

最近、書店の絵本コーナーで透明シートを使用した仕掛け絵本をよく見かけます。特に、スリットを使用した動く絵本<sup>1)</sup>は、絵本コーナー以外で見かけることがあります。そのほかにも、二次元格子を使用した動く絵本<sup>2)</sup>や、周期的なパターンを重ね合わせると秘密の絵が浮かび上がる<sup>3)</sup>キャリアスクリーン画像 (carrier screen images) を使用したものなどさまざまなタイプのもがあります。本稿では、このような潜像技術の中から、キャリアスクリーン画像について紹介します。

印刷されたパターンに復号用のフィルムを重ね合わせると秘密画像が浮かび上がる技術の総称として、スクリーン復号型画像 (screen-decoded images) があります。特に文書セキュリティーの分野では、偽造防止技術としてさまざまな手法が実用化されています。*Optical Document Security*<sup>4)</sup>ではスクリーン復号型画像を周期的なパターンをもつスクリーンの重ね合わせによる復号に限定し、スクランブル画像、キャリアスクリーン画像に分類しています。広義に解釈すると、ランダムパターンを復号に用いる視覚復号型暗号や、仕掛け絵本に使われている動くモアレなども、スクリーン復号型画像に含めることができます。

キャリアスクリーン画像で用いられるキャリアスクリーンとは、万線 (多数の平行線で構成されたパターン) や網点 (周期的に並んだ点で構成されたパターン)などを指します。キャリアスクリーン画像では、秘密の情報をキャリアスクリーンの位相や角度、サイズなどを変調することで埋め込みます。位相変調型の例を図1に示します。キャリアスクリーンの一部を1/2周期ずらすことで情報を埋め込んでいることがわかったと思います。キャリアスクリーンの空間周波数が十分高ければ、人の目にはキャリアスクリーンのパターンは認識することができず、一様に見えます。そのため、キャリアスクリーン画像

は、通常高解像度で印刷されます。

秘密の情報は、同じ周波数特性をもつキャリアスクリーンやレンチキュラーレンズシートの重ね合わせ、スキャナーなどによるサンプリング処理を利用し、キャリアスクリーン画像のもつ周期構造と干渉を起こすことで顕在化されます。レンチキュラーレンズシートの重ね合わせによる復号例を図2に示します。五千円札に印刷されている潜像凹版は、角度変調型のキャリアスクリーン画像と考えることができます。この部分にレンチキュラーレンズシートを重ね合わせると、「5000」の文字が浮かび上がります。

具体例として、Royal Joh. Enschedéによって開発された screen angle modulation (SAM)<sup>4)</sup>および筆者が提案しているチェッカーパターンを復号に用いる視覚復号型暗号<sup>5)</sup>について紹介します。

SAMは、コピー牽制技術として開発されました。図3に示すように、最小線 (minimal lines) とよばれる細かい線で構成される角度変調型のキャリアス

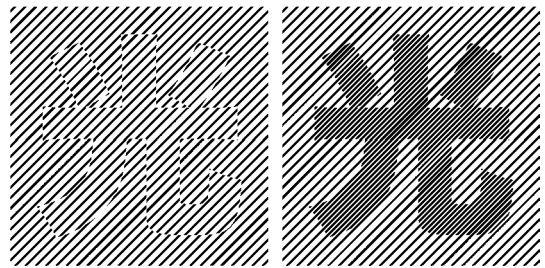


図1 位相変調型キャリアスクリーン画像。右は万線の重ね合わせによる復号結果。

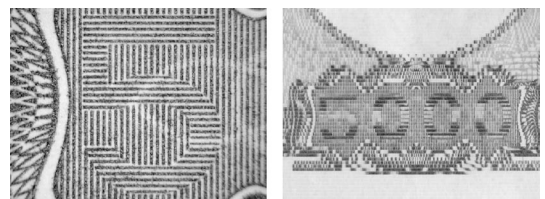


図2 レンチキュラーレンズシートの重ね合わせによる復号。左は潜像凹版部分の拡大図。

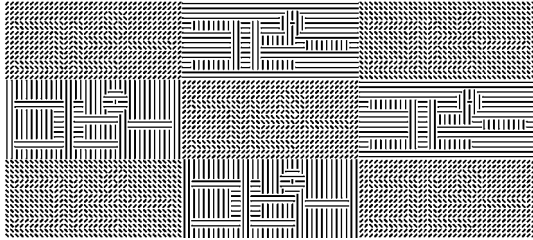


図3 Screen angle modulation 画像.

クリーン画像です。最小線をいくつかの角度で傾斜させることで、秘密画像を符号化しています。SAM 画像をコピーすると、エイリアシングにより、秘密画像がコピーに浮かび上がります。また、最小線の太さを変えることで、何も重ねていない状態でも確認できる画像を付加することもできます。実際に、2001年のオーストラリア5ドル紙幣や2000年のニュージーランド10ドル紙幣では、SAMを高精細にした $\mu$ SAMが採用されています。 $\mu$ SAMはSAMよりも高解像度であるため、通常のコピーでは秘密画像は浮かび上がりません。これらの紙幣はポリマー製で透明な窓があり、この窓には復号用のパターンが印刷されています。紙幣を折り曲げて $\mu$ SAM画像の印刷された箇所に復号用の窓を重ね合わせることで、オーストラリア紙幣では「5」の文字が、ニュージーランド紙幣では「Y2K」の文字が浮かび上がります。

次に、筆者が開発したチェッカーパターン視覚復号型暗号について紹介します。本手法は、チェッカーパターンを復号鍵として用いることで復号時の位置合わせを容易にした視覚復号型暗号です。厳密には視覚復号型暗号ではなく、二次元の位相変調型のキャリアスクリーン画像となっています。図4に例を示します。暗号画像は、 $2 \times 2$ 画素のチェッカーパターンの集合で構成され、2種類の相補的なチェッカーパターンを用いることで秘密画像の情報を符号化します。チェッカーパターン視覚復号型暗号は、ディスプレイへの表示を想定しているため、

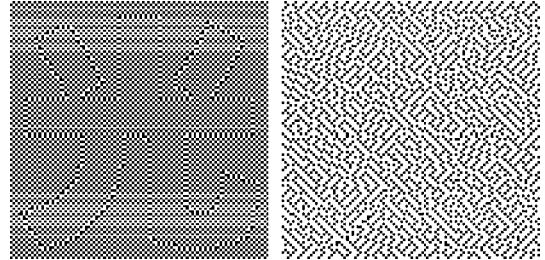


図4 周期パターン視覚復号型暗号。右は誤差拡散法による潜在化処理結果。

そのままでは暗号画像から秘密画像のパターンが簡単に認識できます。そのため、ノイズの付加や誤差拡散法による潜在化処理を行います。図4の例では誤差拡散法による潜在化処理を行っています。秘密画像の復号は、チェッカーパターンが印刷されたスクリーンの重ね合わせやサンプリング処理により行われます。特にサンプリング処理を利用した復号では、デジタルカメラの液晶モニターへの縮小表示を利用した復号が可能です。

周期的なパターンを重ね合わせると秘密の絵が浮かび上がる、キャリアスクリーン画像について紹介しました。今回紹介したもの以外にも、さまざまな手法が提案、実用化されています。視覚的にもおもしろい技術なので、ぜひ実物を見て体験してみることをお勧めします。また、紙幣などを手にしたときに、よく観察してみたいかがでしょうか。

(静岡大学 生源寺類)

## 文 献

- 1) Rufus Butler Seder: *Gallop!* (Workman Pub., 2007).
- 2) よぐちたかお: サークスがやってきた(福音館書店, 2000).
- 3) 香川元太郎: かずの冒険 野山編(小学館, 2009).
- 4) R. L. Van Renesse: *Optical Document Security*, 3rd ed. (Artech House Optoelectronics Library, 2005).
- 5) R. Shogenji and J. Ohtsubo: "Hiding information using a checkered pattern," *Opt. Rev.*, **16** (2009) 517-520.