

## 温度センサー付き装蹄療法用 3D プリント樹脂蹄鉄の開発

旭川高専 中川佑貴, ○長江柊天, 日本軽種馬協会 金子大作, 苫小牧高専 池田慎一

### 要旨

装蹄療法に用いる 3D プリント製樹脂蹄鉄内に温度センサーを配置し、治療中の蹄の温度を測定することで、治療の効果を見える化する。樹脂は熱伝導が悪いので、蹄と接する表面ごく近傍に熱電対を配置する必要がある。また 3D プリント部品は内部の密度を変えることが出来るが、印刷条件は熱伝導に影響を与える。本研究では表面からの距離および内部密度が温度測定に及ぼす影響を評価した。

### 1. はじめに

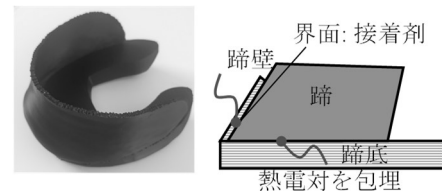
溶融積層造形法の 3D プリンターは特許切れを契機としてこの 10 年で急速に普及している。装置の低価格化および高機能化が進んでおり、数万円台のデスクトップ型 3D プリンターにおいてもエンジニアリングプラスチックの印刷が可能となり、製造業以外においても 3D プリンターの導入のハードルが低くなっている。著者ら<sup>1)</sup>は 3D プリンターを用いた樹脂蹄鉄の製造に取り組んできた。蹄鉄は一般的にはアルミニウム合金で製造されるが、治療目的で使用する特殊蹄鉄は衝撃緩和の目的からポリウレタン樹脂製が一般的である。この樹脂蹄鉄は規格品かつ海外製であり、コストが高い上に入手まで時間がかかり、さらに修整が難しい。3D プリンターのようにオーダーメイド品が簡単に製造できることは、蹄鉄の製造にとって望ましい。また治療目的であるため健康なウマより運動量が少なく、強度および耐摩耗性の観点から汎用樹脂程度でも実用に耐えうる。蹄に関する疾患では熱感を伴うものが多い。その判断は装蹄師が装蹄時の肌間隔か、接触式温度計などで都度行っているが、蹄温度は外気温にも大きく依存するため、常時計測を行いたい。3D プリント樹脂蹄鉄であれば層間に熱電対を挟み込むことで、接蹄面ごく近傍の温度を計測できる可能性がある。

本研究では蹄鉄を製造する際の印刷条件で 3D プリントされた樹脂試験片の熱伝導特性を評価し、温度センサー付き装蹄療法用 3D プリント蹄鉄の設計指針を構築する。

### 2. 温度センサー付き装蹄療法用 3D プリント蹄鉄

温度センサー付き装蹄療法用 3D プリント蹄鉄の概要を図 1 に示す。装蹄療法用の蹄鉄は通常と異なり蹄壁に接着あるいは固定できるようにカバーがついており、蹄壁の温度を装蹄期間中に温度を測定することは難しい。また当然

ながら接蹄面は蹄と接しており同様に測定困難である。温度センサー付き蹄鉄はカバーや接蹄面のごく表層に熱電対を 3D プリンティング中に包埋することで、常時の温度計測を可能にする。



(a) 装蹄療法用蹄鉄 (b) 蹄鉄の装着と熱電対の配置

図 1 温度センサー付き装蹄療法用 3D プリント蹄鉄

### 3. 試験片の 3D プリンティング条件および加熱試験方法

印刷条件が温度計測に与える影響を調査するために、円柱試験片を用いて加熱実験を行った。円柱試験片の 3D プリンティング条件を図 2 に示す。直径 2.85mm の PLA フィラメントを 210°C に加熱し、先端直径 0.4mm のノズルから押し出し積層する。一層当たりの厚さは設定値 0.25mm であり、ビルドプレート温度は 60°C である。この条件で高さ 25mm、直径 30mm の円柱試験片を印刷する。図 3 に示す通り、内部の密度は 100%、60%およびその併用であり、インフィルパターンはラインである。壁の厚さはいずれも 1mm であり、(c)のみ上下面の厚さを 3mm とした。熱電対は円柱試験片の印刷中に一時停止し、層間に挟み込んだ。図 4 に示すように、下層厚さ  $t=0.3\sim 1.5\text{mm}$  で積層した後、熱電対の 2 本の線の交点が円のおおよそ中心になるようマスキングテープでビルドプレートに固定し、印刷を継続して熱電対を挟み込んだ。作成された円柱試験片をホットプレートによって片側から加熱し、内部の温度を計測した。蹄温度を参考に、40°C に設定したプレートを片側から軽く

押し当て、樹脂内部の温度が定常状態になるまで加熱し続けた。加熱面と反対側は樹脂板と接している。なお装置の都合上試験片は上下反転している。

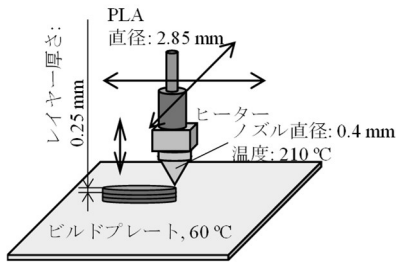
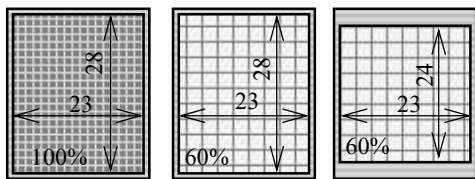
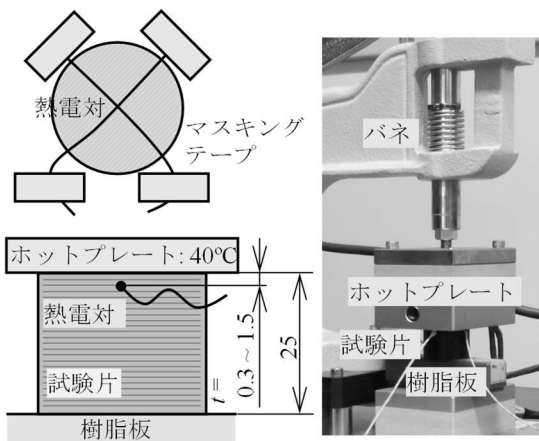


図2 円柱試験片の3Dプリンティング条件



(a) 内部密度100% (b) 60% (c) 100%, 60%併用

図3 円柱試験片の縦断面内部構造



(a) 円柱試験片寸法 (b) 加熱試験

図4 円柱試験片の加熱試験条件

#### 4. 円柱の加熱試験結果

加熱された試験片の温度履歴を図5に、加熱開始から40~100s後における平均温度を表1に示す。およそ40sで定常状態となった。加熱面から測定位置が離れるほど温度は低くなった。また密度60%においては100%と比較して表面と内部の温度差が小さかった。これは内部の熱伝導率が低くなり、表面に熱が留まったためと考えられる。蹄鉄として使用すると激しく摩擦するため、なるべく熱電対は表面より遠く、また密度は高い方が望ましい。図3(c)のように一部の密度を上げることで、強度を確保しつつ表面から離れた位置でも温度を測定しやすくすることが出来る。

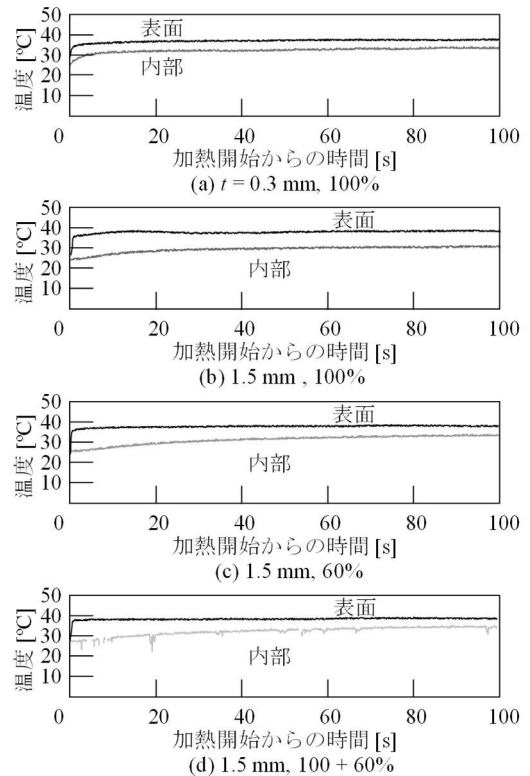


図5 加熱された試験片の温度履歴

表1 加熱開始40~100s後における平均温度

熱電対位置 $t$	密度%	加熱板温度 °C	試験片温度 °C	温度差 °C
0.3 mm	100	37.49	32.99	4.50
0.6 mm	100	39.23	33.99	5.24
1.0 mm	100	38.90	32.55	6.35
1.5 mm	100	38.90	31.00	7.90
1.5 mm	60	38.31	32.87	5.44
1.5 mm	100+60	38.54	33.75	4.79

#### 5. おわりに

本研究では温度センサー付き装蹄療法用3Dプリント蹄鉄の開発のために、試験片表面と内部の温度との差に及ぼす密度の影響について調査した。密度が下がると内部の熱伝導率が下がるため、必要な強度を確保しつつ密度を下げるのが正確な温度測定に効果的であることが分かった。今後は印刷方向を変えた際の熱伝導について調査する。

#### 参考文献

- 1) 中川ら, Hippophile, 89 (2020), 1-10.
- 2) Werner, Therapeutic Farriery, 28-2 (2012), 263-281.