Truth and Denomination Discrimination of Notes using Surface Properties Evaluated by Scanning with Optical Fiber Feeler

Jun-ya Takayama Non-member (Tokyo Institute of Technology, takayama@ctrl.titech.ac.jp)

Shinji Ohyama Member (Tokyo Institute of Technology, sohyama@ctrl.titech.ac.jp)

Akira Kobayashi Member (National Inst. for Acad. Degrees and Univ. Evaluation, akobayas@niad.ac.jp)

Keywords: surface properties, optical fiber feeler, stick-slip component

In this paper, a novel method is proposed to discriminate the truth and denomination of notes. In order to perform a reliable and useful discrimination of notes, the use of both inherent and genuine properties is effective. When the surface of the note is scanned with an optical fiber feeler, peculiar vibrating motions of the fiber feeler tip occur with various surface properties and its motion is measured as a waveform, as shown in Fig.1. By analyzing this, two components correlated to each different surface property can be extracted independently: The first is the low-frequency component, and the second is a stick-slip component.

The low-frequency component is derived from the variable density property of the surface print pattern. As shown on a left-side of Fig.2, the low-frequency component of the measured waveform is directly correlated to the variable-density of an example print pattern. Consequently, the low-frequency component is used to discriminate the surface print pattern, i.e. the denomination. Essentially, the zero-cross points D_n shown on the right-side of Fig.2 are compared with a data-base of the print color changing points of genuine notes and a difference between them is evaluated.

In contrast, the stick-slip component is derived from the roughness property, as shown in Fig.3. Since an undulation of the intaglio print, which is inherent in only genuine notes, causes the stick-slip, truth can be discriminated by evaluat-

ing whether the stick-slip component exists. Indexes for the existence of the stick-slip components are newly proposed by focusing on features of the measured waveforms accompanied by stick-phenomenon whose gradient corresponds to 45 degrees and whose amplitude is larger than that of other components. Thus, the amplitude index of the stick-slip elements L_n and the gradient index of the stick-phenomenon θ_n are introduced.

In addition, the existence frequency of the stick-slip components depends on whether the measurement of the fiber feeler motion is carried out on the intaglio print part. The relationships between L_n and θ_n are shown in Fig.4; the distribution of the print part is clearly different from that of the non-print part with the genuine notes while it is nearly identical to that of a counterfeit notes. From these results, truth discrimination can be improved by selecting the print and non-print parts based on the print pattern data and then comparing and evaluating the indexes for each part.

Finally, an improved discrimination method is constructed by integrating the proposed two surface property extraction methods. Perfect truth and denomination discrimination performance has been confirmed from experimental results for both circulated and counterfeit notes.

Fig. 1. Measured waveform of the feeler tip motion

Fig. 2. Waveform derived from the print pattern and low-frequency component for a 2,000Yen note

Fig. 3. Schematic view of the stick-slip phenomenon of the feeler and its measured waveform derived from roughness

Fig. 4. Relationships between L_n and θ_n for the extracted stick-slip component according to the print part and independent of the print part

光ファイバ触針走査による表面性状情報を利用した 紙幣の真贋・金種判別

非会員 高山 潤也* 正員 大山 真司*
正員 小林 彬**

Truth and Denomination Discrimination of Notes using Surface Properties
Evaluated by Scanning with Optical Fiber Feeler

Jun-ya Takayama*, Non-member, Shinji Ohyama*, Member, Akira Kobayashi**, Member

It is effective to use both inherent and genuine properties for a reliable discrimination of notes. When the surface of the note is scanned with the tip of an optical fiber feeler, peculiar vibration waveform correlated to various surface properties is measured. In this paper, a novel method to discriminate the truth and denomination of notes is proposed by analyzing this. Two matters can be evaluated independently. The first is the roughness property extracted from the stick-slip component with an undulation of the intaglio print, which is inherent in only genuine notes. Truth can be discriminated by evaluating whether the stick-slip component exists on print part of vibration waveforms. The second is the variable-density property extracted from the low-frequency component with a print pattern. Denomination can be discriminated by comparing the variable-density pattern with the data-base of it for each denomination of notes. An improved discrimination method is constructed by integrating the proposed two property evaluation methods, and its effectiveness has been confirmed from experimental results for both circulated and counterfeit notes.

キーワード：表面性状，光ファイバ触針，スティックスリップ成分

Keywords: surface properties, optical fiber feeler, stick-slip component

1. 緒 言

ここ数年の間に日本国内でも紙幣偽造事件が急激に増加してきている⁽¹⁾。これは、自動販売機を中心に透過光量や磁気を利用した簡易的な金種・真贋判別技術が広く採用されていることに加え、プリンタやスキャナなどによるデジタル画像処理技術が高性能化し、個人にも偽造が比較的容易になったことがその理由であるといわれている。

簡易的な真贋判別技術としては、透かしや印章を紫外線で浮かび上がらせる技術⁽²⁾や微細な周期的印刷模様起因するモアレ現象を利用する技術⁽³⁾を利用した製品が既に市

販されているが、判別に人の目を必要とするなど自動判別機への展開は容易とはいえない。近年では、インクジェットプリンタで印刷された贋券に残った紙送り機構による紙面スパイク跡の特性を空間周波数解析により抽出して贋券を判別する方法⁽⁴⁾や、デジタルカメラ撮影画像に対し写真製版用フィルタを通し真券との微妙な印刷色の違いを見極める方法⁽⁵⁾なども提案されているが、いずれも紙幣に固有な性状を必ずしも有効に活用しておらず、決定的な方法とは成り得ていない。現行紙幣(E券)には、従来からの透かしなどに加えて、深凹版印刷、パールインク、ホログラムをはじめとする新技術によって紙幣に固有な性状が増え、それらを複合的に利用した方法によって判別を実現することが望ましい。特に深凹版印刷の導入により、従来紙幣(D券)に比較して印刷面の凹凸が際立っていることは特徴的であり、真贋判別へ積極的に利用すべきである。

一方、我々は布の表面を触針でなぞったときの走査波形から、その手触り感あるいは表面性状を評価しようとする試みを続けてきた。スティックスリップ現象に起因した触針先端の微小な振動変位成分の有無・大きさが表面の凹凸度合いと相関をもつことが明らかになり⁽⁶⁾⁽⁷⁾、ここで得られ

* 東京工業大学 大学院理工学研究科
〒152-8552 目黒区大岡山 2-12-1
Graduate school of Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology
Ookiyama 2-12-1 Meguro-ku 152-8552

** 大学評価・学位授与機構
〒187-8587 小平市学園西町 1-29-1
National Institution for Academic Degrees and University Evaluation
Gakuennishicho 1-29-1 Kodaira-city 187-8587

た知見が紙幣判別にも応用できる可能性は高い。そこで本研究の目的は、凹版印刷による凹凸・摩擦係数変化や印刷模様など紙幣に固有かつ特徴的な表面性状に着目して、触針走査波形から獲得される性状を複合的に利用し、信頼性を高めた真贋・金種判別方法を構築することにある。

本論文では、はじめに光ファイバを触針とした走査装置の構成を示し、走査波形に現れる2つの特徴成分から試料表面の凹凸・摩擦係数および印刷模様に関する性状情報が獲得できることを明らかにする。次いで各特徴成分を独立に抽出・解析する方法を提案し、各成分と相関をもつ性状情報が指標値を利用して個別に評価できることを説明する。さらに2つの解析方法を複合的に組み合わせ、獲得される性状情報を効果的に利用して信頼性を高めた真贋・金種判別方法を実現する。最後に市中に流通する紙幣に提案方法を適用し、実験的に判別性能を検証することによって、その有効性を明らかにする。

2. 光ファイバ触針走査による表面性状情報の獲得

〈2・1〉 光ファイバ触針走査装置の構成 光ファイバ触針走査装置の構成とその写真を Fig.1 に示す。試料紙幣は精密移動台上に固定し、レーザダイオードによって先端を発光させた光ファイバ触針が表面に押し付けられている。触針と共通の台座上には PSD センサが固定され、PSD と触針の間に凸レンズを配置して結像系を構成している。

光ファイバには、弾性域が比較的広いプラスチック製の三菱レイヨン社製 CK-40 を選定した。その主要な仕様については Table 1 にまとめる。光ファイバ触針の先端面は垂直に切断した上で研磨処理を施し、触針の支持点から先端面までの長さは 30mm として用いている。また、レーザダイオード光源には中心波長 670nm のオーディオテクニカ社製 SU-32E を、PSD には 320~1100nm の感度波長をもつ浜松ホトニクス製 S3932 をそれぞれ使用した。

精密移動台を移動させて光ファイバ触針が試料表面をな

Fig. 1. Configuration and photograph of the optical fiber feeler scanning system

Table 1. Specifications of the optical fiber (CK-40)

Item	Specification
Diameter	1.0mm
Diameter of core	0.980mm
Young's modulus of core	2.94GPa

ぞるとき、触針先端からの射出光が PSD 受光面上に結像する位置を観測する構成であり、電流-電圧変換回路および 16bit の AD コンバータを介して PSD 出力電流を PC へ収録し、変位への変換処理を施すことで走査波形が得られる。精密移動台には中央精機製の PS-120E、AD コンバータにはコンテック製の AD16-16U(PCI)EH を使用した。走査波形観測時の移動台速度は 2.0mm/s、データサンプリングレートは 1kHz とし、500 点/mm で収録を行う。

〈2・2〉 直接光・反射光による等価結像点 光ファイバ触針走査装置では、触針に対し PSD を意図的に垂直より傾けて配置してある。この結果、触針先端の射出光成分が受光面に直接結像した「直接光」と、試料表面における射出光の乱反射成分が結像した「反射光」が同時に観測される。

直接光と反射光による各結像点位置は触針先端の水平方向変位に応じて一緒に移動するが、反射光による結像点の輝度については試料表面の反射率に応じて変化が起こる。Fig.2 に示すように、白色領域では反射光も PSD 上に結像するが、黒色領域では光線のほとんどが吸収されて直接光のみが結像する。

これら 2 つの成分が重畳される結果、PSD 受光面での等価結像点位置は、触針の水平方向変位だけではなく試料表面の反射率変化によっても移動することになる。すなわち、走査波形として獲得される等価結像点位置は、PSD の性質よりそれらの輝度を重みとする荷重平均として表現される。

〈2・3〉 走査波形から獲得される試料の表面性状情報

〈2・3・1〉 直接光に基づく凹凸・摩擦係数の獲得 触針先端の水平方向の振動変位が観測できる直接光による結像点位置変化には、凹凸や摩擦係数などの表面性状を発生要因とするスティックスリップ成分⁽⁷⁾が現れる。

スティックスリップ現象は Fig.3 左図に示すような力学モデルで説明できる。移動台を矢印方向に動かすとき、初

Fig. 2. Schematic view of the equivalent imaging point derived from the direct and reflected beam

Fig. 3. Dynamical model and schematic view of the stick-slip phenomenon

めは質点と試料表面間の最大静止摩擦力 $>$ バネ力であるため、質点は左に移動(スティック)する。その後、バネ力 $>$ 摩擦力となると質点は右に引戻(スリップ)され、この動作の繰り返しにより振動的な変位を生じる。光ファイバ触針走査装置では触針が質点とバネの役割を果たし、Fig.3 右図のように試料表面の凹凸への引っ掛かりや摩擦力変化によって触針先端が試料表面に對し付着と滑りを繰り返す一連の動作がスティックスリップ現象であり、触針先端の振動変位がノコギリ状の走査波形として観測される。

Fig.4 は、触針に適当な押付力[†]が与えられた条件下で、背景が一樣な凹凸・平滑区間に対して得られた走査波形の例であり、紙面の凹凸状態によってスティックスリップ成分の出現状況が大きく変化するように確認できる。紙幣表面におけるスティックスリップ成分の出現頻度や振幅は、凹版印刷による微小な凹凸や粗さあるいは紙面や印刷による摩擦係数変化などの表面性状と相関をもって変化するものと予測できる。

〈2・3・2〉 反射光に基づく印刷模様の獲得 試料表面における反射率の変化が観測できる反射光による結像点の輝度変化には、濃淡など印刷模様の表面性状を発生要因とする成分が現れる。

Fig.5 は平滑な白→黒→白の印刷模様をもつ区間に対する走査波形の例である。黒色の区間では直接光による等価結像点位置が観測されているが、白色の区間では反射光の影響を受けて等価結像点位置が移動し、印刷模様に対応する波形成分が見掛け上で観測されている。紙幣表面でも、スティックスリップ成分に比較して低周波数成分で、印刷模様という表面性状と相関をもった波形成分が観測されるものと予測できる。

〈2・4〉 紙幣表面による走査波形の性質

〈2・4・1〉 紙幣判別のための走査ライン選定 紙幣の

Fig. 4. Measured vibration waveform derived from the rough and smooth surface

Fig. 5. Measured vibration waveform derived from the black and white print pattern

[†] 本走査波形観測時の触針押付力は定量的に評価をしていないが、〈2・4・2〉節で後述する観測条件とほぼ同一であったと考えられる。

判別において金種判別が必須であることを踏まえると、触針走査は各金種に固有な性状をもつ領域へ行う必要がある。また真贋情報判別には、真券のみに固有な性状である凹版印刷領域に対する走査が有効と考えられる。このような要件を同時に満たす領域はいくつかあるが、本研究では印刷インクの凹凸によって顕著に相違が現れ易いと推測される額面の凹版印刷部分を走査領域として選定した。

Fig.6 には、式千円札を例に触針先端の走査ライン(矢印線)と、触針式表面形状測定器((株)ミットヨ SV-624)にてその走査ライン上の凹版印刷による凹凸情報を $40\mu\text{m}$ 間隔で測定した結果を示す。「式千円」の文字上に該当する区間には、深凹版印刷によるインク盛り上がり量に一致した $20\mu\text{m}$ 程の微細な凹凸の存在が確認できる。

〈2・4・2〉 真券と贋券による走査波形の比較 国内の贋券の多くは凹版印刷の施されていない稚拙なものである⁽¹⁾という状況も踏まえ、真券の一部をスキャナで読み取り、上質紙にプリンタで印刷した式千円札を贋券試料として用意した。従来の透過光量に基づく方法⁽⁸⁾では、光線を照射しながら紙幣を移動させることで得られる走査ライン上の光透過量の変化に応じて印刷模様が判別されるため、このタイプの贋券に対する真贋判別は難しいとされている。

試料紙幣と光ファイバ触針は、Fig.7 に側面図を示すように配置して走査波形を観測した。触針先端の押付力はスティックスリップ成分の大きさや発生頻度と関係してくるが、触針を片持梁でモデル化した解析に基づけば、このときの押付力はおおよそ $7.2 \times 10^{-2}\text{N}$ と計算される。

Fig.8 は真券による走査波形とその凹版印刷区間の拡大図を、Fig.9 は同一条件の贋券による走査波形を示した結果であり、これまで同様に横軸が移動台移動距離、縦軸が PSD の等価結像点位置を表している。

Fig.6 と照らし合わせると、低周波数成分は印刷模様と相関をもち、反射率という観点からは印刷模様が同一である両試料では、その軌跡がほぼ一致する。これは低周波数成分にさえ着目すれば金種(=印刷模様)に関する情報が獲

Fig. 6. Scanning line of a 2,000Yen note on the intaglio prints and its roughness data

Fig. 7. Side view of an alignment between the optical-fiber feeler and the specimen of notes

Fig. 8. Measured waveform for the genuine note (right-side; enlarged view of the intaglio print part)

Fig. 9. Measured waveform for the counterfeit note (right-side; enlarged view of the intaglio print part)

得可能であり、それが紙幣の真贋には依らないことを示した結果といえる。一方、真券の凹版印刷区間にはスティックスリップ成分が観測されているのに対し、凹凸がほとんど存在しない贋券には観測されていない。すなわち、スティックスリップ成分の出現状況が凹版印刷の微小な凹凸の存在と直接的な相関をもっており、その点に着目すれば真贋に関する情報が獲得可能であると考えられる。

3. 低周波数成分に着目した金種判別

〈3・1〉 低周波数成分の抽出 走査波形に対して移動平均および直流成分除去処理を施し、低周波数成分のみを抽出する。Fig.10は、式千円札の官封券（新券）の走査波形に対して移動平均点数を500点として処理を施した結果であり、Fig.6と比較すれば印刷模様と強い相関をもつ波形成分が抽出されていることがわかる。

印刷模様から金種判別を実現する方法には幾つかのアプローチを考え得るが、本研究では印刷の白→黒あるいは黒→白の切替点の変位情報を利用することとした。Fig.10に示すように、抽出波形のゼロクロス点から印刷色切替点に関する情報が推定でき、その交点における移動台の変位を $D_1, D_2, \dots$ とにおいて判別処理に利用する。

〈3・2〉 指標値を導入した金種判別の実現 金種ごとに印刷色の切替変位を記録したデータベース D_l^* （*は各金種を表すインデックス）を事前に用意し、走査波形から推定した D_l との相違度 E_* を、式(1)にしたがって算出する。

$$E_* = \frac{1}{M} \sum_{k=1}^M (D_k^* - D_k)^2 \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで M は検出されたゼロクロス点の総数である。

各金種のデータベースおよび走査波形を用意し、相違度を算出した結果をTable 2にまとめる。表の横方向には試料金種を、縦方向には各金種の走査波形に対する相違度を示してある。全金種に関して、自金種データベースとの相

Fig. 10. Extracted low-frequency component from measured waveform of a 2,000Yen note

Table 2. Index E_* for each denomination of notes

	1,000 yen	2,000 yen	5,000 yen	10,000 yen
E_{1000}	2.4	14.9	15.2	21.2
E_{2000}	29.8	4.7	23.1	19.9
E_{5000}	27.9	20.8	1.6	22.2
E_{10000}	32.4	24.0	33.8	5.2

Fig. 11. Model of the stick-slip component

違度は他金種データベースとの相違度に比較して一桁程度の違いが出ることを確認し、提案する相違度 E_* に対して単純な閾値処理を適用することで金種判別が実現できる。

4. スティックスリップ成分に着目した真贋判別

〈4・1〉 スティックスリップ成分の特徴評価 スティックスリップ成分をFig.11に示すように極小値 $G_{\min[n]}$ と $G_{\min[n+1]}$ および極大値 $G_{\max[n]}$ を1組とみなしてモデル化し、走査波形からその成分を抽出する。ここで n は $1 \leq n \leq N$ であり、 N は抽出される成分の総数を表す。

その発生原理からスティック時の触針先端の変位は移動台の移動距離と一致し、Fig.11に示した θ_n は45degをとることが大きな特徴である。そこで、抽出成分の波形形状の特徴の評価には、スティックの傾きおよび波形振幅値に関する特徴パラメータを導入する。まず θ_n を式(2)により算出し、スティックの傾きパラメータとする。

$$\theta_n = \tan^{-1} \left\{ \frac{G_{\max[n]} - G_{\min[n]}}{\max[n] - \min[n]} \right\} \quad \dots\dots\dots (2)$$

また波形振幅パラメータについてはスティック中の触針変位量を利用し、 L_n として式(3)により算出する。

$$L_n = G_{\max[n]} - G_{\min[n]} \quad \dots\dots\dots (3)$$

L_n はスリップ現象における触針変位量を利用して算出することも可能であるが、スリップ途中で新たな凹凸への引

掛かりが生じてしまう場合があるなど、触針の振動変位に不安定な要素も多い。本研究では、より正確性の高い特徴評価を実現するため、余計な触針の振動変位が生じないスティック現象に着目した。

〈4・2〉 真券と贋券による特徴パラメータの比較 真券およびソリッドインクプリンタとレーザプリンタで印刷した2種類の贋券による計3種類の走査波形に対し、観測ノイズによる高周波数成分を除去した後にスティックスリップ成分を抽出し、特徴パラメータを算出した。真贋別に L_n と θ_n の関係をプロットした結果をFig.12に示す。

真券の走査波形に対しては、特に L_n が大きな領域で $\theta_n=45\text{deg}$ 近傍での分布が得られており、モデル化による成分抽出の妥当性と特徴パラメータ値の有効性が同時に示された結果といえる。 L_n が小さな領域では θ_n が小さくなる傾向にあるが、これは除去し切れていない観測ノイズ成分などの影響による。一方、贋券では真券同様に L_n が小さな領域では θ_n が小さくなる傾向を確認すると同時に、スティックスリップが発生しないという贋券の走査波形の特徴が正確に得られ、 L_n の大きな領域では $\theta_n=45\text{deg}$ 近傍にほとんど抽出成分が存在しないという結果となった。

これらの結果から、モデル化を利用したスティックスリップ成分の抽出法およびその形状に着目した特徴パラメータによる評価法の有効性が実験的に示された。

〈4・3〉 性状情報の複合的利用による信頼性向上 凹版印刷の凹凸はスティックスリップの発生要因となるが、例えば粗い紙面であってもスティックスリップは発生し、そのような紙面をもつ贋券では真贋判別を誤る可能性がある。そこで金種(=印刷模様)に関する情報を複合的に利用し、真贋判別の信頼性を向上させる方法を検討する。

Fig.13は、金種判別に利用した D^* とその金種情報を基

Fig. 12. Relationship between L_n and θ_n for the extracted stick-slip component (left-side; for the genuine note, right-side; for the counterfeit note)

Fig. 13. Relationship between L_n and θ_n for the extracted stick-slip component (left-side; for the intaglio print part, right-side; for the independent of the intaglio print part)

に各種紙幣の走査波形を凹版印刷区間および無印刷区間に区分化し、各々の区間に対してスティックスリップ成分抽出処理を適用した際の L_n と θ_n の関係を示している。真券での印刷区間における抽出成分の多くがスティックスリップであり、無印刷区間の分布との差は顕著であるのに対し、贋券では無印刷区間との差はそれほど大きくない。

すなわち、印刷区間と本来凹凸が少ない無印刷区間でのスティックスリップ出現状況を組み合わせれば、その差異を評価することによって印刷区間におけるスティックスリップの発生要因となった表面性状を推定することができ、真贋判別性能の向上を図ることが可能である。

〈4・4〉 指標値を導入した真贋判別の実現 スティックスリップ成分の出現状況をその傾きと振幅値から評価するために、大きな特徴である $\theta_n=45\text{deg}$ が得られることを利用した指標値として、 ρ を式(4)によって定義する。

$$\rho = 1 - \left[\prod_{k=1}^{\tilde{N}} \left\{ 1 - e^{-\frac{(\theta_k - 45)^2}{2\sigma^2}} \right\} 10^{-L_k} \right]^{1/\tilde{N}} \quad \cdots (4)$$

ここで $\tilde{N}$ は評価対象となる各印刷区間あるいは無印刷区間における抽出成分数である。 45deg を平均値とした θ_n に関する正規分布項と、 $-L_n$ を指数とするべき乗項を基に構成している。 $\theta_n=45\text{deg}$ に近づく L_n が大きい成分ほど影響力は強く ρ 値は1に近づくが、逆に $\theta_n=45\text{deg}$ から外れるかあるいは L_n が小さな成分は影響力が弱く、抽出成分が存在していても ρ 値は0からほとんど変動しない。

各24枚の官封券および流通券の走査波形に対し、式(4)中の $\sigma=3.0\text{deg}$ として得られた ρ 値の平均値 $\bar{\rho}$ とその標準偏差 σ_ρ をTable 3にまとめる。大振幅のスティックスリップ成分が多数存在する真券の凹版印刷区間では、官封券・流通券によらず相対的に $\bar{\rho}$ 値は大きく、無印刷区間の値とは2倍以上の違いがある。一方、Table 4にまとめた贋券に対する結果では、凹凸が存在しないことで印刷区間の $\bar{\rho}$ 値は真券に比較して大幅に小さくなる傾向を示し、紙幣の真贋に因らず値が小さい無印刷区間の $\bar{\rho}$ 値と一致する。

以上の結果より、印刷区間でのみ ρ 値の大きい試料を閾値処理で選別すれば、真贋判別が達成可能である。

〈4・5〉 傷み度合判別への応用可能性 傷み度合判別では、再流通させた際に贋券と区別がつかなくなる恐れのある

Table 3. Indexes $\bar{\rho}$ and σ_ρ for each type of the genuine notes

Index	New notes		Circulated notes	
	Print part	Non-print part	Print part	Non-print part
$\bar{\rho}$	0.768	0.300	0.648	0.277
σ_ρ	0.114	0.093	0.106	0.090

Table 4. Indexes $\bar{\rho}$ and σ_ρ for each type of the counterfeit notes

Index	Print part	Non-print part
$\bar{\rho}$	0.192	0.152
σ_ρ	0.040	0.035

る汚れた券やよれた券などを取り除くことが目的となる。

5. 紙幣判別処理法の実験的検証

〈5・1〉 判別方法の適性比較 提案方法および比較としての透過光量に基づいた判別方法につき、各種紙幣を対象とした場合の金種・真贋判別への適性を整理した結果をTable 5にまとめる。表中の記号は、○は正確な判別が可能なことを、×は判別が不可能なことを、△は誤判別の可能性があることをそれぞれ意味している。

〈5・2〉 紙幣判別処理法の構築 提案した判別方法の適性を考慮に入れ、各方法によって獲得される性状情報を複合的に利用しながら効果的にその順序・判別基準を組み合わせることにより、信頼性の向上を図った判別法を構築することが可能である。現在国内に流通する紙幣の場合を一例として、そのフローチャートを Fig.15 に示す。

Table 5. Propriety of a proposed method and the transmitting light method for various type of notes

*Counterfeit type	Print pattern	Paper surface
Type 1	Correspond to genuine note	Smooth
Type 2	Correspond to genuine note	Rough
Type 3	Not correspond to genuine note	Smooth
Type 4	Not correspond to genuine note	Rough

```

graph TD
    Start([Start]) --> Measure[Measurement of vibration waveforms for scanning time]
    Measure --> Denom[Discrimination of denomination]
    subgraph DenomBox [Discrimination of denomination]
        CalcE[Calculation of each index E_n for measured waveform]
        CalcE --> CompE1000{Compare E_1000 with threshold value}
        CompE1000 -- less than threshold value --> Out1000[1,000yen]
        CompE1000 -- more than threshold value --> CompE5000{Compare E_5000 with threshold value}
        CompE5000 -- less than threshold value --> Out5000[5,000yen]
        CompE5000 -- more than threshold value --> CompE2000{Compare E_2000 with threshold value}
        CompE2000 -- less than threshold value --> Out2000[2,000yen]
        CompE2000 -- more than threshold value --> CompE10000{Compare E_10000 with threshold value}
        CompE10000 -- less than threshold value --> Out10000[10,000yen]
        CompE10000 -- more than threshold value --> Out10000
    end
    Out1000 --> Truth[Discrimination of truth]
    Out5000 --> Truth
    Out2000 --> Truth
    Out10000 --> Truth
    subgraph TruthBox [Discrimination of truth]
        CalcP[Calculation of index rho for measured waveform of print part]
        CalcP --> CompP{Compare with threshold value}
        CompP -- more than threshold value --> CalcNP[Calculation of index rho for measured waveform of non-print part]
        CompP -- less than threshold value --> OutTruth[ ]
        CalcNP --> CompNP{Compare with threshold value}
        CompNP -- more than threshold value --> OutTruth
        CompNP -- less than threshold value --> OutTruth
    end
    OutTruth --> Genuine([Genuine note])
    OutTruth --> Counterfeit([Counterfeit note])

```

次段の真贋判別では、走査波形中の凹版印刷区間および無印刷区間に対してそれぞれ指標値を算出し、双方が閾値条件を同時に満たした場合にのみ真券と判別される。

結果は金種判別・真贋判別ともに 100%の判別率が達成されることを示し、特に透過光量に基づく方法では難しいとされる贋券試料に対し 100%の真贋判別率が達成されたことは、提案方法の優位性が明らかになった結果といえる。一方、真贋判別に際して指標値 ρ が閾値近傍をとる試料も

見受けられたが、傷みの進行状況に鑑みても得られた指標値は妥当であり、傷み度合判別を追加すれば指標値 ρ からその順位付けさえも可能であると推察される。

以上の結果から、金種・真贋判別法およびそれらを組み合わせた紙幣判別処理法の有効性が確認された。

6. 結 言

本論文では、紙幣の真贋・金種判別を実現するために、紙幣に固有かつ特徴的な表面性状に着目した判別方法を新たに提案した。提案方法では、触針で紙幣表面をなぞったときに生じる特徴的な振動変位波形から、凹版印刷による凹凸あるいは印刷模様と相関を持つ波形成分が抽出でき、そこから獲得される性状情報を複合的に利用して判別を試みた。

金種判別においては、走査波形の低周波数成分が印刷模様情報と相関を持つことを明らかにし、観測された走査波形の低周波数成分を基に推定した印刷模様情報と各金種データベースとの相違度を指標化し、その判別を実現した。

真贋判別においては、凹版印刷による凹凸・摩擦係数変化を発生要因とするスティックスリップ成分に着目し、スティック中の触針先端の変位が移動台の移動距離に一致する特徴を利用して、その成分の出現状況を評価するための指標値を新たに提案した。加えて、凹版印刷の有無に依存して成分の出現状況が大きく異なるという性質を利用して判別性能を向上させ、信頼性を高めることに成功した。

さらに、獲得された性状情報を複合的に組み合わせて利用する紙幣判別処理法を構築し、試料紙幣への適用を試みたところ、金種判別・真贋判別ともに 100% の判別率が達成されることを確認し、提案方法の有効性を示した。

一方で、今回は透過光量に基づく方法での真贋判別が難しいとされる贋券試料を用意したが、紙面の正確な凹凸情報との比較によって光ファイバ触針による表面性状評価が有効となる範囲を確認し、その他タイプの偽券に対する提案方法の適用範囲を明らかにする必要がある。また、現在の触針走査速度は必ずしも十分ではないため、触針の剛性や押付圧なども考慮に入れ、高速走査を実現するための検討も必要である。

(平成 19 年 2 月 26 日受付, 平成 19 年 8 月 27 日再受付)

文 献

- (1) 「2005/1/18 読売新聞・社説：偽札事件 一刻も早く根絶すべき犯罪だ」, 読売新聞社 (2005)
- (2) 「2005/4/6 読売新聞・偽札判別ツール」, 読売新聞社 (2005)

- (3) 「2005/12/7 読売新聞・瞬時に偽札判別「マジックシート」」, 読売新聞社 (2005)
- (4) Y. Akao, K. Kobayashi, S. Sugawara, and Y. Seki: "Discrimination of inkjet-printed counterfeits by spur marks and feature extraction by spatial frequency analysis", Proc. SPIE, Vol.4677, pp.129-137 (2002)
- (5) 「2006/6/15 朝日新聞」, 朝日新聞社 (2006)
- (6) M. Tanaka, L. Cao, S. Ohyama, and A. Kobayashi: "Evaluation and Data Analysis on the Scanning Method using Optical Fiber Feeler to Measure Cloth Handvalue", The Papers of Technical Meeting on Sensors and Micromachines, pp.13-18 (1997) (in Japanese)
田中正行・曹 麗・大山真司・小林 彬:「光ファイバ触針による布の手触り感計測のための走査方式の検討とデータ解析」, 電学センサ・マイクロマシン部門総合研資, pp.13-18 (1997)
- (7) M. Tanaka, L. Cao, S. Ohyama, and A. Kobayashi: "Discrimination of Cloth Materials with Scanning Optical Fiber Feeler", SICE Trans., Vol.36, No.2, pp.151-158 (2000) (in Japanese)
田中正行・曹 麗・大山真司・小林 彬:「光ファイバ触針の走査による布の識別」, 計測自動制御学会論文集, 36-2, pp.151-158 (2000)
- (8) 木寺謹一・橋本道明・橋本正昭・大野 稜: 公開特許「紙幣真偽判別方式」, 特許公報昭 58-42913 (1983)

高 山 潤 也 (非会員) 1998 年, 東京工業大学大学院修士課程修了。同年日産自動車(株)入社。2000 年, 東京工業大学大学院理工学研究科機械制御システム専攻助手, 現在, 同学大学院理工学研究科助教。高度能動計測系としての信号場の理論とその応用などの研究に従事。

大 山 真 司 (正員) 1984 年, 東京工業大学大学院修士課程修了。同年(株)日立製作所日立研究所入社。90 年, 東京工業大学工学部助手, 現在, 同学大学院理工学研究科准教授。計測工学, 計測システム構成論等の研究, 教育に従事。計測自動制御学会, 電子情報通信学会の会員(博士(工学))。

小 林 彬 (正員) 1969 年, 東京工業大学大学院博士課程修了。同年東京工業大学助手。87 年同教授, 2005 年退官。現在, 大学評価・学位授与機構客員教授。計測用空間フィルタ, 感覚計測, 解領域法による信号処理, 信号場, 高 SN 比計測法などの研究に従事(工学博士)。