

# 電子透かし入り公文書の制作原理と運用の一考察

東北職業能力開発大学校  
附属青森職業能力開発短期大学校 佐々木 隆 幸

A Study on Production/Usage for Official Document Embedded Digital Watermark  
Takayuki SASAKI

**要約** ネットワークを流れるデジタルコンテンツを誰でもが容易にコピーや削除などの編集操作をできるようになってきた。その反面、その容易さが改ざんや不正コピーなどの社会的トラブルを引き起こしている。

そこで、オンライン公文書に透かし情報を埋め込んだ電子透かし入り公文書を提案する。ここでは、その制作原理を紹介し、運用面における課題①電子透かし入り公文書がJPEG形式によるデータ圧縮をうけても、透かし情報を再生することができるか②電子透かし入り公文書が編集によるサイズの伸張や縮小を受けても、透かし情報を再生することができるか③電子透かし入り公文書が改ざんを受けても、透かし情報を再生することができるか、また改ざんの有無を検出することができるかについて考察する。

## I はじめに

日本政府のIT戦略本部は2006年1月に、これから取り組むべき施策として、「国・地方公共団体に対する申請・届出等手続きにおけるオンライン利用率を2010年度までに50%以上とする」<sup>(1)</sup>ことを掲げている。そして「紙文書による業務処理からの脱却」を目標にしている。

その一方、ネットワーク技術の進歩によりデジタルコンテンツを誰でもが容易に取り扱えるようになり、そのことが反面、改ざんや不正コピーなどの社会的トラブルを引き起こしている。

そこで、電子透かし入り公文書を提案する。そして、その公文書は次の運用課題を解決できるものとする。

- (1) 公文書がJPEG形式によるデータ圧縮を受けても、透かし情報を再生できること
- (2) 公文書が編集によるサイズの伸張・縮小を受けても、透かし情報を再生できること
- (3) 公文書が改ざんを受けても、透かし情報を再生で

きること、また改ざんの有無を検出できること  
以降に、電子透かし入り公文書の制作原理を紹介し、運用課題について考察していく。

## II 電子透かし入り公文書の制作原理と特徴

### 2. 1 制作原理

(1) 電子透かし入り画像を制作する方法はさまざま提案されている。筆者自身も独自開発した制作方法<sup>(2)</sup>を既に提案している。ここでは、その制作方法の原理と特徴を述べる。制作方法における原理は3つある。

1つ目の原理は

$(\text{情報信号}) + (\text{微小なランダム信号}) \cong (\text{情報信号})$   
が成り立つということである。だから、微小なランダム信号をつくることができれば、それを透かし情報として埋め込むことができる。

2つ目の原理は波の干渉である。2つの波を干渉させると干渉縞ができる。多くの波源からの波を干

渉させると、干渉縞はランダムに近い縞模様となる。すなわち、干渉縞を1つ目の原理の微小なランダム信号として用いることができる。例として、レーザー光による干渉の場合を図1に示す。

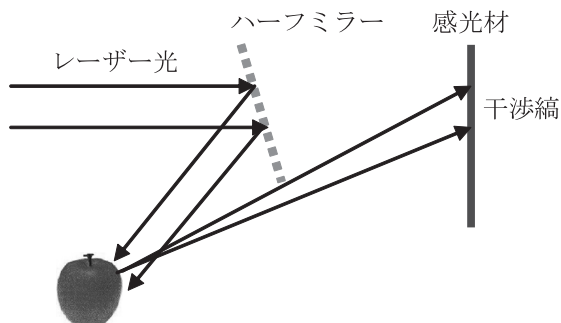


図1 波の干渉

これら2つの原理をコンピュータ上で実行すると、電子透かし入り公文書を作成することができる。

制作例を示す。2枚の画像を用意する。1枚は公文書の画像で、もう1枚は透かし情報の画像である。図2に公文書画像を示す。公文書はテキスト文ではなく、画像として作成する。透かし情報画像を図3に示す。図3の左下と右下を拡大した画像が図4である。



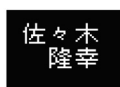
図2 公文書画像



図3 透かし情報画像



(a) 左下



(b) 右下

図4 図3の部分拡大

図2、図3の画像を用いて制作した画像が図5である。これが目的の電子透かし入り公文書<sup>(注1)</sup>である。

図2と図5の違いは、縞模様があるかないかである。図2には縞模様はないが、図5には縞模様が背景としてある。この縞模様が透かし情報からつくられた干渉縞である。

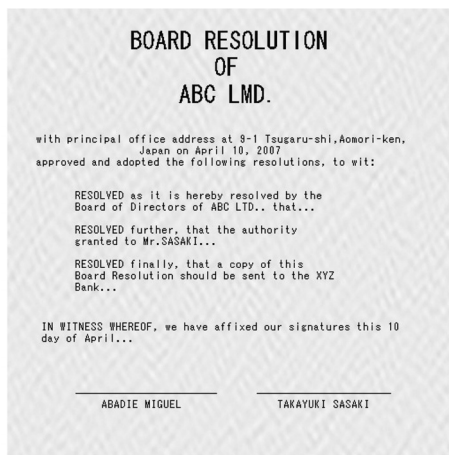


図5 制作した電子透かし入り公文書

(2) 次に、電子透かし入り公文書から透かし情報を再生してみる。このときに用いる原理が3つ目の原理で、波の回折である。制作のときと同じ周波数の波を干渉縞に入射すると、干渉縞によって回折し、元の透かし情報を再生することができる。例として、レーザー光

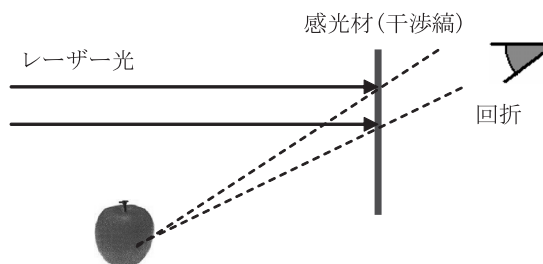


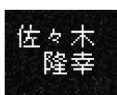
図6 波の回折

による回折を図6に示す。

波の回折をコンピュータ上で実行し、図5から再生した画像が図7である。実像と虚像に相当する画像が画像中央を中心に点対称の位置に互いに現れる。図7の部分拡大を図8に示す。



図7 再生した透かし情報



(a) 左下と右上 (点対称) (b) 右下と左上 (点対称)

図8 図7の部分拡大

## 2.2 特徴

波の干渉と回折を用いて制作した電子透かし画像の特徴を2つ挙げる。

(1) 小部分から透かし情報全体を再生できること

電子透かし入り画像の小さな部分領域だけからでも、透かし情報の全体を再生できる。物体の任意の点からの情報は干渉縞全体に渡って記録される。このことは干渉縞の任意の点がそれぞれ物体全体の情報を干渉縞として記録していることを示す。したがって、図9に示すように、干渉縞の小さな部分領域からでも物体全体を再生す

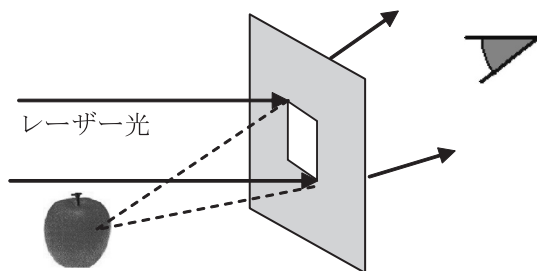


図9 小さい部分領域からの再生

ることができる。通常の写真記録では考えられないことである。ただし、再生に用いる部分領域が小さくなる分だけ、再生される透かし情報の明るさは低下し、画像の鮮やかさも劣化する。

(2) 多重の埋め込みができること

図1に例示したレーザー光の周波数を変えると、周波数ごとに異なる干渉縞ができる。だから、複数個の透かし情報を用意し、それぞれ異なる周波数の波で干渉縞をつくる。そして、それらの干渉縞をすべて1枚の画像に埋め込む。すると、複数個の透かし情報が埋め込まれた電子透かし入り画像ができる。すなわち、透かし情報を多重に記録することができる。

これを式で表すと、次のようになる。

$$\begin{aligned} &(\text{情報信号} + (\text{微小なランダム信号})) \\ &+ (\text{微小なランダム信号}) \\ &+ \dots + (\text{微小なランダム信号}) \cong (\text{情報信号}) \end{aligned}$$

再生するときは、干渉縞をつくったときと同じ周波数の波を用いて回折させる。その周波数に対応する透かし情報だけが再生される。

## III 電子透かし入り公文書の運用課題

この電子透かし入り公文書を、ネットワークで運用するためには、解決しなければならない課題がいくつかある。ここでは3つの課題について考察する。

### 3.1 JPEG形式によるデータ圧縮に耐性であること

デジタル画像を記録する形式は多種多様である。たとえば、前節で用いた画像はBMP形式の画像である。BMP形式画像は無圧縮の画像であるため、画像データの欠落が全くなく、電子透かし入り公文書の制作・再生には有効な画像形式である。

一方、ネットワークで最も多く用いられている画像形式の一つにJPEG形式がある。JPEG形式は画像データを不可逆的に圧縮する画像形式である。つまり、JPEG形式では、画像データが圧縮によって一度欠落すると、再び元の画像データに戻せなくなる。電子透かし入り公文書の制作には不向きな画像形式である。

しかし、ネットワークで画像データの送信・受信をスピーディに行うには、画像データを圧縮できるJPEG形式は必要不可欠な形式である。

そこで、画像形式の設定を図10のようにする。電子透かし入り公文書を制作・再生するときはBMP形式を用い、ネットワークに送信するときはBMP形式からJPEG形式に変換し、逆に受信するときはJPEG形式からBMP形式に変換するものとする。

なお、ここに用いたJPEG形式の圧縮レベル<sup>(注2)</sup>はレベル25で、図5のBMP形式公文書をJPEG形式に変換したときの圧縮率は40.5kB/768kBである。

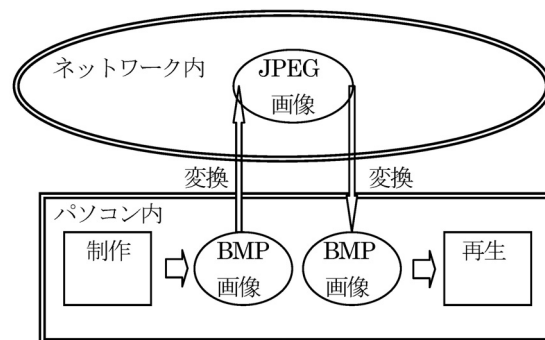


図10 画像形式の設定

この設定で、送信・受信を行った電子透かし入り公文書を再生してみる。

JPEG形式で受け取った公文書をBMP形式に変換した公文書が図11である。その公文書から再生した画像が

図12である。透かし情報が再生されている。BMP形式画像から再生した透かし情報の図7と比較すると、JPEG形式の場合には劣化がみられる。これはデータ圧縮によって透かし情報のデータが欠落したためである。

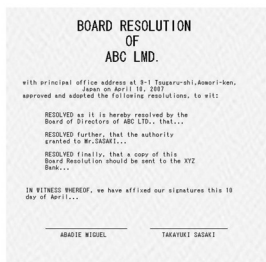


図11 JPEG形式公文書

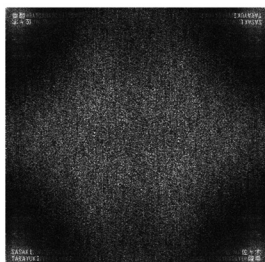


図12 図11の再生画像



(a) 左下と右上 (点対称)



(b) 右下と左上 (点対称)

図13 図12の部分拡大

ここで、図14に示すように電子透かし入り公文書を意図的に半分のサイズに削除する。



図14 半分の公文書

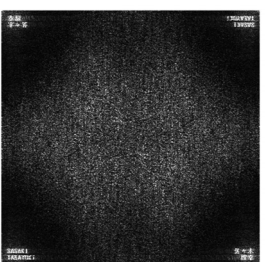


図15 図14の再生画像



(a) 左下と右上 (点対称)



(b) 右下と左上 (点対称)

図16 図15の部分拡大

この半分になった電子透かし入り公文書から透かし情報を再生してみる。図15が再生した結果である。透かし情報全体が再生されているのがわかる。これは、節2.2の特徴(1)で述べた通りに、小さな部分領域からでも透かし情報全体を再生できるという特徴の現れである。図16に部分拡大画像を示す。

以上のことから、この電子透かし入り公文書は、JPEG形式による画像データの圧縮を受けても、透かし情報を再生することができる。

### 3.2 編集によるサイズ伸縮に耐性であること

電子透かし入り公文書が編集操作によって、サイズの伸張あるいは縮小を受けたときの透かし情報を再生してみる。

最初に、横、縦とも1/2のサイズに縮小した場合で調べてみる。図17にそれを示す。サイズを縮小する前の公文書のサイズは黒い部分を含めた大きさである。図17の縮小公文書から再生した透かし情報が図18である。図19は図18の部分拡大画像である。

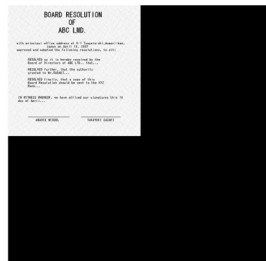


図17 1/2 × 1/2 縮小公文書

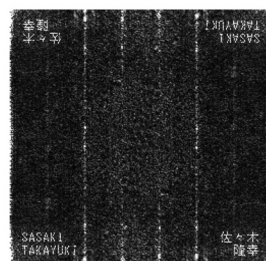


図18再生透かし情報



(a) 左下と右上 (点対称)



(b) 右下と左上 (点対称)

図19 図18の部分拡大

画像サイズを1/2 × 1/2 倍に縮小した電子透かし入り公文書から再生した透かし情報の文字サイズは、図19を目視する限りでは分かりにくいだが、2 × 2 倍に大きく<sup>(注3)</sup> になっている。

次に、横、縦とも2倍のサイズに拡張した画像で調べてみる。その画像を図20に示す。画像サイズを2 × 2 倍に伸張した電子透かし入り公文書から再生した透かし情報の画像が図21である。図22が部分拡大である。先ほどとは反対に、文字サイズは1/2 × 1/2 倍に小さくなる。



図20 2 × 2 倍伸張公文書

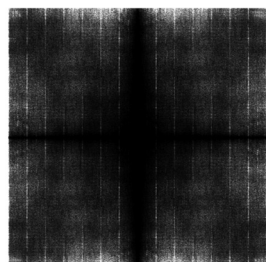


図21 図20の再生画像



(a) 左下と右上 (点対称)



(b) 右下と左上 (点対称)

図22 図21の部分拡大

したがって、この電子透かし入り公文書は、伸張や縮小のサイズ変更を受けても、透かし情報全体を再生することができる。

### 3.3 改ざんの有無を検出できること

最後の課題として、電子透かし入り公文書が改ざんを

受けた場合に、透かし情報を調べることで、改ざんの有無を検出できるかどうかを調べてみる。

たとえば、電子透かし入り公文書の文字「2007」を「200」に改ざんする。しかも、文字「7」の跡には電子透かし入り画像の他の部分の干渉縞をコピーし穴埋めする。図23が改ざんした後の公文書である。改ざん前と後

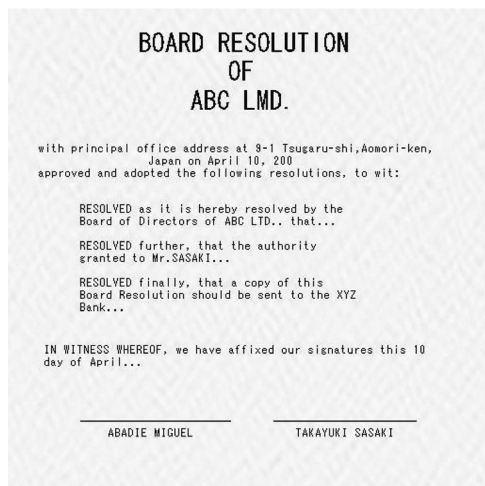
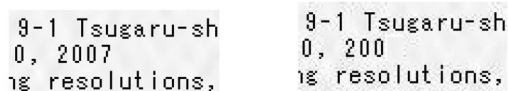


図23 改ざんされた公文書



(a) 改ざん前 (b) 改ざん後

図24 改ざん前・後の部分拡大

の部分拡大画像を図24に示す。

この改ざん公文書から、再生した透かし情報が図25である。肉眼で画像を見る限り、図12と同じようにみえる。その理由は、節2.2で述べたように小部分領域からでも透かし情報全体を再生できるという特徴をもつこと、また改ざん部分の穴埋めに用いた他の部分の干渉縞はランダムに近い縞模様であること、この2点を考慮すると当然なことといえる。

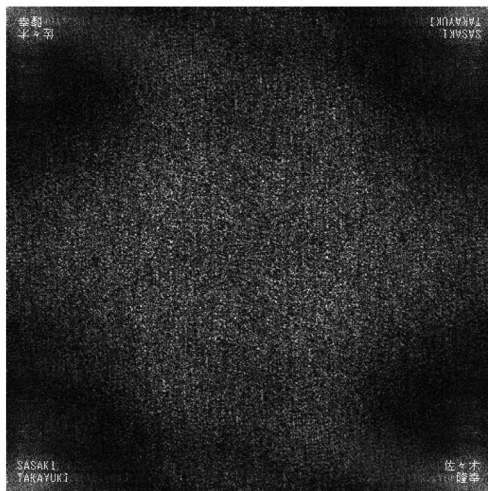


図25 再生透かし情報画像



(a) 左下と右上 (点対称) (b) 右下と左上 (点対称)

図26 図25の部分拡大

しかし、画像データ同士の減算を行うと、数値的な差をみることができる。画像の減算

$$(\text{図12画像データ}) - (\text{図25画像データ})$$

の計算結果が図27である。

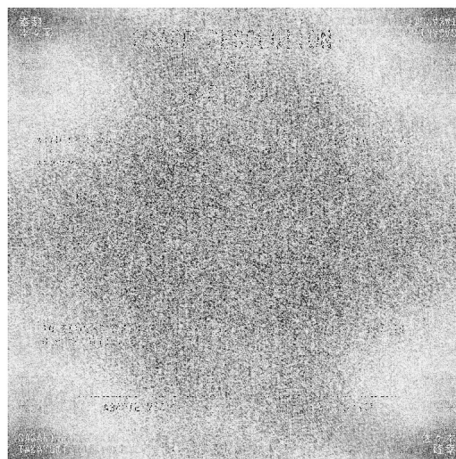


図27 図12画像から図25画像を減算した画像



(a) 左下と右上 (点対称) (b) 右下と左上 (点対称)

図28 図27の部分拡大

改ざんがないときは真黒な画像になる。真黒でないことから、改ざんがあったことを検出できる。

したがって、この電子透かし入り公文書は、改ざんを受けても、透かし情報を再生することができ、しかも改ざんの有無を検出することもできる。

#### IV おわりに

電子透かし入り公文書の制作・再生の原理を紹介し、ネットワークで運用する際の運用課題を述べてきた。そして、その運用課題

- ① データ圧縮に耐性であること
- ② サイズの伸張・縮小に耐性であること
- ③ 改ざんの有無を検出できること

を解決することができることを述べてきた。

今後、ネットワークでのオンライン申請・届出等手続きがIT戦略本部の計画通りに実行され紙文書からの脱却が進むとき、この電子透かし入り公文書の制作・再生方法が役立ち、発展応用されることを大いに期待する。

## [注]

- (注1) 透かし情報の埋め込み割合が10%~50%での有効性は確認されている。割合が大きくなるほど再生が鮮明になるので、ここでは10%として紹介する。
- (注2) 圧縮レベルが10~40での有効性は確認されている。ここではIndependent JPEG Groupが公開している圧縮レベル25のソフトウェアを用いる。
- (注3) 透かし情報の画像を $f(x,y)$ とする。これを波の情報に換えるためフーリエ変換する。

$$F(u,v) = \iint f(x,y) \cdot e^{-i2\pi(ux+vy)} \cdot dx dy$$

$f(x,y)$ は振幅と位相をもつ一種の波である。

上の画像 $F(u,v)$ を、横方向に $\frac{1}{a}$ 倍、縦方向に $\frac{1}{b}$ 倍に縮小した画像は $F(au,bv)$ となる。

この縮小画像を逆フーリエ変換で再生すると

$$\iint F(au,bv) \cdot e^{i2\pi(ux+vy)} \cdot du dv = \frac{1}{ab} f\left(\frac{x}{a}, \frac{y}{b}\right)$$

となる。すなわち、横方向に $a$ 倍、縦方向に $b$ 倍した画像になる。

## [参考文献]

- (1) <http://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/kettei/060119honbun.pdf>
- (2) 佐々木：「電子透かし入り画像の生成工法」、特開平15-087554