

## 人工物メトリクスによる紙の個別性の評価

山越 学<sup>†</sup> 田中 純一<sup>†</sup> 古家 眞<sup>†</sup> 平林 昌志<sup>†</sup> 松本 勉<sup>††</sup>

<sup>†</sup>国立印刷局研究所 <sup>††</sup>横浜国立大学大学院環境情報研究院

<sup>†</sup>〒256-0816 神奈川県小田原市酒匂 6-4-20

<sup>††</sup>〒240-8501 神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-7

e-mail: <sup>†</sup>yamakoshi@res.npb.go.jp, <sup>††</sup>tsutomu@ynu.ac.jp

人工物メトリクスとは、人工物に固有の特徴を用いて人工物を認証する技術のことである。セキュリティ製品の基材のひとつである紙に対し、人工物メトリクスを利用した偽造防止技術が適用可能であるかを検討する。紙は、その繊維分布にムラがあるため、その透過光画像はランダム性をもつと考えられる。そこで、紙の透過光を固有の特徴として用いて紙の照合を行った。紙の代表的な品種である再生紙、上質紙、塗工紙を選定し、画像サイズと画像解像度を変化させて照合実験を行い、紙の個別性の評価を行った。

## Evaluation of Individuality of Paper Using Artifact-metrics

Manabu Yamakoshi<sup>†</sup> Junichi Tanaka<sup>†</sup> Makoto Furuie<sup>†</sup> Masashi Hirabayashi<sup>†</sup>  
Tsutomu Matsumoto<sup>††</sup>

<sup>†</sup>Research Institute, National Printing Bureau

<sup>††</sup>Graduate School of Environment and Information Science, Yokohama National University

<sup>†</sup>6-4-20 Sakawa Odawara Kanagawa 256-0816 Japan

<sup>††</sup>79-7 Tokiwadai Hodogaya Yokohama Kanagawa 240-8501 Japan

Artifact-metrics is an authentication technology for articles proving the intrinsic physical patterns on them. This paper presents a feasibility study on anti-counterfeit techniques using artifact metrics for paper substrate which is a common component for many kind of security articles. Transmitted light pattern of paper is assumed very random because of complicated tangled fibers of substrate. So paper can be authenticated by artifact-metrics using intrinsic transmitted light pattern of substrate. We evaluated individuality of light pattern of three kinds of papers (recycled, hi-quality, and coating) through the experiments changing matching data size and scanning resolution.

### 1. はじめに

人工物メトリクス<sup>1,2)</sup>とは、人工物に固有の特徴を用いて人工物を認証する技術のことである。バイオメトリクスが、指紋や虹彩などの生体的特徴を利用し個人を認証・識別する技術であるのに対し、人工物メトリクスは、セキュリティ印刷の分野を例にとれば、インキのじみや用紙繊維の絡み具合など、製品に固有のランダムな物理的特徴を利用し、個々の製品の真偽判別や認証を行う技術である。

銀行券や旅券、クレジットカードなどのセキュリティ製品における典型的な偽造防止技術として、凹版印刷、すき入れ、ホログラム等がある。これらの偽造防止技術は、そのセキュリティを製造者側の技術的優位性、又は製造にかかる情報の秘匿性に依拠している。つまり、攻撃者（偽造者）からの攻撃に対し、技術的優位性や製造に関する秘匿性の担保を常に必要としている。

これに対し、人工物メトリクスによる偽造防止技術は、対象物の製造において人為・作為が極めて困難な物理的な特徴を計測対象としている。そのため、その製造や検証にかかる情報が公知となってもセキュリティが低下する懸念が少ない、偽造に対するセキュリティを客観的に評価できるなどの従来型の偽造防止技術とは異なる特長を有している。

本稿では、セキュリティ製品の安全性を高めることを目的とし、その基材として利用される機会の多い紙に対し、人工物メトリクスが応用可能であるか判断するために、紙の透過光を用いた人工物メトリクスにおいて、紙品種、照合用の領域、画像解像度などを変化させた照合実験から個別性について評価した。

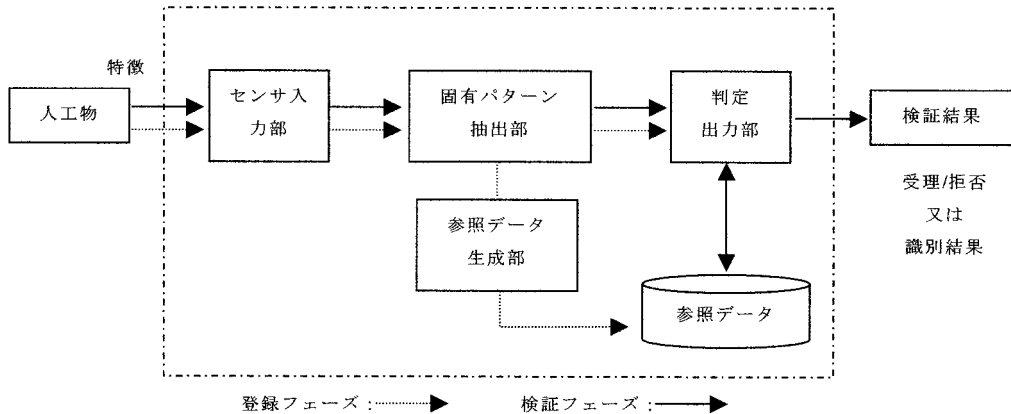


図1 人工物メトリック・システム<sup>3)</sup>

## 2. 人工物メトリクス

### 2.1 人工物メトリック・システム

人工物メトリクスを実現するシステムのことを人工物メトリック・システムという。図1にその基本構成を示す。

システムは登録/検証の2つのフェーズから構成される。登録フェーズでは、対象となる人工物の固有の特徴が計測され、データベースなどに参照データとして保存される。検証フェーズでは、人工物が再度計測され、得られた固有パターンと登録されたデータとの判定が行われる。また、照合を行う判定出力部では、登録された参照データと入力された人工物の固有パターンの類似度（どの程度似ているかを表す数値）が算出され、閾値などによって受理/拒否等の判断がなされる。

システムの精度評価には、バイオメトリクス認証と同様に、FMR (False Match Rate: 誤一致率), FNMR (False Non Match Rate: 誤不一致率) を用いることが可能である。また、FMR と FNMR が等しくなる EER (Equal Error Rate: 等誤り率) が代表的な認証精度の指標として用いられる (図2)。

### 2.2 人工物メトリクス要素

人工物メトリクスにおいて、人工物に固有の物理的にランダムな特徴のことを人工物メトリクス要素とよぶ。人工物メトリクス要素は、表1に示すように光学/磁気/電気/振動等の物理特性を利用したさまざまなものが考えられる。例えば磁性特性を利用したものとしては、磁性ファイバを紙層中に漉きこんだものが報告されている<sup>3)</sup>。

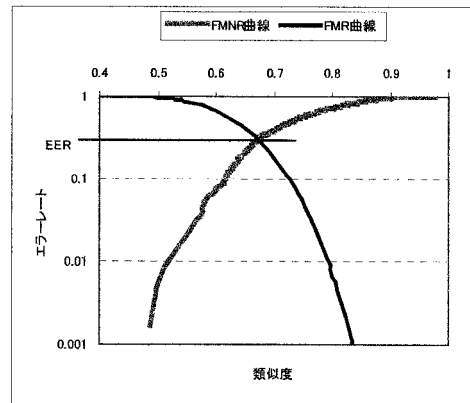


図2 FMR/FNMR 曲線

表1 人工物メトリクス要素の例

特性の分類	人工物メトリクス要素
光学特性	<ul style="list-style-type: none"> <li>・基材にランダムに分散した粒状物の光反射パターン</li> <li>・基材にランダム分散した光ファイバの透過光パターン</li> <li>・基材にランダムな斑の透過光パターン</li> <li>・基材にランダム分散したファイバの画像パターン</li> <li>・基材表面のランダムな凹凸形状に固有のレーザ・スペckルパターン</li> </ul>
磁気特性	<ul style="list-style-type: none"> <li>・基材にランダム分散した磁性ファイバの磁気パターン</li> <li>・磁気ストライプにランダムに記録された磁気パターン</li> <li>・磁気ストライプの製造時にランダムに配置された磁気パターン</li> </ul>
電気特性	<ul style="list-style-type: none"> <li>・半導体素子内のメモリ・セルにランダムに蓄積された電荷量パターン</li> </ul>
振動特性	<ul style="list-style-type: none"> <li>・導電性ファイバをランダム分散した基材の共鳴パターン</li> <li>・容器に張ったシールを振動させたときの共鳴パターン</li> </ul>

人工物メトリクス要素には次の要件が求められる。

- 個別性(Individuality)  
各個体の人工物メトリクス要素が、互いに十分に異なると認められること
- 読取安定性(Readability)  
人工物メトリクス要素の登録後に、再度、人工物メトリクス要素を読み取った時に、安定して登録時と同等の情報が読み取れること
- 耐クローン性(Clone Resistance)  
読み取り装置をあざむく偽物を作ることが極めて困難であること
- 耐久性(Durability)  
人工物の利用に伴う外的要因によって変化・劣化した人工物メトリクス要素から、安定して登録時の情報が読み取れること

これら要件のうち、特に個別性は異なる人工物を計測したときに、計測装置の出力値が互いに異なり特徴空間で十分に離れているかを示す重要な要件である。

### 3. 紙の透過光を用いた人工物メトリクスの個別性の評価実験

紙は、その繊維分布にムラがあるため、内部構造は高いランダム性をもつと考えられる。そのため、ランダムな透過光パターンは、紙の認証用のデータとして利用が可能である。従来研究として、紙の植物繊維が作り出すランダムなパターン画像の計測による紙識別照合装置<sup>4)</sup>に関する特許があるが、この特許には人工物メトリクス要素として個別性などの要件の詳細な報告は記載されていない。また、紙の品種は、用途、塗工/非塗工、原料などの項目によって30種類以上に分類されており、その物理特性も多種多様であると推測され、人工物メトリクスの対象となりうるかの確認が必要である。そこで、代表的な3品種の紙（再生紙：検体Re、上質紙：検体HQ、塗工紙：検体Co）を選定し、透過光を利用した人工物メトリクスについて個別性の観点から検討を行う。

#### 3.1 実験概要

3種類の用紙に対して、赤外透過光パターンを用いた個別性の評価実験を行う。具体的には、紙品種別にそれぞれ300枚の紙に対して登録用と照合用のデータを2回に分けて取得する。データの取得にあたっては、用紙の汚れやしみの影響を抑えるために赤外光を使用した。次に登録データと照合データの相関係数を算出しFMR/FNMR曲線を求める。得られた曲線より、紙品種や照合に使用する紙の領域の違いによる個別性の評価を行う。

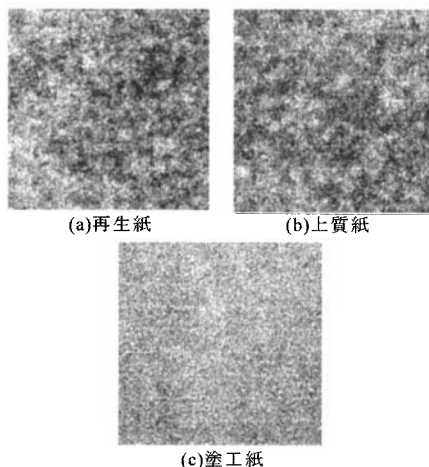


図3 各検体の透過光画像

#### 3.2 実験条件

測定装置及び検体を以下に示す。

- スキャナ：(有)I-Measure製 IR スキャナ
- 計測波長：940nm
- 検体 Re：紀州製紙㈱製再生 PPC100
- 検体 HQ：北越製紙㈱製キンマリ V
- 検体 Co：日本製紙㈱製 Npi コート
- 検体数：各 300 枚

図3に3種類の紙の透過光画像を示す。各画像は、地合が可視化できるように透過光量をレベル補正してある。地合とは、紙を光に透かして見たとき、繊維の分布状態の主観的な均一性のことである。再生紙及び上質紙は、塗工紙と比較して地合ムラが顕著である。

#### 3.3 実験用データ

赤外透過スキャナを用いて、検体300枚の赤外透過光画像を、解像度400dpi・階調数8bitで採取する。このとき、スキャナガラス面の右上原点の角に紙をつき合わせる。

- 登録データ  
左上原点からの一定位置で、大きさ $n \times 1$ ピクセルのデータを採取し、登録データとする。
- 照合データ  
ある程度の期間をあけて、同一の検体に対し再度画像を採取する。右上原点からの一定位置で、大きさ $(n+64) \times 65$ ピクセルの画像を照合データとする。

ただし、 $n$ は照合に使用する画像のピクセル数（以下データサイズとよぶ）である。

また、照合データの領域が登録データより大きな理由は、スキャナによる一般的な画像取得時の位置ズレを避けるための探索照合を行うためである。

### 3.4 照合方法

登録/照合データの照合には相関係数を用い、照合データに対して上下左右方向に±32ピクセルの探索を行い、登録データとの相関係数の最大値を各照合の類似度とする。

すべての検体間の照合を繰り返し、得られた類似度の分布から、FNMR 曲線及び FMR 曲線を求める。

## 4. 実験結果

紙品種、データサイズ、解像度の違いによる FMR / FNMR 曲線への影響について評価した。

### 4.1 データサイズの違いによる影響

図 4 は、解像度 400dpi、再生紙のデータサイズ別 (n=32, 64, 128, 256, 512) の照合曲線である。比較を容易にするために、n=128 の場合を重複して表示した。データサイズの増加に伴い FMR が低下した。FNMR は低下したのち増加に転じた。これら FMR/FNMR 曲線の推移より、データサイズの増加にともない EER は低下したのち増加するものと推測される。

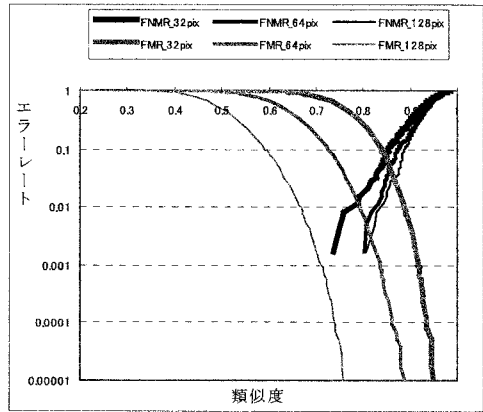
ここで増加に転じた理由を考察するために、あらかじめ印刷した基準点をもとに算出した画像取得時の回転ズレと、類似度との相関を求めた (図 5)。図より、データサイズが 256 ピクセル以上になると、回転ズレの影響を受けて類似度が低下する傾向が見られた。この結果より、データサイズの増加に伴う FNMR 曲線の推移には、回転ズレが大きく影響したものと推測される。

また、同様の評価を他の紙品種でも行ったところ、同様の傾向が見られた。

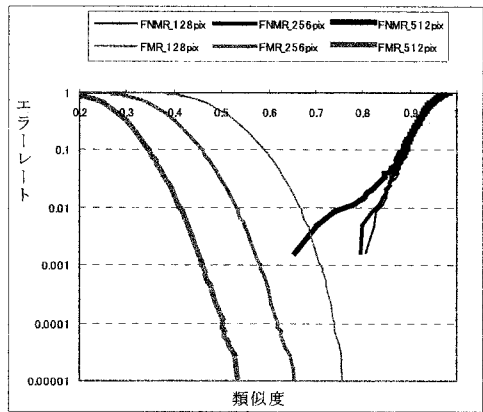
### 4.2 紙品種の違いによる影響

前述の結果より、データサイズが小さい場合は回転ズレの影響は小さく、紙品種の違いをより正確に評価できると考え、データサイズが 32, 64, 128 の場合における紙品種ごとの FMR/FNMR 曲線を調査した。その結果を図 6 に示す。これより、FMR の大小は「再生紙 > 上質紙 > 塗工紙」となり、FNMR は「塗工紙 > 上質紙 > 再生紙」となった。結果として、全ての紙品種において EER は同程度の値となり大きな差は見られなかった。

塗工紙が、再生紙や上質紙と比較して FNMR が高くなった一つの原因として、再生紙などと比較して画像に低周波成分が少ないために回転ズレなどの影響を受けやすく類似度が低下したものと推測される。逆に、その低周波成分による画像の緩やかな変化が、類似度を偶然高める確率に影響し、再生紙や上質紙の FMR を高めたものと推察される。



(a) n = 32, 64, 128



(b) n = 128, 256, 512

図 4 再生紙/400dpi の FMR/FNMR 曲線

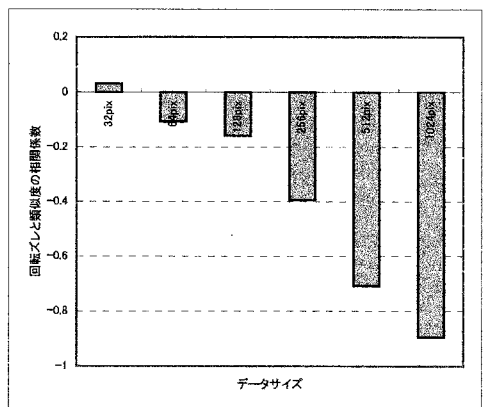


図 5 回転ズレと類似度との相関係数

### 4.3 解像度の違いによる影響

解像度の違いが、各紙品種の照合精度に与える影響を調査するために、解像度 400dpi で採取された画像から画像処理により 200, 100dpi の画像を生成し照合を行った。

図 7 に、データサイズ 32 ピクセル/解像度 200dpi とデータサイズ 16 ピクセル/解像度 100dpi のときの FMR/FNMR 曲線を示す。図 6(b), 図 7 は、(データサイズ÷解像度) が一定なので実空間上での計測長が等しい。3つのグラフの曲線から求めた EER と解像度の関係を図 8 に示す。これより、低解像度では塗工紙の EER は他の紙品種より若干ながら高いと見受けられる。これは、塗工紙には相対的に低周波成分が他の紙品種と比較して少ないことが原因と考えられる。

## 5. まとめ

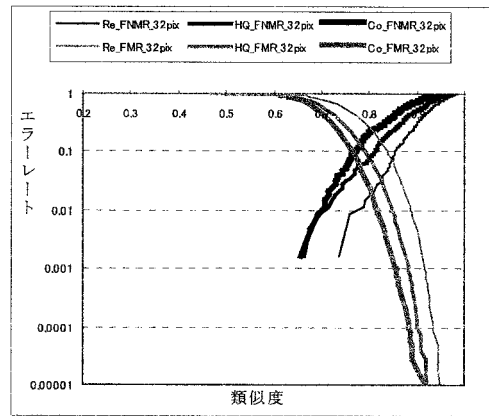
本稿では、印刷物全般の共通基材である紙の透過光を用いた人工物メトリクスにおいて、紙品種、データサイズ、解像度の違いによる照合精度の変動から個別性の評価を行った。

その結果、解像度 400dpi では、紙品種ごとの照合精度に大きな差は見受けられなかった。解像度の低下にしたがって、全ての紙品種において精度は低下するが、他の紙品種と比較して低周波成分が少ない塗工紙など、低下度合いが大きい紙品種があることがわかった。

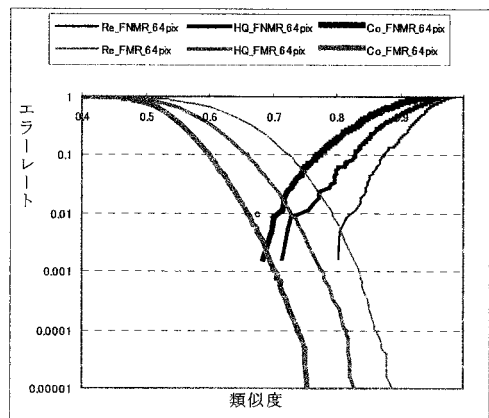
また、照合に使用する領域を大きくすることによって、照合精度が上がると思われるが、データ採取時の回転ズレが FNMR に与える影響が大きいことがわかった。この影響を抑える対策としては、回転ズレに対応する画像処理や小さなデータサイズを複数使用した照合方式を用いることなどが考えられる。

今回の実験では、紙品種やデータサイズ、解像度の観点から個別性の傾向を把握した。これより、全ての紙品種において、解像度 400dpi/データサイズ 64 ピクセルの場合に、 $EER = 10^{-2}$  が求められた。この領域を面積に換算するとわずか  $0.26\text{mm}^2$  ( $4.1 \times 0.064\text{mm}$ ) 程度となり、適切な照合方式を用いることで高い照合精度の実現が可能と考えられる。

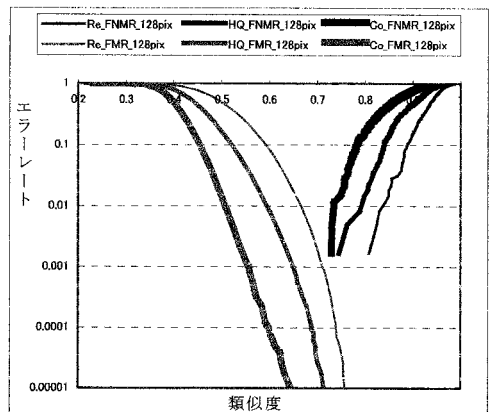
今後は、照合領域の大きさや照合方式を工夫することによって高い照合精度を実現し、紙の十分な個別性の確認を行う予定である。



(a) n = 32

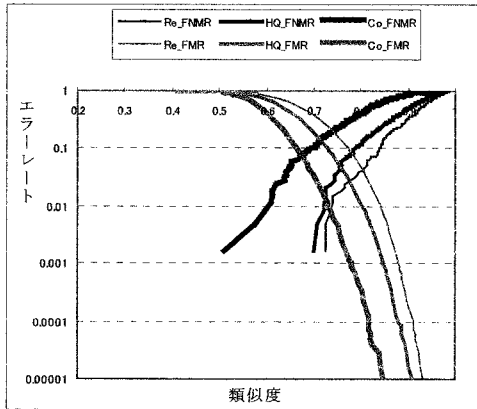


(b) n = 64

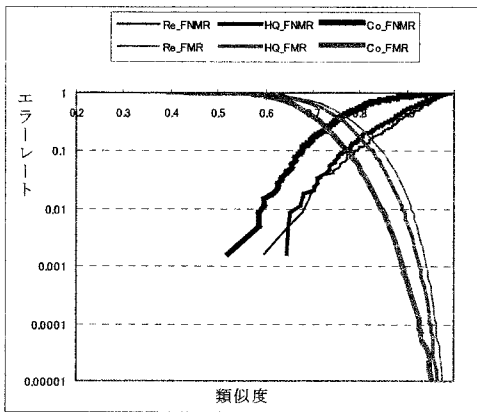


(c) n = 128 ピクセル

図 6 400dpi/データサイズ別の FMR/FNMR 曲線



(a) 200dpi, n = 32 ピクセル



(a) 100dpi, n = 16 ピクセル

図 7 計測長一定の時の FMR/FNMR 曲線

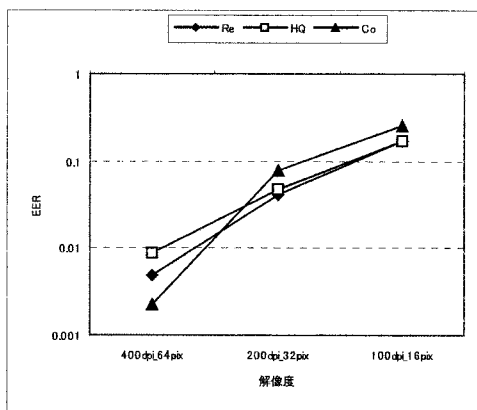


図 8 解像度と EER

## 参考文献

- 1) H. Matsumoto, and T. Matsumoto, "Artifact-metric Systems," Technical Report of IEICE, ISEC 2000-59, pp. 7-14, Sept. 2000.
- 2) 松本 勉, 岩下直行, "金融業務と人工物メトリクス," 金融研究, 第 23 卷, 2 号, pp.153-168, 2004.
- 3) 松本弘之, 宇根正志, 松本 勉, 岩下直行, 菅原嗣高, "人工物メトリクスの評価における現状と課題," 金融研究, 第 23 卷, 別冊 1 号, pp.61-140, 2004
- 4) 伊藤健介, 清水 正, 杉野 創, "紙識別照合装置及び紙識別照合方法," 特許公開 2004-102562
- 5) 紙パルプ技術協会: "紙パルプ技術便覧", 5 版(1992)