

研究種目：若手研究 (B)
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19760036
 研究課題名 (和文) 映像信号の解読防止と観察領域の限定を可能にする
 偏光式セキュアディスプレイ
 研究課題名 (英文) Secure display by use of polarization to protect display signal
 and to limit viewing zone
 研究代表者
 山本 裕紹 (YAMAMOTO HIROTSUGU)
 徳島大学・大学院ソシオテクノサイエンス研究部・助教
 研究者番号：00284315

研究成果の概要：

本研究の目的は、映像信号を暗号化すると同時に観察領域の限定を可能にする情報表示のセキュリティ技術 (セキュアディスプレイ) を偏光演算により実現することである。2枚の液晶ディスプレイパネルを積層した構造で偏光演算によるセキュアディスプレイを実現した。光の3原色である赤・緑・青の各色に対して1画素単位でカラー画像を暗号化する偏光暗号アルゴリズムを構築し、偏光演算による画像の復号と観察領域の限定を実証した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,800,000	0	1,800,000
2008年度	1,400,000	420,000	1,820,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,200,000	420,000	3,620,000

研究分野：情報フォトニクス

科研費の分科・細目：応用物理学・工学基礎 ・ 応用光学・量子光工学

キーワード：画像・光情報処理, セキュアディスプレイ, 光アレイロジック, 観察領域, 視覚復号型暗号, 空間符号化, 光セキュリティ

1. 研究開始当初の背景

インターネットの普及、無線 LAN アクセスポイントの設置など、いつでもどこでもネットワークに接続できるユビキタスネットワーク環境が整備されつつある。しかし、重要な情報 (人に尋ねられない、本人のみがアクセスを許されるような情報) を得るためには、情報システムのコネクタビリティだけでなく、情報セキュリティを保証しておく必要がある。ネットワークならびにデータレベルの安全性については各種の暗号技術ならびにセキュアプロトコルの開発が進められて

いる。またバイオメトリクスなどを利用したユーザーの認証技術の実用化も進んでいる。しかしながら、図1に示すように情報表示におけるセキュリティ課題が残されている。データレベルのセキュリティ技術だけでは、映像信号の解読とのぞき見を技術的に防止することができない。視覚による情報の伝達は、最も重要な役割を果たす。自由に情報にアクセスするためには、情報表示のセキュリティ技術が必要である。

研究代表者はフルカラーLEDを用いて眼鏡無しに立体視可能なディスプレイを実現

し、観察領域の最適設計法を明らかにした。この観察領域設計法と視覚復号型暗号と呼ばれる暗号化を組み合わせることで、のぞき見が不可能な情報表示技術（セキュアディスプレイ）の着想を得て、その原理を実証してきた。従来の視覚復号型暗号は透過率による光強度演算であり、多階調やカラー画像の暗号化には多くの画素を必要とする。たとえば216色カラー表示暗号では1画素が30画素で暗号化される。したがって解像度が低下する。さらに復号された画像には常に50%以上の遮光部が存在するため画質が劣化する。

空間符号化による画質低下の課題を新しいセキュアディスプレイの構成により克服する。従来のセキュアディスプレイは図2の上段に示すとおり、暗号化された開口列による復号もしくは強度変調型の空間光変調素子（SLM）の積層でなされてきた。これに対して、図2左下に示すように、偏光変調型SLMの積層構成によるセキュアディスプレイを提案する。従来は空間パターンに展開していた符号化を偏光の回転角度に対する符号化に置き換えることで、解像度低下とコントラスト低下の課題を克服する。なお、どの構成においても開口列の除去もしくはSLMを無変調にすることで従来の広視野2次元表示が可能である。つまり、ディスプレイの利用状況に応じたセキュア機能のオンオフが可能である。

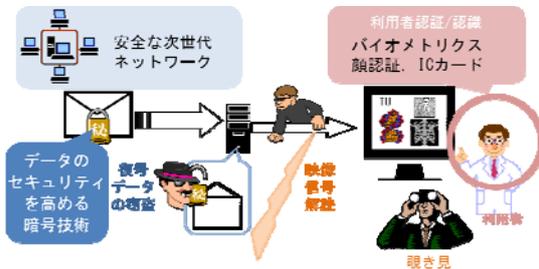


図1 情報表示におけるセキュリティ課題。

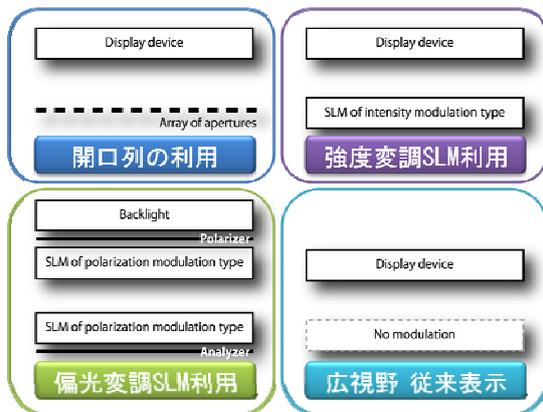


図2 広視野従来表示と視野限定の切り替えが可能なセキュアディスプレイの構成。

2. 研究の目的

本研究では、偏光演算により復号可能な暗号を構成し、復号用マスクを通して限定された位置から観察するときのみ、暗号化された秘密画像を視認できる情報表示技術を実現する。

3. 研究の方法

液晶パネルの積層により、偏光面の回転角度による演算結果を示すディスプレイを製作する。液晶パネルにおける偏光面の回転特性を明らかにして、赤・緑・青の各色に対して暗号化を行うことで、カラー画像に対する偏光式視覚復号型暗号を構築する。液晶パネルの積層において波長分散の影響を補正する構成を検討する。

4. 研究成果

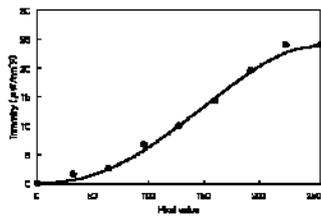
(1) 偏光演算型ディスプレイの製作

偏光演算型ディスプレイは、図3に示されるように、背景側液晶ディスプレイパネル（観察者側の偏光フィルムが取り除かれた液晶ディスプレイ）の前に、前景側液晶ディスプレイパネル（バックライトおよびバックライト側の偏光フィルムが取り除かれた液晶ディスプレイ）が設置された構成である。2枚の液晶ディスプレイパネルの間に1cm程度の隙間を設けることで2枚の液晶ディスプレイパネルに表示されたパターンに角度依存性を発生させる。

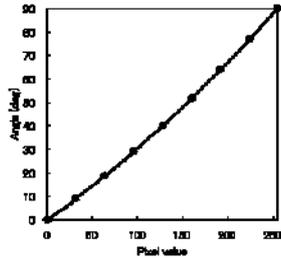


図3 偏光演算型ディスプレイの構成。

実験に用いた液晶ディスプレイパネルにおける画素値と偏光回転角度の関係調べた結果を図4に示す。画素値 p に対する偏光回転角度 $\theta(p)$ を2次多項式で近似できるとして、関係を求めた。偏光回転角度 θ に対して光強度 I は $I(\theta)=t_0A^2\sin^2[\theta(p)]$ の式に従う。ここで t_0 は透過率、 A は入射光の振幅である。 $\theta(p)$ に画素値に関する多項式を代入した上で、図4(a)の実験結果に対するフィッティングにより多項式の係数を求めた。液晶ディスプレイの明るさとコントラストの値をいくつか設定した結果、得られた多項式は、 $\theta(p)=5.3\times 10^{-6}p^2+4.8\times 10^{-3}p$ で表されるように、2次の係数が極めて小さい設定を得た。これは図4(b)にプロットされる通り、画素値に対して偏光回転角度がほぼ線形となる設定である。この液晶ディスプレイの設定値を以降の実験に用いた。



(a)



(b)

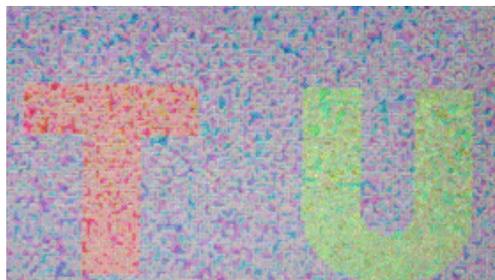
図4 液晶ディスプレイパネルにおける(a)画素値と光強度の関係、および(b)画素値と偏光回転角度の関係。



(a)



(b)



(c)

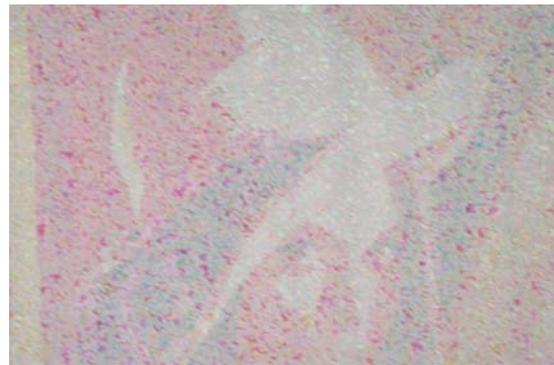
図5 マルチカラー画像に対する暗号化。(a)背景側液晶ディスプレイパネル用表示画像、(b)前景側液晶ディスプレイパネル用表示画像、(c)偏光演算による復号結果。青色領域で波長分散の影響が顕著である。



(a)



(b)



(c)

図6 ポートレート画像に対する暗号化。(a)背景側液晶ディスプレイパネル用表示画像、(b)前景側液晶ディスプレイパネル用表示画像、(c)偏光演算による復号結果。黒領域で赤色の着色が目立つ。

(2) 偏光式視覚復号型暗号の構築

カラー画像に対する偏光式視覚復号型暗号を構成した。赤・緑・青の各色成分に対して、独立した乱数系列を発生させて、復号用の鍵情報として用いた。図4(b)で示されたとおり、画素値に対して偏光回転角度が線形であるため、秘密画像の画素値と乱数列の値から、偏光演算に必要な画素値を決定する。2階調の場合には画像の排他的論理和 (XOR) 演算で得られる。この方法でマルチカラー画像ならびにポートレート画像を暗号化した画像ならびに偏光演算型ディスプレイで復号された結果を図5および図6に示す。暗号化された画像はランダムドットパターンで

あり、秘密画像に関する情報の解読が防止される。復号結果の青色領域ならびに黒色領域で波長分散による着色が見られるが文字 (TU) ならびにポートレートが復号されていることがわかる。

(3) 観察領域の限定

背景側液晶ディスプレイパネルに表示する画像を 101% に拡大することで、観察領域を限定した。正面および上下左右から観察した結果を図 7 に示す。正面からは秘密画像 TU を観察できるが、上下左右からは砂目模様が観察されるだけであり、復号情報ののぞき見が防止される。

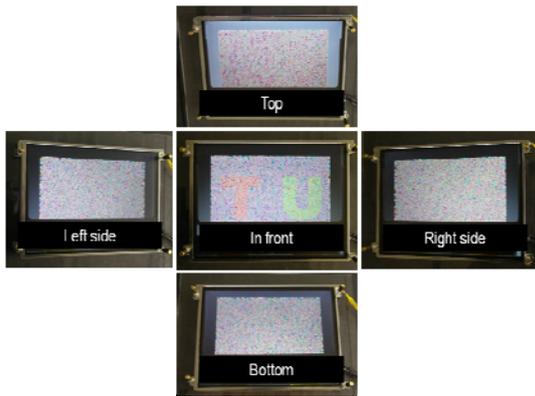


図 7 偏光演算式セキュアディスプレイによる観察領域の限定。

(4) 偏光演算型ディスプレイにおける波長依存性の補償

偏光演算型ディスプレイにおいて、2 枚の液晶パネルにより偏光面を変調することのデメリットは、波長分散による着色である。図 5 および図 6 のカラー画像では一部の色で着色が目立った。

この課題に対して図 7 の構成により波長分散の補償を試みた。左側に示された従来の偏光演算型ディスプレイは液晶パネルの単純積層で構成されるため、復号結果は画像の

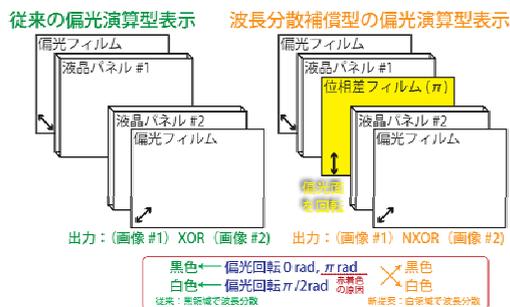


図 7 偏光演算型ディスプレイの構成と偏光演算ロジックの関係。位相差フィルムによりロジックの反転が可能。

XOR 演算として得られる。図 7 に示される場合では、偏光面の回転が 0 ラジアンと π ラジアンのときに黒色が再現される。しかし、黒色領域では波長分散による影響が顕著となる。そこで、2 枚の液晶ディスプレイパネルの間に半波長の位相差をもつフィルムを挿入する。これにより、論理が反転するため、波長分散の影響が顕著になる π ラジアンの偏光回転を白に対応させることができる。

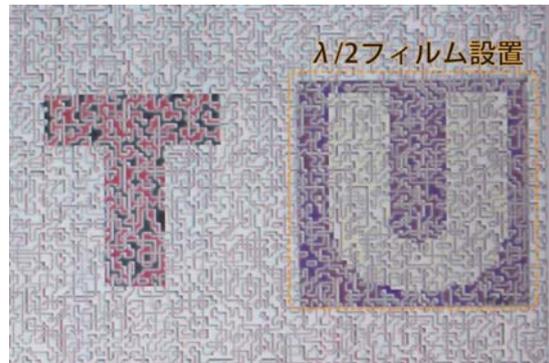


図 8 偏光演算型ディスプレイにおける波長依存性による着色の発生 (左側文字 T) と半波長フィルムによる波長依存性の保障結果 (右側文字 U の領域)。

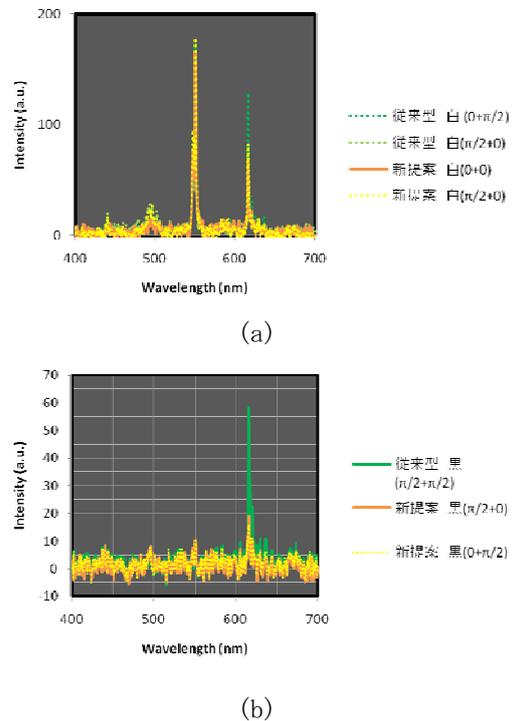


図 9 偏光演算型ディスプレイによる (a) 白領域ならびに (b) 黒領域のスペクトルの違い。波長依存性の補償により黒領域での赤色の漏れが防止された。

提案する構成で実験した結果を図 8 に示

す。図の右側の文字Uの領域に半波長の位相差フィルムを設置している。右側の文字Tにおいては黒色（偏光回転0ラジアン）と赤褐色（偏光回転 π ラジアン）の領域が混在している。一方、文字Uの周囲では色の均一化がなされている。白色領域ならびに黒色領域におけるスペクトルを測定した結果を図9に示す。図9(a)の白領域において、波長分散補償型の構成では赤色のスペクトルが弱まるものの、全体のスペクトル形状に大きな変化は見られない。図9(b)の黒色領域において、従来型の構成では赤色のスペクトルの透過が顕著であったのに対して、波長分散補償型の構成では赤色の漏れが低減されたことがわかった。

総括すると、液晶ディスプレイパネルの積層による偏光演算型ディスプレイを製作し、カラー画像に対する視覚復号型暗号を構築するとともに、復号結果の観察領域の限定を実証した。さらに偏光演算型ディスプレイ特有の課題となる波長分散の課題に対して位相差フィルムを用いた補償を行った。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

1. 山本裕紹, "LEDパネルを使った大画面3Dの研究", 月刊ディスプレイ, Vol. 14, No. 10, pp. 63-68 (2008). [査読無し]

〔学会発表〕(計25件)

1. Kazuki Yamaguchi, Hirotsugu Yamamoto, and Yoshio Hayasaki "Adjustment of Viewing Conditions for Pitch of Large Stereoscopic LED Displays," IDW '07 (The 14th International Display Workshops), Dec. 7, 2007, Sapporo, Japan.
2. Hirotsugu Yamamoto and Yoshio Hayasaki, "Secure Display by Use of Visual Cryptography Based on Polarization Processing," IDW '07 (The 14th International Display Workshops), ec. 7, 2007, Sapporo, Japan.
3. Kazuki Yamaguchi and Hirotsugu Yamamoto, "Control of Binocular Cameras for Large Stereoscopic LED Display," International Topical Meeting on Information Photonics 2008, Nov. 17, 2008, Hyogo, Japan.
4. Masaya Miyazaki, Hirotsugu Yamamoto, and Yoshio Hayasaki, "Flow Control of Microspheres in Fluid Based on Optical Repulsive Radiation Force," International Topical Meeting on Information Photonics 2008, Nov. 19, 2008, Hyogo, Japan.
5. Takanori Imagawa, Hirotsugu Yamamoto and Shiro Suyama, "Construction of visual cryptography by use of polarization-modulation films," International Topical Meeting on Information Photonics 2008, Nov. 19, 2008, Hyogo, Japan.
6. Hirotsugu Yamamoto, "Multi-functional display by use of polarization processing," International Topical Meeting on Information Photonics 2008, Nov. 20, 2008, Hyogo, Japan.
7. Hirotsugu Yamamoto, Hayato Nishimura, Keigo Uchida, Kasai Ono, Yoshio Hayasaki, Shiro Suyama, "Depth Perception for Moving Pictures Shown on a Large LED Display with an Aperture Grille," IDW '08 (The 15th International Display Workshops), Dec. 4, 2008, Niigata, Japan.
8. Hirotsugu Yamamoto and Shiro Suyama, "Spatial-coding-based 2-D / 3-D / P-P display," Stereoscopic Displays and Applications XX, Jan. 20, 2009, San Jose, CA, U. S. A.
9. 山本裕紹, 早崎芳夫, "偏光演算に基づく視覚復号型暗号を利用したセキュアディスプレイ", 第1回情報フォトンクス研究討論会, July 2, 2007, 大阪大学.
10. 山本裕紹, "空間符号化によるディスプレイの視野制御技術", (社)レーザー学会 中国・四国支部 平成19年度第1回講演会, July 10, 2007, 香川大学. [招待講演]
11. 西村勇人, 山本裕紹, 早崎芳夫, "アパーチャグリル式立体LEDディスプレイに表示されたノンインターリーブ画像の奥行き知覚", 第68回応用物理学会学術講演会, Sep. 7, 2007, 北海道工業大学.
12. 木村友哉, 山本裕紹, 早崎芳夫, "観察距離に応じて異なる映像を表示するディスプレイの設計", 第6回関西学生研究論文講演会, Mar. 17, 2008, 京都工芸繊維大学.
13. 山口一樹, 山本裕紹, 早崎芳夫, "立体ディスプレイで再現される距離が線形化されるためのカメラ構成", 第55回応用物理学関係連合講演会, Mar. 27, 2008, 日本大学.
14. 山本裕紹, 早崎芳夫, "偏光演算による視野可変ディスプレイ", 第8回情報フォトンクス研究グループ研究会, April 4, 2008, 東京大学.
15. 山本裕紹, "光暗号を用いたディスプレイのセキュリティー技術", 四国地区四大学発新技術説明会, April 4, 2008, 科

- 学技術振興機構。[招待講演]
16. 山本裕紹，“空間符号化による視野制御型ディスプレイ”，第2回情報フォトンクス研究討論会，June 25, 2008, 大阪大学。
 17. 脇田祥太，住友新隆，小林義征，山本裕紹，陶山史朗，“3D表示に用いるための高速な液晶偏向素子”，第69回応用物理学学会学術講演会，Sep. 4, 2008, 中部大学。
 18. 小林義征，脇田祥太，住友新隆，山本裕紹，陶山史朗，“DFD表示における視力差付与による奥行き知覚の変化”，第69回応用物理学学会学術講演会，Sep. 4, 2008, 中部大学。
 19. 山本裕紹，陶山史朗，“偏光演算型セキュアディスプレイにおける波長依存性の補償”，第69回応用物理学学会学術講演会，Sep. 4, 2008, 中部大学。
 20. 今川貴紀，山本裕紹，陶山史朗，“偏光式視覚復号型暗号における順序依存性を有する復号用マスクの構成”，日本光学会年次学術講演会 Optics & Photonics Japan 2008, Nov. 4, 2008, つくば国際会議場。
 21. 佐藤文彦，山本裕紹，早崎芳夫，“ディスプレイの位置と向きを入力とする三次元データのインタラクティブ表示”，日本光学会年次学術講演会 Optics & Photonics Japan 2008, Nov. 6, 2008, つくば国際会議場。
 22. 今川貴紀，山本裕紹，陶山史朗，“積層枚数を鍵とする偏光式視覚復号型暗号の構成”，レーザー学会学術講演会第29回年次大会，Jan. 11, 2009, 徳島大学。
 23. 今川貴紀，山本裕紹，“位相差フィルムの重ね合わせによる偏光暗号”，応用物理学学会中国四国支部 2008年度支部学術講演会，Aug. 2, 2008, 愛媛大学。
 24. 木村友哉，山本裕紹，陶山史朗，“異なる情報を2つの観察距離で伝達する表示法”，応用物理学学会中国四国支部 2008年度支部学術講演会，Aug. 2, 2008, 愛媛大学。
 25. 今川貴紀，山本裕紹，陶山史朗，“積層位置を鍵とする偏光式視覚復号型暗号”，第56回応用物理学関係連合講演会，Mar. 31, 2009, 筑波大学。

[図書] (計 3件)

1. 西田信夫，山本裕紹，早崎芳夫，“フルカラーLEDパネルを用いた立体ディスプレイ”，最先端 照明・光源 技術全集 (技術情報協会)，第3章 第10節，pp. 191-200 (2008)。
2. 西田信夫，山本裕紹，早崎芳夫，“パララックスバリア方式の表示原理と最新

研究開発”，立体視テクノロジー(エヌ・ティー・エス)，第2編 第2章，pp. 114-127 (2008)。

3. Hirotsugu Yamamoto，Yoshio Hayasaki，N. Nishida，“Large Stereoscopic LED Display by Use of a Parallax Barrier,” Three-dimensional Imaging, Visualization, and Display (Springer), Chapter 10, pp. 183-206 (2009)。

[その他]

- (1) 研究成果の一般向け展示会出展
一般向けの科学技術展示(来場者8000名以上)に出展。

名称:「応用物理」創刊75周年記念事業 暮らしを支える科学と技術展

日程:2007年8月3日(金)~4日(土)

会場:科学技術館(日本科学技術振興財団)〒102-0091 東京都千代田区北の丸公園2-1

展示ブース名称:未来の情報システムのための新しい光技術(徳島大学)

展示パンフレット(応用物理学学会「応用物理」創刊75周年記念事業「暮らしを支える科学と技術展」開催記録のホームページ上にて公開中):
http://www.jsap.or.jp/jsap75/display/69_tokusima.pdf

- (2) 受賞

国際会議にてポスター発表賞を受賞。

名称:IDW '07 (The 14th International Display Workshops) Outstanding Poster Paper Award

受賞発表:H. Yamamoto and Y. Hayasaki, "Secure Display by Use of Visual Cryptography Based on Polarization Processing," Dec. 5-7, 2007.

6. 研究組織

- (1) 研究代表者

山本 裕紹 (YAMAMOTO HIROTSUGU)

徳島大学・大学院ソシオテクノサイエンス研究部・助教

研究者番号:00284315

- (2) 研究協力者

今川 貴紀 (IMAGAWA TAKANORI)

徳島大学・大学院先端技術科学教育部・システム創成工学専攻・光システム工学コース・博士前期課程1年