

立体複製画の凹凸感についての考察

Consideration on the Sense of Surface Unevenness of 2.5-Dimensional Reproduction of Paintings

亀井 稔人, 根本 佳実, 畑中 伸一

Toshihito KAMEI, Yoshimi NEMOTO, and Shinichi HATANAKA

株式会社リコー

Ricoh Company, Ltd.

【要約】

立体複製画のマチエールである筆タッチの凹凸部において、その高さや厚みを物理量、その凹凸感を心理量として、心理物理実験を実施した結果、凹凸部の高さを増していくとその凹凸感は低位置では敏感で徐々に鈍感になっていく関係であり、刺激に対して感度が対数変化することが分かった。また、原画を縮小して複製する場合において、3D造形物同様に x 、 y と同じ倍率を凹凸部の高さ z に掛けると、凹凸感の乏しい複製画になってしまうことが分かった。本稿ではその“凹凸感”について考察する。

キーワード: 2.5D, 立体複製, 複製画, 凹凸感

【Abstract】

Using height and thickness as physical quantities and sense of unevenness as psychological quantities, we conducted a psychophysical experiment on the brush strokes of the matière of the 2.5-dimensional reproduction of paintings. As a result, it was found that the sense of unevenness is sensitive at low positions and gradually becomes insensitive. In other words, it is considered that the sensitivity changes logarithmically with respect to the stimulus. Also, when reducing and reproducing the original painting, it was found that if the same magnification as x and y is multiplied by the height z of the uneven part as in the case of the 3D modeled object, the reproduced painting lacks a sense of unevenness. We report on that we considered about "the sense of unevenness".

Keywords: 2.5-Dimension, 3D reproduction, Replication paintings, Sense of unevenness

1. はじめに

2016年3月に“立体複製画制作技術”としてプレスリリース[1]し、10月に“触れる絵画”(図1)として立体複製画の製品化を開始してから6年が経過した。展覧会毎にそれらの作品の形状と色を計測し、UVインクジェットプリンターで再現することで、より本物に近い質感を持った立体複製画に仕上げてきた。技術開発[2][3]においては、プリンターでの積層印刷技術・複製用画像処理技術[4]・形状と色の計測技術[5]・画家の特徴を数値化する技術[6]等を進めてきたが、立体複製画の品質をさらに上げるためには、その質感についての研究が不可欠であった。本研究においては、質感を凹凸の印象である凹凸感で数値化することで、絵画のマチエールである筆タッチの凹凸部分の高さや厚みと凹凸感の関係を調べることができた。それに加え、縮小複製版の縮小倍率について本稿にて考察する。

度[8]で、立体複製画の他にも、イベント装飾用途のサイン、商業施設・オフィス・自宅などの空間演出のための建材への加飾といったさまざまな印刷ニーズに対応可能なプリンターである。



図 1. 触れる絵画

2. UV インクジェットプリンター

立体複製画を製品として制作するためのプリンターは、汎用性がない量産に特化した特注機となっているが、弊社では、製品としてのUVインクジェットプリンターを販売している。ワイドフォーマットプロダクションプリンター Pro TF6251 (図2)は2021年3月より国内受注を開始した[7]。Pro TF6251の最大の特徴はクラス最速の印刷速

3. 絵画のマチエールと凹凸感

絵画のマチエールを再現するために、インクを積み重ねて印刷を繰り返す積層印刷を行っている。また、立体に積層する方法についても、積層に割り当てたインク[9][10]で繰り返し積層印刷し、最表層にカラーインクで色を印刷する方法を採用した。



図2. Pro TF6251

積層数を可変することで、マチエールを構成する筆タッチの凹凸部の高さを制御することができる。本研究では、積層数と凹凸感の関係を調べるために、心理物理実験を実施した。立体複製した2種類の絵画(サンプルA, B)に対して、物理量を積層数、心理量を凹凸感として官能評価を行った。評価のために準備したサンプルの各積層数を表1に示した。

表 1. 評価用サンプル

サンプル	最低積層数(層)	最高積層数(層)	(参考)サイズ: x × y (mm)
A	6	77	190 × 155
B	22	119	189 × 145

両サンプルとも最低積層数と最高積層数の間の積層数のサンプルを多数準備した。官能評価は等分割法を用いて、最低積層数サンプルの凹凸感を1レベル、最高積層数サンプルの凹凸感を5レベルと固定して、まず1と5の中間点である3レベルの凹凸感のサンプルを選択した。次に1と3の中間点である2レベルと3と5の中間点である4レベルの凹凸感のサンプルを選択し感覚尺度を決定した。この結果から積層数に対する凹凸感の関係を調べることができた。被験者は画像・インク開発の技術者・スタッフで、性別・年代比率はほぼ均等になるように、サンプルAは14名、サンプルBは18名で行った。積層数の平均値に対する凹凸感のレベルを示した結果は図3のようになった。視認できる最低の積層数から高さを付加していく場合、低位置では敏感で、徐々に鈍感になっていくという結果となり、筆者らが制作の過程で感じていた感覚と合致した。積層数Lという刺激に対して凹凸感Eという感覚が対数変化していく結果は、ウェーバー・フェヒナーの法則[11]で説明できると考える。ただし、サンプルAの6層サンプルのように、高さが低過ぎると対数変化しないため、凹凸感の刺激閾は概ね20層と考える。

(1) に示した式において、EはサンプルA、及びBの凹凸感、c1, c2は非線形回帰により最適化したパラメータで、各サンプルの積層数での結果はサンプルAでは、c1 = 2.34, c2 = -5.18, サンプルBでは、c1 = 2.42, c2 = -6.55 となった。ここでc1はサンプル間でほぼ同じ値になったため、サンプルAの22層の凹凸感1レベルの点

を通るようにサンプルBを $c2 = -6.24$ に補正したのが図4である。

$$E = c1 \cdot \log(L) + c2 \quad (1)$$

図4でサンプルAの凹凸感を補正した後、その凹凸感を再現して制作したのが図5(a)~(d)である。

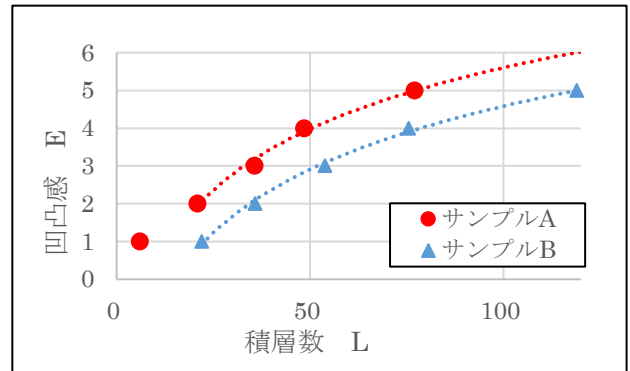


図3. 積層数Lと凹凸感E

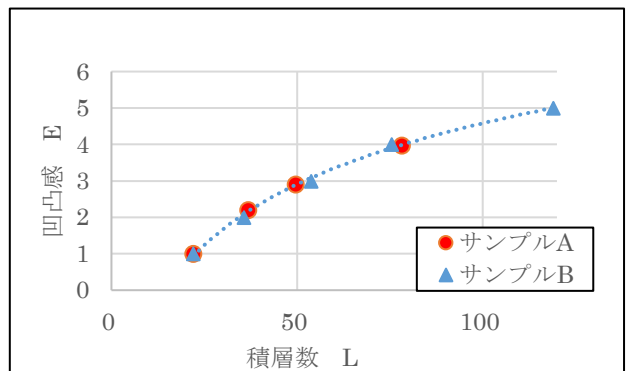


図4. サンプルAを補正した積層数Lと凹凸感E



図5(a). サンプルAの凹凸感レベル1~5(補正後)



図5(b). サンプルAの凹凸感1レベル(補正後)



図5(c). サンプルAの凹凸感3レベル(補正後)



図5(d). サンプル A の凹凸感5レベル(補正後)

4. 縮小複製時の凹凸感とその再現

絵画を原寸大に立体複製するだけでなく、主に観賞用には縮小複製する場合もある。その縮小倍率の考え方は、例えば3D造形物であれば、 x , y を50%に縮小したい場合は z も50%で制作する。しかし、2.5 D立体複製画の場合は、縦横の縮小倍率50%と同じ縮小倍率を凹凸部の高さに掛けると、凹凸感の乏しい立体複製画になってしまうことが分かっている。本研究では、この問題を解決するために凹凸感を保持したまま縮小複製する際の縮小倍率を心理物理実験で求めた。

まず、評価用に準備した複製画サンプルのサイズ、積層数、縮小倍率を表2、サンプルの写真を図6に示した。

表2.サイズ・積層数・縮小倍率

サイズ： $x \times y$ (mm)	積層数 (層)	縮小倍率 (%)
大サイズ：230×187	19~158の16段階	100
中サイズ：190×155	33,50,77	84
小サイズ：95×78	19~158の16段階	41

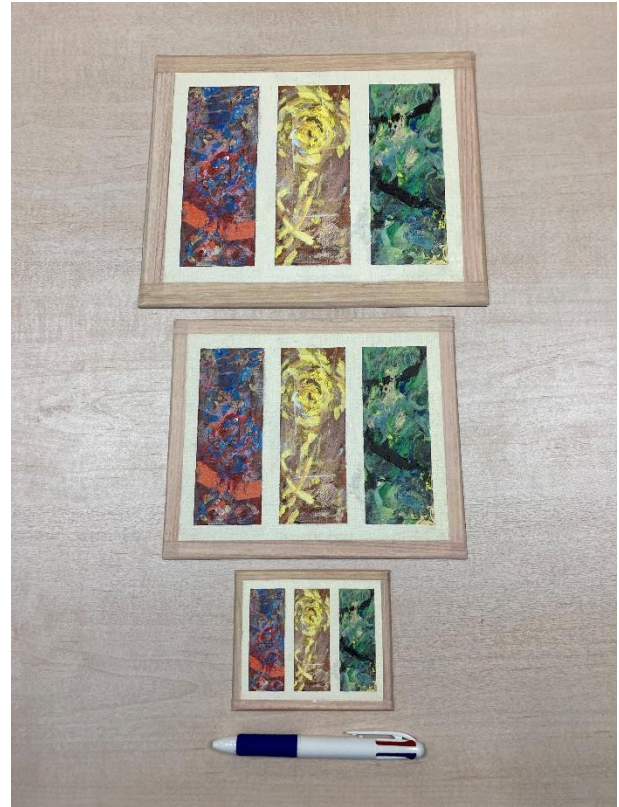


図6.サンプル A の 100%(上), 84%(中), 41%(下)の立体複製画

縮小倍率が84%のサンプルに対して、41%及び100%のサンプルは、積層数を多数振ったサンプルを準備した。被験者は前章同様の20名で実施した。凹凸感が同じに観賞できる各倍率のサンプルを調整法で選択し、被験者の平均を求めた。その結果を図7(a), (b)に示した。図7(a)は、 x , y の縮小倍率に対する凹凸感が同じになる積層数を示した。図7(b)は凹凸感が同じになるように積層数を設定した場合の x , y 縮小倍率に対する z の縮小倍率を示した。

x , y の縮小倍率 X_d に対して、高さの縮小倍率を Z_d , 最適化パラメータを c_3 とすると (2) のような非線形な数式で近似することができた。この結果から原画の x , y を50%に縮小した場合の積層数の縮小倍率は、80~90%程度が望ましいと考える。

$$Z_d = c_3 \cdot \log(X_d) + 1 \quad (2)$$

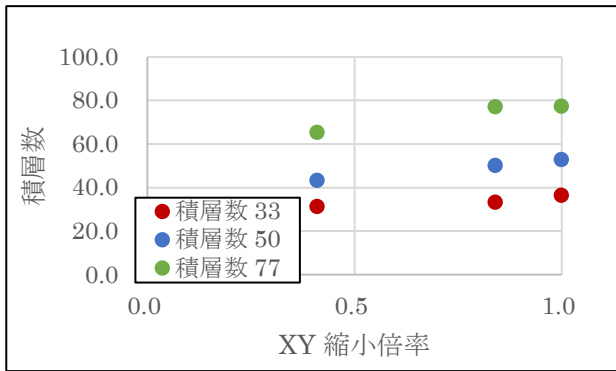


図7(a). XY縮小倍率に対する凹凸感が同じになる積層数

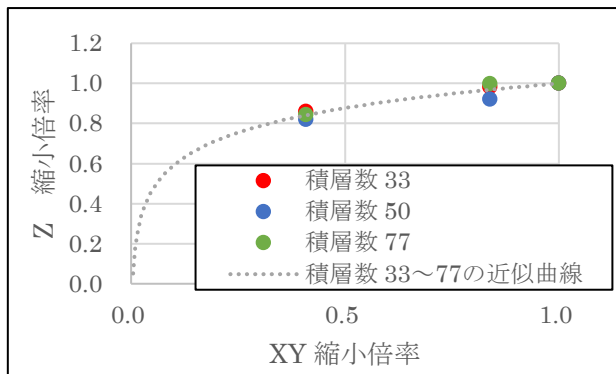


図7(b). XYに対するZの縮小倍率

5. おわりに

本研究の結果から、立体複製画において、積層数を制御することで、絵画のマチエールを構成する高さや厚みを可変することにより、所望の凹凸感を表現することができることが分かった。積層数の制御には、式(1)、(2)を採用する。

これらの結果は、絵画の複製に留まらず、レリーフ・壁画の複製、そして高さデータの無い写真・アニメーションなどの2D画像から高さを生成する場合にも適応できると考える。

参考文献

- [1] https://jp.ricoh.com/release/2016/0329_1.html
- [2] T.Kamei, "2.5-Dimension Layered Technology and Case Examples of Deployment to Replicated Painting Market," Proceedings of the 136th Technical Seminar, The Imaging Society of Japan(2018), pp.83-103 [in Japanese].
- [3] T.Kamei, S.Hatanaka, "Development of 2.5-Dimension Reproduction of Painting by UV Inkjet Technology," Proceedings of Journal of Imaging Society of Japan(2019), 59, pp.249-254 [in Japanese].
- [4] Y.Haga, H.Murai, T.Kamei, "Detection of Creak on Oil Painting Digital Image," Proceedings of the 29th CSAJ-SigFVI meeting, The Color Science

Association of Japan(2016), pp.45-48 [in Japanese].

- [5] S.Hatanaka, "Introduction of 2.5-Dimensional Replicated Painting with Digital Camera and Inkjet Printer," Proceedings of the 25th Camera Technology Seminar, The Society of Photography and Imaging of Japan(2017), pp.31-36 [in Japanese].
- [6] A.Yamasawa, T.Kamei, S.Hatanaka, "Development of 2.5D Reproduction of Painting and Characteristic Analysis of Oil Paintings," Proceedings of Imaging Conference Japan 2019, The Imaging Society of Japan(2019), pp.247-248 [in Japanese].
- [7] https://jp.ricoh.com/release/2021/0303_2
- [8] https://www.ricoh.co.jp/pp/pod/pro_tf/6251/point.html
- [9] M.Arita, M.Yoshino, "UV Curable Ink for 2.5-Dimension Images," Proceedings of Imaging Conference Japan 2017, The Imaging Society of Japan(2017), pp.79-82 [in Japanese].
- [10] M.Arita, M.Yoshino, S.Hatanaka, T.Kamei, "2.5-Dimensional Inkjet Fabrication Using UV Curable Ink," Proceedings of Printing for Fabrication 2017 (NIP33), The Society for Imaging Science and Technology(2017), pp.175-180.
- [11] S.Hecht, "The visual discrimination of intensity and the Weber-Fechner law," Proceedings of Journal of general physiology(1924), vol.7, no.2, pp.235-267.