

## 爪の微細部位を用いたマイクロ生体認証の提案

杉本 元輝 藤田 真浩 眞野 勇人 村松 弘明 西垣 正勝

静岡大学 〒432-8011 静岡県浜松市中区城北 3-5-1

E-mail: nisigaki@inf.shizuoka.ac.jp

**あらまし** マイクロ生体認証とは、人間の微細部位の生体情報を用いた生体認証である。本稿では、爪の微細部位を利用したマイクロ生体認証を提案する。爪は日々新しく作られる生体部位である。爪が伸びて登録部位が遊離縁まで達したのち、爪が切られた時点で追跡可能性は完全に分断されるため、生体認証の深刻な課題であった「追跡可能性」の問題が確実に解決される。提案方式のプロトタイプシステムを実装し、基礎実験を行った。基礎実験の結果から、提案方式の認証精度および経時変化の影響に関する議論を行った。

**キーワード** 生体認証, プライバシ保護, 微細パターン, 爪

## A Proposal of Micro Biometric Authentication using Nail Texture

Genki SUGIMOTO Masahiro FUJITA Yuto MANO Hiroaki MURAMATSU

and Masakatsu NISHIGAKI

Shizuoka University, 3-5-1 Johoku, Naka-ku, Hamamatsu, Shizuoka, 432-8011 Japan

E-mail: nisigaki@inf.shizuoka.ac.jp

**Abstract** Micro biometric authentication is an authentication mechanism which applies minute patterns of a user's body parts into biometric authentication. In this paper, we propose micro biometric authentication using nail texture. Nails grow day by day. As soon as the minute part of a nail registered as template reaches the free edge of nail and is cut with a nail clipper, traceability of the biometric data is perfectly lost. We developed a prototype system of the micro-nail authentication and conducted a basic experiment. The experimental result showed the feasibility of the proposed authentication scheme.

**Keywords** Biometric authentication, Privacy Preservation, Minute patterns, Nail texture

### 1. はじめに

生体認証とは、人間の身体的特徴や行動的特徴から個人を認証する技術である。通常、事前に採取した生体情報をテンプレートとして登録し、認証時に取得した生体情報とテンプレートを比較することで認証を行う。生体認証は、パスワードやトークンを用いた認証方式と異なり、忘却・紛失・盗難の恐れがないという利点がある。しかし一方で、生体認証には生体情報を用いるが故の課題がある。最も大きな課題が、生体情報の「基本的に生涯不変であり、任意に更新できない」という性質に起因する、なりすまし、および、追跡可能性に関する課題である。

「なりすまし」は、攻撃者が正規ユーザの生体情報を入手して偽造生体を作成する攻撃である。実際に、攻撃者が盗んだ生体情報から顔写真や人工指を複製し、なりすましに成功した例が報告されている[1][2]。近年では、カメラの高性能化により、遠距離から虹彩や指紋の高精細な画像を盗撮することも困難ではなくなっている。また攻撃者は、生体情報読取装置を正規ユーザの生活環境内に密かに仕込んで生体情報を収集した

り、生体認証によってログインする Web サービス提供サイトを装ったダミーサイトを設置して生体情報をフィッシングしたりすることも可能である。生体認証を実現するにあたっては、この「なりすまし」に対する耐性を有する必要がある（要件 1：なりすましに対する耐性）。

「追跡可能性」は、匿名ユーザ群または仮名ユーザ群の中から生体情報を用いて同一ユーザの名寄せが可能であることに起因する問題である。生体情報は、パスワードやトークンのように変更や交換によって本人との間の紐づきをリセットできないため、複数の Web サイトのアカウントで同じ生体情報を認証情報として利用していた場合、生体情報からそれらのアカウントが同一ユーザに利用されていることが判明してしまう。追跡可能性の観点から、生体情報の漏えいを防ぐ必要がある（要件 2：追跡可能性に対する考慮）。

さらに、認証要件 1,2 を実現したうえで実用に耐えうる高い認証精度を有する必要がある（要件 3：認証精度の確保）。

著者らは、要件 1~3 を満たす認証方式として人間の微細生体情報を利用した生体認証「マイクロ生体認証」を提案している[3][4]。文献[3]ではその一例として、微細肌理情報を利用したマイクロ生体認証を提案・実装・評価し、その有用性を明らかにした。しかし、肌理を利用したマイクロ生体認証では、不正者が「全身の皮膚画像」を取得できるという最悪の状況下においては、要件 2（追跡可能性）に関する課題が一部残っていた。そこで、本稿では、日常的に新しく作られる生体部位である「爪」に着目をし、爪の微細部位を利用したマイクロ生体認証を提案する。爪が伸びて登録部位が遊離縁まで達し、爪が切られた時点で、追跡可能性は完全に分断される。基礎実験を通じて提案方式の可能性を探る。

以降、2 章ではマイクロ生体認証のコンセプトを述べるとともに先行事例である肌理を利用したマイクロ生体認証の概要とその課題について述べる。3 章では爪の微細部位を利用したマイクロ生体認証を提案し、そのプロトタイプシステムを紹介する。開発したシステムを用いて 4 章で実験を行って爪を利用したマイクロ生体認証の可能性を議論する。最後に、5 章でまとめと今後の課題を述べる。

## 2. マイクロ生体認証とその先行事例

### 2.1. コンセプト

前述のように、要件 1~3 を満たす生体認証が求められる。要件 3（認証精度）の観点から考えると、静的な生体情報の利用が候補となり得る。しかし、静的な生体情報のほとんどは、なりすましが容易であり、生涯不変であるため、要件 1 と 2 を満たさない。すなわち、要件 1 と 2 を満たす静的な生体情報を見つける必要がある。その一実現方法として、本研究では静的な生体情報の微細部位を利用し、登録生体部位を次々と変更することで、要件 1~3 を満たすというコンセプトを提案している。このメカニズムを「マイクロ生体認証」と呼ぶ。マイクロ生体認証は、下記のとおり、要件 1~3 を満たす。

#### 要件 1：（なりすましに対する配慮）

一般に、模倣品をより細部まで作り込むにつれて、その製造にかかる手間が非常に大きくなるが、ズームレンズを使って対象物の細部を撮影することは、模造に比べはるかに容易である。この「撮影と偽造のコストの非対称性」を利用し、ある微細部位の生体情報をテンプレートとして登録することによって、たとえその部位の情報が盗まれたとしても偽造に大きなコストを要する生体認証が実現される。

#### 要件 2（追跡可能性に対する配慮）：

生体部位を微細にすることで、生体部位の更新可能回数が増加する。ユーザは、パスワードの変更やトークンの交換と同様の感覚で、その必要が生じた際に、ユーザ自身の意思で、今まで登録していた生体部位を別の生体部位に変更する。ユーザが生体部位を更新する度に、認証に用いる生体情報が変更され、追跡可能性が分断されることになる。

#### 要件 3（高い認証精度）：

生体部位の静的な情報を利用するため、認証精度も（動的な生体情報を利用する認証と比較して）高い。

### 2.2. 微細肌理画像を利用したマイクロ生体認証

著者らは、文献[3][4]にて、マイクロ生体認証の一事例として、微細肌理画像を利用したマイクロ生体認証を提案・実装・評価している。文献[3]では、肌理を利用したマイクロ生体認証のプロトタイプシステムを実装した。認証実験を通じて、肌理を利用したマイクロ生体認証が要件 1~3 を満たすことを確認した。文献[4]では、数か月にわたる認証実験を行った。肌理を利用したマイクロ生体認証は、数か月後でも個人識別が可能な方式であることを示した。

### 2.3. 微細肌理画像利用の課題

肌理は、真皮層で形成される皮膚模様であり、真皮に到達する深さの傷を負わない限り（少なくとも数か月の期間の間には）大きく変化しない。このため、不正者が正規ユーザの「全身の皮膚画像」を取得することができるといふ、最悪の状況下においては、要件 2（追跡可能性）の観点で問題が生じる。具体的には、次のとおりである。

「微細肌理部位 1」を秘密情報として用いて「アカウント A」のユーザ名で Web サイトに登録していた正規ユーザが、アカウント A の登録を削除し、「微細肌理部位 2」を用いて「アカウント B」として再登録したとする。このとき、全身の皮膚画像を有する不正者は、当該正規ユーザの「全身の皮膚画像」の中に微細肌理部位 1 および 2 が存在するか否かを、しらみつぶしに探索することが可能である。全身の皮膚画像の中に、微細肌理部位 1 と 2 が含まれていることによって、アカウント A と B が同一ユーザのものであることが判明してしまう。

## 3. 微細爪画像を利用したマイクロ生体認証

### 3.1. 爪の微細部位の利用

2.3 節で示した課題を解決するためには、日常的に新しく作られる生体部位（時間の経過によって生え変わる生体部位）を利用する必要がある。本稿では、「爪」に着目をし、爪の微細部位を利用したマイクロ生体認証を模索する。なお、現在までに、爪を利用した生体認証として文献[5]が知られている。この研究は、爪全

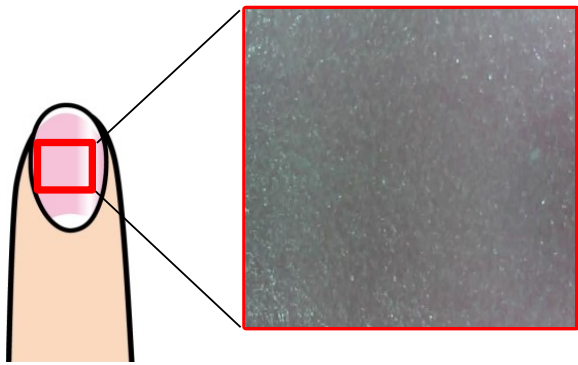


図 1：爪表面上に確認される凹凸パターン

体の形状を使って認証を試みるものであり、著者が知る限り、爪の微細部位を生体認証へ応用した先行事例は存在しない。

爪は、爪先、爪床、爪郭、爪母基、遊離縁などから構成される皮膚の一部である。爪の表面を大きく拡大すると、爪の表面上に不規則な凹凸パターンの存在を確認できる(図 1)。この凹凸パターンを認証情報として利用することで、微細爪画像を利用したマイクロ生体認証が実現可能であると期待される。

人の爪は日々新しく作られている。爪日基(爪の根本)にある細胞が細胞分裂を起こすことで、新しい爪が作られる。その新しい爪が、すでにある爪を押し出すことで人の爪は日々伸びている。爪の伸びるスピード(新しく作られる爪の長さ)は、一般的に、0.1 [mm/day]であるといわれている[6]。爪が伸びて登録部位が遊離縁まで達し、爪が切られた時点で、追跡可能性は完全に分断される。

### 3.2. プロトタイプシステムの実装

今回利用したシステムは、文献[3]で実装されたマイクロ生体認証のプロトタイプシステムと同一のものである。ただし、爪の画像を利用するにあたっては、画像処理アルゴリズムにおけるいくつかのパラメータを変更した。パラメータの値は、予備実験によって経験的に定めた。プロトタイプシステムの全体の構成を図 2 に示すとともに、その詳細について以下で説明する。

#### 3.2.1. 登録部位の発見

マイクロ生体認証においては、システムが爪全体の中から登録微細部位を発見するために、爪の表面にマークを印字する必要がある。このマークの位置を変更するたびに、ユーザは認証で利用する生体情報を変更することが可能となる。本稿では、水性インクを用いて爪の表面にマークを直接印字し、その上からトップコート(透明のマニキュア)を塗ってマークを保護する方法を採用した。

#### 3.2.2. 生体部位の撮影

爪を撮影する際には、顕微鏡を利用する方法を採用した。使用した顕微鏡は AM2001-Dino Lite Basic(サンコー株式会社製)である。本システムにおいては、200 倍に拡大した顕微鏡で撮影した爪画像(640×480 pixel, 約 2.0×1.5mm)を利用する。登録時は、中央 256×256 pixel(約 1.0×1.0mm)を切り出し、テンプレート画像として利用する。認証時は、640×480 pixel(約 2.0×1.5mm)の画像の中からテンプレート画像(256×256 pixel)を探索する。

#### 3.2.3. 特徴抽出

本稿では、爪の表面の凹凸パターンを特徴量として利用する。安定した特徴を得るために、テンプレート画像および認証画像は、マッチング前に適応的 2 値化を施して 2 値化画像に変換している。適応的 2 値化は、Open CV Ver.2.4.9 に実装されている関数 `cvAdaptiveThreshold()` によって行った。関数のパラメータは、`inThresholdType` を `THRESH_BINARY`、`inBlockSize` を 25 とした。あるユーザの爪の一部に対して、これらの処理を施した前後の様子を図 3 に示す。

#### 3.2.4. マッチング

システムは、位置合わせ用のマークによって、テンプレート画像とほぼ同じ位置の微細爪画像(認証画像)を得ることができる。しかし、顕微鏡のわずかな傾きや位置ずれによって、この画像は(テンプレート画像と比較して)歪みや位置ずれを起こしている場合が多い。これらは、ノイズとなり、マッチングスコアの低下(認証率の低下)を引き起こす。そこで、撮影した画像に対して、射影変換とアフィン変換(回転)を施して、これらのノイズを吸収したのち、テンプレートマッチング(正規化相互相関)を利用してスコアを求めた。テンプレートマッチングは、Open CV Ver.2.4.9 で実装されている `cvMatchTemplate()` で行い、引数 `method`(テンプレートマッチングの方法)の値は `CV_TM_CCORR_NORMED` を利用した。

## 4. 基礎実験

3.1 節に示したとおり、微細爪表面の凹凸パターンを利用した生体認証は現在までに知られていない。そこで、本稿では、爪の微細部位を利用したマイクロ生体認証の第一歩として、以下の二点を基礎実験によって調査する。

#### 調査内容 1：実現可能性

微細爪表面の凹凸パターンによってユーザ認証は可能であるか否かを調査する。

#### 調査内容 2：経時変化による影響

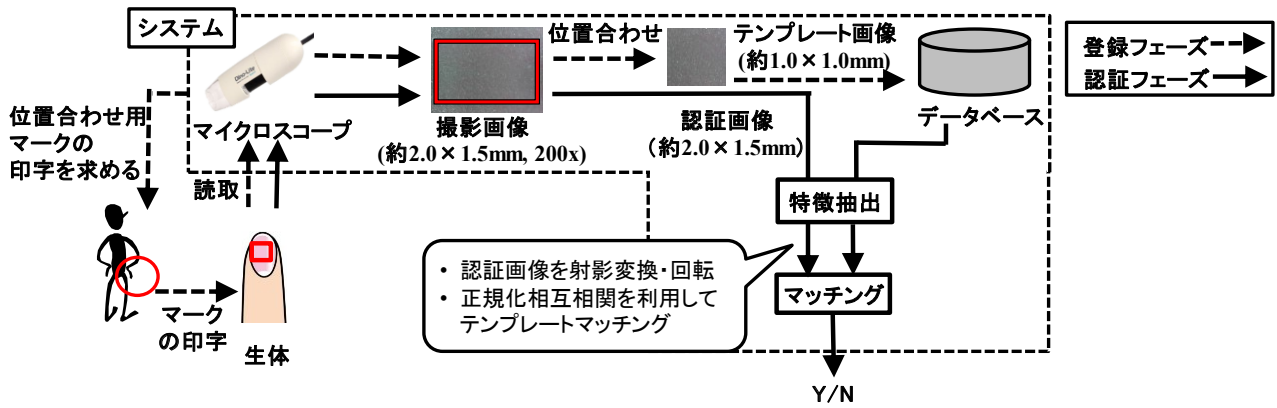


図 2 : マイクロ生体認証のプロトタイプシステム

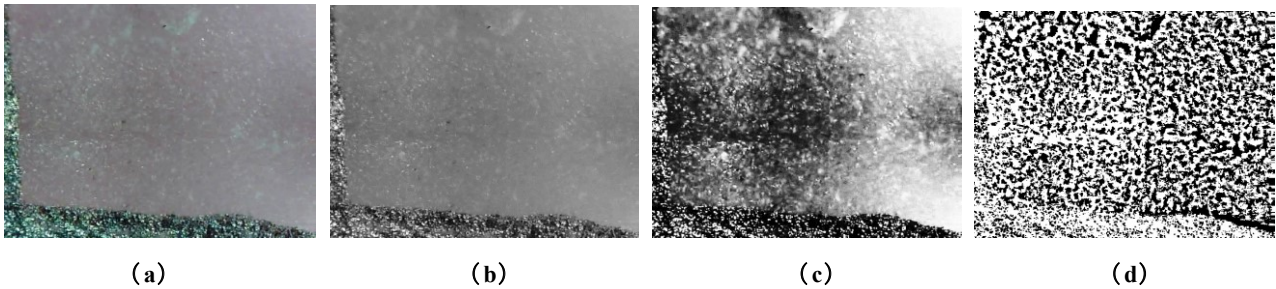


図 3 : (a) 微細爪表面の元画像 (b) 微細爪表面のグレースケール化画像  
(c) 微細爪表面のヒストグラム均一化画像 (d) 微細爪表面の適応的二値化画像

微細爪表面の凹凸パターンを利用した認証はどの程度の期間利用可能であるかを調査する。すなわち、1 が可能だった場合、爪の経時変化によって認証精度がどのように変化するかを調査する。

#### 4.1. 爪画像の収集

本学の学生 4 名 (全員男性) に協力してもらい、1 名当たり任意の爪の任意の 1 箇所をの微細画像を採取した。実験実施期間は 5 日間である。

実験初日 (1 日目) の午前中にテンプレート画像の撮影を行った。各被験者の任意の爪 1 箇所に水性インクでマークを印字し、その上からトップコート塗った。それぞれのマークを基準にして、マーク付近の爪をマイクロSCOPEで撮影した。3.2 節で示したとおり、この画像の中央  $256 \times 256$  pixels をテンプレート画像として利用する。

実験初日 (1 日目) の午後、2, 3, 4, 5 日目の任意の時間帯に、認証画像の撮影を行った。認証画像の撮影は、実験実施者 (著者) が目視で調整することで行った。具体的には、爪に印字された各マークを参考にして、登録部位を発見したのち、撮影する爪画像の見た目がテンプレート画像とできる限り一致するように微細爪表面の撮影を行った。

以下、被験者  $i$  ( $1 \leq i \leq 4$ ) のテンプレート画像を  $t_i$ 、被験者  $j$  ( $1 \leq j \leq 4$ ) の  $d$  ( $1 \leq d \leq 5$ ) 日目の認証画像を  $a_{j,d}$  と記す。

#### 4.2. 評価

##### 4.2.1. 実現可能性に関する評価

被験者  $i$  のテンプレート画像  $t_i$  と被験者  $i$  の 1 日目の認証画像  $a_{i,1}$  をマッチングすることによって、本人間のマッチングスコア  $s_{i,i,1}$  を計算する。被験者  $i$  のテンプレート画像  $t_i$  と被験者  $j$  ( $i \neq j$ ) の 1 日目の認証画像  $a_{j,1}$  をマッチングすることによって、他人間のマッチングスコア  $s_{i,j,1}$  を計算する。これらのマッチングスコアを表 1 に示す。

##### 4.2.2. 経時変化による影響

被験者  $i$  の経時変化による影響を調査するために、被験者  $i$  のテンプレート画像  $t_i$  と被験者  $i$  の  $d$  日目

表 1 : 全被験者の 1 日目のマッチングスコア

	$a_{1,1}$	$a_{2,1}$	$a_{3,1}$	$a_{4,1}$
$t_1$	0.55	0.08	0.09	0.08
$t_2$	0.08	0.44	0.09	0.10
$t_3$	0.09	0.09	0.38	0.09
$t_4$	0.08	0.10	0.09	0.37

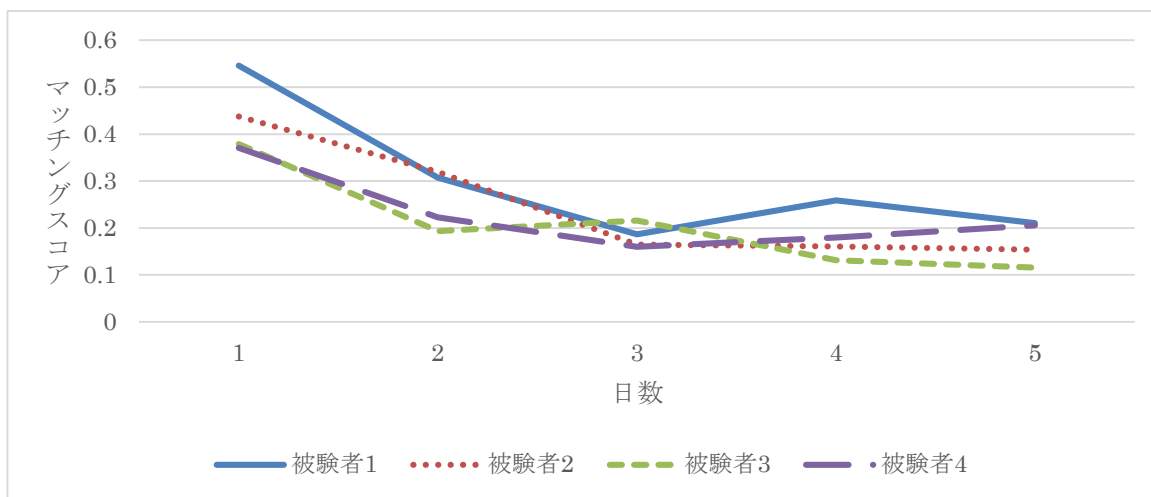


図 4: 同一被験者の各日のマッチングスコア

( $d=1, \dots, 5$ ) の認証画像  $a_{i,d}$  を比較して各日のマッチングスコア  $s_{i,d}$  を求めた。求めた結果を図 4 に示す。

### 4.3. 考察

表 1 の結果より，微細爪表面の凹凸パターンを利用した場合，4 人程度のユーザであれば，マッチングスコアが閾値を越えているか否かによって本人と他人を識別できる。すなわち，爪の微細部位を利用したマイクロ生体認証の実現可能性が確かめられた（微細爪表面の凹凸パターンによって個人認証が可能であるという見込みが得られた）。

経時変化によるマッチングスコアの変化を調べた結果，各ユーザの本人間のマッチングスコアは日々低下することがわかった。ただし，他人間のマッチングスコアの最大値は約 0.10 であり，本人間のマッチングスコアの最小値は約 0.12（被験者 3 のテンプレートと 5 日目の認証画像間のマッチングスコア）である。すなわち，今回の実験においては，経時変化によって本人間のマッチングスコアが低下したとしても，本人拒否が発生することがないことが期待される。

マッチングスコア低下の原因を，テンプレート画像と認証画像を目視で比較することで探った。その結果，爪自体の経時変化と撮影環境の変動という二つの原因が推測された。爪は日常的にモノと接触することが多い部位である。接触によって表面が削られることで，経時変化が起こり得る。また，爪の表面は準鏡面かつ曲面であるため，撮影時にあてる光に対して反射の仕方が毎回異なる。4.1 節で述べたとおり，今回の実験では手動で位置合わせを行ったが，認証画像撮影時に，爪に映り込む照明の状態をテンプレート画像と完全に一致させることは困難であった。その結果，撮影画像に映り込む光の具合が毎回異なり，これがスコアの低下につながっている。

しかし，これら 2 つの原因がそれぞれどの程度スコア低下に影響しているかは明らかになっていない。今後，さらなる実験で検証するとともに，対策を講じていく予定である。

### 5. おわりに

本稿では，微細爪画像を利用したマイクロ生体認証を提案し，その可能性を探った。プロトタイプシステムを用いて 5 日間の実験を行い，提案方式の実現可能性と経時変化の影響を評価した。今後は，プロトタイプシステムの改良を行ったのち，より大規模な実験を通じて提案方式の有効性を検証する。

### 文 献

- [1] T. Putte, and J. Keuning. "Biometrical fingerprint recognition: Don't get your fingers burned." Proc.IFIP TC8/WG8.8 Fourth Working Conf. on Smart Card Research and Advanced Applications, ed. Domingo-Ferrers, pp.289-303, 2000.
- [2] "Politician's fingerprint 'cloned from photos' by Zhacker, <http://www.bbc.com/news/technology-30623611>, Feb.2017.
- [3] 眞野勇人, 兼子拓弥, 高橋健太, 西垣正勝, "マイクロ生体認証の提案とその一事例報告," 信学技報, Vol.114, No.520, BioX2014-64, pp.153-157, Mar.2015.
- [4] 藤田真浩, 眞野勇人, 村松弘明, 高橋健太, 西垣正勝, "肌理画像を利用したマイクロ生体認証の長期実験に関する報告," 信学技報, Vol.116, No.263, BioX2016-31, pp.77-82, Oct.2016.
- [5] 野田真由美, 斎藤文彦, "濃度ブロック相関に基づく爪画像による個人認証," 電学論 C, Vol.125, No.11, pp.1722-1729, (社)電気学会, 2005.
- [6] 松本光太郎, "爪切りの心理学に向けた基礎検討," 人文コミュニケーション学科論集, Vol.15, pp.17-35, 茨城大学人文学部, Sep.2013.