

4コマ漫画CAPTCHA

可見 潤也^{1,a)} 鈴木 徳一郎¹ 上原 章敬¹ 山本 匠² 西垣 正勝¹

受付日 2012年12月3日, 採録日 2013年6月14日

概要: 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「より高度な知識処理」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 に解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. そこで本論文では, 人間の「ユーモアを解する能力」に注目し, 4コマ漫画を用いた CAPTCHA 方式を提案する. ユーモアを解する能力は人間の究極的な認知処理能力の1つであると考えられており, 高いマルウェア耐性が期待できるとともに, 4コマ漫画のエンタテインメント性が「正規ユーザに心地良さを与える CAPTCHA」の実現に寄与すると考えられる. 評価実験およびアンケート調査を通じ, 4コマ漫画 CAPTCHA の可用性について論ずる.

キーワード: CAPTCHA, エンタテインメントセキュリティ, 4コマ漫画, ユーモア

Four-panel Cartoon CAPTCHA

JUNYA KANI^{1,a)} TOKUICHIRO SUZUKI¹ AKIHIRO UEHARA¹ TAKUMI YAMAMOTO²
MASAKATSU NISHIGAKI¹

Received: December 3, 2012, Accepted: June 14, 2013

Abstract: As many researchers have already reported, conventional CAPTCHA could be overcome by state-of-the-art malware since the capabilities of computers are approaching those of humans. Therefore, CAPTCHA should be based on even more advanced human cognitive processing abilities. In addition, it is also important to keep in mind that answering CAPTCHA is an added annoyance for users, who feel troublesome to prove that they are human at every Web access. So, CAPTCHA should be enjoyable for users. To cope with these issues, we have focused on the human ability to understand humor which is considered as one of the most advanced human cognitive processing abilities, and proposed the concept of a new type of Turing test that uses four-panel cartoons, which would make CAPTCHA test fun and enjoyable. This paper carries out experimental study to confirm the usability of the proposed CAPTCHA.

Keywords: CAPTCHA, entertainment security, four-panel cartoon, humor

1. はじめに

Webサービスの発展にともなって, 人間と機械を識別するチューリングテストの有用性がますます高まっている. 無料 Web メールやブログ等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等のいわゆる DoS (Denial of Service, サービス不能) 攻撃が定期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

¹ 静岡大学大学院情報学研究科
Graduate School of Informatics, Shizuoka University,
Hamamatsu, Shizuoka 430-0905, Japan

² 静岡大学創造科学技術大学院
Graduate School of Science and Technology, Shizuoka University,
Hamamatsu, Shizuoka 430-0905, Japan

a) nisigaki@inf.shizuoka.ac.jp



図 1 Google で利用されている CAPTCHA [2]

Fig. 1 CAPTCHA used by Google.

できるか否かを試すものである。この方式の CAPTCHA (文字列 CAPTCHA) の例を図 1 に示す。また、画像に限らず、音声等を利用した CAPTCHA も利用されている。

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]。たとえば、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きている [4]。文字列に加える変形やノイズを大きくす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、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させてしまう*1。この問題に対し、人間の「より高度な知識処理」を利用して CAPTCHA を強化する方法が検討されてきた [6]。その代表的なものとして Asirra [7], [8] がある。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。たとえば「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 1 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、その後、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 [9]。マルウェアの能力の向上はとどまるところを知らない。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解答が根本的に不可能である「究極的なチューリングテスト (CAPTCHA)」がいよいよ必要とされる時代になってきたといえる。

また、一方で、正規のユーザ (人間) にとっては、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、チューリングテスト (CAPTCHA) に解答することは、本来は不要の「煩わしい手間」である。よって、CAPTCHA は、人間の手間を極力小さくおさえる方式であるか、もしくは、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) でなければならないという要求も満たす必要がある。

これらの問題を克服するため、本論文では、人間特有の能力のうちで最も高度な認知処理の 1 つと考えられる「ユーモアを解する能力」に注目した。本論文ではユーモアを有するコンテンツである「4 コマ漫画」を利用してチューリングテスト (以下、4 コマ漫画 CAPTCHA) を構築する。近未来の技術をもってしてもユーモアを解するレベルの自

*1 人間にとって難読度が高い文字に対しては、マルウェアの方が人間よりも判読能力に優れるという報告もある [5]。

動プログラム (マルウェア) を実装することは不可能に近いと推測されるため、4 コマ漫画 CAPTCHA の攻撃耐性は高いと考えられる。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、正規ユーザ (人間) 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。

本論文では、4 コマ漫画 CAPTCHA の基本方式について説明した後、4 コマ漫画 CAPTCHA を構成するために適切なコンテンツ (4 コマ漫画) の質と量に関して実験を行って検討する。また、提案方式のエンタテインメント性についてアンケートを通じて評価する。

以下、2 章で CAPTCHA の既存研究の問題点を整理したうえで、3 章で 4 コマ漫画 CAPTCHA の詳細を述べる。4 章および 5 章では、提案方式に適したコンテンツの質と量についてそれぞれ実験を行って検証する。6 章で提案方式のエンタテインメント性に関するアンケート調査を行う。7 章で全体の考察を行い、8 章で本論文をまとめる。

2. 関連研究

文字列の判読能力を試す従来の文字列 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きている [4]。この問題に対し、人間の「より高度な知識処理」を利用して CAPTCHA を強化する方法が検討されてきた [6]。本章では、その代表的なものとして Asirra [7], [8] と 3D 画像 CAPTCHA [10] を紹介し、CAPTCHA の課題を示す。

Asirra では、複数の動物の絵 (多種多様な背景、角度、ポーズ、照明の違いがある猫や犬の画像) を表示し、その中から特定の動物の絵を選ばせる (図 2)。たとえば「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 1 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。

しかしながら、その後、Asirra を破る自動プログラムに関する研究報告がなされた [9]。この自動プログラムは、「猫の画像によく見受けられる特徴的な情報」や「犬の画像によく見受けられる特徴的な情報」を抽出し、それを機械学習によって反復学習を繰り返していくことで、猫の画像を高い精度でいい当てることを達成している。

YUNiTi.com [10] は、人間が有する「3 次元物体の認識能力」を利用した 3D 画像 CAPTCHA を実装し、運用している。3 次元オブジェクトを 3 個並べた出題画像を表示し、それぞれのオブジェクトが何であるかを 18 個の候補画像の中から正しく選択できたユーザを人間と判定する (図 3)。出題画像は、候補画像のオブジェクトを別の角度から写した画像となっている。

しかし、それぞれのオブジェクトに対して数百回分程度



図 2 Asirra の認証画面の例

Fig. 2 Example authentication window for Asirra.

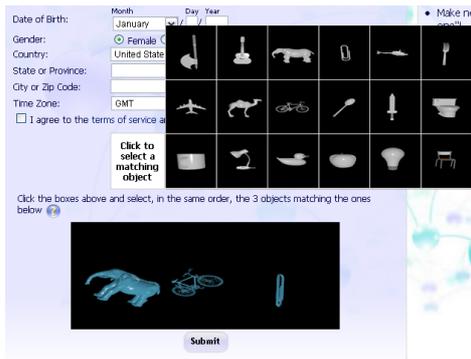


図 3 3D 画像 CAPTCHA の認証画面例

Fig. 3 Example authentication window for 3DCG image CAPTCHA.

の出題画像を参照画像群として保存してしまえば、新たな出題画像に対し、自動プログラムがその出題画像と各オブジェクトの参照画像との類似度を計算することによって、どのオブジェクトが写された画像であるか識別できてしまうという問題が指摘されている [11].

3. 提案方式

3.1 コンセプト

Asirra や 3D 画像 CAPTCHA が破られた原因として、これらが、画像の表面的な意味を問う問題形式であったためと考えられる。そこで、本論文では、画像の表面的な意味ではなく、内面的な意味（文脈、ユーモア、伏線等）に着目することで、より高度な CAPTCHA の実現を目指す。今回は特に、人間特有の能力のうちで最も高度な認知処理の1つと考えられる「ユーモアを解する能力」に注目し、4コマ漫画を用いた CAPTCHA 方式を提案する。

具体的には、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理解でき、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も類推することが可能である。そのため、4つのコマを正しい順番に並べ替えることは容易に実行可能であると考えられる。

一方、コンピュータにとっては、まず、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、明示的な会話となつて現れない場面が往々にして存在するため、近未来の技術をもってしても、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プログラム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それほど感じることなく、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。

3.2 認証方式の認証手順

提案方式の認証手順を述べる。また、提案方式の認証画面の例を図 4 に示す。

【Step1】 4コマ漫画のデータベース（CDB）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 ($C_m | m \in \{1, 2, \dots, |CDB|\}$) と表記する。ここで、 $|CDB|$ 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、提示された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 ($C_{m,1}, C_{m,2}, C_{m,3}, C_{m,4}$ の順序となっていれば)、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。

4. 評価実験 1：コンテンツの質

4.1 目的

4コマ漫画 CAPTCHA に適したコンテンツ（4コマ漫画）の質について調査する。本章の実験は提案方式のユーザビリティ評価を目的としているため、「CAPTCHA に適した4コマ漫画」とは、ここでは、人間にとって正しい順序にコマを並べ替えることが容易である4コマ漫画を指す。今回の実験を通じ、4コマ漫画の種類によって人間によるコマの並べ替えの難易度がどのように異なるか検証する。



図 4 4コマ漫画 CAPTCHA の認証画面例 (出典: 左からそれぞれ文献 [12] 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)

Fig. 4 Example of authentication window for four-panel cartoon CAPTCHA (Source: From left: 1st image: 1st panel of four-panel cartoon on Bibliography [12] 2nd image: 4th panel; 3rd image: 3rd panel; 4th image: 2nd panel).



図 5 イ)の実験に用いた4コマ漫画の例 (出典: 左からそれぞれ文献 [13] の4コマ漫画30「荷物」の1コマ目, 4コマ目, 2コマ目, 3コマ目)

Fig. 5 Example of four-panel cartoon CAPTCHA used in experiment “イ)” (Source: From left: 1st image: 1st panel of four-panel cartoon 30 “Luggage” of Bibliography [13]; 2nd image: 4th panel; 3rd image: 2nd panel; 4th image: 3rd panel).



図 6 ロ)の実験に用いた4コマ漫画の例 (出典: 左からそれぞれ文献 [12] 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)

Fig. 6 Example of four-panel cartoon CAPTCHA used in experiment of “ロ)” (Source: From left: 1st image: 1st panel of four-panel cartoon p.25 of Bibliography [12]; 2nd image: 4th panel; 3rd image: 3rd panel; 4th image: 2nd panel).

4.2 実験方法

本実験の被験者は本学情報学部学生 10 名 (A~J) である。本実験のために 4 コマ漫画 CAPTCHA のプロトタイプを実装した。被験者には、順序がランダムに入れ替えられた 4 コマ漫画が図 4 のような形態で提示される。そして、提示されたコマのそれぞれを、漫画の流れとして適切と考えられる順番に並べ替えてもらう。

実験では比較のために以下に示す 3 種類の 4 コマ漫画を用いた。

イ) ネット上に公開されていた 4 コマ漫画の中から無作為に選んだ 4 コマ漫画 10 組 (例: 図 5)

ロ) 起承転結が明確で、確実に正しい並べ替えが可能だと考えられる 4 コマ漫画 10 組 (例: 図 6)

ハ) 4 つのコマのうち、ある 1 つのコマを取り除くと、残りの 3 コマの順番が明確になり、その 3 コマについては確実に正しい並べ替えが可能だと考えられる 4 コマ漫画 10 組 (例: 図 7)

イ) に分類される 4 コマ漫画に対しては、被験者 A~E の 5 名に実験を行ってもらった。ロ) に分類される 4 コマ漫画に対しては、被験者 A~J の 10 名に実験を行ってもらった。ハ) に分類される 4 コマ漫画に対しては、被験者 A~E の 5 名には通常的方式 (4 つコマをランダムに並べ



図 7 ハ)の実験に用いた4コマ漫画の例(出典:左からそれぞれ文献[12]のp.13の4コマ漫画の2コマ目,4コマ目,3コマ目,1コマ目;被験者F~Jの5名に対する実験では1番左の2コマ目にあたる図を取り除いた)

Fig. 7 Example of four-panel cartoon CAPTCHA used in experiment of “ハ)” (Source: From left: 1st image: 2nd panel 2 of four-panel cartoon p.13 of Bibliography [12]; 2nd image: 4th panel; 3rd image: 1st panel; 4th image: 2nd panel; in the experiment for five subjects F~J, the leftmost (2nd) panel was omitted).

表 1 イ)に分類される4コマ漫画を用いた実験結果

Table 1 Experiment results in which four-panel cartoons in category “イ)” are used.

被験者	A	B	C	D	E	平均
正答率[%]	80.0	50.0	60.0	90.0	60.0	68.0
解答時間[sec]	30.8	32.8	47.9	27.8	79.9	43.8

表 2 ロ)に分類される4コマ漫画を用いた実験結果

Table 2 Experiment results in which four-panel cartoons in category “ロ)” are used.

被験者	A	B	C	D	E	
正答率[%]	100.0	90.0	100.0	100.0	100.0	
解答時間[sec]	27.0	26.6	33.0	18.8	50.0	
被験者	F	G	H	I	J	平均
正答率[%]	90.0	100.0	100.0	100.0	100.0	98.0
解答時間[sec]	19.2	33.7	13.5	30.0	23.9	28.5

替えたものを提示し,正しい順序に並べ替えてもらう)によって実験をしてもらった.一方,被験者F~Jの5名には,特定の1コマ(そのコマを除くと残りの3コマの順番が明確になり,確実に並べ替えが可能だと考えられるもの)を除いた3つのコマをランダムに並べ替えたものを提示し,正しい順序に並べ替えてもらうという実験を行ってもらった.なお,イ),ロ),ハ)のそれぞれ10組の4コマ漫画は,被験者ごとにランダムな順番で提示した.被験者には,イ),ロ),ハ)のすべての4コマ漫画についての情報はいっさい与えられていない.

4.3 実験結果

実験結果を表1,表2,表3に示した.表中,「正答率」は,各認証試行において認証に成功した(ランダムな順番に並べ替えられている4コマ漫画を正しい順番に並べ替えることができた)割合である.また,1回の認証に要した時間の平均を「解答時間」として示した.さらに本実験では,4コマ漫画の違いによって解答のしやすさに違いがあるのか否かを確認するために,イ)に分類される4コマ漫

表 3 ハ)に分類される4コマ漫画を用いた実験結果

Table 3 Experiment results in which four-panel cartoons in category “ハ)” are used.

4コマの並べ替え						
被験者	A	B	C	D	E	平均
正答率[%]	100.0	80.0	90.0	90.0	90.0	90.0
解答時間[sec]	31.5	29.1	31.9	20.5	67.3	36.0
3コマの並べ替え						
被験者	F	G	H	I	J	平均
正答率[%]	100.0	90.0	100.0	100.0	100.0	98.0
解答時間[sec]	11.7	21.5	25.8	12.6	16.6	17.7

表 4 イ)に分類される4コマ漫画ごとの正答率

Table 4 Correct response rate for each four-panel cartoon in category “イ)”.

4コマ漫画	被験者ごとの正否					平均正答率[%]	解答時間[sec]
	A	B	C	D	E		
1	○	×	○	○	×	60.0	41.0
2	○	○	○	○	○	100.0	39.6
3	×	×	×	○	○	40.0	48.0
4	○	○	×	×	×	40.0	37.0
5	○	×	×	○	○	60.0	47.0
6	○	○	○	○	×	80.0	49.8
7	○	○	○	○	○	100.0	36.6
8	○	×	○	○	○	80.0	66.8
9	×	×	×	○	×	20.0	34.2
10	○	○	○	○	○	100.0	38.4

画について各漫画の正答率を表4に示した.

4.4 考察

イ)に分類される4コマ漫画を用いた並べ替えでは,平均正答率が68%(表1)であった.一方,ロ)に分類される4コマ漫画を使った並べ替えの全体の正答率はほぼ100%であり(表2),ほとんどの被験者が,ロ)に分類される4コマ漫画のすべてにおいて正しい順番を認識することができたことが分かる.また,イ)を用いた4コマ漫画とロ)を用いた4コマ漫画の平均解答時間では,イ)の平均解答時間が約20秒も多くの解答時間を要している(表1,表2).

イ)に分類される4コマ漫画の中でも、解答(並べ替え)に失敗した漫画に偏りが見られることから(表4)、並べ替えが容易である4コマ漫画と、そうでない4コマ漫画が存在することも確認できた。

したがって、人間の正答率、および、解答時間の改善を図るためには、使用する4コマ漫画の選択に十分な配慮が必要であることが分かる。具体的には、起承転結が明確であり、かつ、面白さが理解しやすい4コマ漫画であれば、ストーリーの類推がしやすく、人間にとって解答が容易であると考えられる。よってCAPTCHAに適したコンテンツの質としては、起承転結のはっきりした4コマ漫画を用いる必要があると考えられる。しかし、起承転結のはっきりした4コマ漫画を自動的に抽出する方法は今後の課題である。

ハ)に分類される4コマ漫画を使った実験からは、一般の4コマ漫画から特定のコマを間引くことによって、人間にとって解答のしやすい問題を作成することができるという可能性が示された(表3)。また、被験者A~E(4コマの並べ替えを行った)の解答時間と比較して、被験者F~J(3コマのみの並べ替えを行った)の解答時間は顕著に短い。

実験後の被験者からの聞き取り調査によると、並べ替えが困難である4コマ漫画には、「起承転結が明確でない」、「話の面白さが分かりにくい」、「前後のコマの変化が小さい」という傾向にあることが分かった。実験結果からは、台詞等が多く書かれている4コマ漫画では解答時間が長くなる傾向にあり、逆に、台詞が少なく、かつ、ストーリーを容易に理解しやすい4コマ漫画は解答時間が短いという傾向が確認されている。また、一部の被験者はまず起承転結の“結”にあたるコマを決めてから、残りのコマの並べ替えを行っていた。このことから、話が類推しやすい“結”を持つ4コマ漫画をうまく選定することができれば、4コマ漫画の並べ替えが容易になることが期待できる。これらについては今後早急に調査していく予定である。

5. 評価実験2: コンテンツの量

5.1 目的

4コマ漫画CAPTCHAに適したコンテンツの量について調査する。4コマ漫画CAPTCHAにおいては、4つのコマの並び方は $4!$ (=24)通りしかない。このためそのままでは、4コマ漫画CAPTCHAは総当たり攻撃に弱いものとなってしまっている。本章では、提案方式の安全性を高めるために、4コマ漫画CAPTCHAの総当たり数を増やす方法を検討する。なお、4章の実験結果をふまえ、ここでは、ロ)に分類される4コマ漫画(起承転結のはっきりした4コマ漫画)のみを実験に用いることとする。4章ではハ)に分類される4コマ漫画を3コマにして使用方法の有効性についても示されたが、現時点では人手によって削除すべき1コマを決定しなければならないため、問題生成の都合上、今回の実験ではハ)に分類される4コマ漫

画は使用しない。

5.2 改良方法

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あげ、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)[14]の分野で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。

- 改良方式1. 基本方式を独立に複数回繰り返す方法
- 改良方式2. ダミー(罫)のコマを混ぜる方法
- 改良方式3. 複数の4コマ漫画を混ぜ合わせる方法

5.2.1 改良方式1

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方法である。すべてのターンにおいてそれぞれの4コマ漫画を正しく並べ替えることができれば、ユーザは人間と判定される。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 を大きくするほど総当たり数は増加し、マルウェア(自動プログラム)がCAPTCHAをパスすることが困難になるが、その一方で、正規ユーザによる解答時間は t 倍に増大する。

5.2.2 改良方式2

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($C_{j1}, C_{j2}, \dots, C_{jd} | j1, j2, \dots, jd \in \{1, 2, \dots, m-1, m+1, \dots, |CDB|\}$)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方法である。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 $d+4P_4$ 通りに増加する。 d を大きくするほど総当たり数は増加し、マルウェア(自動プログラム)がCAPTCHAをパスすることが困難になる。ただし、ユーザにとってはダミーがデストラクタとなるため、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8に認証画面の例を示す*2。

*2 本実験における4コマ漫画CAPTCHAは、4章の実験システム(図4)とは異なり、4コマ漫画を縦に配列している。これは、事前に行った改良方式2に関する予備実験の際に、「4コマ漫画が横に配列されているよりも、(新聞の紙面でよく見かけるように)縦に配列されている方が、自然で読みやすい」という感想を、多くの被験者から得ていたためである。

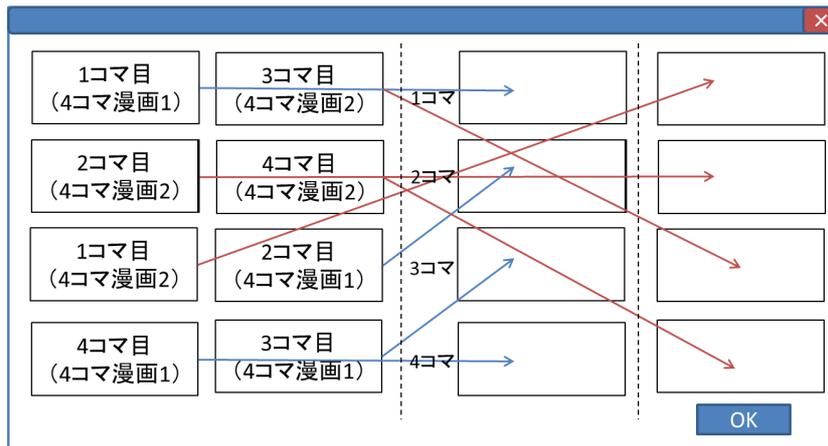


図 9 改良方式 3 の認証画面例 (n = 2 の場合)

Fig. 9 Authentication window for improved method 3 (in the case of n = 2).

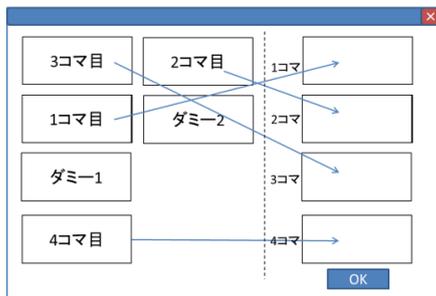


図 8 改良方式 2 の認証画面例 (ダミー数 d = 2 の場合)

Fig. 8 Authentication window for improved method 2 (in the case of the number of dummies d is two).

5.2.3 改良方式 3

ダミーを追加するのではなく、並べ替える 4 コマ漫画の数そのものを増やす方法である。すなわち、異なる n 個の 4 コマ漫画 ($C_1, C_2, \dots, C_n \mid 1, 2, \dots, n \in \{1, \dots, |CDB|\}$) をそれぞれランダムに混ぜ合わせた、計 $4n$ 個のコマを 1 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 コマ漫画すべてを正しく並べ替えることができたユーザのみ人間と判定される。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。n を大きくするほど総当たり数は増加し、マルウェア (自動プログラム) が CAPTCHA をパスすることが困難になるが、ユーザの負荷も増大する。図 9 に認証画面の例を示す。

5.3 実験方法

本実験の被験者は本学情報学部学生 14 名である。本実験の被験者は 4 章の被験者とは異なる。改良方式 2, 改良方式 3 に加え、比較のために基本方式と従来の文字列 CAPTCHA (図 1) についてもプロトタイプシステムを実装し、実験を行う^{*3}。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 の実験は省略した。

5.3.2 項~5.3.4 項で後述するように、基本方式、改良方式 2, 改良方式 3 の実験に、それぞれ 2 つ、8 つ、4 つの 4 コマ漫画 (合わせて 14 種類の 4 コマ漫画) を使用する。実験に用いるコンテンツとして、起承転結が明らかな 14 種類の 4 コマ漫画 C_m ($m \in \{1, 2, \dots, 14\}$) を用意した。ここで、一見して異色のコマがあった場合には、機械学習等によってそれが判別されてしまう可能性があり、想定された安全性 (総当たり数) を確保できない恐れがある。このため、これら 14 種類の 4 コマ漫画は、すべて同一著者、同一タイトルの漫画 [12] の中から選んだ。改良方式 2 においてダミーとして利用するコマも、同一の漫画 [12] の中から選んでいる。その際、(実験実施者である著者らの主観的な判断ではあるが) 正しい 4 コマ漫画と見た目が似ているコマ*4をダミーとして選ぶよう配慮した。

すべて被験者が、文字列 CAPTCHA → 基本方式 → 改良方式 2 → 改良方式 3 の順で実験を行う。基本方式、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 コマ漫画が重複なく利用される。ここで、それぞれの実験で用いられる 4 コマ漫画は 14 種類のコンテンツ C_m の中から無作為に選んだが、どの被験者に対しても同じ 4 コ

*3 CAPTCHA においては、選択肢をいくつ用意するか (文字列 CAPTCHA: 文字の種類, Asirra: 画面に表示される画像の枚数, 3D 画像 CAPTCHA: 解答の候補画像の数) や何問解かせるか (文字列 CAPTCHA: 表示される文字数, Asirra: 選択する解答画像数, 3D 画像 CAPTCHA: 問題画像数) といったパラメータによって、総当たり数 (や認証時間) はいかようにも変わる。このため、これらをすべて定量的に評価しようとした場合には、実験の手数が増加するだけでなく、結果に関する比較考察が煩雑となる。そこで、今回は、既存方式については文字列 CAPTCHA のみにターゲットを絞って、比較実験を行うこととした。

*4 すなわち、「絵柄をただ見ただけでは分からないが、内容を把握して (ユーモアを理解して) 初めてダミーであるということが分かる程度の絵のコマ」をダミーとして選ぶよう配慮した。

マ漫画が使われる*5.

5.3.1 文字列 CAPTCHA

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 に解答してもらった.

5.3.2 基本方式

4 つのコマが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てもらう. 各被験者には 2 回ずつ CAPTCHA に解答してもらった. すべての被験者に対し, 4 コマ漫画 C₁ を使って 1 回目の実験を, 4 コマ漫画 C₂ を使って 2 回目の実験を, それぞれ行った.

5.3.3 改良方式 2

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 に解答してもらった. 4 コマ漫画ととも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 コマ漫画から試行のたびに選ばれる. 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 = 1 に関する実験については, すべての被験者に対し, 4 コマ漫画 C₃ を使って 1 回目の実験を, 4 コマ漫画 C₄ を使って 2 回目の実験を, それぞれ行った. 同様に, d = 2 の実験では C₅ と C₆ を, d = 3 の実験では C₇ と C₈ を, d = 4 の実験では C₉ と C₁₀ を, それぞれ用いた.

5.3.4 改良方式 3

1 画面中に提示されるコマ数が改良方式 2 の d = 4 の場合と同等になるよう, 1 度に表示される 4 コマ漫画の数を 2 とする (n = 2)*6. すなわち, 2 つの異なる 4 コマ漫画

*5 すなわち, 今回の実験では, それぞれの方式に対して使用される 4 コマ漫画が固定されることになる. このため, 今回の実験によって得られる結果の差が, 方式の違いに起因するものなのか, 4 コマ漫画の違いに起因するものなのか曖昧になる. しかし, 4 章の実験から, (ロ) に分類される 4 コマ漫画 (起承転結のはっきりとした 4 コマ漫画) であれば, どの漫画であってもほぼ 100% の確率でユーザが正答可能であるということが分かっている (表 2). このことから, (ロ) に分類される 4 コマ漫画を使う今回の実験においては 4 コマ漫画の違いについては考慮から外してもよいと判断し, どの被験者に対しても同じ 4 コマ漫画を使った形で実験を行い, その結果の比較からそれぞれの方式の特徴を分析することとした.

*6 改良方式 2 の d = 8 の場合 (ダミーを 8 枚入れ, 合計 12 枚のコマから 4 コマ漫画を作る方式) と改良方式 3 の n = 3 の場合 (合計 12 枚のコマから 3 つの 4 コマ漫画を作る方式) を比較することも可能である. しかし, 改良方式 2 のダミーの数を 8 枚に増やしても, その総当たり数は, 改良方式 3 の n = 2 の場合に達しない. 一方, 改良方式 3 の n = 3 に関しては, ユーザに 3 つの 4 コマ漫画の並べ替えを要求することになるため, 認証に要する時間が増加し, 利便性が低下してしまうと考えられる. このような理由で, 今回は, d = 8 のときの改良方式 2 と n = 3 のときの改良方式 3 の評価実験は行わないこととした.

表 5 各方式の実験結果と総当たり数

Table 5 The experiment results of each method and the number of combinations.

	成功率 (%)	解答時間(sec)		総当たり数 (通り)
		平均	標準偏差	
文字 CAPTCHA	92.86	12.63	6.72	8,031,810,176 (=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!×4!)
改良方式 2	d=1	96.43	28.24	120 (=5P ₄)
	d=2	96.43	35.89	360 (=6P ₄)
	d=3	67.86	42.84	840 (=7P ₄)
	d=4	78.57	41.70	1,680 (=8P ₄)
改良方式 3	n=2	82.14	51.10	20,160 (=8!/2!)

(C_i, C_{i+1}) 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 に解答してもらう. すべての被験者に対し, 4 コマ漫画 C₁₁ と C₁₂ を使って 1 回目の実験を, 4 コマ漫画 C₁₃ と C₁₄ を使って 2 回目の実験を, それぞれ行った.

5.4 実験結果

実験結果を表 5 に示す. 表中「成功率」は, 各方式において CAPTCHA の解答に成功した割合である. 「解答時間の平均」および「解答時間の標準偏差」は, CAPTCHA 画面が表示されてから被験者が解答をし終える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コマの組合せ総数を示している.

今回は, 1 画面中に提示されるコマ数が改良方式 2 (d = 4) および改良方式 3 (n = 2) と同等になるよう, 改良方式 1 における繰返し回数 t を 2 とした. 改良方式 1 の「成功率」および「解答時間の平均」は, 基本方式の「成功率」を t 乗, 「解答時間の平均」を t 倍することで, それぞれ試算することができる.

表 5 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, 解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, 改良方式のほう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分かる. しかし, 4 コマ漫画の種類や実験の順序効果 [15] の影響に引きずられている可能性もあり, 今回の実験結果からだけでは, 改良方式により成功率が向上したとはいえない.

5.5 考察

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。たとえば基本方式を2回連続して解答する場合（ $t = 2$ ）、改良方式1の総当たり数、解答時間はそれぞれ576通り、53.18秒である。使用されるコマの総数を比較基準として考え、8コマを使用する改良方式1（ $t = 2$ ）に対して、同じく8コマが1画面中表示される改良方式2（ $d = 4$ ）および改良方式3（ $n = 2$ ）とのパフォーマンスの比較を行う。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1,680通り、20,160通り、解答時間はそれぞれ41.70秒、51.10秒であるので、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いえよう。

改良方式2および改良方式3において、総当たり数を解答時間にて正規化した値を比べると、それぞれ $1,680/41.70 = 40.29$ （通り/秒）、 $20,160/51.10 = 394.52$ （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分かる。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（ $n = 2$ ）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。

以上より、4コマ漫画 CAPTCHA に用いるコンテンツの量について考えたとき、複数の4コマ漫画を混ぜ合わせる改良方式3の効果が高いと結論付けられる。

6. 評価実験3：エンタテインメント性

6.1 目的

4コマ漫画 CAPTCHA のエンタテインメント性についてアンケートを用いて調査する。5章の実験結果をふまえ、4コマ漫画 CAPTCHA の基本方式と改良方式3を本章の調査対象とする。また、比較のために、文字列 CAPTCHA についても調査する*7。

6.2 実験方法

被験者は本学情報学部学生20名である。被験者には5章と同等の実験を文字列 CAPTCHA → 基本方式 → 改良方式3の順で行ってもらった後に、各方式についてのアンケートに回答してもらった。なお、本実験の被験者のうち、3名については、5章の実験の被験者でもあったため、改めて実験を行ってもらうことなく、そのままアンケートへの回答を依頼した。

*7 2章にあげた Asirra や 3D 画像 CAPTCHA は、エンタテインメント性（ユーモア）の利用した方式ではないという意味においては、文字列 CAPTCHA と同等である。このため、今回の実験では、文字列 CAPTCHA のみを比較対象としてとりあげている。

表 6 アンケート結果

Table 6 The result of questionnaire.

	文字列 CAPTCHA	基本方式	改良方式3
楽しいか	1.8	4.0	4.0
簡単か	3.6	3.4	2.7
面倒か	3.0	3.5	2.7
嬉しいか	1.9	3.9	4.5
もう一回	2.0	4.0	3.7
統一するなら	3.6	3.6	2.7

アンケートは、以下の6つの質問項目からなり、各項目に対して5段階で評価してもらった。

●楽しいか（1 楽しくない…5 楽しい）：

CAPTCHA に解答する作業が楽しかったか否か。

●簡単か（1 難しい…5 簡単）：

CAPTCHA の問題を認識すること、および、その問題に解答することが容易であったか否か。

●面倒か（1 面倒…5 面倒でない）：

CAPTCHA の解答が、何らかの理由によって（たとえば時間がかかる等）、面倒であったか否か。

●嬉しいか（1 嬉しくない…5 嬉しい）：

CAPTCHA に正答したときに嬉しかったか否か。

●もう1回やりたいか（1 やりたくない…5 やりたい）：

今この場でもう1回 CAPTCHA を解いてみたいと思うか否か。

●統一するならどの CAPTCHA がいいか（1 許容できない…5 許容できる）：

今後、世界中のすべての Web サービス上の CAPTCHA が文字列 CAPTCHA、基本方式、改良方式3のいずれかに統一されたと仮定する。これから自分が実際の Web サーフィンの中で CAPTCHA を利用し続けていくにあたり、それぞれの CAPTCHA に対して、その使用をどれくらい許容できるか。

6.3 結果と考察

表6にアンケート結果を示す。表6より、基本方式、改良方式3は文字列 CAPTCHA に比べ、「楽しいか」、「嬉しいか」、「もう1回やりたくなるか」という項目で高い点数が得られていることが分かる。

しかし、「簡単か」、「面倒か」の項目では、逆に文字列 CAPTCHA のほうが良い点数となっている。「統一するならどれがいいか」という項目では、文字列 CAPTCHA と基本方式が同程度、改良方式3が一番低いという結果であった。被験者にこの理由を尋ねたところ、4コマ漫画 CAPTCHA（基本方式、改良方式3）は「面倒である（時間がかかる、頭を使う等）」、「難しい」という意見が多かった。これらの被験者に対し、「もし文字列 CAPTCHA と4

コマ漫画 CAPTCHA を同じ時間で解けるとしたらどうか」と尋ねると、「それなら4コマ漫画 CAPTCHAの方が楽しくて良い」という被験者が大勢を占めた。よって、4コマ漫画 CAPTCHAの最重要課題は時間の短縮であると考えられる。

以上より、4コマ漫画 CAPTCHAは、解答時間の長さや煩わしさ等、依然として解決すべき課題はあるものの、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 であるといえる。

なお、方式の統一に関しては、4コマ漫画 CAPTCHAは「海外では文化の違いがあるため利用できないと思う」といった意見もあった。これに関しては、今後海外からも被験者を募り調査を行いたい。

7. その他の考察

7.1 実験結果の一般性

ユーモアに対する感性は、嗜好、年齢、性別、文化圏等の違いによって個人差があると考えられる。本論文で行った実験では、本学の学生のみを被験者としているため、今後、様々な被験者に対して実験を繰り返すことによって、今回得られた実験結果の一般性を確認していく必要がある。

ただし、同年代の被験者であっても、嗜好については1人1人異なりうると考えられる。それにもかかわらず、4章の実験において、(ロ)に分類される4コマ漫画(起承転結が明確な4コマ漫画)に対しては、どの被験者であっても並べ替えの正答率がほぼ100%であるという結果が得られている(表2)。この結果を考えると、ユーザごとにユーモアに対する感性がある程度違っていても、起承転結が明確な4コマ漫画を適切に使用することができれば、多くのユーザにとって正答可能な4コマ漫画 CAPTCHA を実現できる可能性はあるのではないかと考えている。

しかし、4.4節に述べたように、起承転結のはっきりした4コマ漫画を自動的に抽出すること自体が難しい課題である。このため、解答に窮する問題(起承転結のはっきりしない4コマ漫画)が出題された場合には、ユーザに問題のリロードボタンをクリックしてもらう等の運用上の工夫が必要であろう。

7.2 4コマ漫画 CAPTCHAの安全性

現在一般的に用いられている文字列 CAPTCHAの総当たり数は、たとえば、文字の種類をアルファベット26種類であるとする、文字数が7文字である場合 26^7 (= 8,031,810,176)通りとなる。それに対し4コマ漫画 CAPTCHAは、改良方式3であっても20,160通りしかない。

ただし、文字列 CAPTCHAについては、非常に高い確率で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、総当たり数ほどの安全性はとうてい有してい

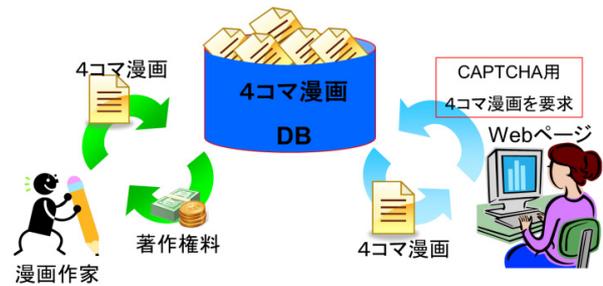


図 10 4コマ漫画 CAPTCHAの実運用の一例

Fig. 10 Example of operation using four-panel cartoon CAPTCHAs.

ないと考えられる [16].

一方で、4コマ漫画 CAPTCHA に対しても、4コマ漫画を解読する(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。なかでも、機械学習を利用して Asirra や 3D 画像 CAPTCHA を解読することに比べ、機械学習によってユーモアを理解することがどれくらい難しいのか/やさしいのかに関しては、重要な検証ポイントの1つであると認識している。特に、改良方式2および改良方式3に対して、作者が異なる4コマ漫画を織り交ぜた場合は、画風が異なるため、機械学習によって比較的容易に判別が可能だと考えられる。

7.3 4コマ漫画 CAPTCHAの運用

4コマ漫画 CAPTCHA を Web サービスサイトの中で実際に運用するには、多くの4コマ漫画のデータが必要となる。日本は漫画文化が発展している国であり、多くの新聞に毎日4コマ漫画が連載されている等、資源も豊富である。そこで、4コマ漫画をデータベース化して集積する仕組みを構築するという方法が考えられる。

たとえば、全国の漫画作家に自作4コマ漫画を CAPTCHA データベースに Web 投稿してもらうことにより、自分の4コマ漫画がどこかの Web ページの CAPTCHA として使用されるたびに作者に著作権料が支払われるというビジネスモデルが考えられる(図10)。その際、4コマ漫画に関する著作権上の配慮も重要であろう。4コマ漫画を CAPTCHA として使用するにあたっては、コマの順序が変更されるために、コンテンツの加工を含めた形での著作権を考えていく必要がある。

また、データベース上の4コマ漫画から自動的に問題を作成するシステムの構築も不可欠となる。ここで、4コマ漫画 CAPTCHA の誤答率を抑えるためには、登録された4コマ漫画から、人間が解きやすいものだけを自動的に抽出していく仕組みが必要となる。また、4コマ漫画 CAPTCHA の攻撃耐性を考えた場合、改良方式2および改良方式3については、見た目が似ている複数の4コマ漫画やダミーを

使用すべきであるという制約も存在する。

後者については、現在のフル CG 映画のように 3DCG を用いて 4 コマ漫画が作画されるような時代がくるとすれば、その 3DCG モデルを使って「正しい 4 コマ漫画と見た目が似ているコマ」を作成することができる (3DCG モデルからコマ絵を作ることは容易だが、1 枚のコマ絵から 3DCG モデルを逆計算することは難しい) 可能性がある。

8. まとめと今後の課題

本論文では、人間の「ユーモアを解する能力」に着目した CAPTCHA である 4 コマ漫画 CAPTCHA を提案した。4 コマ漫画 CAPTCHA を構成するにあたって、CAPTCHA に用いるコンテンツ (4 コマ漫画) の質と量に着目して検討し、実験、評価を行った。コンテンツの質については、起承転結のはっきりした分かりやすい 4 コマ漫画の使用が適していることが分かった。コンテンツの量については、2 つの 4 コマ漫画を混ぜ合わせた形の 4 コマ漫画 CAPTCHA が適していることが分かった。また、アンケート調査から、提案方式が相応のエンタテインメント性を有していることも確認できた。

今後は、4 コマ漫画 CAPTCHA の解答時間の削減、および、さらなるエンタテインメント性の付与を行うことで、ユーザの負荷削減を目指していく。エンタテインメント性に関しては、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あれば、ユーザは CAPTCHA をよりいっそう楽しみながら解くことができると考えられる。たとえば、料理を紹介している Web サイトであれば、料理の作り方を 4 コマ漫画のように表示し、その順番を答えてもらうような CAPTCHA を構築するという方法もとれるであろう。

4 コマ漫画 CAPTCHA の運用についても課題が残っている。CAPTCHA の利用に適した 4 コマ漫画 (起承転結のはっきりした 4 コマ漫画) の抽出は、今のところ自動化に至っていない。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, available from <http://www.captcha.net>.
- [2] Google アカウント, 入手先 (<https://www.google.com/accounts>).
- [3] PWNtcha-Captcha Decoder, available from <http://caca.zoy.org/wiki/PWNtcha>.
- [4] Yan, J. and Ahmad, A.S.E.: Breaking Visual CAPTCHAs with Naïve Pattern Recognition Algorithms, *2007 Computer Security Applications Conference*, pp.279–291 (2007).
- [5] Elson, J., Douceur, J., Howell, J. and Saul, J.: Asirra:

A CAPTCHA that exploit interest-aligned manual image categorization, *Proc. 2007 ACM Conference on Computer and Communications Security*, pp.366–374 (2007).

- [6] Chellapilla, K., Larson, K., Simard, P. and Czerwinski, M.: Computers beat humans at single character recognition in reading-based Human Interaction Proofs (HIPs), *2nd Conference on Email and Anti-Spam* (2005).
- [7] MSR Asirra Project, available from <http://research.microsoft.com/asirra/>.
- [8] Golle, P.: Machine Learning Attacks Against the ASIRRA CAPTCHA, *Proc. 2008 ACM Conference on Computer and Communications Security*, pp.535–542 (2008).
- [9] 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, 入手先 (<http://www.computerworld.jp/topics/563/115709>).
- [10] YUNiTi, available from <http://www.yuniti.com/>.
- [11] How they'll break the 3D CAPTCHA, TechnoBabble Pro, available from <http://technobabblepro.blogspot.jp/2009/04/how-theyll-break-3d-captcha.html>.
- [12] 植田まさし: 新コボちゃん 8, 芳文社 (2006).
- [13] コム P の企画用ブログ, 入手先 (<http://uhoiikomup.blog36.fc2.com/>).
- [14] Dhamija, R. and Perring, A.: Deja Vu: A User Study Using Images for Authentication, *9th USENIX Security Symposium*, pp.45–58 (2002).
- [15] 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).
- [16] Yahoo! の画像認証システムがついに“陥落”? , *COMPUTERWORLD*, 入手先 (<http://www.computerworld.jp/topics/563/95229>).



可児 潤也

2012 年度静岡大学情報学部情報科学科卒業。現在、同大学大学院修士課程。情報セキュリティに関する研究に従事。



鈴木 徳一郎

2008 年湘南工科大学工学部情報工学科卒業。2010 年静岡大学大学院修士課程修了。同年三菱電機エンジニアリング株式会社入社。在学中、情報セキュリティに関する研究に従事。



上原 章敬

2011年静岡大学情報学部情報科学科卒業。同年ネットフォース株式会社入社。在学中、情報セキュリティに関する研究に従事。



山本 匠 (正会員)

2006年静岡大学情報学部情報科学科卒業。2007年9月同大学大学院修士課程修了。2010年9月同創造科学技術大学院博士課程修了。日本学術振興会特別研究員(DC1)、同研究員(PD)を経て、2011年4月三菱電機株式会社情報技術総合研究所入社。情報セキュリティに関する研究に従事。



西垣 正勝 (正会員)

1990年静岡大学工学部光電機械工学科卒業。1992年同大学大学院修士課程修了。1995年同博士課程修了。日本学術振興会特別研究員(PD)を経て、1996年静岡大学情報学部助手。同講師、助教授の後、2006年より同創造科学技術大学院助教授。2007年同准教授、2010年同教授、2013年同大学院情報学研究科教授。博士(工学)。情報セキュリティ全般、特にヒューマニクスセキュリティ、メディアセキュリティ、ネットワークセキュリティ等に関する研究に従事。2013年より情報処理学会コンピュータセキュリティ研究会主査。