

令和 4 年 5 月 20 日現在

機関番号：54102

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2021

課題番号：17K14595

研究課題名（和文）感圧及び感温特性を有した機能性3D模型の作製法の開発

研究課題名（英文）A fabrication method of pressure- and temperature-sensitive model

研究代表者

亀谷 知宏（Kameya, Tomohiro）

鳥羽商船高等専門学校・その他部局等・准教授

研究者番号：70734854

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は「感圧及び感温特性を有した機能性3D模型の作製法の確立」を目的とした。模型の感圧化、感温化にはそれぞれ機能性分子センサである感圧塗料、感温塗料を用い、3Dプリンタによって簡便安価に模型を成形する手法を提案する。複数の色素を含んだ、圧力及び温度を同時計測できる機能性模型の作製には至らなかったが、感圧色素もしくは感温色素を含んだ機能性模型の作製に成功した。このことからこの手法による感温模型作製の実現性、さらに感圧色素に温度非依存の色素を用いることで感圧模型作製の可能性を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、感圧特性もしくは感温特性のいずれかを有する機能性模型の作製に成功した。このことにより、3Dプリンタを用いた新たな機能性模型の作製手法の可能性を示すことができた。当初計画していた感圧特性と感温特性をともに有する機能性模型の作製には至らなかったが、3Dプリンタの周辺分野は技術進歩がめざましく、今後も精度の向上など様々な改良が期待できる。そのため、現在の安価な市販の3Dプリンタで、感圧、感温いずれかとはいえ機能性模型の作製できたことは意義深いと考えられる。

研究成果の概要（英文）：This research aims to develop a fabrication method of pressure- and temperature-sensitive model by using a 3D printer. The model would be sensitive by pressure- and/or temperature-sensitive luminophores. In order to 3D-print paste material including the luminophore, paste extruders were equipped with a commercial 3D printer. We have not achieved to fabricate both pressure- and temperature-sensitive model, however, we have succeeded to fabricate either pressure- or temperature-sensitive model by using this 3D printer system.

研究分野：流体工学

キーワード：感圧塗料 感温塗料 3Dプリンタ

1. 研究開始当初の背景

物体表面に生じる圧力は、あらゆる産業機器の開発、設計における重要な決定因子の一つになっている。コンピュータ技術の急速な発展により、実験を行わなくてもシミュレーションにより圧力の計算や現象の検証が可能となってきたが、それでもなおシミュレーションだけでは見落とし恐れがあるため、最終的な確認は風洞試験など実験的に行われている。ただ、風洞試験で用いられる模型や計測装置は非常に高価であり、多くの試作模型を作製すると開発費をひっ迫する恐れがある。つまり模型自体をセンサ化できる、より簡便で安価な模型作製方法が望まれている。模型自体の機能化には機能性分子センサである感圧塗料 (Pressure-Sensitive Paint: PSP) や感温塗料 (Temperature-Sensitive Paint: TSP) を用いる。PSP や TSP を用いた圧力、温度計測法は、色素分子が光を照射された際に発するルミネッセンス (蛍光またはりん光) の強度が、周囲の圧力や温度によって変化する性質を利用した光学的可視化計測法である。PSP や TSP は計測対象面に塗布することにより、非接触で圧力や温度を分布として計測することが可能であるため、圧力、温度計測法として大きな可能性を秘めている。

2. 研究の目的

本研究は「感圧及び感温特性を有した機能性 3D 模型の作製法の確立」を目的とした。模型の感圧化、感温化にはそれぞれ PSP, TSP を用い、3D プリンタを用いて簡便安価に模型を成形する。感圧色素や感温色素をペースト材料に混合し、ペースト材料での模型作製が可能な 3D プリンタを用いて模型の作製を試みる。これまでの PSP や TSP は、模型に塗布することで感圧特性や感温特性を付加していたが、本手法では模型自体が感圧特性もしくは感温特性を有することとなる。さらに柔軟性を持つ素材を使用すると、感圧、感温シートの作製もでき、より手軽に圧力・温度計測が実現できると考えられる。

3. 研究の方法

本研究では、まず市販の 3D プリンタでペースト材料を使用できるように改造した。次に本研究に適切な樹脂を決定するにあたり、熱溶解積層型 3D プリンタのフィラメントとして用いられている ABS 樹脂を有機溶剤でペースト状に溶解したものやシリコンシーラントなどいくつかの樹脂で出力を試みた。続いて模型が作製できた樹脂に PSP 色素や TSP 色素を混合し、感圧模型、感温模型を作製した。作製した模型の圧力感度や温度感度といった静的特性を調査し、従来の方法で作製したサンプルと特性を比較することで、本手法の妥当性を評価した。

4. 研究成果

以下に本研究で構築した実験装置や得られた結果について示す。

(1) 3D プリンタ装置の構築

3D プリンタを用いてシリコンやポリウレタン、粘土、セラミック、ラテックスのようなペースト材料の出力するために、ペースト押出機 (Structure3D 製, Discov3ry Extruder) を用いた。このペースト押出機を 3D プリンタに接続することで、市販の熱溶解積層型の 3D プリンタでも、シリコンのような耐熱温度が高い樹脂でも出力することが可能となる。

構築した 3D プリンタ装置の外観を図 1 に示す。3D プリンタ (FERIX 製, FERIX3.0) のヒーターユニットの代わりにノズルを設置し、ノズルとペースト押出機に設置したシリンジをビニールチューブで接続した。ビニールチューブとノズル及びシリンジとの接続にはルアーロックを用いた。ノズルは出口直径 0.4mm のものを、ビニールチューブには内径 6mm 外径 8mm のものを、シリンジには容量 50mL のものを用いた。ペースト状樹脂を目的の量で出力するために調整するパラメータについて、本来のフィラメントを送るパラメータがペースト状樹脂の出力にどのように影響するのかを調べ、ペースト状樹脂の出力量を調整できるようにした。

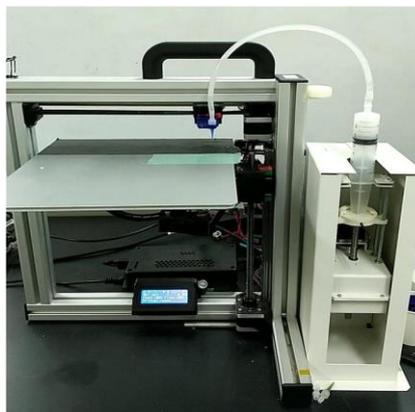


図 1 構築した 3D プリンタ装置

(2) シリコンシーラントを用いた模型の作製

4.(1)で構築した3Dプリンタ装置で、シリコンシーラントを用いて20mm×20mm×5mmの直方体形状の模型を作製した。感圧色素や感温色素を用いることを念頭に、有機溶剤を混合したシリコンシーラントに適した吐出条件を調査しながら、単純形状模型の作製を試みた。その結果、図2に示すように、シリコンシーラントのようなペースト材料を用いても模型の作製は可能であった。しかし同時に複数のペースト材料を用いて、多色の模型の作製は困難であることもわかった。当初の計画では、感圧/感温模型を作製する際に、模型の表面など必要な層のみに感圧/感温色素を用いることを考えていたが、すべての層を感圧/感温樹脂で作製することとした。また感圧性と感温性を同時に有する機能性模型の作製を目標としていたが、同様の理由から本研究では感圧性もしくは感温性いずれかを有する単一色素による機能性模型の作製に注力することとした。



図2 作製したシリコン模型

(3) シリコンシーラントを用いた感圧模型の作製

感圧模型を作製するにあたり、感圧色素には大気圧付近の圧力計測に広く用いられている白金ポルフィリン (PtTFPP) を用いた。PtTFPPをトルエンに溶解 (0.3mg/mL) し、シリコンシーラントに混合し、構築した3Dプリンタ装置で出力することで感圧模型を作製した。

作製した感圧模型の圧力感度、温度感度について調査した。得られた圧力感度を図3(a)に、温度感度を図3(b)に示す。比較のためTLCプレートをバインダとして用いたPtTFPPのPSPサンプルの静特性も併せて示す。図3(a)に示すように、作製した感圧模型の圧力感度は0.64%/kPaであり、従来のTLCプレートをを用いたPSPサンプルとも遜色ない特性が得られており、十分な圧力感度を有していることがわかった。一方で図3(b)に示すように、作製した感圧模型の温度感度は-1.56%/Kであることが確認された。PtTFPPに限らず感圧色素は圧力だけでなく温度によっても発光強度が変化する (温度依存性) ため、一般的に感温色素などから得られる温度情報を用いて温度補正することで、その計測精度の向上がはかられている。しかし現時点でこの3Dプリンタ装置による手法では、作製した模型の表面粗さなど、精度が問題となり、感圧色素と感温色素を塗り分けた模型を作製することは難しい。そこで圧力変化が生じて温度計測できる感温色素を用いて感温模型の作製を試みた。なお感圧色素としてピレンスルホン酸 (PySO₃H) を用いるなどすると、単一色素でも本手法により感圧模型が作製できる可能性がある。

(4) シリコンシーラントを用いた感温模型の作製

感温模型を作製するにあたり、感温色素にはユーロピウム錯体 (EuTTA) を用いた。色素濃度による影響を考え、EuTTAのトルエン溶液は4mg/mL、2mg/mL、1mg/mLの3種類の濃度で作製した。作製したEuTTAトルエン溶液をシリコンシーラントと質量比4:1 (シリコンシーラント:トルエン溶液) になるように混合し、構築した3Dプリンタ装置で感温模型を作製した。作製した感温模型の圧力感度、温度感度を調査した。得られた圧力感度を図4(a)に、温度感度を図4(b)に示す。図4(a)よりEuTTA/シリコンの圧力感度は0.14%/kPa程度であり、色素濃度に影響はほとんどみられなかった。一方、図4(b)よりEuTTA/シリコンの温度感度は0.3~0.6%/K程度であり、感温模型の温度感度としては低い結果となった。

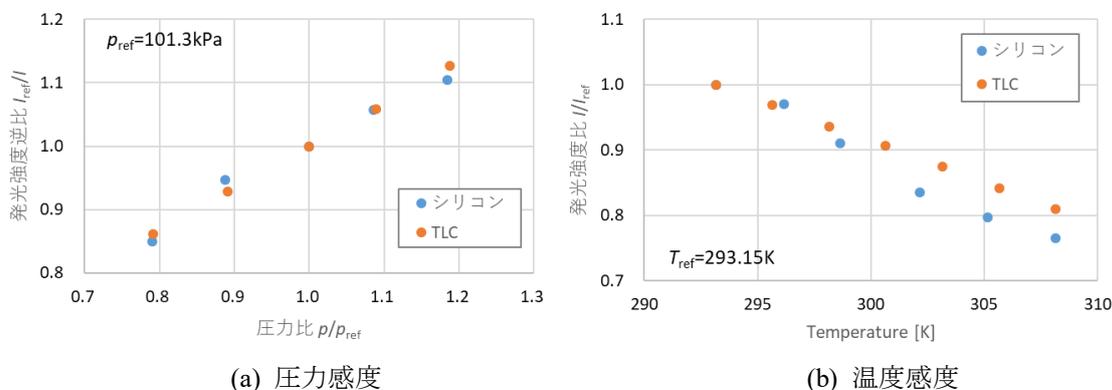


図3 PtTFPP/シリコンの静的特性

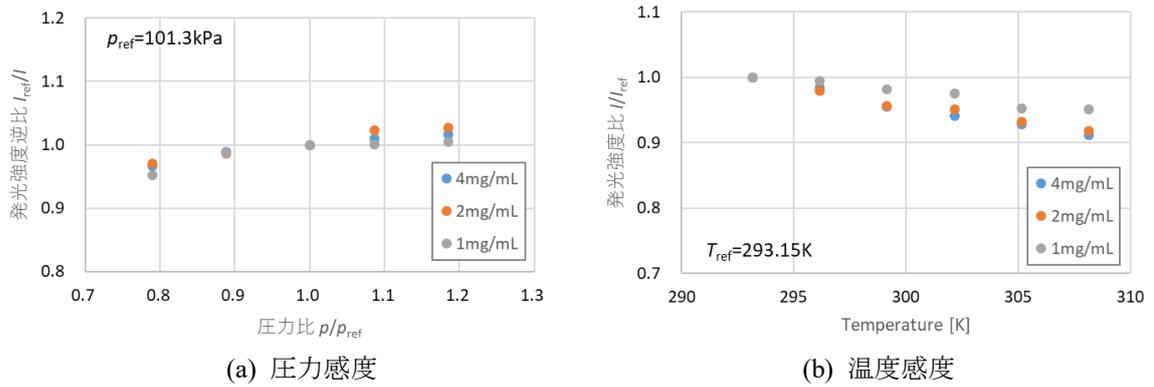


図4 EuTTA/シリコンの静的特性

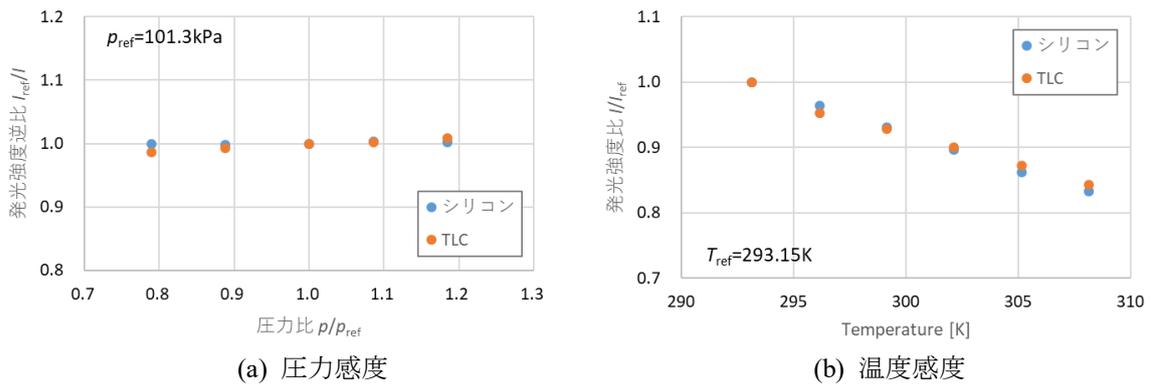


図5 ZAIS ナノ粒子/シリコンの静的特性

より特性のよい感温模型を作製するために、感圧色素に ZnS-AgInS₂ (ZAIS)ナノ粒子を用いた。文献[1]を参考にして錯体 50mg から作製した ZAIS ナノ粒子をトルエン 10mL に溶解し、シリコンシーラントと質量比 4:1 (シリコンシーラント:トルエン溶液) になるように混合し、構築した 3D プリンタ装置で感温模型を作製した。

作製した感温模型の圧力感度、温度感度を調査した。得られた圧力感度を図 5(a)に、温度感度を図 5(b)に示す。ここでも比較のため TLC プレートをバイндаとして用いた ZAIS ナノ粒子の TSP サンプルの静特性も併せて示す。図 5(a)に示すように、作製した感温模型の圧力感度は 0.01%/kPa と無視できる程度であり、感温模型として望ましい特性が得られた。また図 5(b)に示すように、作製した感温模型の温度感度は-1.12%/K であり、TLC プレートをを用いた TSP サンプルとも遜色ない特性が得られており、十分な温度感度を有していることがわかった。

<引用文献>

[1] T. Torimoto et al.: “Remarkable photoluminescence enhancement of ZnS-AgInS₂ solid solution nanoparticles by post-synthesis treatment”, Chemical Communications, Vol.46, pp.2082-2084, (2010).

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
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------