

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 6 月 9 日現在

機関番号：13601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K06790

研究課題名(和文) 膨潤性マイカ複合セラミックスの自己修復能とイオン交換による強化

研究課題名(英文) Crack healing and chemical strengthen of swelling mica combined ceramics

研究代表者

樽田 誠一 (Taruta, Seiichi)

信州大学・学術研究院工学系・教授

研究者番号：00217209

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)：本研究では、層間に水を取込み膨潤し、イオン交換ができることを特徴とする膨潤性マイカをセラミックスに複合化し、緻密な複合体の作製を試みた。また、作製した複合体表面付近の膨潤性マイカの層間により大きなイオンをイオン交換することで化学強化ガラスと同様の強化の発現を検討した。さらに、複合体表面付近の膨潤性マイカが層間に水を取込み膨潤することで、発生した欠陥が消滅する自己修復の発現を検証した。その結果、緻密なジルコニア/膨潤性マイカおよびアパタイト/膨潤性マイカ複合体が得られ、イオン交換による強化が見出されたが、自己修復能の発現は困難であることがわかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、膨潤性マイカを安定化ジルコニアおよびフッ素アパタイトへ複合化し、緻密な複合体を作製し、新しい快削性セラミックスを開発した。また、それらの焼結挙動を解明し、特に、安定化ジルコニアへ膨潤性マイカを複合化すると緻密化温度が150-200℃も低下することを見出した。また、それら複合体のイオン交換過程を解明し、複合体はイオン交換することで強化されることを明らかにした。このように焼結体についても化学強化ガラスと同様に強化できることを本研究で初めて実証した。これら複合体は、精密加工が容易で寸法精度の高いセラミックスとして構造材料や歯科材料等の生体材料への応用が可能である。

研究成果の概要(英文)：In this study, swelling mica which absorbs water in interlayer and can ion-exchange was combined with ceramic materials, and so the fabrication of the dense composites was tried. Larger cations in molten salts were ion-exchanged for smaller cations in interlayer of swelling mica near the surface of the prepared dense composites and then the chemical strengthening of the composites was investigated. Furthermore, crack generated on the surface of the composites may disappear by the swelling of mica which absorbs water in interlayer, and so crack healing of composites was investigated. As the results, dense zirconia/swelling mica and fluoroapatite/swelling mica composites were obtained, they were strengthened by ion-exchange but crack healing did not appear on surface of the composites in the water at room temperature.

研究分野：無機材料化学

キーワード：セラミックス 膨潤性マイカ 複合体 焼結 イオン交換 化学強化

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

機械加工性を有するセラミックス(快削性セラミックス)についての研究は、h-BNの複合化およびリン酸塩の複合化などがある。特に、窒化ケイ素とナノサイズのh-BNとの複合体では、1000MPaを超える高強度が得られている。報告者らは、マイカを複合化した快削性セラミックスについて研究を進め、その中で、ジルコニア/マイカ複合体が676MPaと酸化物系快削性セラミックスでは高い曲げ強度が得られることを示した。このような快削性セラミックスについての研究は国内外ともに少ない。一方、3Dプリンティング法で複雑形状セラミックスが試作されてきている。この方法でも焼成収縮による寸法のズレが発生するため、寸法を修正できる快削性セラミックスが求められおり、その研究の緊急性は高くなりつつある。

2. 研究の目的

報告者らは、これまで非膨潤性マイカをアルミナ、スピネル、コーディエライトおよびジルコニアへ複合化した快削性セラミックスについて、それらの焼結挙動および機械的性質を検討してきた。一方、マイカは、非膨潤性マイカと膨潤性マイカ、に分類される。マイカは、代表的な層状化合物であり、フッ素金雲母($\text{KMg}_3\text{AlSi}_3\text{O}_{10}\text{F}_2$)のように層間イオンが比較的大きなサイズの K^+ イオンであるマイカは非膨潤性マイカに分類され、層間に他のイオンや分子を侵入させることはない。他方、 Li^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} イオンのように、小さなイオンが層間イオンであるマイカは膨潤性マイカに分類され、層間に水分子が容易に侵入し、層間を拡張する膨潤現象が生ずる。また、層間イオンは他のイオンとのイオン交換が容易である。

しかし、膨潤性マイカをバルク状の結晶化ガラスへ析出させる、あるいは焼結体とする場合、大気中の水分がマイカ層間に侵入してくるため、膨潤性マイカが体積膨張してバルク体は崩壊してしまう。その一方で、申請者らは、 Li^+ イオンが層間イオンである膨潤性マイカが析出しても崩壊しない透明なマシナブルマイカ結晶化ガラスの合成に成功している。この結晶化ガラスは、膨潤性マイカを他の母材となるセラミックスへ複合化しても、崩壊しない複合焼結体を得られる可能性のあることを示唆している。そこで、この知見を発展させ、膨潤性マイカを複合化した新規快削性セラミックスの創製を試みる。

3. 研究の方法

(1) 明らかにする点

本研究では、新規快削性セラミックスとして、始めにジルコニア/膨潤性マイカ複合体を取り上げ、その緻密な複合体の作製方法を確認し、その知見を踏まえたうえで、次に緻密なアパタイト/膨潤性マイカ複合体の作製を試みた。それら複合体の以下の点について検討してきた。

① 複合体の焼結挙動

膨潤性マイカは層間に水が侵入することで水溶液系に高分散し剥離しやすく、ナノシート化が容易である。そこで、微細化・ナノシート化した膨潤性マイカの複合化がジルコニア/膨潤性マイカ複合体およびアパタイト/膨潤性マイカ複合体の焼結挙動に与える影響を明らかにした。

② 複合体のイオン交換による強化

膨潤性マイカのイオン交換能を利用し、複合体の強化を試みた。これは化学強化ガラスと同様の原理の強化で、膨潤性マイカの層間イオンである Na^+ イオンを K^+ イオンのような大きな陽イオンとイオン交換し、周囲に圧縮応力を発生させることで複合体を強化させる。そこで、複合体を熔融塩中でイオン交換し、イオン交換の条件およびイオン交換が機械的性質(硬度、破壊靱性、曲げ強度)へ与える影響を検討し、複合体の新しい強化方法を検討した。

③ 複合体の自己修復能の発現について

膨潤性マイカは層間に水を取り込み体積増加する。複合体表面に発生した欠陥(亀裂)に隣接する膨潤性マイカが層間に水を取込み膨潤することができれば、発生した欠陥が消滅あるいは縮小するような自己修復が期待できる。本研究では、ジルコニア/膨潤性マイカ複合体について、その発現を検証した。

(2) ジルコニア/膨潤性マイカ複合体の作製と性質

① 焼結挙動の解明

膨潤性マイカとして、Na テニオライト($\text{NaMg}_2\text{LiSi}_4\text{O}_{10}\text{F}_2$; NTA)、Na 四ケイ素マイカ($\text{NaMg}_{2.5}\text{Si}_4\text{O}_{10}\text{F}_2$; NTS)、Na フッ素金雲母($\text{NaMg}_3\text{AlSi}_4\text{O}_{10}\text{F}_2$; NFP)およびCa フッ素金雲母($\text{Ca}_{0.5}\text{Mg}_3\text{AlSi}_4\text{O}_{10}\text{F}_2$; CFP)を熔融法により調製した。これらについて水を分散媒としてボールミルで粉碎し、マイカスラリーとした。マイカスラリーの分散試験の結果、CFPはすぐに沈降した。そこで、NTA、NTSおよびNFPはスラリーの状態、CFPは乾燥して粉末の状態、マイカが20wt%になるよう、市販のジルコニア粉末(3mol% Y_2O_3 含有、粒径0.1-0.2 μm)へ添加し、ボールミル混合した。混合後乾燥させ、100メッシュのふるいに通し整粒し、混合粉末とした。混合粉末を静水圧成形した後、400°Cで30min仮焼し、冷却して200°Cになった時点で白金容器に封入し、焼成した。仮焼しない場合も検討した。

得られた複合体について、相対密度、生成相および微構造を評価し、焼結挙動を検討した。

② イオン交換と機械的性質

焼結挙動を検討した結果、緻密な複合体が得られたのは、ジルコニア/NFP複合体のみであった。そこで、イオン交換する複合体として、1200°Cで1min焼成して得られたジルコニア/NFP

複合体 (相対密度 99.0%) を用いた。ペレット状の複合体の上下面を鏡面研磨した後、KCl (融点: 771°C), KI (融点: 681°C) および KCl-KI 系の共晶組成で KCl:KI=1:1 (モル比) の混合塩 (共晶温度: 598°C)^①を用い、熔融温度 800°C で保持時間を変えてイオン交換した。

イオン交換については、イオン交換した複合体 (イオン交換体) の切断面を EPMA により Na および K の分布を分析し、また、微構造を SEM 等で観察し、さらに、表面の生成相を XRD で分析し、さらにマイカの底面間隔 ($c \cdot \sin \beta$) を求めた。

イオン交換前の複合体およびイオン交換体、さらに比較としてジルコニア単体 (1350°C, 2h 焼成, 相対密度 98.7%) について、ビッカース圧子を圧入して、圧痕から発生した亀裂長さ、ビッカース硬度および破壊靱性を測定した。また、複合体, KCl で 16h イオン交換したイオン交換体およびジルコニア単体の曲げ強度を 3 点曲げ試験により測定した。

③ 複合体の自己修復能の発現について

NFP を 30wt% 添加して 1100°C で 2h 焼成して得られた複合体について、ビッカース圧子を圧入して、水中に 72h 浸漬した。水中に浸漬前後のビッカース圧痕から発生した亀裂を観察し、亀裂幅の長さの変化から自己修復能の発現について検討した。

(3) アパタイト/膨潤性マイカ複合体の作製と性質

① 焼結挙動の解明

本研究では、アパタイトとして、ハイドロキシアパタイト ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$; HAp) およびフッ素アパタイト ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$; FAp) を膨潤性マイカである NFP と複合化した。HAp および FAp については、溶液沈殿法で合成した (粒径約 0.1 μm)。また、NFP は上記と同様に調製し、スラリーとした。NFP スラリーをマイカが 25wt% となるように、HAp および FAp へ加えボールミル混合した。混合後乾燥させ、100 メッシュのふるいに通し整粒し、混合粉末とした。混合粉末を静水圧成形した後、白金容器に封入し、焼成した。

② イオン交換と機械的性質

焼結挙動を検討した結果、緻密な複合体が得られたのは、FAp/NFP 複合体のみであった。そこで、1000°C で 1min 焼成して得られた FAp/NFP 複合体 (相対密度 98.6%) をイオン交換した。ペレット状の複合体の上下面を鏡面研磨した後、 KNO_3 (融点: 440°C, 分解温度: 530°C) を用い、熔融温度 450°C で保持時間を変えてイオン交換した。イオン交換および機械的性質の評価については、上記の 3-(2)-②と同様に行った。

4. 研究成果

(1) ジルコニア/膨潤性マイカ複合体の作製と性質

① 焼結挙動の解明

膨潤性マイカとして、NTA, NTS および CFP をジルコニアへ複合化すると、焼成の際にそれらマイカはジルコニアと反応し、ジルコン等が生成した。その結果、複合体は緻密化するものの、マイカのない複合体となった。一方、NFP をジルコニアへ添加し、1200°C で 1min 焼成すると、相対密度 99.0% の緻密なジルコニア/マイカ複合体が得られた。ジルコニア単体は 1300°C で相対密度が 98% 以上に達するため、NFP の複合化により、100-150°C 低い温度でジルコニアが緻密化することがわかった。この複合体では、マイカが大きいもので 1-2 μm まで成長しているが、均一混合していた。このような微構造になったのは、微細化した膨潤性 NFP がスラリー中で均一分散し、ジルコニア粉末と均一混合した結果と考えられる。なお、仮焼せずに焼成すると、複合体には大きな亀裂が発生したが、仮焼することで亀裂は発生しなかった。これは、マイカ層間に侵入した水が仮焼によりほぼ取り除かれたためと考えられた。また、1200°C で 1min 焼成した複合体の STEM 写真を図 1 に示す。黒い部分がジルコニア、明るい部分がマイカである。マイカ粒子には層状構造による縞模様がみられた。ジルコニアは粒成長がほとんど起きておらず、粒径は 0.1~0.3 μm であった。また、ジルコニア粒子は球状に近く、粒子間は平滑化していた。この平滑化は、液相焼結した結果を現すものである^②。NFP は、熱分析より 900-1000°C で熔融することが明らかとなっている。すなわち、焼成の間に、NFP は、900-1000°C で熔融して液相となり、冷却中に液相からマイカが結晶化してくる。複合体中のジルコニアは、生成した液相を介して焼結 (液相焼結) し、ジルコニア単体よりも低い温度で緻密化したといえる。この液相焼結では、ジルコニアの溶解-再析出が起きて緻密化が進み、ジルコニア粒子間が平滑化したと考えられ、この平滑化は粒子の合体を伴わないため^②、ジルコニアはほとんど粒成長しなかったといえる。

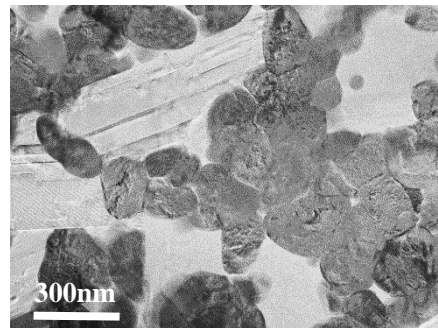


図 1 1200°C で 1min 焼成したジルコニア/マイカ複合体の STEM 写真

② イオン交換と機械的性質

1200°C で 1min 焼成したジルコニア/NFP 複合体を KCl で 16h イオン交換した後の断面を EPMA 分析して得られた K と Na のマッピングを図 2 に示す。これより、複合体表面付近で K が検出され、Na が少なくなっており、マイカ中の Na と熔融塩中の K がイオン交換されたことがわかる。マイカ単体を熔融塩中でイオン交換すると、マイカ層間の Na^+ イオンが K^+ イオンへと交換され

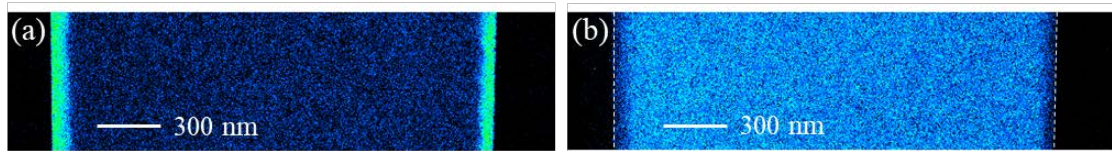


図2 KClで16hイオン交換したジルコニア/マイカ複合体の断面の(a)Kおよび(b)Naのマッピング

たことが確認されたが、長時間のイオン交換では、マイカと熔融塩が反応し、 KAlSiO_4 などが生成した。熔融塩としてKIを用いることで、より速くイオン交換され、反応生成物もより速く現れた。KClで16hイオン交換する前と後の複合体表面付近のマイカの(003)面からのXRDピークを図3に示す。これより、イオン交換によってピーク強度は弱くなるものの、回折角度は変化していないことがわかる。これは、イオン交換によりマイカの量は少なくなり、残っているマイカの底面間隔には変化がない、すなわち、マイカ層間には K^+ イオンが入っていないことを示唆する。マイカ単体をイオン交換すると、 K^+ イオンは層間に入ることができるが、複合体をイオン交換しても複合体中のマイカの層間には K^+ イオンが入らないことがわかった。他方、マイカと同様に、層状ケイ酸塩化合物であるカオリナイトはK熔融塩中で反応し、非晶質相を経由し KAlSiO_4 が生成することが報告されている³⁴。本研究のNFPも(1)式のように、K熔融塩と反応し、始めに非晶質相が生成し、その後、 KAlSiO_4 等の化合物が生成すると考えられる。

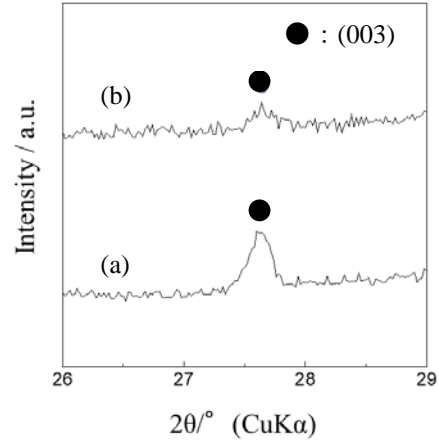


図3イオン交換する(a)前と(b)後の複合体表面付近のマイカ(003)面からのXRDピーク

Na 金雲母 + K 熔融塩 \rightarrow 非晶質 + Na 含有 K 熔融塩 \rightarrow KAlSiO_4 等生成物 + 非晶質 (1)
 これらより、複合体のイオン交換は、次のように考えられる。複合体表面のマイカと K 熔融塩が(1)式のように反応することで、熔融塩中の K^+ イオンは複合体へ侵入し、複合体中の Na^+ イオンは熔融塩へ移動していく。非晶質相が生成することで構造的に方向性がなくなるため、複合体中に K^+ イオンが入りやすくなり、非晶質相が多くなることで、 K^+ イオンは複合体深く侵入できるようになる。

次に、複合体およびイオン交換体にビッカース圧子を圧入して発生した亀裂の長さを図4に示す。これより、イオン交換により亀裂長さが短くなることがわかる。これは、イオン交換により複合体表面付近に圧縮応力が発生したことを示唆している。しかし、KIを用いたイオン交換では、一定時間以上イオン交換すると亀裂長さは大きくなる傾向にある。その亀裂長さが大きくなった複合体表面を観察すると、表面には隆起した生成物が観察された。これより、マイカと熔融塩の反応生成物が複合体表面上へ流出することで、発生した圧縮応力が緩和されたと考えられた。複合体はジルコニア単体よりも硬度、破壊靱性および曲げ強度は低下したが、イオン交換によって、圧縮応力が発生することで、それら機械的性質は改善され、破壊靱性はジルコニア単体と同程度になった。また、曲げ強度についてみると、ジルコニア単体は687MPaで、複合体は322MPaまで低下するが、KClで16hイオン交換すると、447MPaまで改善された。なお、イオン交換しても、機械加工は可能であった。

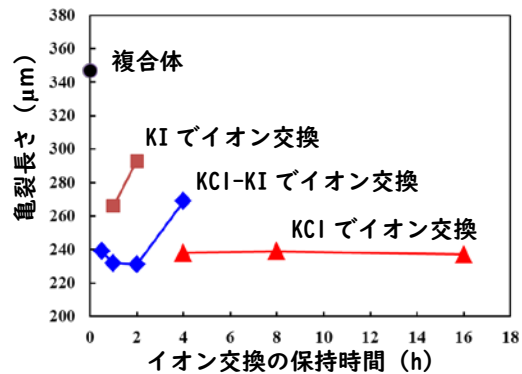


図4複合体およびイオン交換体にビッカース圧子を圧入して発生した亀裂の長さ

③ 複合体の自己修復能の発現について

ビッカース圧子を圧入した複合体を水中に72h浸漬した。浸漬前後のビッカース圧痕から発生した亀裂を観察した結果、亀裂には大きな変化がなく、亀裂の自己修復能は観察されなかった。一方、複合体を水に浸漬しても、NFPの膨潤による崩壊は観察されなかった。これらより、複合体を室温の水に浸漬しても、複合体中のNFPが水を取込み膨潤することは困難であると考えられた。

(3) アパタイト/膨潤性マイカ複合体の作製と性質

① 焼結挙動の解明

HAp/NFP複合体については、相対密度は最大約93%で、それ以上緻密な複合体は得られなかった。一方、FAp/NFP複合体については、950°Cで1minの焼成で相対密度が97.8%に達し、1000°C・

1min で 98.6% にまで緻密化した。FAp 単体は、950°C・2h で相対密度 98.6% にまで緻密化しており、FAp の場合、ジルコニアとは異なり、NFP の複合化は FAp の緻密化を阻害していると考えられた。これは、NFP が溶融するよりも低い温度域で FAp の焼結が始まるためと考えられる。950°C で 1min 焼成した複合体は NFP が完全に溶融していない可能性があり、NFP は 1 μ m で FAp は 1 μ m 程度以下であった。一方、1000°C・1min で焼成した複合体の破断面を図 5 に示す。1000°C では、NFP はほぼ完全に溶融すると考えられ、冷却中に NFP は析出し 3 μ m 程度まで成長し、FAp は生成した液相を介して 5 μ m 近くまで成長した。

② イオン交換と機械的性質

1000°C で 1min 焼成した FAp/NFP 複合体を 450°C の KNO₃ 溶融塩中で 16h イオン交換した後の断面を EPMA 分析した。K と Na のマッピングおよび面分析を図 6 に示す。Na は破断面全体にわたり、ほぼ一定の分布を示し、K は表面付近でわずかに検出された。これより、極わずかに複合体の Na⁺ イオンと溶融塩中の K⁺ イオンがイオン交換したと考えられる。このイオン交換によってマイカと溶融塩、アパタイトと溶融塩が反応した形跡はほとんど観察されなかった。また、NFP 単体を 450°C の KNO₃ 溶融塩中で 16h イオン交換すると、マイカ層間には K⁺ イオンが入り、イオン交換されたことが確認された。したがって、上述したジルコニア/NFP 複合体のイオン交換とは異なり、イオン交換の溶融温度が低いために、マイカと溶融塩の反応はほとんど起こらず、また、マイカは複合体中にあるため、マイカ層間が広がらず、イオン交換は極微量しか起こらなかったと考えられる。

1000°C で 1h 焼成した FAp 単体、1000°C で 1min 焼成した FAp/NFP 複合体およびその複合体を 450°C の KNO₃ 溶融塩中で 16h イオン交換したイオン交換体の機械的性質を表 1 に示す。これより、FAp は NFP の複合化により、ビッカース硬度、破壊靱性および曲げ強度が向上した。イオン交換すると、ビッカース硬度はわずかに低下したものの、亀裂長さは短くなり破壊靱性および曲げ強度は向上した。これより、イオン交換量は少ないものの、複合体表面には圧縮応力が発生していると考えられた。

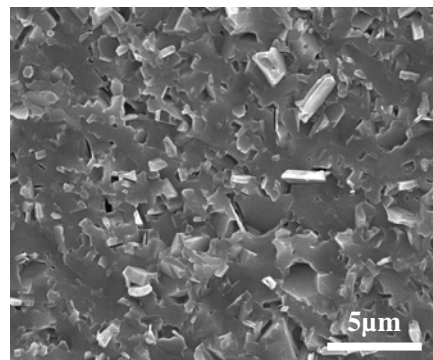


図 5 1000°C・1min で焼成した FAp/NFP 複合体の破面の SEM 写真

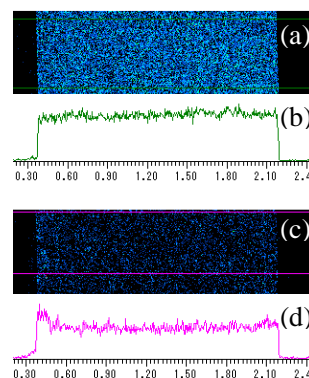


図 6 複合体を 450°C の KNO₃ 溶融塩中で 16h イオン交換した後の断面の (a)Na マッピング、(b)Na 面分析、(c)K マッピング および (d)K 面分析

表 1 試料の機械的性質

試料	亀裂長さ (μ m)	ビッカース硬度 (GPa)	破壊靱性 (MPa \cdot m ^{0.5})	曲げ強度 (MPa)
FAp 単体	252	6.1	0.49	78.6
FAp/NFP 複合体	200	4.7	0.84	136.1
イオン交換体 (KNO ₃ , 450°C, 16h)	170	4.3	1.12	145.6

<引用文献>

- ① Phase diagrams for Ceramists volume VII, Edited by L. P. Cook and H. F. McMurdie, The American Ceramic Society, Inc., (1989) Fig. 7804.
- ② R. M. German, 守吉佑介・笹本 忠・植松敬三・伊熊泰郎・丸山俊夫 共訳, 液相焼結, 内田老鶴圃, (1992) p. 123-p. 153.
- ③ L. Heller-Kallai, "Reaction of salts with kaolinite at elevated temperatures. I", Clay Minerals, 13, 221-235, 1978.
- ④ L. Heller-Kallai and I. Lapidus, "Thermal reactions of kaolinite with potassium carbonate", J. Therm. Anal. Cal., 71, 689-698, 2003.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2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 Seiichi Taruta, Issei Yamaguchi, Tomohiko Yamakami, Tomohiro Yamaguchi	4. 巻 7
2. 論文標題 Sintering behavior and mechanical properties of machinable zirconia/mica composites	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 J. Asian Ceram. Soc.	6. 最初と最後の頁 342-349
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 オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Junnosuke Kemi, Tomohiro Yamaguchi, Tomohiko Okada, Seiichi Taruta	4. 巻 23
2. 論文標題 Influence of negative charge distribution and locations of Na ⁺ ions on ionic conductivity of Na-micas	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Clay Sci.	6. 最初と最後の頁 31-39
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.11362/jcssjclayscience.23.3_31	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 -

〔学会発表〕 計22件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 滝田優治, 山上朋彦, 山口朋浩, 樽田誠一
2. 発表標題 イオン交換したジルコニア/Na フッ素金雲母複合体の機械的特性
3. 学会等名 第35回日本セラミックス協会関東支部研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山口紘輝, 山口朋浩, 樽田誠一
2. 発表標題 膨潤性 Na マイカ/フッ素アパタイトの作製と性質
3. 学会等名 第35回日本セラミックス協会関東支部研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 井上知浩, 山口朋浩, 樽田誠一
2. 発表標題 新規高電荷密度 Na マイカの合成とイオン伝導
3. 学会等名 第35回日本セラミックス協会関東支部研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Junnosuke Kemi, Tomohiro Yamaguchi, Tomohiko Okada, Seiichi Taruta
2. 発表標題 Effects of milling on NH ₄ ⁺ ion-exchange of Na-taeniolite and ionic conductivity of protonated-taeniolite
3. 学会等名 The 13th Pacific Rim Conference of Ceramic Societies (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 滝田優治, 山上朋彦, 山口朋浩, 樽田誠一
2. 発表標題 ジルコニア/Na フッ素金雲母複合体のイオン交換による化学強化
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 山口紘輝, 山上朋彦, 山口朋浩, 樽田誠一
2. 発表標題 フッ素アバタイト/膨潤性Naマイカ複合体の作製とイオン交換
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 ARCHANNA DARSHINI GUNASEGARAN, 山上朋彦, 山口朋浩, 樽田誠一
2. 発表標題 マイカ結晶化ガラスのイオン交換とイオン交換体の機械的性質
3. 学会等名 第34回日本セラミックス協関東支部研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山口一成, 山上朋彦, 山口朋浩, 樽田誠一
2. 発表標題 マイカ複合ジルコニアセラミックスの微構造と機械的性質
3. 学会等名 日本セラミックス協第31回秋季シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 毛見隼之介, 山口朋浩, 岡田友彦, 樽田誠一
2. 発表標題 Naマイカのアンモニウムイオン交換によるプロトン型マイカの作製
3. 学会等名 第62回日本粘土科学討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 ARCHANNA DARSHINI GUNASEGARAN, 山上朋彦, 山口朋浩, 樽田誠一
2. 発表標題 マイカ結晶化ガラスのイオン交換とイオン交換体の機械的性質
3. 学会等名 日本セラミックス協関西支部第21回若手フォーラム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 滝田優治, 山上朋彦, 山口朋浩, 樽田誠一
2. 発表標題 膨潤性マイカ複合ジルコニアセラミックスの低温焼結と機械的性質
3. 学会等名 日本セラミックス協会 平成30年度資源・環境関連材料部会講演・討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 ARCHANNA DARSHINI GUNASEGARAN, 山上朋彦, 山口朋浩, 樽田誠一
2. 発表標題 マイカ結晶化ガラスのイオン交換とイオン交換体の機械的性質
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 山口紘輝, 山口朋浩, 樽田誠一
2. 発表標題 膨潤性Naマイカ/アパタイト複合体の作製と性質
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 滝田優治, 山上朋彦, 山口朋浩, 樽田誠一
2. 発表標題 Naフッ素金雲母/ジルコニア複合体の作製およびイオン交換
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 毛見隼之介, 山口朋浩, 岡田友彦, 樽田誠一
2. 発表標題 新規プロトン伝導体としてのH+マイカの作製および特徴づけ
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 田中 遥, 山上朋彦, 山口朋浩, 樽田誠一
2. 発表標題 透明なリチウムマイカ結晶化ガラスの結晶化および機械的性質に与えるストロンチウム添加の影響
3. 学会等名 第33回日本セラミックス協会関東支部研究発表会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 ARCHANNA DARSHINI GUNASEGARAN, 山上朋彦, 山口朋浩, 樽田誠一
2. 発表標題 マイカ結晶化ガラスおよびその母ガラスの銀イオン交換とイオン交換体の加熱変化
3. 学会等名 第33回日本セラミックス協会関東支部研究発表会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 都築 洸, 山上朋彦, 山口朋浩, 樽田誠一
2. 発表標題 金属アルコキッドを用いたグラフェンナノシートへのジルコニア修飾とその加熱変化
3. 学会等名 第33回日本セラミックス協会関東支部研究発表会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 毛見隼之介, 山口朋浩, 岡田友彦, 樽田誠一
2. 発表標題 二価遷移金属を同形置換したNaフッ素マイカの Na+イオンの状態およびイオン伝導
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 中根尚也, 山上朋彦, 山口朋浩, 樽田誠一
2. 発表標題 ジルコニア/ワラストナイト複合体の低温焼結と機械的性質
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 西口 朋, 山上朋彦, 山口朋浩, 樽田誠一
2. 発表標題 チタニアおよびスピネルを添加したアルミナセラミックスの低温焼結
3. 学会等名 日本セラミックス協会 平成29年度資源・環境関連材料部会講演・討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 毛見隼之介, 山口朋浩, 岡田友彦, 樽田誠一
2. 発表標題 Na テニオライトの構造およびイオン伝導度に与える Ge 置換の影響
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

〔図書〕 計0件

〔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
--	---------------------------	-----------------------	----