

令和 2 年 6 月 10 日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2019

課題番号：16K14128

研究課題名（和文）誘導加熱を用いたジルコニアセラミックスの積層造形技術に関する研究

研究課題名（英文）Additive manufacturing of zirconia ceramics by using induction heating method

研究代表者

木崎 通（Kizaki, Toru）

東京大学・大学院工学系研究科（工学部）・特任助教

研究者番号：30771901

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,000,000円

研究成果の概要（和文）：ジルコニアセラミックスを積層造形により成形するためには、材料を等方的に加熱する必要がある。一般的に用いられる電気炉等を使用すれば加熱加工であれば昇温・冷却に長時間かかるという欠点が存在する。本研究ではジルコニアセラミックスの周囲に導電性材料を配置し、それを誘導加熱により急速に昇温させることにより間接的に昇温させることができた。さらに急速に昇温したにもかかわらず、割れやクラックを発生させることがなかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ジルコニアセラミックスはこれまで電気炉で焼成することが通常であり、焼成に7時間程度かかっていた。ジルコニアセラミックスの積層造形法を確立することを目的とする中で、クラックを生じずに高速に加熱する方法を提示することができた。本方法を用いることにより今後ジルコニアの積層造形技術の確立を目指すことができると考えられる。

研究成果の概要（英文）：In order to shape zirconia ceramics by additive manufacturing, it is necessary to heat the material in an isotropic manner. Although the electric furnaces are used in general it takes a long time to raise and cool the temperature of the material. In this study, a electric conducting material is arranged around a zirconia ceramic, and the material is heated rapidly by induction heating. The temperature was raised indirectly by raising the temperature of the surrounding material. In addition, despite the rapid temperature increase, no cracks or fractures occurred.

研究分野：生産加工

キーワード：ジルコニア 誘導加熱 焼結 積層造形

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

ジルコニアセラミックスは高強度セラミックスである。ジルコニアセラミックスは歯科補綴物材料として最も優れた材料である。歯科補綴物とは欠損した歯を補う構造物であり、患者一人ひとりに合う形状に成形する必要がある。しかし現在は除去加工により削りだされており、低精度かつ長時間を要するだけでなく素材の大部分が切り屑として廃棄されるという問題があるため、改善が求められている。しかしジルコニアセラミックスに限らずセラミックス材料の積層造形(付加工)は非常に困難である。例えば金属材料に広く採用されている選択的レーザ焼結(Selective Laser Sintering: SLS)をセラミックス材料に適用すると熱応力による割れが生じる。他の例として光硬化性樹脂を混ぜて成形する方法が知られているが、長時間の後工程(電気炉を用いた焼結)が必要とされており、低効率である。

2. 研究の目的

医療用インプラント材料として用いられるジルコニアセラミックスの3次元積層造形技術を提案・確立することが本研究の目的である。これにより患者個人に合うインプラントを医療現場で迅速に且つ廃棄物を最小限に抑えながら製造することができるようになる。ジルコニアセラミックスの3次元積層造形技術はレーザによる焼結法や光硬化性樹脂にセラミックスを混ぜて成型する方法が試みられているが、材料が割れてしまったり、長時間の“焼結”を後工程として実施しなければならないなどの問題が存在しており、医療現場でも使用できる実用的な造形法は存在しない。本研究では上記問題を解決する新たな方法を提案・検証する。

3. 研究の方法

ジルコニアセラミックスは1000℃以上で導電性が発現することが知られている。ジルコニアセラミックス結晶中に存在する酸素イオン欠陥の移動性が増すためである。この特性によりジルコニアセラミックスはSOFCの電解質として利用されたり、酸素濃度センサとしても利用されている。さらに光ファイバの製造工程において、石英ガラスを引き伸ばすためのノズル部にジルコニアセラミックスが使用されている。このノズルは誘導加熱により加熱される。ノズル材料は誘導加熱により加熱可能であると同時に、優れた耐摩耗性を有することが要求される。上記要求に合致する材料としてジルコニアセラミックスが選定され、特許が取得された。ジルコニアセラミックスは1000℃以上でない導電性を示さないため、初期には炭素棒を挿入して誘導加熱により加熱する。温度が十分上昇し、ジルコニアセラミックス製ノズル自体が発熱し始めた時点で炭素棒を引き抜く。

“渦電流焼結法”においては誘導加熱を利用するが、誘導加熱法は誘電体には適用できない。そのため誘導加熱の開始前にジルコニアセラミックスの導電性を発現させておく必要がある。本方法では連続波レーザを照射することにより局所的に導電性を発現させ、誘導加熱を開始する。先ず実験装置を製作して本方法を用いることによりジルコニアセラミックスの誘導加熱が可能となることを確認する。さらにサーモグラフィを用いて加熱領域のサイズやその経時変化を観察し、挙動を解明する。

Fig. 1にジルコニアセラミックスを加熱するための実験装置を示す。加熱装置としてイタリアのCeia社が開発・製造しており、日本ではエス・エー・ジャパン株式会社が販売している小型誘導加熱装置“SPW900/56”を用いた。

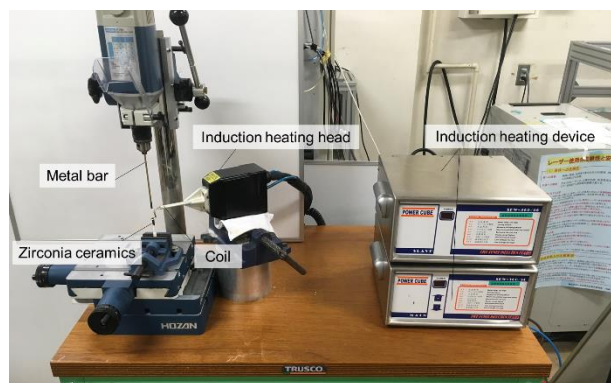


Fig. 1. ジルコニアセラミックスを加熱するための実験装置。

4. 研究成果

(1) 高温における導電性の発現を利用したジルコニアセラミックスの誘導加熱の可能性

ジルコニアセラミックスは1000℃以上において導電性が発現することが知られており、この現象を利用することでジルコニアを直接誘導加熱することが可能か調査した。実験装置の加熱部付近をFig.2に示す。直径3mmの円筒形状をしたジルコニアセラミックスを加熱対象とした。Fig.2に示すように上部に64チタン製の棒を配置し、そのチタン製棒とジルコニアセラミックスが接するように配置する。周囲に加熱コイルを配置した。加熱時の様子をFig.3に示す。

チタン棒を通して間接的にジルコニアセラミックスを加熱した上で、セラミックス自体を誘導加熱できるかについて検証した。結果として、チタン棒が接触している間は熱伝導によってセラミックスが昇温するが、その後チタン棒を離れた後に加熱されることはなかった。

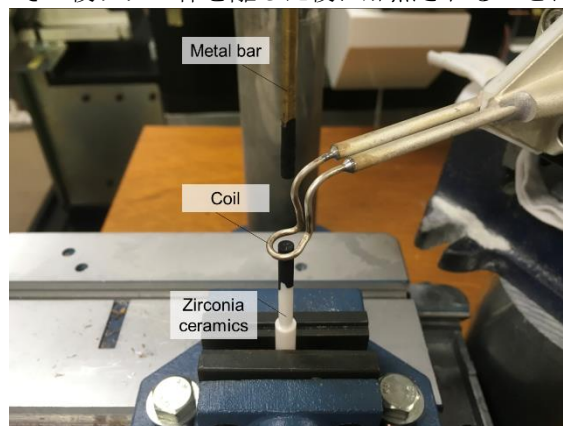


Fig. 2. 加熱部の構成

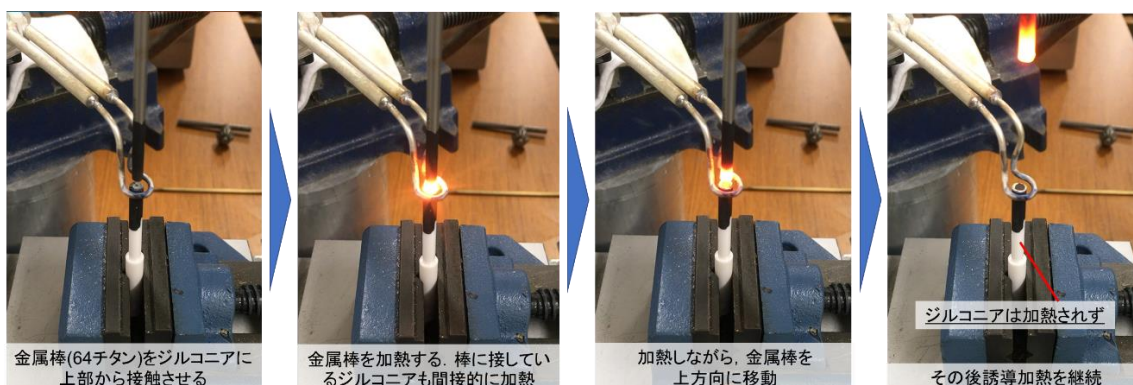


Fig. 3. 金属棒を用いたジルコニアセラミックスの誘導加熱の試み

(2) 金属を被せることによる間接的な加熱方法の検証

誘導加熱を用いて、ジルコニアセラミックスを間接的に、等方的に加熱する方法を提案した。加熱の様子を Fig. 4 に示す。この方法により、ジルコニアセラミックスの周囲に配置された金属から放射熱により温度が上昇することが判明した。特に、高温になっているもののクラックは発生していないことも判明した。これは等方的に加熱されるためであると考えられる。

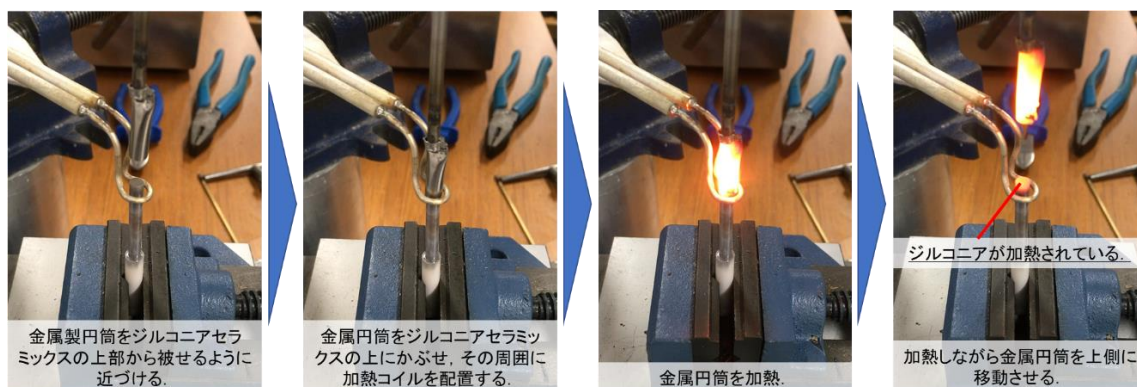


Fig. 4. 金属をかぶせることによる間接的な加熱実験.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

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