

# くし型カラーコードを用いた回収機管理システムの開発

## Comb-shaped Pattern Color Code for Location Management System

片山 紘\*

Hiroshi KATAYAMA

工藤 宏一\*

Koichi KUDO

及川 研\*\*

Ken OIKAWA

貞末 多聞\*\*\*

Tamon SADASUE

### 要 旨

MFP (Multi Function Printer) 回収センターでは、中古MFPが平積みで保管されており、1台1台を個別に管理している。そのため、MFPを出庫するときは、作業者が保管エリア内から出庫するMFPを目視で探し出す必要があり、「探索時間」の削減が課題となっている。

この課題を解決するために、天井に取り付けたカメラでMFP上部に貼付された新規に我々が開発したカラーコードであるCPCC (Comb-shaped Pattern Color Code) を認識することで在庫位置を管理するシステムを提案する。

本システムを実現するために開発したCPCCは、バーコードやQRコードのような矩形ではなく、くし型形状とした。これにより、「歪み耐性」が強く、「十分なID数」を表現可能で、「認識速度」が高速なシステム構築が可能となる。

本システムを運用した結果、作業者は作業効率を落とすことなく個々のMFPの位置を把握することが可能となり、従来必要であった1日あたり60分の「探索時間」を削減した。

### ABSTRACT

In an MFP recovery center, the management of inventory position is performed by an operator checking the positions one by one. As such, when operating enormous inventories, it is difficult to grasp each of the current positions, and the operator's work load therefore increases. In order to resolve this problem, we propose an inventory management system featuring a new color code decoding with a ceiling camera. We developed a robust color code for image distortion arranged in a comb-shaped pattern and encoded by a color change pattern. As a result, we improved the recognition accuracy from the ceiling camera. This method was then used to cut down 60 minutes that is the time for position checking.

\* 研究開発本部 APT研究所 画像応用開発センター

Applied Imaging Development Center, Institute of Advanced Printing Technology, Research and Development Division

\*\* CIP開発本部 第二CP開発センター

2nd CP Development Center, Commercial and Industrial Printing Development Division

\*\*\* 研究開発本部 リコーICT研究所 フォトニクス研究センター

Photonics Research & Development Center, Ricoh Institute of Information and Communication Technology, Research and Development Division

本稿は、日本画像学会に帰属の著作権の利用許諾を受け、Imaging Conference JAPAN 2017、論文集、pp. 163-166 (2017)に掲載した論文を基に作成した。

## 1. はじめに

本研究が対象とするMFP回収センターは、全国から中古MFPを回収してリサイクルするためのセンターである。特徴として、中古MFPが平積みで保管されていることと、MFP 1台1台の固体情報（使用頻度、外装品質、画像品質など）を個別に管理していることが挙げられる。



Fig. 1 MFP recovery center.

MFP回収センターで、中古MFPを入出庫する作業には、「入庫」「出庫」「再配置」がある。「入庫」は、中古MFPを回収した順に保管エリアの空きスペースに配置する作業である。「出庫」は、保管エリアの中から該当MFPを目視で探し出し搬出する作業である。出庫MFPは主に状態のいいものから順に出庫する。上記「入庫」「出庫」作業により、保管エリアのMFPはランダムに空きスペースがある状態で配置される。「再配置」は、ランダムな空きスペースを減らすためにMFPを並べ直す作業である。

全MFPの保管位置情報の管理を行うには、「入庫」「出庫」「再配置」作業によってMFPの保管位置が変化するごとに該当のMFPの保管位置情報を更新する必要がある。しかし、MFPの位置は1分に1台のペースで変化し、かつ、複数の作業者が同時に作業すると、更新のタイミングによっては、あ

るはずのMFPがない、またはその逆が起きてしまうため、全MFPの保管位置情報を正しく管理することは困難である。そのため、MFPの保管位置情報は管理せず、「出庫」作業において該当のMFPがどこにあるか毎回探索するという運用にしており、該当のMFPを探して回る「探索時間」が発生するという課題が生じている。そこで我々は無人でMFPの保管位置情報を更新する位置管理システムを開発して、1日の総計が1時間にのぼる「探索時間」を削減した。

全MFPの保管位置情報の管理では、「出庫」時などに作業者が保管位置情報を要求したときに、保管エリア内の該当MFPの正確な保管位置情報を即座に提供可能でなければならない。円滑な作業のためには、作業者が保管位置情報を要求してから1秒以内に作業者に保管位置情報を提供することが望ましい。作業者からの要求時に1秒以内に保管位置情報を提供可能な既存技術としてGPSやRFIDの利用が考えられるが、Fig. 1で示すようにMFPは約1m間隔で配置されているため、該当MFPの取り違いを防ぐには、数十cm程度の検出位置精度が必要となり不適である。また、チップを付けるコストもかかるてしまう。そこで我々は、MFPにコードを付け、カメラにより保管エリア内の全MFPの位置情報を1分以内の間隔で取得更新を可能とした。Fig. 2でカメラとコードで保管位置を認識している様子を示す。カメラと紙に印刷したコードがあれば、検出位置精度は数cm程度での取得が可能であり、1分以内の間隔で更新することで、作業者から要求があったときに1秒以内に正確な位置情報を提供可能となる。また、コストも紙とインクのみとなり安価である。

本稿では、カメラとコードを用いたMFP回収センターで運用可能な無人かつ正確な位置管理システムおよび、それを可能とした我々が開発した「くし型カラーコードCPCC (Comb-shaped Pattern Color Code)」について述べる。

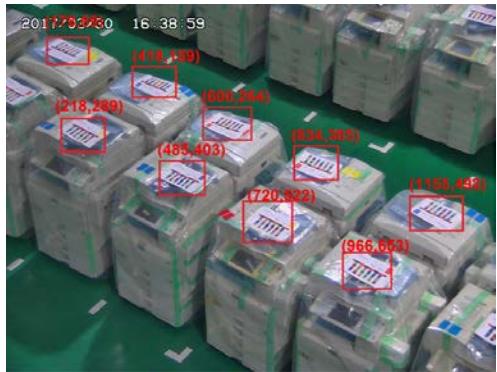


Fig. 2 Position data acquisition by using camera.

## 2. 提案システム

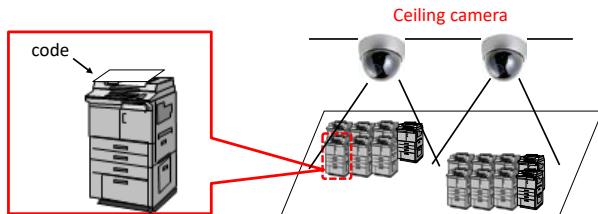


Fig. 3 Proposal system.

我々は、作業者が保管位置情報を必要なときに、即座に提供可能なシステムとして、Fig. 3で示す天井高さ約5mに取り付けたカメラで、MFP上部に貼付されたA4用紙に印字されたコードを検出し、位置情報を取得するシステムを提案した。また、保管エリア全体の位置情報取得時間を短縮するために、1枚の画像で複数のコードを同時に検出することとした。以上により、作業者がMFPの位置情報を必要なときに提供することが可能となる。

Fig. 4は、システム導入前後の様子を上段と下段で示しており、各段の左が入庫完了時、右が出庫完了時の様子を示している。そして、中央が出庫のためにMFP(☆印)を探している様子である。システム導入後(下段)は、保管されている該当のMFPの位置を1秒以内に提供可能なため、保管エリア内を探し回る必要がなくなり、システム導入前に発生していた1日あたり60分の探索時間が削減される。

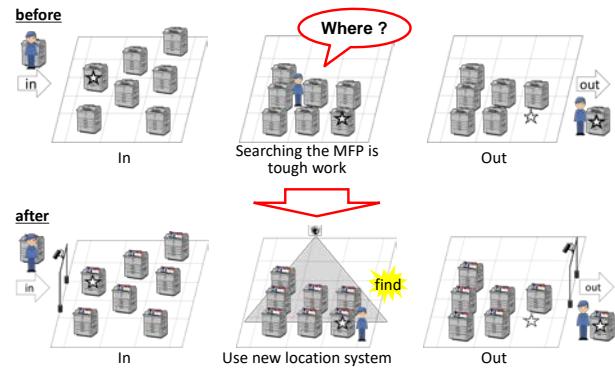


Fig. 4 System configuration.

本システムを実現するためには、コードの歪みに強く、十分なID数を表現可能であり、位置情報の取得も高速であることが求められるが、すべての要求を同時に満たす既存コードは存在しないため、我々は新規のカラーコードを開発した。コードに関する要求について以降で詳説する。

## 3. システム(コード)の要求

本システムを実現するためにはコードは次の3つの要求を満たす必要がある。

### 要求1：歪み耐性

MFP上部は平坦でなく、紙面に貼付されたコードには紙の波打ちや折れなどの複雑な歪みが生じることが想定されるため、歪みが生じていても読み取れる必要がある<sup>1,2)</sup>。

### 要求2：ID数

MFP回収センターに保管されているMFPは数百台だが、数年間は管理情報の保管が必要なため、コードは100万台以上のID数を表現できる必要がある。

### 要求3：位置情報取得速度

「入庫」「再配置」の作業ごとに変化するMFPの保管位置の変化は1分に1台程度であるため、作業者が保管位置情報を必要とするときに、正確な保管位置情報を提供可能とするために、保管エリア内の全MFPの認識は1分以内で完了する

必要がある。1分以内での位置情報取得を実現する。

## 4. 既存技術とその課題

システムの要求の解決が見込める既存の手法として、「カラーコード」<sup>3)</sup>がある。カラーコードとは、色の配列で情報を表現するコードであり、QRコードと比較すると、約50倍の距離から認識が可能である。さらに、接写の必要がなく、コード全体が画像の領域の数パーセントに写っていれば認識可能なため、1つのカメラで複数のコードを認識可能なことや、コードに傾きや湾曲などの多少の歪みがあつても認識可能なことが本システムに適している点である。しかしながら、現状のカラーコードではどのコードも本システムの要求を満たせない。代表的なカラーコードである「カメレオンコード」と「カラービット」を例に、説明する。

カメレオンコード<sup>4)</sup>は、黒枠で囲われたマークの色と配列でIDを表現するコードであり、カラーかつ2次元であるため、膨大な量のID数を表現できる。しかし、事前に設定した黒枠や四隅を基準としたシンボルに対する相対位置の画素（各構成マークの中央）の色を識別するため、Fig. 5で示すように、複雑な歪みが生じると該当画素が黒枠や隣の構成マークを指示してしまう等の誤検知が生じIDを識別できない。

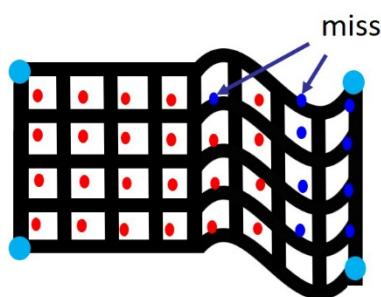


Fig. 5 Chameleon Code with image distortion.

歪みに弱いカメレオンコードに対してカラービット<sup>5)</sup>は、隣接するマークの色変化でIDを表現するコードであり、Fig. 6で示すように、コード全体が一筆書きのようにつながってさえいれば認識可能なため、「歪み耐性」が非常に強い。しかし、カラービットは100万以上のIDを表現するときに、A4 (210 mm × 297 mm) サイズに印字すると構成するマーク1つ1つが非常に小さくなってしまう。構成マークの小さなコードを認識するにはカメラの光学ズーム倍率を高める必要があり、全MFPの位置情報を取得するには、より多数の画像を撮像しなければならなくなる。つまり、1分以内での全MFPの位置情報取得が難しくなるため、要求を満たすことができない。

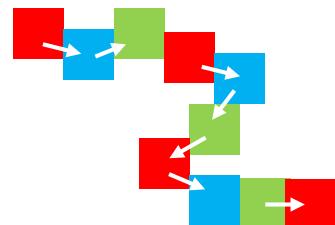


Fig. 6 Color bit with image distortion.

「カメレオンコード」「カラービット」それぞれの特徴を組み合わせることで「歪み耐性」「ID数」の要求を満たすことも考えられるが、Fig. 7で示すような安易な組み合わせでは、歪みが生じた場合、白矢印で示すようにマークのつながり方向を正しく判断することが困難になってしまい、「歪み耐性」の要求が満たせない。

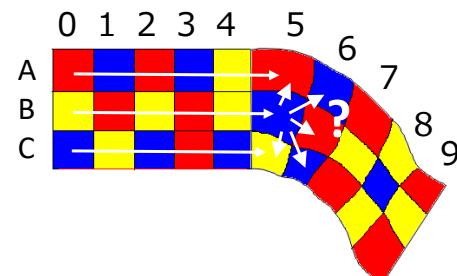


Fig. 7 In the case of two dimensional spread Color bit.

したがって、システムの要求を満たすには、下記課題を解決する新規カラーコードが必要である。

#### 課題1：マークつながり方向の識別

歪みのある環境においては、隣接する色のつながりをデコードする方法が有効であるため、隣接するマークのつながり方向が判断できること。

#### 課題2：小サイズカラーコードによるID数確保

本システムにおいて、A4サイズの紙に印字したコードの表現可能ID数が100万以上であること。

#### 課題3：コード認識の高速化

1分以内で保管エリア内の位置情報の取得を完了するために、カメラの撮像時間を考慮してMFP 1台あたり 100 ms以下の認識速度であること。

## 5. アプローチ

### 5-1 課題の解決

上記課題を解決するために開発した、CPCCについて説明する。

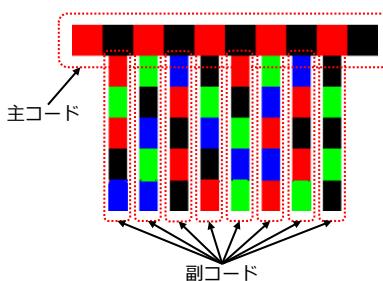


Fig. 8 CPCC (Comb-shaped Pattern Color Code).

本カラーコードは、黒色のマークと赤色のマークを繰り返す主（幹）コードと、主コードの両端を除くすべての構成マークからぶら下がる副（枝）コードによる「くし型形状」のデータ構造となっており、4色のマークで構成されている。IDの数に応じて、各主コードと副コードの長さ（構成マーク数）は任意とする。また、隣接するマークへの色変化でコード化しているため、隣接するマーク色は異色でなければならない。

### 5-2 課題1：マークつながり方向の識別

くし型構造とすることで、副コード同士が接触することなく、色の変化の方向を正しく判断することが可能である。そして、カラービットと同様に隣接するマークへの色変化をコード化するため「歪み耐性」が強い。「デコード」時は、歪みの影響を避けるために、座標情報を使わず「領域拡張」を用いた「ラベリング」により、各構成マークの色認識（RGBKの判断）を行う。以下で「デコード」について説明する。

まず、コードを構成する各マークが何色 (RGBK) であり、どのマークとどのマークが隣接しているかを認識する。次に、隣接マークの色変化を数値化（3進数）する。最後に、任意のエンコード・デコード規約に基づいてIDを計算する。

Fig. 9に「領域拡張」を用いた「ラベリング」のフローを示す。

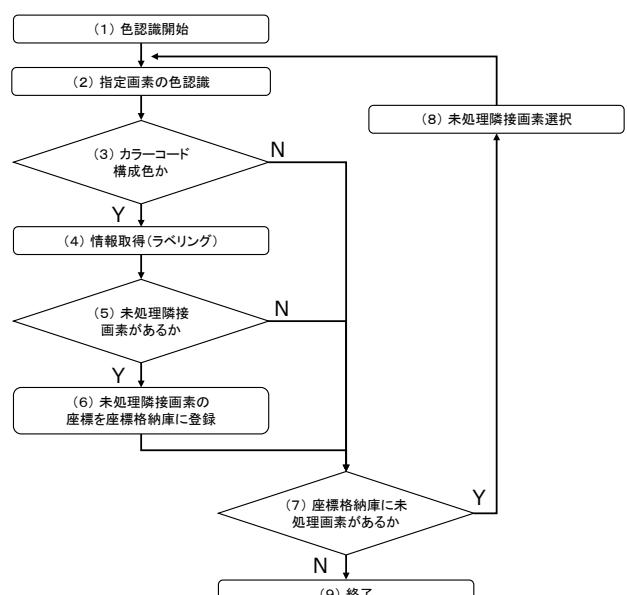


Fig. 9 Flow of area expansion.

まず、色認識を開始する指定画素をコード内からランダムで指定する(1)。次に、指定画素の色 (RGBK) を識別する(2)。識別した色がカラーコードを構成する色であるかを確認する(3)。構成色で

ない場合は、(7)に移行する。構成色の場合は、各種デコードに必要な情報を取得する(4)。次に、指定画素に隣接する画素が未処理かどうかを確認する(5)。未処理の画素が隣接している場合は、隣接画素を座標格納庫に登録する(6)。隣接していない場合は、(7)に移行する。(7)では、座標格納庫に未処理画素があるかを確認し、ある場合は、(8)で指定画素を指定し、一連の処理を繰り返す。領域拡張可能な画素がなくなるまで、すなわち、抽出したコード全領域を拡張するまで、一連の処理を繰り返す。

以上の処理により、基準となるシンボルに対する相対位置を用いるのではなく、隣接する座標を連続的につなげながら構成マークの色を識別していくことで、歪み耐性を高めている。

### 5-3 課題2: 小サイズカラーコードによるID数確保

副コードを構成するマークの隣接マークへの色変化をコード化している。RGBK4色を用いて、色変化を3進数で表現しているため、3色を用いるカラー ビットよりも多くのID数を表現可能である。

### 5-4 課題3: コード認識の高速化

カラーコード認識は、撮像した画像内のどこにコードがあるかを抽出する「コード抽出」と、抽出したコードに対してIDを識別する「デコード」(前述)の2ステップで行う。本カラーコードでは「コード抽出」には特微量マッチングを用いる。各画素の識別は白黒で識別可能であり、処理時間が短い。コードが単純な形であれば、多数のコード以外の物体コード候補として抽出する課題が発生するが、本カラーコードは特徴的なくし型形状であるため、画像内に本カラーコード以外のくし型形状の物体が写り込む可能性は極めて低く、抽出したコード候補の正答率は非常に高い。「デコード」は、カラー(4色)の識別が必要であり、処理時間を要するが、「コード抽出」の正答率が高いので、「デコード」を必要最低限の回数に減らすことができ認識速度が向上した。

コード抽出では、グレースケール画像を所定の閾値で2値化しコード候補を抽出する。QRコードや従来のカラーコードの抽出においては、コード候補に對して矩形、円などの単純な形状を用いたテンプレートマッチングが一般的<sup>6,7)</sup>ではあるが、本システムにおいては、カラーコードが複雑に歪むことが想定されるため抽出ミスが生じる可能性が高い。そこで、CPCCが「くし型形状」であることに着目した特微量マッチングを行う。

「くし型形状」の特徴例としては、周囲長が矩形や円と比較して長いことである。Table 1で示すように、くし型形状は同面積の他形状と比較して周長が大きいことがわかる。つまり、「周長／面積(=周長と面積の比)」にてフィルタをかけると他の形状よりも高い正答率でコードを抽出可能ることは自明である。このようにコード形状の特徴を利用するこことで、抽出時のコード正答率を高めている。

Table 1 Perimeter/area.

コード形状	面積	周長	周長／面積
丸	100	35	0.35
三角	100	45	0.45
四角	100	40	0.4
くし型	100	133	<b>1.32</b>

## 6. 結果

### 6-1 要求1: 歪み耐性に対する結果

歪み耐性を確認するために、Fig. 10のような歪みのある紙面に印刷されたコードの認識可否について調べた。

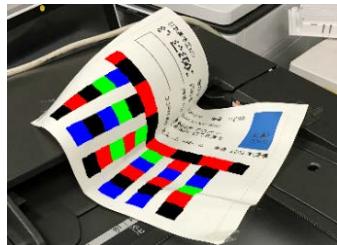


Fig. 10 Image distortion.

カメレオンコードでは認識できないような歪みが生じていても、カラービットとオリジナルカラーコードは認識可能であることを確認できた。

## 6-2 要求2:ID数に対する結果

本システムでは、本カラーコードを構成するマーク数を38個とし、隣接マークへの色変化数は37回とした。つまり、3の37乗個のID数を持ち、エラー訂正などを考慮しても、要求される100万以上のIDを表現可能であることが確認できる。

## 6-3 要求3:モニタ速度に対する結果

モニタ速度については、運用を想定しているMFP保管エリア (Fig. 11) で撮影される画像に対して、次の2つの項目に対して結果を確認した。

- ・コード抽出の正答率
- ・コード1枚あたりの認識速度

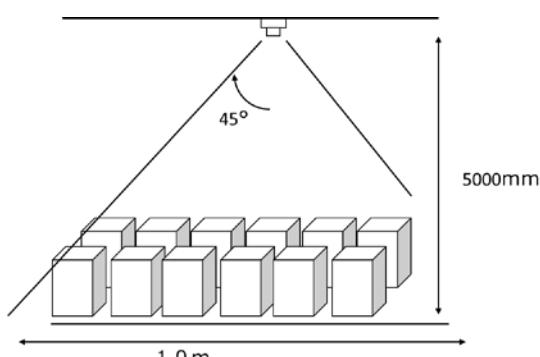


Fig. 11 Inventory area.

### 6-3-1 コード抽出の正答率

運用を想定しているMFP回収センターで撮影される画像を2値画像 (Fig. 12) に変換し、「面積」「周長」「周長／面積」に基づきフィルタをかけ、検出したコード候補数の結果を示す。



Fig. 12 Binary image.

画像内には4個のコードがあるが、「面積」「周長」によるフィルタでは4個のコード以外にも候補を検出してしまう。しかし、くし型形状である本カラーコードは、「周長／面積」の値が他の形状と比較して大きいため、この値を使用することで正確に4個のコードのみの検出が行えている。結果をTable 2で示す。

Table 2 Number of detections.

フィルタ項目	検出候補数	正答率
面積	12個	33%
周長	8個	66%
周長／面積	4個	100%

本方式により、コードのみを「デコード」ステップに移行できるため認識速度が向上できる。

### 6-3-2 コード1枚あたりの認識速度

コード抽出からデコード完了までの認識時間を確認した。オリジナルカラーコードは、既述の方式で「コード抽出」「デコード」を行うことで、両ステップ共に高速での認識が可能となるため、1台あたり70 msでの高速認識が可能となり、目標の100 msを達成した。

### 6-4 運用:位置管理システム

弊社環境事業開発センターで、開発したオリジナルカラーコードと天井カメラを用いた位置管理システム (Fig. 4) の運用を開始し、無人でMFPの保管位置情報を更新する位置管理システムを実現した<sup>8)</sup>。ランダムに選択したMFPに対して目視による確認を3,000回以上実施したところ、IDの誤検知と位置の誤検出は1度も確認されていない。

## 7. 結論

CPCCを開発することで、「歪み耐性」が強く、多量の「ID」数を確保し、「位置情報取得」可能な、天井カメラとコードによる無人かつ高精度な位置管理システムを構築した。

そして、本システムの運用により、作業者がMFPを探し歩く手間がなくなり、1日あたり60分の「探索時間」の削減を実現した。さらに、全国からトラックで運ばれてくるMFPを庫内に搬入する際に、カメラを取り付けたゲートの下をくぐらせるだけでカメラがCPCCを読み取り、自動で検品処理を行うシステムとすることで、入庫時の検品作業の効率化と記録ミスの削減も同時に実現することができた。

本システムは、低コストかつ容易に導入が可能であるため、MFP回収センターのような平積みでの管理に限らず、多様な場面での運用が期待できる。今後はCPCCの小型化と更なる高速認識を実現し、市場／用途の拡大を図っていきたい。

## 参考文献

- 1) 山本稔貴: 2次元カラーコード画像の色認識に関する研究, 三重大学修士論文 (2008).
- 2) 伊藤拓也: 局所的な歪みを含むQRコードの復号方式に関する研究～位置検出パターンの発見方法について～, *IPSJ SIG Technical Report*, pp. 1234-1240, 情報処理学会 (2012).
- 3) 奥富正敏: ディジタル画像処理, CG-ARTS協会 (2004).
- 4) 株式会社シフト: Chameleon Code, カメレオングードとは, <https://www.shift-2005.co.jp/chameleoncode.php> (参照2017-06-30).
- 5) ビーコア株式会社: Colorbit, カラービットとは, [http://www.colorbit.jp/new/?page\\_id=325](http://www.colorbit.jp/new/?page_id=325) (参照2017-06-30).
- 6) 阿部敬由: 色情報と形状情報を用いた二次元画像の物体認識, 人工知能学会全国大会論文集, pp. 1-4, 人工知能学会 (2009).
- 7) 日本工業規格: 二次元コードシンボル－QRコード－基本仕様, JIS X 0510 (2004).
- 8) 産業環境管理協会: 環境管理2017年4月号, Vol. 53, No. 4, pp. 4-15 (2017).

注1) Chameleon Codeは、株式会社シフトの登録商標です。

注2) Colorbitは、bcore Inc.の登録商標です。