

令和 2 年 6 月 8 日現在

機関番号：32613

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K06986

研究課題名(和文)リン酸塩ガラス異常現象を利用した放射性物質の長期安定的固定化

研究課題名(英文) Long-term stable immobilization of radioactive substances using phosphate glass anomaly

研究代表者

大倉 利典 (Okura, Toshinori)

工学院大学・先進工学部・教授

研究者番号：70255610

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：ストロンチウムおよびセシウムの安定同位体を固定化したリン酸塩ガラス固化体を溶融急冷法により作製した。FT-IR測定の結果、金属イオン含有量の増加にともなうガラスネットワーク構造の成長が見られた。化学的耐久性試験では、中性条件下では2価イオン含有量の多い場合には固化ガラス成分の溶出は減少したが、溶解・再析出の痕跡が認められた。以上のことより、長期安定的な保管のためには、多価金属イオンの含有量だけでなく、ガラスの骨格の強化が必要であると考えられる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

2011年3月の東日本大震災により発生した原子力発電所事故により、ストロンチウム、セシウムなどの核種の放射性同位体が大気、海、土壤に飛散した。これにより新たな問題として、これらの核種の処理に関する技術の不足が明らかとなった。問題点は大きく分けて二つの段階からなる。初めの段階は、飛散して希薄な放射性物質を効率よく回収することであり、次の段階はそれを安全に長期間保管することである。この問題のうち保管(固化処理)に関しては、当研究グループでこれまで行われてきた放射性廃棄物のガラス固化技術を応用して核種の安定的な長期保管が可能であると考えられる。

研究成果の概要(英文)：A solidified phosphate glass with immobilized stable isotopes of strontium and cesium was prepared by the melt quenching method. As a result of FT-IR measurement, the growth of glass network structure was observed with the increase of metal ion content. In the chemical durability test, under a neutral condition, when the content of divalent ions was high, the elution of the solidified glass component was reduced, but traces of dissolution and reprecipitation were observed. From the above, it is considered that not only the content of polyvalent metal ions but also the strengthening of the glass skeleton is necessary for long-term stable storage.

研究分野：無機材料化学

キーワード：放射性物質 ストロンチウム セシウム ガラス固化 リン酸塩ガラス異常現象

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

2011年3月の東日本大震災により発生した原子力発電所事故により、これまで核燃料サイクルの中では比較的半減期が短いため重要視されてこなかったストロンチウム、セシウムなどの核種の放射性同位体が大気、海、土壤に飛散した。これにより新たな問題として、これらの核種の処理に関する技術の不足が明らかとなった。問題点は大きく分けて二つの段階からなる。初めの段階は、飛散して希薄な放射性物質を効率よく回収することであり、次の段階はそれを安全に長期間保管することである。この問題のうち保管(固化処理)に関しては、当研究グループでこれまで行われてきた放射性廃棄物のガラス固化技術を応用して核種の安定的な長期保管が可能であると考えられる。そのガラス固化技術につながる形で効率的な回収方法を確立することが必要とされている。

### 2. 研究の目的

本研究では、ストロンチウム、セシウムの安定同位体に対し、リン酸塩ガラスを用いたガラス固化処理と化学的耐久性の向上を目指して溶解挙動の検討を行った。

マグネシウムはリン酸塩ガラスに添加元素として一定の割合で加えると「リン酸異常現象」と呼ばれる密度の低下等を伴う構造の変化が起き、構造内に様々な元素を取り込めることを本研究グループでは明らかにしている。この現象を利用して、ストロンチウムやセシウムをマグネシウム化合物で吸着、回収し、リン酸塩ガラスを用いた長期安定的なガラス固化体の作製が可能ではないかと考えた。本研究では、ストロンチウム・セシウムのマグネシウム化合物による効率的な回収について安定同位体を用いて検討し、その後安定な固化ガラスとして最終処理を行う一連のプロセスの開発を目的とした。

### 3. 研究の方法

#### (1) ストロンチウム、セシウム固化ガラスの作製

環境中に飛散したストロンチウム、セシウムの最終処理としてリン酸塩ガラスを用いたガラス固化処理を行った。出発原料に酸化マグネシウム、硝酸ストロンチウムを用いて、モル比が  $MgO : SrO : P_2O_5 = 45 : 10 : 45$  (P45s10)、 $37 : 10 : 53$  (P53s10)、 $30 : 10 : 60$  (P60s10)、 $35 : 20 : 45$  (P45s20)、 $27 : 20 : 53$  (P53s20)、 $20 : 20 : 60$  (P60s20) となるように秤量し、アルミナ乳鉢で粉碎・混合後、イオン交換水を加えてスラリー状にし、その後リン酸を少量ずつ加え、マントルヒーターにて縮合・脱水を行った。これをマッフル炉にて  $300^\circ C$  で18時間の仮焼、電気炉にて  $1250^\circ C$  で1時間の熔融を行い、グラファイトボード上に流し出し、熔融急冷法によってガラスサンプルを得た。また、出発原料に硝酸セシウムを用いた  $MgO-Cs_2O-P_2O_5$  系ガラス (P45c10~P60c20)、ストロンチウムおよびセシウムを固化した  $MgO-SrO-Cs_2O-P_2O_5$  系ガラス (P45sc10~P60sc20) も同様に作製した。得られた固化ガラスは粉末 X 線回折 (XRD) 測定により結晶相の確認、フーリエ変換赤外分光 (FT-IR) 測定によるガラス構造中の原子の結合状態の検討を行った。

#### (2) 化学的耐久性試験

MCC 試験法を用いた化学的耐久性試験を行った。MCC 試験法とは、DOE (米国エネルギー省) の指導の下に設立された MCC (Materials Characterization Center) によって提案された一連の試験法であり、ガラス溶解 / 浸出速度の測定手法として用いられている方法である。作製したガラスサンプルはアルミナ乳鉢を用いて破碎し、10~20 メッシュパスに分級した。分級後のサンプル 1 g を PFA 容器に入れ、イオン交換水、酸溶液として  $0.1 \text{ mol/L-HCl}$ 、アルカリ溶液として  $0.1 \text{ mol/L-NaOH aq.}$ 、それぞれ 50 mL に浸漬させ密封した。これを  $90^\circ C$  で1、3、5、7、12 日間静置をした後、メンブレンフィルターを用いて濾過し、濾液は溶出イオンの定量のためイオンクロマトグラフィー測定を行い、その結果から規格化浸出量を算出した。

### 4. 研究成果

#### (1) ストロンチウム、セシウム固化ガラスの作製

Fig. 1 に固化ガラスの XRD パターンを示した。いずれの組成でもハローパターンとなり、無色透明のガラスサンプルを得た。

#### (2) 化学的耐久性試験

ここでは耐水性試験の結果について述べる。Fig. 2 に  $P_2O_5$  含有量を変化させたストロンチウム固化ガラスの規格化浸出量、Fig. 3 にはセシウム固化ガラスの規格化浸出量を示した。ストロンチウム 20mol% 固化ガラスでは、 $P_2O_5$  含有量が少なくなるにつれてイオン交換水への浸出量が減少していった。10mol% 固化ガラスでは、P45s10 の規格化浸出量が少なく、P60s10、P53s10 は規格化浸出量に大きな差は見られなかった。

またセシウム固化ガラスにおいては、P45c10 では浸漬日数 1 日目から、その他のセシウム固化ガラスでは浸漬日数 5 日目以降から規格化浸出量に変化が見られなかったため、飽和したものと考えられる。ストロンチウム固化ガラスの場合、マグネシウムイオンはストロンチウムイオンよりも多いか、同程度の浸出量であったのに対し、セシウム固化ガラスでは特に P45c20 においてマグネシウムイオンの浸出量が低い値を示した。

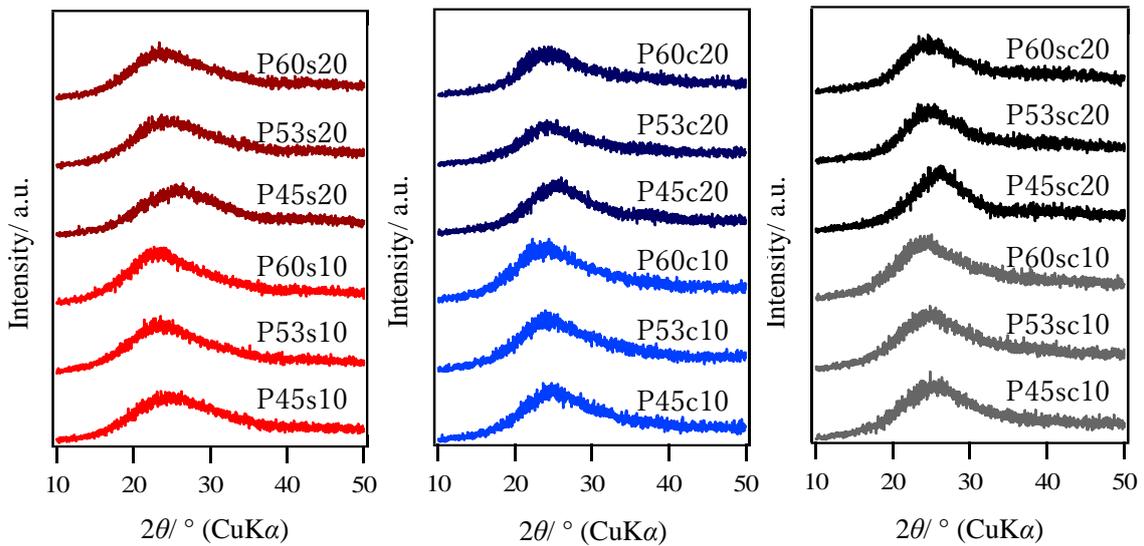


Fig. 1 ストロンチウム、セシウム固化体の XRD パターン

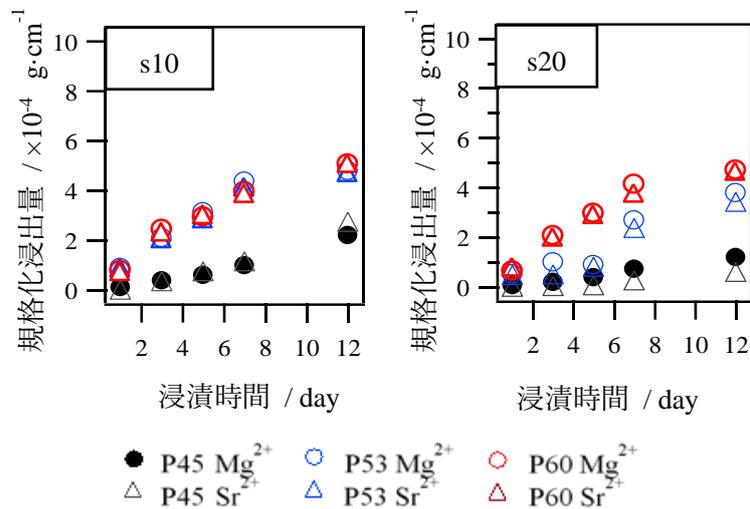


Fig. 2 P45s10-P60s20 の規格化浸出量

s10 : ストロンチウム含有量 10mol%

s20 : ストロンチウム含有量 20mol%

Fig. 4 にはストロンチウムおよびセシウム固化ガラスの耐水性試験での規格化浸出量を示した。ストロンチウム・セシウム含有量が 10mol% のサンプルでは緩やかに浸出が進んだ。P60sc10 および P53sc10 において、セシウムイオンとマグネシウムイオンは同程度の浸出量であるのに対し、ストロンチウムイオンはその二種のイオンよりも少ない浸出量であった。P45sc10 において、マグネシウムイオン・ストロンチウムイオンの浸出量が比較的少ないものの、セシウムイオンの浸出量を抑制できていない。ストロンチウム・セシウム含有量が 20mol% のサンプルでは P45sc20 のイオン浸出量が少なかった。

### (3) FT-IR 測定

Fig. 5 に 920cm<sup>-1</sup> で規格化を行った固化ガラスの FT-IR スペクトルを、Table 1 にその帰属を示した。MgO-SrO-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 系ガラス、MgO-Cs<sub>2</sub>O-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 系ガラス、MgO-SrO-Cs<sub>2</sub>O-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 系ガラスのどの組成でも MgO、SrO、Cs<sub>2</sub>O の含有量が多い組成で 1300cm<sup>-1</sup> 付近における P=O 結合が減少した。セシウム固化ガラスでは特に c20 のシリーズにおいて、オルトリン酸グループである 1000cm<sup>-1</sup>、640-400cm<sup>-1</sup> 付近の (PO<sub>4</sub>)<sup>3-</sup> がセシウム・マグネシウム含有量の増加に伴い減少していた。P45c20 では他と比較して (PO<sub>2</sub>)<sub>asym</sub> に帰属される 1200cm<sup>-1</sup> の吸光度が高くみられた。

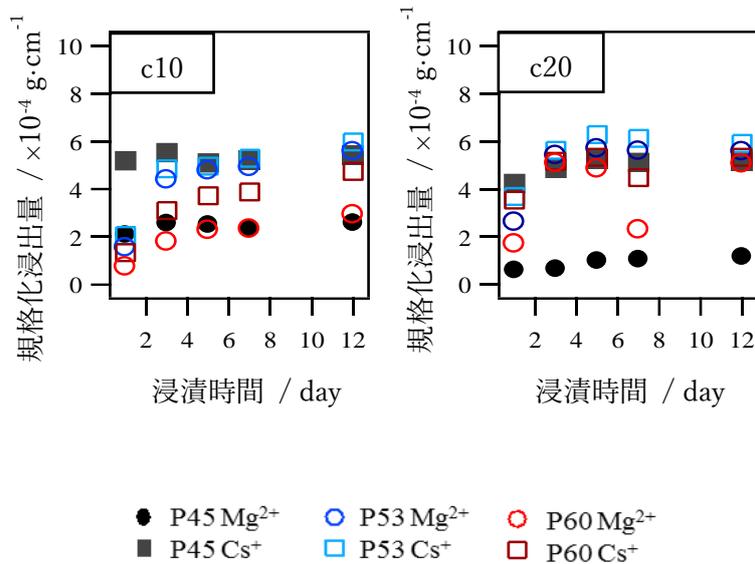


Fig. 3 P45c10-P60c20 の規格化浸出量

c10 : セシウム含有量 10mol%

c20 : セシウム含有量 20mol%

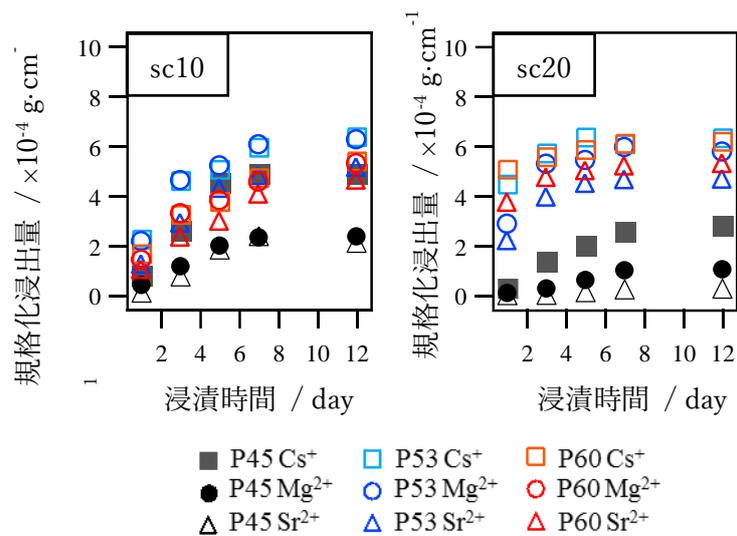


Fig. 4 P45sc10-P60sc20 の規格化浸出量

sc10 : ストロンチウム・セシウム含有量 10mol%

sc20 : ストロンチウム・セシウム含有量 20mol%

また  $1120\text{cm}^{-1}$  における (P-O-M) 結合も多くあった。このことより、セシウム固化ガラス、特に P45c20 ではセシウムを含有することによってリン酸網目構造を断ち切り、一価のカチオンのため一つの酸素をとるが、マグネシウムは二価のカチオンのため二つの酸素をとることで溶出が抑えられたのではないかと考えられる。

ストロンチウム・セシウム固化ガラスでは特に sc20 において、マグネシウム・ストロンチウム・セシウムの含有量が増加に伴い  $(\text{PO}_4)^{3-}$  結合の減少、(P-O-M) 結合、 $(\text{PO}_2)_{\text{sym}}$  結合が増加している。このことより、ストロンチウム・セシウムを含有することでリン酸網目構造は破壊されるものの、二価のカチオンであるマグネシウムおよびストロンチウムが (P-O-M) 結合をとることで全体的な浸出が抑えられたと考えられる。また 45sc20 の規格化浸出量を見るとマグネシウムイオンよりもストロンチウムイオンの浸出量が少ない。このことから (P-O-M) 結合には P-O-Mg よりも P-O-Sr 結合が含まれていると考えられる。

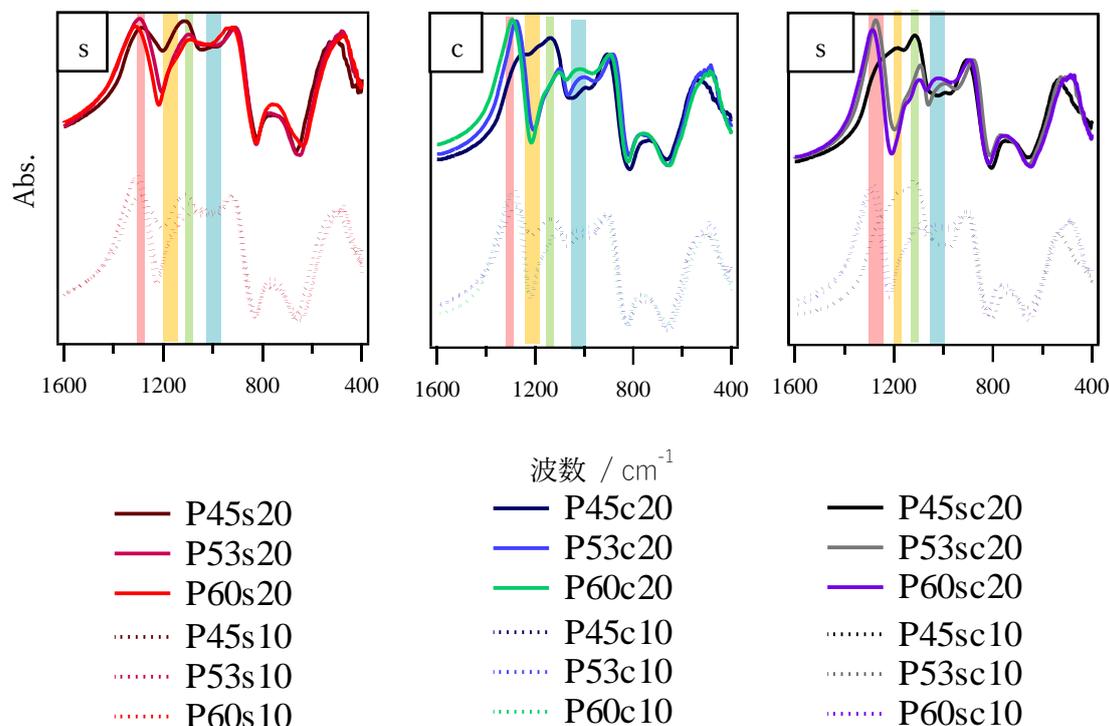


Fig. 5 固化ガラスの FT-IR スペクトル

Table 1 ストロンチウム、セシウム固化体の FT-IR 吸収ピークの帰属

波数 ( $\text{cm}^{-1}$ )	帰属
1300	(P=O) stretching
1200	( $\text{PO}_2$ ) <sub>asym</sub> $\text{Q}_2$ stretching
1120	(P-O) <sup>-</sup> または(P-O-M) M=metal
1000	( $\text{PO}_4$ ) <sup>3-</sup> $\text{Q}_0$ stretching
920	(P-O-P) <sub>asym</sub> stretching
820-680	(P-O-P) <sub>sym</sub> stretching
640-400	( $\text{PO}_4$ ) <sup>3-</sup> $\text{Q}_0$

ストロンチウム、セシウムをターゲットとしたガラス固化体の作製を行った。すべての組成において失透は見られず、XRD 測定においてもハローパターンとなり、結晶化することもなくガラス化したと考えられる。また、得られたガラスサンプルを用いて化学的耐久性試験を行った。浸漬液にイオン交換水を用いた試験では、 $\text{MgO-SrO-P}_2\text{O}_5$ 系ガラスは浸漬日数に比例してイオンは浸出し、 $\text{MgO-Cs}_2\text{O-P}_2\text{O}_5$ 系ガラスでは5日目から飽和状態になったもののP45c20ではマグネシウムイオンの浸出量が少なかった。これはFT-IR スペクトルより、マグネシウムがP-O-Mgとしてガラス構造中で金属架橋構造をとるためセシウムよりも浸出しにくいと考えられる。 $\text{MgO-SrO-Cs}_2\text{O-P}_2\text{O}_5$ 系ガラスではsc10シリーズは浸漬日数に伴い緩やかにイオンは浸出した。sc20シリーズでは特にP45sc20のイオンの浸出量が少なかった。これはセシウム固化ガラスと同様に、ガラス構造中においてマグネシウムとストロンチウムが金属架橋構造をとるためだと考えられる。また、マグネシウムイオンとストロンチウムイオンの規格化浸出量を見るとストロンチウムイオンの浸出量が少ないため、ストロンチウムが優先して金属架橋構造をとるものだと考えられる。以上の結果より、固化ガラスの耐水性に関してP-O-M結合を生成するカチオンを添加することで向上が見込まれると考えられる。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 4件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 大倉利典, 吉田直哉, 山下仁大	4. 巻 26
2. 論文標題 希土類フリー新規超イオン伝導性固体電解質の開発	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 工学院大学総合研究所年報 (2018年度)	6. 最初と最後の頁 36-48
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 吉田直哉, 大倉利典	4. 巻 95
2. 論文標題 リン酸カルシウム系光触媒粉体・薄膜の開発	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 PHOSPHORUS LETTER	6. 最初と最後の頁 27-35
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Toshinori Okura	4. 巻 10/ 2
2. 論文標題 Development of Na <sup>+</sup> superionic conducting Na <sub>5</sub> YSi <sub>4</sub> O <sub>12</sub> -type glass-ceramics	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Adv. Mater. Lett.	6. 最初と最後の頁 85-90
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5185/amlett.2019.1684	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Toshinori Okura	4. 巻 2040
2. 論文標題 Synthesis and Na <sup>+</sup> Conduction Properties of Na <sub>5</sub> YSi <sub>4</sub> O <sub>12</sub> -type Glass-ceramics	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 AIP Conf. Proc.	6. 最初と最後の頁 20005
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5079047	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 大倉利典, 吉田直哉, 山下仁大	4. 巻 No.25
2. 論文標題 希土類フリー新規超イオン伝導性固体電解質の開発	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 工学院大学総合研究所年報	6. 最初と最後の頁 79-83
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 阿相英孝, 大倉利典	4. 巻 Vol. 138/ No. 4
2. 論文標題 エコマテリアルとエネルギー変換技術が創る未来社会 4	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 電気学会誌	6. 最初と最後の頁 209-211
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1541/ieejjournal.138.209">https://doi.org/10.1541/ieejjournal.138.209</a>	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 大倉利典	4. 巻 24
2. 論文標題 ガラスの結晶化による超イオン伝導性固体電解質の開発 (Review)	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 J. Soc. Inorg. Mater. Japan	6. 最初と最後の頁 382-386
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 大倉利典, 吉田直哉, 山下仁大	4. 巻 No. 24
2. 論文標題 希土類フリー新規超イオン伝導性固体電解質の開発	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 工学院大学総合研究所年報	6. 最初と最後の頁 118-123
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計64件（うち招待講演 8件 / うち国際学会 23件）

1. 発表者名 柴垣息吹・吉田直哉・大倉利典
2. 発表標題 水溶液中のイオンの吸着が動的濡れ性に及ぼす影響
3. 学会等名 日本セラミックス協会2020年年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石神華奈・川田耕司・吉田直哉・山下仁大・大倉利典
2. 発表標題 Na <sub>2</sub> O-Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -SiO <sub>2</sub> 系Na <sup>+</sup> 伝導性結晶化ガラスの合成とZr置換の影響
3. 学会等名 日本セラミックス協会2020年年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Toshinori Okura
2. 発表標題 Development of Na <sup>+</sup> superionic conductivities with Na <sup>+</sup> -superionic conductivity prepared by crystallization of glasses
3. 学会等名 Ca'Foscari University of Venice Seminar - Progress in phosphate materials toward the next generation - (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Ibuki Shibagaki, Naoya Yoshida, Toshinori Okura
2. 発表標題 Wettability of Sodium Halide Solutions on Hydrophobic Surfaces
3. 学会等名 The 18th International Symposium on Advanced Technology (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 後藤拓馬・吉田直哉・大倉利典
2. 発表標題 二次元逆オパール構造が動的濡れ性に及ぼす影響の検討
3. 学会等名 第11回大学コンソーシアム八王子学生発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 埴将也・吉田直哉・山下仁大・大倉利典
2. 発表標題 生体材料に向けたFe系Narpsio結晶化ガラスの分極処理の検討
3. 学会等名 第11回大学コンソーシアム八王子学生発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 近本将・吉田直哉・大倉利典
2. 発表標題 ODS自己組織化単分子膜表面における動的濡れ性の評価
3. 学会等名 第11回大学コンソーシアム八王子学生発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 星寿里奈・吉田直哉・大倉利典
2. 発表標題 ゾルゲル法で作製したCe <sup>3+</sup> をドープしたY <sub>3</sub> Al <sub>5</sub> O <sub>12</sub> 薄膜の蛍光特性
3. 学会等名 第11回大学コンソーシアム八王子学生発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 橋本太一・大倉利典・吉田直哉・山崎由紀・上原元樹
2. 発表標題 K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 存在下におけるエトリンタイトの再生成挙動
3. 学会等名 第11回大学コンソーシアム八王子学生発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川田耕司・吉田直哉・山下仁大・大倉利典
2. 発表標題 Na <sub>5</sub> YSi <sub>4</sub> O <sub>12</sub> 型結晶化ガラスの合成とナトリウムイオン伝導に及ぼす置換元素の影響
3. 学会等名 第45回固体イオニクス討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 柴垣息吹・吉田直哉・大倉利典
2. 発表標題 固体表面への無機イオンの吸着が動的濡れ性に及ぼす影響の評価
3. 学会等名 無機マテリアル学会第139回学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ibuki Shibagaki, Naoya Yoshida, Toshinori Okura
2. 発表標題 Solid-Liquid Interface Structure; Wettability of Sodium Halide Solutions
3. 学会等名 OKINAWA COLLOIDS 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Naoya Yoshida, Kazunori Inudo, Toshinori Okura
2. 発表標題 Evaluation of Friction Coefficient of Starch Gel on Solid Surface
3. 学会等名 OKINAWA COLLOIDS 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Koji Kawada, Naoya Yoshida, Kimihiro Yamashita, Toshinori Okura
2. 発表標題 Na <sup>+</sup> conduction properties of rare earth-free Narpsio glass-ceramics in the system Na <sub>2</sub> O-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -SiO <sub>2</sub>
3. 学会等名 The 13th Pacific Rim Conference of Ceramic Societies (PACRIM13) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 南部颯太・吉田直哉・大倉利典
2. 発表標題 ゾル-ゲル法によるNa <sub>5</sub> YSi <sub>4</sub> O <sub>12</sub> 薄膜の合成
3. 学会等名 日本化学会第9回CSJ 化学フェスタ2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 柴垣息吹・吉田直哉・大倉利典
2. 発表標題 水溶液中のアニオン種が動的濡れ性に及ぼす影響の検討
3. 学会等名 日本化学会第9回CSJ 化学フェスタ2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川田耕司・吉田直哉・山下仁大・大倉利典
2. 発表標題 希土類フリー-Na <sub>5</sub> FeSi <sub>4</sub> O <sub>12</sub> 型結晶化ガラスの合成とナトリウムイオン伝導に及ぼすSi置換効果
3. 学会等名 日本化学会第9回CSJ 化学フェスタ2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Moe Myint Thwe・川田耕司・大倉 利典
2. 発表標題 低温熱分解による鶏糞からのリンの回収
3. 学会等名 第28回無機リン化学討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Moe Myint Thwe, Toshinori Okura
2. 発表標題 Phosphorous recovery from Chicken manure using hi-speed fermentation, drying and fuel free pyrolysis processes
3. 学会等名 International Congress on Pure & Applied Chemistry (ICPAC) Yangon 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Toshinori Okura
2. 発表標題 Development of Na <sup>+</sup> -Superionic Conducting Narpsio Solid electrolyte
3. 学会等名 International Congress on Pure & Applied Chemistry (ICPAC) Yangon 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Zhang Wenqian, Koji Kawada, Naoya Yoshida, Toshinori Okura, Lu Li
2. 発表標題 Glass-Ceramics based electrolyte for all solid state sodium ion batteries
3. 学会等名 The 2nd Symposium for Collaborative Research on Energy Science and Technology (SCREST-2nd) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Sota Nambu, Naoya Yoshida, Kimihiro Yamashita, Toshinori Okura
2. 発表標題 Preparation of Na <sub>5</sub> YSi <sub>4</sub> O <sub>12</sub> thin film by sol-gel method
3. 学会等名 The 2nd Symposium for Collaborative Research on Energy Science and Technology (SCREST-2nd) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川田 耕司・吉田 直哉・山下 仁大・大倉 利典
2. 発表標題 希土類フリーFe系Narpsio結晶化ガラスの合成とNa <sup>+</sup> 伝導性
3. 学会等名 日本セラミックス協会2019年度第1回酸素酸塩材料科学研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大倉 利典
2. 発表標題 超イオン伝導性Narpsio結晶化ガラスの物質設計
3. 学会等名 日本セラミックス協会2019年度第1回酸素酸塩材料科学研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 森 彩乃・吉田直哉・大倉利典
2. 発表標題 Cs含有粘土鉱物を固化したリン酸塩系ガラスの熱的安定性
3. 学会等名 無機マテリアル学会第138回学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Toshinori Okura
2. 発表標題 Na <sup>+</sup> Superionic Conductor Narpsio Glass-Ceramics: Ionic Conductivity and SBF reactivity
3. 学会等名 15th International Conference of Computational Methods in Sciences and Engineering (ICCMSE2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 南部 颯太・吉田 直哉・大倉 利典
2. 発表標題 ゾル-ゲル法によるNa <sub>5</sub> YSi <sub>4</sub> O <sub>12</sub> 薄膜の合成
3. 学会等名 日本セラミックス協会2019年年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 柴垣 息吹・吉田 直哉・大倉 利典
2. 発表標題 自己組織化単分子膜のナトリウム塩水溶液に対する濡れ性
3. 学会等名 日本セラミックス協会2019年年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川田 耕司・吉田 直哉・山下仁大・大倉利典
2. 発表標題 Na <sub>2</sub> O-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -X <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -SiO <sub>2</sub> (X=B, Al, Ga)系Na <sup>+</sup> 伝導性結晶化ガラスの合成とSi 置換効果
3. 学会等名 日本セラミックス協会2019年年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Toshinori Okura, Koji Kawada, Naoya Yoshida, Kimihiro Yamashita
2. 発表標題 Development of Na <sup>+</sup> -Superionic Conductor Narpsio Glass-Ceramics
3. 学会等名 The 1st Symposium for Collaborative Research on Energy Science and Technology (SCREST-1st) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 南部颯太・吉田直哉・大倉利典
2. 発表標題 ゾル-ゲル法によるNa <sub>5</sub> YSi <sub>4</sub> O <sub>12</sub> 薄膜の合成
3. 学会等名 第10回大学コンソーシアム八王子学生発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 埜 将也・吉田直哉・山下仁大・大倉利典
2. 発表標題 Fe系Narpsioの分極評価
3. 学会等名 第10回大学コンソーシアム八王子学生発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 森 彩乃・吉田直哉・大倉利典
2. 発表標題 リン酸塩ガラスを用いたセシウム吸着粘土鉱物のガラス固化と分相リサイクル技術の確立
3. 学会等名 第10回大学コンソーシアム八王子学生発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 柴垣息吹・吉田直哉・大倉利典
2. 発表標題 滑水処理を施した材料表面の無機塩水溶液に対する濡れ性
3. 学会等名 無機マテリアル学会第137回学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松岡尚輝・吉田直哉・山下仁大・大倉利典
2. 発表標題 Na <sup>+</sup> / H <sup>+</sup> 交換Narpsio結晶化ガラスのH <sup>+</sup> 伝導性
3. 学会等名 日本化学会第8回CSJ 化学フェスタ2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 川田耕司・吉田直哉・山下仁大・大倉利典
2. 発表標題 Na5YSi4O12型結晶化ガラスのナトリウムイオン伝導に及ぼす置換元素の影響と結晶化熱処理の制御
3. 学会等名 日本化学会第8回CSJ 化学フェスタ2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 井上直幸・吉田直哉・大倉利典
2. 発表標題 Bi置換リン酸三カルシウムの合成と評価
3. 学会等名 日本化学会第8回CSJ 化学フェスタ2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 井上直幸・吉田直哉・大倉利典
2. 発表標題 Bi置換リン酸三カルシウムの合成と光触媒活性評価
3. 学会等名 日本セラミックス協会第 31 回秋季シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Toshinori Okura, Koji Kawada, Naoya Yoshida, Kimihiro Yamashita
2. 発表標題 Synthesis and Na <sup>+</sup> conduction properties of rare earth-free Narpsio glass-ceramics
3. 学会等名 International Symposium on Inorganic and Environmental Materials 2018 ( ISIEM 2018 ) ( 国際学会 )
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Naoya Yoshida, Yuki Okutomi, Ibuki Shibagaki, Toshinori Okura
2. 発表標題 Effect of polar interaction between liquid and solid on dynamic hydrophobicity of self-assembled monolayer surface
3. 学会等名 International Symposium on Inorganic and Environmental Materials 2018 ( ISIEM 2018 ) ( 国際学会 )
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松岡尚輝・吉田直哉・山下仁大・大倉利典
2. 発表標題 H <sup>+</sup> 伝導性Narpsio結晶化ガラスへの希土類置換がイオン伝導性に及ぼす影響
3. 学会等名 無機マテリアル学会第136回学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 井上直幸・吉田直哉・大倉利典
2. 発表標題 Bi 置換リン酸三カルシウムの合成と評価
3. 学会等名 無機マテリアル学会第136回学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大倉利典
2. 発表標題 リン酸塩ガラス系材料の物質設計と新機能創製
3. 学会等名 平成30年度早稲田大学リンアトラス研究所セミナー（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Toshinori Okura
2. 発表標題 Development of Na <sup>+</sup> -Fast Ionic Conducting Narpsio Glass-Ceramics
3. 学会等名 14th International Conference of Computational Methods in Sciences and Engineering (ICCMSE2018)（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yoshikazu Kaji, Naoya Yoshida, Kimihiro Yamashita, Toshinori Okura
2. 発表標題 Carrier ion exchange of Na <sub>2</sub> O-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -SiO <sub>2</sub> glass-ceramics
3. 学会等名 AVS 64th International Symposium & Exhibition (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yuki Iwai, Naoya Yoshida, Toshinori Okura
2. 発表標題 Preparation and Characterization of Metal-doped calcium phosphate
3. 学会等名 AVS 64th International Symposium & Exhibition (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yuki Iwai, Naoya Yoshida, Toshinori Okura
2. 発表標題 Preparation and Characterization of Metal-doped Calcium Phosphate
3. 学会等名 The 16th International Symposium on Advanced Technology (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yoshikazu Kaji, Naoya Yoshida, Kimihiro Yamashita, Toshinori Okura
2. 発表標題 Ionic Conductivity of H <sup>+</sup> Conductive Na <sub>2</sub> O-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -SiO <sub>2</sub> Glass-ceramics
3. 学会等名 The 16th International Symposium on Advanced Technology (国際学会)
4. 発表年 2017年

1 . 発表者名 Naoyuki Inoue, Naoya Yoshida, Toshinori Okura
2 . 発表標題 Preparation and Characterization of Bi doped Tricalcium Phosphate
3 . 学会等名 The 16th International Symposium on Advanced Technology ( 国際学会 )
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 Naoki Matsuoka, Naoya Yoshida, Kimihiro Yamashita, Toshinori Okura
2 . 発表標題 Synthesis of H+ Conductive Na <sub>4</sub> Y <sub>0.6</sub> P <sub>0.2</sub> Si <sub>2.809</sub> Glass-ceramic Solid Electrolyte
3 . 学会等名 The 16th International Symposium on Advanced Technology ( 国際学会 )
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 Naoya Yoshida, Taiki Genma, Toshiyuki Kuriya, Kazuto Fukasawa, Toshinori Okura
2 . 発表標題 Effects of 2D Inverse Opal Structure on Static and Dynamic Wettability
3 . 学会等名 The 16th International Symposium on Advanced Technology ( 国際学会 )
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 Naoya Yoshida, Taiki Genma, Kazuto Fukasawa, Toshinori Okura
2 . 発表標題 Evaluation of static and dynamic wettability
3 . 学会等名 AVS 64th International Symposium & Exhibition ( 国際学会 )
4 . 発表年 2017年

1. 発表者名 Toshinori Okura
2. 発表標題 Development of New Superionic Conductor Narpsio Glass-Ceramics
3. 学会等名 The 2017 Sustainable Industrial Processing Summit and Exhibition (2017 SIPS) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 中村美穂, 米山祥平, 吉田直哉, 大倉利典, 山下仁大
2. 発表標題 分極ゼオライトの電気特性評価
3. 学会等名 日本セラミックス協会2018年年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 岩井勇樹, 吉田直哉, 大倉利典
2. 発表標題 Sn添加FApの合成と光触媒活性評価
3. 学会等名 日本セラミックス協会2018年年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 梶 義和, 吉田直哉, 山下仁大, 大倉利典
2. 発表標題 H <sup>+</sup> 伝導性Na <sub>2</sub> O-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -SiO <sub>2</sub> 系結晶化ガラスのイオン伝導性
3. 学会等名 日本セラミックス協会2018年年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 秦 義彦, 吉田直哉, 大倉利典
2. 発表標題 セッコウの透明薄膜の作製
3. 学会等名 第9回大学コンソーシアム八王子学生発表会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 井上 直幸, 吉田直哉, 大倉利典
2. 発表標題 Bi <sup>3+</sup> 置換リン酸三カルシウムの合成と評価
3. 学会等名 第9回大学コンソーシアム八王子学生発表会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 梶 義和, 吉田直哉, 山下仁大, 大倉利典
2. 発表標題 H <sup>+</sup> 伝導性Na <sub>2</sub> O-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -SiO <sub>2</sub> 系結晶化ガラスの合成とイオン伝導性
3. 学会等名 日本セラミックス協会第30回秋季シンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 大倉利典
2. 発表標題 オープンイノベーションを加速するエネルギーエレクトロニクス材料研究拠点の構築
3. 学会等名 VACUUM2017 真空展
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 大倉利典, 吉田直哉
2. 発表標題 キャリアイオンが変更可能な結晶化ガラス新規固体電解質
3. 学会等名 イノベーション・ジャパン2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 松岡尚輝, 吉田直哉, 山下仁大, 大倉利典
2. 発表標題 H <sup>+</sup> 伝導性Narpsio結晶化ガラスのイオン伝導性
3. 学会等名 無機マテリアル学会第135回学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 大倉利典
2. 発表標題 高イオン伝導性結晶化ガラスの物質設計と高機能化
3. 学会等名 上智大学データ報告会(招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 吉田直哉, 渡辺好亮, 大倉利典
2. 発表標題 セッコウの構造と物性にAg <sup>+</sup> , Fe <sup>3+</sup> 添加が与える影響
3. 学会等名 無機マテリアル学会第134回学術講演会
4. 発表年 2017年

## 〔図書〕 計4件

1. 著者名 Toshinori Okura, Kimihiro Yamashita	4. 発行年 2020年
2. 出版社 Springer Nature	5. 総ページ数 34
3. 書名 Theoretical Chemistry for Advanced Nanomaterials-Functional Analysis by Computation and Experiment [ New Na <sup>+</sup> superionic conductor Narpsio glass-ceramics ]	

1. 著者名 大倉利典	4. 発行年 2019年
2. 出版社 三共出版株式会社	5. 総ページ数 23
3. 書名 無機リン化学の基礎と応用 (CD版)	

1. 著者名 小嶋芳行, 大倉利典, 森崎隆吉, 小川喜弘, 林庄作, 用山徳美, 早川友幸, 藤生智博, 山崎良一郎, 入来信行	4. 発行年 2018年
2. 出版社 日本規格協会	5. 総ページ数 38
3. 書名 JIS R 9101 せっこうの化学分析方法	

1. 著者名 大倉利典	4. 発行年 2017年
2. 出版社 朝倉書店	5. 総ページ数 4
3. 書名 リンの事典	

## 〔産業財産権〕

## 〔その他〕

-

## 6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	吉田 直哉  (Yoshida Naoya)		