

造形物内部への情報埋め込みによる 3D プリンター用データの著作権保護技術

Copyright Protection Technique by Embedding Information Into Inside of Objects Fabricated With 3-D Printers

鈴木 雅洋† ピヤラット シラパスパコオンウォン† 上平 員丈†
高嶋 洋一‡ 海野 浩† 鳥井 秀幸†
Masahiro Suzuki Piyarat Silapasuphakornwong Kazutake Uehira
Youichi Takashima Hiroshi Unno Hideyuki Torii

1. まえがき

将来、3D プリンターが普及するとユーザーはネット上で欲しいものを探し、そのデジタルデータを購入、ダウンロードし、自宅で 3D プリンターを用いて実物体として造形することが可能になる。このため、3D プリンターの普及はものづくりや物流のあり方に革新をもたらすとして注目されている。一方、デジタルデータは容易にコピーでき、また一つのデータがあれば 3D プリンターでいくつでも同じものをつくれるので、今後、不正な造形物制作の問題が顕在化すると予想され、この問題を防止できる技術が必要となる。

3D プリンター用コンテンツの著作権を保護するには、造形された実物体からコンテンツの著作権情報を確認することが必要である。そこで、筆者らは、造形物内部の構造化によって造形物の内部に著作権情報を埋め込み、この埋め込まれた情報を外部から非破壊で読み出す技術を検討してきた [1-3]。本技術では、3DCAD などコンテンツデータを作成する段階で、コンテンツデータに著作権情報を付加する。そして、3D プリンターで実物体が造形される時、この著作権情報によって、その内部が構造化される。非破壊読み出し法としてサーモグラフィーを用い、表面の熱画像から内部の構造を解析して埋め込んだ著作権情報を読み出し、不正な造形物か否かを判定する。

これまで、造形物内部に微小空洞を形成し、この配置形態で情報を表現する方法を検討し、その実現性を確認した。この方法は、空洞部分以外は物質が高密度に充填されていることを前提とするが、現在の普及版 3D プリンターの多くは、材料の節約などのために低密度で物体を造形する。そこで、本研究では空洞以外の領域を低密度に形成した場合について、本方法の適用性を検討した。

2. サーモグラフィーによる情報の非破壊読み出し

物体内部に形成した空洞の配置形態で情報を表現する方法としては、配置形態そのものが文字情報などを表現する方法や、情報を 2 進数に符号化して、所定の位置に空洞があれば 0、なければ 1 を割り当てる方法などが考えられる。

この空洞の配置情報を外部から非破壊で取得するため、造形物の表面を加熱する。加熱すると表面温度が上昇し、

この結果、表面から造形物の内部へ向かう熱流が発生する。もし、内部に空洞があると、そこで熱流が妨げられるので、空洞の上の表面温度は周囲より高くなる。したがって、表面温度分布をサーモグラフィーで測定すれば、内部の空洞の配置を検出でき、埋め込まれた情報を読み出すことができる。

本技術では、空洞とそれ以外の領域との間に大きな熱伝導率の違いがあることを利用する。すなわち、物質が充填されている領域は空洞領域に比べると熱伝導率が十分に高いことを前提としている。

しかし、物質が充填されている領域の物質密度を低くすると熱伝導率が低くなり、空洞領域との熱伝導率の差が小さくなり上記の前提が成り立たなくなる。そこで、本研究では空洞領域以外の領域の密度を 10% 程度と極めて低くした場合の表面温度分布を調べ、これまでと同様の構造設計で情報の埋め込み、読み出しが可能か検討した。

3. 方法

熱溶解式 3D プリンター (MakerBot Replicator) を用いて内部に微小空洞構造を持つ造形物を密度 10% で造形した。造形物の材質は PLA とし、サイズは幅 5 cm、高さ 1 cm、奥行き 5 cm の直方体とした。図 1 に上面から見た空洞のパターンを示す。空洞の最上部は表面から 1 mm の深さに位置するようにした。空洞の厚さは 2 mm である。

この造形物を 2 台のハロゲンランプ (最大出力 500 W) で図 2 に示すように加熱して、Testo 製サーモグラフィー

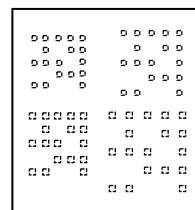


図 1 上面から見た空洞のパターン。

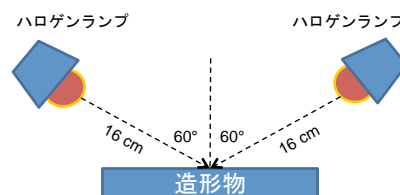


図 2 ハロゲンランプと造形物の概略配置図。

†神奈川工科大学, KAIT

‡NTT サービスエボリューション研究所, NTT

(Testo 875) で表面の熱画像を造形物の正面から撮影した。表面熱画像を撮影した動画は、160×120画素の解像度であった。

4. 結果と考察

図3にサーモグラフィーで撮像した造形物表面の熱画像を示す。これらの画像は、ランプによる加熱を止めた後、表面温度が下降していくときの画像であり、図3(a)は加熱停止直後、(b)は加熱を止めてから10秒後、(c)は20秒後の画像である。また、比較対象のために、密度100%の造形物の加熱を止めた直後の表面温度分布画像を図4に示す。

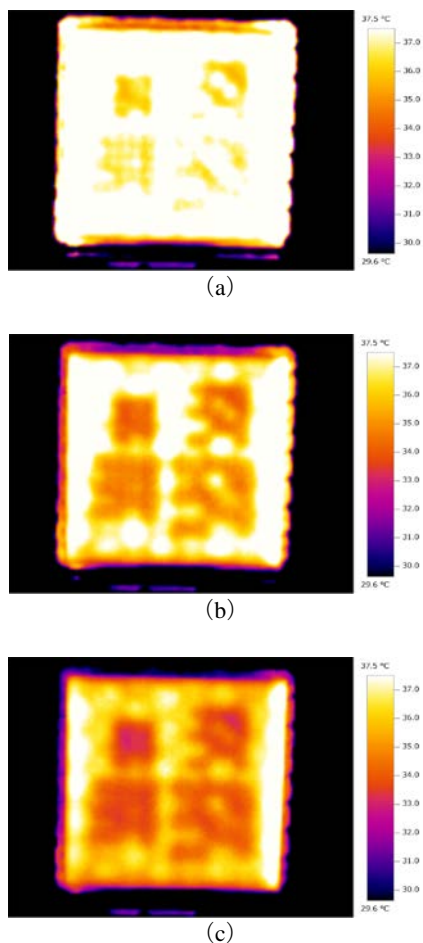


図3 密度10%の造形物の表面温度分布画像。

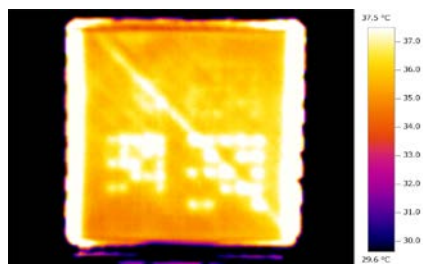


図4 密度100%の造形物の表面温度分布画像。

図3から、空洞の上の表面温度は、他の表面領域の温度よりも低くなっていることがわかる。この結果は、図4に示す100%の密度で造形した造形物の結果と反対の結果である。これは、10%の密度の造形物では、表面から深部に向かう熱伝導が空洞領域上部の表面付近のほうが大きいことを意味している。この原因を明らかにするには内部の空洞周辺の詳細な構造を解析する必要があるが、密度10%の造形物では、空洞領域以外でも物質が充填されない領域が存在して熱伝導率が低くなっていること、また設計データ上の空洞の位置には空洞を形成するための壁が高密度に形成され、これが空洞付近で表面から深部への熱伝導に大きく寄与しているかと推測される。

以上の結果から、低密度であっても、領域によって熱伝導に差を生じさせる構造を意図的に形成できれば、情報の埋め込み、読み出しが可能であることがわかった。

5. あとがき

3Dプリンターによる造形物の内部に埋め込んだ著作権情報のサーモグラフィーによる非破壊に読み出す技術について、造形物を低密度で造形する場合の適用性を検討した。密度10%で造形した造形物の加熱後の表面温度分布をサーモグラフィーで計測したところ、空洞領域上部の表面温度は、その他の領域の表面温度よりも低くなり、空洞の検出が可能であることがわかった。そして、低密度であっても、熱伝導に何らかの差が生じる構造を形成できれば、情報の埋め込み、読み出しが可能であることを確認した。

今後は、造形物の内部構造を詳細に解析して、表面温度が低くなる要因を解明するとともに、低密度における最適構造化を熱伝導の解析から明らかにしていく。

謝辞

本研究は、JSPS 科研費 15H02707 の助成を受けた。

参考文献

- [1] ビヤラット シラパスパコオンウォン, 鈴木雅洋, 上平員丈, 高嶋洋一, 海野浩, “3Dプリンター造形物内部に埋め込んだ情報のサーモグラフィによる非破壊読み出し,” 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 114, no. 222, p. 37–40, EMM2014-50, September 2014.
- [2] 鈴木雅洋, ビヤラット シラパスパコオンウォン, 上平員丈, 高嶋洋一, 海野浩, “3Dプリンター用デジタルデータの著作権保護技術,” 暗号と情報セキュリティシンポジウム予稿集, 福岡県北九州市, 1B2-1, January 2015.
- [3] M. Suzuki, P. Silapasuphakornwong, H. Unno, K. Uehira, Y. Takashima, “Copyright protection for 3D printing by embedding information inside real fabricated objects,” The International Conference on Computer Vision Theory and Application, Berlin, Germany, p. 180–185, March 2015.