

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 7 日現在

機関番号：15301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25289229

研究課題名(和文) 超塑性発泡法を用いた新規機能性セラミックスの創製と特性向上

研究課題名(英文) Innovation and improvement of novel functional ceramics utilizing the superplastically foaming method

研究代表者

岸本 昭 (Kishimoto, Akira)

岡山大学・自然科学研究科・教授

研究者番号：30211874

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,400,000円

研究成果の概要(和文)：報告者の提案した超塑性発泡法を用い、セラミック中に導入した気孔の圧力による形状変化を利用したセンサの開発を行なった。400℃までの温度範囲であればZnO発泡体は加圧・除圧における抵抗変化を示し、センサ素子としての応用が可能であることを示した。更に、異種元素(Ag, Li)のドーピングによって母体の抵抗値を変化させることで、センサ感度の向上や動作温度を500℃まで高めることに成功した。

研究成果の概要(英文)：Aiming for an application to the high temperature pressure sensor, semiconductive ceramics foam incorporated with a narrow slit has been fabricated by the superplastically foaming method. We investigated the pressure dependence of resistance on the zinc oxide based foaming body, by changing the fabrication process and composition. The resistance of the sample decreased with an increase in pressure both at room and high temperatures. The performance of this type of sensor has been improved by doping ambivalent atoms (Ag and Li) into the matrix.

研究分野：無機材料科学

キーワード：超塑性 気孔 圧力センサー

1. 研究開始当初の背景

我々は耐火物として知られるジルコニアセラミックスを一度焼結させ緻密な外皮を作ると同時に内部の気体のガス圧を利用して、固相のまま発泡させることに成功した(Adv. Eng. Mater.,8,[8],708-711,(2006))。つまり、焼結後に気泡を導入することで、機械的信頼性を保ちつつ、気孔率を高めることができるようになった。

従来発泡後焼結させる方法では、不十分な焼結で気孔率を確保するか、気孔率を犠牲にして粒子間結合を高めるかのいずれかであった。これに対し、超塑性を利用した焼結後に発泡させる申請者の方法は、粒子間結合を低下させることはないで、高い信頼性を確保したまま高気孔率の多孔体を得ることができる。実際に申請者らは、気孔を導入したにも関わらず機械強度がほとんど劣化しない多孔体の作製に成功している(Adv. Eng. Mater.,11,[1-2],96-100,(2009))。

焼結は、粒子の結合をもたらすが、同時に気孔を排除するように働くため、従来発泡後焼結させる方法では、不十分な焼結で気孔率を確保するか、気孔率を犠牲にして粒子間結合を高めるかのいずれかであった。これに対し、超塑性を利用した焼結後の発泡させる今回の方法は、粒子間結合を低下させることはないで、高い信頼性を確保したまま高い気孔率の多孔体を得ることができる。また、有する気孔は閉気孔であり、さらに、内部は減圧となっていることが示唆されており、高い断熱効果が期待される。

発泡スチロールを中心とした高分子発泡体は、ポリスチレンを軟化させると同時に、含有した発泡ガスを気化させて作製される。無機材料でもガラスは軟化点以上の塑性変形を利用し、発泡ガラスの作製が可能である。しかし、耐火物に用いるような多孔質セラミックスでは融点以上での合成は現実的ではなく、これ以下の温度での塑性変形も小さいため、発泡体形成のための利用は不可能とされてきた。今回の手法は焼結後に気泡を導入することで、機械的信頼性を保ちつつ、気孔率を高めることができるようになった。セラミックスの超塑性は変形速度が遅く、機械加工に利用されてこなかった。今回の発泡技術は、外力を加える必要がなく、焼成時間を長くするだけですむので、超塑性の初めての有効利用と考えられる。今回、高信頼性高気孔率の多孔体は、発泡物質を混入成形後、大気中、焼成温度で処理するという、きわめて簡単なものであり、実用性の高い方法と言える。

2. 研究の目的

申請者が見出した超塑性発泡法では、予め内包させた発泡剤から発生するガス圧を駆動力とし、焼結後超塑性変形により気孔が拡張する。閉気孔が高体積分率で導入可能であり、気孔壁が緻密であるため、機械特性や導電率の劣化が抑制される。また全固相プロセス

であるため内包させた発泡剤の相対位置は固定化され、結果として生じる気孔の位置と大きさが制御できる。誘電体や半導体に閉気孔を選択的に導入することによる、機能性セラミックスの特性向上について検討する。また特性向上にふさわしい発泡剤を探索する。さらに、制御された形態の気孔を利用した外力検知素子の可能性について包括的に検討する。

超塑性発泡体についてはこれまで、閉気孔を高い割合まで導入できるため、機械的信頼性を保持したまま、断熱性を付与できる方法であることを示してきた。これに加え気孔形状が制御可能という特性を生かして、新たな機能材料を創製しようというのが、本研究の特色である。

セラミックス多孔体は、従来方法では、気孔率を高めると、気孔同士が連結し、閉気孔が優勢となる。このため、広い表面積を生かした触媒単体やセンサーとしての用途に限定されてきた。これに対し、超塑性発泡体は、雰囲気の影響を受けず、緻密体と同等のバルク抵抗率を示すことを見出している。また、扁平亀裂を導入することで、亀裂端の開閉に伴う抵抗変化が有意なものでは、荷重センサーに応用できることを見出している。

このように、これまでは閉気孔のみを利用してきたセラミックス多孔体に、高い気孔率の閉気孔導入による新たな用途を与えるものと期待される。

3. 研究の方法

(1) 誘電体材料に高気孔率の閉気孔を導入(H25~)

電子回路の集積化に伴い信号線間の浮遊容量が問題となる。高速スイッチングや高周波用途での伝送遅延を防ぐためには、絶縁基板の誘電率を下げるのが有効である。空気の比誘電率は1に近いため基板に気孔を導入することにより全体の誘電率を小さくすることは可能であるが、従来多孔化方法では閉気孔が形成されるため、水分吸着による電気容量変化や機械的強度低下が問題となっていた。

申請者の提案・開発してきた超塑性発泡法は緻密なマトリックス中に、閉気孔を高体積分率で導入できるため、誘電率の低減と機械強度の維持および雰囲気湿度への安定性が両立しうるものと期待される。既に我々は、汎用絶縁基板として用いられるアルミナ基板に約40%の体積分率の気孔を導入し特性を評価している。(J. Ceram. Soc. Jpn., 117,[9], 1013-1016(2009)) 従来多孔体でも誘電率は同様に低減できるが、雰囲気依存性は緻密体に比べ大幅に大きい。これに対し超塑性発泡法で作製した多孔体は低誘電率を維持したまま、雰囲気湿度依存性は緻密体と同様であった。

超塑性発泡法において、気孔を拡張させるためには、マトリックスの超塑性変形特性を

高めるため、添加物を用いる。アルミナに対する添加物として一般に用いられる 3YSZ (3mol% イットリア添加ジルコニア) を用いているが、イットリアの誘電率が高い ($r=27$) ため、マトリックスの誘電率を (10→16) へと高めてしまう。

気孔導入により誘電率は、(16→8) と半減するものの、無添加アルミナに比べると減少量はわずかに留まる (10→8)。

この様に機械特性制御に最適な添加物をそのまま用いても、機能材料では特性に悪影響をおよぼす恐れがある。第一のテーマでは、電気特性を損なうことなく超塑性変形能を高める添加物を探索する。

添加物の候補としては、既にアルミナに超塑性変形速度あるいは変形限界を高める添加物として、報告されている物質のうち、比誘電率の小さな、0YSZ (無添加ジルコニア: $r=12.5$)、マグネシア ($r=9.7$)、スピネル ($r=8.4$) を試みる。

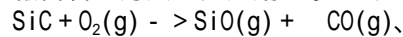
超塑性を利用した実用的な発泡体の作製法として、発泡剤をコアとしマトリックスを被覆造粒した複合顆粒を出発原料とする。複合造粒顆粒は、発泡剤 SiC 粉末を含むゾル水溶液を噴霧し発泡剤コアを形成する。ついで転動造粒ドラム中にマトリックス粉末と発泡剤コアを投入後、コアの外側にマトリックスを任意の厚さで被覆する。この複合顆粒を加圧成形後、焼結・発泡させる。上記の方法で得られた超塑性発泡体は、発泡剤の大きさと間隔により気孔径とその相対位置が制御された多孔体となる。これを所定の大きさに切り出し、電気測定に用いる。

添加物自体の誘電率が大きくても、わずかな添加量で超塑性限界伸びを高める場合には、気孔率が増加し、多孔体基板としての誘電率は最低値をとる可能性がある。また、添加物過多の場合には、化学的安定性、高強度、低誘電損失といったアルミナ本来の基板特性を損ねる恐れもあるため、これらについても包括的に評価する。以上と雰囲気湿度不感受性を併せ、気孔導入低誘電率基板構成への工学的知見が得られるものと考えられる。

(2) 扁平気孔を導入し、外力により導電経路が異なることを荷重センサーに応用 (H26~)

既に目的の項で示した通り、報告者はセラミックス半導体中に扁平気孔を導入することによりこれを荷重センサーに応用できる可能性を示している。このような特性は、端部の極率半径が小さな扁平気孔でしか発現せず、超塑性発泡法が唯一現実的な作製法である。しかしながら、このような幾何形状の変化を利用した物理量センサーには大きく二つの問題点がある。一つは、感度と機械特性の問題である。通常は、「外力による接触面積 / 全導電体積」が感度に関係するため、感度を上げるためには導入気孔の体積分率を大きくとる必要があり、機械強度と感度にトレードオフの関係が生じる。

報告者の方法で発泡剤をうまく選べば、



のように還元性ガスにより気孔導入し、マトリックスが n 型半導体の場合、気孔内壁周辺のみを低抵抗化することができる。

第一の問題点を克服するために、シート状の発泡剤をマトリックス中に挿入し、圧密、焼結発泡を経て、扁平で内壁のみを導電経路とするような気孔を導入する。このとき処理温度、時間、発泡剤濃度から生成する気孔の形状と気孔辺からマトリックスに向かって生じる導電経路マップを作成する。既に実際に扁平気孔を切断し区分けして近縁の抵抗率が小さいことを見出しているが、より詳細な抵抗率分布の評価が必要である。荷重と気孔端の開閉、導電経路の関係から最適荷重センサーについての知見が得られるとともに、電氣的絶縁部分で外力の大部分を保持する構造により感度と機械強度が両立できる。

もうひとつの問題点は製造の再現性に關連する。超塑性発泡法でマクロな気孔率の高い精度で再現性があるものの、扁平気孔の端部まで再現性よく形成できるとは限らない。試料間の感度誤差を小さくするには、扁平気孔の多重化が有効と考えている。先に示したシート状の発泡剤を配置し、導電経路上に複数の気孔端が存在するように気孔形成することにより、試料間誤差の小さな素子構成を確立する。

4. 研究成果

(1) 誘電体材料に高気孔率の閉気孔を導入 (H25~)

多孔体マトリックスを作製するために、まず単一気孔体を作製し、添加物により十分な超塑性変更能力が付与されているかどうかを判定した。高温発泡剤として、既報同様炭化珪素を選んだ。マトリックスはアルミナを基本組成とし、超塑性変形能を付与するため、3YSZ (3mol% イットリア安定化ジルコニア)、0YZ (無添加ジルコニア粉末)、スピネルおよびスピネルに 3YSZ または 0YZ を複合添加した粉末を出発原料として用いた。

ついで、十分大きな超塑性変形能力が認められた組成について多孔体を作製し、誘電率およびその雰囲気依存性の評価を行った。発泡剤である $-\text{SiC}$ の周りにマトリックスとしてのアルミナ基混合粉末が付着した粒を作製し、それを成形、焼結することによって、試料内部に閉気孔が無数に存在する超塑性発泡多孔体を作製した。

具体的には $-\text{SiC}$ の周りにマトリックスが被覆した複合造粒顆粒を作製した。まず、1wt% メチルセルローズ水溶液中におよそ 15wt% の $-\text{SiC}$ 粉末を分散し、懸濁液を噴霧し、マトリックス混合粉末上に展開した。これをマトリックス粉末とともに転動造粒することによって、 $-\text{SiC}$ コアにマトリックス粉末が被覆した粒径 50 μm の複合顆粒を得た。含まれる $-\text{SiC}$ コアの粒径はおよそ 15 μm で

あった。これを複合顆粒と呼ぶ。複合顆粒を円柱状(15mm)に成形(一軸加圧:31MPa, CIP:125MPa)後、1600℃まで、昇温 8h 保持して、焼結・発泡させた。比較のため、マトリックスのみを同じ条件で焼成して得られる緻密体および成型圧を制御することにより気孔率を制御した通常の多孔体を作製した。

比誘電率の雰囲気依存性を二つの方法で測定した。一つは結露を想定したもので水中に 10 分間浸漬したあと表面付着水をぬぐった後容量測定した。もう一つは高湿度雰囲気中に放置した際の容量変化を見積もるためであり、洗气瓶にてバブリングした空気を閉鎖流通系に導き内部に設置した試料の容量変化を測定した。

アルミナに加えた添加物と単一気孔体の外形、気孔率の関係を調べたところ、3YSZ、0YZ、スピネル分散系では、3YSZ のみが気孔が大きく発達し、残りは超塑性変形能力が低いことがわかった。

これに対し複合分散系、0YZ + スピネル、および 3YSZ + スピネル、では 3YSZ より小さいものの 30%以上の気孔率を示した。3YSZ + スピネルではそれぞれの単独添加の中間的な値を示した。これに対し、0YZ とスピネルを単独で分散させて場合は、いずれも 20%以下の気孔率であるにも関わらず、複合分散では両者の気孔率を上回ったことは興味深い。3YSZ に比べ、0YZ、スピネルの比誘電率はアルミナに近く、分散による誘電率増加の影響は小さいと考えられる。

発泡剤コアをマトリックス被覆した複合顆粒から作製した超塑性発泡体について、切断面の光学顕微鏡観察を行ったところ、すべてにおいてほぼ球状の気孔が導入され、気孔壁は緻密であることがわかった。切断面から計測した気孔径はおよそ 50 μm であった。発泡剤コア(コア径: 15 μm)よりも気孔径が大きく、気孔壁の緻密化の後発泡により気孔が拡張していることがわかる。XRD によりジルコニア添加アルミナマトリックスは、アルミナとジルコニアまたはスピネルの複合体となっており、分散粒子がアルミナの粒成長を抑制し、超塑性変形能が向上した結果、気孔の拡張が見られたものと考えられる。

各種分散剤を含むアルミナマトリックス超塑性発泡多孔体の気孔率と比誘電率の関係を調べたところ比誘電率は気孔率に依存して単調に減少していることがわかった。誘電率が対数混合則に従うとしたときの理論性、厚み方向にマトリックスおよび気孔が連続しているとしたときの理論線と比較したところ後者では気孔の存在割合に従って直線的に減少することがわかった。

ついで、もっとも誘電率が小さい 0YZ+スピネル分散超塑性発泡体および通常の多孔体、緻密体の水中浸漬前後の比誘電率を示す。超塑性発泡体および通常の多孔体の気孔率はいずれも約 30%である。浸漬前の試料の誘電

率を比較すると、多孔体の比誘電率はいずれも 5.5 程度であり、作製法によらず緻密体の約半分であった。

水中に浸漬しても緻密体では誘電率の増加はわずかであるが、通常の多孔体では、一桁以上大きくなっている。通常の多孔体は気孔率 30%ではほとんどが開気孔であり、残留する水分のため誘電率は大幅に向上したものと考えられる。この様な多孔体では、気孔導入により乾燥雰囲気では誘電率は低下するが、結露により誘電率が増大してしまい汎用的な利用には不向きである。

これに対し超塑性発泡体では、緻密体同様水中浸漬前後でほとんど比誘電率に変化は無かった。気孔導入で比誘電率は低下しているが、導入した気孔がすべて閉気孔であるため、内部に浸入する水分がなく、緻密体と同様の依存性になると考えられる。

さらに反応管に水蒸気飽和させた空気を導いた際の試料の容量変化量を示す。試料は体積約 100cc の反応管に高湿空気を 200ml/min で流通させるため、10 秒以内に相対湿度は外界の値(約 40%)から 80%以上になるものと考えられる。

高湿度空気を導入すると試料表面の吸着水量の増加にともない電気容量は増加し、吸着量が平衡に達すると、容量も一定値を示すようになる。表面積の大きな通常の多孔体では、緻密体に比べ、平衡時の容量増加量は約 2.5 倍となる。これに対し、超塑性発泡体では、緻密体と同等の表面積であるため、容量増加量・増加プロファイルともに酷似した値をとっている。

(2) 扁平気孔を導入し、外力により導電経路が異なることを荷重センサーに応用(H26~)

無添加 ZnO 試料作製

成型器に母体材料の ZnO 粉末を入れ、成型器を手で軽く押し加圧した。この圧粉体上の中心に発泡剤(AIN シート)を置いた後、再び ZnO 粉末を加え、約 13.6MPa の圧力で一軸加圧した後、約 125MPa の圧力で冷間静水圧加圧(CIP)を行い成型し 1300℃で焼成を行った。得られた試料は発泡部分を中心とする約 5mm 四方の直方体に切り出し、上下の面を鏡面研磨した(試料の厚みが約 2mm となるように調整)。その後、試料側面に銀ペーストを焼き付け電極とした。

Ag 拡散試料作製

での手順に加え、電極を焼き付ける面にあらかじめ銀ペーストを塗布し、1100℃で熱処理を行い試料に銀を拡散させた。その後改めて電極の焼き付けを行うことで、電極面付近に銀の拡散した試料を作製した。

Li 添加試料作製

所定量の ZnO 粉末と Li₂CO₃ 粉末を卓上型ボールミルで 60 分間湿式混合を行い Li 添加 ZnO 粉末を作製した。成型、焼成、加工、電極取付は 2.1. と同様の方法で行い、Li 添加 ZnO 発泡体試料を作製した。

感圧特性測定

加圧試験機を用いて、試料に電界方向と垂直方向に圧力を 0~50N に可変させながら印加し、室温~500 までの試料抵抗の圧力依存性を測定した。

無添加 ZnO 試料での常温測定結果

今回作製した試料の気孔断面図を、Fig.2 に ZnO 無添加試料での感圧特性の測定結果を示した。加圧に伴って抵抗値が減少し、そこから除圧することで抵抗値が元の値に戻るといふ、試料抵抗の圧力依存性を確認した。圧力が印加されることで気孔端部分が徐々に接触し、電流経路が変化していくことで抵抗値の減少が起こったと考えられる。

また感度を荷重に対する抵抗値の変化率により求めた。この式を用いて既存のセンサー素子材料(シリコン)での感度を算出すると、 $\sim 10^{-9} (\text{Pa}^{-1})$ 程度となる。今回作製した試料での感度は $1.70 \times 10^{-8} (\text{Pa}^{-1})$ となっており、10 倍以上の感度の改善に成功した。

しかし問題点として、感圧挙動のばらつきや繰り返し測定を行った際の再現性の悪さ等が挙げられた。そこで、感度に影響していると考えられる閉気孔の形状は固定(発泡剤濃度、焼成条件を固定)し、気孔周辺(母体部分)の特性を変化させることで上記の問題の解決を図ることとした。

本研究で作製した試料の等価回路を用いて評価した。R4 は気孔の形状変化による抵抗変化を示しているが、気孔の形状を固定しているためここでの変化率は一定とし、R1~R3 の抵抗成分を変化させることで試料の感圧特性改善を試みた。

Ag 拡散試料での測定結果

電極面に Ag を拡散させた試料での感圧測定したところ Ag 拡散によって劇的に挙動のばらつきや再現性が改善されていることが分かった。

この結果から、Ag の拡散によって前述等価回路における R1: 界面抵抗もしくは R2: 海面から亀裂までの連絡抵抗の領域において変化が起き、性能が改善された可能性が考えられる。

そこで Ag 電極からより仕事関数の低い In 電極に変更し、R1 を減少させた状態で同様の測定を行ったが Ag 拡散試料で得られた劇的な性能改善は見られなかった。

従って、R2 の領域での抵抗変化が性能改善に大きく影響していると考えられる。実際に電極面付近では導電率の増加が確認された。

つまり Ag の拡散によって R2 が減少し、電極面から気孔端までの導電パスが形成されたことで性能が向上したのではないかと考えている。

高温測定

常温測定において最高性能を示した試料を用いて高温(300~500)での感圧測定を行った。

300 と 500 での感圧測定したところ、

500 以上では印加した圧力に対して抵抗が変化せず、感圧特性が消滅してしまう結果となった。

これは、高温になるにつれて半導体挙動を示す母体の抵抗が減少し、気孔周辺を流れる電流が相対的に小さくなったためであると考えられる。そこで、母体である ZnO への Li を添加することで母体の抵抗値を増加させ、高温における母体の抵抗値減少の抑制を試みた。Li 添加試料での感圧測定をおこなった。

母体に Li を 1mol% 添加することで、500 においても加圧・除圧に対する抵抗変化がはっきりと表れるようになった。しかしグラフの直線性は低く ($R^2 = 0.80$)、挙動のばらつきが大きいという問題点が挙げられた。これは、母体の抵抗値 (R3) を増加させた際、電極面から気孔端までの領域 (R2) も共に増加してしまったことが原因であると考えられる。

そこで、Li 添加層と無添加層を積層させた圧密試料を新たに作製した。この試料では母体部分の抵抗値を増加させたまま、電極面から気孔端までの連絡部分の抵抗を相対的に高導電性としている。積層試料での測定したところ、母体全体を高抵抗化した試料での感度は $4.79 \times 10^{-8} (\text{Pa}^{-1})$ 、積層試料での感度が $5.27 \times 10^{-8} (\text{Pa}^{-1})$ となっており、積層試料において感度の向上が見られた。また R^2 値はそれぞれ 0.80、0.93 となっており、直線性も向上するという結果を得た。これは試料全体ではなく母体部分のみを高抵抗化したことで高温においても気孔周辺を電流がより流れやすくなったためであると考えている。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 22件)

A. Kishimoto, A. Tohji, T. Teranishi and H. Hayashi, "Gastight, closed pore inclusive porous ceramics through a superplastically foaming method", *Ceram. Trans.*, 査読あり in press

岸本昭, 「超塑性を利用した固相発泡セラミックスの作製」, 耐火物, 査読あり Vol.68, [1], pp.2-8, 2016, <http://www.tarj.org>

A. Kishimoto, K. Yamashita, T. Teranishi, H. Hayashi and S. Sano, "Effect of 24GHz microwave heating on creep deformation of yttria partially stabilised zirconia ceramics with titania and tin oxide additives", *Ceram. Intern.*, 査読あり, Vol.41, pp. 5785-5789, 2015, DOI:10.1016/j.ceramint.2015.01.006

A. Kishimoto, T. Nakagawa, T. Teranishi and H. Hayashi, "Superplastically foaming method for reliable porous ceramics", Mater. Sci. Forum, 査読あり、Vol.735, pp.109-112, 2013, <http://www.ttp.net/>

A. Kishimoto, M. Okada, T. Teranishi and H. Hayashi, "Maintaining the mechanical strength of La-, Y- co-substituted zirconia porous ceramics through the superplastically foaming method", Mater. Sci. & Eng. A, 査読あり、Vol.581, pp.98-103, 2013, DOI:10.1016/j.msea.2013.05.084

A. Kishimoto, "Superplastically foaming method for inclusion of closed pores in fully densified ceramics", J. Ceram. Soc. Jpn., 査読あり、Vol.121, [7], pp.527-533, 2013, DOI: 10.2109/jcersj2.121.527

〔学会発表〕(計27件)

高室佑基、寺西貴志、林秀考、岸本昭, 「超塑性発泡法を用いた ZnO 発泡体の高温圧力センサーへの応用」, 第54回セラミックス基礎科学討論会, 2016.1.7-8、佐賀

A. Kishimoto, "Gastight, closed pore inclusive porous ceramics through a superplastically foaming method", 11th CMCEE(11th International Conference on Ceramic Materials and Components for Energy and Environmental Applications), 2015.6.14-19、Vancouver・Canada), invited,

高室佑基、寺西貴志、林秀考、岸本昭, 「超塑性発泡法を用いた荷重センサーの感度に及ぼす添加物効果」, 2015 日本化学会中国四国支部大会, 岡山, 2015.11.14-15

松岡千晶、寺西貴志、林秀考、岸本昭, 「粉殻を発泡剤とした超塑性発泡セラミックスの作製と特性評価」, 第22回ヤングセラミストミーティング in 中四国, 高知, 2015.11.21

松岡千晶、寺西貴志、林秀考、岸本昭, 「粉殻を発泡剤として作製した超塑性発泡セラミックスの作製と特性評価」, 粉体粉末冶金協会平成27年度春季大会, 2015.5.26-28(東京)

高室佑基、寺西貴志、林秀考、岸本昭, 「超塑性発泡法により導入された ZnO 中の気孔の形状に依存した電気抵抗の感圧特性」, 日本セラミックス協会第27回秋季シンポジウム, 鹿児島, 2014.9.9-11

高室佑基、寺西貴志、林秀考、岸本昭, 「超塑性発泡法を応用したセラミックス新規荷重センサーの作製」, 粉体粉末冶金協会平成

26年度秋季大会, 大阪, 2014.10.29-31

田路篤輝、寺西貴志、林秀考、岸本昭, 「発泡後安定化法により作製した立方晶安定化ジルコニア超塑性発泡体の特性評価」, 粉体粉末冶金協会平成26年度春季大会, 東京, 2014.6.3-5

A. Kishimoto, "Superplastically foaming method to make closed pore inclusive rigid ceramics", 7th International Conference on the Science and Technology for Advanced Ceramics, (Invited), Yokohara, Japan, 2014.6.19-21

〔図書〕(計3件)

岸本昭, 「超塑性発泡法による真空断熱材の作製と期待される応用展開」, 遮熱・断熱材料の設計、性能評価と応用, 技術情報協会, pp.93-100, 2015

岸本昭, 「超塑性発泡法による高気密多孔体の作製」, セラミックデータブック2013, 工業製品技術協会, Vol.41, [95], pp.70-74, 2013

岸本昭, 「超塑性発泡法による高強度高温真空断熱材と応用展開」, 次世代真空断熱材の開発・評価と課題解決に向けた新技術, And Tech., [11], pp.76-83, 2013

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ等

なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岸本 昭 (KISHIMOTO, Akira)

岡山大学・大学院自然科学研究科・教授

研究者番号: 30211874

(2) 研究分担者

林 秀考 (HAYASHI, Hidetaka)

岡山大学・大学院自然科学研究科・准教授

研究者番号: 90164954

寺西 貴志 (TERANISHI, Takashi)

岡山大学・大学院自然科学研究科・助教

研究者番号: 90598690