

生体反射を利用した認証方式

西垣正勝[†] 荒井大輔^{††}

生体認証は、本人性そのものを認証できる、パスワードなどを記憶する負荷がない、認証用トークンなどを所持するわずらわしさがなく、他の認証技術と比較して多くの長所を持つ。しかしながら、生体認証に使用される生体情報は一般的に容易に漏洩するという重大な問題が存在する。したがって、生体情報が漏洩した場合であっても絶対になりすましができないような生体認証が強く望まれる。本論文では、生体の反射の個人差を使用した認証方式を提案する。生体反射は人間が自分で制御することのできない生体情報であり、これが不正者に明らかになっても、不正者が本人になりすますることは困難であると考えられる。ここでは、生体反射型認証のプロトタイプである人間の盲点位置とサッカド反応時間を用いた認証システムを構築し、その基礎実験から提案方式の可能性を示す。

A User Authentication Using Human Reflex

MASAKATSU NISHIGAKI[†] and DAISUKE ARAI^{††}

Recently, user authentication using biometrics has been brought to attention. Authentication based on “who he/she is” can be achieved with biometrics. However, biometrics information could be easily leaked and/or copied. Therefore, biometrics authentication in which biometric information is not required to be secret is desirable. This paper proposes a user authentication using a human reflex response. It is expected that even if people know somebody's reflex characteristics, it is difficult for anybody to impersonate the somebody, since nobody will basically not able to control his/her own reflex. Here, in this paper, a user authentication using blind spot and saccade response is shown as a prototype system of reflex-response-based authentication and its availability is studied.

1. はじめに

生体認証は記憶の負荷や携帯のわずらわしさがなく、認証用情報の忘却や紛失の恐れもないため、非常に魅力的な本人認証技術であるといえる。しかしながら、指紋であれば残留指紋、虹彩であれば写真などから、その生体情報そのものが容易に漏洩するという重大な問題が存在する¹⁾。この問題に対処するために以下のような生体情報を用いた生体認証技術が提案されている。

- (1) 漏洩しにくい生体情報
- (2) 動的な生体情報

(1)を利用した認証には、たとえば指や掌の静脈を用いた認証などが実用化されている^{2),3)}。また、(2)を利用した認証には(手書きの)署名などがある⁴⁾。

しかし、生体認証は登録された生体情報と認証の際に入力された生体情報との照合によって認証を行っているため、認証装置側に本人の生体情報を保管せざるをえない。そのため、(1)のような通常では漏洩しにくいと考えられる生体情報であっても、認証装置から不正に生体情報が盗まれる可能性が否定できない。また、壁などにセンサを隠すことや、フィッシングによって、ユーザの望まない状況で不正に生体情報が盗られる恐れもある。一方、(2)のような動的な生体情報であっても、署名のように随意行動に基づくものである場合、不正者が訓練により正規ユーザの筆跡を習得するなどのなりすましが考えられる。よって、特に重要な機密情報にアクセスする際の認証などにおいては、生体情報が漏洩しても絶対になりすましができず、また、訓練などにより習得することもできないような生体認証の要求が考えられる。

そこで本論文では、これを解決する方式の1つとして、生体の反射を利用した認証方式を提案する。反射は人間が自分で制御することのできない生体情報であり、これが不正者に明らかになっても、不正者

[†] 静岡大学創造科学技術大学院
Graduate School of Science and Technology, Shizuoka University

^{††} 静岡大学大学院情報学研究科
Graduate School of Informatics, Shizuoka University

が本人になりすますことは困難であると予想される。ここでは、そのプロトタイプである人間の盲点位置とサッカーボール反応時間を用いた認証システムを構築し、その初期実験から提案方式の可能性を示す。

2. 生体反射型認証

2.1 生体反射とその認証への応用

反射とは、外界の作用によって感覚器が刺激されたときに、筋肉などが意識とは無関係に反応を起こすことであり、つねに決まったかたちで、自動的かつ機械的に、そして瞬間的に現れる⁵⁾。本論文では、その意味を少し大きくとり、人間が意識的に制御することができない生体反応を反射と定義する。

人間には様々な反射の存在が確認されており、その反応に何らかの個人差が含まれるようであれば認証への利用が考えられる。たとえば、瞳孔には眼球に入る光が急に強さを増した際に縮瞳する対光反射の存在が知られている⁶⁾が、対光反射を誘発する光刺激と瞳孔の縮瞳の仕方との関係には有意な個人差が存在することが確かめられている⁷⁾。

生体反射は、その反応を本人が意識的に制御することは難しいと考えられている。このため、たとえば「ユーザ A であれば、ある光刺激 S に対して瞳孔が Q% 収縮する」という認証情報が漏洩したとしても、A 以外のユーザがユーザ A 特有の生体反射（その刺激 S に対して瞳孔が Q% 収縮する）を模倣（訓練による習得を含む）することは困難と予測される。すなわち、生体反射の個人差に基づく本人認証においては、個人認証の依拠となる生体情報を公開したとしても他人によるなりすましは困難なものとなる。

虹彩を用いた生体認証方式の中に、対光反射をユーザの生体検知（liveness detection）のために使用しているものもある⁸⁾。しかし、生体検知は反射の有無を調べるのみであり、それがゆえになりすましの成功例などが報告されている^{9),10)}。本論文は生体反射そのものの個人差を用いて認証を実施することによってさらに頑強な生体認証の実現を提案するものであり、既存の生体検知の概念とは一線を画する。

ただし残念ながら、著者らが調べた範囲においては、現時点のセンシング技術で計測可能な生体情報の中で、実用レベルで本人認証に使用できるほどの個人差を有する生体反射は見つかっていない。たとえば、対光反射による縮瞳反応はストレスなどの心的要因により変化する¹¹⁾ため、これを安定してとらえることはできない。そこで本論文の現段階では、生体反射を誘発する刺激を提示する部分に個人差を有する生体情報を

巧みに組み合わせることにより、反射の個人差を間接的に引き出し、これを認証に利用する。この場合、反射そのものの個人差を直接利用する理想的な方法に比べると不正者による模倣の可能性が残るものの、反射を単なる生体検知のために独立に用いる既存の生体認証と比較して、なりすまし耐性の向上が期待される。

2.2 盲点とサッカーボールおよびその認証への応用

人間の眼は、視野の中心部（中心窩）が最も解像度が高い。このため人間は、体、顔、眼球をコントロールして、興味の対象を視野中心部でとらえようとする。本論文では、人間の視界の中で視野中心部がとらえている点を「注視点」と呼ぶことにする。ここで、眼球は視野の周辺部でとらえた目標物を注視点に捕捉するにあたり、目標物に向かって高速かつ跳躍的に眼球を移動させることが知られている⁶⁾。この眼球運動は「サッカーボール」と呼ばれる。視野周辺部に注視の対象となる目標刺激（以下、視標）が現れてからサッカーボールが起るまでの潜時は 100 ms ~ 500 ms であることが報告されている⁶⁾。サッカーボール反応時間にはある程度の個人差も存在するが、個人内のばらつきも大きく^{12),13)}、サッカーボールの反応時間だけでは基本的には認証には利用できないと考えられる。

一方、人間の眼には網膜からの神経束や血管が眼球から脳へと出ていく場所が存在する。この部分は光を電気信号に変換する役割を担う視細胞が存在しないため視覚情報が欠落しており、「盲点（または盲斑）」と呼ばれている¹⁴⁾。両眼で見た場合は、一方の眼球の盲点部の視覚情報はもう一方の眼で補われるため、視野欠損は生じない。また、片眼視の際にも、脳の中で盲点部の視覚情報が周囲の映像によって補完されて知覚されるため、人間は普段、盲点の存在に気付くことはない。

眼球における盲点の位置は解剖学的に定点であるため、注視点に対する盲点の相対位置を一度測定しておけば、注視点をリアルタイム計測することにより時々刻々の盲点（視野欠損領域）の位置を知ることができる。注視点と盲点の相対位置にはある程度の個人差が存在するが、認証に利用可能なほど有意な差ではない。しかし、現在の一般的な注視点検出装置においては、ユーザによる眼球の物理的な形状の差異や生理的な個体異差を補償するために、あらかじめユーザごとに注視点の校正（以下、キャリブレーション）が要求される^{15),16)}。このため、ユーザ A のキャリブレーション

たとえば前述の文献 8) の方式では、対光反射の有無と虹彩パターンの検査を独立に行うものであり、生体反射と生体情報の間には関係はない。

データを用いてユーザ B の注視点を検出しようとしても、注視点を正しく取得することができない。したがって、注視点の位置から盲点の位置を計測するにあたって、キャリブレーションデータの個人差を含めて考えた場合には、盲点位置には有意な個人差があると見なしてよいと考えられる。これに関しては 2.3 節で詳細に説明する。

個人差を有する生体情報である盲点位置をサッカーの誘発に適切に組み合わせることにより、生体反射型認証の一方式を実現することが可能である。すなわち、正規ユーザ A の盲点内および盲点外に視標を表示し、視標出現時からサッカーが起るまでの時間を計測することによってユーザ認証を行う。盲点位置に個人差が含まれるため、視標の表示位置によってサッカー反応時間にユーザ間で差が生じる。その差をもって本人と他人を識別できる。本方式においては、有意な個人差を有する盲点位置を「サッカーを誘発するトリガ」として利用し、盲点位置に起因する認証情報を「人間が自分の意思で制御することが困難である生体反射」に変換して観測することにより、なりすましが困難な認証を実現している。認証方式の詳細は 3 章で述べる。

2.3 個人を識別する要素

2.3.1 キャリブレーションデータ

眼球においては、ユーザごとに眼球的な形状、眼球的な物理的中心と中心窩の相対位置などが異なっており、特に眼球形状に関する諸要因には個人差が含まれることが知られている^{16),17)}。このため、注視点検出装置を使用するにあたっては、あらかじめユーザごとにキャリブレーションを行い、この個人差を校正しておくことが必要となる。また、本論文において使用する注視点検出装置においては眼球付近にセンサを設置することになるが、人によって顔の大きさや目の位置が異なるため、このセンサ設置位置（今回の実験では、アゴ台の設置位置は全ユーザ共通として、アゴ台を基準にしたセンサの相対位置を「センサ設置位置」として使用する）にも大きな個人差が含まれる。さらに、検出された注視点から盲点の位置を知るためには、事前にユーザごとに、盲点と注視点の相対位置についても求めておく必要がある。ただし、盲点と注視点の相対位置に関しては、個人差は存在するものの、個人の識別に使えるほどの有意な差ではない。

すなわち本方式においては、注視点検出装置のキャリブレーションデータ、センサ設置位置、盲点と注視点の相対位置のそれぞれの個人差がユーザを識別する要素となる。以後、簡単のために、注視点検出装置の

キャリブレーションデータおよびセンサ設置位置の 2 つを合わせて「(広義の)キャリブレーションデータ」と呼ぶ。

2.3.2 盲点位置測定におけるキャリブレーションデータの影響

本方式においては、注視点検出装置を用いてユーザ A の盲点を計測するにあたり、ユーザ A のキャリブレーションデータを用いる。2.2 節で述べたように、ユーザの盲点と注視点の相対位置には認証に利用可能なほどの個人差は含まれない。しかしながら、キャリブレーションデータ（注視点検出装置のキャリブレーションデータとセンサ設置位置）の違いによって、注視点検出装置を介して計測した注視点には有意な個人差が含まれるため、そこからの相対位置で求まる盲点位置にも個人差が含まれると考えることができる。

簡単のため、盲点と注視点の相対位置 $(\Delta x, \Delta y)$ がまったく同じであるユーザ A とユーザ B を仮定する。ここで、盲点と注視点の相対位置以外の眼球形状に関する各種の値は両ユーザで異なる。

ユーザ A のキャリブレーションデータを用いてユーザ A の注視点を計測する場合は、ユーザ A の注視点 (X, Y) を正しく得ることが可能である。よって、 $(X + \Delta x, Y + \Delta y)$ を計算してやれば、正確にユーザ A の盲点を求めることができる。

一方、ユーザ A のキャリブレーションデータを用いてユーザ B の注視点を計測した場合には、両者の眼球形状が異なるため、ユーザ B の注視点は誤った値 (X', Y') として計測される。すなわち、B の盲点位置は $(X' + \Delta x, Y' + \Delta y)$ として求まる。

このように、ユーザの「実際の注視点」に対する盲点の相対位置がユーザ A とユーザ B で同じであったとしても、注視点の測定にあたってキャリブレーションデータの個人差が影響するため、注視点検出装置を介して得られる盲点位置には個人差が含まれることが分かる。本論文では、これが事実であることを 5.1 節で確認する。

3. 盲点位置とサッカー反応時間を利用した生体反射型認証

3.1 認証方式

盲点位置とサッカー反応時間を利用した認証は以下の手順によって行われる。なお、本認証は盲点を利用するため、片眼で認証画面を見て認証を行う。

【登録フェーズ】

- (1) 正規ユーザは、認証装置が正規ユーザの注視点をリアルタイムで計測できるように、センサ設

置位置を決め、注視点検出装置のキャリブレーションを行う。

- (2) 認証装置は、正規ユーザの「実際の注視点」に対する盲点（視野欠損領域）の相対位置を測定する。
- (3) 認証装置は、(1)のキャリブレーションデータと(2)の相対盲点位置データをユーザ名とともに登録する。

【認証フェーズ】

- (1) 被認証者は認証装置にユーザ名を入力する。
- (2) 認証装置は、登録されているキャリブレーションデータおよび相対盲点位置データの中から当該ユーザ名のもをそれぞれ取り出す。そして、キャリブレーションデータを注視点検出装置にセットして、被認証者の注視点のリアルタイム計測を開始する。認証装置は、相対盲点位置データを用い、検出された注視点からの相対位置を計算することにより、被認証者の盲点（視野欠損領域）をリアルタイムで捕捉することが可能である。
- (3) 認証装置は、認証画面内のランダムな位置に視標を表示する。
- (4) 被認証者は表示された視標を眼で追う。被認証者が視標を注視点に捕捉する際にサッカードが起こる。認証装置はサッカード反応時間を計測する。
- (5) 認証装置は、視標が被認証者の盲点内に表示されたのか盲点外に表示されたのかという情報と、その際のサッカード反応時間を記録する。
- (6) (3)~(5)を必要な回数、繰り返す。

正規ユーザ A は、盲点外に視標が表示された場合には 100~500 ms でサッカードが起こり、視標を注視点に捕捉することが可能である。一方、視標が盲点内に表示された場合は、サッカードは起こらない。また、A 以外のユーザ B がユーザ A として（A のキャリブレーションデータと相対盲点位置データを使って）認証フェーズを実施した場合には、A と B の（注視点検出装置を介しての）盲点位置が少なからず異なるため、次のような反応が得られる。

- ユーザ A の盲点外かつユーザ B の盲点内に視標が表示された場合：ユーザ A ならば 100~500 ms でサッカードが起こるが、ユーザ B は視標を知覚できず、サッカードが起こらない。
- ユーザ A の盲点内かつユーザ B の盲点外に視標が表示された場合：ユーザ A ならば、サッカードが起こらないはずであるのに、ユーザ B は視

標に気付き、サッカードが起こる。

以上のような「反応の差」によって、正規ユーザ A の認証が可能である。具体的には、「視標が盲点内に表示された場合にはサッカードが起こらず、盲点外に表示された場合には 100~500 ms でサッカードが起こる」という反応が高い確率で得られたならば、被認証者をユーザ A とする。

3.2 なりすまし耐性

ユーザ B が能動的な不正者であった場合、正規ユーザ A のキャリブレーションデータおよび相対盲点位置データを盗んだうえでユーザ A へのなりすましを試みるであろう。さらに、ユーザ B 自身の盲点になりすましの邪魔になるので、ユーザ B は両眼で認証フェーズを実施するに違いない。しかしそのような場合も、以下のようにユーザ B のなりすましを検知することが可能であると考えられる。

- ユーザ A の盲点外に視標が表示された場合：ユーザ A の盲点位置情報を知っているユーザ B は、視標がユーザ A の盲点外に表示されたことを認識し、ユーザ A になりすますために視標を眼で追う。しかし、視標がユーザ A の盲点内に表示されたのか盲点外に表示されたのかを判断するために若干の時間を要するため、ユーザ B はユーザ A と比較してサッカード反応時間が遅れてしまう。
- ユーザ A の盲点内に視標が表示された場合：ユーザ B は、視標がユーザ A の盲点内に表示されたことを認識し、視標を無視しようとする。しかし人間は危険回避の本能から、視野の中に急に現れる視覚刺激には反射的に反応するようになっているため、ユーザ B は（訓練したとしても何回かに 1 回は）視標に眼がいつてしまう。

このように、生体反射型認証方式は、登録されている生体情報（キャリブレーションデータおよび相対盲点位置データ）が漏洩したとしても、なりすましが困難であると予想される。

4. 盲点位置とサッカード反応時間を利用した認証システム

4.1 システム構成

認証システムは認証プログラム制御装置、注視点検出装置、A/D 変換器、アゴ台、視標表示ディスプレイから構成される。各装置の詳細を以下に示す。

- 認証プログラム制御装置：3.1 節に示した登録フェーズ、認証フェーズの各ステップを実行するプログラムを C++ 言語により実装した。プログラムは、Athlon 2 GHz CPU, 512 MB Memory,

Windows 2000 professional のパーソナルコンピュータで実行される．注視点検出装置から A/D 変換器を介して被認証者の眼球の動きを電圧へと変換したデータを受け取り，その情報をもとに注視点位置ならびに盲点位置を計算する．登録フェーズにおける注視点検出装置のキャリブレーションおよび盲点位置の測定を行うサブルーチン，認証フェーズにおける視標の表示およびサッカード反応時間の計測を行うサブルーチンを含む．

- 注視点検出装置：強膜反射法⁶⁾により被認証者の眼球運動を電圧値 ($\pm 5V$ のアナログ値) へと変換し A/D 変換器へと出力する．竹井機器工業株式会社眼球運動測定装置 T.K.K.2930a を使用した．装置は調整器部とセンサ部から構成される．
- A/D 変換器：注視点検出装置が出力するアナログデータをデジタルデータへ変換し，USB 接続により認証プログラム制御装置に出力する．株式会社コンテック USB 対応絶縁型アナログ入力モジュール ADI12-8(USB)GY を使用した．サンプリング周期は 10 ms に設定した．
- アゴ台：被認証者の頭部を顎，額，左右側頭部の 4 点で固定し，注視点検出装置のセンサ部が，被認証者の右眼の位置にくるように縦 \times 横 \times 奥行き の 3 軸方向にセンサを移動させる機能を持つ．アゴ台の設置位置は全被験者で共通で，必ず同じ場所にアゴ (顔) が置かれるように座ってもらう．被認証者のセンサ位置の調整が行われるのは登録フェーズのみである．登録フェーズで調整を行った際のセンサ設置位置データはキャリブレーションデータの一部としてユーザ名とともに保存され，認証フェーズでは保存されたデータを用いて各被験者のセンサ位置が設定される．
- 視標表示ディスプレイ：認証プログラム制御装置の制御に従い，視標を表示する．認証プログラム制御装置の指示を被認証者に伝えるインタフェースでもある．SAMSUNG 32 型液晶ワイドカラーモニター SyncMaster 323T を使用した．画面サイズは 687.4×412.4 mm，解像度は $1,280 \times 768$ ピクセルである．

4.2 システム概観

システムを図 1 のように配置する．被認証者は認証時にはアゴ台に頭部を固定され，視標表示ディスプレイを片眼で見ることとなる．眼球の位置から視標表示ディスプレイまでの距離を 900 mm とし，画面の両端は視角で約 42° となるように設置した．システムの使用風景を図 2 に示す．また，図 3 に示すように注

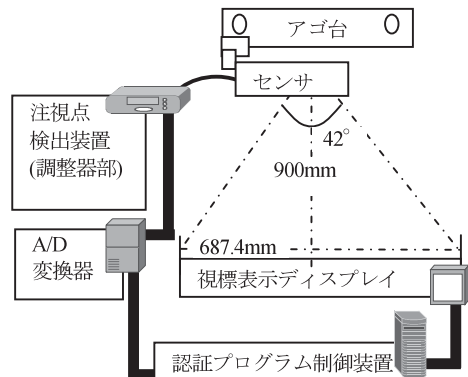


図 1 システムの概観 (俯瞰図)

Fig. 1 System overview.

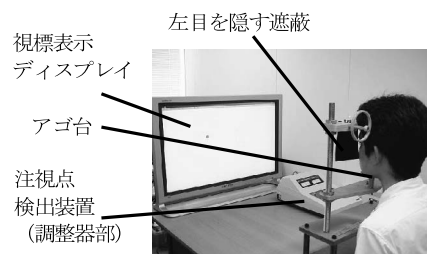


図 2 システムの使用風景

Fig. 2 Experimental scene.

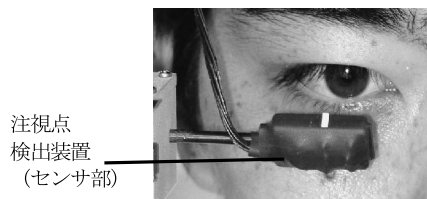


図 3 被認証者の右眼とセンサ

Fig. 3 User's right eye and the sensor.

視点検出装置のセンサ部は被認証者の右眼の下側に設置される．

4.3 認証プログラム

本認証方式は盲点の内側ないし外側に視標を表示した際のサッカードの反応時間を利用することで認証を行う．認証画面を図 4 に示す．認証画面には定点に注視目標が表示されており，被験者は認証中，基本的に注視目標を注視するように指示される．本実験では，被験者が注視目標を注視した時点における被験者の盲点を破線の円でつねに画面に表示することとした．表示される破線の円は，時々刻々の盲点の位置を表示するのではなく，被験者が注視目標を注視した際の被験者の盲点位置に固定されている．

視標の表示アルゴリズムを図 5 に示す．被験者が注視目標を注視してから 1.5 ~ 4.0 秒間のランダムな

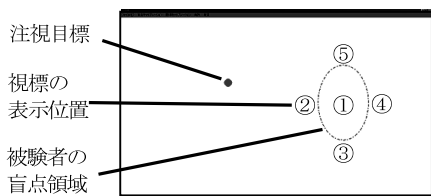


図 4 認証画面
Fig. 4 Authentication window.

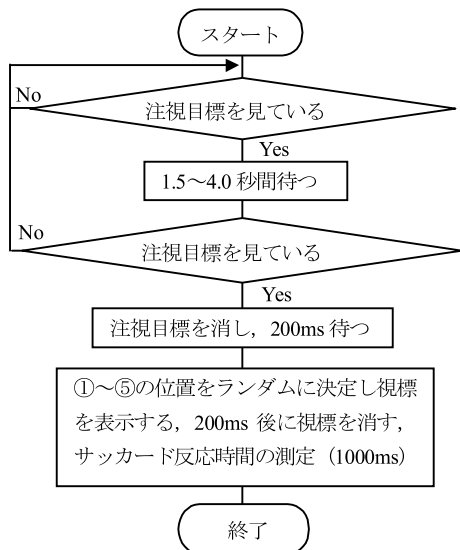


図 5 視標の表示アルゴリズム
Fig. 5 Algorithm for target indication.

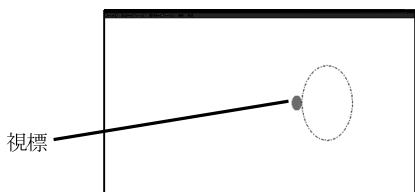


図 6 認証中 (視標表示中) の画面
Fig. 6 Authentication window (target onset).

間隔のウェイト期間において注視目標を消失させ、その 200 ms 後に被験者の盲点の中心 (図 4 中の ① の位置) または盲点の 4 方向近傍 (図 4 中の ②~⑤ の位置) のいずれかの位置に視標を表示させる。図 4 の ② の位置に視標が表示された際の画面の例を図 6 に示す。ウェイト期間中に被験者の注視点が注視目標から外れてしまった場合には、仕切り直しとなる。表示位置の決定はランダムであるが、本システムでは、① の位置が選ばれる確率は 40%、② の位置が選ばれる確率は 30%、③~⑤ の位置が選ばれる確率はそれぞれ 10%とした。なお ②~⑤ の位置においては、視標は盲点の外郭円 (破線の円) に接する位置を表

示される。視標の大きさは、被験者の盲点の大きさの縦 20% × 横 20%の赤い (RGB 値 255, 0, 0) 楕円とした。視標は ①~⑤ のいずれかの位置に表示された後、200 ms で消えるようになっている。

被験者は、基本的に注視目標を注視し、認証画面中のどこかに視標が急に表示された場合には視標に気づき次第、視標に視線を移すように指示されている。認証プログラムは、視標が表示された後、1 秒間、眼球運動を計測し、視標が表示されてから被験者のサッカーどが起こるまでの時間を計測する。

5. 実験

生体反射型認証の実現の可能性を示すため、4 章で実装した盲点位置とサッカーど反応時間を利用した認証システムを使用して、盲点位置の個人差、本人拒否率、他人受入率、なりすまし成功率を求める基礎実験を行った。なお、被験者は本学男子学生 10 人とした。

5.1 盲点位置の個人差の測定

まず、ディスプレイの一面に等間隔で順次、視覚刺激を提示していき、その視覚刺激が見えるか否かを測定することにより、10 人の被験者の右眼の盲点 (視野欠損領域) を測定した。10 人の被験者の注視点と盲点の相対位置を表 1 に示す。各値は、注視点から盲点の中心までの距離と、盲点の大きさを示している。たとえば、被験者 A の盲点 (視野欠損領域) はディスプレイ上で、A の注視点より X 軸方向に 483 ピクセル (視角で約 16.1 度)、Y 軸方向に 46 ピクセル (視角で約 1.5 度) 離れた位置を中心とした X 軸方向 185 ピクセル × Y 軸方向 229 ピクセル (視角で約 6.3 度 × 約 7.8 度) の長方形に内接する円の内部である。表 1 より、相対盲点位置 (ユーザの盲点と「実際の注視点」の相対位置) および盲点の大きさにはユーザの識別に使えるほどの有意な個人差はないことが確認できる。

しかし、2.3 節で説明したように本認証装置では、注視点に対する盲点の相対位置を前もって測定しておく、注視点検出装置でリアルタイム計測される注視点から時々刻々の盲点位置 (視野欠損領域) を算出する。よって、「注視点と盲点の相対位置の個人差」に「注視点検出装置における各被験者のキャリブレーションデータの個人差」が重畳されたものが、本方式における盲点位置の個人差ということになる。

そこで次に、被験者 A が他の被験者のキャリブレーションデータを使用した場合に、「注視点検出装置が算出する注視点」と「実際の注視点」との差がどの程度になるのかを測定した。結果を表 2 に示す。たとえば、被験者 A が被験者 B のキャリブレーションデー

表 1 盲点の相対位置と大きさ (単位: pixel)
Table 1 The position and size of blind spots.

	A		B		C		D		E	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
位置	483	46	502	87	414	15	470	81	414	43
大きさ	185	229	264	256	249	211	207	307	201	238
	F		G		H		I		J	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
位置	502	43	437	35	459	68	458	51	499	38
大きさ	197	220	229	159	193	256	197	240	213	265

表 2 キャリブレーションデータの比較 (単位: pixel)
Table 2 The calibration data.

A		B		C		D		E	
X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
0.0	0.0	227.7	98.5	-57.4	-1156.0	513.3	27.8	355.9	-128.8
F		G		H		I		J	
X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
758.6	724.3	652.1	-1.9	37.4	-114.4	112.3	-399.9	-222.8	-568.4

タを使用した場合、注視点検出装置はディスプレイ上で、被験者 A の本来の注視点より X 軸方向に 227.7 ピクセル (視角で約 7.7 度)、Y 軸方向に 98.5 ピクセル (視角で約 3.4 度) ずれた点を A の注視点だと判断している。

ただし本方式では、実際にはセンサ設置位置 (アゴ台を基準とした眼球の相対位置) に対してもキャリブレーションデータの一部となる。しかし、盲点位置の個人差を測定する本実験において、他の被験者のセンサ位置に設定された注視点検出装置を使用した場合、センサが眼球を正確にとらえることができなかった。このため、表 2 では、センサ設置位置については被験者 A 自身のものを用いた場合の測定結果を示している。

以上のように、被験者 A が他の被験者として認証フェーズを実施する場合には、被験者 A の注視点検出が他の被験者のキャリブレーションデータを用いて行われることになるため、被験者 A の実際の盲点の中心から他の被験者の盲点の中心までの距離は表 1 と表 2 の結果を重畳して表 3 のように換算できる。

すべての被験者に対して表 3 に相当するデータを測定したところ、同様の傾向が得られた。表 3 の距離においては被験者ごとのばらつきも十分大きく、キャリブレーションデータの個人差を考慮した形での盲点位置には有意な個人差が存在することが確認できる。ただし、本実験は被験者 10 人による結果であり、(キャリブレーションデータの個人差を考慮した形での) 注視点と盲点の相対位置が個人間で異なっていることが

表 3 キャリブレーションデータを考慮したうえでの盲点位置 (単位: pixel)

Table 3 The relative position of blind spots between users with consideration of the calibration data difference.

A		B		C		D		E	
X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
0.0	0.0	246.7	139.5	-126.4	-1187.0	500.3	62.8	286.9	-131.8
F		G		H		I		J	
X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
777.6	721.3	606.1	-12.9	13.4	-92.4	87.3	-394.9	-206.8	-576.4

普遍的に保証されているわけではないことを明記しておく。また、正確には、注視点-盲点間の距離が注視点検出装置の精度と比較して相対的に有意な差として観測できることを確かめる必要がある。

5.2 本人拒否率の測定

4 章で実装したシステムを使用して、本人拒否率を検証するため、各被験者に 100 回の認証試行を行ってもらった。すなわち、盲点の内側もしくは外側に視標を表示し、サッカー反応時間を測定するという試行を 10 人の被験者それぞれに対して 100 試行ずつ実施し、全体で 1,000 試行分のサッカー反応時間の結果を得た。なお、被験者の眼球の疲労を考慮して、10 試行ごとに 10 分以上の休憩を挟んだ。

すべての被験者のサッカー反応時間の分布を図 7 に示す。図 7 は横軸を視標が表示されてからサッカーが起こるまでの時間、縦軸を度数とするヒストグラムである。なお、サッカー反応時間が 1,000 ms ということは、サッカー反応時間の計測時間 (1,000 ms) 中にサッカーが起こらなかったことを示す。

実験結果に対し、「 ℓ 回の試行を 1 回の認証とした場合、盲点内に視標を表示した際のサッカー反応時間が 1,000 ms よりも短かった回数が m 回以下であり、かつ、盲点外に視標を表示した際のサッカー反応時間が 375 ms よりも長かった回数が n 回以下であったときに認証成功とする」という全被験者に共通の判定基準を採用した場合の、 ℓ と m と n の値に対するそ

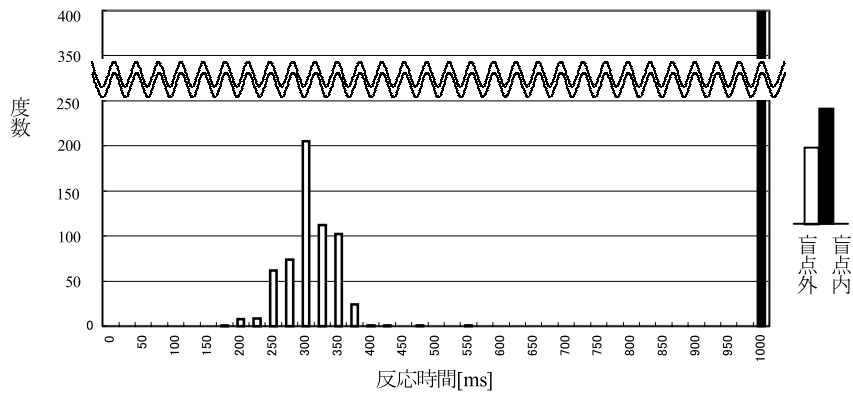


図 7 本人認証の際のすべての被験者のサカド反応時間の内訳
Fig.7 Saccade time on authentication.

表 4 平均本人拒否率および平均なりすまし成功率 (単位: %)
Table 4 Average FRR and FAR [%].

θ=5				θ=10			
m	n	FRR	FAR	m	n	FRR	FAR
0	0	2.0	12.0	0	0	4.0	0.0
0	1	0.0	35.0	0	1	0.0	8.0
1	0	2.0	24.0	1	0	4.0	4.0
1	1	0.0	57.5	1	1	0.0	20.0
θ=15				θ=20			
m	n	FRR	FAR	m	n	FRR	FAR
0	0	6.7	0.0	0	0	8.0	0.0
0	1	0.0	1.7	0	1	0.0	0.0
1	0	6.7	0.0	1	0	8.0	0.0
1	1	0.0	3.3	1	1	0.0	0.0

それぞれの平均本人拒否率 (FRR) を表 4 に示す。表 4 から、10 人の被験者による 1,000 回の試行に限った結果ではあるが、本方式により認証を行った場合に十分低い本人拒否率が確保できることが期待できる。

5.3 他人受入率の測定

他人受入率を調べるために、10 人の各被験者が自分以外の 9 人として認証されることが起こりうるか測定した。被験者 i が被験者 j として認証フェーズを行うにあたっては、被験者 j のキャリブレーションデータを用いて注視点が計測されることになる。また、測定画面 (図 4) 中には被験者 j の盲点位置が破線の円で表示されるわけであり、視標が表示される ①~⑤ の位置、および、視標の大きさも被験者 j の盲点を基準にして設定される。

しかしながら、本手法においては被験者が注視目標を注視したことをトリガとして認証が開始するように

なっている。そのため、被験者 i が被験者 j のキャリブレーションデータを用いて被験者 i の注視点検出を行う場合においては、注視点が正しく計測されず、被験者 i が注視目標を注視しても認証が始まらない。すなわち本手法においては、キャリブレーションデータが個人を識別するためのテンプレートの一部となっており、テンプレートと被験者との差異があまりにも大きかったために他人許容が発生しなかった。

5.4 なりすまし成功率の測定

生体反射型認証方式は、登録されている生体情報が漏洩したとしても、なりすましが困難である。これを確かめるために、不正者が正規ユーザのキャリブレーションデータを盗んだうえで、正規ユーザへのなりすましを試みる場合の成功率を測定する。

本実験では、考えられうる最悪の条件下 (不正者にとっては最も良い条件下) でのなりすまし成功率を測定する。まず、不正者はキャリブレーションデータを解析して、正規ユーザと自分の注視点のズレを知り、訓練によって、あたかも正規ユーザのように注視点をコントロールできるようになったと仮定する。また、自身の盲点になりすましの邪魔になるので、不正者は両眼で認証フェーズを実施すると仮定する。そのうえで、不正者は正規ユーザの盲点位置を確実に見極めることができるようになったとする。すなわちこれは、なりすましが「あたかも本人のように振る舞う」ことが可能になったということを想定しての実験となる。以上より本実験では、各被験者に「両眼」で「自分自身」になりすましを行ってもらうことにした。ここで、なりすましには、視標が盲点内に含まれるか否か (図 4 において破線で囲まれた領域内に視標が表示されたか否か) の判断が必要であることに注意されたい。

4 章で実装したシステムを使用して、各被験者に

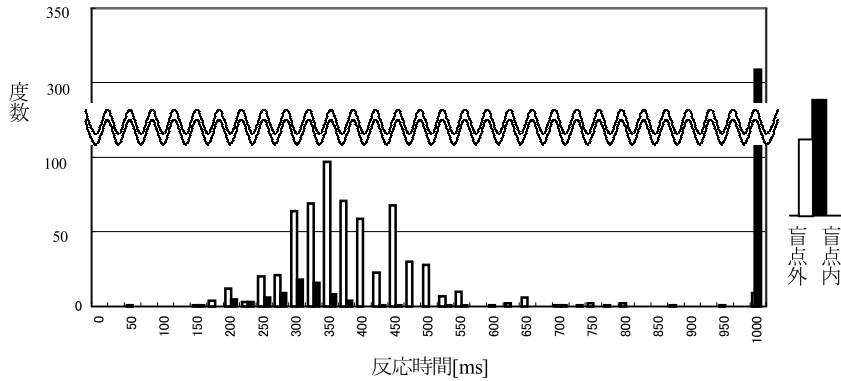


図8 なりすましの際のすべての被験者のサッカード反応時間の内訳

Fig. 8 Saccade time on impersonating.

1,000回のなりすまし(認証)試行を行ってもらった。実験の方法は、片眼か両眼かの違いを除き、5.2節で行った本人拒否率の測定実験とまったく同様である。すべての被験者のなりすましにおけるサッカード反応時間の分布を図8に示す。

実験結果に対し、5.2節と同様に「 ℓ 回の試行を1回の認証とした場合、盲点内に視標を表示した際のサッカード反応時間が1,000msよりも短かった回数が m 回以下であり、かつ、盲点外に視標を表示した際のサッカード反応時間が375msよりも長かった回数が n 回以下であったときに認証(なりすまし)成功とする」という全被験者に共通の判定基準を採用した場合の、 ℓ と m と n の値に対するそれぞれの平均なりすまし成功率(FAR)を表4に示す。

図7、図8より、正規ユーザのサッカード反応時間の分布となりすまし者のサッカード反応時間の分布には明らかな違いが存在することが分かる。しかしながら、正規ユーザの反応時間の分布においてもその分散が大きく、かつ、正規ユーザとなりすまし者の分布に重なりがあるため、正規ユーザとなりすまし者を識別するには ℓ 、 m 、 n の値をある程度大きく設定する必要がある。今回の5.2節と5.4節の実験では、 $\ell=20$ 、 $m=0$ 、 $n=1$ を採用することによって、10人の被験者による計2,000回の試行($\ell=20$ であるため100回の認証に相当)においては本人拒否の発生となりすましの成功をとともに0とすることができるという結果となった。

5.5 6カ月後の本人拒否率およびなりすまし成功率

サッカード反応時間および盲点の位置や大きさの経年変化については知見が少ない。そこで、5.2節～5.4節に示した実験から約6カ月の間をあけて再度本人拒否率およびなりすまし成功率の測定実験(各々1,000回、計2,000回の試行)を行った。実験結果を

表5 6カ月後の平均本人拒否率および平均なりすまし成功率(単位:%)

Table 5 Average FRR and FAR (6 months later) [%].

$\ell=5$				$\ell=10$			
m	n	FRR	FAR	m	n	FRR	FAR
0	0	7.5	18.0	0	0	15.0	2.0
0	1	0.0	56.0	0	1	0.0	17.0
1	0	7.5	22.0	1	0	15.0	3.0
1	1	0.0	65.5	1	1	0.0	23.0
$\ell=15$				$\ell=20$			
m	n	FRR	FAR	m	n	FRR	FAR
0	0	21.7	3.3	0	0	30.0	0.0
0	1	5.0	8.3	0	1	0.0	2.0
1	0	21.7	3.3	1	0	30.0	2.0
1	1	5.0	11.7	1	1	0.0	4.0

表5に示す。また、正規ユーザとなりすまし者のサッカード反応時間の分布をそれぞれ図9、図10に示す。

図9と図7、図10と図8の比較の結果、約6カ月後の実験においても、正規ユーザとなりすまし者の反応の分布はほぼ同じであり、10人という限られた数の被験者ではあるものの、本方式においては半年程度のスパンであれば顕著な経年変化が現れることはないようであることが確認された。

しかしながら、表5より、本実験において、 $\ell=20$ の場合であっても、本人拒否の発生となりすましの成功をとともに0とすることはできなかった。これは、5.4節で述べたように、「正規ユーザの反応時間の分布における分散が大きく、かつ、正規ユーザとなりすまし者の分布に重なりがあるため、正規ユーザとなりすまし者を識別することが難しい」という事実に起因しており、その問題の深刻さが改めて浮き彫りとなる結

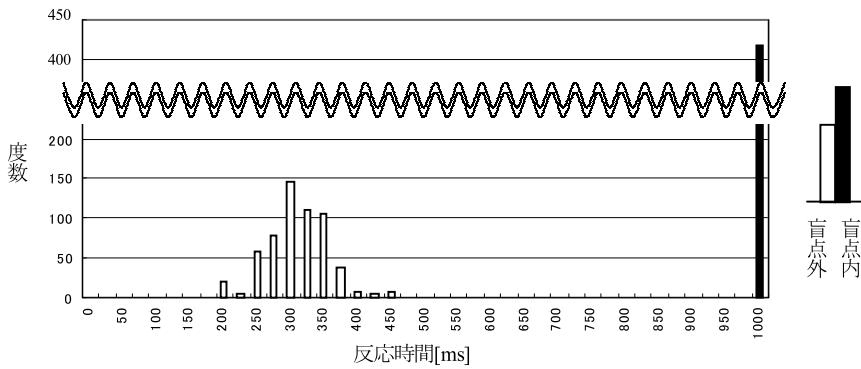


図 9 6 カ月後の本人認証の際のすべての被験者のサッカド反応時間の内訳
Fig.9 Saccade time on authentication (6 months later).

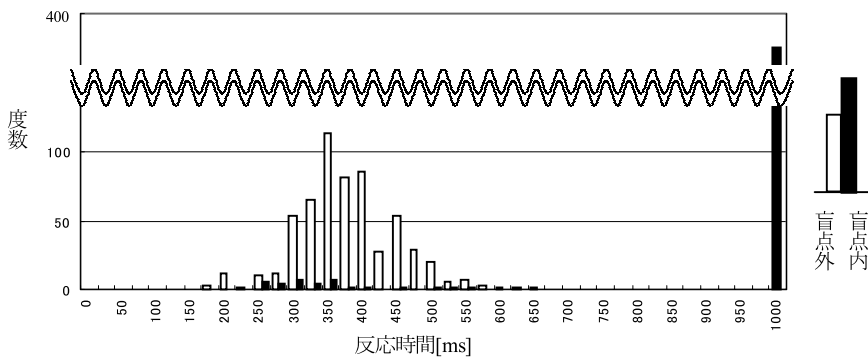


図 10 6 カ月後のなりすましの際のすべての被験者のサッカド反応時間の内訳
Fig.10 Saccade time on impersonating (6 months later).

果となった。

6. まとめ

生体情報そのものが漏洩しやすいという生体認証がかかえる重大な問題を解決するために、生体の反射を利用した認証方式を提案した。生体反射は人間が自分で制御することのできない生体情報であるため、これが不正者に明らかになったとしても、不正者が本人になりすますことは困難であると考えられる。本論文では、生体反射型認証のプロトタイプである盲点位置とサッカド反応時間を用いた認証システムを構築し、基礎実験を通して提案方式の可能性を示した。10人の被験者による計4,000回の試行ではあるが、本人拒否率、他人受入率、なりすまし成功率を低く抑えることができた。既存の生体検知を独立に付加した生体認証方式においては、なりすましが可能である製品も存在したことが文献10)などで報告されている。これに対して本方式は、現時点では限られた被験者数ではあるものの、認証に利用する情報が漏洩した場合を想定してのなりすまし耐性という点において、あるレベル

の性能が得られたことは評価できると考える。

しかし、盲点位置とサッカド反応時間による認証方式の根拠を示すためには、十分な数の被験者を確保し、i) キャリブレーションデータの個人差を考慮した形での注視点と盲点の相対的位置が万人の間で異なっていること、ii) その注視点と盲点の相対的位置が注視点検出装置の精度と比較して有意な差として観測できること、iii) サッカド反応時間がユーザの日々の体調の変化によらず一定であること、iv) 盲点の位置および大きさやサッカド反応時間が長期にわたって変化しないことなどを確認することが必要である。また、サッカド反応時間は個人内であっても分散が大きいため、v) サッカド反応時間の分散を小さくする方法の検討、もしくは、vi) 本人と他人を識別するための判定閾値の調整方法を検討することも重要な問題となる。これらについては、今後の課題としたい。

また、本論文の現段階では、個人差を有する生体情報を反射の誘発に関係させることにより生体反射の個人差を間接的に引き出すという方式となっている。このため、たとえば、不正者が外科手術あるいは精巧な

コンタクトレンズにより、自分の眼球形状を正規ユーザの眼球形状に完全に合わせ込むこと(すなわち、注視点検出装置のキャリブレーションの個人差を消失させること)ができたとしたら、なりすましに成功する可能性が残る。これを防ぐには、模倣することが非常に困難であると考えられる生体反射そのものの個人差を直接利用するタイプの認証方式の実現が必須である。今後は、盲点位置とサッカド反応時間を用いた認証方式をさらに改良するとともに、他の生体反射を利用した認証システムの提案も行っていきたい。

謝辞 本研究の成果の一部は、応用セキュリティフォーラムの研究プロジェクトとして推進されたものである。

参 考 文 献

- 1) 松本 勉：セキュリティ技術の弱点を発見したらどうしますか？，電子情報通信学会誌，Vol.84，No.3，pp.202-204 (2001)。
- 2) 日本郵政公社ホームページ，日本郵政公社報道発表資料．<http://www.japanpost.jp/pressrelease/japanese/kawase/050228j301.html>(確認日 2005年 11月 25日)。
- 3) 東京三菱銀行ホームページ，東京三菱銀行プレスリリース．<http://www.btm.co.jp/press/news2004/pdf/news212.pdf> (確認日 2005年 11月 25日)。
- 4) 中西 巧，西口直登，伊藤良生，福井 裕：DWT によるサブバンド分解と適応信号処理を用いたオンライン署名照合，電子情報通信学会論文誌 A，Vol.J87-A，No.6，pp.805-815 (2004)。
- 5) 森 宏一(編)：哲学辞典，p.385，青木書店(2000)。
- 6) 苧阪良二，中溝幸夫，古賀一男(編)：眼球運動の実験心理学，p.20，p.45，p.101，名古屋大学出版会(1993)。
- 7) 玻座真忠明，小崎智照，安河内朗：異なる色光が瞳孔の反応に及ぼす影響，日本生理人類学会誌，9 特別号(2)，pp.40-41 (2004)。
- 8) 小田高広：アイリスコード生成装置およびアイリス認識システム，特許第 3315648 号。
- 9) 松本 勉，平林昌志：虹彩照合技術の脆弱性評価(その2)，コンピュータセキュリティシンポジウム(CSS2003) 論文集，pp.187-192 (2003)。
- 10) 宇根正志，松本 勉：生体認証システムにおける脆弱性について：身体的特徴の偽造に関する脆弱性を中心に，金融研究，Vol.24，No.2，pp.35-84 (2005)。
- 11) 野村幸弘，星野 聖：ストレスの瞳孔動揺に及ぼす影響，映像情報メディア学会技術報告，Vol.22，No.33，pp.7-11 (1998)。
- 12) Fischer, B. and Weber, H.: Express saccades and visual attention, *Behavioral and Brain Sciences*, Vol.16, pp.553-610 (1993)。
- 13) Fischer, B. and Ramsperger, E.: Human express saccades: Effects of randomization and daily practice, *Experimental Brain Research*, Vol.64, pp.569-578 (1986)。
- 14) Gregory, R.L. (著)，近藤倫明，中溝幸夫，三浦佳世(訳)：脳と視覚 グレゴリー視覚心理学，p.73，ブレイン社(2001)。
- 15) 株式会社クレークトインターナショナルホームページ，ISCAN 眼球運動・注視点追跡システム．<http://www.creact.co.jp/jpn/por.pdf>(確認日 2005年 11月 25日)。
- 16) 大野健彦：視線インタフェースから視線コミュニケーションへ，情報処理学会研究報告，2001-HI-95，Vol.2001，No.087，pp.171-178 (2001)。
- 17) 大野健彦，武川直樹，吉川 厚：眼球形状モデルに基づく視線測定法，第 8 回画像センシングシンポジウム講演論文集，pp.307-312 (2002)。

(平成 17 年 11 月 28 日受付)

(平成 18 年 6 月 1 日採録)



西垣 正勝(正会員)

平成 2 年静岡大学工学部光電機械工学科卒業。平成 4 年同大学大学院修士課程修了。平成 7 年同大学院博士課程修了。日本学術振興会特別研究員(PD)を経て、平成 8 年静岡大学情報学部助手。平成 11 年同講師、平成 13 年同助教授。平成 18 年より同大創造科学技術大学院助教授。博士(工学)。情報セキュリティ、ニューラルネットワーク、回路シミュレーション等に関する研究に従事。



荒井 大輔

平成 16 年静岡大学情報学部情報科学科卒業。平成 18 年同大学大学院修士課程修了。同年株式会社 KDDI 研究所入社。在学中、情報セキュリティに関する研究に従事。