

マルチモーダル人工物メトリクスの提案と 合成樹脂製品への適用に関する研究

藤川 真樹^{†1} 實川 康輝^{†1} 瀧 真悟^{†2}

概要: 本論文では, マルチモーダル人工物メトリクスを提案する. これは, バイオメトリクスにおけるマルチモーダルにヒントを得たものであり, 人工物に対して物理的特性が異なる2つ以上の特徴情報を持たせることで, 当該情報を用いて個々の人工物の真正性をより高い精度で検証できると期待できるからである. 本論文では, 当該技術の実現可能性を探求するために, 合成樹脂によって形成される人工物に2つの特徴情報を持たせる試みと, それらを抽出する試みを行ったので紹介する.

キーワード: マルチモーダル, 人工物メトリクス, 特徴情報, 真正性の検証

The Proposal for the Multimodal Artifact Metrics and the Study of Applicability to Synthetic Resin Products

Masaki Fujikawa^{†1} Kouki Jitsukawa^{†1} Shingo Fuchi^{†2}

Abstract: In this paper, we propose the Multimodal Artifact Metrics. We came up with this technology based on the technique of multimodal identification in biometrics and it is expected to verify the artifact's authenticity with high accuracy by using more than two characteristic information with different physical characteristics extracted from the artifact. In order to explore the feasibility of this idea, we explain two trials: First one is having two characteristic information in the artifact made by synthetic resin. Another one is extracting the said information from specimens.

Keywords: multimodal, artifact metrics, characteristic information, verification of authenticity

1. はじめに

1.1 背景と目的

日々製造される人工物の真正性(本物であること)を検証する技術として「人工物メトリクス」があるが, 当該技術のコンセプトはバイオメトリクスと基本的には同じである. これは, 人工物メトリクスでは, 個々の人工物もつ固有の特徴情報を用いて真正性を検証しているが, 同様にバイオメトリクスでも, 個々人がもつ固有の生体情報を用いて本人性を検証しているからである.

人工物メトリクスという言葉の語源ともいえるバイオメトリクスでは, これまではシングルモーダル(1つの生体情報を用いて個人を識別する方法)が一般的であったが, 最近では, より高い確度で個人を識別しつつ, 特定の個人に成りすますという攻撃への耐性を高めるために, マルチモーダル(複数の生体情報を用いて個人を識別する方法)が一般的になりつつある. 実際に, 日本国内ではマルチモーダル認証システムに関する評価基準の標準化が提案されており[1], インドではインド国民ID制度プロジェクトにおいて個人認証のために顔, 指紋, 虹彩が使用されている

[2].

真正品を真似た大量のコピー品が市場に流通している今日では, 人工物の真正性を高い確度で判定するとともに, 偽造の困難性を確保する技術を高度化することが必要になっている. このため著者らは, バイオメトリクスにおけるマルチモーダルにヒントを得て, 物理的特性が異なる複数の特徴情報を人工物に持たせるとともに, 当該情報を用いて個々の人工物の真正性を検証する技術(マルチモーダル人工物メトリクス)を提案する.

本論文では, 以下のながれで論述を展開する. 第2章では, 提案方法のコンセプト, 本論文で対象とする人工物, 提案手法が目指す指標, および本論文の前提条件を述べる. 第3章では, 提案方法を用いた人工物の製造方法と特徴情報の抽出, 真正性の検証方法を紹介する. 第4章では, 提案方法の有効性を検証するために行った実験とその結果を述べる. その後, 第5章で実用化に向けた考察を述べ, 第6章で総括する. なお, 本研究は work in progress であることをご了解いただきたい. 著者らは, 今後も継続して調査研究を行い, その結果を随時報告していく予定である.

1.2 人工物メトリクスの概要

本節では, 人工物メトリクスにおいて特徴情報がどのように取り扱われているのかを述べる.

人工物メトリクスでは, センシングデバイスを用いて人

^{†1} 工学院大学
Kogakuin University

^{†2} 青山学院大学
Aoyama Gakuin University

工物がもつ固有の特徴情報を抽出するが、この特徴情報は、「人工物の製造過程で1つの物理的特性をもつ材料（フィルター）を添加する」というシンプルな方法で人工物中に形成される。添加されたフィルター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に反映される。表1に、製造過程で添加されるフィルターがもつ物理的特性と、そこから抽出される特徴情報を示す。

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。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。上記のプロセスは、バイオメトリクスとほぼ同じである。

表 1 物理的特性と抽出される特徴情報

Table 1 Physical features and extracted characteristic 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、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、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、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、音波をセンシングできるデバイスによって抽出される。

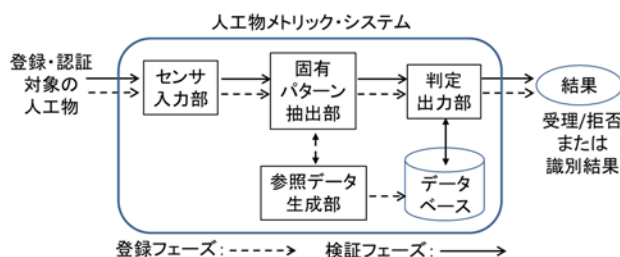


図 1 人工物メトリック・システムの概要

Figure 1 An outline of the artifact-metric system.

1.3 関連研究

本節では、関連研究を紹介することで本研究の位置づけを明確にする。

特徴情報を抽出するときの環境状況（たとえば、人工物とセンシングデバイスとの位置関係、特徴情報抽出時の温度・湿度）は変化するため、抽出される特徴情報にも変化が見られる。このような状況であっても、真正品の場合には、データベースに登録されている特徴情報と検証時に抽

出された特徴情報との間に強い相関があることを見出せなければ、真正性の検証を安定的に行うことはできない。

両者との間に強い相関を見出す方法として、「着目する特徴情報の数を増やす」というアプローチがある。文献[3]では、1つの物理的特性をもつフィルターから2つの特徴情報を抽出する方法が提案されている。この方法では、光学特性をもつフィルター（ガラス蛍光体の粉末）を絵具や釉薬に混ぜて陶磁器に塗布し、陶磁器を焼成する過程でフィルターの粒子を陶磁器表面に溶着させるのだが、粒子の分散度合いを観測する場所によって「発光イオン濃度」と「粒子の厚さ」に違いがある。提案方法では、これらが「発光スペクトル分布」と「発光強度分布」の違いとして現れることを利用し、2つの分布を特徴情報として利用するというアイデアを提案している。

2. マルチモーダル人工物メトリクス

2.1 コンセプト

今回提案するマルチモーダル人工物メトリクスはバイオメトリクスにおけるマルチモーダルにヒントを得ているが、前節で紹介した文献[3]の方法とは異なり、2つ以上の物理的特性を人工物に持たせ、そこから2つ以上の特徴情報を抽出する技術である。

文献[3]の方法との大きな違い（提案方法の優位性）は、抽出できる特徴情報の数を増やせることである。文献[3]の方法では人工物に1つの物理的特性を持たせるため、提案手法のように2つ以上の物理的特性を持たせた場合に比べると、抽出できる特徴情報の数が少なくなるのは自明である。

提案方法による人工物メトリクスへの貢献は2つある。1つは、前節で述べたように、特徴情報を増やすことによってデータベースに登録されている特徴情報と検証時に抽出された特徴情報との間に強い相関関係を見出すことができるため、真正性の検証を安定的に行えるということである。もう1つは、偽造者にとっては真正品からコピーすべき特徴情報の数が増えるため、その分だけ偽造の困難性を高められるということである。

2.2 対象とする人工物（合成樹脂製品への適用）

現在著者らは、マルチモーダル人工物メトリクスが適用できる人工物の探索を進めているが、本論文では適用先のひとつとして合成樹脂が使用されている人工物に着目し、提案方法の適用可能性を検証する。

当該人工物に着目した理由は2つある。1つは、我々の日常生活において身近に存在する人工物であることである。一般的に、合成樹脂は成形が容易で酸・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もつ。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、リサイクル資源として活用されている。

もう1つは、合成樹脂製品のコピー品が存在していることである。表2は、合成樹脂が使用されている製品を分類したものであるが、これまでにコピー品の存在が確認されているものに下線と文献番号を付している(表2では、製品を2つのカテゴリに分け、製品の定義、製品の用途、製品に使用されている合成樹脂を示している)。これまでに、有価カードや時計、自動車部品のコピー品が存在しているが、今後はSIMカードやハードウェアトークンといったセキュリティデバイスのコピー品が出てくる可能性があるとして著者らは考えている。

上記のことを鑑み、本論文においてフォーカスする人工物は、表2で分類したように「人工物の大部分を合成樹脂が占めるもの」と、「合成樹脂によって人工物の表面が塗装またはコーティングされているもの」とする。

表2 合成樹脂製品の分類

Table 2 Categorization of synthetic resin products.

Table 2 Categorization of synthetic resin products.	
分類 I	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。
	用途(1)： クレジットカード[4]、キャッシュカード[5]、SIMカードなど。 用途(2)： プリペイドカード[6]、ポイントカードなど。 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。
	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。
分類 II	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。
	用途(1)： 腕時計[7]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。 用途(2)： 自動車のアルミホイール[8]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。
	素材： 用途(1)(2)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。

2.3 指標

人工物に2つ以上の物理的特性を持たせるための方法としてすぐに思い浮かぶものに、「1つの物理的特性をもつフィラーを2つ以上用意し、これらを人工物に添加する方法」がある。この方法のメリットはフィラーの添加がシンプルに行えることであるが、その一方で、添加するフィラーの種類が多くなると「成形性(人工物を狙い通りの形にすること)が低下する」、「強度が低下する」、「フィラーの金銭的コストが高くなる」というデメリットが生じる(図2参照)[9,10]。文献[9,10]では、推奨されるフィラーの添加量

は示されていないが、成形性や強度、経済性の観点から、合成樹脂に対するフィラーの添加量は可能な限り少量であることが望ましい。なお2.2節で述べたように、合成樹脂には導電性を持つものと持たないものの2種類があるが、上記の考え方からすれば、いずれの合成樹脂に対してもn個以上の物理的特性を持たせるために、単純にn種類以上のフィラーを添加することは控えるべきである。

つぎに、合成樹脂に添加するフィラーは、人体と環境に影響を与えるリスクが低いことが求められる。これは、我々は日常生活において表2に示したような合成樹脂製品に素手で触れる機会が多いこと、および、一部の製品はリサイクルされずに不燃ごみとして埋立地で処分されるためである(リサイクルに適さないために埋め立て処分される合成樹脂のひとつとしてウレタン樹脂がある[11]。これは、当該樹脂は熱で溶けず、溶媒を使っても溶けないからである)。

以上のことから、本論文におけるマルチモーダル人工物マトリクスの指標を以下のように定める。

指標1: 合成樹脂製の人工物にn個以上の物理的特性を持たせるために、単純にn種類以上のフィラーを添加することを控える(添加するフィラーの種類とその量を可能な限り抑えながら、n個以上の物理的特性を持たせる工夫をする)。
指標2: 合成樹脂に添加するフィラーは、人体と環境に影響を与えるリスクが低い。



図2 配合比と成形性・強度・経済性の関係

Figure 2 Relationship between the compounding ratio (weight ratio) and the strength, formability, and monetary cost.

2.4 前提条件

本論文では、議論の対象を明確にするために以下に示す前提条件を設ける。

条件1: 合成樹脂には、導電性のあるもの(電気特性をもつもの)とそうでないものが存在する。本研究では、これらに少量のフィラーを添加することによって2つ以上の物理的特性を持たせ、そこから2つ以上の特徴情報を抽出できるか否かを調査する。今回の実験では、導電性のある合成樹脂に「導電性ポリマー」を、導電性のないものに「エポキシ樹脂」を使用する。これは、いずれも広く使用されており、毒性が低く、取り扱いと入手が容易な合成樹脂であるためである。

条件 2: 条件 1 で述べたように、合成樹脂には導電性のあるもの（電気特性をもつもの）とそうでないものが存在する。このため本研究では、合成樹脂製の人工物に電気特性と光学特性の 2 つを効率よくもたせることを目標とする。電気特性を選択した理由は、合成樹脂に電気特性を容易に持たせることができるからである（なぜならば、導電性のある合成樹脂であれば導電性のないフィラーを添加することで、また、導電性のない合成樹脂であれば導電性のあるフィラーを添加することで、人工物をもつ電気抵抗値を変化させることができるからである）。一方、光学特性を選択した理由は、特徴情報を抽出する際に人工物に対して振動を加える必要がなく、撮影という手段により非接触で特徴情報を抽出できるからである。

条件 3: 導電性のある樹脂（導電性ポリマー）に添加するフィラーとして、ガラス蛍光体の粉末を使用する。これは、当該物質には導電性がないが、光学特性（光励起によって赤外線を発光する）を備えており、人体と環境に与えるリスクが低いからである[3]。

条件 4: 導電性のない樹脂（エポキシ樹脂）に添加するフィラーとして、導電性酸化亜鉛の粉末を使用する。これは、当該物質が電気特性（導電性）と光学特性（赤外線吸収性）を備えており、人体と環境に与えるリスクが低いからである[12]。

条件 5: 合成樹脂製品がもつ形状には様々なものがあるが、著者らが本論文において合成樹脂に持たせる形状は「一定の厚みをもつ平面」とする。これは、試料の形状がシンプルかつ作製が容易であるため、本論文のように基礎的な研究を行うために用いる試料として適切であると考えられるからである。

条件 6: 著者らは、マルチモーダル人工物メトリクスの樹脂製品への適用可能性を探求している。本論文では、著者らのアプローチの妥当性を調査することを目的としている。このため、当該アプローチの実装（人工物メトリック・システムの構築とその評価）は議論の対象外である。

3. 樹脂製品への適用に向けたアプローチ

3.1 人工物の作製アプローチ

はじめに、導電性のある合成樹脂に 2 つの物理的特性をもたせる方法（作製アプローチ 1）を説明する。導電性のある合成樹脂（導電性ポリマー）はすでに電気特性をもつため、著者らは導電性がなく、光学特性をもつフィラー（ガラス蛍光体の粉末）を少量添加する。この方法では図 3 の左図に示すように、自然偶発的に分散したフィラー粒子の存在によって電気特性をもつ粒子のつながりにばらつきが生じるため、これが反映された特徴情報 1（電気特性：電気抵抗値）が抽出できると考えられる（電気特性をもつ粒

子同士のつながりが多いため、人工物は低抵抗性をもつと考えられる）。また、光学特性をもつフィラー粒子が自然偶発的に分散するため、これが反映された特徴情報 2（光学特性：赤外線の発光強度分布）が抽出できると考えられる（ガラス蛍光体は光励起によって赤外線を発光するため、赤外線カメラを用いた撮影によって分散の度合いが可視化できると考えられる）。

つぎに、導電性のない合成樹脂に 2 つの物理的特性をもたせる方法（作製アプローチ 2）を説明する。著者らは、電気特性と光学特性をあわせもつ機能性材料（導電性酸化亜鉛の粉末）をフィラーとして採用し、これを導電性のない合成樹脂に少量添加する。この方法では図 3 の右図に示すように、導電性のない合成樹脂中に自然偶発的にフィラー粒子が分散するが、粒子同士のつながりにはばらつきが生じるため、これが反映された特徴情報 1（電気特性：電気抵抗値）と特徴情報 2（光学特性：赤外線の吸収度合い）が抽出できると考えられる。合成樹脂に対するフィラーの割合が少ない（つまり、電気特性をもつ粒子同士のつながりが少ない）ため、人工物は高抵抗性をもち、観測される赤外線の吸収度合いは少ないものと考えられる。

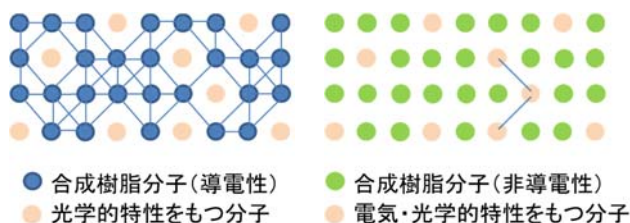


図 3 粒子結合の粗密度イメージ(左:作製アプローチ 1, 右:作製アプローチ 2)

Figure 3 Image of the density of bonded molecules (Left: making approach 1, Right: making approach 2).

3.2 特徴情報の抽出アプローチ

はじめに、作製アプローチ 1 で作製した試料から 2 つの特徴情報を抽出するアプローチについて説明する。特徴情報 1（電気特性：電気抵抗値）に関しては、当該試料は低抵抗性をもつため、低抵抗値を測定できる電気抵抗計を用いて特定の 2 点間の電気抵抗値を測定する。これにより、試料ごとに異なる値が観測されるか否かを確認する。一方、特徴情報 2（光学特性：赤外線の発光強度分布）に関しては、当該試料には光励起によって赤外線を発光するガラス蛍光体の粉末が含まれているため、ガラス蛍光体を励起する光を特定の部分に照射し、当該部分を赤外線カメラで撮影する。これにより、試料ごとに異なる赤外線の発光度合いが観測されるか否かを確認する。

つぎに、作製アプローチ 2 で作製した試料から 2 つの特徴情報を抽出するアプローチについて説明する。特徴情報 1（電気特性：電気抵抗値）に関しては、当該試料は高抵抗性をもつため、高抵抗値を測定できる電気抵抗計を用いて特定の 2 点間の電気抵抗値を測定する。これにより、試料

ごとに異なる値が観測されるか否かを確認する。一方、特徴情報 2 (光学特性：赤外線吸収度合い) に関しては、当該試料には赤外線を吸収する導電性酸化亜鉛の粉末が含まれているため、赤外線を特定の部分に照射し、当該部分について赤外線の反射度合いと吸光度合いを観測する。これにより、試料ごとに異なる反射度合いと吸光度合いが観測されるか否かを確認する。

3.3 真正性の検証方法

真正性の検証は、これまでに提案されている人工物メトリクスと同様に、事前にセキュアなデータベースに登録されている特徴情報と、検証時に抽出した特徴情報との類似度を算出し、その値が閾値以上であれば真正品であると判断する。2.4 節で述べたように本論文は、(1)合成樹脂に 2 つの物理的特性を持たせること、および(2)そこから 2 つの特徴情報を抽出できるか否かを調査することが目的であり、マルチモーダル人工物メトリクスの実装に関する検討は議論の対象外である。このため、本論文では具体的な閾値の設定方法は検討しないが、実装にあたっては真正品をコピー品と判断したり、コピー品を真正品と判断したりすることがないように留意する必要がある[3]。

4. 実験

4.1 試料の作製

今回の実験では、導電性のない合成樹脂に 2 つの物理的特性をもたせる実験を行った。この実験では、2 つの物理的特性 (光学特性と電気特性) をもつ導電性酸化亜鉛の粉末をエポキシ樹脂に混ぜ、攪拌して分散させるのだが、手やハンドミキサーによる攪拌の場合、粉末が凝集した小さな粒上の塊 (いわゆる「だま」) が樹脂内にできやすく、人工物の外観を損ねる可能性がある。このため著者らは、高速攪拌混合機を用いて当該粉末を MEK (メチルエチルケトン) に分散させた溶液を用意し、これをエポキシ樹脂に混ぜたものを型に流し込んで硬化させた。なお、エポキシ樹脂と溶液との重量比は、14%と 3%の 2 種類とした。作製の結果、2 種類ともに「だま」の発生は観測されなかった。

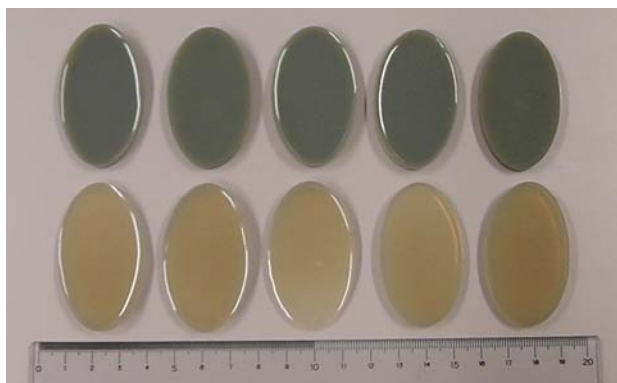


図 4 作製した試料 (上：14%，下：3%)
Figure 4 Samples (Top: 14%, Bottom: 3%).

4.2 特徴情報の抽出 (電気特性の抽出)

つぎに、前節で作製した試料について特徴情報 1 (電気特性：電気抵抗値) の抽出を試みるために、我々は高抵抗値を測定できる電気抵抗計を使用した (ハイレスタ-UX MCP-HT800)。この抵抗計は、2 つの電極間に高い定電圧を印加し、印加している間に電極間を流れるわずかな電流値を計測して抵抗値を算出する方式である。図 5 に測定の様子を、図 6 に電極部分を拡大した写真を示す。電極はプローブの先端に取り付けられており、プローブを試料に押し当てることで電気抵抗値を測定できる。

フィラー14%の試料は、500Vを印加したときに電気抵抗値が測定可能となったが、抵抗値は $4.0 \sim 6.0 \times 10^{12} \Omega$ の間で安定せず、個々の試料について固有の抵抗値を得ることはできなかった。一方、フィラー3%の試料は、その重量比が少ないために1000Vを印加したときに電気抵抗値が測定可能となったが、フィラー14%の試料のときと同様に $4.0 \sim 6.0 \times 10^{13} \Omega$ の間で安定せず (抵抗値が 1桁上がっていることに留意されたい)、個々の試料について固有の抵抗値を得ることはできなかった。これらの結果から、当該試料から特徴情報 2 (光学特性：赤外線吸収度合い) を抽出する試みは見送ることにした。



図 5 高抵抗計による抵抗値の測定
Figure 5 High Resistance value measuring.

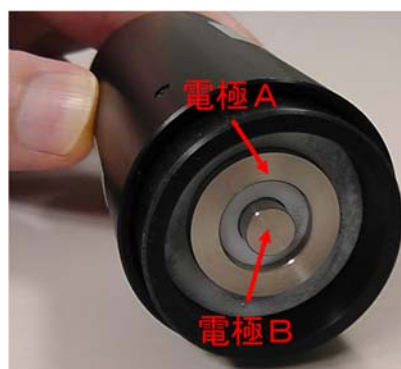


図 6 プローブ先端に取り付けられた電極
Figure 6 Electrodes attached to the tip of the probe.

5. 考察

本節では、導電性のない合成樹脂に電気特性と光学特性をもつフィラーを添加した試料について考察する。

5.1 試料の作製

試料の外観を観測すると、フィラー14%と3%の試料ともにエポキシ樹脂特有の硬度と光沢を持っているが、導電性酸化亜鉛がもつ色（濃い緑色）のために透明度は高くない（図4参照）。このため、当該フィラーとエポキシ樹脂を使って人工物を製造する場合には、人工物の「基材」を作製することにのみ使用し、その表面を別の合成樹脂塗料（ただし、電気特性と光学特性を有しないもの）で塗装することが望ましいと考えられる。

5.2 特徴情報の抽出（電気特性の抽出）

作製した2種類の試料（フィラー14%と7%）の電気抵抗値はいずれも安定せず、個々の試料について固有の抵抗値を得ることができなかった。これは、「不導体に近い試料に高電圧を印加して（つまり、電気的なパワーを加えて）電流を流れさせる」というアプローチをとることから、導体における抵抗値の測定とは異なり、図6で示した電極間を流れる電流値がごくわずかであり、安定しないことが原因であると推察される。以上のことから、作製した試料から特徴情報1（電気特性：電気抵抗値）抽出することは適切なアプローチではないと考えられる。

5.3 アプローチの変更

今回、フィラーとして採用した導電性酸化亜鉛の粉末は電気特性と光学特性の2つをあわせもつが、導電性は他のフィラー（たとえば、銀や炭素繊維の粉末）に比べると低く添加量も少ないため、固有の電気抵抗値を得ることはできなかった。このため、著者らはフィラーを銀や炭素繊維の粉末に変更することで固有の電気抵抗値が得られるか否かを調査する。なお、銀粒子は受けた光を鏡面反射と拡散反射する特性をもち、炭素繊維（カーボン）は近赤外線透過しないという特性をもつことから、これらをフィラーとして採用することで2つの特徴情報が得られる可能性がある。

6. おわりに

本論文では、マルチモーダル人工物メトリクスを提案したあと、合成樹脂製品への適用可能性を研究するために実験を行った。実験では、導電性のない合成樹脂に2つの物理的特性を持つフィラーを添加し、そこから電気特性（電気抵抗値）が得られるか否かを調査した。その結果、得られる電気抵抗値は不安定であり、試料ごとに固有の値をもつことはなかった。このため、アプローチを変更して研究を継続することにした。本研究は *work in progress* であるため、今後も継続して調査研究を行い、その結果を随時報告していく予定である。

謝辞 本研究の一部は、倉田記念日立科学技術財団の支援を受けた。

参考文献

- [1] 日本自動認識システム協会, 株式会社日立製作所:平成25年度政府戦略分野に係る国際標準化活動 平成25年度マルチモーダル生体認証における認証性能評価基準に関する標準化(フォローアップ)成果報告書,平成26年2月
- [2] 山田茂史, 遠藤利生, 新崎卓:マルチモーダル生体認証に向けた手のひら静脈認証と指紋認証の独立性評価,電子情報通信学会バイオメトリクス研究会資料,pp.59/64
- [3] 藤川真樹, 小田史彦, 森安研吾, 湊真悟, 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
- [4] 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, <http://www.newsweekjapan.jp/stories/world/2016/05/atm14.php> (2016年5月アクセス)
- [5] 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18~25年度), http://www.zenginkyo.or.jp/fileadmin/res/hanzai/statistics/news280226_4.pdf (2016年5月アクセス)
- [6] 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, <http://www.cdrjapan.co.jp/gtk2/ticketmanual1/koutu%20tetudou/haika%20syurijou%20omote.htm> (2016年5月アクセス)
- [7] 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
- [8] 株式会社ウェッズ,“ニセモノ”ホイールにご注意!!, <http://www.weds.co.jp/nisemono/> (2016年5月アクセス)
- [9] 篠原久典:ナノカーボンの材料開発と応用,株式会社シーエムシー出版,pp.294/295(2008)
- [10] 石川浩,富岡芳弘:腐食と劣化(4):合成樹脂材料の劣化,空気調和・衛生工学,第79巻,第10号,pp.961/968(2005年)
- [11] UMG ABS 株式会社:ABS樹脂とマテリアルサイクル,UMGテクニカルレポート, <http://www.umgabs.co.jp/jp/product/jr/recy.pdf> (2016年5月アクセス)
- [12] ハクスイテック株式会社,導電性酸化亜鉛(Pazet GK-40), <http://www.hakusui.co.jp/products/?mca=2&ca=15&id=1359376317-10>