

## ID カード表面のレーザスペckルパターンを用いた人工物メトリクス

山越 学<sup>†1</sup> 松本 勉<sup>†2</sup>

人工物メトリクスとは、人工物の製造過程に由来する固有の微視的なランダムパターンなどを照合することによって人工物の認証を自動で行う技術である。このランダムパターンは、正当な製造者でさえも複製や意図的なコントロールがきわめて困難とされる。したがって、この特性を利用すれば新種の偽造防止技術としてさまざまなセキュリティ印刷物に応用が可能である。本稿は、カードや紙表面のレーザスペckルパターンを用いた人工物メトリック・システムの実現可能性について検討したものである。物体表面にレーザ光を照射したときに現れるスペckルパターンは、その物体表面の微小構造に対応してそれぞれ異なる。そのため、あらかじめ登録されたデータと比較することによって自動で人工物の認証が可能である。我々のシステムは、頑丈な金属製フレームに固定されたダイオードレーザ、CMOS カメラ、およびパターンを照合するための照合アルゴリズムから構成されている。カメラ入射径を変化させたプラスチック ID カードの照合実験から、データサイズ  $16 \times 16$  (pix) のときに  $EER = 0.1\%$  を確認した。

### An Artifact-metrics which Utilizes Laser Speckle Patterns for ID Card Surface

MANABU YAMAKOSHI<sup>†1</sup> and TSUTOMU MATSUMOTO<sup>†2</sup>

Artifact-metrics is an automated method of authenticating artifacts based on measurable intrinsic characteristics like microscopic random-patterns in the manufacturing process. Such attributes, which are very difficult to copy and control even for the legal manufacturer, can be used as a new type of anti-counterfeit technique for various security prints. This paper describes the feasibility of an artifact-metric system which utilizes a laser speckle pattern on the surface of objects like cards and paper. Speckle patterns on a surface differ from each other corresponding on the microscopic geometry of the object. Such patterns can be authenticated automatically by using a matching algorithm to compare the pattern with previously registered data. Our system employs a laser diode and a CMOS camera attached firmly to a rigid metal frame, and a

matcher for verifying the patterns. Through our ID cards matching tests changing width of the laser emission and the aperture size of camera, we obtained about 0.1% of EER with matching area of  $16 \times 16$  pixels.

#### 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。バイオメトリクス技術が、指紋・筆跡などの個人の生体的・行動的特徴を利用し個人を認識する技術であるのに対し、人工物メトリクスは、紙中にすき込まれた磁性繊維<sup>3)</sup>、紙の赤外透過光<sup>4)</sup>のようなランダムな物理的パターンを固有の特徴として個々の製品を認証する技術である。

スペckルとはレーザのようなコヒーレント光を紙やプラスチックカード、金属表面の拡散表面に照射したときに発生する斑点状の明暗パターンである。これは拡散面の各点で散乱された光が、面の微視的な凹凸に対応した不規則な位相関係で干渉しあうために生ずる<sup>5)</sup>。このとき、照射された物体の微小な変化や照射条件のわずかな変動によって、スペckルパターンの細部は敏感に変化する。これより、各検体表面のスペckルパターンを検証することによって、その検体自身を異検体の中から認証することが可能になる。この基本アイデアのセキュリティ印刷への応用は、1980年後期に特許出願<sup>6)</sup>されている。しかし、実験環境や照合結果の詳細などは明らかにはされていない。また、文献7)では、駆動系を用いて直線状にレーザ照射された物体表面の線状領域から発生する干渉光を、4つのそれぞれ異なる角度で設置されたSiフォトトランジスタによって光の強弱として検出し、得られた信号を用いて紙やプラスチックカードの認証を行う装置が紹介されている。

これに対し我々の研究は、測定ステージに固定されたレーザを用いて、同じく固定された物体表面にレーザを照射し、物体表面の面状領域からの干渉光を汎用のエリアカメラを用いて撮影し、照合に用いるスペckルパターンを得ている。本手法の主な利点として次の4点が考えられる。1点目として、レーザ照射部位および撮像部位を駆動しないために検体の読取安定性が優れる。なぜなら、駆動部位の移動速度および始点終点位置の経時変動や校正

<sup>†1</sup> 国立印刷局研究所製品技術研究部  
Research Institute, National Printing Bureau

<sup>†2</sup> 横浜国立大学大学院環境情報研究院  
Graduate School of Environment and Information Science, Yokohama National University

誤差を回避することが可能だからである。2点目として、装置構成や部品の入手が容易なのでコスト面において優れる。3点目として、駆動部への注油や劣化部品の交換などのメンテナンスが不要なので、装置の耐久性が優れる。4点目として、エリアカメラを使用しているので面状領域のスペckルパターンを短時間で読取ることができる。以上の理由から、我々は本研究に検討価値を見出した。

本稿では、物体表面のスペckルパターンを用いた人工物メトリック・システムを提案するとともに、照合精度に影響を与える因子や今後の課題について検討する。我々自身によるこれまでの研究では、認証の対象としてプラスチックIDカードを選定し、 $640 \times 480$ 画素のCCDカメラを用いた照合実験において、データサイズが $128 \times 128$  (pix)において約1%のEERを確認している<sup>8)</sup>。我々は、さらなる照合精度の向上をめざし、高解像度CMOSカメラと新たに導入した測定ステージを用い、カメラ入射径を変化させた照合実験を行った。あわせて、検体提示時のずれ対策、検体表面における指紋などの汚れに対する精度への影響、プラスチックと比較して形状が不安定と考えられる紙検体の読取安定性について検討した。

## 2. レーザスペckルパターンを用いた人工物メトリック・システム

人工物メトリクスを用いた認証システムの基本構成として、図1が提案されている<sup>4)</sup>。このシステムは登録および照合の2つの工程から構成される。登録工程では、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登録データとして保存される。照合工程では、人工物が再度計測され照合データとして、登録されたデータとの照合が行われる。

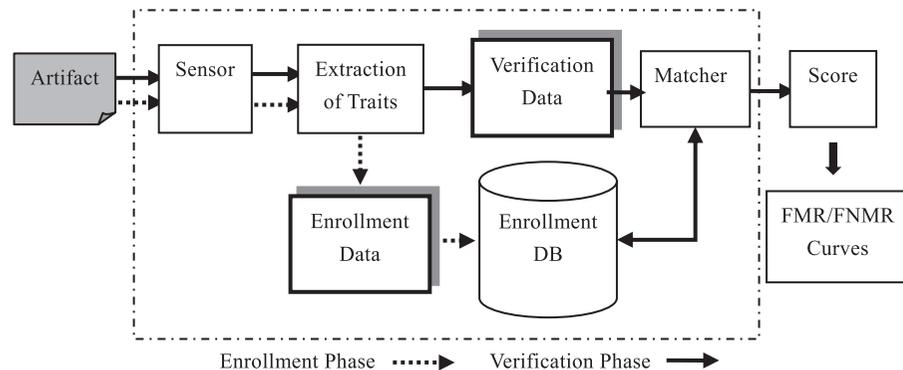


図1 人工物メトリック・システム  
Fig. 1 Artifact-metric system.

また、照合部では、登録データと入力された人工物の照合データの類似度(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/拒否などの判断がなされる。

システムの精度の評価には、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)を用いることができる。また、FMRとFNMRが等しくなるEER (Equal Error Rate: 等誤り率)が認証精度の代表的な指標として用いられる。

人工物メトリクスにおいて、人工物に固有の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の例としては、光学/磁気/電気/振動などの物理特性を利用したさまざまなものが考えられる。スペckルパターンは光学特性の利用例の1つである。物体表面からのスペckルパターンは、物理的・方向性関数としても知られ、Pappuによって暗号分野において安価に高エントロピーな暗号鍵を生成することができる技術として提案されている<sup>9)</sup>。また、スペckルパターンが明らかになったとしても、位相情報を欠いているので潜在的な偽造犯がスペckルパターンの元になる微視的な構造を一意に偽造することは現実的には不可能である。このように、人工物メトリクスのセキュリティ印刷分野での利用は、従来型の偽造防止技術とは異なる数多くのメリットが期待されている。

将来的な応用例としては、改ざんや変造を含む偽造対策が求められるIC旅券などの身分証明書やIDカード製品での利用が想定される。製品の製造または発行時に、ICチップ内あるいはデータベースに製品個体の固有情報を登録データとして保存し、照合工程において計測された固有情報を、あらかじめ保存された登録データと比較を行い、製品の真正性を検証するものである。

我々の認証システムは、測定ステージ上に置かれた検体の特定位置を照射するダイオードレーザ、検体表面から発せられるスペckルパターンを撮影するCMOSエリアカメラ、および得られたパターンを照合し、類似度を算出するための照合アルゴリズムから構成されている。なお、ダイオードレーザおよびエリアカメラは、測定ステージに取り付けられた頑丈な2つの金属製フレームにそれぞれ固定されている。

実際の認証システムの運用性や安全性を確保するためには、次にあげる4つの要件の検証を十分に果たすことが求められている<sup>10)</sup>。

(a) 個性性 (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。

(b) 読取安定性 (Stability)

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ときに、安

定して登録時と同等の情報が読み取れること。

(c) 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きわめて困難であること。

(d) 耐久性 (Durability)

人工物の利用にともな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。

本稿では、次章で述べる照合実験を通して、個別性、読取安定性、および耐久性要件について評価した。

### 3. 実 験

検体としてポリカーボネート製のブランク ID カード 100 枚 (一部の照合実験では 300 枚) と名刺用紙 100 枚を選定した。検体表面にレーザを照射し、発生したスペckルパターンを撮影し、照合実験を行った。照合アルゴリズムには、一般的な評価指数の 1 つである相関係数を用いた。照合によって得られた相関係数の分布から、FMR/FNMR 曲線を得て EER の評価を行った。

次に具体的な調査項目を列記する。

- (a) カメラに取り付けられた入射径調節機構を用い、入射径を直径 2, 5, 11 (mm) の 3 段階に変化させて、スペckルパターンを撮影し照合を行ったときの EER の変化を調べる。また、データサイズの増加による EER の低下、および最大値探索量の効果について調査する。
- (b) 汚れなどに対する耐久性を検証するために、検体に指紋を付着させて照合を行った。具体的な手順としては、登録データ取得後にカード表面のレーザ照射部位に指先を軽く押し当て、皮脂を転移させて残留指紋を形成する。その後、照合データを取得し、照合を行う。
- (c) 紙基材として名刺用紙を用いた照合実験を行う。また、検体の固定に静電ステージを用いて読取安定性について調べる。

なお、実験器材の詳細を表 1、測定ステージの写真を図 2、レーザ照射光路、カメラ撮影に関する模式図を図 3 に示す。

次に、各調査項目で共通となる実験手順を述べる。

- (1) 検体鉛直方向からレーザを照射する。検体上に十分な照射エリアを確保するために、光源規定の  $8 \times 2$  (mm) の照射エリアを、レーザおよび検体間に設置された 2 枚の両

表 1 実験器材

Table 1 Experimental conditions.

Items	Camera	Laser	Sample	Measurement stage
Specification	Type: DMK-41AF02 Make: IMAGING-SOURCE Pixel size: 4.65x4.65(um) Number of pixel: 1280x960 (pix)	Type: SMLX D13-675-10-TS03 Make: KIKOH GIKEN Wavelength: 675 (nm), Power: 6.8(mw) Spot size: 8x2(mm)	Card: Polycarbonate made, Blank, ID3-sized Paper: Business card sized	Custom-made Make: TOYOSEIKI

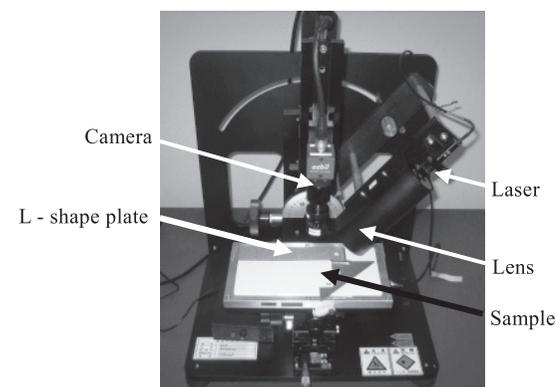


図 2 測定ステージ

Fig. 2 Measurement stage.

凸レンズを用いて約 3 倍に拡大する。

- (2) 入射径の調節機構を有したカメラを検体鉛直方向から 30 度の角度に設置する。
- (3) 検体表面に付着した目視可能な程度のちりやほこり、汚れを除去する。測定ステージ上に固定された L 字プレートに検体を手で軽く突き当てて提示する。カードの浮きやねじれなどを解消するための特別な手段は講じない。なお、紙の場合は静電吸着を行う。
- (4) L 字プレートからつねに定位置を照射するように設置されたレーザを用いて、検体にレーザを鉛直方向から照射する。発生したスペckルパターンを、CMOS カメラを用いて撮影する。

- (5) 得られた画像の中心から,  $600 \times 600$  (pix) の領域を切り出してナンバリングし, 8 bit グレースケールの BMP 形式で登録データとして保存する. 以上の操作を検体すべてに対し行う.
- (6) 登録工程終了の約 10 分後に, 再度, 登録データと同様の方法で検体を L 字プレート

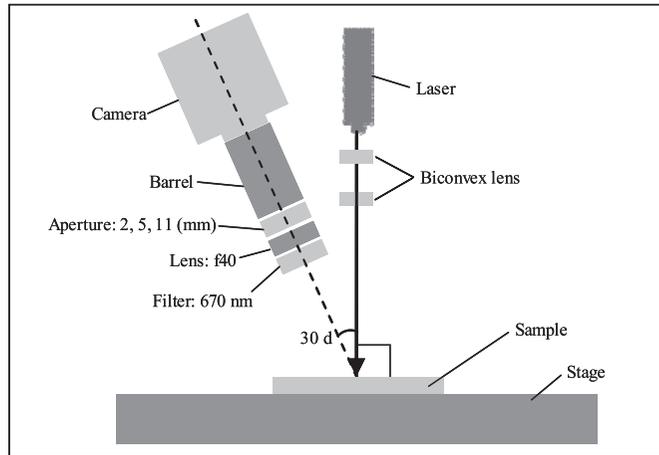


図 3 レーザおよびカメラの模式図  
Fig. 3 Geometric figure for laser and camera.

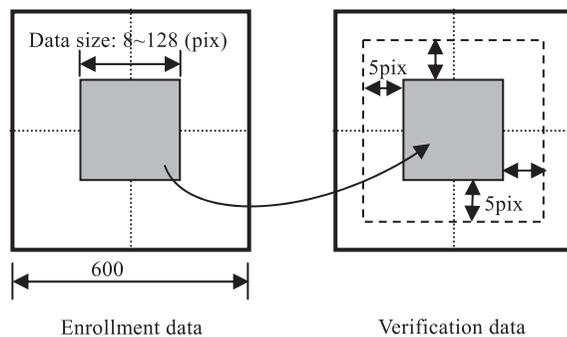


図 4 最大値探索による照合  
Fig. 4 Matching with maximum search.

- に突き当ててスペckルパターンを撮影し照合データを得る. 登録データおよび照合データのそれぞれに対し, 登録および照合データの中心から, データサイズに応じて  $8 \times 8, 16 \times 16, 32 \times 32, 64 \times 64, 128 \times 128$  (pix) の領域を切り出して照合演算に用いるデータとする. なお, 照合データは, 照合時に最大値探索を行うために,  $x, y$  方向に対して探索量の分だけ大きめに切り出す. この模式図を図 4 に示す.
- (7) 登録データと照合データの相関係数を計算する. このとき, 照合データ上で最大値探索 ( $\pm 5$  pix) を行い, その相関係数の最大値を類似度とする.
- (8) 類似度の分布から FMR/FNMR 曲線を得て, EER について評価する.

## 4. 結果

### 4.1 カメラ入射径別のプラスチック ID カードの照合結果および最大値探索の効果

図 5 は, 検体数 100 枚, データサイズ  $16 \times 16$  (pix) におけるカメラ入射径別の FMR/FNMR 曲線である. カメラ入射径の増加にともない EER は 5%, 2%, 約 0.1% へと大幅に低下した. 精度向上の原因としては, カメラへの入射光路の大口径化によって検体表面で発生する干渉光をより広域からとらえることができたからと考えられる. なお, 図 6 にカメラ入射径別のスペckルパターンを示す. 干渉性の増加にともない, スペckルパターンがより精細・複雑化していることが目視で確認できる.

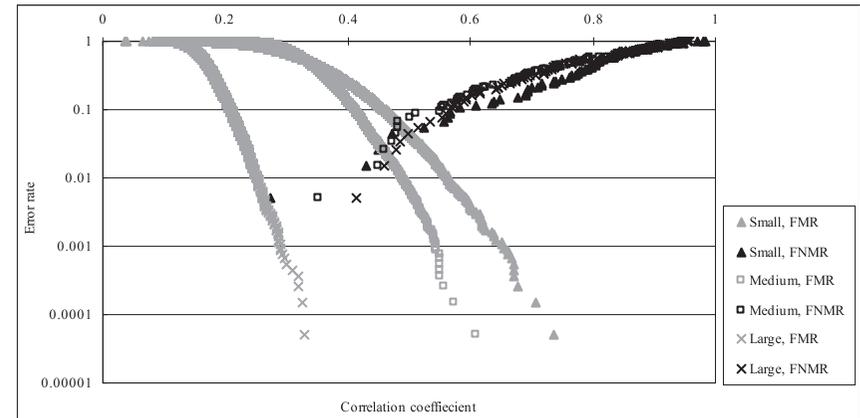


図 5 カメラ入射径別の FMR/FNMR 曲線  
Fig. 5 FMR/FNMR curves with aperture size.

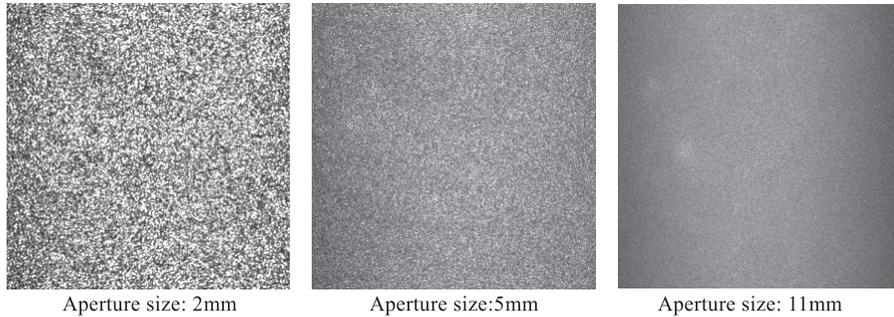


図 6 カメラ入射径別のスペckルパターン  
Fig. 6 Speckle patterns for each aperture size.

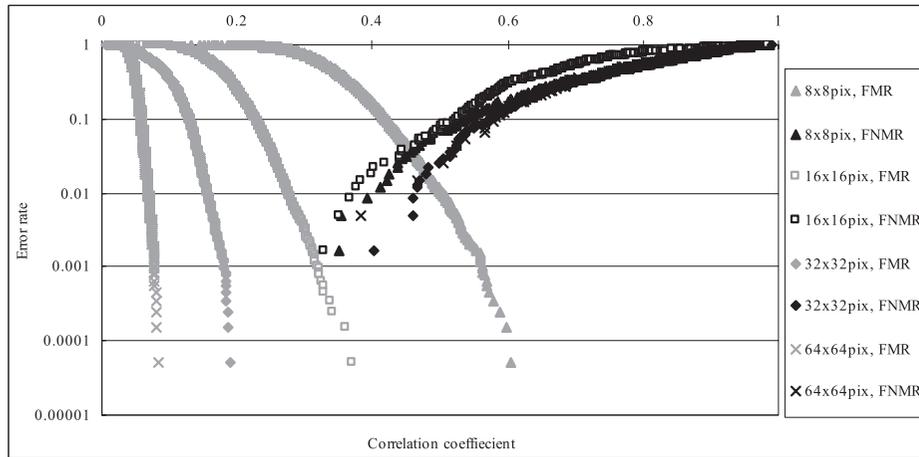


図 7 データサイズ別の FMR/FNMR 曲線 (入射径 : 11 mm)  
Fig. 7 FMR/FNMR curves with data size (Aperture size: 11 mm).

図 7 は、カメラ入射径を 11 mm に固定し、データサイズを  $8 \times 8$ ,  $16 \times 16$ ,  $32 \times 32$ ,  $64 \times 64$  (pix) としたときの照合結果である。このときの検体数は、実験精度を向上させるために 300 枚とした。その結果、データサイズ  $8 \times 8$ ,  $16 \times 16$  (pix) のそれぞれの EER は 3%, 0.1% となった。ここで、データサイズの増加にともなう FMR の低下が著しい。これによってデータサイズが  $32 \times 32$ ,  $64 \times 64$  (pix) の場合には、 $EER = 10^{-5}$  程度になると

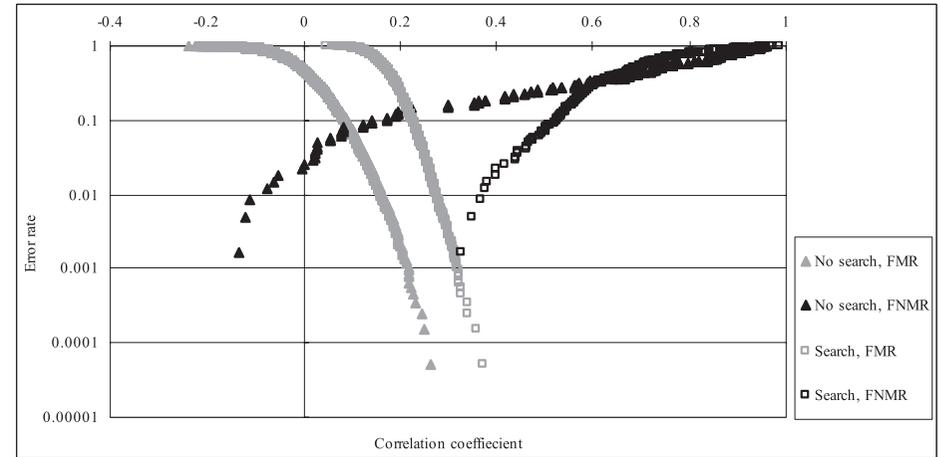


図 8 最大値探索の有無別の FMR/FNMR 曲線  
Fig. 8 FMR/FNMR curves with or without maximum search.

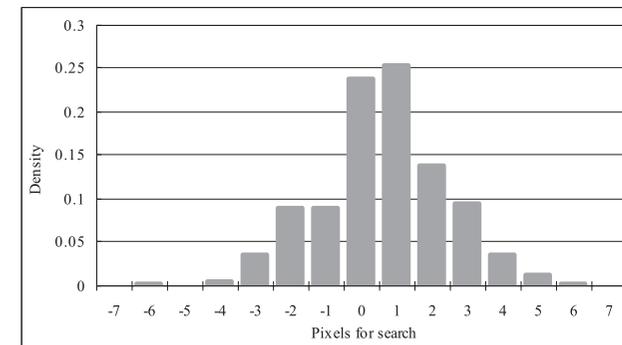


図 9 最大値探索数の分布  
Fig. 9 Distribution for search amount by pixels.

グラフより推察される。図 8 は、データサイズ  $16 \times 16$  pix のときの最大値探索の有無別の FMR/FNMR 曲線である。照合時に最大値探索を行うことによって、EER が約 7% から約 0.1% に低下することが分かった。

図 9 は、検体数 300、データサイズ  $8 \times 8$ ,  $16 \times 16$ ,  $32 \times 32$  (pix) の照合において、 $\pm 10$  pix

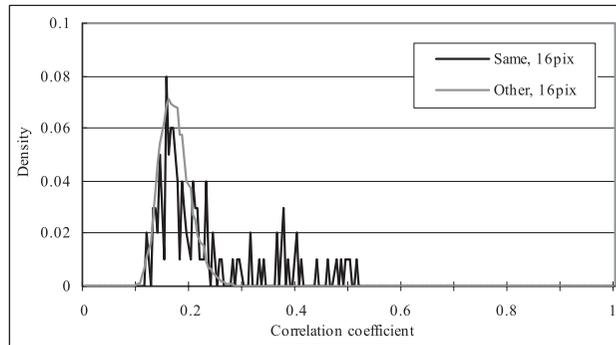


図 10 指紋付着時の類似度分布

Fig. 10 Distribution for similarity scores contaminated with finger prints.

の最大値探索の試行を行ったときの探索量の分布である．これより， $\pm 5$  pix 程度の探索でほぼすべての位置ずれが解消されたといえる．

#### 4.2 プラスチック ID カードに指紋を付着させた照合実験

図 10 は，検体数 100，登録データ取得後にレーザ照射エリアに指紋汚れを付着させた後に照合データを取得し，データサイズ  $16 \times 16$  pix で照合を行ったときの類似度の分布である．同検体どうしの類似度の約 75% が異検体どうしの類似度と同程度となり，判定を行うことはできなかった．検体の利用にともない付着する汚れには，有色で目視可能な大きなものから，無色でマイクロオーダーの厚みしか有さないさまざまなものが想定される．本実験結果から，残留指紋のようなきわめて薄い皮脂の層からなる汚れに対しても大幅に精度が低下してしまうことが分かった．

#### 4.3 名刺用紙を用いた照合実験における静電吸着の効果

図 11 は名刺用紙 100 枚を用いた照合実験から得られた FMR/FNMR 曲線である．図中の 2 組の曲線は検体の静電吸着の有無を示している．それぞれの EER は，データサイズ  $128 \times 128$  (pix) のときに，静電吸着ありで 6%，なしの場合で 20% となった．紙は，プラスチックカードとは異なり形状安定性に劣る．また，温湿度の変化によって大きく伸縮する．静電吸着による安定化を図ったが，ID カードの照合と比較して大きな EER となった．また，このときの類似度分布を図 12 に示す．同検体どうしでありながら，類似度 0.05 付近に異検体どうしと同様の類似度分布のピークが見受けられる．検体の提示時に浮きや変形が発生してしまったものと考えられる．

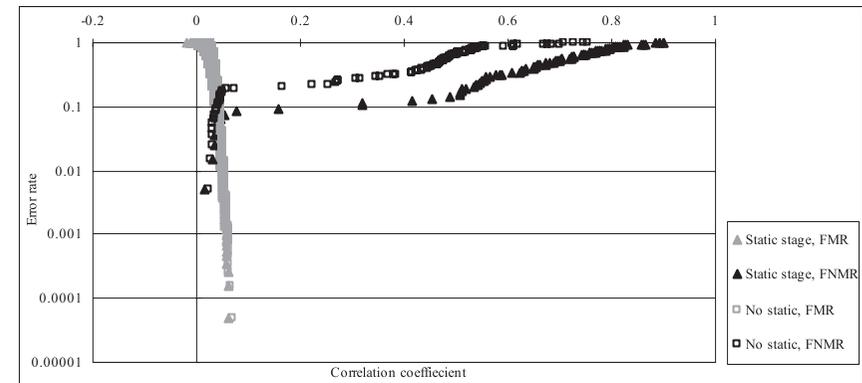


図 11 静電吸着の有無別の FMR/FNMR 曲線

Fig. 11 FMR/FNMR curves with or without electrostatic adsorption.

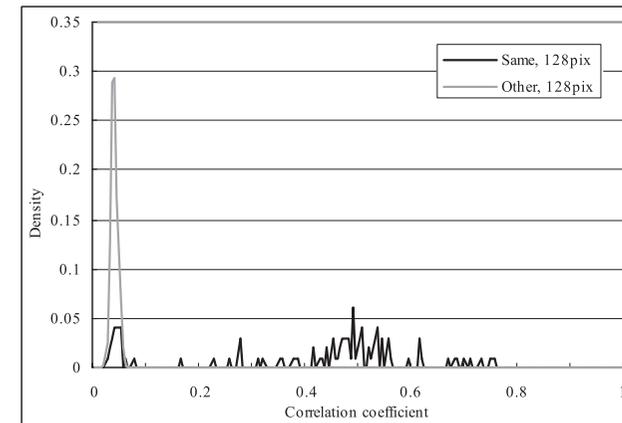


図 12 類似度分布

Fig. 12 Distribution for similarity scores.

## 5. おわりに

本稿では，ID カードおよび紙表面のスペckルパターンを用いた人工物メトリック・システムの提案を行った．ID カードを用いた照合実験においては，カメラの入射径を 11 mm，

データサイズを  $16 \times 16$  pix 以上に設定することによって, EER は 0.1% を大きく下回ることを確認した. EER の値は, データサイズの大型化や複数化によってさらに改善されるものと予想される. ただし, カード表面に付着した指紋のような, ほぼ無色で目視困難なわずかな汚れに対しても照合精度が大幅に低下してしまうことが分かった. 登録および照合データの採取前には, 検体表面を清掃するなどの運用上の対策が必要と考えられる.

紙基材として名刺用紙を用いた照合実験では, 静電吸着などの方法によって検体を安定化させることが必要ことが分かった. ただし, プラスチック基材と同等の照合精度を達成するためには, ガラス板などのような重量物を押し付けて, 検体の浮きや歪みを強制的に補整するような仕組みが必要だと考えられる.

また, 認証の精度や運用性の向上ばかりではなく, 安全面からの検討も重要である. 照合に用いられるスペckルパターンから物体表面の再構築が現実的には不可能という点において本システムの安全性は高いといえる. しかし, 文献 11) で明らかにされているように, デッドコピー攻撃に対する耐性, すなわち耐クローン性の検証が必要とされている. 検体表面の微細構造が複製可能かどうか, また, 複製物の排除が可能な検出手段や照合アルゴリズムの検討が必要である.

#### 参 考 文 献

- 1) Matsumoto, H. and Matsumoto, T.: Artifact-metric Systems, Technical Report of IEICE, ISEC 2000-59, pp.7-14, (Sep. 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, Vol.23, No.2, pp.153-168 (2004).
- 3) Matsumoto, H. and Matsumoto, T.: An Evaluation Method for a Magnetic Artifact-metric System, *IPSS Journal*, Vol.43, No.8, pp.2458-2466 (2002).
- 4) Yamakoshi, M., Tanaka, J., Furuie, M., Hirabayashi, M. and Matsumoto, T.: Individuality evaluation for paper based artifact-metrics using transmitted light image, *Proc. SPIE 6819* (2008).
- 5) 山口一郎: 光学技術ハンドブック, p.505, 朝倉書店 (2002).
- 6) Ezra, D., et al.: Security device, UK Patent Application, GB 2221870A (May 31 1988).
- 7) Buchanan, J.D.R., Cowburn, R.P., et al.: Forgery: 'Fingerprinting' documents and packaging, *Nature*, Vol.436, p.475 (2005).
- 8) 山越 学, 田中純一, 古家 真, 平林正志, 松本 勉: 人工物メトリクスを用いた印

刷基材の認証, (社)日本印刷学会第 120 回春期研究発表会予稿集, A-07, pp.31-36 (2008).

- 9) Pappu, R.: Physical One-Way Functions, Ph.D. Thesis, MIT (2001).
- 10) 山越 学, 田中純一, 古家 真, 平林正志, 松本 勉: 人工物メトリクスによる紙の個別性の評価, (社)情報処理学会コンピュータセキュリティ研究会, CSEC37, No.2, pp.13-18 (2007).
- 11) Matsumoto, T., Matsumoto, H., Yamada, K. and Hoshino, S.: Impact of Artificial "Gummy Fingers" on Fingerprint Systems, *Optical Security and Counterfeit Deterrence Techniques IV, Proc. SPIE*, Vol.4677, pp.275-289 (2002).

(平成 22 年 11 月 29 日受付)

(平成 23 年 6 月 3 日採録)



山越 学 (正会員)

1990 年 3 月千葉大学工学部画像応用工学科卒業, 同年 4 月大蔵省印刷局 (現, 独立行政法人国立印刷局) に入局. 1992 年より同研究所勤務. 国際民間航空機構や JTC1/SC17WG3 等を通じて IC 旅券の国際標準化に従事. 2005 年より人工物メトリクスを利用した偽造防止技術の研究に従事.



松本 勉 (正会員)

1986 年 3 月東京大学大学院工学系研究科電子工学専攻博士課程修了, 工学博士. 同年 4 月横浜国立大学講師. 2001 年 4 月より同大学院環境情報研究院教授. 2007 年 4 月 ~ 2011 年 3 月は同大学教育研究評議員を兼務. 2011 年 4 月より同大学理工学部副学部長を兼務. 日本学会会議連携会員. 暗号アルゴリズム・プロトコル, 耐タンパー技術, 生体認証, 人工物メトリクス等の「情報・物理セキュリティ」の研究教育に 1981 年より従事. 1982 年にオープンな学術的暗号研究を目指した「明るい暗号研究会」を 4 名で創設. 2005 ~ 2010 年国際暗号学会 IACR 理事. 1994 年第 32 回電子情報通信学会業績賞, 2006 年第 5 回ドコモ・モバイル・サイエンス賞, 2008 年第 4 回情報セキュリティ文化賞, 2010 年文部科学大臣表彰・科学技術賞 (研究部門) 受賞.