

合成樹脂製品に対する人工物メトリクスの適用

高山 幸紀^{†1} 藤川 真樹^{†1} 渕 真悟^{†2}

概要: 合成樹脂製品のうち、型を用いて成形される製品に適用できる人工物メトリクスを提案する。具体的には、硬化前の状態である液体樹脂を型に流し込んだ際に自然偶発的に発生する「樹脂の流れ」を利用して特徴情報を形成する方法と、当該情報を非接触で抽出する方法を提案する。赤外線透過する塗料を製品全体に塗布することで特徴情報を隠蔽できるため、製品の外観を損なわない。一方、特徴情報は赤外線カメラを用いた撮影により非接触で抽出できる。実験では、(1)特徴情報を視認できないこと、(2)赤外線透過黒色塗料を塗布したサンプルから特徴情報が抽出できること、(3)抽出された特徴情報はサンプルごとに異なること、を確認した。

キーワード: 合成樹脂製品, 人工物メトリクス, 特徴情報の秘匿

Application of the Artifact Metrics Technique to Synthetic Resin Products

Kouki Takayama^{†1}, Masaki Fujikawa^{†1}, Shingo Fuchi^{†2}

Abstract: We propose anti-counterfeiting and authenticity verification technique (called artifact metrics) for resin-made molded products. In our technique, each product has unique optical characteristic information formed by “liquid turbulence” which is caused when two types of liquid resin with different optical features are poured into a mold. The appearance of the product is not affected by characteristic information as they can be covered by the paint which can transmit infrared light. In our experiment, we confirmed these results: (1) Covered characteristic information could not be observed by naked eyes, (2) Characteristic information could be extracted from 50 samples covered by black-colored infrared light transmission paint, (3) extracted characteristic information differed from each sample.

Keywords: Synthetic resin products, Artifact metrics, Concealing the characteristic information.

1. はじめに

1.1 背景と目的

合成樹脂製品は、我々の日常生活において身近に存在する人工物である。合成樹脂は安価に入手でき、成形が容易で酸・アルカリに強く、使用目的や用途に合わせた特性や性能を製品に持たせることができるという特徴を持つ。一般的に、電気を通しにくく、燃えやすく、生分解しにくいというイメージがあるが、最近では導電性、難燃性、生分解性をもつ合成樹脂が開発されており、資源として積極的に再生利用されている。

合成樹脂の特徴である「入手と成形の容易性」を悪用し、合成樹脂製の真正品を模倣したコピー品が市場に流通している。表 1 は、合成樹脂が使用されている製品を分類したものであり、コピー品の存在が確認されているものに下線を付している。現在のところ、金銭的に価値のある合成樹脂製品がコピーの対象となっているが、近い将来、分類 1 にカテゴライズされるセキュリティデバイス (SIM カードやハードウェアトークンなど) や有名ブランドが提供する

付加価値の高い製品 (製造数を限定したモデルなど) のコピー品が市場に流通する可能性が考えられる。

コピー品は、真正品を提供するメーカーが持つ知的財産権を侵害し、本来得られるべき適正な利益を失わせるだけでなく、消費者に金銭的・精神的ダメージを与える。また、コピー品の品質は低いため、強度不足やこれに含まれる化学物質によって人身事故や健康被害が発生する可能性があることから、看過できない問題である。このため、合成樹脂製品の真正品とコピー品を識別すること、およびコピー品の製造を困難にすることは、他の人工物と同様に重要である。

そこで本論文では、真正品か否かを機械的に検証可能にするとともに、コピー品の製造を困難にする方法である人工物メトリクスを合成樹脂製品に適用する方法を提案する。本論文において、著者らがフォーカスする合成樹脂製品は、液体樹脂と型を用いて成形される製品である。本論文では、以下のような流れで論述を展開する。第 2 章では、本論文における人工物メトリクスの要件と前提条件について述べる。第 3 章では、提案方法について詳細に述べる。第 4 章

^{†1} 工学院大学
Kogakuin University

^{†2} 青山学院大学
Aoyama Gakuin University

表 1 合成樹脂製品の分類

Table 1. Categorization of synthetic resin products.

分類 I	<p>定義： 形成された人工物について、その大部分を合成樹脂が占めるもの。</p> <p>用途 1： クレジットカード[1]、キャッシュカード[2]、SIM カードなど。</p> <p>用途 2： プリペイドカード[3]、ポイントカードなど。</p> <p>用途 3： 家電の外装、ハードウェアトークン（ワンタイムパスワード生成器）など。</p>
	<p>素材： 用途 1 では PVC 樹脂が、用途 2 では PET 樹脂が、用途 3 では ABS 樹脂が使用されている。</p>
	<p>定義： 形成された人工物について、その表面が合成樹脂で塗装またはコーティングされているもの。</p> <p>用途 1： 腕時計[4]やメガネフレームなど、ABS 樹脂やポリカーボネイトで形成された製品で、焼付塗装（塗装皮膜の樹脂に 150 度以上の熱をかけることで皮膜を硬化させる塗装）ができないもの。</p> <p>用途 2： 自動車のアルミホイール[5]など、アルミや真鍮で形成された製品で、焼付塗装ができないもの。</p> <p>素材： 用途 1, 2 とともに、アクリル樹脂、ウレタン樹脂、フッ素樹脂、エポキシ樹脂が塗装またはコーティングに使用されている。</p>
分類 II	<p>定義： 形成された人工物について、その表面が合成樹脂で塗装またはコーティングされているもの。</p> <p>用途 1： 腕時計[4]やメガネフレームなど、ABS 樹脂やポリカーボネイトで形成された製品で、焼付塗装（塗装皮膜の樹脂に 150 度以上の熱をかけることで皮膜を硬化させる塗装）ができないもの。</p> <p>用途 2： 自動車のアルミホイール[5]など、アルミや真鍮で形成された製品で、焼付塗装ができないもの。</p> <p>素材： 用途 1, 2 とともに、アクリル樹脂、ウレタン樹脂、フッ素樹脂、エポキシ樹脂が塗装またはコーティングに使用されている。</p>
	<p>定義： 形成された人工物について、その表面が合成樹脂で塗装またはコーティングされているもの。</p> <p>用途 1： 腕時計[4]やメガネフレームなど、ABS 樹脂やポリカーボネイトで形成された製品で、焼付塗装（塗装皮膜の樹脂に 150 度以上の熱をかけることで皮膜を硬化させる塗装）ができないもの。</p> <p>用途 2： 自動車のアルミホイール[5]など、アルミや真鍮で形成された製品で、焼付塗装ができないもの。</p> <p>素材： 用途 1, 2 とともに、アクリル樹脂、ウレタン樹脂、フッ素樹脂、エポキシ樹脂が塗装またはコーティングに使用されている。</p>

表 2 物理的な特徴と抽出される情報

Table 2. Physical characteristics and extracted information.

物理的特性	抽出される特徴情報
光学特性	粒子がもつ光学特性（反射、透過、屈折、蛍光）とその分散度合いが特徴情報に反映される。当該情報は、光の強度をセンシングできるデバイスによって抽出される。
磁気特性	粒子がもつ磁気特性（引力と斥力）とその分散度合いが特徴情報に反映される。当該情報は、磁気の変化をセンシングできるデバイスによって抽出される。
電気特性	粒子がもつ電気特性（電荷）とその分散度合いが特徴情報に反映される。当該情報は、電荷量をセンシングできるデバイスによって抽出される。
振動特性	粒子がもつ振動特性（音波）とその分散度合いが特徴情報に反映される。当該情報は、音波をセンシングできるデバイスによって抽出される。

では、著者らが行った実験とその結果について紹介する。第 5 章で考察を加え、第 6 章で本論文を総括する。

1.2 人工物メトリクスシステムの概要

人工物メトリクスでは、個々の人工物が持つユニークな情報（特徴情報）を用いて真正性を検証する。このため、コンセプトはバイオメトリクスと同じである。一方、偽造困難性は、「真正品が持つ特徴情報を複製することが困難である」という技術的な裏付けにより成立する。特徴情報は、製品の製造過程において自然偶発的に形成されるものであり、製造者であっても狙った通りに形成できない。このため、特徴情報の形成方法を公開しても偽造困難性が低下す

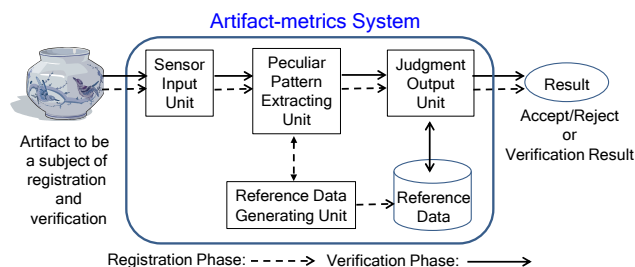


図 1 人工物メトリクスシステムの概要

Figure 1. An overview of artifact metric system.

ることはない。

微視的に見ると、個々の人工物は特徴情報を持つ。顕微鏡を用いて観測できる微小な凹凸や色相の違いがこれにあたる。しかし、顕微鏡によって撮影できる範囲は微小であるため、「登録時に撮影した領域」と「検証時に撮影する領域」を特定するのに時間がかかることが予想される[6]。

このため、人工物メトリクスでは、ユニークかつ抽出しやすい特徴情報を人工物中に形成する方法が用いられる。具体的には、製品の製造過程において物理的特性を持つ材料を添加する。添加された材料の粒子は自然偶発的かつランダムに分散して人工物中で安定するが、この分散度合いが特徴情報となる。特徴情報を抽出するときには、当該材料が持つ物理的特性を抽出できるセンシングデバイスが使用される。表 2 に、材料がもつ物理的特性と抽出される特徴情報の例を示す。

図 1 に、人工物メトリクスを実装したシステム（人工物メトリック・システム）の概要を示す（図中で示されている 2 つのフェーズは、バイオメトリック・システムとほぼ同じである）。当該システムでは、人工物の出荷前に特徴情報を抽出し、セキュアなデータベースに格納する。真正性を検証するときには、対象となる人工物から特徴情報を抽出し、データベース上の特徴情報と比較する。

2. 検討事項

2.1 人工物メトリクスの要件

本節では、本研究における人工物メトリクスの要件について述べる。1 つ目に、ユニークかつ抽出しやすい特徴情報を形成するために製品に添加される材料は、人体と環境に影響を及ぼすリスクが低いことが求められる。2 つ目に、製品の成形性（狙い通りの形状になること）と強度が低下することを避けるために、製品に添加する材料の量は可能な限り少量であることが求められる。3 つ目に、製品に添加する材料の存在が製品の外観に影響を与える場合には、その存在を肉眼で確認できない程度にまで隠蔽する方法を用いるべきである（一般的に、合成樹脂製品は塗料で色付けされることから、上記の方法は妥当であるといえる。このことは、透明な合成樹脂製品に対する人工物メトリクス

は本論文の対象外であることを意味する)。ただし、当該方法によって特徴情報の抽出に影響が出ること(具体的には、特徴情報が抽出できなくなったり、十分な特徴情報が得られなくなったりすること)は避けなくてはならない。4つ目に、製品の表面に傷をつけるなど、真正性の検証時に製品に対して物理的な影響を与えないために、特徴情報は非接触で抽出できることが求められる。

以上のことから、本論文における人工物メトリクスの要件として、以下の4つを設定する。

要件 1: 製品に添加する材料は、人体と環境に影響を及ぼすリスクが低い。

要件 2: 製品に添加する材料の量は 20wt%を超えないものとする。この値は、合成樹脂製品の強度や帯電防止性を高めるために添加される添加剤の量に関する文献[7][8]を参考にした。

要件 3: 製品に含まれる材料の存在を隠蔽する方法によって、特徴情報の抽出に影響が出ること(特徴情報が抽出できなくなったり、十分な特徴情報が得られなくなったりすること)はない。

要件 4: 製品に対して物理的な影響を与えないようにするために、特徴情報を非接触で抽出する。

2.2 前提条件

本節では、議論の範囲を明確にするために、以下に示す前提条件を設定する。

条件 1: 本論文では、メーカーが日々製造する製品を議論の対象とする(すでに出荷されており市場に出回っているものは議論の対象外とする)。

条件 2: 本論文では、著者らが提案する人工物メトリクスの有効性(製品の真正性を検証でき、偽造困難性を持つ可能性があること)を議論する。提案方法は実装されていないため、人工物メトリック・システムに関する議論(特徴情報を照合する装置の性能、耐クローン性の評価)は行わない。

条件 3: 本論文では、塗料によって製品全体が着色される合成樹脂製品にフォーカスを当てる。このため、着色されない透明な合成樹脂製品は議論の対象外とする。

条件 4: 合成樹脂にはいろいろな種類があるが、本論文ではそのうちのひとつであるエポキシを用いて著者らの方法の有効性を検証する。これは、成形性と強度が高く、入手と着色が容易であり、専門的な知識がなくてもアクセサリー等の製品を作製できるためである。それ以外の合成樹脂に対する提案方法の適用は、今後の研究課題とする。

3. 提案方法

3.1 コンセプト

我々は、日常生活において液体の流れやそれによって表現される模様を目にする。たとえば、以下のような例があ

る。

- 液体を容器に注いでいるとき、液体は3次元の流れを見せる。
- 色 A で着色された液体が入っている容器に色 B で着色された液体を注ぎ入れると、2つの色が混ざり合うことなく、大理石に似た縞模様が容器全体に形成される。

一般的に、液体の流れとそれによって形成される大理石に似た縞模様は3次元性とランダム性を持つ。これは、流体力学的に見ると液体の流れが「乱流」であり、複雑な非定常流(液体の流れが時間とともに変動する流れ)であるからである[9]。放射性同位体の崩壊と同様、乱流はランダム性を持つ[10]。

通常、エポキシを用いて製品を成形する際には、型と呼ばれる容器に硬化剤を含んだ液体のエポキシ(主剤)を注ぎ込む。このときのエポキシの流れは乱流となる。著者らのアイデアは上記2つの例からヒントを得たものであり、大理石に似た縞模様を製品全体に形成し、これを特徴情報とするものである。これにより、任意の場所から特徴情報を抽出することができる。

3.2 特徴情報の形成

本節では、特徴情報の形成方法について述べる。はじめに、光学特性が異なる粉末 A と粉末 B を用意する。粉末 A は赤外線を反射する性質を持ち、粉末 B は赤外線を吸収する性質を持つ。これらの材料によって形成された縞模様を被写体とし、この赤外線画像を撮影すると、相反する光学特性によってコントラストが明瞭な画像を得ることができる。本論文では、粉末 A に酸化チタン粉末を、粉末 B に炭素繊維粉末を使用するが、光学特性が同じであり、人体と環境に影響を及ぼすリスクが低ければそのほかの材料を使用しても問題ない。

つぎに、少量の粉末 A が添加されたエポキシ A と少量の粉末 B が添加されたエポキシ B を作製する。両方のエポキシには硬化剤を添加し、十分に攪拌する。そして、同じ量のエポキシ A とエポキシ B を同時に型に流し込む。粉末 A と粉末 B は化学的に安定しているため、2つのエポキシを混合したあともそれぞれの粒子に化学的変化は生じない。

上記の物理的・化学的特性と乱流によって、大理石に似た縞模様が型のなかで形成される。硬化剤によってエポキシは少しずつ硬化し、一定時間以上経過すると完全な個体となる。型を取り外すと、かたどられたエポキシ全体に形成された縞模様が観測できる。

3.3 特徴情報の隠蔽

我々の身の回りにある合成樹脂製品の大半は塗料によって色付けされており、大理石に似た縞模様を持たない。前節によって形成された縞模様は製品の外観を損なうおそれがあることから、これを隠蔽すべきである。ただし、隠蔽する方法は要件 3 を満たす必要がある。

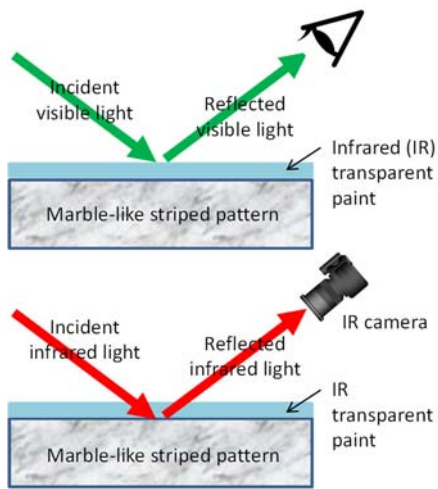


図2 可視光と赤外線の反射

Figure 2. Reflection of visible and infrared light.

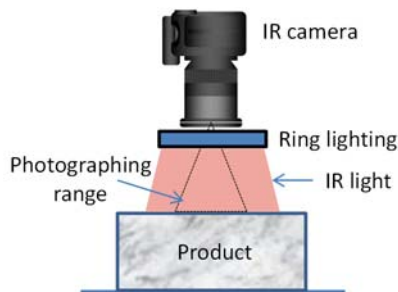


図3 特徴情報の抽出

Figure 3. Extraction of characteristic information.

赤外線の反射と吸収を観測可能にしつつ縞模様を隠蔽するために、肉眼と撮像素子の感度の違いを利用する。具体的には、かたどられたエポキシの表面全体に赤外線を透過する塗料を塗布する。当該塗料は図2に示すように塗料が持つ色を反射するため、肉眼では塗料の色は視認できるが縞模様を視認できない。一方、当該塗料は赤外線を透過するため、赤外線カメラは縞模様を観測できる。

3.4 特徴情報の抽出

特徴情報である縞模様は、図3に示す光学システムを用いて抽出する。はじめに、ステージ上に製品を置く。つぎに、リング状の赤外線光源をレンズに取り付けた赤外線カメラを用意し、観測領域に対して赤外線を照射しながら当該領域を撮影する。リング状の光源を使用する理由は、赤外線を観測領域に対して均一に照射できるからである。このシステムにより、顕微鏡よりも特徴情報を広範囲かつ効率的に抽出できる。

縞模様は製品全体に形成されているため、観測領域を任意の場所に設定することで多くの特徴情報を得ることができる。バイオメトリクスでいえば、複数の指から指紋や静脈の画像を得ることと同様である。複数の特徴情報を抽出することにより、真正性の確度と偽造困難性を高めること

ができる。

4. 実験

4.1 サンプルの作製

著者らは、3.2節で示した方法を用いて特徴情報が形成できること、および添加する材料の適切な量を確認するために、3種類のサンプルを作製した(1種類につき5個作製)。タイプ1のサンプルは、5wt%の酸化チタン粉末が添加されたエポキシと5wt%の炭素繊維粉末が添加されたエポキシを混合して作製した。タイプ2のサンプルは、酸化チタン粉末と炭素繊維粉末の量をそれぞれ2.5wt%に減らして作製した。タイプ3のサンプルは、それぞれの量を1wt%に

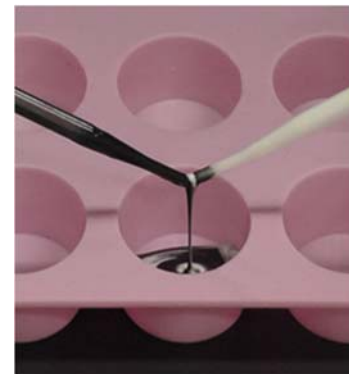


図4 エポキシ注入法とシリコン型

Figure 4. Epoxy injection method and silicon mold.



図5 サンプル (タイプ1: 5wt%)

Figure 5. Samples (Type 1: 5wt%).

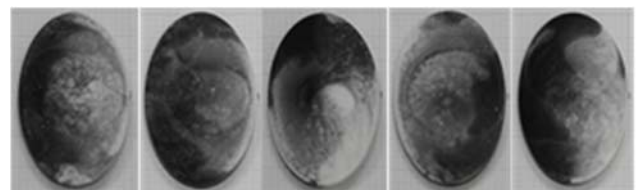


図6 サンプル (タイプ2: 2.5wt%)

Figure 6. Samples (Type 2: 2.5wt%).

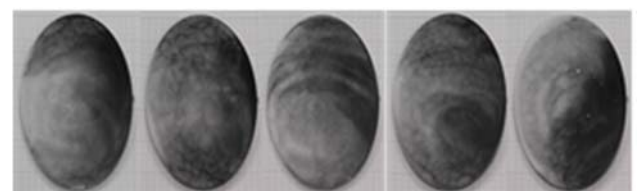


図7 サンプル (タイプ3: 1wt%)

Figure 7. Samples (Type 3: 1wt%).

減らして作製した。

上記2種類のエポキシは、スポイトを用いて型に流し込む。大理石に似た縞模様(特徴情報)を作りやすくするために試行錯誤を重ねた結果、図4に示すように2つのスポイトの先端を近づけた状態でエポキシを流し込む方法を採用した。型には、合成樹脂製のアクセサリを作製するために用いられるシリコン型を使用した(図4参照)。サンプルの形状は、縦5.5cm、横3.4cmの楕円となる。

図5から図7に、作製されたサンプル表面の可視光画像を示す。白色は酸化チタン粉末の色であり、黒色は炭素繊維粉末の色である。どのタイプのサンプルも、特徴情報をもつことがわかる。しかし、タイプ3のサンプルは、他のタイプよりも黒と白のコントラストが低く特徴情報が明確ではない。一方、タイプ1とタイプ2のサンプルを比較すると、コントラストは同程度であり特徴情報の明瞭さに大きな違いは認められない。成形性と強度の観点から見ると、製品に添加される材料の割合は低いほうがよい。このため、これ以降の実験では2.5wt%のサンプルを使用する。

4.2 特徴情報の視認困難性

著者らは、3.3節で示した方法を用いて特徴情報を隠蔽できることを確認するために、前節で作製したタイプ2(2.5wt%)のサンプルの表面に黒色の赤外線透過塗料を筆で塗布した。図8は、塗料を塗布したあとのサンプルを撮影した可視光画像である。塗料は黒色を反射するため、塗料の下に存在する特徴情報は撮影されていないことが分かる。

つぎに、肉眼によって特徴情報がどのくらい視認困難であるかを検証するために、被験者20人に対して以下の実験を行った。

- (1) サンプル裏面に識別番号を貼り付ける。つぎに、4.1節で撮影したサンプル表面の可視光画像を紙に印刷し、その余白に識別番号を貼り付けたあと、Fig. 9に示すように識別番号順に並べる。
- (2) 塗料が塗布された面を上にした状態で、サンプルをテーブル上にランダムに置く。
- (3) 被験者に次の指示を行う。
「テーブル上の各サンプルは、大理石に似た縞模様を持っています。手に取ったサンプルが持つ縞模様と、紙に印刷された縞模様が一致すると思った場合に、手に持っているサンプルをその紙の上に置いてください。ただし、サンプルの裏面を見てはいけません。」
- (4) 被験者がすべてのサンプルを移動させたあと、検証者は、サンプルの裏面に貼り付けられている識別番号と、紙に貼り付けられた識別番号の一致を確認する。一致する場合には1点を加算する。なお、検証者は被験者に対して回答の正誤を伝えない。
- (5) 被験者と検証者は(2)から(4)を10回、合計2セット繰り返し、被験者ごとの得点を集計する。

図10は、被験者ごとの得点を示すグラフである。縦軸は得点、横軸は被験者番号である。青色の棒グラフは1セット目の得点を、橙色の棒グラフは2セット目の得点を、灰色の直線は1セット目の平均得点(9.8)を、黄色の直線は2セット目の平均得点(9.9)を示す。1セット目よりも2セット目の得点が高くなるという傾向(つまり、2セット目が有利になること)は見られない。また、獲得可能な点数(1セットあたり50点)に対する得点の平均は、1セット目、2セット目ともに10点を下回っている。

ここで、この実験で得られた点数について考察する。図11に示すように、ランダムに並べられたサンプルについて最左端のものを毎回番号1の場所に置いた場合、そのサンプルの裏面に貼り付けられている識別番号と、紙に貼り付けられた識別番号が一致する確率は24/120である。ところで、このようなシナリオのもとで、偶然、最左端のサンプルが番号1のサンプルと一致し続けたと仮定したとき、最低でも1セットで10点獲得することができる。ところが、今回の実験での平均得点は10に近い値であった。この結果から、特徴情報の視認は困難であったと推測できる。

4.3 特徴情報の抽出

3.4節で示した方法を用いて特徴情報を抽出できることを確認するために、前節で使用したタイプ2(2.5wt%)のサンプルを使用して特徴情報を抽出した。図12に、赤外線塗料を塗布する前のサンプルの可視光画像(上段・再掲)と、赤外線塗料を塗布した後のサンプルの赤外線画像(下段)を示す。赤外線透過塗料の赤外線透過率は約90%であるため、可視光画像と比べると赤外線画像のシャープさは少し下がる。しかしながら、特徴情報が抽出できることが



図8 塗装後サンプル(タイプ2: 2.5wt%)

Figure 8. Painted samples (Type2: 2.5wt%).

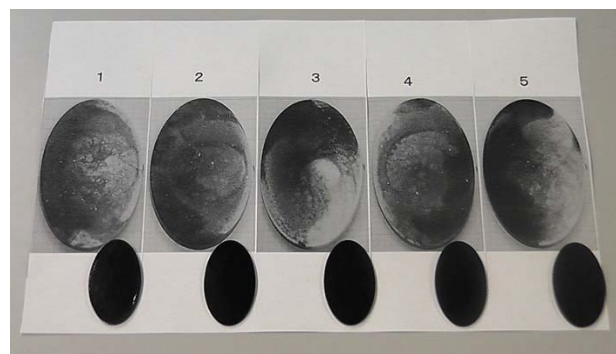


図9 サンプルと印刷された可視光画像

Figure 9. Samples and printed visible images.

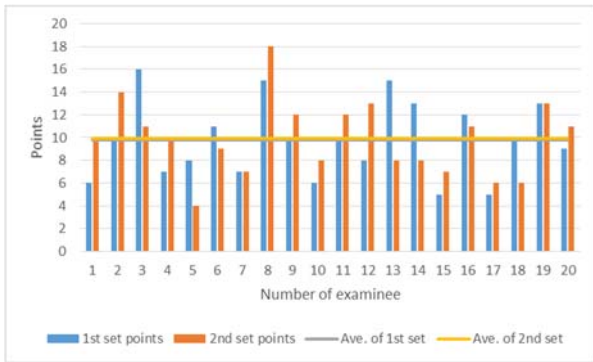


図 10 被験者ごとの得点
Figure 10. Points table of each examinee.

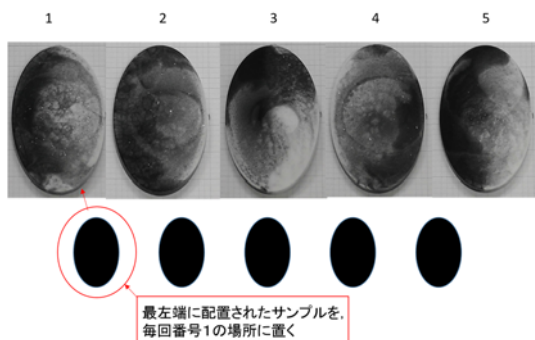


図 11 サンプルの置き方
Figure 11. How to place samples

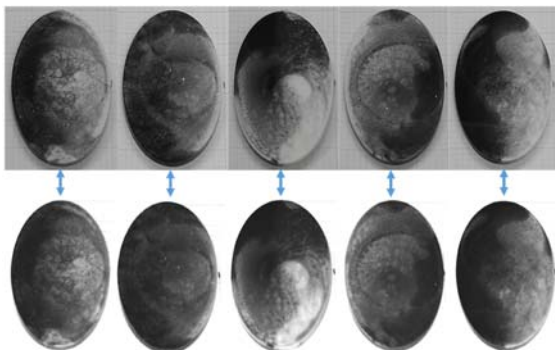


図 12 可視光画像と IR 画像 (タイプ 2: 2.5wt%)
Figure 12. Visible and IR image (Type 2: 2.5wt%).

わかる。

4.4 サンプル同士の相関比

3.2 節で述べた方法によってユニークな特徴情報が形成されること (サンプル同士の相関比が低いこと) を確認するために、以下の実験を行った。

- (1) 材料の重量比を 2.5wt% に設定したサンプルを 50 個作製する。当該サンプルの表面に、赤外線透過塗料を塗布する。

a 位相限定相関法は、「画像照合 (2つの画像の類似度評価)」と「位置合わせ (平行移動と回転が加わった画像について、オリジナル画像との比較により平行移動量と回転量を算出する)」とい

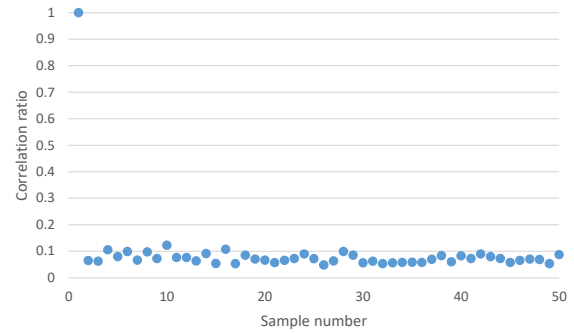


図 13 可視画像の相関比
Figure 13. Correlation ratio of visible images.

- (2) 4.3 節で示した方法により、各サンプルの赤外線画像を撮影する。つぎに、サンプル No. 1 の赤外線画像同士の相関比と、サンプル No. 1 と残り 49 個のサンプルの赤外線画像の相関比を、位相限定相関法[a]を用いて計算する。

相関比の計算に当該方法を使用する理由は、2つの画像の相関比を評価する手法として広く知られており、バイオメトリクス認証システム (指紋、虹彩、掌紋、歯科 X 線画像) において使用されている、実績のある手法であるからである[11].

図 13 に、サンプル No. 1 の赤外線画像同士の相関比を示すと同時に、サンプル No. 1 と残り 49 個のサンプルの赤外線画像同士の相関比を示す。前者の相関比は 1.0 と高いが、後者の相関比は前者のものよりも低く、違いが明瞭であることが分かる。このことから、異なるサンプル同士の類似度は低く、ユニークな特徴情報が形成されているといえる。

5. 考察

5.1 要件の充足

本章では、著者らが提案する人工物メトリクスが 4 つの要件を満たしていることを述べる。

はじめに、要件 1 について考察する。今回の実験では酸化チタン粉末と炭素繊維粉末を材料として使用した。酸化チタンは化学的に安定した物質であり、紫外線遮断能力があることから日焼け止め化粧品に含まれている。複数の国際機関の調査でも、顕著な毒性を示すケースが確認されていないことから[12], 安全な材料であるといえる。一方、炭素は生体適合性が良いとされており、炭素繊維およびその複合材料は人工生体材料にも使用されている[13]. これらのことから、2つの材料は人体と環境に影響を及ぼすリスクが低く、要件 1 を満たすといえる。しかし、粉末が目に入ったり、これを吸い込んだりすることのないよう、取り

う 2 つの目的に対して有効である。当該方法による画像マッチングは、ロバスト性があり (画像が多少変化しても安定的にマッチングできる)、位置合わせの精度が高いことが特徴である。

扱いには留意をする必要がある。

次に、要件2について考察する。4章で述べた実験では、エポキシと硬化剤の総量に対する酸化チタン粉末と炭素繊維粉末の重量比を5wt%、2.5wt%、1wt%に設定してサンプルを作製した。今回選定した2.5wt%は、要件2で定めた20wt%を下回っている。このため、要件2を充足している。

次に、要件3について考察する。3.3節では、2種類の材料によって形成された特徴情報を隠蔽するために、赤外線透過する塗料を塗布する方法を提案した。4章で述べた実験では、肉眼では特徴情報を視認できなかったが、赤外線カメラによって撮影された画像によって当該情報を視認できた。また、それぞれのサンプルに違いが見られることを確認した。このことは、塗料の塗布が特徴情報の抽出に影響を及ぼさなかったことを意味している。このため、提案方法は要件3を満たしている。

最後に、要件4について考察する。3.4節では、光学システムを用いた「撮影」という方法により特徴情報を非接触で抽出する方法を提案した。4章で述べた実験では、それぞれのサンプルから非接触で特徴情報を抽出できている、抽出された画像は、塗料を塗布する前に撮影された可視光画像の特徴を保持している。このため、提案方法は要件4を満たしている。

5.2 偽造困難性

本論文では、光学的な特徴情報の形成と抽出について述べていることから、光学的な観点から特徴情報の偽造困難性を考察する。

一般的に、光学的な特徴情報は、当該情報を形成する粒子の形状により一意に決定される。また、粒子に到達した光は粒子の境界面で反射または屈折するが、粒子がもつ屈折率は物質によって異なり、粒子がもつ屈折の角度は粒子がもつ形状によって異なる。

図14は酸化チタンの粒子を球に見立てて、図15は炭素繊維の粒子を球に見立てて、反射と屈折の様子を示した図である。炭素繊維の粒子の場合、粒子の内部に入った光の強度は、光が進むごとに少しずつ弱まる。これは光の吸収によるものであり、粒子から出る光の強度は粒子に入る光よりも弱くなる。

これらのことから、真正品がもつ光学的な特徴情報と同じ特徴情報をもつコピー品をつくるためには、偽造者は以下のことを実施する必要がある。

- (1) 真正品で使用されている材料と同じ材料を使用する。
- (2) 上記素材から、真正品の粒子と形状が同じ粒子を選び出す。
- (3) 上記粒子の3次元的位置関係を、真正品の粒子と同じにする。

製品の製造業者であれば、(1)は容易である。しかし、実

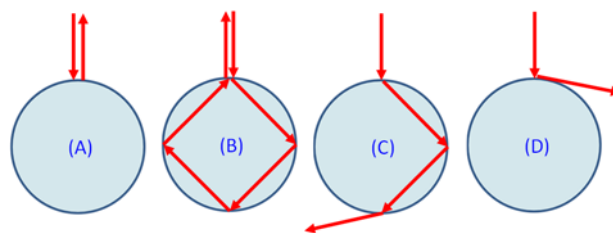


図14 粒子の境界での反射と屈折 (酸化チタン)
Figure 14. Reflection & inflection at the particle's boundary (Titanium Oxide).

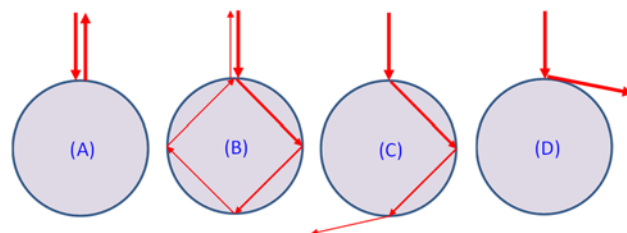


図15 粒子の境界での反射と屈折 (酸化チタン)
Figure 15. Reflection & inflection at the particle's boundary (Carbon).

際には、個々の粒子の形状は図13や図14のような完全な球ではないため、(2)の実行は困難であると考えられる。また、物理的に安定しない液体樹脂の中に存在する粒子を、狙い通りの3次元位置に留めおくこと(3)の実行)もまた、困難であると考えられる。以上のことから、真正品がもつ光学的な特徴情報と同じ特徴情報をもつコピー品を作り出すことは困難であるといえる。

ちなみに、本論文では酸化チタン粉末と炭素繊維粉末の両方を使用したが、仮に、酸化チタン粉末のみでサンプルを作製した場合でも、前述した(1)から(3)によって偽造困難性はある。また、炭素繊維粉末のみでサンプルを作製した場合でも、同様の理由により偽造困難性はある。本論文では、2つの材料を使用することから、1つの材料のみを使用する場合よりも偽造困難性は高まる。

5.3 製品1個あたりの製造コスト

本節では、製品1個に対して添加される材料(酸化チタン粉末と炭素繊維粉末)のコストを考察する。

4.4節で作製したサンプル50個(エポキシと硬化剤の総量240g、添加する材料の重量比2.5wt%)に含まれる酸化チタン粉末と炭素繊維粉末の重さは、それぞれ3gである。

酸化チタン粉末1kgの小売販売単価は2円/g、炭素繊維粉末20kgの小売販売単価は3.2円/gであるため、サンプル1個(4g)あたりの金額は0.26円となる。この金額は、紙ラベル型RFIDタグ1,000枚の小売販売価格(160円/枚[14])よりも安く、それぞれの材料の大量購入によって更に安くなるものと考えられる。また、RFIDタグとは異なり、製品から複数の特徴情報が抽出できることも、材料のコストパ

パフォーマンスを高めている。

ただし、製品の重さが増えると、添加する材料の金額も増えることから、製造者は製品の重さ、希少性、市場性、販売価格に留意しながら、適切な偽造防止技術を採択する必要がある。

5.4 合成樹脂製品の劣化と対策

本節では、一般的な合成樹脂製品の劣化の原因とその対策について述べる。

合成樹脂の劣化の要因として熱や塩素、紫外線などが挙げられる[15]。このうち、合成樹脂の劣化の原因として挙げられるのが紫外線による劣化である。紫外線による劣化の例として、洗濯物を干す際に使われる洗濯バサミがある。永く洗濯バサミを使っていると当該ハサミは脆化する。これは洗濯バサミが毎日紫外線を浴びることによって劣化するからである。

合成樹脂は紫外線に弱いため、何らかの対策が必要である。考えられる具体的な対策として、合成樹脂の表面に紫外線を遮断するものや紫外線を吸収する物質を塗布したり、合成樹脂に混合したりする方法があげられる。

6. まとめ

6.1 要約

型によって成形される合成樹脂製品の真正性を機械的に検証可能にし、コピー品の製造を困難にするために、当該製品向けの人工物メトリクスを提案した。この技術は、液体の流れとそれによって形成される大理石に似た縞模様が3次元性とランダム性を持つことを利用する。特徴情報(縞模様)を製品全体に形成するために、光学特性が異なる材料が添加された2種類のエポキシを型に同時に注ぎ入れる方法を提案した。また、赤外線透過する塗料を製品に塗布することで、肉眼では特徴情報の存在を確認できないが、赤外線カメラを通して確認できるようにした。

実験では、エポキシと酸化チタン粉末、炭素繊維粉末を用いてサンプルを作製した。そして、肉眼によって特徴情報が視認困難であること、赤外線カメラを用いて特徴情報を抽出できること、およびサンプルごとに特徴情報が異なることを確認した。

6.2 今後の予定

今後、著者らは以下の実験を行うことで、提案方法の有効性を検証する。

- 今回の実験では黒色の赤外線透過塗料を使用した。黒色以外の色をもつ赤外線透過塗料を用いて同様の実験を行う。
- エポキシ以外の合成樹脂、酸化チタン粉末以外の赤外線反射材料、炭素繊維粉末以外の赤外線吸収材料を用いても同様の結果が得られることを確認する。

7. 謝 辞

この研究は、科研費(課題番号16H07178)および財団法人大川情報通信基金の支援を受けた。また、本研究で使用された材料の一部は、株式会社セイコーアドバンスとテイカ株式会社より提供を受けた。謹んで感謝の意を表する。

8. 参考文献

- [1] Newsweek 日本版:「コンビニ ATM14 億円不正引き出し、管理甘い日本が狙われる」, Available at <http://www.newsweekjapan.jp/stories/world/2016/05/atm14.php>, 2016
- [2] 一般社団法人全国銀行協会:「偽造キャッシュカードによる預金等の不正払戻し」等に関するアンケート結果(平成19~25年度), https://www.zenginkyo.or.jp/fileadmin/res/hanzai/statistics/news280831_4.pdf, 2016
- [3] 偽造通貨対策研究所:「偽造チケット鑑定マニュアル NETバージョン第5編交通チケット編」, Available at <http://www.cdrjapan.co.jp/gtk2/ticketmanual1/koutu%20tetudou/haika%20syurijou%20omote.htm>, 2016
- [4] 小山雅夫:「G-SHOCK」模倣品対策への取組み, 特技懇 2005 年1月28日号, No. 236, pp. 50-55, 2005
- [5] 株式会社ウエッズ:「“ニセモノ” ホイールにご注意!!」, <http://www.weds.co.jp/nisemono/>, 2016
- [6] 藤川真樹, 森安研吾, 小田史彦, 瀧真悟, 竹田美和:「有価陶磁器製品に対する人工物メトリクス適用のための研究」, 情報処理学会論文誌, vol. 55, no. 9, pp. 1992-2007, 2014
- [7] 三洋化成工業株式会社:「プラスチック製品への帯電を半永久的に防止する」, 三洋化成ニュース, No. 473, pp. 21-23, 2012
- [8] 塩ビ工業・環境協会:「塩ビ製品の改質方法と物性」, http://www.vec.gr.jp/enbi/enbi2_5.html, 2016
- [9] 九州大学大学院総合理工学府大気海洋環境システム学専攻:「地球環境を学ぶための流体力学」, pp. 158-159, 2006
- [10] Daniel J. Barrett, Richard E. Silverman, Robert G. Byrnes:「実用SSH 第2版—セキュアシェル徹底活用ガイド」, pp. 83-84, 2006
- [11] 青木孝文, 伊藤康一, 柴原琢磨, 長嶋聖:「位相限定相関法に基づく高精度マシンビジョン」, 電子情報通信学会 Fundamentals Review, vol. 1, no. 1, p. 30-40
- [12] 日本酸化チタン工業会:「酸化チタン(ナノ酸化チタンを含む)の安全性等について」, Available at <http://www.sankatitan.org/sankatitan/2014.6ansen.pdf>
- [13] 炭素繊維協会:「炭素繊維の安全な取り扱い」, <http://www.carbonfiber.gr.jp/material/safety.html>
- [14] JISSO 株式会社:「RFID 販売価格」, http://www.advanced-jisso.com/rfidtag_cost.html
- [15] Nite 製品安全センター:「プラスチック製品の事故原因解析手法と実際の解析事件について」, <http://www.nite.go.jp/data/000005694.pdf>