

# 指静脈認証精度向上法の検討

## —明るさの異なる複数画像を用いる方法—

Improvement of Finger Vein Verification  
—Verify with Multi Level Luminance Images—

保 黒 政 大\*

Masahiro HOGURO

服 部 公央亮\*

Koosuke HATTORI

### はじめに

各種情報端末の個人の認証法には、様々な方法が用いられている。ユーザ ID とパスワードを用いるのも、個人認証の一つである。しかし、パスワードを利用する方法では、忘却や紛失により、本人認証ができなくなったり、漏洩や盗難により他人を本人と間違えて認証されたりする恐れがある。これに代わる個人認証法として注目されているのが、人間の体の特徴を利用して個人を識別する生体認証である。生体認証では、利用者がパスワードを覚える必要が無く、定期的にパスワードを変更する必要も無いため、安全性だけで無く利便性も高い本人確認手段である。

現在は様々な身体特徴が生体認証に使われているが、代表的なものとして、顔認証、虹彩認証、掌紋認証、指紋認証、静脈認証がある<sup>1-2)</sup>。顔認証は、識別精度があまり高くはないが、収集と利用が容易であり、携帯電話やパソコン利用時の本人確認手段として使われたり、出入国管理に利用されたりしている。虹彩認証は、高い識別

---

\*宇宙航空理工学科 — 音声・画像情報処理工学

Department of Astronautics and Aeronautics — Speech and Media Information Technology

性能を有するもののデータを収集するために特殊な撮像系が必要であり、虹彩画像撮影時の操作性に難がある。指紋認証では、入力装置として指の表面がセンサに直接触れる装置が広く利用されており、指の乾燥や汗などの影響で指紋画像が劣化して認証率が低下することがある。静脈パターンを用いる静脈認証は、近赤外領域を撮影できるカメラと近赤外 LED 光源を組み合わせることで、比較的簡単に静脈画像を撮影することができる。また、静脈パターンは偽装、改ざんが極めて困難であり、生涯にわたりほとんど変化しないという性質を持つため安全性、利便性に優れた生体認証である。

しかし、指の静脈パターンを撮影する時、指の光透過特性に個人差が存在することが課題として確認されている。静脈撮影時の照射光量を手動で調節することにより認証する方法も提案されている<sup>3)</sup>が、実用的な認証システムを構築するためには、システム側で撮影条件を自動制御する必要がある。この問題に対応するため、静脈撮影に使用する近赤外 LED に印加する電圧を制御して、照射光量を制御する手法が提案されている<sup>4)</sup>。

本稿では、これまでより少ない撮影枚数で透過特性の個人差の影響を抑制し、高精度な認証を実現することを目的として対応策を検討した。具体的には、光源照射強度を複数の固定値で変化させ、多段化した照射強度で撮影した静脈画像にて距離（類似度）を算出し、得られた複数の距離値の統計量（平均、最大、最小など）を用いて認証を行うことで、認証精度の向上を検討する。

## 1. 静脈認証手法

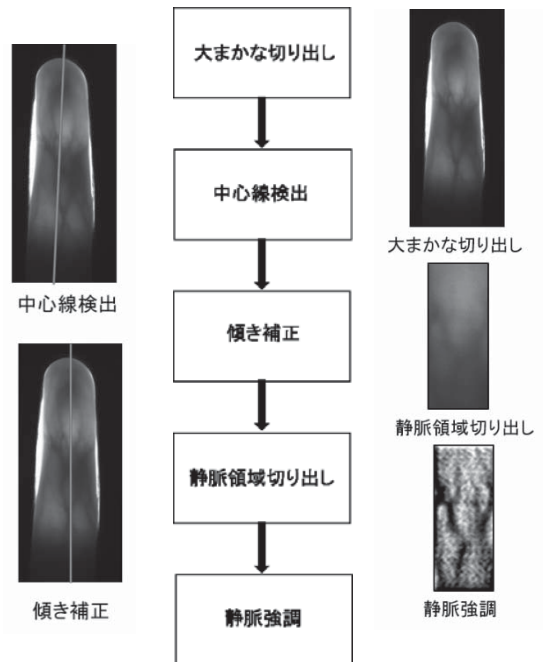
### 1.1. 静脈画像の撮影

指静脈画像の取得は、近赤外光を指に照射してカメラで撮影する。指に照射された近赤外光は関節や骨の周りを散乱しながら透過するとともに、血液のヘモグロビンに吸収される<sup>5-6)</sup>。このため血管（静脈）部分は暗く、周囲は明るい静脈画像を得ることができる。カメラには近赤外光を撮像できる素子を使用し、可視光の影響を防ぐためレンズ前面に可視光障害フィルタを装着する。なお、これまでの研究により静脈撮影に使用する近赤外光の波長は 890 [nm] 程度が適していることが分かっている<sup>7-8)</sup>。

### 1.2. 静脈強調処理

カメラで撮影した静脈を含む画像から、静脈認証に利用する画像を生成する。撮影

図 1 静脈強調処理の流れ



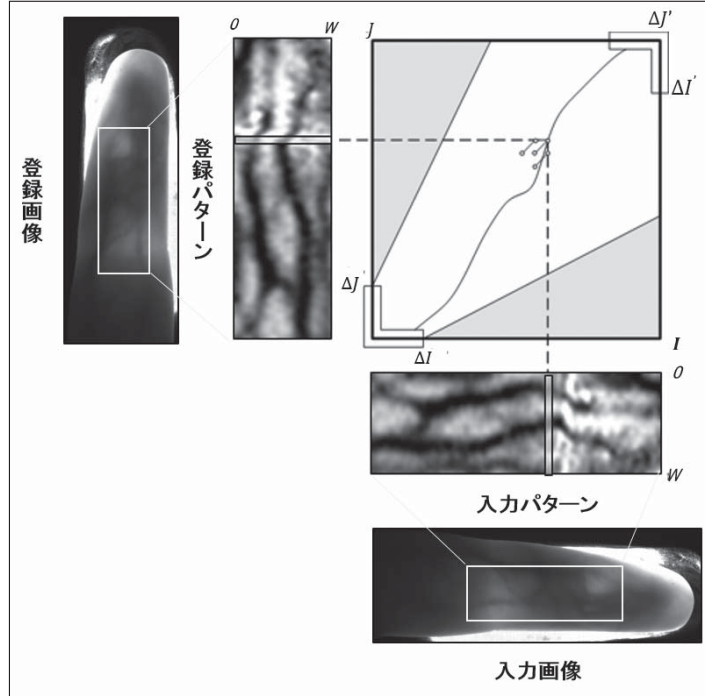
画像中の指は、必ずしも垂直に置かれているとは限らないため、指中心線を基準に回転補正する。また、近赤外光を用いて撮影した静脈像は、周囲の影響でボケていたり周囲の明るさが不均一であったりするため、周波数フィルタリングにより強調処理を施す。処理の流れを図 1 に示す。

### 1.3. 画像比較

静脈画像の比較には DP マッチングを利用する。DP マッチングは音声認識分野で利用されるアルゴリズムで、比較対象データパターンの伸縮や位置ずれを考慮しながら比較することができる。ここでは指の縦方向の伸縮や位置ずれを吸収するために利用する。DP マッチングの適用例を図 2 に示す。なお、横方向の位置ずれも発生するため、DP マッチングと同時に横方向に少しずつずらしながら比較する「ずらしマッチング」を利用する。

本稿で用いた DP マッチングは、 $i, j$  における最小累積距離を式 (1) により計算する。 $a$  は横方向のずらし幅である。

図 2 DP マッチングの例



$$g(i, j, a) = \min \left\{ \begin{array}{l} g(i-1, j-2, a) + 2d(i, j-1, a) \\ g(i-1, j-1, a) + d(i, j, a) \\ g(i-2, j-1, a) + 2d(i-1, j, a) \end{array} \right\} + d(i, j, a) \quad (1)$$

始端点フリー区間では式 (2) に示すような  $(i+1)$  および  $(j+1)$  で重み付けされたパスを用いる。 $\Delta I, \Delta J$  は端点フリー区間である。

$$g(i, j, a) = \min \left\{ \begin{array}{l} g(0, 0, a) = 0 \\ g(i, 1, a) = g(0, 0, a) + (i+1)d(i, 1, a) \\ g(1, j, a) = g(0, 0, a) + (j+1)d(1, j, a) \end{array} \right\} + d(i, j, a) \quad (2)$$

$$(1 \leq i \leq \Delta I, 1 \leq j \leq \Delta J)$$

終端点フリー区間は、式 (3) で表される正規化累積距離  $G(i, j, a)$  の最小値を正規化最小累積距離  $D$  として式 (4) のように定義し、これを画像間の類似度とする。 $\Delta I, \Delta J'$  は終端点フリー区間である。

$$G(I, J, a) = \min \left( \frac{g(I, J, a)}{I+J} \right) \quad (3)$$

$$D = \min \left\{ \begin{array}{l} G(i, J, a) \quad (I - \Delta I' \leq i \leq I) \\ G(I, j, a) \quad (J - \Delta J' \leq j \leq J) \end{array} \right. \quad (4)$$

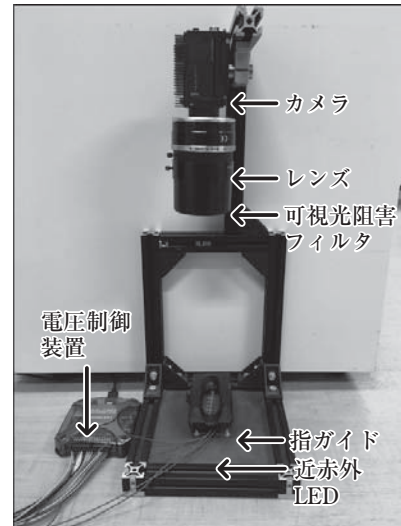
## 2. 評価用データベース

### 2.1. 撮影装置

透過型撮影装置を使用する。本稿で使用した透過型撮影装置では、指の甲を下向きにして撮影装置の指ガイドに置き、指の下に配したLEDにより近赤外光を照射する。指の腹側に透過した光をカメラで指の上部から撮影する。近赤外LEDは、指の広範囲を撮影できるように6個を一行に並べた。使用した静脈撮影装置を図3に示す。

近赤外光の透過特性には個人差があり、LEDの照射強度を一定にて静脈撮影を行うと、きれいな静脈像を得られる人もいれば、まったく静脈が観察できない画像になる人もいる。そこで、LEDに印加する電圧を外部から制御できるようにして、近赤外光の照射強度を変えながら静脈画像を撮影する。

図3 静脈撮影装置



### 2.2. 静脈画像データベース

LEDに印加する電圧を自動的に制御しながら、電圧 3.9 [V], 4.1 [V], 4.3 [V], 4.5 [V], 4.7 [V], 4.9 [V], 5.1 [V] で静脈画像を撮影した。それぞれの電圧で9人の左右人差し指と中指をそれぞれ10回ずつ撮影し、評価用静脈画像データベースを構築した。評価用静脈画像データベースの概要を表1に示す。

表1 評価用静脈画像データベース

| 撮影人数 | 撮影指数 [本 / 人] | 撮影回数 [回 / 指] | 総データ数 [枚] |
|------|--------------|--------------|-----------|
| 9 人  | 4            | 10           | 360       |

表 2 静脈画像の例

|        | A 氏                                                                               | B 氏                                                                               | C 氏                                                                               | D 氏                                                                                 |
|--------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 静脈画像   |  |  |  |   |
| 静脈強調画像 |  |  |  |  |

### 3. 複数画像を用いた静脈認証

#### 3.1. 単一画像による認証

3.9 [V] から 5.1 [V] まで 7 段階の電圧で撮影した静脈画像を用いて、各電圧における認証精度を評価実験により検証する。認証実験では撮影条件による精度差が出やすいように、登録画像と評価入力画像は各 1 枚として、クロスバリデーションにより画像対を比較して認証率を求める。まず、画像対を DP マッチングにより比較して画像間の距離を求める。この距離が設定された閾値より小さい場合に本人、大きい場合には他人と判断する。閾値を変えることにより、他人を本人と誤認証する割合 (FAR; False Acceptance Rate, 他人受入率) や本人を他人と誤認証する割合 (FRR; False Rejection Rate, 本人拒否率) が変化する。認証精度の比較用尺度には、FAR と FRR が一致する点を表す等価エラー率 (EER) を使用する。本稿では等価エラー率を誤認証率と表記して精度比較を行う。誤認証率が小さいほど高精度であり、大きいほど精度が低くなる。

各電圧（明るさ）で撮影した静脈画像を用いて認証精度を比較した結果を図 4 に示す。

電圧 4.1 [V] での誤認証率が低く 11.57 [%] であった。このとき認証に失敗した画像の例を表 3 に示す。認証失敗の主な原因は LED の照射強度が弱く、撮影静脈画像が黒潰れしたことである。

人によって最適な明るさが異なるため、目視により最適な明るさを決定して静脈画像を撮影して認証実験を行った。静脈が鮮明に見える明るさを、指ごとに目視により判定する。目視により最適な明るさを選択した画像の例を表 4 に示す。

このときの誤認証率と単一電圧で誤認証率が最も低かった電圧 4.1 [V] 時の誤認証率を比較した結果を図 5 に示す。

目視により最適な明るさを選択して撮影した静脈画像を用いた場合、誤認証率が 10.71 [%] であり、4.1 [V] のときより誤認証率が 0.86 [%] 改善することを確認した。

人によって最適な明るさが異なることを確認できた。評価実験では、指ごとに最適な照明条件を目視により決定している。自動化するためには、最適な明るさの静脈画像を自動選択する代わりに、複数の印加電圧で撮影した画像において距離値を計算し、それらを組み合わせて平均値や最小値などを用いて認証する方法を検討する。

図 4 単一電圧時の誤認証率

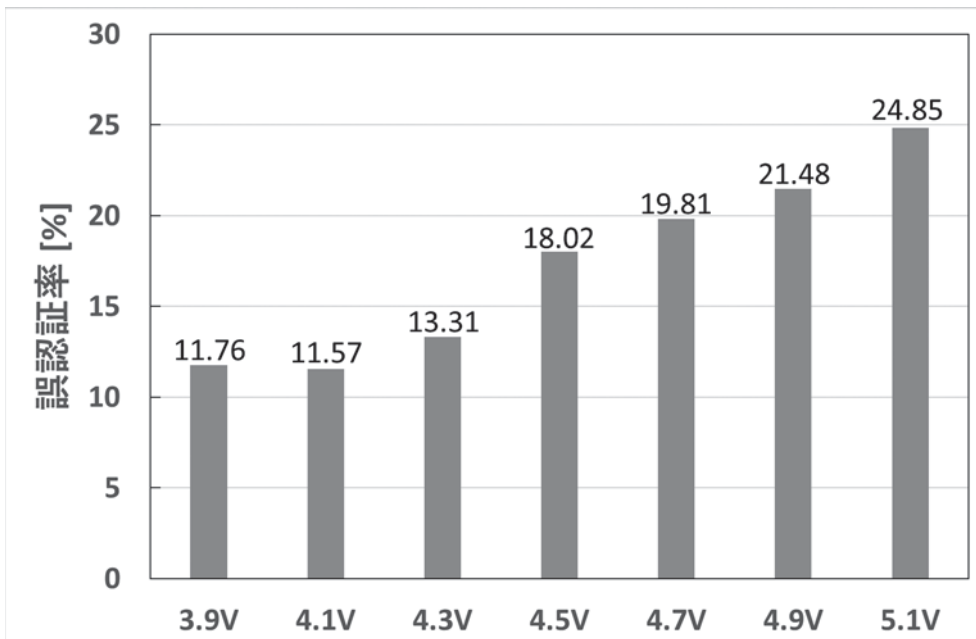


表 3 認証に失敗した画像例

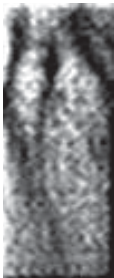
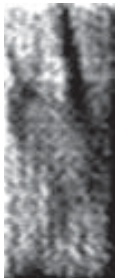
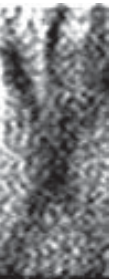
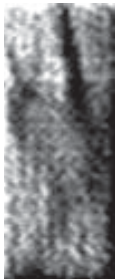
|         |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                     |
|---------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 本人拒否例   |  |  |  |  |
|         | 切り出し画像<br>被験者 A 氏                                                                 | 静脈強調<br>被験者 A 氏                                                                   | 切り出し画像<br>被験者 A 氏                                                                 | 静脈強調<br>被験者 A 氏                                                                     |
| 他人受け入れ例 |  |  |  |  |
|         | 切り出し画像<br>被験者 B 氏                                                                 | 静脈強調<br>被験者 B 氏                                                                   | 切り出し画像<br>被験者 C 氏                                                                 | 静脈強調<br>被験者 C 氏                                                                     |

表 4 目視により最適な明るさを選択した画像の例

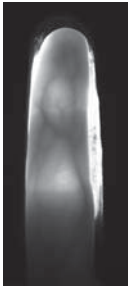
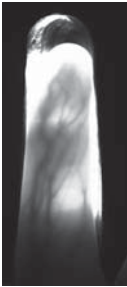
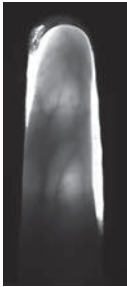
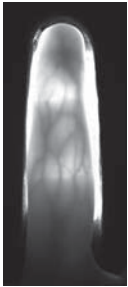
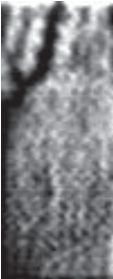
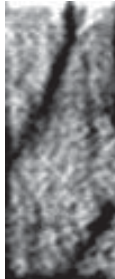
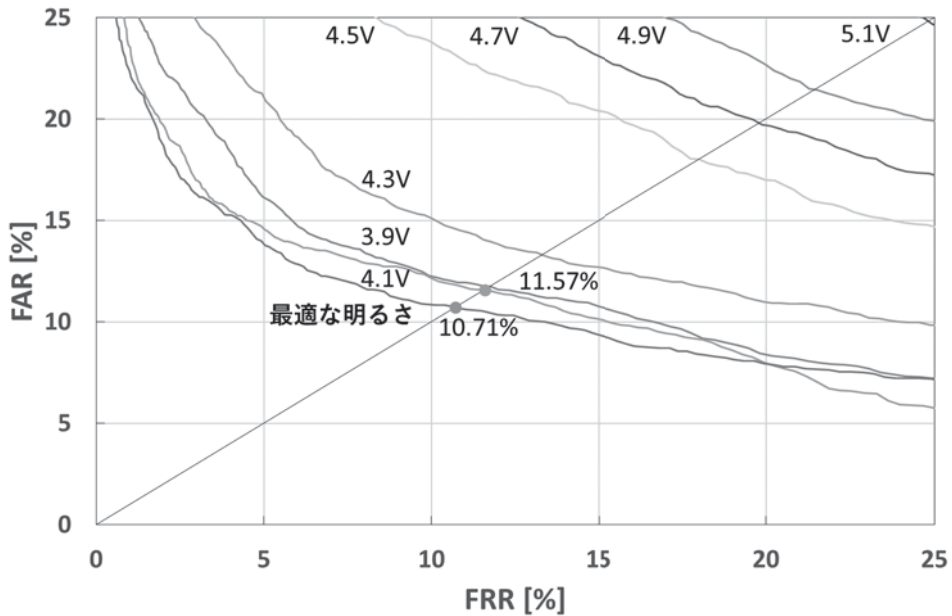
|                            | A 氏                                                                                 | B 氏                                                                                 | C 氏                                                                                 | D 氏                                                                                   |
|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 電圧<br>[V]                  | 4.1                                                                                 | 4.3                                                                                 | 4.1                                                                                 | 4.5                                                                                   |
| 撮<br>影<br>画<br>像           |  |  |  |  |
| 静<br>脈<br>強<br>調<br>画<br>像 |  |  |  |  |

図5 FAR と FRR との関係 (単一電圧)



## 3.2. 複数画像を用いた認証

### 3.2.1. 平均距離値

複数電圧で撮影した画像から算出された距離の平均値を用いて、認証実験を行う。

電圧 3.9 [V], 4.1 [V], 4.3 [V], 4.5 [V], 4.7 [V], 4.9 [V], 5.1 [V] のうち 3 種の電圧で撮影した画像にて求めた距離の平均値を、新たな距離値として認証を行う。計 35 通りの組み合わせで実験した。3.9 [V], 4.1 [V], 4.7 [V] で撮影した時の平均距離値の例を表 5 に示す。

組み合わせ番号③での誤認証率が最も低く 9.20 [%] である。なお、電圧の組み合

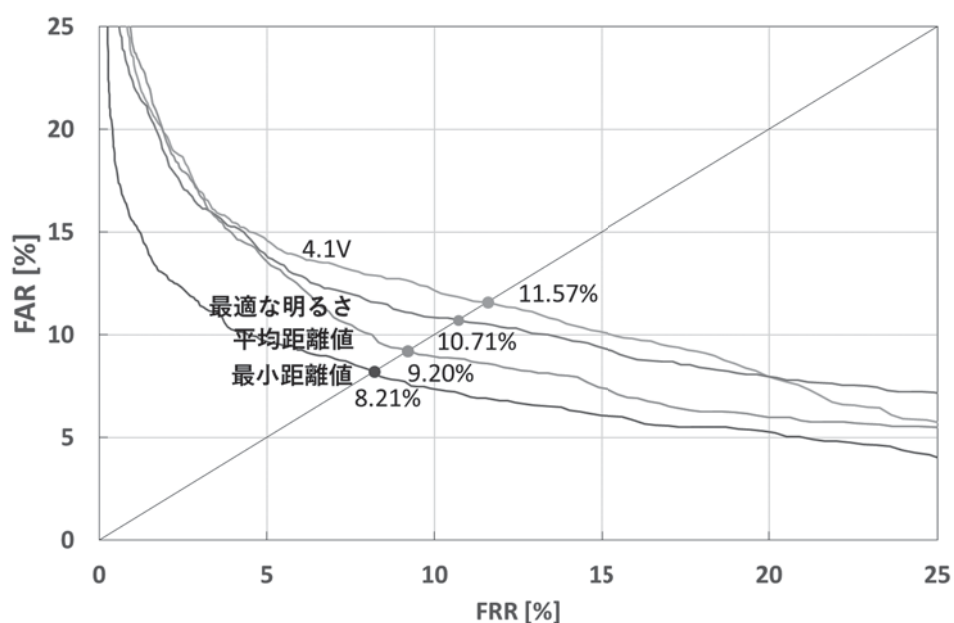
表 5 平均距離値を用いた静脈認証結果の例

| 組み合わせ<br>番号 | 電圧 [V] |     |     | 誤認証率 [%]    |
|-------------|--------|-----|-----|-------------|
| ①           | 3.9    | 4.1 | 4.3 | 10.15       |
| ③           |        |     | 4.7 | <b>9.20</b> |
| ④           |        |     | 4.9 | 9.96        |
| ⑤           |        |     | 5.1 | 10.22       |
| ⑱           | 4.1    | 4.3 | 4.9 | 10.86       |

表 6 最小距離値を用いた静脈認証結果の例

| 組み合わせ<br>番号 | 電圧 [V] |     |     |     |     | 誤認証率[%] |
|-------------|--------|-----|-----|-----|-----|---------|
| ⑤           | 3.9    | 4.1 | 4.3 | 4.7 | 5.1 | 8.49    |
| ⑦           |        |     | 4.5 |     | 4.9 | 8.52    |
| ⑧           |        |     |     |     | 5.1 | 8.46    |
| ⑨           |        | 4.3 | 4.7 | 4.9 | 5.1 | 8.21    |
| ⑩           |        |     |     |     |     | 8.36    |

図 6 FAR と FRR との関係（複数電圧と単一電圧）



わせは2～7種の電圧を組み合わせる実験を行ったが、3種の電圧を③のように組み合わせた場合に最も小さな誤認証率を得た。

### 3.2.2. 最小距離値

電圧 3.9 [V], 4.1 [V], 4.3 [V], 4.5 [V], 4.7 [V], 4.9 [V], 5.1 [V] のうち5種の電圧で撮影した画像から求めた距離の最小値を、新たな距離値として認証を行う。計 21 通りの組み合わせで実験した。5種の電圧で撮影し、最小距離値を用いて認証した結果例を表 6 に示す。

組み合わせ番号⑨での誤認証率が最も低く 8.21 [%] である。なお、電圧の組み合

わせは2～7種の電圧を組み合わせる実験を行ったが、5種の電圧を⑨のように組み合わせた場合に最も小さな誤認証率を得た。

複数の電圧で撮影した画像による距離の最小距離値を用いて認証した結果は、平均距離値を用いた結果より向上した。5種の電圧（3.9 [V], 4.1 [V], 4.7 [V], 4.9 [V], 5.1 [V]）で最小距離値を用いた場合、最小誤認証率 8.21 [%] が得られ、平均距離値を用いた時の最小誤認証率 9.20 [%] より、0.99 [%] を改善することを確認した。複数の電圧で撮影した画像で比較することにより、個人に適した明るさの静脈画像で比較するケースが含まれており、最小距離値として当該距離値が選択される可能性が高いことが要因であると考ええる。

## まとめ

複数の電圧で撮影した指静脈画像を用いることで認証精度を向上する手法を検討した。具体的には、7種のLED印加電圧で撮影した画像を用い、各電圧で撮影した画像から求めた距離の平均値と最小値を新たな距離とする認証手法を検討した。

平均距離値を用いた認証実験では、各電圧で撮影した画像から求めた距離値の平均値を新たな距離として誤認証率を計算する。単一電圧より認証率が高くなり、3種の電圧（3.9 [V], 4.1 [V], 4.7 [V]）の平均距離値を用いたときに最小誤認証率 9.20 [%] が得られ、単一電圧時の 11.57 [%] より認証率が向上した。

最小距離値を用いた認証実験では、最も小さな距離値を新たな距離値として認証を行う。実験により5種の電圧（3.9 [V], 4.1 [V], 4.7 [V], 4.9 [V], 5.1 [V]）の最小距離値を用いたときに、最小誤認証率 8.21 [%] が得られ、平均距離値を用いた結果より認証率が向上することを確認した。

2～7種の電圧で撮影した静脈画像の平均距離値と最小距離値を用いて静脈認証精度の改善方法を検討した。平均距離値と最小距離値のどちらも用いた場合でも、単一電圧時より精度が向上することを確認した。検証実験では、5種の電圧で撮影した画像から求めた最小距離値を用いた場合に最小誤認証率 8.21 [%] という結果を得た。なお、本稿における検証実験では登録静脈画像数を1枚としており、また、静脈画像撮影時に登録拒否の判断をしていない。また、評価実験に使用したデータベースが独自のものであるため、市販の生体認証製品との直接比較は困難である。今後、他の様々な組み合わせ方法を検討するなどして、認証精度の向上を図りたい。

## 参考文献

- 1) 瀬戸洋一：「ユビキタス時代のバイオメトリクスセキュリティ」，日本工業出版（2003）
- 2) 瀬戸洋一：「サーバーセキュリティにおける生体認証技術」，共立出版（2002）
- 3) 石川諒治，田口亮，梅崎太造，保黒政大：「静脈画像の光源波長に対する官能評価」，電気関連学会東海支部連合大会，O-007（2009）
- 4) 近藤真司：「透過型及び反射型静脈認証システムの開発」，名古屋工業大学大学院研究科博士前期課程修士学位論文（2011）
- 5) 早川吉彦，山下拓慶，大粒来孝，妙瀬田泰隆，佐川盛久，近藤篤，辻由美子，本田明：「近赤外線イメージングによる皮下異物の検出実験」，医用画像情報学会雑誌，Vol. 27，pp. 50-54（2010）
- 6) 小澤利行，浅野薫，沼田成弘，蓮井康嗣，高地泰浩，石原謙：「近赤外分光画像計測法による血中ヘモグロビン濃度の無侵襲測定」，生体医工学会，Vol. 43，pp. 93-102（2005）
- 7) 服部公央亮，石川諒治，田口亮，梅崎太造，保黒政大：「静脈画像を用いた個人認証システムの開発」，画像の認識・理解シンポジウム（MIRU2010），IS3-61（2010）
- 8) 梅崎太造，保黒政大，服部公央亮，田口亮：「高精度化する個人認証技術～身体的，行動的認証からシステム開発，事例，国際標準化まで～」，エヌ・ティー・エス，pp. 157-171（2014）