

# 近赤外織物マーカの実装とその隠蔽手法

杉山 晴<sup>†</sup> 藤野 華子<sup>†</sup> Hsuanling Lee<sup>‡</sup> Mustafa Doga Dogan<sup>§</sup> Liang He<sup>‡</sup> 鳴海 紘也<sup>†</sup>

<sup>†</sup>慶應義塾大学 <sup>‡</sup>テキサス大学ダラス校 <sup>§</sup>Adobe Research

## 1 はじめに

近年、布地にインタラクティブな機能性を付与する手法として、AR マーカーを織りのパターンで実現する手法が提案されている [4]。しかし、単純に白・黒など 2 色の糸でマーカーを織るとマーカーの存在がはっきりと認識できてしまい、デザイン性の観点から望ましくない。一方、近赤外光を吸収する特殊なフィラメントやインクを通常の素材と組み合わせることによって、近赤外カメラでのみ識別可能なマーカーを 3D プリントやインクジェットプリントで実現する手法が報告されている [2, 3]。

そこで本研究では、近赤外光を吸収しない糸と吸収する糸で布地を織ることにより、可視光帯域では識別できないが近赤外領域では識別できるマーカーを提案する。また、1 種類の糸のみを使ってマーカーを織ったとしても、布表面の陰影である程度は模様が見えてしまうことが分かったため、織られたマーカーをさらに隠蔽する方法を提案する。

## 2 織物マーカの実装

**織物** 織物とは経糸と緯糸を垂直に交差させる「織り」によって作られた布地であり、工業的には織機という装置で作られる。織機は、長く伸ばした経糸を組織図とよばれるダイアグラムに従って上下させてから緯糸を通すことで、経糸と緯糸のどちらが上に見えるかを制御できる。経糸は一度セットしたら布地が完成するまで取り替えられない一方で、緯糸は 1 本ずつ変更できるため、本研究では経糸の上下と緯糸の切り替えによってマーカーを作製する。

**設計** 便宜上、近赤外光を吸収する糸を黒、吸収しない糸を白として考える。多くのマーカーは黒と白の 2 色で構成されるので、図 1 のように、緯糸が黒の組織 (B) と緯糸が白の組織 (W) を考える。この 2 種類の組織を二重織りという手法で同時に織り、マーカーの白黒に応じて表面に見える組織を入れ替えた。組織図の設計には AdaCAD [1] を用いた。

**素材と機材** 近赤外光を吸収する糸として、住友金属鉱山 SOLAMENT MKT2205A (太さ 150 D) を

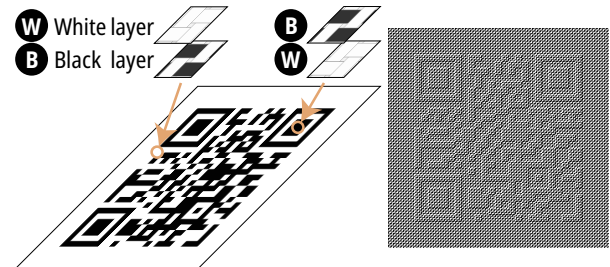


図 1 マーカーを作製するための組織図の作成方法と作成された組織図

用いた。SOLAMENT は可視光帯域では青みがかった白色の糸で、近赤外領域では黒色に見える。2 種類ある緯糸の 1 つを SOLAMENT とし、経糸ともう 1 つの緯糸を白色のポリエステル糸 (それぞれ太さ 75 D と 150 D) とした。また、織物の製造にはトヨシマビジネスシステム 織華のジャカード仕様を用いた。近赤外領域での観察にはオムロンセンテック STC-SBS34U3V-SWIRU (観測帯域: 400 nm~1700 nm) とハロゲンランプを用いた。

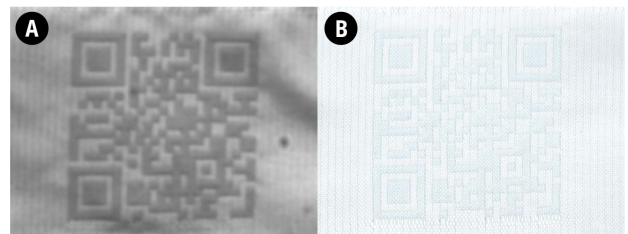


図 2 近赤外領域と可視光帯域における織物マーカー

**結果** 実際に作製したマーカーを図 2 に示す。図 2 A より近赤外領域で QR コード<sup>1)</sup>が正しく識別できているが、図 2 B の可視光帯域でも表面の陰影によって QR コードが薄く見えてしまっている。

## 3 織物マーカの隠蔽

次に、織物マーカーを隠蔽する方法として (1) 撚糸を用いる方法、(2) ダミーマーカーを埋め込む方法、(3) インクジェット印刷で覆う方法、(4) 全体を染色する方法の 4 つを提案する。

**撚糸** 図 3 A のように、黒の組織の緯糸として近赤外光を吸収する糸と、紺色または白色の糸を撚った撚糸を用いた。

1) InvisIto という文字列がエンコードされている。

Implementing and disguising woven near-infrared markers  
Hal SUGIYAMA<sup>†</sup>, Hanako FUJINO<sup>†</sup>, Hsuanling LEE<sup>‡</sup>,  
Mustafa Doga DOGAN<sup>§</sup>, Liang HE<sup>‡</sup> and Koya NARUMI<sup>†</sup>  
<sup>†</sup>Keio University, <sup>‡</sup>The University of Texas at Dallas, <sup>§</sup>Adobe Research

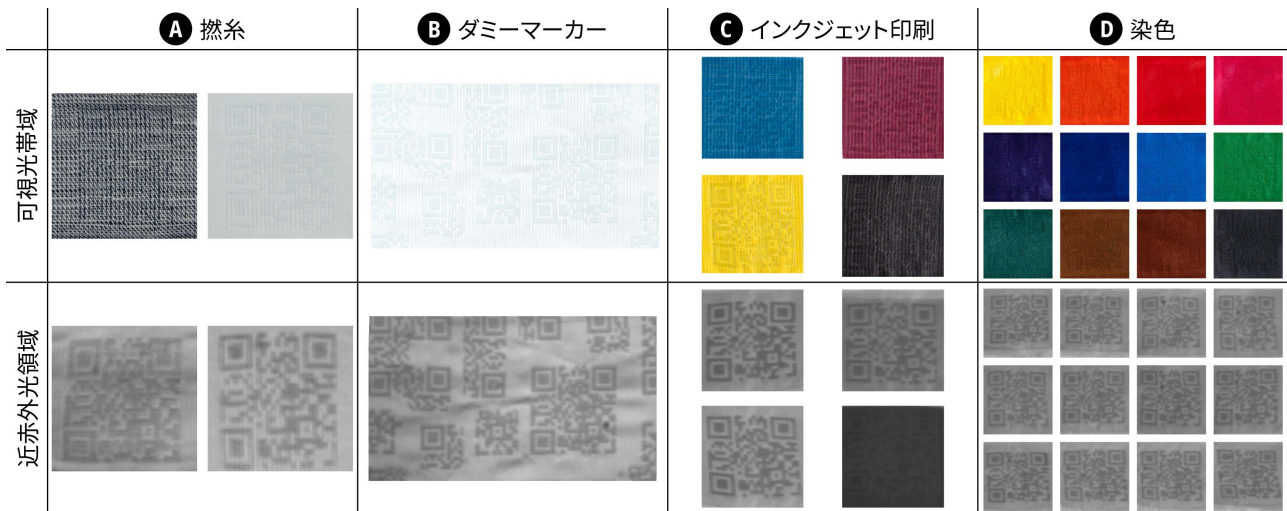


図3 可視光帯域と近赤外領域

**ダミーマーカー** 図3 Bのように、本物のマーカーに加えてダミーのマーカーをランダムに配置した。

**インクジェット印刷** 図3 Cのように、マーカーを織った布の上からインクジェットプリンタ（島精機 SIP-160F2L）で別のパターンを印刷した。今回はシアン、マゼンタ、イエロー、ブラックのインクをそれぞれ1回印刷した。

**染色** 図3 Dのように、マーカーを織った布を染色機（テクサム技研 ミニカラー染色機 MC-12EL）によって浸染した。染料として、田中直染料店 ポリロン染料の全12色を用いた。

#### 4 評価

4つの隠蔽手法を評価する方法は、大きく①可視光帯域でマーカーをいかに隠蔽できているか、②近赤外領域でマーカーをいかにはっきりと読み取れるかの2つに分けられるが、本稿では②を検討する。具体的にはまず、4つの隠蔽手法を適用したマーカーを準備し近赤外カメラで3回撮影した。画像内のQRコードに大津の二値化法 [5] を実行し黒色領域と白色領域の最大クラス間分散  $\max \sigma_B^2$  の平均  $\overline{\sigma_B^2}$  を比較した。その結果、図4に示すとおり、多くの隠蔽手法は隠蔽しない場合と近いクラス間分散を維持している。しかし、マゼンタ・ブラックのインクジェット印刷と紫の染色は、隠蔽しない場合に対する変化率が-45%を下回っており黒色領域と白色領域を判別しづらいため、マーカーの隠蔽に適さないことが分かった。

#### 5 結論

本稿では、白黒マーカーを織物に織り込む手法とそのマーカーを近赤外領域でのみ可視化する手法を提案し、加えてその隠蔽方法によるクラス間分散を

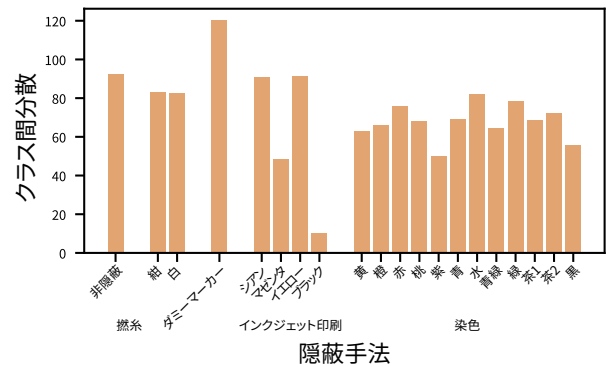


図4 大津の二値化法 [5] を適用して得られた黒色領域と白色領域のクラス間分散の平均  $\overline{\sigma_B^2}$

比較して評価した。今後はマーカーを埋め込むための組織図を容易に設計できるツールや、近赤外織物マーカーを用いたインタラクティブな情報提示手法を開発する。また、可視光帯域でのマーカーの見えづらさをユーザ実験により検証する。

**謝辞** 本研究はJSPS基盤研究(A)JP25H01151、JST創発的研究支援事業 JPMJFR232V、JST ASPIRE JPMJAP2401 の助成を受けたものである。

#### 参考文献

- [1] Devendorf et al., AdaCAD: Parametric Design as a New Form of Notation for Complex Weaving, *CHI '23*, pp. 1–18, 10.1145/3544548.3581571 (2023).
- [2] Dogan et al., InfraredTags: Embedding Invisible AR Markers and Barcodes Using Low-Cost, Infrared-Based 3D Printing and Imaging Tools, *CHI '22*, pp. 1–12, 10.1145/3491102.3501951 (2022).
- [3] Feick et al., Imprinto: Enhancing Infrared Inkjet Watermarking for Human and Machine Perception, *CHI '25*, pp. 1–18, 10.1145/3706598.3713286 (2025).
- [4] Menon et al., Weaving Augmented Reality Markers, *UbiComp/ISWC '23 Adjunct*, pp. 310–314, 10.1145/3594739.3610786 (2023).
- [5] Otsu, A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms, *IEEE Trans. Syst. Man Cybern.*, Vol. 9, No. 1, pp. 62–66, 10.1109/TSMC.1979.4310076 (1979).