

# 和文書へのシール画像による電子透かし

中村 康弘<sup>†</sup> 松井 甲子雄<sup>†</sup>

この論文では、印刷物の著作権保護のために、コピー機による無許可複写の問題を考察し、原稿作成時に和文書に密かに版權者の署名を埋め込む方法を示す。まず  $m$  行/ページかつ  $n$  字/行の文書を考える。この 1 ページに著作権者の署名をシール画像として次の方法で写像する。シールを  $m \times n$  画素の 2 値画像にデジタル化し、各画素を 1 ビットで表現する。もし  $(i, j)$  画素が 1 ならば対応する文書の第  $i$  行  $j$  番目の文字を指定角度だけ回転させた後に出力する。 $(i, j)$  画素が 0 のときにはこの操作をせずに出力する。埋め込みを秘匿するには写像関数として非線形なスクランブル演算を導入する。この方法によれば、編集された文書上に署名は顕在化せず、無断コピーを企図する第三者の注意も引かず、また文書体裁もほとんど変わらない利点がある。

## Digital Watermarking onto Japanese Documents by Seal Image

YASUHIRO NAKAMURA<sup>†</sup> and KINEO MATSUI<sup>†</sup>

A digital watermarking scheme is presented in this paper for protecting the copyright of Japanese documents which are published in hard copy style. The scheme embeds a seal as identifier into each page of the document. When the document is designed with  $m$  lines per page and  $n$  letters per line, the seal is imaged with  $m$ -by- $n$  pixels in binary. Each pixel is mapped to the corresponding letter on the page, where it is rotated by a specified degree if the pixel value is 1, and it is not, otherwise. The redundancy of image data helps us to check the identifier when the seal is decoded for authentication.

### 1. ま え が き

マルチメディアの環境が整備されるに従い、テキストや静止画、音楽、動画などの知的情報がそれらの使用者や複写権者の許諾なしに複写利用されるおそれが増大しつつある。そこで、先進各国ではすでにサービス形態の限定や、流通経路の制限、コピー防止機能の付加、違反者に対する法的規制など多方面から検討を進めているが、いまだ完璧な著作権保護の制度は確立されていない<sup>1)</sup>。

印刷文書に密かに署名を挿入する研究は、すでに文献 2)~4) などで取り上げられ、二、三の成果が得られている。文献 2) では、複写機に通信機能と著作権保護情報認識機能を持たせることにより、複写要求があったときに自動的に著作権センタと通信を行い、複写の許諾を得るシステムを提案している。また文献 3), 4) では、白黒 2 値の印刷文書を対象にして、書式化された欧文書のレイアウト情報に着目し、テキスト行の中にある単語の位置を水平方向に前後に移動させること

により原本との差異を情報に変換する方法などが提案されている。

一方、和文の印刷文書については、文献 5) で検討されているが、埋め込む署名情報を文字データとしてビット展開し、1 ビットごとに文字を変形または回転させることを示唆している。ところが、この方法では、検証の際に文書をスキャナで走査し、ビット列を再生させるため誤り発生があると署名を復元できなくなるおそれがある。

そこで、この論文では埋め込む署名情報に文字データを用いるのではなく、シール画像データを採用する。すなわち、比較的冗長さのある 2 値画像をシールとして使い、それを冗長さの少ない文章に写像させる。この方法によりシールを復元する際に発生する誤りの影響を画像の持つ冗長性で低減させることが可能となる。

以下、2 章では対象とする著作権保護のための範囲とその検証システムを規定し、提案する署名法の具体的手順を明示する。さらに、3 章では、この方法をコンピュータに組み込み実験した結果を示し、その有効性を示す。4 章では本手法の効果と問題点に言及する。

<sup>†</sup> 防衛大学校情報工学教室

Department of Computer Science, National Defense Academy

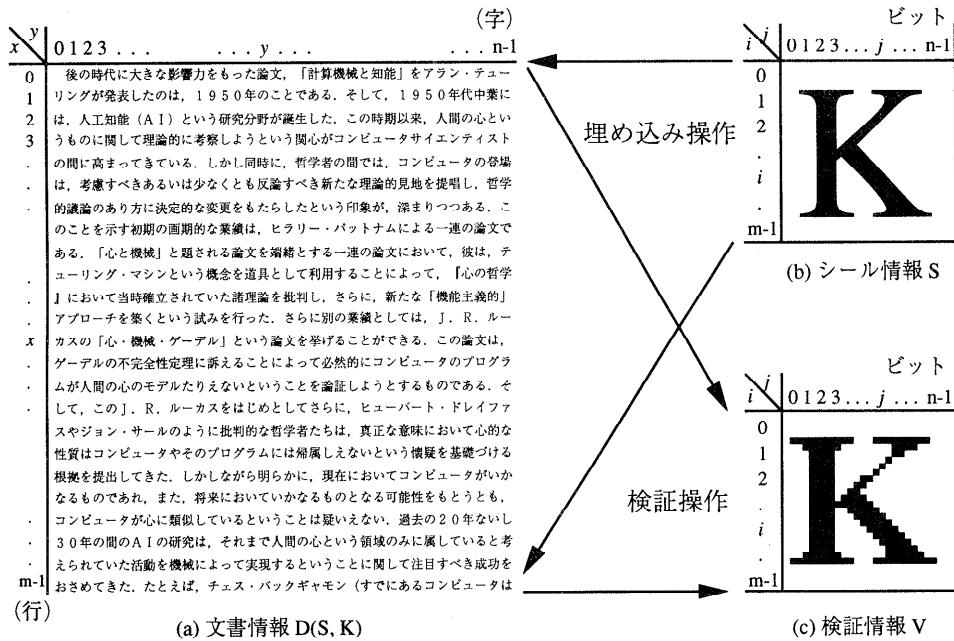


図1 埋め込みの原理  
Fig.1 Description of the scheme.

2. 署名認証手順

まず、文書を作成するにあたり、その署名をシール画像として準備する。この署名データには、記号情報を用いて作成番号、作成日時などのデータを簡潔にシールに編集しておく。このシールを印刷するテキスト画像上に密かに埋め込むため、文書を変換することが第1の問題である。第2に、そのテキストを読むユーザに対してはシールが邪魔にならず、不正もしくは悪意を持つ第三者に対してはシールの埋め込み事実を気付かれにくくする必要がある。第3に、複数回複製をしても、そのシールが消滅しないこと、あるいは判別に耐えられる機構を内包していることが望ましい<sup>9)</sup>。

一般にテキスト画像は冗長度が少ないので電子文書に署名データを埋め込むには、テキスト形式の変換によるか、テキストの要素である文字の特徴を利用することになる。後者の文字特徴を利用するには、特殊な文字フォントが必要となるので、不特定多数のユーザが参入するマルチメディア環境にはなじまない。したがって、前者のテキスト形式の変換時に何らかの方法で署名データそのものか、または、それに相当する情報をテキスト構文もしくはテキスト編集に埋め込むことになる。

この研究では、文献5)で提案されている文字の回

転変換に注目する。

まず、作成文書  $D$  に埋め込む 2 値画像  $S$  を準備する。この 2 値画像としては作成される文書の識別符号となるパターン情報を利用するのが望ましい。ここでは、この埋め込み情報をシール (seal) とよぶことにする。いま、作成文書のサイズを  $m$  行  $n$  列からなるものと仮定し、 $D$  上の  $x$  行  $y$  番目のデータを  $d(x, y)$  で表す。このとき、図1に示すようにメモリ上に  $m \times n$  ビットからなる画像領域を設定し、シールを 2 値画像として表示する。この画像領域における任意の画素を  $s(i, j)$  で表す。

ここに、 $0 \leq i \leq m-1, 0 \leq j \leq n-1$  かつ

$$s(i, j) = \begin{cases} 0 & s(i, j) \notin S \\ 1 & s(i, j) \in S \end{cases} \quad (1)$$

とする。

次に、写像関数  $F(i, j)$  を導入する。この関数  $F$  は、シールの画素  $(i, j)$  を文書  $D$  上の文字位置  $(x, y)$  にランダムに写像するために用いる。すなわち

$$(x, y) = F_K(i, j) \quad (2)$$

ここに  $0 \leq x \leq m-1$  かつ  $0 \leq y \leq n-1$  であり、 $K$  は鍵情報とする。このとき、復号が可能であるために、写像関数  $F$  は同じ鍵  $K$  を用いて、

$$(i, j) = F_K^{-1}(x, y) \quad (3)$$

が成立しなければならぬ。このような関数  $F$  により、シール  $S$  を  $m$  行  $n$  列の文書  $D$  に次の規則で写

像する。すなわち、  
 〈埋め込み規則〉

埋め込むべきシール情報  $S$  について

- (1)  $s(i, j) = 0$  ならば、式 (2) により  $x$  行  $y$  番目の文字  $d(x, y)$  をそのまま出力する。
- (2)  $s(i, j) = 1$  ならば、式 (2) により  $x$  行  $y$  番目の文字  $d(x, y)$  を  $\theta$  度回転して出力する。ただし、 $d(x, y)$  が文字情報でないならば、この変換を行わない。

この手順を  $S$  のすべての  $i, j$  について実行すれば、シール情報を鍵  $K$  のもとでテキスト情報にランダムに写像した文書  $D(S, K)$  を得ることができる。これが埋め込みの原理である。

次に、この方法で埋め込んだシール情報の復元について述べる。

シール情報  $S$  を鍵  $K$  で秘匿した文書  $D(S, K)$  をスキャナで走査し、文書画像をメモリ上に取り込む。この文書画像からテキスト行を区分し、各行から文字を切り出す。各文字を標準画像とパターンマッチング方式で照合し、文字の偏角  $\theta$  を計測する。この測定角が、許容誤差の範囲内にあるか否かを検定し、文字の偏り  $\theta$  を判定する。もし、 $d(x, y)$  が偏角  $\theta$  を持つならば、式 (3) により検証情報  $V$  領域の  $(i, j)$  番地の画素値  $v(i, j)$  を

$$v(i, j) = 1$$

とし、当該文字に偏りが検出されないならば

$$v(i, j) = 0$$

とする。 $D(S, K)$  上のすべての  $x, y$  についてこの手順を実行する。関数  $F_K$  が  $K$  の値のいかんにかかわらず 1:1 写像であるならば、検証情報  $V$  を確定することができる。この検証情報  $V$  から埋め込み画像を推定できれば、文書  $D$  にシール  $S$  が埋め込まれていたと認証できる。

ここで問題になるのは、 $D(S, K)$  から  $V$  を復号し、回転角  $\theta$  を求める過程である。まずスキャナで入力した文書画像から画像処理によりテキスト行を抽出し、構成文字を切り出す処理はすでに開発された文献6)の方法を用いると比較的に容易に実行できる。しかし、切り出された文字の回転角を求める操作はパターン認識の問題に属し、一般にかなり難しい。たとえば、図2に示すように、 $\theta$  の判別率を高くしようとすると、回転した文字が他の文字に比較し、傾きが大きくなりすぎて文字列を乱し、文書の体裁に悪影響を及ぼすようになる。逆に  $\theta$  を小さくすると判別が難しくなる。その結果、文献5)で報告されたような文字情報をビット単位に分解して埋め込む方式では、1ビットの欠損

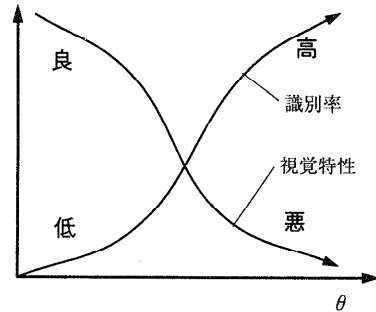


図2 シール情報の識別率と視覚効果の関係  
 Fig. 2 Relationship of seal information identification rate and its visual effect.

でも文字を復号できなくなるおそれがある。さらに、一般の文書では、1ページに  $m \times n$  字がすべて文字で埋められていることは稀れで、句読点やスペース、段落などにより、1行の途中で改行されることもある。このような場合、復号するビット情報は不完全であることが多い。

この弱点を解決するために、ここでは冗長度の多い画像情報をシールとして用いている。なぜならば、シール画像の多くのビットが欠落しても概形が残れば、その部分をイメージで補うことができるので、検証の役割を十分に果たすことが可能だからである。ただし、埋め込みの原理から容易に理解できるように、シール画像の解像度は埋め込む文書のサイズに依存し、 $m \times n$  画素に限定される。したがってあまり多くの透かし情報を1ページに納めることはできない。しかし、文書情報は複数ページからなることが多いので、シール  $S$  を必要個数準備して各ページに分散して埋め込むならば、その問題を解決することが可能となる。

### 3. 実験結果

はじめに、ここに提案した手法により署名データを埋め込んだ一例を図3に示す。同図(a)は原本であり、(b)は  $\theta = 4^\circ$  として写像関数  $F_K$  を恒等変換、すなわち、 $F_K = 1$  として順次埋め込みにより署名済みのものである。ランダム埋め込みを行うには、写像関数  $F_K$  を非線形の行内転置方式<sup>7)</sup>等にする。

この文書のシール情報には、筆者のイニシャルを埋め込んでいる。読者はテキストを読むとき、その文字に注目し、文字の傾きには注目しないので、わずかな回転では読者に何の不都合も与えていない。しかし、回転角を増加するに従い、次第に文字の傾きに違和感を覚えるようになる。

回転角度  $\theta$  が復号率に及ぼす影響を調べるため、

後の時代に大きな影響力をもった論文、「計算機械と知能」をアラン・チューリングが発表したのは、1950年のことである。そして、1950年代中葉には、人工知能(AI)という研究分野が誕生した。この時期以来、人間の心というものに関して理論的に考察しようという関心がコンピュータサイエンティストの間に高まってきている。しかし同時に、哲学者の間では、コンピュータの登場は、考慮すべきあるいは少なくとも反論すべき新たな理論的見地を提唱し、哲学的議論のあり方に決定的な変更をもたらしたという印象が、深まりつつある。このことを示す初期の画期的な業績は、ヒラリー・パットナムによる一連の論文である。「心と機械」と題される論文を端緒とする一連の論文において、彼は、チューリング・マシンという概念を道具として利用することによって、「心の哲学」において当時確立されていた諸理論を批判し、さらに、新たな「機能主義的」アプローチを築くという試みを行った。さらに別の業績としては、J. R. ルーカスの「心・機械・ゲーデル」という論文を挙げる事ができる。この論文は、ゲーデルの不完全性定理に訴えることによって必然的にコンピュータのプログラムが人間の心のモデルたりえないということを論証しようとするものである。そして、このJ. R. ルーカスをはじめとしてさらに、ヒューバート・ドレイファスやジョン・サールのように批判的な哲学者たちは、真正な意味において心的な性質はコンピュータやそのプログラムには帰属しえないという懐疑を基礎づける根拠を提出してきた。しかしながら明らかに、現在においてコンピュータがいかなるものであれ、また、将来においていかなるものとなる可能性をもとうとも、コンピュータが心に類似しているということは疑いえない。過去の20年ないし30年の間のAIの研究は、それまで人間の心という領域のみに属していると考えられていた活動を機械によって実現するという点に関して注目すべき成功をおさめてきた。たとえば、チェス・バックギャモン(すでにあるコンピュータは

後の時代に大きな影響力をもった論文、「計算機械と知能」をアラン・チューリングが発表したのは、1950年のことである。そして、1950年代中葉には、人工知能(AI)という研究分野が誕生した。この時期以来、人間の心というものに関して理論的に考察しようという関心がコンピュータサイエンティストの間に高まってきている。しかし同時に、哲学者の間では、コンピュータの登場は、考慮すべきあるいは少なくとも反論すべき新たな理論的見地を提唱し、哲学的議論のあり方に決定的な変更をもたらしたという印象が、深まりつつある。このことを示す初期の画期的な業績は、ヒラリー・パットナムによる一連の論文である。「心と機械」と題される論文を端緒とする一連の論文において、彼は、チューリング・マシンという概念を道具として利用することによって、「心の哲学」において当時確立されていた諸理論を批判し、さらに、新たな「機能主義的」アプローチを築くという試みを行った。さらに別の業績としては、J. R. ルーカスの「心・機械・ゲーデル」という論文を挙げる事ができる。この論文は、ゲーデルの不完全性定理に訴えることによって必然的にコンピュータのプログラムが人間の心のモデルたりえないということを論証しようとするものである。そして、このJ. R. ルーカスをはじめとしてさらに、ヒューバート・ドレイファスやジョン・サールのように批判的な哲学者たちは、真正な意味において心的な性質はコンピュータやそのプログラムには帰属しえないという懐疑を基礎づける根拠を提出してきた。しかしながら明らかに、現在においてコンピュータがいかなるものであれ、また、将来においていかなるものとなる可能性をもとうとも、コンピュータが心に類似しているということは疑いえない。過去の20年ないし30年の間のAIの研究は、それまで人間の心という領域のみに属していると考えられていた活動を機械によって実現するという点に関して注目すべき成功をおさめてきた。たとえば、チェス・バックギャモン(すでにあるコンピュータは

(a) Original

(b) Watermarked

図3 実験結果

Fig. 3 Experimental results.

$\theta = 1, 2, 3, \dots, 8$  として埋め込みを行い、これをイメージスキャナで300[dot/inch]、縦横1560画素で読み取り、検証操作を行った。検証処理にはDEC AXP3000/400ワークステーションを使用し、864画素のシール情報を復号処理するのに要した時間は約4秒であった。

復号処理結果を図4に示す。抽出された検証画像には、多くの欠落画素があるが、 $\theta \geq 4^\circ$  では明らかに埋め込みシールを読み取ることが可能である。

次に、第2の問題点である複写の繰返しによる署名データの劣化消失について述べる。署名された印刷文書を市販のコピー機にかけて多数回複写を繰り返す。図5(a)が複写2回目、(b)が複写4回目のものである。これらのテキストをスキャナで読み取り、コンピュータに入力して埋め込み署名を復元した。その結果を図6に示す。スキャナの読み取り精度と回転角 $\theta$ によって識別可能性が変化する。このように、コピーを繰り返すに従って行が歪み、字形が劣化し、ノイズが増えるため、署名を正しく復号できなくなってくる。何世代まで署名データが劣化せずに保存されるべきかは、配布される印刷文書の重要度によって決まる。

4. むすび

印刷文書の無断、無許可複写による著作権侵害に対し、シール画像の冗長性を利用して密かに署名情報を文書上に埋め込む手法を提案した。実験の結果、読者が気が付きにくい範囲で文書体裁を変換し、印刷され

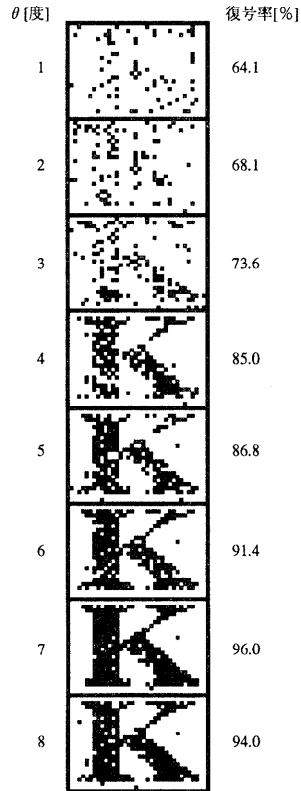


図4 復号結果

Fig. 4 Decoded results.

後の時代に大きな影響力をもった論文、「計算機械と知能」をアラン・チューリングが発表したのは、1950年のことである。そして、1950年代中葉には、人工知能(AI)という研究分野が誕生した。この時期以来、人間の心というものに関して理論的に考察しようという関心がコンピュータサイエンティストの間に高まってきている。しかし同時に、哲学者の間では、コンピュータの登場は、考慮すべきあるいは少なくとも反論すべき新たな理論的見地を提唱し、哲学的議論のあり方に決定的な変更をもたらしたという印象が、深まりつつある。このことを示す初期の画期的な業績は、ヒラリー・パットナムによる一連の論文である。「心と機械」と題される論文を端緒とする一連の論文において、彼は、チューリング・マシンという概念を道具として利用することによって、「心の哲学」において当時確立されていた諸理論を批判し、さらに、新たな「機能主義的」アプローチを築くという試みを行った。さらに別の業績としては、J. R. ルーカスの「心・機械・ゲーデル」という論文を挙げることができる。この論文は、ゲーデルの不完全性定理に訴えることによって必然的にコンピュータのプログラムが人間の心のモデルたりえないということを論証しようとするものである。そして、このJ. R. ルーカスをはじめとてさらに、ヒューバート・ドレイファスやジョン・サールのように批判的な哲学者たちは、真正な意味において心的な性質はコンピュータやそのプログラムには帰属しえないという懐疑を基礎づける提議を提出してきた。しかしながら明らかに、現在においてコンピュータがいかなるものであれ、また、将来においていかなるものとなる可能性をもとうとも、コンピュータが心に類似しているということは疑いえない。過去の20年ないし30年の間のAIの研究は、それまで人間の心という領域のみに属していると考えられていた活動を機械によって実現するという点に関して注目すべき成功をおさめてきた。たとえば、チェス・バックギャモン(すでにあるコンピュータは

後の時代に大きな影響力をもった論文、「計算機械と知能」をアラン・チューリングが発表したのは、1950年のことである。そして、1950年代中葉には、人工知能(AI)という研究分野が誕生した。この時期以来、人間の心というものに関して理論的に考察しようという関心がコンピュータサイエンティストの間に高まってきている。しかし同時に、哲学者の間では、コンピュータの登場は、考慮すべきあるいは少なくとも反論すべき新たな理論的見地を提唱し、哲学的議論のあり方に決定的な変更をもたらしたという印象が、深まりつつある。このことを示す初期の画期的な業績は、ヒラリー・パットナムによる一連の論文である。「心と機械」と題される論文を端緒とする一連の論文において、彼は、チューリング・マシンという概念を道具として利用することによって、「心の哲学」において当時確立されていた諸理論を批判し、さらに、新たな「機能主義的」アプローチを築くという試みを行った。さらに別の業績としては、J. R. ルーカスの「心・機械・ゲーデル」という論文を挙げることができる。この論文は、ゲーデルの不完全性定理に訴えることによって必然的にコンピュータのプログラムが人間の心のモデルたりえないということを論証しようとするものである。そして、このJ. R. ルーカスをはじめとてさらに、ヒューバート・ドレイファスやジョン・サールのように批判的な哲学者たちは、真正な意味において心的な性質はコンピュータやそのプログラムには帰属しえないという懐疑を基礎づける提議を提出してきた。しかしながら明らかに、現在においてコンピュータがいかなるものであれ、また、将来においていかなるものとなる可能性をもとうとも、コンピュータが心に類似しているということは疑いえない。過去の20年ないし30年の間のAIの研究は、それまで人間の心という領域のみに属していると考えられていた活動を機械によって実現するという点に関して注目すべき成功をおさめてきた。たとえば、チェス・バックギャモン(すでにあるコンピュータは

(a) twice

(b) twice of twice

図5 複数回のコピーによる影響  
Fig.5 hardcopy effect.

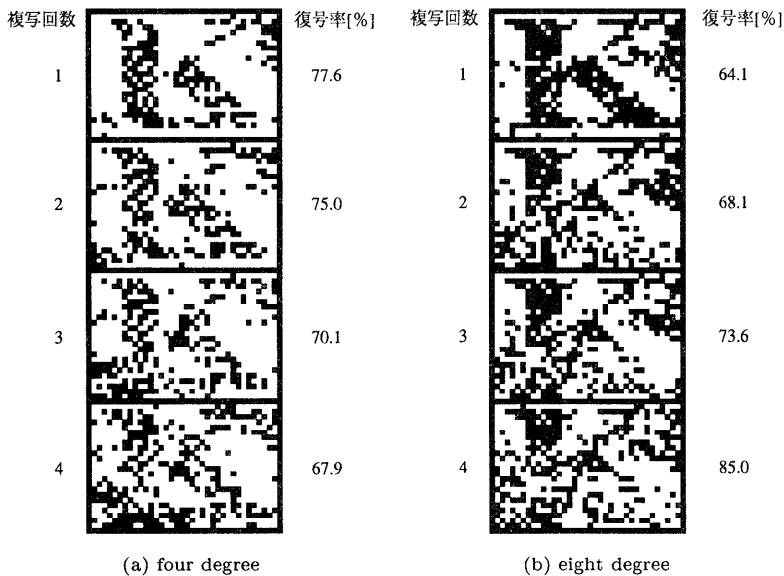


図6 復号結果  
Fig.6 Decoded results.

た文書あるいは複数回複写された文書から署名情報を読み取ることが可能である。これにより、光学的な複写による無許可文書の流通を防止もしくは抑制する手法を構成することができる。コピー技術の発展にとともに、文書や画像を含むマルチメディアの成否は、著作権の保護とその対価の徴収支払いシステムの充実に依存している。著作物を安心して託せるメディアとするには、この論文に示すように、そのシステムの市場

導入の当初からマルチメディアの各要素データの中へ著作権情報を自から埋め込む構造が不可欠の要件であると思われる<sup>8)</sup>。

参考文献

- 1) 半田：転機にさしかかった著作権制度，一粒社(1994)。
- 2) 松谷，稲葉，若杉，笠原：著作権保護機能を有す

る文書画像データの構成法, 信学技報, ISEC94-58, pp.59-68 (1995).

- 3) Brassil, J., Low, S., Maxemchuk, N. and O'Gorman, L.: Electronic Marking and Identification Techniques to Discourage Document Copying, *Proc. IEEE INFOCOM'94*, Vol.3, pp.1278-1287 (1994).
- 4) 中村, 松井: 著作権保護のための電子文書のハードコピーへの署名の埋め込み, 情報処理学会論文集, Vol.36, No.8, pp.2057-2062 (1995).
- 5) 中村, 松井: 著作権保護のための和文印刷文書への署名情報の埋め込み, 第 50 回情報処理学会全国大会論文集, 4N-11, pp.3-203-204 (1995).
- 6) 中田 (編): パターン認識とその応用, 第 3 章, コロナ社 (1978).
- 7) 松井: コンピュータのための暗号組立法入門, 第 2 章, 森北出版 (1986).
- 8) 喜多村: 著作権処理のためのシステム構造の提案, 情処研報, Vol.95, No.37, AVM-8, pp.129-134 (1995).
- 9) 高橋史忠: 電子透かしがマルチメディア時代を守る, 日経エレクトロニクス, No.683, pp.99-124 (1997).

(平成 9 年 5 月 23 日受付)

(平成 9 年 9 月 10 日採録)



中村 康弘 (正会員)

昭和 57 年防衛大学校電気工学科卒業. 昭和 62 年同大学理工学研究科オペレーションズリサーチ専攻修了. 同年同大学校電気工学助手兼共同利用電子計算機室勤務. 平成 6 年同大学校情報工学助教授. 画像データの符号化, 画像認識に関する研究に従事. 工学博士. 電子情報通信学会, 画像電子学会各会員.



松井甲子雄 (正会員)

昭和 36 年防衛大学校電気工学科卒業. 昭和 40 年九州大学大学院工学研究科電子専攻修了. 昭和 56 年防衛大学校電気工学教授. 平成元年同大学校情報工学教授. この間グラフ理論, OR 輸送問題および画像データの符号化に関する研究に従事. 著書『コンピュータのための暗号組立法入門』(森北出版). 工学博士. 電子情報通信学会, 画像電子学会各会員.