

# 電子透かし

森本典繁

最近の急速なデジタル化機器の普及により、静止画像やオーディオはいうにおよばず、デジタル動画までもが素人の手で手軽に扱えるようになってきた。この背景には、コンピューターの処理能力の向上、フラッシュメモリーやハードディスクなど記憶媒体の価格の下落傾向、デジタル・カメラやビデオなどデジタル家電の普及などがあり、今後もますます拡大する傾向にある。デジタル化による利便性の向上がある一方で、コンテンツの権利者にとっては違法コピーやコンテンツの転用が容易になる分だけリスクも増加し、今まで以上にコンテンツの保護に対して関心が高くなってきている。本稿では、デジタル時代のコンテンツの保護技術のひとつとしての電子透かしについて、その技術と用途について解説する。

マルチメディア・データのデジタル化は、画質や音質の向上、複製や保管の利便性などユーザー側のメリットだけでなく、コンテンツ提供者側にとっても製作や管理面におけるコストの低減など大きなメリットがある。しかし一方では、複製や転送が容易にできるために、データの著作権や所有権が侵害される危険性が従来に比べて高くなるといった弊害も発生している。特に「海賊版」の製造手段は、コンテンツ保護技術の進歩とともに高度化し、コンテンツのデジタル化は権利者にとってある意味ではより高いリスクを抱えることにもなっている。そのためにコンテンツ権利者がより慎重になり、業界の成長速度に影響する可能性が指摘されている。この状況に対処するためには、法的な保護措置を講じるとともに、より高度で応用範囲の広い技術的コンテンツ保護手段が必要である。

## 1. 暗号技術と電子透かし

昨年から立ちあがりつつある複数の音楽配信システムを例にとると、コンテンツの音質や圧縮技術と並んでコンテンツ保護技術が重要な技術要素に位置付けられている。その中で、暗号技術や認証技術によるコンテンツの保護に加えて電子透かしを取り入れるケースが増えてきている。安全な電子配信を実現するためには、一般的に通常配信先を確認するための相手先の認証と、コンテンツ自身の暗号化が施される。これらは配布者と受信者の間で安全な通信路を確保することと、万が一この通信路からコンテンツが流出したとしてもコンテンツが利用できないようにする目的で行われているものである。しかしながら、いくら通信路を安全なものにしても、コンテンツを利用する際には暗号をほどくために、そこから先に保護の手段を延長することはできない。つまり、スピーカーやディスプレイに映ったコンテンツに暗号をかけることはできないのである。

近年「電子透かし」技術の登場によって、コンテンツ自身に二次的な保護手段をトリガーするための情報を埋め込むことができるようになった。電子透かしは、コンテンツと不可分な情報をコンテンツ自体に刷り込むことによって、そのコンテンツの形態やフォーマットが変化しても、刷り込んだ情報はコンテンツと一体化された状態で伝搬されていくために、この情報をあとから取り出して、コンテンツ保護のために利用することができるのである。この技術を利用してコンテンツに著作権情報や複製を制御する情報を直接埋め込めば、コンテンツがどのような形式に変換されても（暗号がかかっていなくても）この埋め込まれた情報を認識することができる環境においては、所定の保護機構が働くようにできるのである。

日本アイ・ピー・エム（株）東京基礎研究所（〒242-0001 大和市下鶴間 1623-14）  
E-mail: noly@jp.ibm.com

## 2. 電子透かしの技術的な要件

先に述べたように、電子透かしとは、デジタルデータに人間の目や耳では検知できないような情報を隠し込むことができる技術で、一般的には、音楽や写真、動画像などマルチメディア・データを対象としており、基本的にはデジタル化したこれらの情報の冗長性を利用して、画質や音質に影響のない範囲内で音や輝度の大小などをわずかに変動させることによって付加情報を埋め込む技術を指す。したがって、いかにうまく冗長なデータ空間を探し出すかが重要である。また、著作権保護などの目的で利用する場合には、画像処理や信号処理によって埋め込んだ情報が簡単に除去できない性質（耐性）が必要であり画質への影響を抑えつつ同時に耐性を実現することが技術課題であった。以下の基本的な技術要件について説明する。

### 2.1 電子透かしによる付加情報

付加情報のデータ量は通常ビット数で表現されるが、電子透かしの手法や用途によってばらつきがある。上述のように、画質への影響を抑えるために電子透かしの埋め込みに利用できるデータ空間は限られているので、この中で埋め込みデータ量と耐性のバランスをとって設計する必要がある。同じ画質と耐性をもっている技術同士であれば、データ量が多いほうが好ましい技術といえる。

### 2.2 画像や音声に与える影響量

電子透かしを埋め込む際には、音声のサンプリング点や画像の画素値に対して微小な変更を加えることになるが、その変更が人間の感じる画質や音質にいくらかの影響を与えることは避けられない。実用的で洗練された電子透かし技術は、それぞれの利用環境において影響のない範囲で電子透かしを埋め込む手段をもっており、適切に画質や音質を制御できる。

### 2.3 音声や画像データのフォーマットに依存しない

電子透かしの埋め込みの際に、変更の対象とするのは、フォーマットに依存しない本来のデータ、つまり音の強弱や画素の濃淡などを表現するデータである。したがって同じ音、同じ画像が保存されている限り、埋め込まれた透かしデータは保存されることになる。

### 2.4 画像編集、データ圧縮やフォーマット変換耐性

著作権保護などの用途で使用される場合には、埋め込まれた透かしデータが一般的な操作で消失しないように、フォーマットの変換以外にも、画像の切り取り、拡大縮小などの画像編集やフィルタリングに対して耐性をもつ必要がある。耐性は埋め込む電子透かしの強度と強い相関があるため画質とはトレードオフの関係にある。

## 2.5 検出のためのロジック規模

DVDや音楽配信のように、利用形態によってはPCに限らず一般家電機器内に透かしの検出器をもつ場合がある。もともと価格が安いこれらの機器において高度な信号処理機能や大量のメモリーの追加はコストへの影響が大きいため、なるべく抑える必要がある。そのために、検出機能の簡略化などを行う必要がある。

## 2.6 透かしデータの改ざん耐性、セキュリティ要件

違法コピーの阻止などの目的で使用される場合には、違法コピーを可能にするために電子透かしの改ざんや消去を目的とした攻撃があることを想定しなければならない。その場合、攻撃を受けた対象のコンテンツだけでなく、同じ情報で万人の環境で動作する「透かし消去プログラム」が簡単にできないように配慮する必要がある。実用的な電子透かし技術はこのような配慮をするフレキシビリティを備えている必要がある。

このように、電子透かしと一口にいても、用いられる技術は多様で、その上用途や対象となるコンテンツによっても多くの選択肢があり、正確に技術評価するのは難しい状況である。標準技術や大きなシステムに使用される場合には、専門家グループによる評価が行われているのが現状である。一方、普遍的な基準をさぐるために、評価基準案<sup>1)</sup>や評価のためのツール・キットを配布して技術の選択や評価の助けにしようとする活動も行われている。

## 3. 基本的な電子透かし技術の例

この章では、原理を理解するために、静止画像を例にとって、いくつかの単純な電子透かし技術を解説する。

電子透かしの埋め込み対象となるデジタルデータは通常、サンプル点（画素、音声のサンプリング点）に、あるデジタルな値が割り当てられている集合体で構成される。画像では画素と呼ばれる点に光の強さを表す“輝度値”にあたる数値が割り当てられる。たとえば10万画素の画像は、各画素あたり1バイト（8ビット：256階調）のデータをもっている場合、画像全部では100kバイト（カラーなら300kバイト）分のデータをもつことになる。以下にこの画像を例にとって説明をする。

### 3.1 Low Bit Coding (LBC)

まず、原理を理解するために最も単純な方法を紹介する。この方法は、各画素値の最下位ビットを利用する方法である。各画素は8ビットで構成されているために、その最下位ビットは画素値が奇数か偶数かを定めることにな

り、無作為な画像であればランダムに0または1となっているはずである。そこで、元の状態に関係なく10万画素すべての画素をデータ空間にみれば、100kビットのデータをこの画像に付加することができることになる。各画素の変化量は、最大でも256階調のうちの1階調であるために、画質への影響はほとんどないといえる。

このデータ空間に暗号化したデータを埋め込んだり、カラー画像に拡張することによって、耐性はないが大容量のデータを埋め込める電子透かし技術として使うことができる。

### 3.2 統計的な手法を利用した方法

次に Bender らのパッチワーク法<sup>2-4)</sup>について説明する。上記の画像の全画素をランダムに2つのグループ(aとb)に分けたときに、それぞれのグループ内の画素値の平均値は同じ値になることが期待される。つまり、以下の式がなりたつ。

$$S = \sum (a_i - b_i) = 0 \quad (1)$$

$a_i$  および  $b_i$  は各グループから抽出された画素の輝度とし、 $i$  はその画素の順番とする。ここで、一方のグループの画素すべてに1階調分加え、逆に他方のグループの画素すべてから1階調分差し引くと、期待値  $S$  は2になる。

$$S = \sum (a_i - b_i) = 2 \quad (2)$$

この結果、上式を対象画像に適用すれば、電子透かし埋め込みの有無を評価することができる。対象となる画素数が多ければ、期待値が0になることが統計的に近似できるため、上式で得られた値  $S$  によって、判定の信頼性を知ることができる。つまり、電子透かしの検出結果がどれくらい「確からしい」かを知ることができるのである。誤判定の可能性を定量的に評価することは、著作権保護など実用的なシステムに応用する場合非常に重要なことである。また、この方法は、多数の画素値の統計的な性質を用いているために、局部的な変更やフィルターなどに対しても耐性をもっているなど、現在実用化されている電子透かし技術に必要な基本要素を兼ね備えた方法といえる。

この場合も、実際に画素に加えられる変更は、+/-1階調であるので、画質への影響はほとんどないといえる。また、データ量という観点では、上述の説明のようにa-bの1グループで表現できるのは、電子透かしによって埋め込まれた特定のIDが「ある/ない」の判定である。

### 3.3 周波数空間を利用した方法

画素値を直接改竄する方法のほかに、周波数空間での埋め込みがある。Cox ら<sup>5)</sup>は、対象となる画像を周波数変換した後に、複数の特徴的な周波数成分に対して微小な変化を加えることによって電子透かしを埋め込む方法を提案し

ている。これは、特徴的な周波数成分はそれ自身強いため、その領域における微小な変化は人間の視覚に与える影響が比較的小さいという考えに基づいている。また、周波数成分を用いることから、画像のトリミングやシフトなど実空間におけるずれや歪みに影響されにくいといった利点がある。その一方では、検出のために周波数空間と実空間の間の変換を要するため、計算コストがかかるという問題点をもっている。

## 4. 電子透かし技術の応用

電子透かしの技術開発は、前述のような要求の高まりを受けて1996年ごろから急速に注目を集めるようになり、大学やベンチャー企業だけでなく、米IBM、NECなど大手メーカーが実用化に取り組んだ。その結果、一般の電子製品に組み込めるまでに技術は進化し、実際にこのような技術を利用するための検討や実証実験が活発化している。

DVDビデオでは、違法コピーの再生制御を行うために、現在使用されているContents scrambling system (CSS) による暗号化のほかに電子透かしを導入するべく、技術選定のための評価が行われている。

### 4.1 DVD-Videoのコピー制御、コピー世代制御

現在DVDで配布される映画には、CSSによって暗号化されており、認証プロセスをパスした正規にライセンスを受けたモジュールにのみ、この暗号化されたコンテンツが流れるという保護手段がとられている。ハリウッドの映画会社を中心に組織されているMotion Picture Association of America (MPAA) は、DVDのCopy Protection Technical Working Group (CPTWG) において、CSSによる保護を補完するために、電子透かしによる保護手段の導入を提唱し、これを技術的に検討するためにData Hiding Sub Group (DHSG) がスタートした。ここで検討されている用途は、映画などのコンテンツに電子透かしを用いてコピー禁止などの信号“Copy control information” (CCI) を埋め込み、その信号をDVDプレーヤーなどの再生(録画)装置において検出し、複製禁止の映画の録画や不正に録画した映画の再生を阻止するというものである。

DHSGは1997年7月に電子透かし技術の提案を募る「Call for Proposal<sup>6)</sup>」を公開した。この中には、画質や耐性に関する要求など、13項目の基本技術要求事項が盛り込まれている。耐性試験を含む技術評価を通して最終的に2方式にしぼられ、昨年8月から、DVD Copy Control Association (DVDCCA) による最終的な選定作業に入っ

ている (<http://www.dvcc.com/warp>). 2方式とは IBM, NEC, 日立製作所, Sony, パイオニアの5社からなる Galaxy グループと, Philips, Macrovision, Digimarc の3社からなる Millennium グループで, 各グループは独自の電子透かし技術と, それを応用した DVD 用動画像のコピー・プロテクションの仕組みの提案を行っている. 選定作業では, 技術評価のほかにライセンス条件の内容も検討比較されている.

#### 4.2 デジタル・コンテンツのネット配信

インターネットを利用したコンテンツ・ビジネスの世界では, 著作権の保護, 利用条件の制御, 不正コピーの追跡といった用途で電子透かしを利用しようと試みている. デジタル音楽配信とその利用に関するガイドラインを策定する Secure Digital Music Initiative (SDMI) においては電子透かし技術を組み込んだ著作権保護の仕組みを採用することが決まっており, 規格化に向けて動いている. また, 大手音楽会社5社と米 IBM が昨年から6か月間にわたって実施した音楽配信実験では, 電子透かしを含む著作権保護機能を備えたデジタル音楽配信システム “Electronic music management system” (EMMS) が使用された. このように, 電子透かしは暗号化とともにデジタル・コンテンツの著作権保護技術として重要な位置を占めるようになった.

具体的な用途としては, 配信前のコンテンツに電子透かしにより複製の許可の有無やコンテンツの ID を埋め込むものと, 許可された複製を行う際に新たな電子透かしを付加して, 「複製済み」のマークとするものとの2種類があり, 一般的には両方を組み合わせて使用される. いずれの場合も, 暗号や認証機構でカバーできないアナログ経由や

フォーマット変換をとまなうコンテンツ伝送の穴を埋める目的で使用される.

#### 5. む す び

コンテンツのデジタル化にとまなうリスクが現実のものになるにつれて, デジタル・コンテンツの保護を含む情報セキュリティに関する関心が高まってきており, 電子透かし技術への関心の高まりもそのような状況が背景にある. この技術分野自体は比較的若いのが, 特定の応用分野に関してはすでに淘汰が始まっており, 今後は信頼性やセキュリティの向上, 機器への実装など実用面への技術的な配慮が期待される. 標準化などの運用面の条件が整えば, 多くの場面でデジタル・コンテンツの保護に貢献することになる. これ以外にも, 個別の企業や環境におけるデジタル・コンテンツ管理, 画像の改ざん検出や認証など多くの応用がみこまれている.

#### 文 献

- 1) “電子透かし技術に関する調査報告書”: 99-情-7, 日本電子工業振興協会 (1999).
- 2) W. Bender, D. Gruhl, N. Morimoto and A. Lu: “Techniques for data hiding,” *IBM Syst. J.*, **35**, Nos. 3&4 (1996) 313-336.
- 3) 電子透かしを支えるデータ・ハイディング技術 (上), 日経エレクトロニクス, No. **683** (1997).
- 4) 電子透かしを支えるデータ・ハイディング技術 (下), 日経エレクトロニクス, No. **684** (1997).
- 5) I. Cox, J. Kilian, T. Leighton and T. Shamoon: “Secure spread spectrum watermarking for multimedia,” *NEC Research Institute, Technical Report* (1995) pp. 95-128.
- 6) Call for Proposal, Data Hiding Sub Group, Copy Protection Technical Working Group (1997).

(2000年2月17日受理)