

# チェッカパターンキャリアスクリーン画像における 誤差拡散法による部分的潜在化

生源寺 類<sup>1,a)</sup>

概要：我々は、チェッカパターンを重ね合わせることで秘密画像が復号される潜像技術、チェッカパターンキャリアスクリーン画像を提案している。また、チェッカパターンの重ね合わせの他に市販のコンパクトデジタルカメラを利用した復号も可能である。一方、コンパクトデジタルカメラを用いて復号する場合、キャリアスクリーン画像を低解像度で出力する必要があり、潜在化処理が必須となる。この潜在化処理として、誤差拡散法による潜在化処理を提案している。しかしながら潜在化効果は秘匿に用いるカバー画像に依存し、十分な潜在化効果が得られない領域が存在することが確認されている。本研究では、このような低潜在化領域の原因が、特定の誤差拡散係数によるものではないことを示す。また、低潜在化領域を生かした情報提示法を提案する。

## Partial Hiding Based on Error Diffusion Method for Checkered-Pattern Carrier-Screen Images

RUI SHOGENJI<sup>1,a)</sup>

**Abstract:** We propose checkered-pattern carrier-screen images, which can decode a secret image by superimposing a sheet of checkered pattern. The secret image is also visualized using an ordinary compact digital camera. To obtain better decoding results using a digital camera, the carrier-screen image should be displayed at low resolution. However if the carrier-screen image is displayed at low resolution, the secret information can be detected. So a hiding process is important technique. We propose a hiding method based on error diffusion halftoning. In this paper, we investigate the imperceptibility of the carrier-screen image which embedded into a uniform image. We also propose an information displaying technique by using a partially hidden carrier-screen image by error diffusion method.

### 1. はじめに

デジタルサイネージ市場は、2015年には約12,609百万ドルにまで伸びると推定されている[1]。より多くの人に足を止めて視聴してもらうためには、訴求効果の高いコンテンツが重要となる。コンテンツの価値を高める技術として、情報ハイディング技術の利用が注目されている。特に視覚的な復号が可能な情報ハイディング技術では、秘匿されていた情報が顕在化することによる感動や喜びを与えることが可能であり、これがコンテンツの価値となる。

視覚的な復号が可能な情報ハイディング技術として、視

覚復号型暗号 (Visual cryptography) [2] やキャリアスクリーン画像 (Carrier-screen images) [3] などが提案されている。視覚復号型暗号では、平文画像を複数のシェア画像に分散し、これらを重ね合わせることで復号が可能である。シェア画像は通常ランダムパターンとして生成され、1枚のシェア画像からは秘匿された情報を取り出すことはできない。一方、キャリアスクリーン画像は、周期的なパターンを重ね合わせることで秘密画像が浮かび上がる潜像技術である。復号に用いる周期的なパターンはキャリアスクリーンと呼ばれ、多数の平行線で構成される万線や周期的な点で構成される網点などがよく用いられる。キャリアスクリーン画像は、ベースとなるキャリアスクリーンの位相や角度などを変調することで生成される。このとき十分に

<sup>1</sup> 静岡大学 大学院工学研究科  
Shizuoka University, Hamamatsu, Shizuoka 432-8561, Japan  
<sup>a)</sup> shogenji.rui@shizuoka.ac.jp

高い空間周波数を持つキャリアスクリーンを用いることで、生成されるキャリアスクリーン画像は、肉眼では一様な灰色の領域として観察される。周期的なパターンを用いることで、位置合わせが不要な簡便な復号が可能となる。さらに、対応するキャリアスクリーンの重ね合わせの他に、サンプリング処理による復号も可能である。このようなキャリアスクリーン画像は、有価証券等の偽造防止を目的としたドキュメントセキュリティ分野や絵本 [4], [5] などのエンタテインメント分野で利用されている。

我々は、チェッカパターンをキャリアスクリーンとして用いたチェッカパターンキャリアスクリーン画像を提案している。従来のキャリアスクリーン画像と同様にキャリアスクリーンの重ね合わせやサンプリング処理による復号が可能である。また、生成されるキャリアスクリーン画像は正方画素構造となる。そのため、従来の画像処理手法や表示デバイスとの整合性が良く、これまでに解像度多重化 [7] や角度多重化 [8]、自然画像への埋め込み [9] 手法、パターン投影による撮影防止手法 [10] を提案している。さらに我々はサンプリング処理による復号手法として、市販のコンパクトデジタルカメラを用いた手法を提案している。一般的なコンパクトデジタルカメラでは、イメージセンサ上に結像した画像を液晶ファインダに表示するために、サンプリング処理により縮小している。このことを利用することで、市販のデジタルカメラに特別な機能を加えることなく、撮影距離や角度などを調節するだけで、秘密画像の復号が可能である。一方で、デジタルカメラを利用した復号においてコントラストの高い復号結果を得るためには、キャリアスクリーン画像を良好な状態でイメージセンサ上に結像させる必要がある。そのため、従来のキャリアスクリーン画像と比較して、低空間周波数のキャリアスクリーンを使用することになる。このことにより秘密画像のパターンのエッジ部分の露見が生じるため、潜在化処理が必須となる。効果的な潜在化手法として、誤差拡散法を利用した方法を提案している。しかしながら、誤差拡散法を利用した潜在化手法では、誤差拡散法のしきい値付近の画素値を持つ一様な領域において、十分な潜在化効果が得られないことが確認されている [11]。

本研究では、このような低潜在化領域が生じる原因についてさらなる調査を行い、特定の誤差拡散係数によるものではないことを示す。また、デジタルサイネージ等での利用を目的とした、低潜在化領域を生かした情報提示法を提案する。

## 2. チェッカパターンキャリアスクリーン画像

チェッカパターンキャリアスクリーン画像は、秘密画像の各画素を2種類のチェッカパターンに置き換えることで行われる。チェッカパターンキャリアスクリーン画像の生成の概略図を図1に示す。各画素の置き換えに使用する

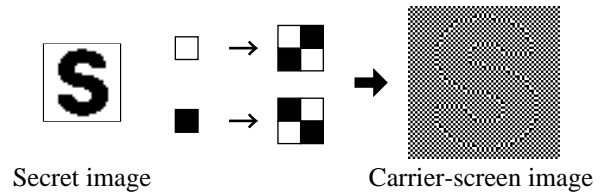


図1 キャリアスクリーン画像の生成  
Fig. 1 Encoding process of a carrier-screen image.



図2 秘密画像  
Fig. 2 Secret image.

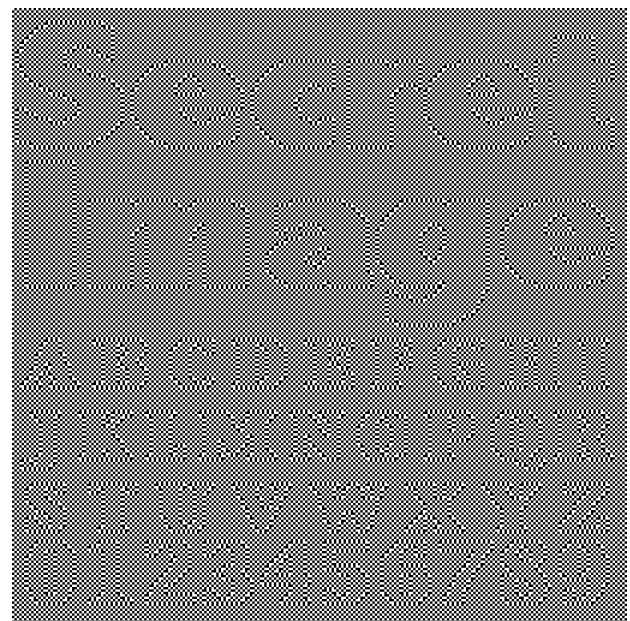


図3 キャリアスクリーン画像  
Fig. 3 Carrier-screen image.

チェッカパターンは $2 \times 2$ 画素の相補的なチェッカパターンを使用する。秘密画像の画素が白であれば一方のチェッカパターンに置き換え、秘密画像の画素が黒であれば他方のチェッカパターンに置き換える。すなわち、秘密画像の画素が白の場合と黒の場合とで、白黒を反転したチェッカパターンを配置することで秘密画像を符号化する。置き換えに使用するチェッカパターンのサイズが $2 \times 2$ であるため、生成されるキャリアスクリーン画像のサイズは、縦、横ともに、秘密画像の2倍になる。

図2に示す秘密画像を符号化したキャリアスクリーン画像を図3に示す。出力されたキャリアスクリーン画像は十



図 4 デジタルカメラを用いた復号例

Fig. 4 Decoding example with a digital camera.

分な解像度を有していないため、秘密画像のパターンの輪郭が肉眼でも確認できる。

復号はキャリアスクリーンであるチェッカパターンの重ね合わせ，あるいは適切なサンプリング間隔でのサンプリング処理により行われる。我々は，サンプリング処理による復号手法として，デジタルカメラを利用した復号を提案している。図 4 にデジタルカメラを用いた復号例を示す。デジタルカメラを用いた復号は，液晶ファインダへ画像を縮小表示するためにイメージセンサ上に結像したキャリアスクリーン画像を再サンプリングする過程を利用して行われる。復号に使用したデジタルカメラでは，デジタルカメラを  $45^\circ$  傾けることでコントラストの良い復号結果が得られた。これは液晶ファインダへの表示処理において，平滑化などの近傍画素処理が行われているためであると考えられる。デジタルカメラを復号に利用した場合，デジタルカメラの角度調節だけでなく，撮影距離などの調節も必要である。さらに，手ぶれなどの影響により精細な位置合わせは困難である。しかしながら十分に認識可能な復号結果が得られており，このことはキャリアスクリーン画像の歪みなどの劣化に対してロバストな復号が可能であることを示すものである。

### 3. 誤差拡散法による潜在化

潜在化処理の概略図を図 5 に示す。誤差拡散法による潜在化は秘匿用のカバー画像に埋め込むことで行われる。カバー画像として 256 階調のグレイスケール画像を用いる。合成処理は，画素値の加減算により行う。カバー画像，キャリアスクリーン画像および合成量を，それぞれ  $f(x, y)$ ， $g(x, y)$ ， $w$  とすると，合成画像  $h(x, y)$  は次式で表される。

$$h(x, y) = \begin{cases} f(x, y) + w, & \text{if } g(x, y) \text{ is white,} \\ f(x, y) - w, & \text{if } g(x, y) \text{ is black.} \end{cases} \quad (1)$$

すなわち，キャリアスクリーン画像の画素が白であれば，

カバー画像の対応する画素に画素値  $w$  を加算し，キャリアスクリーン画像の画素が黒であれば，画素値  $w$  を減算することで合成する。ただし，合成後の画素値が 0 未満の場合は 0 に，255 以上の場合は 255 に置き換えることで，画素値を  $[0, 255]$  に制限する。

次に，合成画像を誤差拡散法により 2 値化することで，潜在化キャリアスクリーン画像が生成される。本稿では，誤差拡散法におけるしきい値を 127.5 とした。

誤差拡散法による埋め込みの例として，図 6 に示すカバー画像にキャリアスクリーン画像（図 3）を埋め込んだ結果を図 7 に示す。このとき，合成量を  $w = 64$  とし，誤差拡散法における拡散係数は Stucki[12] のものを使用した。潜在化処理により，秘密画像のパターンが知覚されにくくなっていることが確認できる。しかしながら画像左側の平滑な領域で，十分な潜在化効果が得られていないことがわかる。次に，およびチェッカパターンの重ね合わせによる復号結果を図 8 に示す。復号結果はカバー画像の影響を受け劣化が見られるが，復号結果から秘密画像の情報を認識可能であることがわかる。

### 4. 潜在化効果

前節でも示した通り，誤差拡散法を利用した潜在化手法では，誤差拡散法のしきい値付近の値を持つ一様な領域において，十分な潜在化効果が得られないことが確認されている。ここでは異なる誤差拡散係数を用いて潜在化を行った画像に対して潜在化効果の評価を行う。誤差拡散法における拡散係数は Floyd-Steinberg[13]，Frankie Sierra (Two-row)，Stucki，および Bill Atkinson を使用した。カバー画像として 0~255 の一様な画素値を持つ 256 枚の一樣画像を用いた。また，コントラストの良い復号結果を得るために合成量は  $w = 128$  とした。秘密画像のパターンの露見は，主にパターンのエッジ部分で顕著であることから，エッジ検出を行い潜在化効果の評価する。エッジ検出は，Difference of Gaussian (DoG) 処理を適用し，ゼロクロス点を計数することで行う。潜在化効果が高いとき，キャリアスクリーン画像の局所的な一様性が低下し，多くのゼロクロス点が検出される。ゼロクロス点の総数を，総画素数で正規化したものを潜在化効果 (Imperceptibility) とした。また，誤差拡散法の画像端の影響を避けるため， $128 \times 128$  画素の秘密画像に余白を加え  $192 \times 192$  画素に拡張したのち符号化を行う。潜在化効果は，生成される潜在化キャリアスクリーン画像の中央の  $256 \times 256$  画素について評価した。図 9 に一樣画像の画素値と潜在化効果との関係を示す。いずれの誤差拡散係数を用いた場合においても，画素値が誤差拡散法のしきい値付近で潜在化効果が大きく低下していることが確認できた。

図 10 に一樣画像の画素値をそれぞれ 6, 48, 74, 127 としたときの潜在化キャリアスクリーン画像を示す。誤差拡

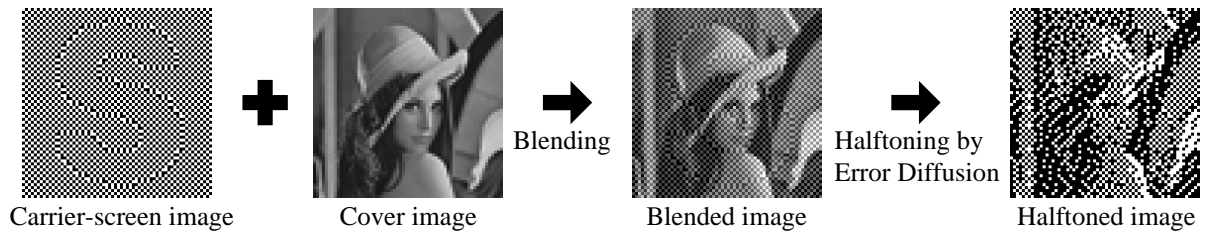


図 5 潜在化処理

Fig. 5 Hiding process.



図 6 カバー画像

Fig. 6 Cover image.



図 8 復号結果

Fig. 8 Decoded result.



図 7 潜在化キャリアスクリーン画像

Fig. 7 Embedded carrier-screen image.

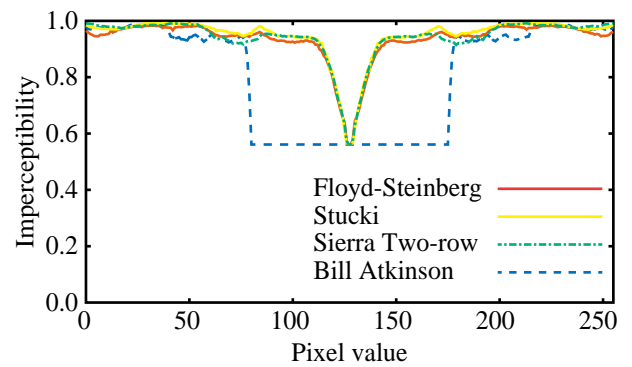
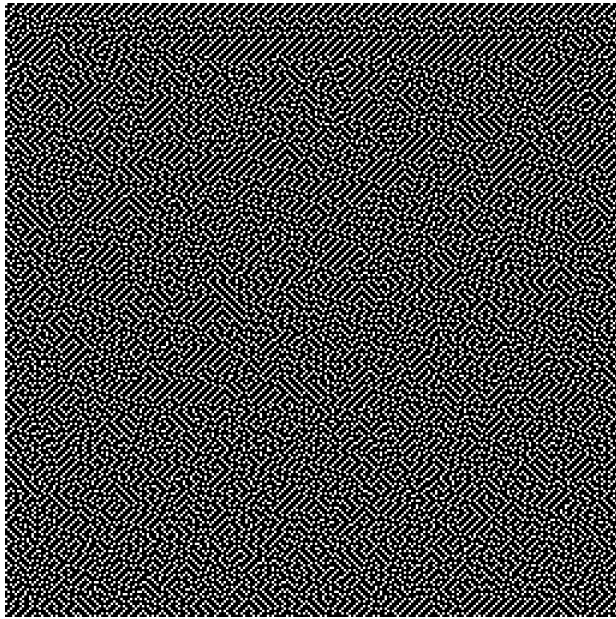


図 9 一様画像の画素値と潜在化効果

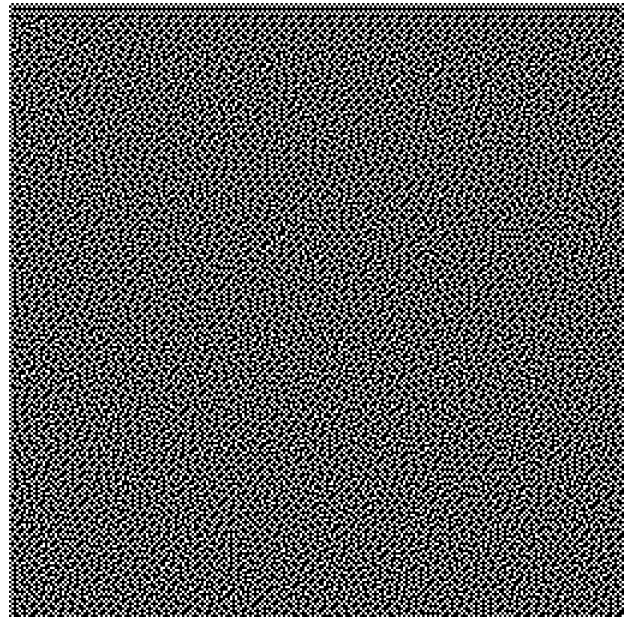
Fig. 9 Pixel value of uniform image vs imperceptibility.

散係数は、すべて Stucki を使用した。画素値 6, 48 のカバー画像に埋め込んだ潜在化キャリアスクリーン画像で

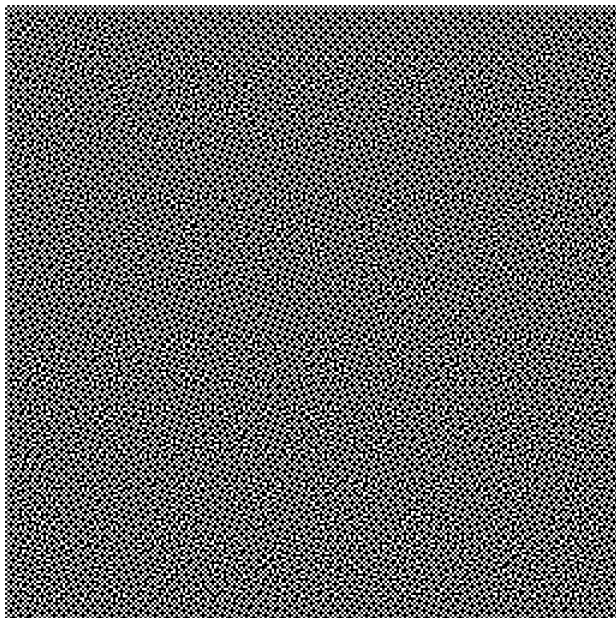
は、十分な潜在化効果が得られており、秘密画像のパターンの露見が無いのが確認できる。これに対して画素値 127 のカバー画像に埋め込んだ潜在化キャリアスクリーン画像では、潜在化効果がなく、潜在化を行っていないキャリアスクリーン画像と同様に秘密画像のパターンが露見していることが確認できる。以上の結果より、しきい値付近の画素値において潜在化効果の低下が生じる原因は、誤差拡散法の性質によるものであると考えられる。



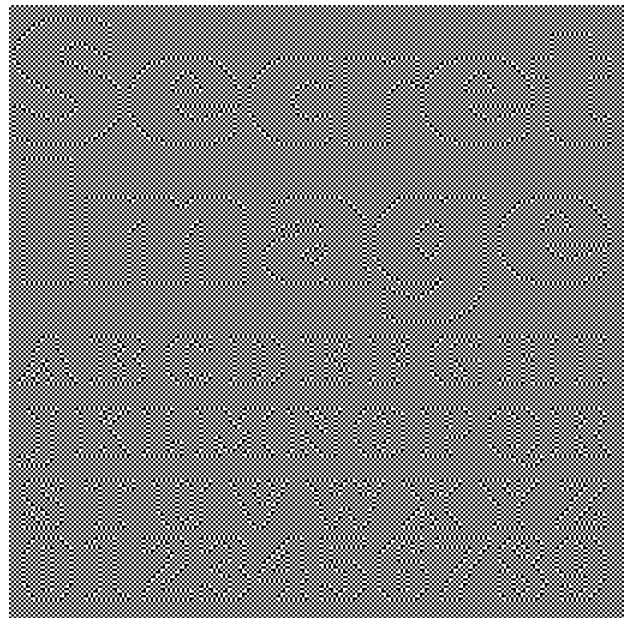
(a) 画素値: 6



(b) 画素値: 48



(c) 画素値: 74



(d) 画素値: 127

図 10 一様な画像への埋め込み例

Fig. 10 Embedding with uniform cover images.

## 5. 部分的潜在化による段階的情報提示

前節の結果より、カバー画像の画素値を操作することで、任意の領域に潜在化効果を施すことが可能であると言える。部分的に潜在化処理を行ったキャリアスクリーン画像を、デジタルサイネージ等に表示する情報として用いることで、一部の情報を秘匿しつつ、その存在を提示することができる。また、潜在化を行っていない領域においても、十分離れたところから観察すると、並置混色によりキャリアスクリーン画像の微細構造は認識できなくなる。そのため観察距離による段階的な情報提示あるいは復号方法が既知

であるか否かでの選択的な情報提示が可能となる。

部分的に潜在化を行ったキャリアスクリーン画像およびその復号結果をそれぞれ図 11, 図 12 に示す。画像中央では潜在化が行われないよう画素値を 127 とし、周辺では画素値を 48 とした。画像中央では、秘密画像のパターンが確認できるのに対して、画像周辺では秘匿されていることが確認できる。また、低潜在化領域では、よりコントラストの高い復号結果が得られている。

## 6. おわりに

本研究では、チェッカパターンキャリアスクリーン画像

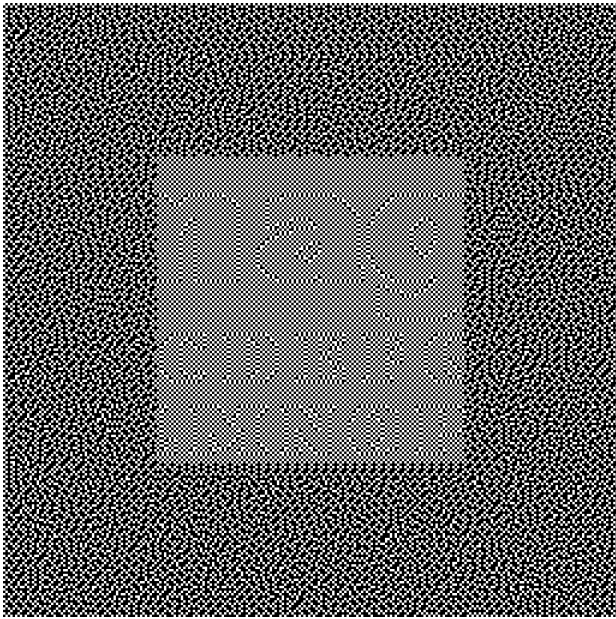


図 11 部分的潜在化キャリアスクリーン画像  
Fig. 11 Partially hidden carrier-screen image.

における潜在化手法である，誤差拡散法を用いた潜在化における低潜在化領域について，異なる誤差拡散係数を用いた潜在化効果の評価を行った．その結果，いずれの誤差拡散係数を用いた場合においてもカバー画像の画素値が，誤差拡散法のしきい値付近の値を持つ領域において潜在化効果の低下が生じており，この原因は誤差拡散法の性質によるものであると結論付けた．低潜在化領域の回避についてはカバー画像の画素値操作により可能であると考えられるが，本研究ではデジタルサイネージ等での利用を目的とした，低潜在化領域を生かした部分的潜在化による情報提示法を提案した．キャリアスクリーン画像を部分的に潜在化することで，近距離で観察することで一部の情報を認識できるようになり，段階的な情報提示やデジタルサイネージ等への誘引効果が期待できる．

本研究では，キャリアスクリーン画像の復号にコンパクトデジタルカメラを利用している．低潜在化領域により埋め込まれた情報が既知であること，高コントラストの復号結果が得られることから，低潜在化領域を復号の目安として利用することで，デジタルカメラを用いた復号においても，より容易な復号が可能になることが期待できる．また，画像のサンプリング処理は様々なソフトウェア，デジタルデバイスで利用されている．今後は撮影後の画像からの秘匿情報の復号など，キャリアスクリーン画像の利用方法のさらなる拡大を目指す．

謝辞 本研究は JSPS 科研費 24700164 の助成を受けたものである．



図 12 復号結果  
Fig. 12 Decoded result.

#### 参考文献

- [1] デジタルサイネージ白書 2013, デジタルサイネージコンソーシアム (2013).
- [2] M. Naor and A. Shamir: *Advances in Cryptography - EUROCRYPT'94* (Springer-Verlag, Germany, 1995) pp. 1–12.
- [3] R. L. van Renesse: *Optical Document Security*, 3rd ed., Artech House, Norwood, MA, (2005).
- [4] 香川元太郎: *かずの冒険* (野山編), 小学館 (2009).
- [5] *ポケットモンスター XY マジックルーベで さがそう!*, 小学館 (2012).
- [6] R. Shogenji and J. Ohtsubo: “Hiding Information Using a Checkered Pattern,” *Optical Review*, **16**, 5, pp. 517–520, (2009).
- [7] R. Shogenji and J. Ohtsubo: “Resolution multiplexing method for checkered-pattern carrier-screen images,” in *Proceedings of DHIP2012*, I021 (2012).
- [8] 生源寺類, 大坪順次: “チェッカパターン視覚復号型暗号における秘密画像の角度多重埋め込み”, 第 71 回応用物理学学会学術講演会 講演予稿集, p. 03-093 (2010).
- [9] R. Shogenji and J. Ohtsubo: “Hiding a Checkered-Pattern Carrier-Screen Image in a Camouflaged Halftone Image,” *Optical Review*, **21**, 3, pp. 237–242, (2014).
- [10] R. Shogenji: “Information embedding to a real object by projecting a checkered-pattern carrier-screen image”, in *Proceedings of SPIE 9217*, 92171T (2014).
- [11] 生源寺類: “デジタルカメラによる復号が可能な潜像技術: 一様な画像への誤差拡散法による埋め込み”, 情報処理学会 インタラクシオン 2014, pp. 216–220 (2014).
- [12] P. Stucki: MECCA - a multiple error correcting computation algorithm for bi-level image hard copy reproduction, *Research report RZ1060*, IBM Research Laboratory, Zurich, Switzerland, (1981).
- [13] R. W. Floyd and L. Steinberg: “An adaptive algorithm for spatial greyscale,” in *Proc. SID*, 1976, vol. 17, pp. 75–77.