

奨励金No.1640

放射線散乱抑制形状を実現するための金属粉体含有 3D プリント用樹脂材料の研究開発

山田 泰之

法政大学 デザイン工学部 教授

Development of Resin Materials with Metal Powder for 3D Printing to Achieve Radiation-Scattering- Suppressed Structures

Yasuyuki Yamada

Faculty of Engineering and Design, Hosei University, Professor



本研究は、医療用放射線機器等の使用に伴う被ばく低減を目的として、従来主に対策が進められてきた線源からの直接被ばくだけでなく、金属機器や壁面などで生じる散乱放射線による被ばくに着目する。申請者らはこれまでに、金属表面に突起加工することで散乱放射線を約 20 分の 1 まで低減できることを示してきたが、特殊加工であるため高コストという課題があった。そこで 3D プリント技術の活用が有効であると考えた。本研究では、放射線散乱抑制に適した 3D プリント用の金属粉体含有樹脂材料を開発することで、低コストかつ実用的に高い遮蔽性能を持つ散乱抑制構造の実現を目指す。

This study aims to reduce radiation exposure associated with the use of medical radiological equipment by addressing not only direct exposure from the radiation source but also exposure due to scattered radiation from metallic equipment and wall surfaces. We previously demonstrated that surface protrusion processing on metal can reduce scattered radiation intensity to approximately one-twentieth of its original level; however, the method is costly because it requires specialized processing. To overcome this limitation, this study explores the use of 3D printing technology. Specifically, we aim to develop a metal-powder-filled resin for 3D printing that is suitable for suppressing radiation scattering, thereby enabling the low-cost and practical fabrication of structures with high shielding performance.

1. 研究内容

1.1 研究目的と概要

本研究では医療用放射線投影機等の放射線を使用する従事者の放射線被ばく量を低減するために、壁面、計測機器や什器で散乱される放射線（X 線、 γ 線）強度を低下させる実用的な方法を実現することを目的とする。具体的には、放射線が特に散乱（反射）される金属表面での散乱を抑制する申請者が研究開発した特殊形状を低コストで実現することを目指す。

放射線被ばく経路は、図 1 のように線源からの直接被ばくと、線源近くの物体（機器、壁、人など）から散乱（反射）の 2 つの経路がある。現在、直接被ばくは放射線投影機の進歩により低減されている。一方で、例えば医療現場の実際の手技では、医師の周りに金属部品を含む機器があり散乱放射線の影響は無視できないはずであるが、実用的な抑制方法は見当たらない。そこで著者らは線源に近い機器（金属の医療機器やベッド）等からの放射線散乱を低減するために、実用金属の表面

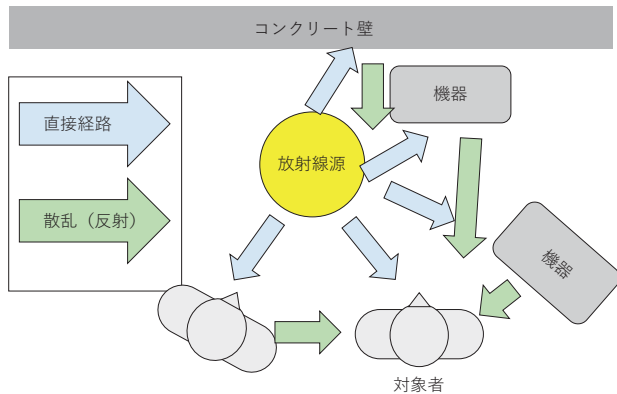


図 1 放射線の被ばく経路

加工による放射線散乱抑制を研究している。この表面構造により平板の同金属の場合に比べて、散乱強度を 20 分の 1 程度まで低減した（出願済）。ここで、この金属表面加工のデメリットは高コストである。実用的な放射線散乱抑制構造を実現するべく、同性能以上の構造を 3D プリントで実現を試みている。本研究では、放射線散乱抑制構造をプリントするために適した金属粉体を含有した 3D プリント用樹脂材料の実現を目指した。放射線散乱抑制効果のある 3D プリントフィラメントおよび印刷物が実現すれば、通常の機械加工では難しい曲面形状や空洞構造を有した面素材が作成可能となり、そのような特殊形状による散乱抑制効果で、より少ない金属材料でより軽量の放射線防護が可能となると期待できる。

1.2 FFF 方式 3D プリント用の特殊フィラメント

本研究の目的では、従来の 3D プリント材料が基本的に目指す印刷後の機械特性、例えば剛性、耐温度性能、耐候性などよりも、まずは放射線散乱抑制効果を高めることが重要である。放射線散乱抑制を狙う様々な機器全体を覆うような大型な部品を造形印刷する用途を前提として、FFF 方式の 3D プリントを用いた。この FFF 方式の 3D プリント用に、独自に金属粉体を含有した 3D プリント用の材料であるフィラメントを作成する。これまでの著者らの研究で、従来の放射線防護に利

用されていた高 Z 材、鉛やタングステンを利用せずとも、金属表面を突起構造とすることで実用金属である鉄やアルミでも高い放射線散乱抑制効果が得られることが分かっている。これは材料による放射線散乱抑制性能が鉛よりも鉄のほうが低くても、突起構造による抑制性能の強化で総合的に高まるからである。鉛等を利用しないことは、鉛の毒性、リサイクルの難しさなどを総合的に考えて、実用性が高いと考えられる。本研究では、金属粉体は、コスト、特性を考慮して、着火しやすいマグネシウムなどの粉体を避けて、まずは鉄粉を利用した。鉄粉を樹脂素材に含有させる方法と、その質量密度の調整方法を検討した。

1.3 フィラメント製造工程

図 2 のように、スクリー式のフィラメント製造装置と巻き取り機を用いて、金属粉体と樹脂ペレットを混合して約直径 1.7 mm の線材形状のフィラメントを製造する。この際、通常の 3D プリント用の樹脂単一素材のフィラメントと違い課題がある。金属粉体の含有量が多い場合、樹脂用のスクリーやノズルでは材料が凝集を起こして詰まる。また、樹脂単独ではなく、金属量が多いとノズル穴直径と成型されるフィラメント直径の比率であるダイスウェル比が樹脂単独の場合と異なる。このため、材料を予め混合しておく予混合と、独自のノズルの開発を行った。通常、ノズルは、材料の無駄を無くするための工夫がされているが、今回は安定して混合とフィラメント直径が保

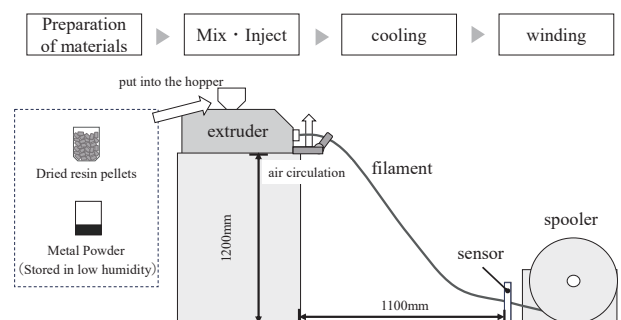


図 2 フィラメント成形の工程概要と機器の配置関係

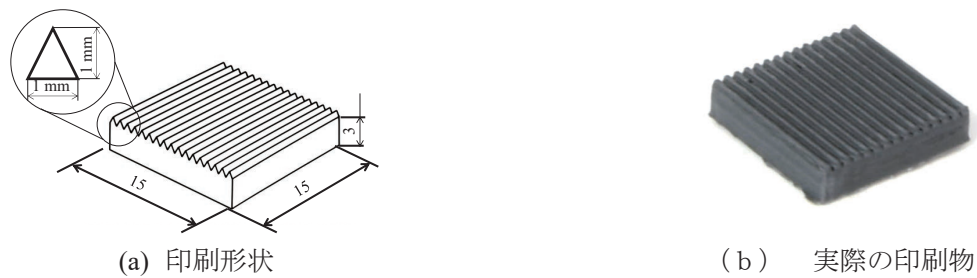


図 3 金属粉体含有フィラメントを用いた 3D プリント放射線散乱抑制構造

てるように、緩いテーパ角度の 3 種類のノズルを検討した。結果、鉄粉体の体積割合の異なる鉄粉の体積割合が異なる 3 種類のフィラメントを作製に成功した。鉄粉など金属粉体を入れる限り、ある程度は凝集が発生するため、含有量が高い状態かつ、含有量を一定とするために、押し出し速度や、引き抜き（巻き取り）速度、温度等を調整して再現性を高めた。

1.4 金属粉体含有フィラメントによる放射線散乱抑制構造の 3D プリント

作成した材料は、一般的な FFF 式 3D プリンタで印刷できることが望ましい。プリンタにも独自の改造や工夫が必要となると、さらに目的とする造形物である放射線散乱抑制構造の製造が高コスト化するためである。そこで、市販の FFF 式 3D プリンタのマニュアル設定の範囲で印刷できる条件を検討した。結果、図 3 のように、放射線散乱抑制効果がある形状の 1 つである突起形状を有した構造を 3 種類の体積割合の鉄粉体含有のフィラメントで印刷可能であることを示した。印刷はそれぞれの材料で 3 回行い、全ての印刷において形状の反りや抜けがないこと、再現性を確認した。

2. 発表（研究成果の発表）

- ・小林大騎、竹内治主、土山直輝、服部かれん、鈴木海渡、山口聡一郎、山田泰之、金属粉含有樹脂 3D プリントを用いた放射線散乱低減突起構造、ロボティクスメカトロニクス講演会 2026（福岡、2026 年度）、6 月