

## 科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 7 日現在

機関番号：12605

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2012

課題番号：23656250

研究課題名（和文）高次複屈折光学材料の波長分散特性を利用した視覚復号型暗号デバイスの開発

研究課題名（英文）Development of the visual encryption device using higher-order birefringence

## 研究代表者

梅田 倫弘（UMEDA NORIHIRO）

東京農工大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号：60111803

## 研究成果の概要（和文）：

本研究は、高次複屈折を利用した新しい暗号デバイスの開発に関する。高次の複屈折試料を一对の偏光子に挟み、白色光で照明すると白色に観察される。一方、単色光で照明すると、光の透過率は波長に依存して変化する。そこで、複屈折量を制御し、特定の波長で照明をした時だけに意味のある画像が表示されるように画素を配列することで、読み出し波長がキーになった暗号化デバイスが可能となる。本研究では、シミュレーション計算と試作したデバイスによって、暗号デバイスの有効性を確認した。

## 研究成果の概要（英文）：

We will propose a new type of visual encryption device composed of higher-order birefringence elements. When a higher-order birefringence sample which is sandwiched between a pair of polarizer is illuminated with white light from one side, the sample with white color is observed. On the other hand, when the sample is illuminated by monochromatic light, its brightness of transparent light depends on a wavelength. The encryption device is fabricated by controlling the amount of higher order birefringence which gives a high contrast at only certain wavelength under polarized illumination. The device can be decoded by the illumination of specific reading wavelength.

## 交付決定額

（金額単位：円）

|       | 直接経費      | 間接経費    | 合計        |
|-------|-----------|---------|-----------|
| 交付決定額 | 3,000,000 | 900,000 | 3,900,000 |

## 研究分野：応用光学

科研費の分科・細目：電気電子工学 ・ 通信・ネットワーク工学

キーワード：視覚復号暗号、高次複屈折、波長分散、セキュリティ、紫外線硬化樹脂

## 1. 研究開始当初の背景

情報セキュリティに関する一般的な特性として、利便性と安全性はトレードオフの関係にある。このバランス点の改善のために、光技術を利用した情報セキュリティ技術は利

便性を確保したまま安全性を高めるものとして、近年大きな注目を集めている。

これらのうち視覚復号型暗号技術は、秘匿情報を複数の物理鍵に分散でき、復号にはコンピュータ演算が不要である、という利点を

持つ。ここ数年の研究では、ディスプレイから観察者への光情報伝達（映像を観察する行為）を制御するために、表示画素を空間符号パターンで表現をする表示方法を用いて、暗号化と視野制御の併用を実現する技術（文献1）や、多層の偏光フィルムをモザイク状に貼り合わせて構成し、フィルムを重ねる枚数を変化させることで異なる情報を表示する技術（文献2）などが提案されている。しかしながら、これらは特殊な光学機器が必要であることやセキュリティデバイスの作製が煩雑でコスト高による普及が望めないなどの難点がある。

1)Tanida and Ichioka, J.Opt.Soc.Am. A 73,800-809(1983)

2)Imagawa,Suyama and Yamamoto, Jpn.J.Appl.Phys. 48, No.9, 09LC02-09LC02-5 (2009)

## 2. 研究の目的

本研究は、情報セキュリティーにおいて利便性と安全性の相反する要請を実現させるために、視覚復号型暗号技術の一つとして、高次複屈折による照明波長選択性を利用した新規なセキュリティーデバイスの有効性の確認を目指し、安全安心な社会実現に寄与する。具体的には、①複屈折位相差が一波長を与える複数枚の波長板と2分の1波長板を積層させた高次複屈折モザイクパターンデバイスを作製すること、②直交もしくは平行ニコルで観測したとき設定照明光源波長のみで暗号透過パターンを観測できること、③照明光源波長及び波長幅の違いによる暗号透過パターンの弁別特性を明らかにすること、④高次複屈折材料として光硬化液晶を利用して電子的に情報パターンを書き込む技術を確立することによって、次世代視覚情報暗号化デバイスの基礎を確立する。

## 3. 研究の方法

### (1)波長板積層によるモザイク暗号パターンデバイスの作製

大きさが5mm角の1波長および2分の1波長の高分子フィルム波長板を複数枚用いてn波長積層画素と(n+1/2)波長積層画素を作製する。ここで、nは適宜ランダムな数とする。次に、これらの積層画素をモザイク状に配置する。その際、暗号化文字パターンを2次元平面内に配置する。ここで、nの最適な数値を求めるため、ミューラー行列によるシミュレーション解析を行い、透過分光スペクトルのランダム性を確保できる条件を明らかにする。

### (2)1波長・波長板の積層枚数の最適化

直交する直線偏光子（直交ニコル）の間に製作したモザイクパターンを挿入して、各画素の分光透過特性を分光計によって測定する。その際、2種類の波長積層画素について照明光源波長に対する透過率を明らかにし、波長板の設計波長から20nmずれた波長においてコントラストが0.7を超えるのに必要な波長板の最小枚数を実験的に求める。これによってコントラストの低下を防ぎつつパターンのランダム性を保証する知見が得られる。

### (3)波長板設計波長に対する暗号パターンの識別特性および設計指針の確立

前記の実験で得られた積層枚数に対するコントラスト特性の知見を元に、波長板の積層枚数を最小にして製作した暗号デバイスを作製し、実際に照明光源波長を変えながら透過パターンの画像解析を行って、照明波長に対する暗号パターンの識別特性を明らかにする。さらに、設計波長からずれた光源で照明して暗号パターンの秘匿性を明らかにする。光源には、実用化を視野に入れて、発光波長が異なるLEDアレイを製作してモザイ

クパターン照明に利用する。

さらに、積層要素における波長板の積層数に対して暗号パターンの多重化のための設計指針を明らかにするために、複数の暗号パターンをもつ暗号デバイスを作製して、その弁別特性を実験的に明らかにする。これらのデータとシミュレーションによって得られた知見を総合して多重化暗号パターンデバイス作製のための設計指針を明らかにする。

#### (4) 暗号認証システムの構築

以上の研究で得られた知見を元に、有効な認証システムを開発し、本手法が初期の目標を達成していることを実証する。

### 4. 研究成果

#### (1) シミュレーション計算結果

原理および像表示の妥当性を検証するため、シミュレーション計算を行った。図1に計算に用いたデバイスの複屈折次数 $N$ と $\phi$ の配置を示す。このデバイスを

|   |       |   |       |   |       |
|---|-------|---|-------|---|-------|
| 3 | $\pi$ | 6 | $\pi$ | 8 | $\pi$ |
| 7 | 0     | 5 | $\pi$ | 2 | 0     |
| 4 | 0     | 3 | $\pi$ | 6 | 0     |

図1デバイスの複屈折次数と $\phi$

クロスニコルに配置した偏光子に挟み単色光で照明した時の各画素の透過率強度 $I$ を計算した。試料の複屈折波長分散の影響

は考慮していない。キー波長は560nmに設定した。 $\phi$ 値はキー波長においてアルファベットの"T"の文字が表示されるように配置されている。複屈折次数 $N$ はランダムになるように配置した。

図2は、上記のデバイスを単色光の波長400nmから700nmまで10nmステップで照明した時に観察される透過光強度の様子を示したものである。波長560nmが最も高いコントラストで像表示が出来ていることが分かる。それ以外の波長では概ね文字情報としての認識が出来ない像となっている。しかし、560nm近傍の波

長領域、具体的には550nmおよび570nmでは若干のコントラストの低化があるものの、文字"T"として判読できる状態である。これは、複屈折次数が小さいため、複屈折値の変化が波長に対して緩やかに輝度に変化しているためだと考えられる。そこで、文字のコントラストを求め、複屈折次数と情報画像が認識できる波長範囲との関係を調べた。

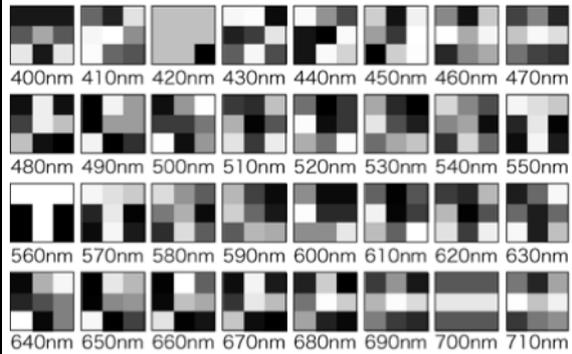


図2シミュレーション結果

画像のコントラスト値 $C$ は、文字を構成する画素の輝度の平均値を $I_C$ 、背景となる画素の輝度の平均値を $I_B$ とし、次式により求めた。

$$C = \frac{I_C - I_B}{I_C + I_B}$$

図2におけるそれぞれの表示画像のコントラストを波長に対してプロットした物が図3である。コントラスト値が負を示す時、像は明暗が逆になる。550nmおよび570nmのコントラストは、それぞれ0.82,0.85であった。また、文字として認識できない540nmおよび580nmのコントラストは、それぞれ0.35,0.44である。

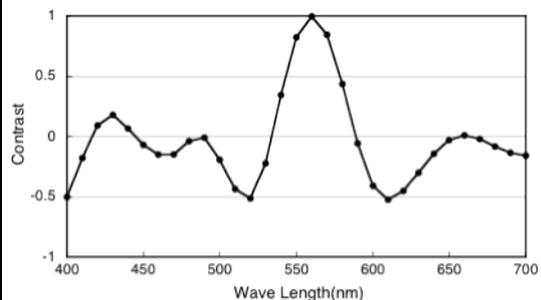


図3シミュレーション結果のコントラスト値

キー波長から離れるに従って、コントラスト値は上下動を繰り返している。520nmおよび

610nmにおいてコントラスト値は-0.5となっているが、図2における当該波長の像は文字を認識できない。従って、 $C=0.5$ を画像認識の閾値として設定し、 $C>0.5$ となる波長幅、すなわちコントラスト値の半値全幅 $C_{FWHM}$ が複屈折次数に対し、どのように変化するかを調べた。

半値全幅 $C_{FWHM}$ は、コントラストのピーク位置（ここでは560nm）を中心にして、その両側のコントラスト値が0.5を示す波長間隔として定義する。ピーク位置の両側にコントラストが0を示すまでの波長領域を設定し、この区間のコントラストを2nmピッチで求め、カーブフィッティングを行った。得られたフィッティング式より $C=0.5$ を示す二つの波長を求め、その間隔を半値全幅 $C_{FWHM}$ とした。複屈折次数は、図1で示した複屈折配列を元にして、全ての画素に同量の次数を加え、その平均値を求めた。その結果を図4に示す。横軸の複屈折次数は、9画素の平均値である。コントラストの半値全幅は、複屈折次数に反比例することが分かる。情報の秘匿性を高めるためには、像再生できる波長範囲を狭くすることが望ましいので、複屈折次数を高くすれば良いことが示された。

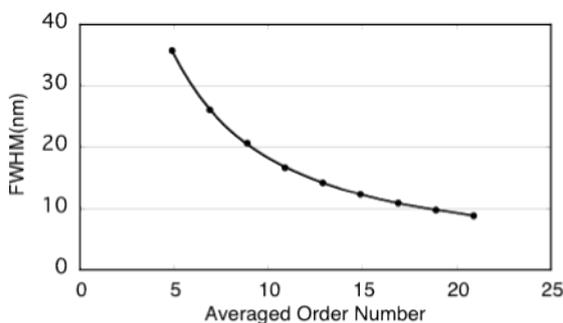


図4 コントラストのFWHM値

#### (2) 試作したデバイスと観察結果

原理の有効性を確認するために、複屈折量560nmと140nmの光学用位相差フィルムを積層し、3×3画素のデバイスを作製した。以下、560nmフィルム(FWF)をN枚重ねた状態をN次の複屈折と呼び、140nmフィルム(QWF)を2

枚用いた時を $\phi=\pi$ 、用いない時を $\phi=0$ とする。デバイスの複屈折の画素配列は、図1で示したシミュレーションで扱ったものと同じものとした。 $\phi$ 値の配列からこのデバイスを一對の偏光子間に挟み、波長560nmの単色光で照明すると、アルファベットの"T"が観察できると予想される。

このデバイスをクロスニコル間に挟み、白色光で照明した時の各画素における分光透過率を図5に示す。光源は12Vタングステンランプを用いた。(a)は文字部、(b)は背景部の透過率曲線である。(a)では、波長560nmの位置で全ての画素の透過率が極大値を示している。(b)は逆に全ての画素の透過率が極小値となっている。従って、このデバイスを560nmの単色光で照明すれば、文字を明瞭に観察出来る。また、480や670nmなど、560nm以外の波長においては文字部、背景部共に透過率に規則性はみられないため、画像はスクランブルがかかった状態となり文字は認識出来ないことが分かる。

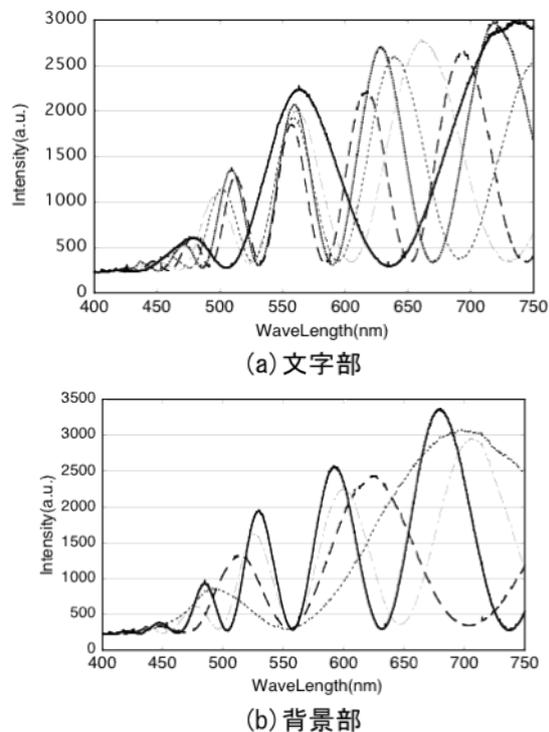


図5 各ピクセルの分光透過率

次に、画像の観察実験の結果を示す。観察に用いた光源は、497nm, 513nm, 534nm, 556nm, 599nm, 635nm, 643nm, 670nmの単色光と白色光である。光源は24Vタングステンランプを6個並べ、アクリル性の拡散版を用いて均一照明光源とした。単色光は、この白色光と試料デバイスの間に狭帯域バンドパスフィルターを取り付けた。

図6に、それぞれの光源によるデバイスの再生結果を示す。一番左の列に白色光で照明した像を示した。次の列からは単色光で照明したものである。右に向かって順に波長が長くなるように配置した。図中最下段に照明光の波長を記した。縦方向には複屈折次数の変化を示してある。デバイスに全波長板を一枚ずつ重ね、複屈折の次数を増加させた時の画像の変化の様子を表している。図の左に記した数字はデバイスに加えた全波長板の枚数、すなわち加算された複屈折次数を表している。

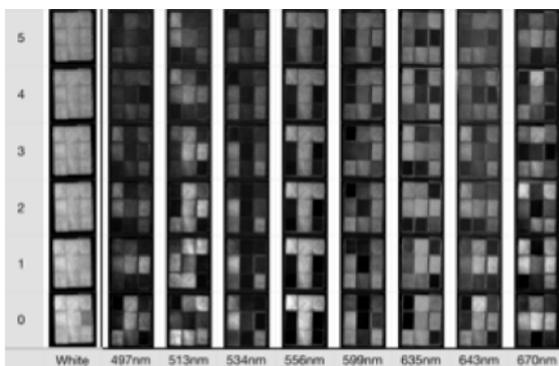


図6 デバイスの再生結果

キー波長に最も近い556nm単色光での再生像において、アルファベットのTの文字が明瞭に観察できる。それ以外の波長では規則性が見られない透過光強度分布となっており、文字を認識することは出来ない。前項で述べたシミュレーションで得られたパターンとは異なる透過光強度分布となっているが、これは、シミュレーションではフィルム材料の複屈折の波長分散特性を考慮していないためと考えられる。

キー波長において高いコントラストを保ち、かつ、その他の波長ではコントラストが低くなっている状態を最適次数とすると仮定すると、+3次が最もよいと結論づけられる。

以上により、提案した暗号デバイスの有効性が確認できた。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計2件)

①高和宏行, 手島昂太郎, 岩見健太郎, 高柳淳夫, 梅田倫弘, 築地光雄: ” 2つのキー波長を持つ高次複屈折視覚復号型情報セキュリティデバイス”, 光学, 査読有, 41, 10 (2012) 534-538.

<http://www.tuat.ac.jp/~umedalab>

② 高和宏行, 岩見健太郎, 梅田倫弘, 築地光雄: ” 高次複屈折を用いた情報セキュリティデバイスの開発”, 光学, 査読有, 40, 9 (2011) 490-498.

<http://www.tuat.ac.jp/~umedalab>

[学会発表] (計3件)

①手島昂太郎, 高和宏行, 岩見健太郎, 梅田倫弘, 築地光雄, 金蓮花: ” UV 硬化液晶を用いた視覚復号型暗号デバイスの開発”, 第73回応用物理学会学術講演会, 12p-F3-4, (2012.9.12、愛媛、愛媛大学).

② H. Kowa, T. Murana, K. Iwami, N. Umeda, M. Tsukiji and A. Takayanagi: Development of a visual encryption device using higher-order birefringence, Proc. SPIE, 8134 (2011.8.25)81340V (San Diego, USA)

③手島昂太郎, 高和宏行, 岩見健太郎, 梅田倫弘: ” 高次複屈折位相子を用いた複数画像

表示デバイス”，レーザー顕微鏡研究会第 37  
回講演会(2011.7.6、和光、理化学研究所).

[その他]

ホームページ等

<http://www.tuat.ac.jp/~umedalab>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

梅田 倫弘 (UMEDA NORIHIRO)  
東京農工大学・大学院工学研究院・教授  
研究者番号：6 0 1 1 1 8 0 3

### (2) 研究分担者

岩見 健太郎 (IWAMI KENTAROU)  
東京農工大学・大学院工学研究院・准教授  
研究者番号：8 0 5 1 4 7 1 0

### (3) 連携研究者 なし