

4 コマ漫画 CAPTCHA の検討

上原 章敬* 鈴木 徳一郎†
山本 匠†† 西垣 正勝†††

近年, 既存の CAPTCHA における脆弱性が多くの研究者によって指摘されており, 人間の「より高度な認知処理」を利用して CAPTCHA を強化する方法が検討されている. また, 人間である正規ユーザにとって, CAPTCHA に回答することは本来不要の「煩わしい手間」であるため, CAPTCHA の利便性についても考慮しなければならない. これらに対し, 著者らは人間の「ユーモアを解する能力」に着目することで, ユーザにとって「心地良い」, エンターテインメント性を有した新しい概念の CAPTCHA を提唱し, その実現の第一歩として 4 コマ漫画を用いた CAPTCHA (以降 4 コマ漫画 CAPTCHA と呼ぶ) を提案している. しかし, 4 コマ漫画 CAPTCHA には安全性について課題が残っており, さらにエンターテインメント性に関する評価についても未検討のままであった. そこで本稿では, 4 コマ漫画 CAPTCHA の安全性に対していくつかの解決策を挙げ, 比較実験を通じてそれらの有効性を検証する. さらに, アンケート調査を実施し, 4 コマ漫画 CAPTCHA のエンターテインメント性について調査する.

A study on Four-panel cartoon CAPTCHA

AKIHIRO UEHARA* TOKUICHIRO SUZUKI†
TAKUMI YAMAMOTO†† MASAKASTU NISHIGAKI†††

As PCs increasingly acquire the ability to mimic human users, malwares are increasingly able to successfully negotiate conventional CAPTCHA prompts. In light of this development, we believe CAPTCHAs should be based on a more advanced human cognitive processing ability than that presently used. In addition, it is also important to keep in mind that answering CAPTCHAs is an added annoyance for users, who tend to find it bothersome to have to prove that they are humans every time they attempt to access the Web. In consideration of this, CAPTCHAs should be made more enjoyable for users. To cope with these issues, we have focused on the human ability to understand humor, and proposed the concept of a new type of Turing test that uses four-panel cartoons, which would make CAPTCHAs fun and enjoyable. However, we have found that a malware could respond with a correct answer at a rate of one out of every twenty four tries in this type of CAPTCHA. Moreover, the entertainment value of randomly arranged four-panel-cartoon has yet to be verified. In this paper, we propose three modified systems to improve robustness against malwares and to carry out comparative

experiments to confirm the effectiveness of the modifications. Finally, we present a questionnaire survey to assess the enjoyability of four-panel-cartoon CAPTCHA.

1. はじめに

WEB サービスの発展ともなっており, 人間と機械を識別するチューリングテストの有用性が益々高まっている. 無料 WEB メールやブログなどのインターネットにおける WEB サービス提供サイトに対し, 自動プログラム (マルウェア) を使って, 大量にアカウントを不正取得する, 多数のブログサイトにスパム記事を不正投稿する, 大量に不正なサービス利用要求を行うなどのいわゆる「DoS : Denial of Service (サービス不能)」攻撃が定常的に頻発しているためである. チューリングテストは, このようなマルウェア (悪意のある自動プログラム) と正規のユーザ (人間) を識別するために必須の技術であり, 現在, CMU の研究者によって開発された「CAPTCHA[1]」と呼ばれる方式が広く利用されている. CAPTCHA の基本形態は, 歪曲やノイズが付加された文字列画像を WEB ページに提示し, 閲覧者がその文字を判読できるか否かを試すものである (図 1).



図 1 Google で利用されている CAPTCHA (文字列 CAPTCHA) [2]
Figure 1 Example text recognition based-CAPTCHAs [2]

しかし, 近年, 既存の CAPTCHA における脆弱性が多くの研究者によって指摘されている[3]. 例えば, 文字列の判読能力を試す CAPTCHA においては, すでに高機能な OCR (自動文字読取) 機能を備えるマルウェアが出回るようになっている[4]. 文字列を難読化させることによってマルウェアを排除する確率を向上させることはできるが, 同時にそのような文字は人間にとっても難読度が高まるため, 人間の正答率まで低下

*静岡大学情報学部情報科学科, 〒432-8011 浜松市中区城北 3-5-1

Graduate school of Informatics, Shizuoka University, 3-5-1 Johoku, Naka, Hamamatsu, 432-8011 Japan

†静岡大学大学院情報学研究科, 〒432-8011 浜松市中区城北 3-5-1

Graduate school of Informatics, Shizuoka University, 3-5-1 Johoku, Naka, Hamamatsu, 432-8011 Japan

††日本学術振興会特別研究員 (PD)

Research Fellow of the Japan Society for the Promotion of Science (PD)

†††静岡大学創造科学技術大学院, 〒432-8011 浜松市中区城北 3-5-1

Graduate School of Science and Technology, Shizuoka University, 3-5-1 Johoku, Naka, Hamamatsu, 432-8011 Japan

させてしまう。この問題に対し、人間の「より高度な認知処理」を利用して CAPTCHA を強化する方法が検討されてきた[5]。その代表的なものとして Asirra[6]がある(図 2)。Asirra では、複数の動物の絵を表示し、その中から特定の動物の絵を選ばせる。例えば「猫を選べ」という質問に対し、猫の絵を正しく選択することができれば人間であるとして判定する。「絵の意味を理解する」ことは人間の高度な認知メカニズムの一つであり、マルウェアによる不正解答は不可能であると考えられていた。しかし、最近になって、Asirra を破る自動プログラムに関する研究報告がなされ、研究者の間に衝撃が走った[7,8]。マルウェアの能力の向上は留まるところを知らない。そのためマルウェアがいかに高度になろうとも、マルウェアによる不正回答が依然として困難である人間の「より高度な認知処理」に基づいた新たな CAPTCHA の導入が強く望まれる。

また、一方で、正規のユーザ(人間)にとってチューリングテスト(CAPTCHA)に回答することは、自分が人間であることをわざわざ示さなければいけないという意味では、本来不要な「煩わしい手間」である。よって、チューリングテスト(CAPTCHA)は、正規ユーザ(人間)に煩わしさを感じさせない方式(ユーザにとって「心地良い」方式)が求められる。

そこで著者らはすでに、「ユーモアを解する能力」という人間の高度な認知処理に着目し、マルウェアによる解読が非常に困難で、正規ユーザ(人間)に煩わしさを感じさせない(ユーザにとって「心地良い」)、エンターテインメント性を有した新しい概念の CAPTCHA を提唱している。そして、その実現の第一歩として 4 コマ漫画を用いた CAPTCHA (以降 4 コマ漫画 CAPTCHA と呼ぶ)を提案し、基礎実験によりその実現可能性を示している[9]。4 コマ漫画 CAPTCHA では、ランダムに並び替えられた 4 コマ漫画を、正しい順序に並べることができたユーザを人間と判断する。人間であれば各コマの絵や台詞の意味を統合し、各コマの順序をどのように並べたら面白いストーリーになるのか理解することが可能である。一方、コンピュータにとっては、第一に各コマの絵や台詞の意味を認識することが困難である。そして、たとえコンピュータの画像処理能力、言語処理能力が発達し、各コマの絵や台詞の意味を理解することができたとしても、「何がどうして面白いのか」というユーモアを理解することができない限り、コンピュータが 4 つのコマを正しい順番に並べ替えることは、限りなく不可能に近いと期待できる。また、漫画を読むことは人間にとって楽しい(エンターテインメント性を有している)ため、4 コマ漫画 CAPTCHA であれば、正規のユーザが利便性の低下を感じることなく、心地良く(楽しみながら)チューリングテストを受けることができると思われる。

しかし、4 コマ漫画 CAPTCHA の総当たり数(4 コマの並べ方)は 24 (4!) 通りであり、24 回のうち 1 回はマルウェアも CAPTCHA を解読できてしまう。また 4 コマ漫画 CAPTCHA におけるエンターテインメント性についての評価が未実施であり、4 コマ漫画 CAPTCHA における利便性に疑問が残されていた。そこで本稿では、4 コマ漫画

CAPTCHA の総当たり数の増加に焦点を当ていくつかの解決策を検討し、比較実験によりそれらの有効性を確認する。最後に質問紙による被験者への聞き取り調査を行い、4 コマ漫画 CAPTCHA のエンターテインメント性について調査する。

以下、2 章で既存研究の「4 コマ漫画 CAPTCHA」について簡単に紹介し、その課題を挙げる。3 章では 4 コマ漫画 CAPTCHA の課題に対しいくつかの解決策を示す。4 章でそれら解決策の有効性を比較実験により評価し、5 章で本稿をまとめる。



図 2 画像の CAPTCHA (Asirra) [6]

Figure 2 Example authentication window for Assira [6]

2. 4 コマ漫画 CAPTCHA

本章では既存研究の 4 コマ漫画 CAPTCHA[9]について概説する。4 コマ漫画 CAPTCHA とは、人間の最も高度な認知処理の一つと考えられる「ユーモアを解する能力」を用いた CAPTCHA である。

2.1 コンセプト

4 コマ漫画 CAPTCHA では、4 コマ漫画の各コマをランダムに並べ替えて表示し、正しい順序を答えることができた者を人間として判定する。4 コマ漫画のそれぞれのコマがランダムに並べ替えられていたとしても、人間であれば各コマの絵や台詞の意味を統合し、各コマの順序をどのように並べたら面白いストーリーになるのか理解することが可能である。

一方、コンピュータにとっては、第一に各コマの絵や台詞の意味を認識することが困難である。そして、たとえコンピュータの画像処理能力、言語処理能力が発達し、各コマの絵や台詞の意味を理解することができたとしても、「何がどうして面白いのか」というユーモアを理解することができない限り、コンピュータが4つのコマを正しい順番に並べ替えることは不可能である。特に、漫画の中には「暗黙の了解」や「場の空気」といった、明示的な会話となって現れない情報が往々にして存在するため、近未来の技術を持ってしても、そのような暗黙的な意味（ユーモア）までをも解するレベルの自動機械（マルウェア）を実装することは不可能に近いと考えられる。

また、漫画を読むことは人間にとって楽しい（エンターテインメント性を有している）ため、4コマ漫画 CAPTCHA であれば、正規のユーザが利便性の低下を感じることなく、心地良く（楽しみながら）チューリングテストを受けることができると考えられる。

2.2 認証手順

4コマ漫画 CAPTCHA の認証手順を述べる。

- 【Step1】4コマ漫画のデータベース (C_{DB}) から無作為に4コマ漫画を1つ選択する。ここでデータベース中の m 番目の4コマ漫画を C_m ($C_m | m \in \{1, \dots, |C_{DB}|\}$) と表記する。 ($|C_{DB}|$ はデータベース中の4コマ漫画の数を意味する)。
- 【Step2】選択された4コマ漫画 C_m の各コマの順序をランダムに並べ替える（シャッフルする）。 C_m の各コマを $C_{m,i}$ ($C_{m,i} | i \in \{1, 2, 3, 4\}$) と表記する。
- 【Step3】ランダムに並べ替えられた4コマ漫画をユーザに提示する。
- 【Step4】ユーザはマウスを使って、ランダムに並べ替えられた4コマ漫画を正しいと思う順番に並べ替える。
- 【Step5】ユーザが並べ替えた4コマ漫画の順序が正しければ ($C_{m,1}, C_{m,2}, C_{m,3}, C_{m,4}$ であれば)、ユーザは人間であると判定し、そうでなければ、マルウェアと判定する。



図3 既存の4コマ漫画 CAPTCHA の認証画面例

(出展：左からそれぞれ：文献[10]のP.25の4コマ漫画の1コマ目、4コマ目、3コマ目、2コマ目)

Figure 3 Example of authentication screen in the proposed method [10]

(Source: From left: 1st image: 1st panel of four-panel cartoon on p.25 of Bibliography [10]; 2nd image: 4th panel; 3rd image: 3rd panel; 4th image: 2nd panel)

2.3 有効性と課題

既存研究では、プロトタイプシステムによる基礎実験を通じ、4コマ漫画 CAPTCHA の実現可能性について有望な結果を残している。しかし、4コマ漫画 CAPTCHA の総当たり数（4コマの並べ方）は24（4!）通りであり、24回のうち1回はマルウェアも CAPTCHA を解読できてしまうという課題が残されていた。また4コマ漫画 CAPTCHA におけるエンターテイメント性についての評価が未実施であり、4コマ漫画 CAPTCHA における利便性に疑問が残されていた。

3. 4コマ漫画 CAPTCHA の改良

本章では、既存研究である4コマ漫画 CAPTCHA（以下、基本方式と呼ぶ）の総当たり数を増やす方法をいくつか挙げ、それらの有効性について議論する。総当たり数を増やす方法としては、画像の再認を利用した個人認証（画像認証*）[11]の分野で伝統的に利用されている方法を参考に、以下の3つの方法を検討する。

1. 単純な CAPTCHA を独立に複数回繰り返す方法
2. ダミー（囹）を混ぜる方法
3. 複数の4コマ漫画を混ぜ合わせる方法

3.1 改良方式1 単純な CAPTCHA を独立に複数回繰り返す方法

本改良は、提示する4コマ漫画 C_m をランダムに変更しながら基本方式を規定のターン数（ t ）繰り返すことで総当たり数を向上させる、最も単純な改良方法である。全てのターンにおいて正しく並べ替えができれば、ユーザは人間として判定される。この改良により、CAPTCHA の総当たり数は、24（4!）通りから 24^t 通りに増加する。 t を大きくすればするほど総当たり数は増加し、マルウェア（機械）が CAPTCHA をパスすることが困難になる。ただし、基本方式を独立に規定の回数だけ繰り返す方式であるため、正規ユーザによる回答時間は t 倍に増大する。

*画像認証とは、パスワードや暗証番号など、記憶に基づく認証における記憶負荷を軽減するために、人間が得意とする画像の記憶や再認を活用した個人認証技術のことである。あらかじめユーザにはパスワードの代わりとなるパス画像を記憶し登録してもらう。認証時には、登録したパス画像が複数の異なる画像（囹画像）と一緒に表示され、ユーザが自分のパス画像を正しく選択することができれば認証成功となる。画像認証の総当たり数（回答の組み合わせ）の増加方法については、以下の3つがよく知られている。(1) 認証作業（画像群の中からパス画像を選択する）を複数回繰り返す。(2) 認証画面中の囹画像を増やす。(3) 認証画面中に提示するパス画像の数を増やす。

3.2 改良方式2 ダミー（囹）を混ぜる方法

本改良では、基本方式で用いられる4コマ漫画（ $C_{m,i} | i \in \{1,2,3,4\}$ ）に加え、当該4コマ漫画 C_m 以外の d 個の異なる4コマ漫画（ $C_{j1}, C_{j2}, \dots, C_{jd} | j1, j2, \dots, jd \in \{1, \dots, |C_{DB}|\}$ ）から1コマずつランダムに選択したコマ（ $C_{j1,r1}, C_{j2,r2}, \dots, C_{jd,rd} | r1, r2, \dots, rd \in \{1,2,3,4\}$ ）をダミーとして利用する。すなわち CAPTCHA 画面には1つの4コマ漫画から抽出された4コマ（ $C_{m,1}, C_{m,2}, C_{m,3}, C_{m,4}$ ）および d 個のダミー（ $C_{j1,r1}, C_{j2,r2}, \dots, C_{jd,rd}$ ）がランダムな順で並べられる。 $d+4$ 個のコマの中から、 $C_{m,1}, C_{m,2}, C_{m,3}, C_{m,4}$ を見つけ出し、それらを正しい順序に並べ替えることができたユーザのみ人間として判定される。

この改良により、CAPTCHA の総当たり数は、24（4!）通りから $_{d+4}P_4$ 通りに増加する。 d を大きくすればするほど総当たり数は増加し、マルウェア（機械）が CAPTCHA をパスすることが困難になる。ただしユーザは、ダミーの数だけ異なるストーリーを思索しなければならないため、あまり多くのダミーを追加すると、ユーザの負荷が増大する可能性がある。図4に認証画面の例を示す。なお本稿における4コマ漫画 CAPTCHA は、既存研究における4コマ漫画 CAPTCHA（図3）とは異なり、4コマ漫画を縦に配列している。これは事前実験の聞き取り調査の際に、「4コマ漫画が横に配列されているよりも、縦に配列されている方が、自然であり読み易い」という感想を、多くの被験者から得ていたためである。

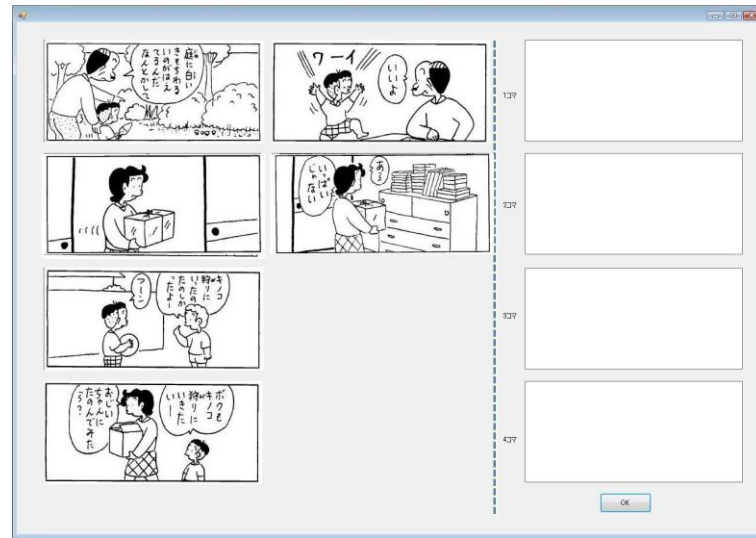


図 4 改良方式 2 の認証画面 (ダミー数 $d=2$ の場合)

(出展 : 左列上からそれぞれ : 文献[10]の P.25 の 4 コマ漫画の 4 コマ目, 文献[12]の P.38 の 1 コマ目, 文献[10]の P.25 の 1 コマ目, 文献[10]の P.25 の 2 コマ目, 右列上からそれぞれ : 文献[10]の P.25 の 3 コマ目, 文献[12]の P.38 の 2 コマ目)

Figure 4 Example authentication window for modified system 2($d=2$)

(Source: From left 1st column: 1st image, 4th panel of four-panel cartoon on p.25 of Bibliography [10]; 2nd image: 1st panel on p.38[12]; 3rd image: 1st panel on p.25[10]; 4th image: 2nd panel on p.25[10]; 2nd column: 1st image: 3rd panel on p.25[10]; 2nd image: 3rd panel on p.38[12])

3.3 改良方式 3 複数の 4 コマ漫画を混ぜ合わせる方法

本改良ではダミーを追加するのではなく、並べ替える 4 コマ漫画の数を増やす。すなわち、異なる n 個の 4 コマ漫画 ($C_{m1}, C_{m2}, \dots, C_{mn} \mid m1, m2, \dots, mn \in \{1, \dots, |C_{DB}|\}$) をそれぞれランダムに混ぜ合わせた、計 $4n$ 個のコマを一度にユーザに提示する。 $4n$ 個のコマを異なる 4 コマ漫画ごと分類し、 n 個の 4 コマ漫画全てを正しく並び替えることができたユーザのみ人間として判定される。この改良により、CAPTCHA の総当たり数は、 $24 (4!) 通り$ から $\{4n P_4 \times 4(n-1) P_4 \times \dots \times 4 P_4\} / n! = (4n)! / n!$ 通りに増える。ダミーも含め、CAPTCHA に利用するコマ数を同等とした場合、

改良方式 1 や改良方式 2 よりも総当たり数の増加が大きいことが特長である*。
 図 5 に認証画面の例を示す。

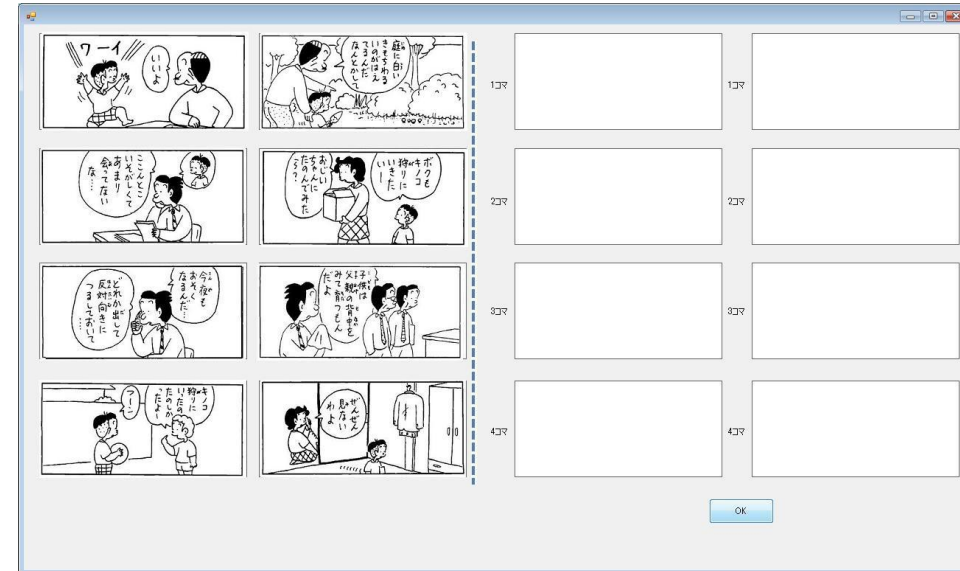


図 5 改良方式 3 の認証画面 ($n=2$ の場合)

(出展 : 左列上からそれぞれ : 文献[10]の P.25 の 4 コマ漫画の 3 コマ目, 同 P.13 の 2 コマ目, 同 P.13 の 3 コマ目, 同 P.25 の 1 コマ目, 右列上からそれぞれ : 同 P.25 の 4 コマ目, 同 P.25 の 2 コマ目, 同 P.13 の 1 コマ目, 同 P.13 の 4 コマ目)

Figure 5 Example of authentication window for modified system 3($n=2$)

(Source: From left 1st column: 1st image: 3rd panel of four-panel cartoon on p.25 of Bibliography [10]; 2nd image: 2nd panel on p.13; 3rd image: 3rd panel on p.13; 4th image: 1st panel on p.25, 2nd column: 1st image: 4th panel on p.25; 2nd image: 2nd panel on p.25; 3rd image: 1st panel on p.13; 4th image: 4th panel on p.13)

* 改良方式 1 におけるターン数を $2 (t=2)$, 改良方式 2 におけるダミー数を $4 (d=4)$ とした場合、CAPTCHA に利用されるコマ数はそれぞれ計 8 枚であり、総当たり数はそれぞれ、 $24^2=576$ 通り、 $4 P_4=1680$ 通りとなる。一方、改良方式 3 において計 8 枚のコマ、すなわち 2 種類の 4 コマ漫画を利用する場合 ($n=2$)、総当たり数は $8! / 2! = 20160$ 通りとなる。

4. 評価実験

3章で挙げた改良を実際に導入した際に、ユーザの負荷がどの程度なのかを、比較実験を行い確認する。本実験の被験者は本学情報学部学生 14 名である。

4.1 実験環境

本実験では、改良方式 2 と 3 に加え、比較のために基本方式と従来の文字列 CAPTCHA (図 1) についてプロトタイプシステムを実装し、ユーザの負荷を検証する。改良方式 1 の結果は、基本方式の実験結果より試算できるため、改良方式 1 に関する実験は省略した。実験では起承転結が明らかな 14 種類の 4 コマ漫画を用意した。文字列 CAPTCHA⇒基本方式⇒改良方式 2⇒改良方式 3 の順で実験を行った。

a) 文字列 CAPTCHA

本実験では、Google で用いられている文字列 CAPTCHA の画像[2]を利用する。被験者に、文字列 CAPTCHA の画像を提示し、文字列の判読をしてもらう。文字列に使われる文字の種類は小文字アルファベット 26 種類であり、その中からランダムに選ばれた 5~7 文字が CAPTCHA 用の文字列として画面に提示される。文字列は、赤・青・緑の 3 色からランダムに 1 色選ばれ、文字列の一部に歪曲や部分的な消去等が施されている。各被験者には 1 回ずつ CAPTCHA に回答してもらった。

b) 基本方式

2.2 節で示したように、ランダムに並べ替えられた 4 コマ漫画 C_m を正しいと思う順番に並べ替えてもらう。各被験者には 2 回ずつ CAPTCHA に回答してもらった。

c) 改良方式 2

3.2 節で示したダミー数 (d) を 1~4 とし、各被験者にそれぞれのダミー数に対して 2 回ずつ CAPTCHA に回答してもらった。試行ごとに 4 コマ漫画 C_m と共に表示されるダミーは、14 種類の 4 コマ漫画 C_m とは異なる 56 種類の 4 コマ漫画から選ばれる。ただしダミーは、4 コマ漫画 C_m と登場人物や場面が似ているコマを優先して選択している。実験はダミー数が少ないものから順に実施される。

d) 改良方式 3

ユーザに提示される全コマ数が改良方式 2 の $d=4$ の場合と同等になるよう、一度に表示される 4 コマ漫画の数を 2 とする ($n=2$)。すなわち 2 つの異なる 4 コマ漫画 (C_{m1} , C_{m2}) がランダムに混ぜ合わされた、計 8 枚のコマが被験者に提示される。被験者には 2 回ずつ CAPTCHA に回答してもらう。

基本方式および改良方式 2、改良方式 3 の実験を通して、被験者ごとに 14 種類の 4 コマ漫画がランダムに重複なく利用される。

4.2 実験結果

実験結果を表 1 に示す。表中「成功率」は、各方式において CAPTCHA の回答に成功した割合である。「回答時間の平均」および「回答時間の標準偏差」は、CAPTCHA 画面が表示されてから被験者が回答をし終えたまでの時間の平均と標準偏差を、方式ごとにそれぞれ示したものである。また「総当たり数」とは、各方式における入力の組み合わせ総数を示している。

改良方式 1 の「成功率」および「回答時間の平均」は、基本方式の「成功率」を t 乗、「回答時間の平均」を t 倍することで、それぞれ試算することができる。ユーザに提示される全コマ数が、改良方式 2 ($d=4$) および 3 ($n=2$) と同等になるよう、改良方式における繰り返し回数 t を 2 とする。

表 1 より、基本方式に改良を加えることで、総当たり数を増やすことに成功している一方、回答に要する時間も増えていることが見て取れる。成功率に関してはいえば、改良方式の方が基本方式よりも優れた結果が得られているケースもあることがわかる。しかし、4 コマ漫画の種類や実験の順序効果[13]の影響に引きずられている可能性もあり、本結果からだけでは、改良方式により成功率が向上したとは言い切れない。

表 1 各方式における成功率、回答時間の平均と標準偏差、および総当たり数

TABLE1 Experimental results for each method

		成功率 (%)	回答時間の平均 (sec)	回答時間の標準偏差(sec)	総当たり数 (通り)
文字 CAPTCHA		92.86	12.63	6.72	8031810176 (26^7)
基本方式		82.14	26.59	14.29	24 ($4!$)
改良方式 1	$t=2$	67.47	53.18		576 ($4! \times 4!$)
改良方式 2	$d=1$	96.43	28.24	11.35	120 ($5P_4$)
	$d=2$	96.43	35.89	18.00	360 ($6P_4$)
	$d=3$	67.86	42.84	19.94	840 ($7P_4$)
	$d=4$	78.57	41.70	18.73	1680 ($8P_4$)
改良方式 3	$n=2$	82.14	51.10	21.17	20160 ($8!/2!$)

4.3 アンケート調査

被験者には実験後、文字列 CAPTCHA と 4 コマ漫画 CAPTCHA についてのアンケートに回答してもらった。アンケートには利便性とエンターテイメント性に関する 4 つ

の項目（「理解のし易さ」、「煩わしさ」、「何度もやりたいか」、「楽しさ」）があり、各項目に対して5段階で評価してもらった。以下では4つの項目について簡単に説明する。

●理解のし易さ

与えられた CAPTCHA の問題を認識すること、および、その問題に回答することが、ユーザにとって容易である（または容易でない）度合いを示している。

●煩わしさ

与えられた CAPTCHA に回答する作業が、何らかの理由によって（例えば時間がかかる等）、面倒である（または面倒でない）度合いを示している。

●何度もやりたいか

与えられた CAPTCHA に回答する作業を複数回行うことに関して、ユーザが許容できる（または許容できない）度合いを示している。

●楽しさ

与えられた CAPTCHA に回答する作業が、ユーザにとって楽しい（または楽しくない）度合いを示している。

「理解のし易さ」や「煩わしさは」、システムの使い易さや煩わしさを問う利便性に関する項目である。一方「何度もやりたいか」や「楽しさ」は、システムの心地良さやエンターテインメント性を問う項目である。表2にアンケート結果を示す。

表2 利便性・エンターテインメント性評価（文字 CAPTCHA）

TABLE 2 the result of questionnaire survey for usability and enjoyability of each method.

	文字 CAPTCHA		4コマ漫画 CAPTCHA	
	平均	標準偏差	平均	標準偏差
理解のし易さ (1し易い…し難い5)	2.57	1.12	2.21	0.67
煩わしさ (1簡単…面倒5)	3.07	0.82	3.93	0.62
何度もやりたいか (1やりたい…やりたくない5)	3.86	0.96	2.43	0.70
楽しさ (1楽しい…楽しくない5)	4.43	1.06	1.57	0.98

4.4 考察

本節では4.2節の実験結果および4.3節のアンケート調査の結果より、4コマ漫画 CAPTCHA の安全性および利便性について考察を行う。

●安全性について

改良方式1~3が4コマ漫画 CAPTCHA（基本方式）の安全性（総当たり数）を効果的に向上させているかを議論する。4コマ漫画 CAPTCHA の総当たり数を向上させる最も単純な方法は、基本方式を独立に複数回繰り返す方法、すなわち改良方式1である。改良方式1のパフォーマンス（総当たり数、回答時間、成功率）は、基本方式の実験結果から試算でき、例えば基本方式を2回連続して回答する場合（ $t=2$ ）、総当たり数は $24 \times 24 = 576$ 通りである。さらに基本方式の実験結果から回答時間を $26.59(\text{秒}) \times 2(\text{回}) = 53.18(\text{秒})$ と試算することができる。

$t=2$ の場合の改良方式1と提示される全コマ数（8枚）を同等とした場合、改良方式2（ $d=4$ ）および改良方式3（ $n=2$ ）の総当たり数は、それぞれ1680通り、20160通りとなる。一方、回答時間はそれぞれ41.70(秒)、51.10(秒)であり、改良方式1は他の改良方式に比べると、総当たり数の増加の割にユーザの負荷が大きい方式と言える。

改良方式2および改良方式3において、総当たり数を回答時間にて正規化した値を比べると、それぞれ $1680/41.70 = 40.29(\text{通り/秒})$ 、 $20160/51.10 = 394.52(\text{通り/秒})$ となり、改良方式3は、負荷を抑えつつ最も効果的に総当たり数を増やしていることがわかる。改良方式2ではユーザはダミーの数だけ余分に異なるストーリーを思索しなければならず、2つのストーリーだけを思索すればよい改良方式3（ $k=2$ ）に比べ、ユーザの負荷を増大させてしまったものと考えられる。

4コマ漫画 CAPTCHA に比べ、文字列 CAPTCHA の総当たり数は圧倒的に大きな数となっている。しかし、非常に高い確率で文字列 CAPTCHA の文字を認識することが可能な OCR アルゴリズムも知られており[14]、総当たり数ほどの安全性は到底有していない。ただし4コマ漫画 CAPTCHA を解読する（各コマの絵や台詞の意味に加え、「何がどうして面白いのか」というユーモアを理解する）効率的なアルゴリズムが本当に存在しないのかについては、今のところ判明しておらず、今後も継続して調査が必要である。

●利便性とエンターテインメント性について

表1より、4コマ漫画 CAPTCHA は文字列 CAPTCHA に比べ2倍~4倍も回答に時間を要していることが見て取れ、アンケート調査（表2）で4コマ漫画 CAPTCHA に対し「煩わしい」と回答した被験者が多くいることが理解できる。しかし、「煩わしさ」以外の項目においては、文字列 CAPTCHA と同程度か、より優れているという結果が得られており、全体的には4コマ漫画 CAPTCHA の方が良い結果となっている。

「理解のし易さ」に関しては、4コマ漫画 CAPTCHA も文字列 CAPTCHA も同程度の結果が得られている。しかし、昨今の高度な OCR 機能を持ったマルウェアに対抗するためにも、文字列 CAPTCHA の難読度は日に日に高まってきており、文字列 CAPTCHA の「理解のし易さ」は今後急速に低下していくと予想される。

一方、「何度もやりたいか」や「楽しさ」の項目については、4コマ漫画 CAPTCHA の方が文字列 CAPTCHA に比べ、高い評価を得ている。このことから、4コマ漫画 CAPTCHA であれば、正規のユーザが若干の利便性の低下を感じる（煩わしさを感じる）ものの、心地良く（楽しみながら）チューリングテストを受けることができるといえる。

以上より、4コマ漫画 CAPTCHA は、回答時間の長さや煩わしさが依然として解決すべき課題ではあるものの、それらを考慮しても、ユーザが心地良く（楽しみながら）、何度もやりたいと思える CAPTCHA であると言える。

5. まとめと今後の課題

本稿では、著者らが既に提案している、人間の「ユーモアを解する能力」に着目した CAPTCHA (4 コマ漫画 CAPTCHA) の安全性 (総当たり数) についての課題を挙げ、いくつかの改良方式を示した。プロトタイプシステムを実装し比較実験により改良方式の有効性について検証した。また実験後のアンケート調査からは、4 コマ漫画 CAPTCHA は、ユーザが心地良く (楽しみながら)、何度もやりたいと思える (エンターテイメント性を有した) CAPTCHA であることがわかった。今後は、4 コマ漫画 CAPTCHA の回答時間の削減、および、さらなるエンターテイメント性の付与を行うことで、ユーザの負荷軽減を目指していく。エンターテイメント性のさらなる付与に関して言えば、例えば、使用する4コマ漫画をユーザの趣味嗜好に合わせることで、ユーザは4コマ漫画 CAPTCHA をより一層楽しみながら実行することができると考えられる。本改良については今後早急に調査していく予定である。

また4コマ漫画 CAPTCHA の運用についても課題が残っている。4コマ漫画 CAPTCHA では、CAPTCHA での利用に適した4コマ漫画の収集や適切なダミーの選択など、今のところ自動化に至っていない処理が多くある。また4コマ漫画 CAPTCHA を効率的に解読する高度なアルゴリズムの実現可能性についても調査を行っていかねばならない。これらについては、今後の課題として検討していく予定である。

参考文献

- [1]The Official CAPTCHA Site
<http://www.captcha.net> <http://www.captcha.net>.
- [2]Google アカウント
<https://www.google.com/accounts>
- [3]PWNTcha-Captcha Decoder
<http://caca.zoy.org/wiki/PWNTcha>
- [4]J. Yan, A. S. E. Ahmad: Breaking Visual CAPTCHAs with Naïve Pattern Recognition Algorithms, 2007 Computer Security Applications Conference, pp.279-291, 2007.
- [5]K Chellapilla, K Larson, P Simard, M Czerwinski: Computers beat humans at single character recognition in reading-based Human Interaction Proofs (HIPs), 2nd Conference on Email and Anti-Spam (CEAS), 2005
- [6]MSR Asirra Project
<http://research.microsoft.com/asirra/>
- [7]P. Golle: Machine Learning Attacks Against the ASIRRA CAPTCHA, 2008 ACM CSS, pp.535-542 2008.
- [8]CAPTCHA 認証は“終わった”技術なのか—有効性を疑問視する専門家たち: セキュリティマネジメント, Computerworld.jp, 2008年8月11日
<http://www.computerworld.jp/topics/vs/115709.html>
- [9]鈴木徳一郎, 山本匠, 西垣正勝: 4コマ漫画 CAPTCHA の提案, 2009年暗号と情報セキュリティシンポジウム予稿集, 3D3-3 (CD-ROM), 2009
- [10]植田まさし: 「新コボちゃん 8」, 芳文社, 2006
- [11]Rachna Dhamija, Adrian Perrig: Deja Vu: A User Study Using Images for Authentication, 9th USENIX Security Symposium, pp.45-58, 2002
- [12]植田まさし: 「新コボちゃん 7」, 芳文社, 2006
- [13]山田剛史, 村井潤一郎: よくわかる心理統計, ミネルヴァ書房, 2004
- [14]Yahoo! の画像認証システムがついに“陥落”? : セキュリティ, Computerworld_jp, 2008年01月21日
<http://www.computerworld.jp/news/sec/95229.html>