li> </ul>
<p>会議発表 計 47 件</p>	<p>専門家向け 計 46 件</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● H. Takamura, “Ion Transport in Metal Hydrides and Its Application to Energy Conversion”, San Francisco (USA), 2011 年 4 月 25 日～4 月 29 日, MRS Spring Meeting (招待講演)</li> <li>● H. Takamura, “Electrical Conductivity and Defect Equilibrium of Heavily Donor doped Strontium Titanates”, Warsaw (Poland), 2011 年 7 月 3 日～7 月 8 日, International Conference on Solid State Ionics (SSI-18) (招待講演)</li> <li>● H. Takamura, “Fabrication and Electrical Properties of Ceria-Nanoparticles Monolayer”, Lake Louise (Canada), 2011 年 10 月 30 日～11 月 4 日, Composites at Lake Louise 2011 (招待講演)</li> <li>● 高村 仁, 黒沼洋太, 松尾元彰, 折茂慎一, 前川 英己, “岩塩型構造を有する <math>LiBH_4</math> のリ</li> </ul>



	<p>チウムイオン伝導特性”, 那覇, 2011年11月6日~11月9日, 日本金属学会2011年秋期(第149回)大会</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 大越雄斗, 高村 仁, “ドナー添加による <math>\text{Nd}_2\text{NiO}_4</math> の酸素不定比性と電気伝導度の向上”, 那覇, 2011年11月6日~11月9日, 日本金属学会2011年秋期(第149回)大会</li> <li>● 佐々木俊介, 高村 仁, “Ti 添加された Ba-Sr-Co-Fe 系酸化物の酸素透過特性と構造変化”, 那覇, 2011年11月6日~11月9日, 日本金属学会2011年秋期(第149回)大会</li> <li>● 高橋寛郎, 高村 仁, “マグネシウム伝導体 Al 添加 <math>\text{Mg}_{0.5}\text{Ti}_2(\text{PO}_4)_3</math> の導電特性”, 那覇, 2011年11月6日~11月9日, 日本金属学会2011年秋期(第149回)大会</li> <li>● 尾形 厚, 高村 仁, “スクリーン印刷法による Sr-Ti-Fe 系酸素透過膜の作製”, 那覇, 2011年11月6日~11月9日, 日本金属学会2011年秋期(第149回)大会</li> <li>● 白 斗鉦, 高村 仁, “表面装飾された Bi-Sr-Fe 系ペロブスカイト型酸化物の酸素透過特性”, 那覇, 2011年11月6日~11月9日, 日本金属学会2011年秋期(第149回)大会</li> <li>● 畑山 東, 前川英己, 高村 仁, “蛍石型構造を有する Ca-Zr 系水素化物の単相化とラマン分光解析”, 那覇, 2011年11月6日~11月9日, 日本金属学会2011年秋期(第149回)大会</li> <li>● 白 斗鉦, 高村 仁, “Bi-Sr-Fe 系ペロブスカイト型酸化物の混合導電性と酸素透過特性”, 鳥取, 2011年12月7日~12月9日, 第37回固体イオニクス討論会</li> <li>● 佐々木俊介, 高村 仁, “<math>\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}(\text{Co}_{0.8}\text{Fe}_{0.2})_{1-x}\text{M}_x\text{O}_{3-d}</math> の高温下における結晶構造と酸素透過膜特性(M=Ti, Mo)”, 鳥取, 2011年12月7日~12月9日, 第37回固体イオニクス討論会</li> <li>● 佐々木俊介, 高村 仁, “Pr-Sr-Fe 系ペロブスカイト型酸化物の欠陥平衡とカソード特性”, 鳥取, 2011年12月7日~12月9日, 第37回固体イオニクス討論会</li> <li>● D. Beak, H. Takamura, “Preparation and Mixed Conductivity of Mn-Doped Bi-Sr-Fe Based Perovskite Type Oxides”, 仙台, 2012年7月17日~7月20日, The 13th Asian Conference on Solid State Ionics</li> <li>● 畑山 東, 高村 仁, “ペロブスカイト型構造を有するアルカリ金属水素化物の合成”, 奈良, 2012年9月3日~9月4日, 第8回固体イオニクスセミナー</li> <li>● 及川 格, 高村 仁, “固体 NMR を用いた希土類添加の局所環境解析 <math>\text{BaZrO}_3</math>”, 奈良, 2012年9月3日~9月4日, 第8回固体イオニクスセミナー</li> <li>● 及川 格, 高村 仁, “NMR を利用したイオン伝導体中の欠陥の定量的理解”, 奈良, 2012年9月3日~9月4日, 第8回固体イオニクスセミナー</li> <li>● 朝倉 詩乃, 高村 仁, “ペロブスカイト型酸化物 <math>\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{Co}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}\text{O}_{3-\delta}</math> の酸素透過膜特性に及ぼす <math>\text{CO}_2</math> 濃度の影響”, 愛媛, 2012年9月17日~9月19日, 日本金属学会2012年秋期(第151回)大会</li> <li>● 村上 大河, 高村 仁, “<math>\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{Co}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}\text{O}_{3-\delta}</math> の空気 / 真空雰囲気下における酸素透過特性”, 愛媛, 2012年9月17日~9月19日, 日本金属学会2012年秋期(第151回)大会</li> <li>● H. Takamura, “Crystal structure and oxygen permeability of donor-doped Ba-Sr-Co-Fe-based oxides”, Sicily (Italy), 2012年9月23日~9月28日, Engineering Conferences International</li> <li>● K. Ohkoshi, H. Takamura, “Preparation and defect equilibrium of donor-doped neodymium nickelates”, Sicily (Italy), 2012年9月23日~9月28日, Engineering Conferences International</li> <li>● K. Masumitsu, A. Kamegawa, H. Takamura, “Strontium Segregation Behavior in <math>\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{CoO}_{3-\delta}</math>”, Boston (USA), 2012年11月25日~11月30日, 2012 MRS Fall Meeting</li> <li>● D. Beak, A. Kamegawa, H. Takamura, “Preparation and Electrode Properties of La-doped Bi-Sr-Fe-Based Perovskite-type Oxides”, Boston (USA), 2012年11月25日~11月30日, MRS Fall Meeting</li> <li>● M. Kato, A. Kamegawa, H. Takamura, “Redox and Oxygen Transport Properties of <math>\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{Co}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}\text{O}_{3-\delta}</math> at Low Temperatures”, Boston (USA), 2012年11月25日~11月30日, MRS Fall Meeting</li> <li>● 大越 雄斗, 亀川 厚則, 高村 仁, “ドナー添加 <math>\text{Nd}_2\text{NiO}_{4+d}</math> の混合導電性と欠陥平衡”, 京都, 2012年12月3日~12月5日, 第38回固体イオニクス討論会</li> <li>● 宮崎 怜雄奈, 松尾 元彰, 折茂 慎一, 亀川 厚則, 高村 仁, “岩塩型 <math>\text{LiBH}_4</math> の合成と <math>\text{Li}^+</math> イオン伝導特性”, 京都, 2012年12月3日~12月5日, 第38回固体イオニクス討論会</li> <li>● 勝間田 業, 亀川 厚則, 高村 仁, “酸化物イオン伝導体の高圧下電気伝導度と活性化体積”, 仙台, 2013年1月9日~1月10日, 第51回セラミックス基礎科学討論会</li> </ul>
--	--

	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 陳 亦欧, 及川 格, 前川 英己, 高村 仁, “連続細孔 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-LiI 複合体電解質の伝導度”, 仙台, 2013年1月9日～1月10日, 第51回セラミックス基礎科学討論会</li> <li>● 秋山 翔太, 亀川 厚則, 高村 仁, 加美 謙一郎, “リチウムイオン伝導体上への金属リチウム析出挙動の観察”, 仙台, 2013年1月9日～1月10日, 第51回セラミックス基礎科学討論会</li> <li>● K. Takahashi, H. Maekawa, H. Takamura, “Effects of intermediate layer on interfacial resistance for all-solid-state lithium batteries using lithium borohydraide”, Kyoto, 2013年6月2日～6月7日, The 19th International Conference on Solid State Ionics (SSI-19).</li> <li>● A. Hatakeyama, H. Takamura, “Hydride-ion transference number in Fluorite-type Ca<sub>4</sub>ZrH<sub>10</sub> under high pressure”, Kyoto, 2013年6月2日～6月7日, The 19th International Conference on Solid State Ionics (SSI-19).</li> <li>● D. Baek, H. Takamura, “Preparation and electrode properties of composite cathodes based on Bi<sub>1-x</sub>Sr<sub>x</sub>FeO<sub>3-δ</sub> with Perovskite Structure”, Kyoto, 2013年6月2日～6月7日, The 19th International Conference on Solid State Ionics (SSI-19).</li> <li>● I. Oikawa, H. Takamura, “Spectroscopic Study on Local Environment in Doped BaZrO<sub>3</sub>”, Kyoto, 2013年6月2日～6月7日, The 19th International Conference on Solid State Ionics (SSI-19).</li> <li>● H. Takamura, “Development of hydride-based ionic conductors and their application to energy conversion”, Geisenheim, Germany, 2013年7月25日～7月26日, International Workshop on Defects and Diffusion in Materials for Energy Conversion (招待講演).</li> <li>● 目崎雄也, 亀川厚則, 高村 仁, “Ca 添加 LiBH<sub>4</sub> の高圧下におけるリチウムイオン伝導特性”, 下呂, 2013年9月8日～9月10日, 第9回固体イオニクスセミナー.</li> <li>● 畑山 東, 亀川厚則, 高村 仁, “蛍石型構造を有する Ca<sub>4</sub>ZrH<sub>10</sub> の水素化物イオン輸率”, 下呂, 2013年9月8日～9月10日, 第9回固体イオニクスセミナー.</li> <li>● 目崎雄也, 亀川厚則, 高村 仁, “Ca 添加 LiBH<sub>4</sub> のリチウムイオン輸率”, 金沢, 2013年9月17日～9月19日, 日本金属学会 2013年秋期(第153回)大会.</li> <li>● 松岡卓郎, 亀川厚則, 高村 仁, “高温水蒸気電解のための酸化物電極の作製”, 金沢, 2013年9月17日～9月19日, 日本金属学会 2013年秋期(第153回)大会.</li> <li>● D. Baek, I. Oikawa, A. Kamegawa, H. Takamura, “Electrode properties of Bi-Sr-Fe-based Perovskite-type oxides coated with nano-structured PrBaCo<sub>2</sub>O<sub>5+δ</sub>”, Okinawa, 2013年10月6日～10月11日, 13th International Symposium on Solid Oxide Fuel Cell (SOFC-VIII).</li> <li>● T. Kon, A. kamegawa, H. Takamura, “Preparation of cathode material for co-sintering with electrolyte at high temperature”, Okinawa, 2013年10月6日～10月11日, 13th International Symposium on Solid Oxide Fuel Cell (SOFC-VIII).</li> <li>● H. Takamura, “All-solid-state lithium battery using a hydride-based solide electrolyte”, Lake Louise (Canada), 2013年11月3日～11月7日, Composites at Lake Louise 2013 (招待講演).</li> <li>● 早水良明, 亀川厚則, 高村 仁, “Ba<sub>0.5</sub>Sr<sub>0.5</sub>Co<sub>0.8</sub>Fe<sub>0.2</sub>O<sub>3-δ</sub> の酸素透過特性に及ぼす表面修飾の影響”, 熊本, 2013年11月20日～11月22日, 第39回固体イオニクス討論会.</li> <li>● 益満 健, 朝倉詩乃, 高村 仁, “混合導電性ペロブスカイト型酸化物の相安定性と酸素透過速度に及ぼす炭酸ガス濃度の影響”, 熊本, 2013年11月20日～11月22日, 第39回固体イオニクス討論会.</li> <li>● H. Takamura, “All-solid-state lithium battery using LiBH<sub>4</sub> as a solid electrolyte”, Orlando (USA), 2013年12月7日～12月10日, Energy Materials Nanotechnology Fall Meeting (招待講演).</li> <li>● S. Sasaki, Y. Hayamizu, H. Takamura, “Hydrogen production from liquid hydrocarbons by using an oxygen permeable membrane”, Fukuoka, 2014年2月2日～2月5日, International Conference on Hydrogen Production-2014.</li> <li>● 高村 仁, “混合導電性酸化物の開発とエネルギー変換デバイスへの応用”, 東京, 2014年3月21日～3月23日, 日本金属学会春期(第154回)大会(基調講演).</li> </ul> <p>一般向け 計1件</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 高村 仁, “高速酸素透過膜による純酸素燃焼イノベーション”, 東京, 2014年2月28日～3月1日, 最先端研究開発支援プログラム FIRST シンポジウム「科学技術が拓く 2030年」へのシナリオ.</li> </ul>
--	--

<p>図書 計1件</p>	<p>Encyclopedia of Applied Electrochemistry, ed. by Robert F. Savinell, Ken-ichiro Ota, and Gerhard Kreysa, SpringerReference (Online) (部分執筆)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● H. Takamura, “MIEC Materials”, <a href="http://www.springerreference.com/docs/html/chapterdbid/303617.html">http://www.springerreference.com/docs/html/chapterdbid/303617.html</a></li> <li>● H. Takamura, “Oxygen Separation”, <a href="http://www.springerreference.com/docs/html/chapterdbid/305254.html">http://www.springerreference.com/docs/html/chapterdbid/305254.html</a></li> </ul>
<p>産業財産権 出願・取得 状況 計4件</p>	<p>(取得済み) 計0件</p> <p>(出願中) 計4件</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 固体酸化物型燃料電池, 久保啓子, 齊藤智行, 高村 仁, TDK 株式会社, 東北大学, 特願 2011-146663, 2011年6月30日 (国内)</li> <li>● 積層型固体酸化物形燃料電池の実装構造, 久保啓子, 山田 喬, 高村 仁, TDK 株式会社, 東北大学, 特願 2012-042796, 2012年2月29日 (国内)</li> <li>● 燃料電池システム, 長田康弘, 伊藤正篤, 大島久純, 田口隆志, 外山哲男, 高村 仁, 株式会社デンソー, 国立大学法人東北大学, 特願 2012-128021, 平成24年6月5日 (国内)</li> <li>● 酸素透過膜, 酸素分離方法及び燃料電池システム, 久米高生, 高村 仁, 東京瓦斯株式会社, 国立大学法人東北大学, 特願 2013-068233, 平成25年3月28日 (国内)</li> </ul>
<p>Webページ (URL)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 市民公開講座 東北大ブランドの最先端・次世代材料を語る <a href="http://cat-vnet.tv/movie/tu_brand/menu.html">http://cat-vnet.tv/movie/tu_brand/menu.html</a></li> <li>● 東北大学市民公開講座「'12夏 最先端・次世代材料の研究最前線」 <a href="http://www.youtube.com/watch?v=uTLILWh1xUU&amp;feature=plcp">http://www.youtube.com/watch?v=uTLILWh1xUU&amp;feature=plcp</a></li> <li>● 酸素透過膜の開発に関する動画 <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 固体イオニクスとは: <a href="http://youtu.be/NE6x9b4OnNI">http://youtu.be/NE6x9b4OnNI</a></li> <li>➢ 酸素透過膜の開発: <a href="http://youtu.be/UDnGqjWfvA">http://youtu.be/UDnGqjWfvA</a></li> <li>➢ 原子層堆積法紹介: <a href="http://youtu.be/Y0K2kSsjkU">http://youtu.be/Y0K2kSsjkU</a></li> </ul> </li> <li>● 古川黎明高校・SSH 特別講義(実験公開講座)の動画 <a href="http://www.youtube.com/watch?v=XkbpJ0k_CI">http://www.youtube.com/watch?v=XkbpJ0k_CI</a></li> </ul>
<p>国民との科学・技術対話の実施状況</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 東北大学市民公開講座「東北大ブランドの最先端・次世代材料を語る」, 2011年12月28日, せんだいメディアテーク, 一般(小中高生他), 70名。本プログラムに採択され、材料科学に関するテーマを実施する本研究機関5名の研究者が合同で国民との対話のための講演会を実施した。講演題目は「もしも空気が100%の酸素だったら」。主催は、東北大学環境科学研究科、東北大学工学研究科、東北大学金属材料研究所、東北大学多元物質科学研究所であり、協賛は日本金属学会。講演会の詳細は <a href="http://cat-vnet.tv/movie/tu_brand/menu.html">http://cat-vnet.tv/movie/tu_brand/menu.html</a> に掲載。</li> <li>● 東北大学市民公開講座「'12夏 最先端・次世代材料の研究最前線」平成24年7月30、31日 (於：東北大学工学研究科マテリアル共同研究棟) 本プログラムに採択され、材料科学に関するテーマを実施する本研究機関5名の研究者が合同で実施した。講演題目は「もしも空気が100%の酸素だったら」。主催は、東北大学環境科学研究科、東北大学工学研究科、東北大学金属材料研究所、東北大学多元物質科学研究所、協賛は日本金属学会。参加者数約50名</li> <li>● 東北大学イノベーションフェア2013 ～ここに集う、未来へのテクノロジー～平成25年1月17日 (於：仙台国際センター) 東北大学の研究成果を一般に公開するフェア。来場者数は、953名</li> <li>● 古川黎明高校・SSH 特別講義 (実験公開講座) 平成25年8月1日 (於：東北大学工学研究科) 本プログラムに採択され、材料科学に関するテーマを実施する本研究機関4名の研究者が合同で実施した。SSHに指定されている古川黎明高校から学生を募り、各研究室で4-5名を受入れての本研究に関する実習を行なった。その詳細は <a href="http://www.youtube.com/watch?v=XkbpJ0k_CI">http://www.youtube.com/watch?v=XkbpJ0k_CI</a> において公開。</li> <li>● 東北大学イノベーションフェア2014 平成26年1月28日 (於：仙台国際センター) 東北大学の研究成果を一般に公開するフェアに出展。来場者数は、約900名</li> </ul>

様式21

	<ul style="list-style-type: none"> <li>最先端研究開発支援プログラム FIRST シンポジウム「科学技術が拓く 2030 年」へのシナリオ 平成 26 年 3 月 1 日（於：ベルサール新宿グランド）（2/28・3/1 で 327 人来場） 最先端研究開発支援プログラム FIRST のシンポジウムと共催された NEXT プログラム実施者によるポスター展示に出展し、一般参加者に研究成果を説明した。</li> </ul>
新聞・一般雑誌等掲載計 0 件	なし
その他	なし

7. その他特記事項

なし