

画像群からの知識発見技術のものづくり分野への適用

馬場孝之 遠藤進 椎谷秀一 上原祐介 増本大器 長田茂美
株式会社富士通研究所 IT コア研究所 言語・メディア研究部

本稿では、画像群からの知識発見技術として、IIMS(Interactive Image Mining System)を提案し、ものづくり分野への適用結果について述べる。画像と属性データの組が格納されたデータベースには、有用な知識が埋もれている場合がある。例えば、ものづくり分野において、HDD(Hard Disk Drive)のヘッドがどのような形状の場合に性能が高くなるかを調べるために、ヘッド画像の視覚的な特徴(画像特徴)と属性データで表される性能値との関係を発見することが重要となる。しかし、多くの場合、画像特徴は無数に考えられ、このような関係を自動で発見するのは難しい問題である。そこで、我々は人間の高度な視覚認識能力を計算機で支援するアプローチをとる。提案する IIMS は、仮想 3 次元空間に画像群を属性データの昇順に配置する機能や、色や形が類似する画像を近くに配置する機能を備える。ユーザは画像群を概観し、配置をインタラクティブに変更することで、様々な観点から画像特徴と属性データとの関係を発見することができる。ものづくり分野への応用として、IIMS を HDD のヘッド画像を用いた 2 種類の分析事例に適用し、有用な知識の発見が可能であることを確認した。

An Interactive Image Mining System for Industrial Applications

Takayuki Baba, Susumu Endo, Shuichi Shiitani, Yusuke Uehara, Daiki Masumoto, and Shigemi Nagata
Language & Media Laboratory, Information Technology Core Laboratories
FUJITSU LABORATORIES LTD.

In this paper, we propose an Interactive Image Mining System (IIMS). Image databases often contain knowledge that could be discovered. For example, if HDD (Hard Disk Drive) heads of high performance have a specific shape, this knowledge could be discovered from the relationships between the visual features of head images and performance values in metadata. However, automatic discovery is a significant challenge since it is often difficult to know what types of visual features are related to metadata. To solve this problem, IIMS combines human pattern recognition abilities with the data processing capabilities of computers. IIMS enables users to move and zoom in/out of images in a virtual 3D space and to interactively change the arrangement of images based on metadata or visual features to formulate hypotheses. We applied IIMS to two applications for CAE (Computer Aided Engineering) of HDD heads. The results confirm that valuable knowledge can be discovered.

1. はじめに

ものづくり分野における製品開発において、「製品をどのような形状にすれば性能が向上するか」という検討が重要となる場合が多い。例えば、HDD (Hard Disk Drive)のヘッドの開発では、ヘッドの形状が性能に影響を及ぼすことが多いため、ヘッドの形状と性能との関係発見が重要と

なる。しかし、製品の形状を数値やテキストで正確に表現するのは困難である。そのような場合には、データマイニングやテキストマイニングをそのまま適用することはできない。一方、製品開発において CAE (Computer Aided Engineering) による、製品の形状などのパラメータを変化させたときの性能を分析するコンピュータシミュレ

ーションが盛んになり、シミュレーション結果の画像や 3 次元モデルといったマルチメディア情報が大量に企業内に蓄積されつつある。一般に、画像を見れば製品の形状を把握することができるので、製品の形状と性能との関係を発見するのに画像は有用であると考えられる。画像と属性データ（性能などを表す数値やテキスト）の組が格納されたデータベースから、「画像の持つ視覚的な特徴（画像特徴）」と「属性データ」との関係を発見することを「イメージマイニング」[1]と呼ぶ。

イメージマイニングの従来研究として、月本らの研究がある[2]。月本らは人間の脳の f-MRI 画像と「指タップ」のような動作行為を表す属性データとの関係から、脳の活動部位と対応する機能に関する知識を発見するアルゴリズムを報告している。この他に、気象画像からの知識発見[3][4][5]、医療画像からの知識発見[6]、航空写真からの知識発見[7]など、様々な応用に関する研究がなされている。

これらの研究に代表される従来のイメージマイニングの多くは、属性データと関係する画像特徴の種類が既知である問題が扱われていた。画像特徴を予め数値化して抽出することが可能であるので、従来のデータマイニングにおける回帰分析やアソシエーションルールの抽出手法[8]を用いて、ルールの自動発見が実現できた。しかしながら、属性データと関係する画像特徴の種類が既知でない問題は多い。例えば、HDD のヘッドの画像を考えると、ヘッド全体の形状特徴や、部分的な形状特徴など様々な種類の画像特徴が考えられるが、どれが性能に関係しているかは事前にはわからない。この場合、無数に定義できる画像特徴を予め数値化して抽出することは困難であるため、ルールの自動発見に基づく従来手法は適用できない。

一方、自然科学分野での知識発見において、支援ツールを用いて人間が知識を発見する方法で成功したいくつかの事例が紹介されている[9]。そこで、我々はこの考え方を自動化が困難なイメ

ージマイニングの問題に適用するアプローチ[10]をとる。

本稿では、画像群からの知識発見技術として、IIMS(Interactive Image Mining System)を提案し、ものづくり分野の事例に適用する。IIMS は、仮想 3 次元空間に画像群を属性データの昇順に配置する機能や、色や形が類似する画像を近くに配置する機能を備える。ユーザは画像群を概観し、配置をインタラクティブに切り替えることで、様々な観点から画像特徴と属性データとの関係を発見することができる。以下、第 2 章では、IIMS によるイメージマイニングについて述べる。第 3 章では、ものづくり分野への応用として、HDD ヘッドの画像を用いた 2 種類の事例に対する適用結果を述べる。第 4 章では、まとめを行う。

2. IIMS によるイメージマイニング

イメージマイニングの基本プロセスは、図 1 のように、2つのステップ「仮説設定」と「仮説検証」で構成される。

2.1 仮説設定

データベースに格納された画像と属性データの組（合計 T 組）から、ユーザは画像の持つ視覚的な特徴（画像特徴）と属性データとの関係を見出し、仮説として設定する。設定する仮説として、例えば式(1)のアソシエーションルール[8]の形式が用いられる。

$$F \Rightarrow M \quad (1)$$

ここで、 F は「画像の右下が赤色である」というような画像特徴に関する条件を表し、 M は「性能値が 50 以上である」というような属性データに関する条件を表す。

IIMS は上記の仮説設定を支援する機能を有する。具体的には、IIMS は仮想 3 次元空間に画像群を属性データの昇順に配置する機能や、色や形が類似する画像を近くに配置する機能を備え、ユーザはインタラクティブに画像群の配置を切り替え、様々な観点から仮説を設定することができる。

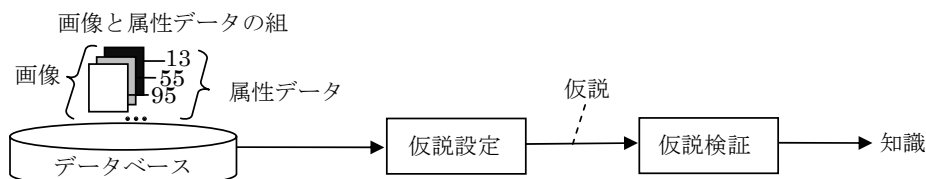


図1 イメージマイニングの基本プロセス

(1) 属性データによる配置

IIMS は、属性データの昇順に画像を配置する機能を備える。図 2 に例を示す。ユーザは配置結果を眺め、あるエリアの画像群に共通する視覚的な特徴を見出し、属性データとの関係を仮説として設定する。例えば、「画像の色が黒であれば、属性データは小さい」という仮説を設定できる。

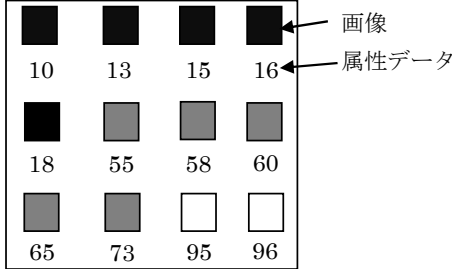


図 2 属性データによる配置

(2) 画像特徴による配置

IIMS は、まず様々な種類の画像に利用可能な色や形などの低次の画像特徴を用いて、類似する画像を近くに配置し、次にユーザが配置された画像群を眺めることで、より高次の視覚的な特徴も見出せるように支援する。低次の画像特徴には、画像の領域ごとの色の割合を「ヒストグラム」で表す画像特徴や、形状を「ウェーブレット変換係数」で表す画像特徴など、画像検索の分野で一般的に利用される画像特徴[11]を用いる。ユーザはこれら複数の画像特徴の中から一つを選択できる。

まず、IIMS は、ユーザによって選択された画像特徴の類似度に基づいて画像群を平面（図 3 の XY 平面）上に配置する。具体的には SOM(Self-Organizing Map)[12]を用いて、画像

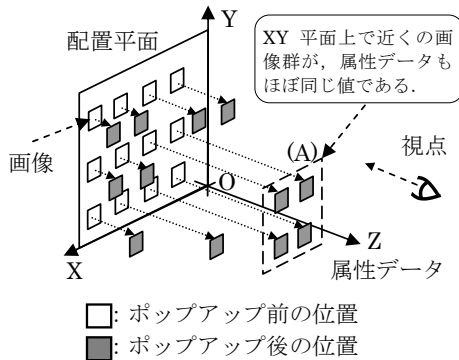


図 3 画像特徴による配置

特徴の特徴ベクトル間の距離が小さいほど近くに集まるように配置する。SOM は教師無しの競合学習に基づくニューラルネットワークの一種であり、高次元のベクトル空間におけるデータ群をその距離関係をできるだけ保持したまま二次元空間に近似的に写像することができる。次に、図 3 のように、仮想 3 次元空間の奥行き(Z 軸)方向に属性データを割り当て、属性データの値が大きい画像ほど手前方向に移動させる「ポップアップ機能」を備える。例えば、図 3 の破線(A)内のように、画像特徴が類似した一部の画像群は、XY 平面上で近くに配置されるため、その画像群がポップアップ機能により、奥行き方向に同程度移動すれば、ユーザは「その画像群に共通して見られる画像特徴を持つ場合、属性データはほぼ同じ値である」という仮説を設定することができる。

2. 2 仮説検証

設定した仮説を知識として利用するために、統計的な指標などを用いて仮説を検証する。例えばアソシエーションルールの場合、アソシエーションルールの重要度を測る尺度としてサポートとコンフィデンスを算出して検証する。サポートとコンフィデンスは次のように定義される。

$$support = N(F \wedge M) / T \quad (2)$$

$$confidence = N(F \wedge M) / N(F) \quad (3)$$

ここで、 T は画像と属性データの組の総数である。 $N(F \wedge M)$ は、画像特徴の条件 F と属性データの条件 M の両方を満たす組の数である。 $N(F)$ は、画像特徴の条件 F を満たす組の数である。

3. ものづくり分野への適用

ものづくり分野への適用として、(1)「HDD の GMR(Giant Magneto Resistive)ヘッド形状の分析」、(2)「HDD の TMR(Tunneling Magneto Resistive)ヘッドの磁化ベクトル分布の分析」の 2 つの適用事例について述べる。

3. 1 GMR ヘッド形状の分析

IIMS を HDD の GMR ヘッド形状の分析に適用した。GMR ヘッドはディスクからデータを読み込むための「リード素子」と、ディスクへデータを書き込むための「ライト素子」から成る。図 5 の各画像は SEM(Scanning Electron Microscope)と呼ばれる電子顕微鏡(20 万倍)で撮影されたもので、リード素子の ABS(Air-Bearing Surface)浮上面(ディスクと数十ナノメートルの

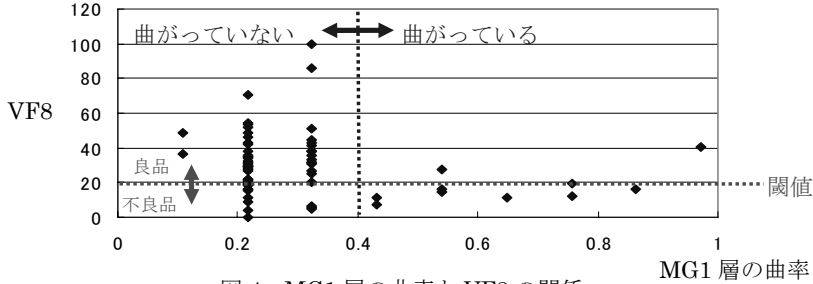


図4 MG1層の曲率とVF8の関係

間隔で接している面)を示す。GMR ヘッドは多層の薄膜で構成され、隣接する層の接地面が SEM 画像に輪郭として現れる。この輪郭の形状の違いが性能に影響していると考えられている。本分析事例の目的は、SEM 画像の輪郭の形状とヘッドの性能との関係を見出すことである。ヘッドの性能は、属性データ「VF8」と呼ばれる出力電圧で表され、VF8 の値が大きいと性能が良い。SEM 画像とヘッドの性能値の組を 72 組用いた。

まず、仮説を設定するため、図 5 (図は最終ページに掲載) のように属性データ「VF8」の昇順に画像を配置した。図 5 の白線が閾値(VF8=18.5)を表す。VF8 が閾値未満であれば、ヘッドは不良品とみなされる。我々は各画像の MG1 層の形状に着目し、下記の仮説 H1 を設定することができた。なお、MG1 層の形状を目立たせるために、各画像の MG1 層を赤で着色している。

$$H1: F_{MG1_bend} \Rightarrow M_{defective} \quad (4)$$

ここで、 F_{MG1_bend} は MG1 層が曲がっていることを表し、 $M_{defective}$ は VF8 が閾値未満(不良品)であることを表す。つまり仮説 H1 は、「MG1 層が曲がっている場合、不良品である」ことを表す。

仮説 H1 を検証するため、各画像の MG1 層の曲率を、MG1 層の中心線を用いて近似的に求めた。図 4 に MG1 層の曲率と VF8 の関係を示す。

MG1 層の曲率が 0.4 より大きければ、MG1 層は曲がっているとみなし (図 5 で該当する SEM 画像を黄色の枠で表示)、サポートとコンフィデンスを求めると、それぞれ 0.14 と 0.83 であった。仮説 H1 は高いコンフィデンスが得られ、ヘッドの設計者からも未知の知識であると評価された。

3. 2 TMR ヘッドの磁化ベクトル分布の分析

次に、IIMS を HDD の TMR ヘッドの磁化ベクトル分布の分析に適用した。TMR ヘッドは超高密度 HDD の読み出し磁気ヘッドとして有望

視されている。ヘッドの磁化ベクトル分布 (磁化の向き) が性能に影響するため、本分析事例の目的は、ヘッドの磁化ベクトル分布とヘッドの性能の関係を発見することである。図 6 で示すように、コンピュータシミュレーションによるヘッドの固定層(ハード膜)の垂直方向の磁化ベクトル分布を、CAE 画像の色を用いて表す。赤色の領域は下向きの磁化を、青色の領域は上向きの磁化を表している。ヘッドの CAE 画像とヘッドの性能値の組を 50 組用いた。ヘッドの性能は、出力電圧の波形の「非対称度」を用いた。非対称度が 0 に近い (波形が対称である) ほど、性能が良い。

まず、仮説を設定するため、図 7 で示すように属性データ「非対称度」の昇順に画像を配置した。我々は図 7 の赤枠で囲まれた画像に注目することで、下記の仮説 H2 を設定することができた。

$$H2: F_{red} \Rightarrow M_{asymmetry < -14} \quad (5)$$

ここで、 F_{red} は画像が赤色の領域を含むことを表す。 $M_{asymmetry < -14}$ は非対称度が「-14」より小さいことを表す。

仮説 H2 を検証するために、条件 F_{red} を目視で確認し、サポートとコンフィデンスを求めた。サポートは 0.36、コンフィデンスは 0.82 であった。仮説 H2 はヘッド設計者により既に有用性が確認されている知識であった。

次に、画像の色に関して H2 以外の仮説を設定するために、画像の領域ごとの色を表す画像特徴による配置に変更した。結果を図 8(A)に示す。色特徴が類似した画像が近くに集まるように配置されていることが確認できる。続いて性能値との関係を調べるために、図 8(B)のように、ポップアップ機能を用いて奥行き(Z 軸)方向に非対称度を割り当て、非対称度が大きい画像ほど手前に来るように配置した。我々は図 8(B)の赤枠で囲まれた、非対称度の値が大きい画像に着目した。これらの画像は、各画像の右下の領域が青色で類似していた。そこで、下記の仮説 H3 を設定した。

$$H3: F_{blue_in_br} \Rightarrow M_{asymmetry>0} \quad (6)$$

ここで、 $F_{blue_in_br}$ は右下の領域が青色である画像を表す。 $M_{asymmetry>0}$ は非対称度の値が0より大きいことを表す。

仮説 H3 を検証するために、条件 $F_{blue_in_br}$ を目視で確認し、サポートとコンフィデンスを求めた。サポートは 0.08、コンフィデンスは 0.80 で、コンフィデンスが高いことを確認した。仮説 H3 はヘッド設計者による評価により、未知の知識で、かつ設計において有用であることを確認した。

4. まとめ

本稿では、画像群から、画像の持つ視覚的な特徴と属性データとの関係を発見する問題に対して、仮想3次元空間に画像群を配置することで、ユーザが画像群を眺めながら属性データに関係しそうな画像特徴を見出すことを支援するシステム IIMS を提案した。ものづくり分野の2種類の適用事例を通し、IIMSにより有用な知識の発見が可能なことを確認した。

今後は、IIMSの機能の自動化を進めることで支援機能をさらに充実させる。例えば、画像特徴による配置でポップアップした後に、仮想空間上で画像が近くに集まっているエリアを自動的に計算し、ユーザに提示することで仮説設定を支援することが考えられる。また、本稿では属性データが1種類の事例を述べたが、属性データが複数存在する場合の支援機能の開発も必要である。このように、IIMSの改良を行うとともに、ものづくり分野の他の事例への適用に加え、マーケティングや医療分野などへの適用も進めていきたい。

謝辞

本研究において、実事例への適用にご協力いただいた富士通(株)テクノロジセンターの山岡氏、清水氏、(株)富士通ソフトウェアテクノロジーズの山崎氏をはじめとする関係者の方々に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- [1] J. Zhang, W. Hsu, and M. L. Lee, "Image Mining Issues, Frameworks and Techniques", in Proc. of ACM MDM/KDD2001, pp.13-20, 2001.
- [2] 月本洋, 柿元満, 森田千絵, 菊地吉晃, "脳機能画像のノンパラメトリック回帰分析", 信学論, Vol.J84-DII, No.12, pp.2623-2633, 2001.

- [3] P. Stolorz, H. Nakamura, E. Mesrobian, R. Muntz, E. Shek, J. Santos, J. Yi, K. Ng, S. Chien, C. Mechoso, and J. Farrara, "Fast Spatio-Temporal Data Mining of Large Geophysical Datasets", in Proc. of Int. Conf. on KDD pp.300-305, 1995.
- [4] 片山幸治, 小西修, "知識発見支援のための気象画像データベースの構築", 情報処理学会論文誌: データベース, 40-SIG5(TOD2), pp.69-78, 1999.
- [5] A. Kitamoto, "Data Mining for Typhoon Image Collection", in Proc. of ACM MDM/KDD2001, pp.68-77, 2001.
- [6] O. R. Zaiane, M.-L. Antonie, and A. Coman, "Mammography Classification by an Association Rule-based Classifier," in Proc. of ACM MDM/KDD2002, pp.62-69, 2002.
- [7] J. Tesic, S. Newsam, and B. S. Manjunath, "Mining Image Datasets using Perceptual Association Rules", in Proc. of SIAM Sixth Workshop on Mining Scientific and Engineering Datasets in conjunction with the Third SIAM International Conference (SDM), 2003.
- [8] R. Agrawal, T. Imielinski, and A. Swami, "Mining Association Rules between Sets of Items in Large Databases", in Proc. of ACM SIGMOD Conference on Management of Data, pp.207-216, 1993.
- [9] P. Langley, "The Computer-Aided Discovery of Scientific Knowledge", in Proc. of the First International Conference on Discovery Science, 1998.
- [10] Y. Uehara, S. Endo, S. Shiitani, D. Masumoto, and S. Nagata, "A Computer-Aided Visual Exploration System for Knowledge Discovery from Images", in Proc. of ACM MDM/KDD2001, pp.102-109, 2001.
- [11] Y. Rui, T.S. Huang, and S.F. Chang, "Image retrieval: Past, Present, and Future", Journal of Visual Communication and Image Representation, vol.10, pp.1-23, 1999.
- [12] T. Kohonen, "Self-Organizing Maps", Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 1995.

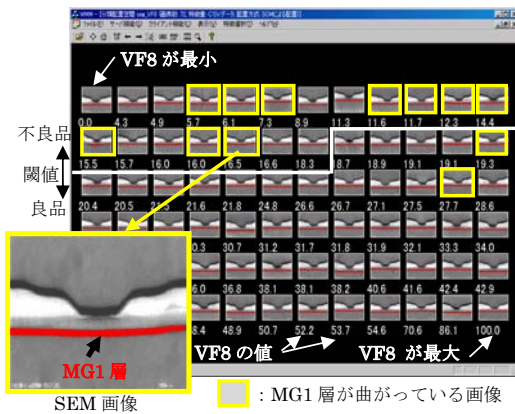


図5 属性データ「VF8」による配置

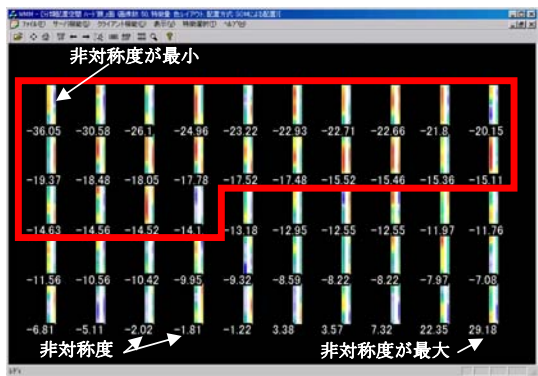


図7 属性データ「非対称度」による配置

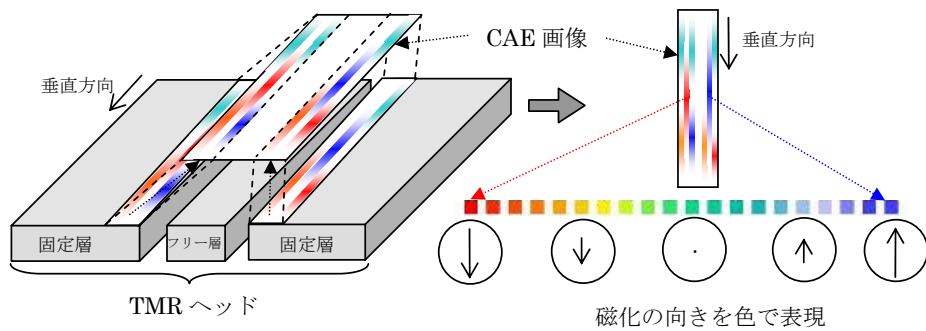


図6 TMRヘッドとそのCAE画像

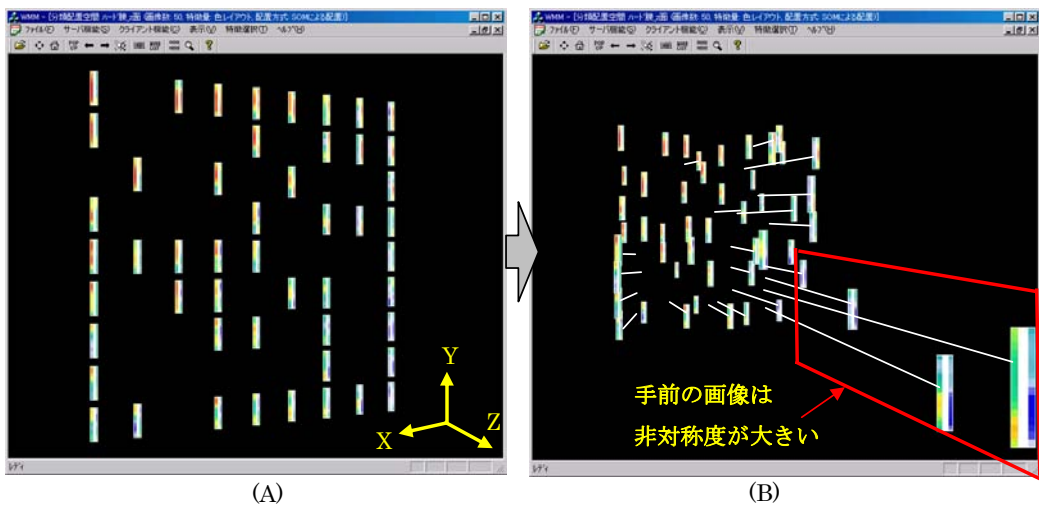


図8 (A)色による平面配置と(B)ポップアップ後の配置