

画像圧縮・電子透かしコンポーネント

三井 靖博
藤根 俊夫

須崎 昌彦
前野 蔵人

昨今の業務の効率化、通信、保管コストの削減を目的とする業務のデジタル化の発展に伴い、デジタル画像データの各種圧縮技術の適用範囲が広がり、デジタルデータを保護する仕組みとして「電子透かし」が注目を集めている。また、作成した文書をプリンタで印刷した場合のセキュリティ保護も課題となっている。

本稿では、処理のデジタル化が進む金融システムや電子政府システムなどにおいて利用可能なデジタル画像圧縮コンポーネントおよび重要なデジタルイメージや印刷文書を不正改ざんから保護し、真正性を保証する電子透かしコンポーネントを紹介する。

画像圧縮コンポーネント

業務のデジタル化の発展に伴い、各種システムで扱われる画像や音声等のデジタルデータの情報量が飛躍的に多くなっている。しかし多くなればなるほど、保存や転送等に時間がかかり、大きな保存場所が必要になるため、デジタルデータを小さくし簡単に扱えるようにする技術が圧縮技術である。高品質で圧縮することが可能になれば、大幅なコストを削減することが可能となる。

画像に関する圧縮技術が画像圧縮技術である。画像の多くは冗長性を持ち、再現性が完全でなくても自然であれば許される、という一面を持っており、画像圧縮技術の多くはこの点を利用している。ここでは、文書画像圧縮用に用いられるJBIG2およびJPEGに代わるとされる最新の圧縮技術であるJPEG2000コンポーネントの紹介を行う。

文書画像圧縮用JBIG2

JBIG2とは、ISO/IEC JTC1/SC29/WG1で2000年に標準化された、最新2値画像圧縮標準である¹⁾。当社では世界に先駆けてJBIG2コンポーネントを開発すべく、標準化の段階から標準化委員会に積極的に関わってきた。

JBIG2以前の2値画像圧縮標準は、2値画像全体を算術符号化やMMR (Modified Modified Read) 等で圧縮するだけの単機能なものがほとんどであり、標準自体も圧

縮器単体での高効率化を目指して行われたものばかりであった。しかしJBIG2ではさらなる圧縮率向上を目指す方針として、領域や辞書の概念が導入され、文字以外を含む複合文書画像に対しても効率的な圧縮を行えるように、以下のような圧縮技術が採用された。

- 領域単位での、圧縮・伸張および段階的に再生画像を精緻化するプログレッシブ復号
- 文字などの小さなシンボルを辞書として圧縮するテキスト圧縮
- ハーフトーン画像をグレースケールに変換してから圧縮するハーフトーン圧縮

JBIG2は、画像の状態にもよるが、テキスト圧縮やハーフトーン圧縮などを用いなくてもJBIG2以前の圧縮技術であるJBIG1の2倍程度の圧縮率を誇っている。また、テキスト圧縮を効率よく使用すると、元画像の1/100程度にまで圧縮できることが確認されている。

当社で開発したJBIG2コンポーネントは、図1のような管理構造を採用することで、JBIG2の特徴を容易に実現している。プログレッシブ復号やハーフトーン圧縮などは、領域オブジェクトの機能として実現され、領域やマルチページのハンドリングは、それぞれのオブジェクト間の管理関係で実現している。圧縮伸張を行う符号化復号化エンジンは、それぞれの領域単位に領域オブジェクトから呼び出される。

最新画像圧縮JPEG2000

カラー静止画像符号化の最初の国際標準であるJPEGは1994年に標準化され、PCの普及、Internetの発展に伴い広く利用されてきた。しかし、画像の高精細化や関連技術の進歩と共に、静止画像符号化に対して更に高い圧縮性能が求められ、加えてさまざまな性能改善や機能付加が要求されることになった。このような背景を元に、JPEGで問題とされてきた高い圧縮率における性能改善と多機能化を目的とし、1997年に新たな静止画像符号化としてJPEG2000がISO/IEC JTC1/SC29/WG1において提案され、基本方式は予定通り2000年12月に標準化され

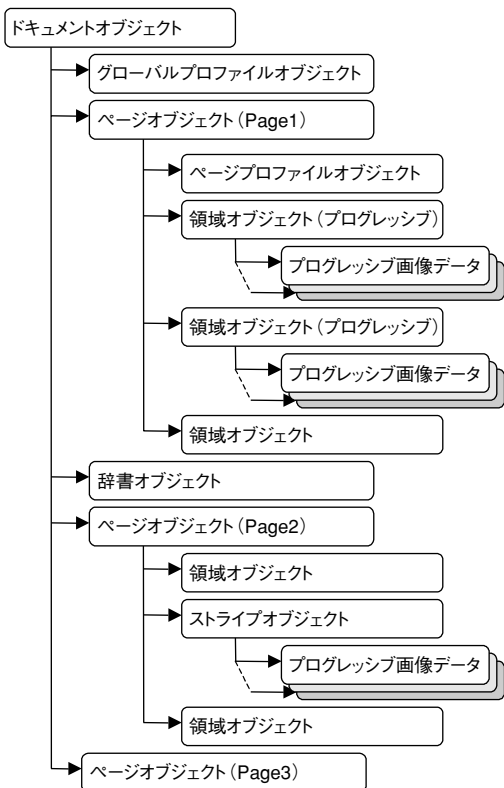


図1 JBIG2ライブラリの管理構造

た²⁾。

JPEG2000はJPEGを凌ぐ圧縮性能のみならず、空間解像度／SNR（Signal to Noise Ratio）のスケラビリティ、ROI（Region Of Interest：画像の特定領域の解像度／画質を優先して復号可能な機能）、定レート／定サイズ性、誤り耐性などの多くの機能を備えた符号化方式である（表1）。これらの機能のうち、

- 空間解像度／SNRのスケラビリティは、サムネイルのような画像の概要から詳細な画像まで順次復号することができるため、インターネット上での画像の転送や画像取得時に画像を確認する際に
- ROIは医療分野で患部の詳細を見る機能に

表1 JPEG2000 の主な特徴

	JPEG2000	JPEG
圧縮性能	高圧縮時の画質向上	高圧縮時の画質劣化顕著
スケラビリティ	空間解像度／SNR	SNRのみ
ROI	可能	不可
対応データ	2値／多値データを統一的に取扱可	多値データのみ
圧縮形式	可逆／非可逆同一方式	非可逆のみ

- 定レート／定サイズ性はあらかじめ決められた画質あるいはファイルサイズを保証した上で画像を圧縮保存する際に
- 誤り耐性は携帯電話などのモバイル機器で伝送を行う際に

それぞれ適用可能である。また、JPEG2000は2値・多値混在データを統一的に符号化でき、可逆／非可逆を同一アルゴリズムで実現している。したがって、高機能なものから低機能なものまで同一符号化で実現可能である。

JPEG2000はJPEGの後継にあたる方式と言っても過言ではなく、圧縮性能や豊富な機能の面で今後注目されることは間違いない。デジタルカメラ、インターネット、スキャナ、プリンタ、デジタルシネマや医療、電子商取引分野まで幅広い分野での普及が見込まれている³⁾。

電子透かしコンポーネント

電子透かし技術の基本は、マルチメディア・コンテンツなど、デジタルデータには人間が知覚できない冗長性が含まれており、冗長部分を変更してもほとんど知覚できないという特徴を利用したところにある。知覚できない、もしくは知覚し難い変更を行って情報を埋め込み、必要時に情報を抽出し、情報の有無や内容を利用する技術が電子透かし技術である⁴⁾。

暗号技術と比較して、電子透かしを利用した場合は画像データは画像データとしてそのまま扱うことが可能であり、暗号利用時の暗号・復号といった追加の処理が必要なく、検証時に画像データから電子透かしを抽出し確認するだけである。しかも処理フローの中でオリジナルの画像データは電子透かしを埋め込む前だけに存在し、その後は電子透かしを埋め込んだ状態のまま画像データを配送することができる。これは画像データの利用容易性を損なわず、画像データのセキュリティを保つことができることを意味する。

可逆圧縮対応改ざん検出電子透かし

従来、画像データに対する電子透かし利用の目的として、著作権保護が一般的であった。当社では、金融市場や電子政府など重要書類を取り扱う機会の多い市場を睨み、当初から改ざん検出のための電子透かしをターゲットとしてコンポーネント開発を行ってきた⁵⁾。

本コンポーネントの電子透かし技術は、ドキュメントイメージ（2値画像）を含む静止画像用電子透かしであり、改ざんを検出する基本アルゴリズムは、英国のSignum Technologies Ltd.より導入し、改良を行うと共に適用範囲を拡大すべく周辺機能を拡充している。

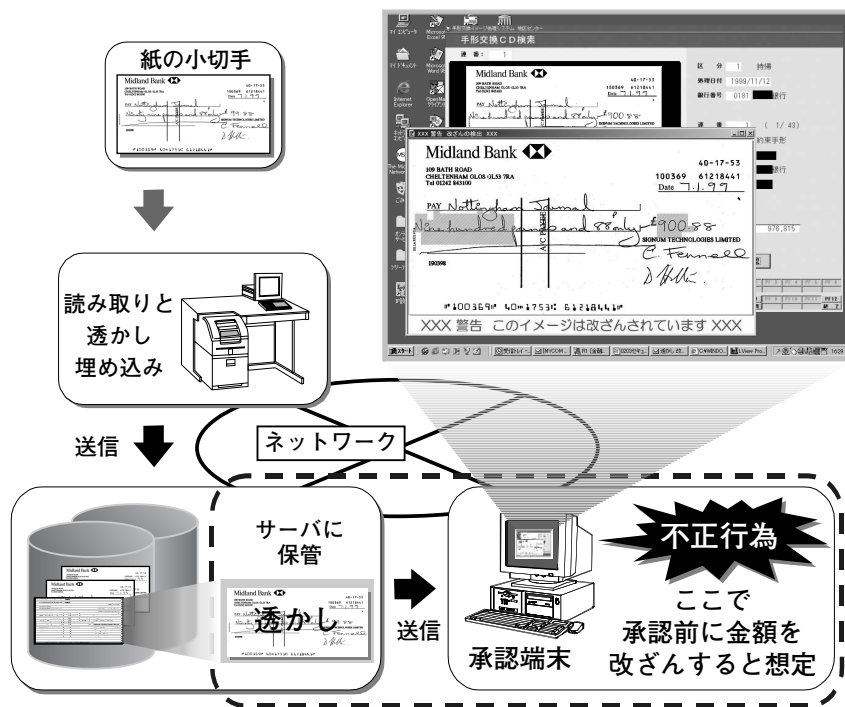


図2 改ざん検出電子透かしの適用例

本電子透かしコンポーネントを用いると、図2に示すように、検証時にオリジナルの画像データを必要とせず、電子透かし埋め込み画像データと電子透かし鍵を用いて、電子透かし埋め込み画像データが改ざんされているかどうかを検証し、かつ改ざんされているのであれば、改ざん位置を「ブロック」と呼ぶ埋込み時に指定可能な小矩形単位で位置表示することができる。検出可能な改ざん精度としては、1画素の改ざんから検出可能である。

鍵方式として、埋め込む際と検証時に同じ電子透かし鍵を用いる秘密鍵方式を用い、埋込み時に使用した電子透かし鍵がなければ、電子透かし検証ができない仕組みとなっている。

埋込み領域サイズは自由に設定でき、かつ画像上の指定した複数領域に一度の処理で埋め込むことが可能である。また領域内の画質を考慮して埋込みパラメータを変更したり、領域ごとに別の鍵を用いて独立に埋め込んだりすることも可能である。

本改ざん検出電子透かしと公開鍵暗号方式を併用することにより、電子透かしによる改ざん検出、公開鍵暗号を用いた作成者の特定を併せて行うことができるため、画像データに対する電子署名として用いることも可能である。この場合、通常の電子署名と異なり、電子署名が画像に埋め込まれるため一体となり、改ざん時には改ざんの場所がわかる、といった利点がある。

また本改ざん検出電子透かしは、改ざん検出だけでなく埋め込み領域ごとに各種デジタルデータを埋め込むことも可能である。埋込み可能なメッセージのサイズは、画像形式、領域サイズとブロックサイズに依存するが数十バイト～数千バイト程度である。透かし処理速度も画像形式および埋込みパラメータに依存し、4～15MB/s程度である。

JPEG2000対応 「Fragile」改ざん検出電子透かし

前述の可逆圧縮対応改ざん検出電子透かし技術の適用できる画像形式は、非圧縮であるBMP (BitMaP) や可逆圧縮のGIF (Graphics Interchange Format) 等に限定されており、適用範囲を広げるためにも非可逆圧縮等の新たな画像形式に対応する必要があった。そこで、今後JPEGに代わる圧縮符号化として普及が予想されるJPEG2000に適用可能な改ざん検出用の「Fragile」電子透かしコンポーネントの開発を行ってきた。これはJPEG2000符号化方式と融合し、コンポーネントの構造としてもJPEG2000コーデックと一体化となっており、画像をJPEG2000形式に圧縮しながら電子透かしを埋め込むことができる。また、画像に電子透かしを埋め込んでもほとんど原画像と変わらない画質が得られることも実証されている。

対応画像形式の違い以外は、本コンポーネントの基本的な機能は可逆圧縮対応改ざん検出電子透かしコンポーネントと同様であり、埋め込み領域サイズや数を自由に設定でき、壊れやすい（「Fragile」）情報の埋め込み・検証によって「ブロック」と呼ぶ小矩形ごとに1画素の改ざんから改ざんを検出することができ、各種デジタルデータを同時に埋め込むことも可能である。

この技術はJPEG2000符号化方式と深く融合した方式であるため、JPEG2000の機能を電子透かしの埋め込み／検証時にそのまま利用できる利点がある。例えば、空間解像度／SNRのスケラビリティに応じて電子透かしを埋め込むことにより、低解像度／低画質における大まかな領域での改ざん検出から高解像度／高画質における詳細な領域での改ざん検出へ、というように、画像の復号段階に応じて改ざんの検出を行うことができる。

また、ROIが用いられている画像に電子透かしを埋め込む場合、ROIに該当する画像の特定領域（ROI領域）に対してのいかなる変更も許されない場合があるため、その領域には電子透かしの埋め込みを行わないことにより、ROI領域については全く劣化のない画像を得ることができる。もちろん、改ざん検出時にはROI領域の改ざんも検出でき、非ROI領域の改ざんと区別することもできる。

このように、JPEG2000対応「Fragile」電子透かしはJPEG2000の適用範囲にそのまま利用することができ、また改ざん検出の機能は可逆圧縮対応改ざん検出電子透かしコンポーネントで述べたように通常の電子署名と同等もしくはそれ以上なため、JPEG2000の普及と共に、

従来の金融市場や電子政府以外の多くの分野でも適用されることが期待できる。

JPEG2000対応 「Semi-Fragile」改ざん検出電子透かし

本「Semi-fragile」電子透かし技術は、2000年8月から、約1年間、当社と米国コロンビア大学とで共同研究を行ってきた成果である。コロンビア大学では、2000年8月の段階でJPEG対応の「Semi-fragile」電子透かしのプロトタイプを完成させており、その後、当社と共同で、世界に先駆けてJPEG2000のための新しい「Semi-fragile」電子透かし技術を研究してきた。

ネットワーク上の世界では、帯域やストレージサイズなどによって、画像に対する圧縮率を変更して流通させるといったケースがある。「Fragile」電子透かしは、厳密に原本性を保証するため、圧縮率を変更する過程で電子透かしを再挿入しないと圧縮処理そのものが改ざんになってしまうという問題があった。しかし、実用上は再圧縮の都度透かしを埋め込み直すのは画質の劣化やセキュリティの観点から好ましくない。

本「Semi-fragile」電子透かし技術はこの欠点を克服するもので、改ざんアラームを上げる画像の変更の程度を、透かし挿入時に設定できることが大きな特徴となっている。このため、非可逆圧縮等による小さな変更ではアラームを上げず、大きく改ざんされた場合のみアラームを上げる、といった使い方が可能となる（図3）。

また、この「Semi-fragile」電子透かしは、透かし成分

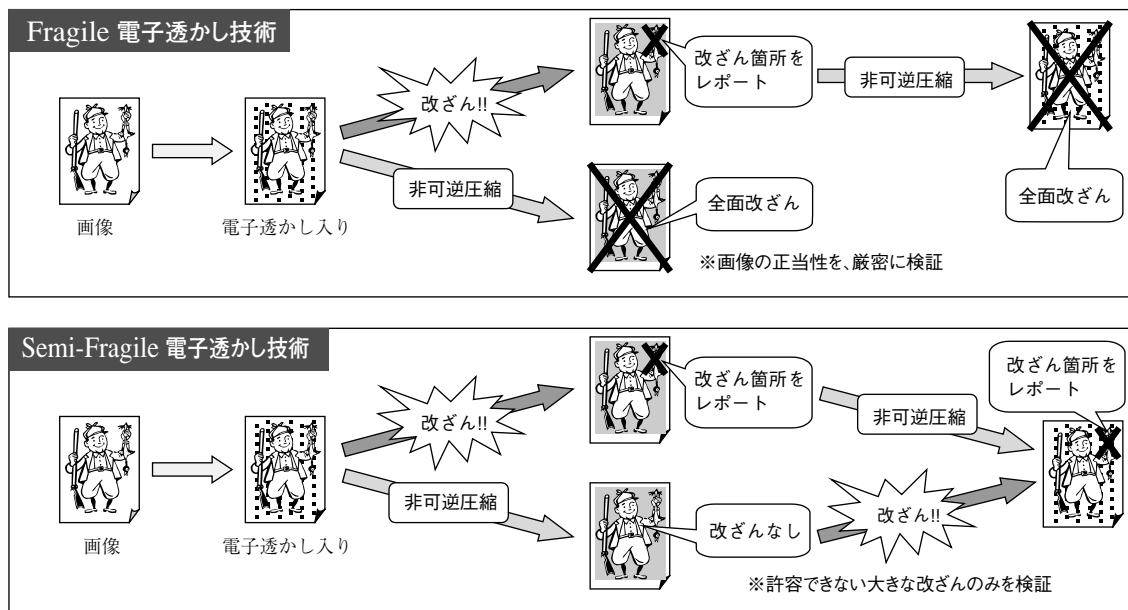


図3 「Fragile」と「Semi-Fragile」の違い

として画像に埋め込まなければならない情報が「Fragile」電子透かしよりも多いため、画質へのインパクトが大きくなる。この問題を克服するため、著作権保護などに用いられるロバストな電子透かしとのハイブリッド方式を検討すると共に、今後のさらなる画質向上、改ざん検出精度の向上を目指し、コロンビア大学との共同研究を継続している。

印刷物への透かし「セキュアプリント」

パソコンやワープロ上のワープロソフトで作成されたデジタルデータとしての「文書」は、暗号化や電子署名など各種セキュリティ技術により守る事が可能である。しかし一旦紙に印刷された「文書」は、元のデジタルデータと同様のセキュリティ技術による保護が不可能で、基本的に人間による文字や形式の認識でしかその真正性がわからなくなり、新たにデータを印刷物に上書き印刷して改ざんした場合、同じもしくは類似のフォントやプリンタを用いると、人間の目で改ざんしたことや改ざん場所を知覚することは非常に困難である。

有価証券や各種証明書などの重要書類では偽造やコピーを防止するため、紙の表面に予め特殊な地紋を印刷した専用紙を利用することが一般的になっている。地紋の中には秘密の情報を埋め込んでいるものもあるが、特殊なカラー印刷装置等が必要なため、文書に応じて情報の内容を適宜変更するといった使い方は容易ではなく、また専用紙の管理コストも負担となっている。そこで文書へ

の透かし情報埋め込みを、モノクロプリンタで簡単に行うことができるセキュアプリント技術の開発を行った。

図4はセキュアプリントの処理の流れを示している。ワープロソフト等で作成した文書データを、電子透かし埋め込み過程で、印刷された状態の二値画像に展開し、改ざん検出のための透かし情報を埋め込んだ地紋を作成して、これを文字や枠といった文書部分に背景として重ね合わせることで、透かし入り文書データを作成する。また地紋作成時に、改ざん検出のための情報だけでなく任意のデジタルデータも埋め込むことができる。透かし入り文書データはモノクロのレーザービーム・プリンタやLEDプリンタによって一般に使われる普通の紙に印刷し、紙の状態で保存または配布することができる。

電子透かし抽出過程では印刷された紙をフラットベッドスキャナでスキャンし、スキャン画像から電子透かし情報を抽出して電子透かし埋め込み時以降の改ざんの検出や埋め込んだデジタルデータを取り出して利用することが可能である。

透かし埋め込み処理はセキュリティ面や使いやすさを考えると、プリンタドライバもしくはプリンタ内部に組み込むという形態が最適ではないと思われる。用途によってはアプリケーションで埋め込む事も想定され、印刷する直前に透かしを埋め込むだけでなく、透かし入り文書データを作成して相手先にネットワークやインターネットを介して送付し相手先で印刷するような使い方においては、透かし入り文書データを作成した時点以降の

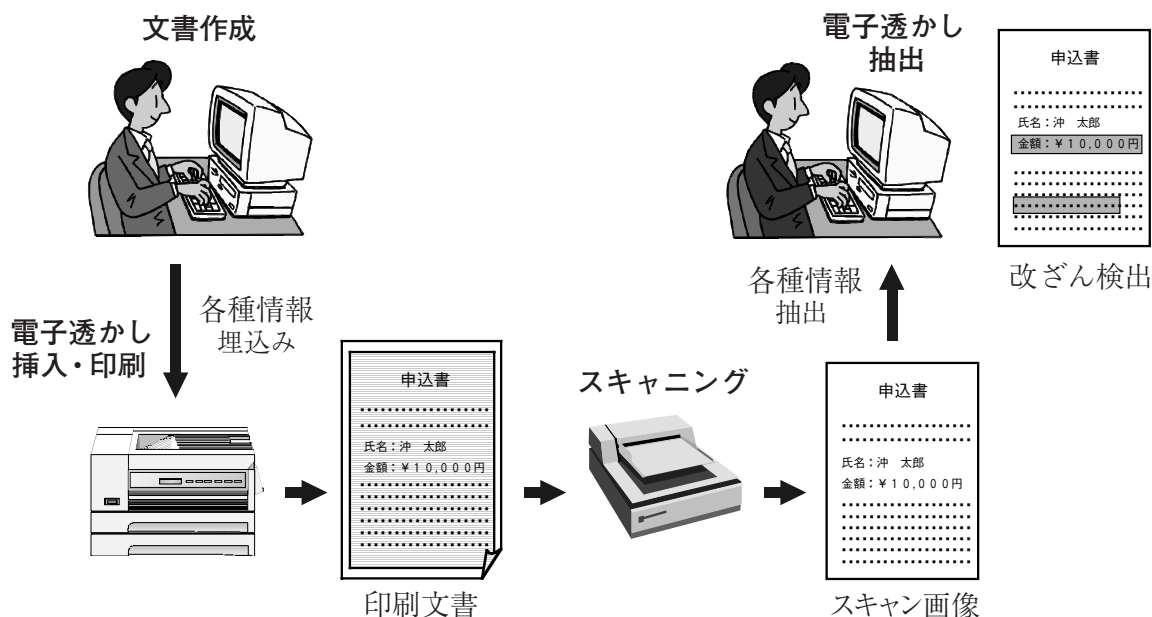


図4 セキュアプリントの処理の流れ

改ざんを検出することができる。

埋め込み可能なデジタルデータのサイズは印刷用紙サイズに依存するが、A4サイズの下紙で数百バイト程度である。このデータは、文書全体に満遍なく、かつ繰り返して埋め込んだり、符号化技術を利用したりすることによって、部分的に改ざんが行われても可能な限り取り出すことができるようにしている。用途としては、印刷時の状況を記録するために印刷した人や印刷時間等の情報を埋め込む、文書IDや金額等の文書中の重要なデータを埋め込み改ざん時にオリジナルのデータを確認する、といった事が考えられる。

現状プリンタの解像度は600dpi以上、スキャナの解像度は400dpi以上を必要とする。プリンタやスキャナの解像度は入手容易性や視認性、複製困難性などから決めており、適用分野や用途にもよるがこれ以下の解像度への対応は難しいと考えている。

おわりに

以上、業務のデジタル化や電子政府構想の進展に伴い利用機会が増えると予想される画像圧縮技術と、電子透かし技術に関するコンポーネントについて、提供する機能とその予想適用範囲および特徴を紹介した。

今後は各コンポーネントの機能拡張や改良を行い適用可能範囲を広げると共に、積極的にJPEG2000標準化等の活動にも参加していく予定である。 ◆◆

参考文献

- 1) ISO/IEC JTC1/SC29/WG1 N1545 : INTERNATIONAL STANDARD ISO/IEC 14492, 1999
- 2) ISO/IEC JTC1/SC29/WG1 N1855 : JPEG 2000 Part I Final Draft International Standard, 2000
- 3) 野水泰之：次世代画像符号化方式JPEG2000, 株式会社トリケップス, 2001年
- 4) 松井甲子雄：電子透かしの基礎-マルチメディアのニュープロテクト技術-, 第1版, 森北出版株式会社, 1998年
- 5) 須藤, 三井：改ざん検出可能な電子透かし, 沖電気研究開発第183号, Vol.67 No.2, pp.107-110, 2000年

●筆者紹介

三井靖博：Yasuhiro Mitsui. システムソリューションカンパニー 情報技術研究開発センタ

須崎昌彦：Masahiko Suzuki. システムソリューションカンパニー 情報技術研究開発センタ

藤根俊夫：Toshio Tohne. システムソリューションカンパニー 情報技術研究開発センタ

前野蔵人：Kurato Maeno. システムソリューションカンパニー 情報技術研究開発センタ