

意味保存型の情報ハイディング—日本語文書への適用

中川 裕志^{†1} 三瓶 光司^{†2} 松本 勉^{†3}
 柏木 健志^{†4} 川口 修司^{†4}
 牧野 京子^{†4} 村瀬 一郎^{†4}

ネットワーク基盤の発達などにより、電子的にやり取りされる情報量が目覚ましく増加している。それにともない、電子化されたコンテンツに対する著作権保護が大きな問題となっている。その問題を解決する1つの方法として注目、研究されているのが情報ハイディングである。しかし、従来の情報ハイディングは、画像、音声などに対するものがほとんどであり、テキストを対象にしたものでも、文字間や行間などを微妙に変化させて情報の隠蔽を行うなど、実質的には画像的な扱いをするものがほとんどであった。そこで我々は、自然言語処理の技術を情報ハイディングの分野に応用し、文章中の表現を意味の変わらない他の表現に置き換えることで情報の隠蔽を行うシステムを提案する。本稿では置き換えに適した言語要素の考察、置き換え規則およびその記述法、システム構成について説明する、さらにソフトウェア附属文書を対象とした、置き換えによって情報を隠蔽したテキストの自然さの評価、実験の結果などについて報告する。

Meaning Preserving Information Hiding—Japanese Text Case

HIROSHI NAKAGAWA,^{†1} KOJI SANPEI,^{†2} TSUTOMU MATSUMOTO,^{†3}
 TAKESHI KASHIWAGI,^{†4} SHUJI KAWAGUCHI,^{†4} KYOKO MAKINO^{†4}
 and ICHIRO MURASE^{†4}

Information hiding methods become paid growing attention these days. Many systems of information hiding have been proposed as one of the technique resolving copyright problems in digital contents. In fact, almost all of existing information hiding methods are intended for images and sounds. Methods of hiding information into text proposed so far, however, processed texts as, essentially, an image. In this paper, we propose an information hiding method for text which uses text as not paper images but sequences of characters. That means that linguistic expressions are altered to hide hidden information while the meaning of the text is preserved. Our target text is written in Japanese in the field of software manual and document for user agreement of the software. Actually, this method hides information into text by paraphrasing with a dictionary which consists of pairs of expressions having the same meaning. In this paper, we report what kinds of linguistic component are suitable for hiding by paraphrasing, how to express paraphrasing rules, paraphrasing rules we propose, and the system we developed.

1. はじめに

情報ハイディング技術は、情報の埋め込み元となる

データの品質を変化させることなく情報を隠蔽しておき、必要に応じてその隠蔽した情報を抽出することを目的とする。著作権情報などをデータに秘匿しておくウォーターマーキング、データの受け取り側の情報を埋め込んでおくフィンガープリンティングなどは、この情報ハイディング技術の応用例である。類似の技術である暗号化技術が、隠したい情報そのものを暗号化し、その情報の抽出を非常に困難にすることが要求されるのに対し、情報ハイディング技術は情報が埋め込まれていることを見破られないこと、つまり埋め込み対象となるデータの品質をできるだけ変えないことが要求される。

†1 東京大学情報基盤センター
 Information Technology Center, The University of Tokyo

†2 横浜国立大学大学院工学研究科電子情報工学専攻
 Graduate School of Electrical and Computer Engineering, Yokohama National University

†3 横浜国立大学大学院工学研究科人工環境システム学専攻
 Graduate School of Environment and Information Science, Yokohama National University

†4 株式会社三菱総合研究所
 MITSUBISHI Research Institute Inc.

現在、情報ハイディング技術は、画像や音声を埋め込み対象とした分野で研究が進んでいる。しかし、インターネット上で最もよく目にするテキストデータを対象としたものは、研究事例が少なく、現在有効な手法が模索されている状況にある。

本稿では、我々が開発した、ある言語表現を意味を変えずに別の言語表現へ置換することによる情報ハイディング方式を提案する。また、今回開発したシステムの評価についても報告する。

なお、今回は文書変換辞書の作成、および評価実験の容易さから日本語を対象としたが、文中の表現を同一の表現に置き換えるという処理は、他の言語でも可能である。目的とする言語を対象とした形態素解析システムと、その言語用の文書変換辞書を用意することができれば、他の言語において本システムを適用することも十分可能である。

2. 情報ハイディングとセキュリティ

2.1 情報セキュリティ

発信する情報の管理にあたって必要とされる、情報セキュリティの項目をいくつか示す。発信する情報は、文書、画像、音声など様々なものが考えられるが、ここではこれらを総称して、単にメッセージと呼ぶことにする。

- エンティティの認証

受け取ったメッセージには、付加情報として、作成者であるエンティティ(人または組織)の名前などが記述されていたとする。作成者が本当にそのエンティティであるかが確認できることを「エンティティ認証」ができるという。

- メッセージの認証

メッセージが作成されたときから変わっていないことが確認できることを「メッセージ認証」という。

- メッセージの追跡

メッセージが作成されたままの状態ではなく、なんらかの変化を加えられていたとしても、作成時のメッセージと対応がとれることを「メッセージの追跡」ができるという。

- メッセージの守秘

メッセージが意図した相手以外には「読めない」(開けない、見えない)ようにできることを「メッセージの守秘」が保たれるという。

これら以外にも、メッセージの授受に関する紛争の解決や、メッセージが時刻に存在していたことの証明など、様々な情報セキュリティの項目がある。

2.2 メッセージの追跡

2.2.1 暗号

暗号とは、鍵と呼ばれる特定の知識が利用できるかどうかによって、特定の操作を容易にしたり、困難にしたりすることを制御し、情報セキュリティを達成する技術の総称である。暗号は守秘したい情報そのものに細工を施す。メッセージの守秘のための暗号を、単に暗号系と呼び、エンティティ認証やメッセージ認証のための暗号を、認証系ないし署名系と呼ぶが、これらは広く利用されている。

2.2.2 問題の所在

あるメッセージ M が、文書や画像コンテンツ、音楽コンテンツなどの著作権管理を必要とするものであった場合、暗号系と認証(署名)系だけでは、メッセージの追跡ができるとは限らない。

たとえば、コンテンツのデータ X に著作権者名や配布先名などを表すコンテンツ管理情報 D を付加したものをメッセージ M とし、これに対して認証文 A を生成し、A を暗号化して利用者に配信することを考える。複合ができるのは料金を支払う利用者だけとしたいので、通常、耐タンパーモジュールというハードウェアまたはソフトウェアで、内部の不正読み出しや不正改竄ができない環境を用意する。耐タンパーモジュールの中に複合機能を実現し、料金を払ったものだけが複合機能を働かせられるようにする。また、暗号文の複合の結果得られる認証文 A の検査、複合も行い、得られたコンテンツ管理情報 D に矛盾しないようにデータ X の利用を管理する。このような仕組みが考えられる。

しかし、このような仕組みでは、いったん耐タンパーモジュールからデータ X が出力されたなら、X が横流しされても、その追跡ができない。X を微妙に細工、または編集して、品質としては同等のコンテンツデータ Y に変えて、巧妙に海賊版を作られれば、Y が X に由来するものだということをデータレベルで証明することはきわめて困難である。

2.2.3 情報ハイディングとステガノグラフィ

そこで、コンテンツデータ X とその管理情報 D とを一体化させ、一体化されたもの S はそのままコンテンツとして利用できるようにすることが考えられる。これが「情報ハイディング」のアイデアである。X と D とを一体化させることを「埋め込み」といい、生成されたデータ S を「ステゴデータ」という。また、その際に用いられる鍵を「埋め込み鍵」という。このような技術を総称して、「ステガノグラフィ」(Steganography) という¹⁾。ステゴデータと区別するため、X のことを、

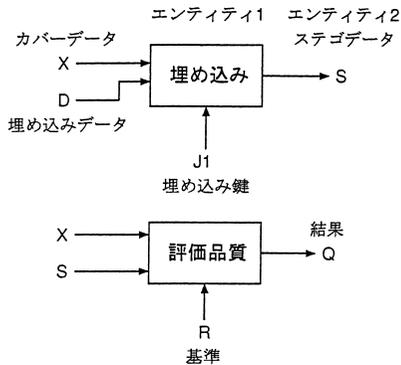


図1 ステゴデータの生成
Fig. 1 Generation of stego data.

Dを隠す媒体となるデータという意味で、カバーデータと呼ぶこともある。Dのことを埋め込みデータ、透かしデータ、あるいはフィンガープリント（指紋）などということもある。

情報ハイディング方式は2つの条件を満たすことが求められる。

品質：あらかじめ定めておいた品質評価基準 R に対して、ステゴデータ S がカバーデータ X と同等の品質も持っているとの結果 Q が得られること。ここで、同じ品質を持つということは、たとえばデータが画像を表していれば、受容者である人間に同じように見えるということであり、音声であれば同じように聞こえるということを指す。テキストデータの場合には、元のテキストの意図を損なわないということである。図1を参照のこと。

耐性：ステゴデータに対して、攻撃者が行う可能性のある改竄に対して、十分な強度を維持していることが必要である。すなわち、ある1つの未知のカバーデータに対して作られた、1つまたは複数のステゴデータが与えられたとき、そのどれも埋め込みデータが異なるが、同じ品質を持つデータを作成することが攻撃者にとって困難であることが必要である。あるカバーデータと同等の品質を持つデータが与えられたとき、それがどのステゴデータに由来するものであるのかが正しく判定できれば、攻撃を受け「横流し」されたデータの追跡に役立てられるため、攻撃者の特定や不正行為の抑止に効果を発揮しうるからである。図2を参照のこと。

2.2.4 電子透かしとフィンガープリンティング

“電子透かし”や、“ウォーターマーキング”（Watermarking）という言葉は、2.2.3項で示した“埋め込み”

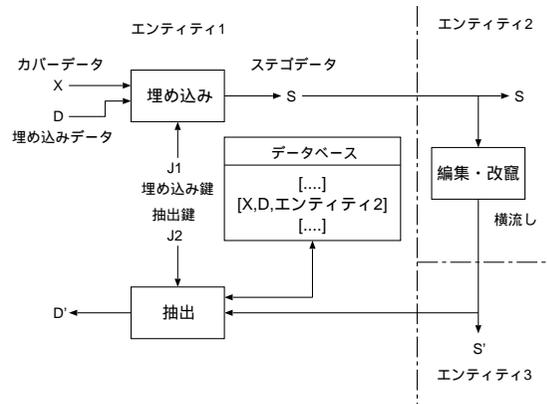


図2 ステゴデータの改竄と管理情報の抽出
Fig. 2 Alteration of stego data and extraction of management information.

と同義であると解釈されることも多いが、“透かし”というアナロジーからも示唆されるように、埋め込みデータに著作権者名を含む情報ハイディング方式のことであり、主としてコンテンツの作成者側の情報が、コンテンツから分離できないようにすることを狙った応用の時に用いられる言葉である。これに対し、“フィンガープリンティング”（Fingerprinting）は、たとえば、書類を素手で受け取ると書類に指紋が付く、誰が受け取ったかが後で分かるのと同じで、あるデータを多数のエンティティにネットワークなどを介して配布する際に、あるエンティティに配布したデータと、別のあるエンティティに配布したデータとを区別できるように、データを個別化する方式のことを指す。フィンガープリンティングの場合の埋め込みデータとして、配布者側の情報を入れることも可能であるから、フィンガープリンティングの特別な場合が、ウォーターマーキングであるともいえる。

実際にこれらの方式をカバーデータに適用するにあたり、考慮すべきことは大きく2つに分けられる。1つは、カバーデータ中にデータを埋め込む手法である。これは、カバーデータが表す内容によって手法が異なるが、基本的には、カバーデータに存在する冗長性を利用し、バイナリレベルでは異なったものであるがほぼ同じ品質のデータを作成する、という方法をとる。画像、音声などはテキストに比べ冗長性が高く、また、直行変換などを施した変換領域での埋め込み処理が行えるため、ステゴデータに対する攻撃に対する耐性を高める研究が進んでいる。

もう1つは、埋め込むデータの符号化である。埋め込むデータにどのようなパターンを用いるか、ということである。そのままの状態埋め込みを行うと、

攻撃に対して脆弱であるため、埋め込みデータには冗長性を持たせて埋め込みを行うのが一般的である。誤り訂正符号や認証符号の理論を応用し、符号誤りに対して強度を持ったパターンを作成する研究がなされている。

3. テキストを対象とした情報ハイディング

テキストへの情報ハイディング方式には、主として2種類のアプローチがある。1つはテキストを画像のように扱うもので、文面には変更を加えず、文字間隔を変化させたり、ヌルキャラクタなどの文字として表示されないキャラクタを挿入することにより、埋め込みを実現する。これらはそれぞれ、ホワイトスペース法^{2),3)}、文字埋め込み法^{4),5)}と呼ばれている。この方式の利点は、文面にはまったく手を加えないため、文書の品質を完全な状態で保たれる。しかし、このような方式が適用できるテキストのフォーマットは限られてくるため、テキストの保存形式が変更され、プレーンテキストの状態にされると、埋め込みデータが完全に失われてしまうという欠点がある。また、行間、文字間のサイズの違い、ヌルキャラクタの存在などは、機械的処理によって容易に検出されてしまうという問題もある。

もう1つが、文書の内容そのものを書き換える方式である。書き換えに利用するルールとそのルールに対応したビット情報をあらかじめ用意しておき、元の文書そのルールに従って書き換えるというものである。これらは辞書変換法^{6)~9)}と呼ばれている。現在までになされた研究では、単に情報を埋め込むということにのみ注目していたため、カバーデータとなるテキストの品質はまったく保証されないというものであった。そのため、前述の電子透かしやフィンガープリンティングには応用できず、暗号に変わる情報秘匿手段といった位置づけがなされていた。

以降で、辞書変換法をベースとした新しい情報ハイディング方式について提案する。

4. 意味保存の情報ハイディング

4.1 基本的アイデア

日本語に限らず、自然言語においては同一の内容であっても複数の表現が存在する。ここではこのことを利用する情報ハイディングについて検討する。「意味を変えない置き換え」という文に対しては、「意味を変化させない置き換え」、「意味を変えない置換」、「意味を変化させない置換」といった、同一の意味を持つ文が存在する。仮に、「変えない」と「置き換え」がビット情

報0を「変化させない」と「置換」がビット情報1に対応しているとすれば、これら意味の同一な4つの文はそれぞれ、00, 10, 01, 11という情報を表していることになる。このような表現の置換を文書全体に対して行えば、文書の品質が損なわれず、かつ、存在を検出されにくい付加的情報(これを以後「秘匿情報」と呼ぶ)が埋め込まれたテキストが生成できる。

4.2 表現の置換

4.2.1 一般的な置換

我々が普段使っている言語には、同一の内容を表現するものであっても、多種多様な表現が存在する。前にあげた「意味を変えない置き換え」のような、各語を同一の意味を持つ語で置き換えるようなものもあれば、語順を変えるもの、まったく違う構文、語で同一の内容を表現するものなど様々である。我々のシステムの対象となるものは文書であるので、まず文書における表現の置き換えとして以下の方法について考察する。

- (1) 並列句の順番の置き換え
例:「システムとユーザ」「ユーザとシステム」
- (2) 受動態から能動態へ、能動態から受動態へ
例:「システムが構文を解析する」「構文がシステムによって解析される」
- (3) 同義語、類義語の利用
例:「できる」「可能である」
- (4) 送り仮名、仮名 漢字などの表記揺れを利用する
例:「表す」「表わす」
- (5) 冗長である部分を付加、削除する
例:「しなければ」「せねば」

上記のもののうち、はじめの2つの方法は、文法的な構造を変化させることによって同一の意味を持つ表現への置換を行う。しかし、こういった置換が意味を保存するには正確な構文解析、場合によっては意味解析まで必要となる。たとえば「システムの保守とユーザ管理」といった表現があった場合、並列であるのか「システムの保守」と「ユーザ管理」であるのか「保守」と「ユーザ管理」であるのかの判断によって置換結果が異なる。また、置き換えの前後で厳密には意味が保存されないものも少なからず存在する。受動態、能動態の相互変換に関しても同様で、句構造を正確に抽出しないと態を変換した後の文法構造ないし意味が崩れる¹⁰⁾。こういった処理は、処理時間がかかるうえに曖昧さが残ってしまうため、現在のところでは有効な手法であるとは言いがたい。また、これら構文解析を用いる置き換えの手法は、文節や文を単位とするの

で、同義語などを用いた(3)あるいは(4)(5)の場合と比べ、相対的に隠蔽できる情報量が少なくなる。したがって我々のシステムでは、文の構造を変えるのではなく、語や句の置き換えによって情報を隠蔽する(3)(4)(5)の方式をとることにする。

4.2.2 品詞の種類による特徴

置換の対象となる品詞の種類によって、同義語への置き換えは、さらに細かく分類することができる。たとえば、普通名詞であれば置き換えの際、語の活用について考慮する必要はないが、複合名詞化しているものは、単純に置き換えると文法構造が崩れるおそれがある。また、動詞の場合は活用形を考慮して置き換えねばならない。これら品詞の種別による表現の置き換えの特徴を示す。

- 名詞(サ変名詞を除く)

前方および後方に名詞が接続する場合を除き、文法的制限はない場合が多い。しかし意味的に完全に等しい語が存在する場合は少なく、特定の条件下においてのみ同じ意味を持つ場合や、一方がもう一方を包括する意味を持つことが多いため、一方向の変換になることが多い。例としては「文書」と「テキスト」があげられる。また、一般的に用いられる名詞であっても、特定の分野においては特殊な意味を持つ場合があるため注意が必要である。たとえば「表示」は計算機分野ではディスプレイへの表示であり、「掲示」や「表現」とは置き換えられない。

- サ変名詞

サ変名詞単体で文中に出現する場合は普通の名詞と同様の特徴を持つが「サ変名詞+する」の場合には動詞として振る舞うため、この場合は動詞の置換と同様「する」の部分の活用形を考慮した置換を行わねばならない。また「~を+サ変名詞+する+こと」のようにサ変名詞を含む名詞句が存在する場合は、この部分を「~の+サ変名詞」とする置き換えが可能である。

- 動詞

動詞の置換にあたって最も考慮しなければならないことは、活用形の変化である。たとえば「できる」という語とそれに対する置換候補「可能だ」を考えた場合、前者は終止形、連体形とも「できる」であるが、後者は終止形が「可能だ」、連体形が「可能な」となる。このように置換対象とそ



図3 位置特定子

Fig.3 Position identifier.

の置換候補では必ずしも活用形が一致するわけではないので注意が必要である。また、サ変名詞が名詞句を形成する場合と同様、「~を+動詞+こと」は、これと同様の意味を持つ名詞を用いて、「~の+名詞」とすることが可能である。

4.2.3 置換条件の設定

表現の置換において、最も考慮しなければならないことは、意味および文法性を損なわないことである。そこで、形態素解析システム『茶釜』¹¹⁾を用い、これらのことを実現するために、置換可能な際の条件をあらかじめ設定するという方式をとる。

一般に、ある表現の周囲の表現により、置き換えの可否が判定できる。そこで、置換の対象となる表現の周囲の語によって置換可能かどうかの判定を行うような条件を設けた。形態素解析によって得られる情報は、品詞の種別やその活用形であるため、条件を構成する要素として、置換の対象となる語からの距離(形態素数)と、語そのもの、品詞名を選択した。条件は論理式に近い形式で記述され、辞書に登録される。条件は基本的に「位置特定子」+「==または!=」+「品詞識別子または文字列」のように記述される。ただし、「AまたはB」はAかBのどちらかを表し、C+Dは、CとDが連結することを表す。位置特定子とは図3に表したものであり、置き換え可能かどうかを判定される語をSelf、それ以前に出現する語をSelfから近い順にPre1, Pre2, ..., Pre5, Self以降に出現する語を近い順にPost1, Post2, ..., Post5といった名前をつけたものである。品詞識別子とは、名詞、動詞、形容詞などにそれぞれ別名をつけたものであり、これらであれば、Noun, Verb, Adjというふうになる。また、複数の条件を||, &&でつなげることもできる。たとえば「直前が名詞でなく、直後が動詞でないならば置き換え可能」という条件を記述すると、(Pre1!=Noun)&&(Post1!=Verb)となる。図4に実際に置き換えに使用した表現の一部を示す。図中の()内の第1項は置き換えの対象となる表現、第2項は置き換えの結果の表現、第3項は置き換え可能な場合の条件である。

4.3 システム概要

まず、以下の2つの用語を定義しておく。

後方に“する”が続くことで動詞を形成する名詞。“置換”など。厳密にはナ形容詞といわれる、いわゆる形容動詞である。

(関連した, 関連する,
 (Post1==Noun)&&(Post1==EndOfSentence))
 (有する, もつ, Null)
 (できる, 可能な,
 (Post1==Noun)&&(Post1==EndOfSentence))
 (できる, 可能である, Null)
 (別の, 他の, Pre1==EndOfSentence)
 ((サ変名詞) して ,, (サ変名詞) し ,, Null)

図 4 置換可能な表現の例

Fig. 4 Example of replaceable expressions.

カバーテキスト 秘匿情報を埋め込む対象となるテキスト

ステゴテキスト カバーテキストに秘匿情報を埋め込んで変換したテキスト

本システムの概要は図 5 のようになっており, 具体的な文の言い換えは図 6 のようにして行われる. 処理の流れを以下に述べる.

- カバーテキスト C を形態素解析によって各形態素に分解する.
- 文書変換辞書 D の構造は図 6 に示すように, 置換対象となる語と, それに対する置換候補, 置換の際の条件を保持する.
- 形態素解析されたテキスト C と, 辞書 D の登録内容との比較を行い, D 中に存在する表現があれば, 置換条件による判定を行う. 置き換えが可能であった場合は, 置き換えが可能である語とともに, それに対する候補もタグ付けがなされテキスト C' として出力される.
- テキスト C' は HTML 形式に変換する専用のフィルタをかけることで, どのように置き換えられるかが Web ブラウザで確認できるようになっており, C' 中の置き換えに不適切な部分があった場合, 人手でそれを修正することが可能である.
- 秘匿情報 e はバイナリストリングに変換され, そのバイナリストリングと C' のタグ情報にしたがって表現の置換が行われる. その結果生成されるのがステゴテキスト S である.
- 秘匿情報の抽出はテキスト C' とテキスト S の比較によって行われる. 比較によってどの個所が置き換わっているかを特定し, 情報隠蔽の際に適応した情報埋め込みパターンを用いて情報の抽出を行う.

図 7 に秘匿情報が埋め込まれたステゴテキストの例を示す. この図では, 置き換えられた個所を [置換後の表現/置換前の表現] で示している.

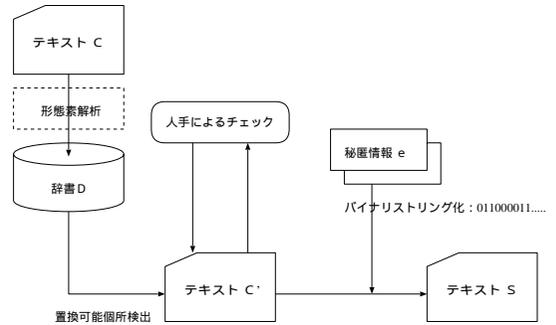


図 5 システム概要

Fig. 5 The outline of our system.

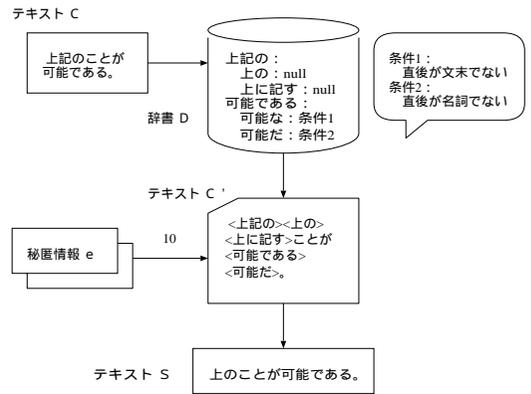


図 6 辞書による文の言い換え

Fig. 6 Paraphrasing of sentence by dictionary.

ネットワーク基盤の発達など [によって/により], 電子的にやり取りされる情報量が目覚ましく増加している. それに [伴い/伴って], 電子化されたコンテンツに対する著作権保護が大きな問題となっている. [そのような/その] 問題を解決する 1 つの方法として注目, 研究されているのが情報ハイディングである. しかし, [これまで/従来] の情報ハイディングは, 画像, 音声などに対するものがほとんどであり, テキストを対象にしたものでも, 文字間や行間などを微妙に変化させて情報の隠蔽を行うなど, 実質的には画像的な扱いをするものがほとんどであった.

図 7 生成されたステゴテキストの例

Fig. 7 Example of stego text produced by our system.

5. 実証実験

2.2.3 項で示したように, 情報ハイディング技術には, カバーデータの品質を保持することと, 改竄に対する耐性の 2 つが要求される. この節では, 品質保持の部分に着目した以下の 2 種類の実験について述べる.

- (1) カバーテキストと, それから生成されたステゴテキストの 2 つの文書と比較し, その 2 つの間で日本語として文法的, 意味的に等しいかを検討してもらう (以下, 比較実験と呼ぶ).

- (2) ステゴテキストのみを査読させ、その中で使用されている表現が、日本語として正しく、かつ専門文書としての内容に即しているかを検討してもらおう(以下、査読実験と呼ぶ)。

また、攻撃者による文書改竄に対する耐久性に対しても実験を行った。実験の流れは以下のようなものである。

- 仮想的に16ビットのユーザIDを設定し、それにパリティを付加した状態でステゴテキストを生成する。
- 被験者に対してこれらを配布し、改竄してもらう。どの被験者にどのユーザIDの文書を配布したかは、配布前にデータベース化しておく。
- 改竄された文書を回収し、その文書から正しいユーザIDが取り出せるか調べる。

被験者に対しては、まったく情報埋め込みの手法を知らない、どのような手法かのみ知っている、ステゴテキスト生成に使用した辞書の内容を知っている、などの違いを設定し、それぞれのレベルにおいてどの程度耐性があるかを調査し、改竄された文書中から、正しいユーザIDを抽出可能であることを検証した。詳細は別の論文¹²⁾としてまとめられているので、ここでの説明は割愛する。

5.1 実験目的

あるテキストに対して、そのテキストが情報が埋め込まれているステゴテキストかどうかを判断するには、大きく分けて2種類の方法があると考えられる。

1つは、機械的にテキストを処理し、不自然な部分があれば検出する手法である。空白位置、エスケープコードなどを検出するようにすれば、前述のホワイトスペース法、文字埋め込み法についてはある程度の効果が期待できる。また、語の頻度情報や、形態素解析、意味解析などの自然言語処理技術を利用すれば辞書変換法の検出も不可能ではないと考えられるが、曖昧性の解消が難しく、疑わしいものはすべて検出せざるをえない。そのため、検出された文書に対して後述の方法を適用し、さらに絞り込む必要がある。

もう1つは、実際に人間の目で判断する方法である。この方法は機械的な検出とは逆に、文章の意味的、文法的におかしいところを検出可能なため、辞書変換法に対しては有効である。しかし、実際に人間が読んで判断するため、処理できる文書量が機械的な検出と比較して非常に少なくなるという欠点がある。また、ホワイトスペース法、文字埋め込み法に対しては、人の目で判断するという性格上、ほとんど検出できないものと思われる。

これらの検出法を、本システムによって生成されたステゴテキストに適用することを考える。我々の提案する手法が、辞書変換法をベースとしていて、文法構造だけでなく意味的なつながりも保存するものであることを考えると、機械的な検出についてはすでに耐性があるといえる。そこで、人間の目による検出に対してどの程度耐性があるかを調査するために、前述の比較実験、査読実験を行った。以降ではその詳細について述べる。

5.2 使用データ

カバーテキストと辞書は、比較実験、査読実験と同じものを用いる。カバーテキストには、文書の種類、サイズなどによって生成されるステゴテキストの品質に影響がでるかどうかもチェックするため、2種類の分野のテキストを用意した。具体的には、5KB前後のサイズを持つソフトウェアのマニュアル、使用許諾文書をそれぞれ2種類ずつと、25KB、50KBのサイズのマニュアルを用いた。これらの文書は、実際にNTTソフトウェア、ジャストシステムの両企業から製品として販売されたものであるため、著作権の関係上ここでの掲載は行わない。

文書変換辞書には、「できる」、「すべて」、「～により」などの、分野によらず一般的に使用される語を置き換えの対象とした辞書(以下、一般辞書)と、この一般辞書に「プロシジャ」、「データベースシステム」、「ブレンテキスト」などの、特定の分野でのみ使用される、専門的な語も置き換えの対象として追加した辞書(以下、専門辞書)を用意した。一般辞書は、一般的に使用されている語の中で、我々が置換可能であると判断したものを網羅的に追加することによって作成した。専門辞書における置き換え対象となる語の追加は、それぞれ対象とするカバーテキストを作成した企業に依頼し、カバーテキスト作成者側で、置き換えが可能であると判断した語を追加してもらった。

辞書を構成する語彙数は、一般辞書が209種類、専門辞書で、マニュアルを対象としたものが、一方の企業(以下、A社)が作成したものが741種類、もう一方の企業(以下、B社)が作成したものが285種類であった。同様に、使用許諾文書を対象としたものがA社で771種類、B社で278種類であった。

辞書を構成する語の内訳を表1に示す。表1中の種類数は、語W1から語W2への変換が可逆変換であった場合、W1からW2、W2からW1をそれぞれ

今回の実験においては、実験参加者に限り、文書の複製、加工についての許諾を得た。

表 1 辞書を構成する語の種別

Table 1 Classification of word to constitute dictionaries.

[1]	[2]	[3]	[4]	[5]
一般辞書	209	168	24	17
専門辞書 (A社 マニュアル用)	771	721	32	18
専門辞書 (B社 マニュアル用)	285	234	31	20
専門辞書 (A社 使用許諾文書用)	741	691	32	18
専門辞書 (B社 使用許諾文書用)	278	230	29	18

[1]: 辞書種別 [2]: 登録種類数 [3]: 同義語を利用したもの
[4]: 表記の揺れを利用したもの [5]: 冗長な部分を利用したもの

独立にカウントしたものである。

また、これらのほかに仮想的に“登録数の少ない一般辞書”というものを使用した。これは、同一のカバーテキストに対して置換個所数を変化させてステゴテキストを生成した場合、被験者が下す判断どのような影響を与えるかを調査するためである。辞書の登録語彙数を減らすことによってこれを実現させると、置換個所数の違いだけでなく、置き換えに使用される表現の質も変わってくるため、辞書は前述のものをそのまま使用し、埋め込みに使用する個所を置換可能個所からランダムに選択した。

なお、以降ではそれぞれのステゴテキストを(文書種別)(文書サイズ)(識別子)(使用辞書)といった書式で表す。識別子は文書種別、文書サイズとも同じ文書を区別するためのものである。文書種別にはマニュアルと使用許諾文書のそれぞれを表す“M”と“L”を、文書サイズには5KB, 25KB, 50KBを表す“S”, “M”, “L”を、識別子には“1”と“2”を用い、使用辞書は、一般辞書が“c1”, 登録数の少ない一般辞書が“c2”, 専門辞書が“t”で表される。識別子が“1”であった場合にはA社で、“2”であった場合にはもうB社で作成したカバーテキスト、および辞書を使用していることを表す。

たとえば、“専門辞書と25KBのマニュアルを用いて作成されたステゴテキスト”を表すのは、MM1-tとMM2-tの2つとなる。

5.3 比較実験

5.3.1 実験概要

比較実験は、生成されたステゴテキストとカバーテキストを比較することによって、我々の作成したシステムが、日本語として意味を保存しているかを検証することを目的とする。ここでは意味の保存という点に限定しているため、仮名、漢字表記の違いなどは無視し、文書内で使用されている語の意味の比較が中心となる。

被験者は、NTTソフトウェア、ジャストシステムにおいてマニュアルの作成業務を担当しているテクニ

表 2 比較実験の結果

Table 2 Result of comparative experiments.

[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]
MS1-t	50	48	23	1, 0	4.3%, 0%	3, 5
MS1-c1	17	17	10	0, 0	0%, 0%	4, 5
MS2-t	310	304	123	22, 39	17.9%, 31.7%	5, 4
MS2-c1	37	32	16	3, 4	18.8%, 25.0%	5, 2
LS1-t	76	50	30	1, 0	3.3%, 0%	5, 5
LS1-c1	52	48	26	0, 0	0%, 0%	5, 5
LS2-t	154	153	86	4, 9	4.7%, 10.5%	5, 4
LS2-c1	39	32	15	0, 8	0%, 53.3%	5, 1
MM1-c1	147	144	79	4, 2	5.1%, 2.5%	3, 5
MM2-c1	154	152	83	8, 15	9.6%, 18.1%	5, 5
ML1-c1	318	312	142	7, 4	4.9%, 2.8%	3, 5
ML2-c1	229	224	120	16, 19	13.3%, 15.8%	5, 4
MM1-c2	75	73	39	1, 0	2.6%, 0%	4, 5
MM2-c2	79	72	42	5, 8	11.9%, 19.0%	5, 5
平均値					11.9%	4.4

[1]: ステゴテキスト名 [2]: 置換可能個所 [3]: 置換個所
[4]: 不一致個所 [5]: 不一致指摘個所 [6]: 不一致指摘率
[7]: 全体評価

(5: 意味はほぼ同じ 3: 全体の文意は同じ 1: 同じ意味ではない)

表 3 置き換えの種類ごとの不一致指摘率

Table 3 Mismatch indication ratio of every permutation type.

置き換えの種類	出現回数	不一致指摘個所数	指摘率
同義語を利用	1208	159	13.2%
表記の揺れを利用	240	8	3.3%
冗長な部分を利用	142	13	9.2%

なお、出現回数はカバーテキストに出現する表現から、他の表現へ置き換えたのべ数である。

カルライター、および使用許諾文書など、法律が関わる文書作成業務を行っている法務担当者とし、それぞれ自社のマニュアル、使用許諾文書を担当してもらった。制限時間などの制限事項は特に設定しなかった。

5.3.2 実験結果

表2, 表3に比較実験の結果を示す。表中の項目はそれぞれ以下のように定義した。

- ステゴテキスト名
前述の書式に従って、ここのステゴテキストを表す識別名。
- 置換可能個所
使用したカバーテキストと辞書の組合せで、情報が埋め込み可能であると判断された個所数。
- 置換個所
実際に情報の埋め込みに使用した個所数。
- 不一致個所
情報埋め込みに使用した個所で、元の語から他の語に置き換えられた個所数。
- 不一致指摘個所
意味の不一致が指摘された個所数。

[6] 不一致指摘率
不一致指摘箇所/置換箇所 .

[7] 全体評価
被験者の主観による文書全体の評価 .

なお、平均値は(不一致指摘箇所の総和/(置換箇所の総和 ×2))である .

表 2 に示される比較実験の結果について考察する .

- カバーテキストの種類

カバーテキストの種類が、表現の置換においてどのような影響を与えるかを考察する . 条件をできるだけ同じものとするため、辞書に一般辞書を用いて、5 KB 程度のサイズのカバーテキストから生成したステゴテキストについて比較する . この条件を満たすステゴテキストは、MS1-c1, MS2-c1, LS1-c1, LS2-c1 の 4 つである .

まず、置換可能である箇所は MS1 が 17 箇所、MS2 が 37 箇所、LS1 が 48 箇所、LS2 が 39 箇所となっており、全体的に使用許諾文書の方が、一般辞書を用いた場合には埋め込み可能箇所が多い . これは、マニュアルはある特定のものについて解説するという性質のものであるため、専門用語が多く出現するという点に由来するものと考えられる . 実際にそれぞれのテキストにカスタマイズされた辞書を用いた場合には、埋め込み可能箇所が飛躍的に増えることから、このことがうかがわれる . また意味の比較結果についてみると、MS1, LS1, はどちらも同一の意味であるという結果が、MS2 については 3~4 箇所の、意味的に不自然な部分が出現しているという結果となった . LS2 は特殊なケースであり、2 人の査読者のうち 1 人は意味的に同一であるという判断を下しているのに対し、もう 1 人は置き換えた箇所の半分以上の部分に対して意味が異なるという判断を下している . 全体としての評価も、1 人はほぼ同じ意味であると評価しているのに対し、もう 1 人は同じ意味とはいえないという評価をしている . これは、個人の感性による違いによる部分が大きく、定性的に判断することが難しいが、考える原因の 1 つとして、被験者の知識、能力の違いがあげられる . 意味が同一でないという判断した被験者は、法律関係の文書作成業務において 10 年以上のキャリアがあるのに対し、同一であると判断した被験者は数年程度であった .

全体的な評価をすると、一般的な表現の置き換えによって、単純に文章としての意味を保存するという観点からは、使用許諾文書の方がマニュアル

より、隠蔽情報量、生成されたステゴテキストの質の両方において優れているといえる .

- 辞書の登録内容

次に辞書の登録内容という側面から結果についての考察を行う . 我々が実験に用いた専門辞書は、専門用語動詞の置き換え、および一般辞書の枠組みに専門的な用語を代入したものであるため、置き換えの対象とする語が多い . このことが表現の置き換えに与える影響について調べるため、ここでは、カバーテキストが同一で使用する辞書が違うものについて比較することとする . 比較するものは、MS1-c1 と MS1-t, MS2-c1 と MS2-t, LS1-c1 と LS1-t, LS2-c1 と LS2-t の 4 組である . 前述のように専門辞書の方が登録単語数が多いため、埋め込み可能箇所も多くなっている . また、これにともない表現の置換箇所も増えたため、意味が不一致である箇所が増えている . 特に MS2 の対は平均で 8 倍以上、意味が一致していない箇所が増加している . しかし、置き換えられた箇所に対する意味不一致の指摘箇所の割合は LS1 を除いてはあまり変化がなく、全体評価に関しては、平均値が向上している . このことから、辞書の登録内容は、専門用語など、対象となる文書独特のものであっても置き換えるように登録してあったほうがよいといえる . また、表 3 を見てみると、同義語、類義語を使用して表現を置き換えるものが、出現回数、指摘率ともに高い . この中でも、“できます”を“可能です”と置き換えるような、“可能”と“できる”を含む変換や、“場合”を“とき”や“際”に置き換えるものが指摘率が高い . 特にマニュアル中では 30%程度指摘されている . これらの語は出現回数も多いため、ステゴテキストの品質を高めるためには、辞書から削除するか、置換の際の条件を絞り込む必要がある . さらに、被験者には表記の揺れなどは無視し、意味の違いのみを評価するよう指示したが、表記の揺れを利用した置き換えでも、若干の意味の不一致が指摘されており、こちらも改善の余地があるといえる .

- 置換箇所数

一方、登録内容の異なる辞書を用いて情報の隠蔽を行ったものは、MM1-c1 と MM1-c2, および MM2-c1 と MM2-c2 の 2 組である . これらについてみると、必ずしも置き換え箇所の少ない文書の方がより自然であるとはいえない、という結果が出ている .

5.4 査読実験

5.4.1 実験概要

査読実験は、ステゴテキスト単体でみた場合、日本語の品質が維持され、かつ専門分野における文書としての正当性を保持しているかどうかを検証するための実験である。専門家の目で文書が適切であると判断されれば、その文書に不自然な部分がない、つまり秘匿情報の存在が検出されなかったということになる。比較実験で用いたカバーテキスト—辞書の組合せと同じ組合せを用い、埋め込みデータだけを変えステゴテキストを生成した。被験者は比較実験と同じテクニカルライター、法務担当者とし、それらのステゴテキストに対し、各文書あたり2人ずつ文書の正当性を評価してもらった。比較実験同様、制限時間などは設定しなかったが、ステゴテキストを査読、評価するにあたって、実際に自社の製品のマニュアル、使用許諾文書として適切かどうかを判断するよう指示した。

5.4.2 実験結果

表4と表5に査読実験の結果を示す。表中の項目は以下のように定義した。

- [1] ステゴテキスト名
前述の書式に従って、ここのステゴテキストを表す識別名。
- [2] 置換可能個所
使用したカバーテキストと辞書の組合せで、情報が埋め込み可能であると判断された個所数。
- [3] 置換個所
実際に情報の埋め込みに使用した個所数。
- [4] 不一致個所
情報埋め込みに使用した個所で、元の語から他の語に置き換えられた個所数
- [5] 問題指摘個所数(変更分)/問題個所数(全体)
“問題指摘個所(変更分)”は、実際にシステムによって置き換えられた部分のうち、表現が適切でないとの判断を下された個所数。“問題個所数(全体)”は置き換えられたかどうかによらず、表現が適切でないとの判断を下された個所数。
- [6] 問題指摘率
問題指摘個所(変更分)/置換個所
平均値は(不一致指摘個所(変更分)の総和/(置換個所の総和×2))である。

また“日本語としての評価”はステゴテキストが目的としている内容を正しく表現できているか、“専門文書としての評価”はさらにその内容を専門的な文書として適切な表現を用いて表せているかを、被験者の主観で5段階評価してもらったものである。まったく

表4 査読実験の結果(1)

Table 4 Result of review experiments (1).

[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
MS1-t	50	48	26	5 / 12, 3 / 3	19.2%, 11.5%
MS1-c1	17	17	10	4 / 14, 0 / 0	40.0%, 0%
MS2-t	310	304	151	83 / 98, 14 / 20	55.0%, 8.6%
MS2-c1	37	32	17	6 / 12, 6 / 31	35.3%, 35.3%
LS1-t	76	74	39	8 / 10, 11 / 14	20.5%, 28.2%
LS1-c1	52	48	26	1 / 3, 2 / 5	3.8%, 7.7%
LS2-t	154	153	67	9 / 12, 28 / 34	13.4%, 41.8%
LS2-c1	39	32	14	2 / 2, 4 / 9	14.3%, 44.4%
MM1-c1	147	144	71	48 / 52, 2 / 6	67.6%, 2.8%
MM2-c1	154	152	79	2 / 3, 35 / 64	2.5%, 44.3%
ML1-c1	318	312	164	91 / 118, 4 / 7	55.5%, 2.4%
ML2-c1	229	224	117	2 / 2, 27 / 153	20.5%, 28.2%
MM1-c2	75	73	28	18 / 19, 0 / 0	64.3%, 0%
MM2-c2	79	72	33	0 / 0, 13 / 51	0%, 39.4%
平均値					25.4%

[1]: ステゴテキスト名 [2]: 置換可能個所

[3]: 置換個所 [4]: 不一致個所数

[5]: 問題指摘個所数(変更分)/問題個所数(全体)

[6]: 問題指摘率

表5 査読実験の結果(2)

Table 5 Result of review experiments (2).

文書名	誤り率	日本語としての評価	専門文書としての評価	総合評価
MS1-t	58.3%, 0.0%	2, 5	3, 5	2, 5
MS1-c1	71.4%, 0.0%	3, 5	3, 5	3, 5
MS2-t	15.3%, 30.0%	2, 4	1, 3	2, 3
MS2-c1	50.0%, 80.6%	3, 3	3, 3	4, 3
LS1-t	20.0%, 21.4%	5, 4	4, 3	4, 3
LS1-c1	66.7%, 60.0%	5, 5	4, 4	4, 4
LS2-t	25.0%, 17.6%	4, 2	3, 1	3, 1
LS2-c1	0.0%, 55.6%	5, 4	5, 4	5, 4
MM1-c1	7.7%, 66.7%	2, 5	2, 5	2, 5
MM2-c1	33.3%, 45.3%	5, 3	5, 2	5, 2
ML1-c1	22.9%, 42.9%	3, 5	3, 5	3, 5
ML2-c1	0.0%, 82.4%	3, 4	3, 3	3, 3
MM1-c2	5.3%, 0.0%	3, 5	2, 5	3, 5
MM2-c2	0.0%, 74.5%	5, 2	5, 2	5, 2
平均値	43.4%	3.8	3.4	3.5

5: まったく問題がない 3: 全体としては許容範囲

1: 不適切な文書である

各欄の“a, b”は1人目がa, 2人目がbという評価をしたことを表す。

問題がなく適切な文書であれば5を、多少不適切な個所が存在しても、文書全体としてみれば許容範囲内におさまるのであれば3を、誤った用法、意味で用いられている表現が多く適切な文書でなければ1である。4, 2はそれぞれの中間の評価である。

比較実験の結果と比べ、全体的に問題指摘個所が増加していることがあげられる。単純に、本実験の問題指摘率と比較実験の不一致指摘率を比較すると、全体の平均値で14%ほど、専門辞書を用いたもの、一般辞

表 6 置き換えの種類ごとの問題指摘率

Table 6 Problem indication ratio of every permutation type.

置き換えの種類	出現回数	問題指摘箇所数(変更分)	問題指摘率
同義語を利用	1272	305	24.0%
表記の揺れを利用	264	105	39.7%
冗長な部分を利用	152	17	11.2%

出現回数の定義は、表 3 と同様である。

書を用いたものはそれぞれ、18%、13%程度ずつ値が増加している。これは、比較実験において、日本語としては意味が同一であると判定されたものでも、専門的な分野の文書としてみた場合には、意味が異なってくるによる。特に使用許諾文書のような法律的な文書に関しては、すでに文書において用いる言葉、言い回しなどが固定されていることが多く、こういったものを置き換えてしまうと、日本語としての意味は通るが、専門分野の文書としては不自然なものになってしまう。専門辞書における問題指摘率が高いのは、こういった専門用語も置き換えの対象として含まれていることによるものと思われる。また、実際のマニュアル、使用許諾文書などにおいては、“ください”や“など”といった仮名表記、漢字表記どちらもとりうるものは、一方に統一されていることが多い。そのため、両方出現する場合には適切でないと思なされるケースが多く、全体として問題指摘箇所の増加につながったものと思われる。表 6 中において、表記の揺れを利用した置き換えが最も指摘率が高いことからこのことがいえる。

表 4 と表 5 を見比べてみると、5 段階評価で低い数値のついているものは、問題箇所数(全体)が高い傾向にある。これは適切でない箇所を指摘してもらうという実験の手法から考えると、ごく自然なことであるが、これらは必ずしも置き換えた箇所を正しく検出して指摘しているとはいえない。特に MM2-c2 は誤り率が 74.5% となっており、誤って指摘した数が、実際に置き換えた箇所を指摘した数を大幅に超えている。置き換えた箇所がまったく周囲の表現に影響を及ぼさないわけではないので、単純な比較はできないが、それでも、カバーテキストそのものに被験者が不適切だと判断する部分が多く、結果として主観的な 5 段階評価を下げているということが言える。カバーテキストそのものに不適切だと判断される表現が多いことは、誤り率の平均が 4 割を超えていることから見てとれる。

また、表 5 の被験者による 5 段階評価であるが、一般辞書を用いたもので、日本語としての評価、専門文書としての評価、総合評価それぞれの平均値が、4.0、

3.7、3.8 となっていて、専門辞書を用いたものでは、3.5、2.9、2.9 となっている。専門辞書を用いたものにおいて、専門文書としての評価、全体評価とも“全体としては許容範囲である”という評価である 3 を下回っている。一般辞書を用いた結果においては、3 項目ともそれほど大きな違いがなかったことと、専門辞書を用いた結果でも、日本語としての評価は 3.5 と相対的に高評価であることを考えると、専門用語の置き換えが適切でなかったということが導き出せる。比較実験の結果に対する考察の際、専門用語も置き換えの対象とした方がよいとの結果になったが、これは日本語としての局所的な意味の同一性だけを考慮した立場から導き出されたものであり、元のデータの品質を低下させないという情報ハイディングの前提に立つと、専門用語を置換の対象とするには注意を要するということと言える。

なお、一般辞書の結果のみを見れば、3 項目それぞれの平均値がすべて基準となる値である 3 を上回っている。また、一般辞書を用いた場合の誤り率は、平均値 49.4% となっており、このことから、我々の作成したシステムによって生成されたステゴテキストは、専門家の目から見ても十分許容範囲内におさまる適切な文書であるといえる。

6. ま と め

意味を変えない置き換えによるテキストへの情報ハイディング方式を提案した。提案した方式の評価実験などから、意味を保存した表現の置き換えによって攻撃者に検出されにくいステゴテキストの生成に成功しているといえる。しかし、専門用語などの扱いなどによっては文書の品質が低下することがあるため、この扱いに対する研究が今後の課題となる。また、情報ハイディングを施したステゴテキストが改竄にさらされた場合の耐久性の評価と向上法、提案した方法を利用する著作権保護システムの構成も今後の課題である。

謝辞 本研究は情報処理振興事業協会(IPA)の情報セキュリティ関連事業(平成 11 年度)援助により行われました。本研究を進めるにあたって、御助言、御協力いただいた NTT ソフトウェアの各位、ならびにジャストシステムの各位に感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) 松本 勉：電子透かしと関連技術，電気学会誌，Vol.120, pp.430-433 (2000).
- 2) Brassil, J., Low, S., Maxemchuk, N.F. and O’Gorman, L.: Hiding Infomation Documents

Images, *Conference on Information Sciences and Systems (CISS-95)* (1995).

- 3) Brassil, J. and O’Gorman, L.: Watermarking Document Images with Bounding Box Expansion, *Info Hiding 96*, pp.227–235 (1996).
- 4) Maxemchuk, N.: Electronic Document Distribution, *AT&T Technical Journal*, Vol.73, No.5, pp.7
- 5) Low, S., Maxemchuk, N., Brassil, J. and O’Gorman, L.: Document Marking and Identification using Both Line and Word Shifting, *Infocom 95* (1995).
- 6) Chapman, M. and Davida, G.: Hiding the Hidden: A Software System for Concealing Ciphertext as Innocuous Text, *ICICS’97*, pp.335–345 (1997).
- 7) Wayner, P.: Mimic functions, *Cryptologia*, Vol.XVI, No.3, pp.193–214 (1992).
- 8) Wayner, P.: Strong Theoretical Steganography, *Cryptologia*, Vol.XIX, No.3, pp.285–299 (1995).
- 9) 木村浩康, 中川裕志, 三瓶光司, 松本 勉: 辞書変換法に基づく日本語テキストの情報ハイディングの提案と評価, *SCIS2000* (2000).
- 10) 近藤恵子, 佐藤理史, 奥村 学: 格変換による単文の言い換え, *NL-135*, Vol.40, No.11, pp.4064–4074 (2000).
- 11) 松本裕治, 北内 啓, 山下達雄, 平野善隆, 今一修, 今村友明: 日本語形態素解析システム『茶筌』version 1.0 使用説明書, <http://chasen.aist-nara.ac.jp/> (1997).
- 12) 池田竜郎, 赤井健一郎, 松本 勉, 中川裕志, 牧野京子, 村瀬一郎: テキストへのフィンガープリンティング方式とその強度, *SCIS2000* (2000).

(平成 12 年 7 月 7 日受付)

(平成 13 年 5 月 10 日採録)



中川 裕志 (正会員)

昭和 28 年生。昭和 50 年東京大学卒業。昭和 55 年同大学博士課程修了。工学博士。昭和 55 年より横浜国立大学勤務。平成 11 年 8 月より東京大学情報基盤センター教授。言語情報処理の研究に従事。

言語情報処理の研究に従事。



三瓶 光司

昭和 52 年生。平成 11 年横浜国立大学卒業。平成 12 年同大学大学院工学研究科電子情報工学専攻修士課程在籍。



松本 勉 (正会員)

昭和 33 年生。横浜国立大学卒業。昭和 61 年東京大学博士課程修了。工学博士。昭和 61 年より横浜国立大学工学部電子情報工学科勤務。平成元年同大学助教授。平成 8 年 4 月より同大学大学院工学研究科人工環境システム学専攻助教授。平成 12 年 3 月より同大学大学院環境情報研究院教授。情報セキュリティの研究に従事。



柏木 健志

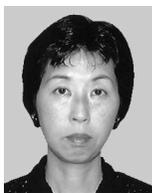
昭和 45 年生。平成 4 年早稲田大学卒業。平成 6 年同大学大学院修士課程修了。平成 6 年より株式会社三菱総合研究所勤務。社会システムの技術調査・コンサルティングに従事。



川口 修司

昭和 41 年生。昭和 63 年東京工業大学卒業。平成 2 年同大学大学院修士課程修了。平成 2 年より株式会社三菱総合研究所勤務。情報通信メディアの技術、市場、政策の研究に従事。

従事。



牧野 京子

昭和 34 年生。昭和 57 年東京学芸大学卒業。昭和 57 年より株式会社三菱総合研究所勤務。ソフトウェア工学および情報セキュリティの研究に従事。



村瀬 一郎

昭和 38 年生。昭和 61 年名古屋大学卒業。昭和 61 年より株式会社三菱総合研究所勤務。情報セキュリティの調査研究に従事。