

異なる2視点で任意の濃淡パターンが現れるレリーフの作成

小澤 卓也 齋藤 隆文

東京農工大学 大学院生物システム応用科学府

1. はじめに

近年物体に光を当てたときに特定の濃淡パターンが現れるような表面加工を行う研究がいくつか行われている。例えば、光を当てる方向を変えることで異なる二つの入力画像の陰影をつくるレリーフを設計する手法[1]や、プールの底などに見られる光の屈折や反射によって模様ができる集光現象を利用し模様を投影するような透明物体を設計する研究[2][3]、物体表面に彫った溝の深さによって一方向から光を当てたときに任意の画像の濃淡分布を持った陰影が現れる研究[4]も行なわれている。見る人を惹き付けるような表面形状の作成が可能となり、娯楽としての商品化をはじめ、宣伝や看板、広告等への利用も考えられる。本研究では光源を固定し視点の変化によって、異なる濃淡パターンが見られるような表面形状に関して検討する。

2. 方針

本研究では、厚みを持った平らな板の表面に様々な溝を彫ることにより、視点によって異なる濃淡パターンが現れるレリーフを作成する。

NC切削加工により、平らな表面に図1のように直線状の溝を彫り、溝の真上から平行光線をあてた場合を考える。溝を図2のような2方向から見たとき、各視点で溝の見える部分が異なる。図2の溝の θ_1, q_2 の変化により1つの溝に対する視点ごとの明るさの制御が可能となる。このような直線状の溝を図3のように同じ向きに複数並べ溝の角度を制御することで2方向から見たときそれぞれ異なる濃淡パターンが現れるレリーフを作成することが可能である。

3. 切削形状の検討

提案手法の実現にあたり、まず溝の形状を検討した。まず、直径 f のフラットエンドミルを用いてV字の軌道で q_1, q_2 ($0 \leq \theta_1, \theta_2 \leq \theta_{\max}$)の角度で彫ったときの長さ $L (= bf)$ の溝を検討する。

Creation of Relief in Which a Arbitrary Shade Patterns
Appears from Two Different Viewpoints
Takuya OZAWA, Takafumi SAITO
Tokyo University of Agriculture and Technology

角度の組み合わせによっては彫る深さが大きくなり過ぎる可能性があるため、最大の深さ $D (= a\phi)$ を超えない溝パターン(図3(a))と、 D に達した場合途中で折り返すような溝パターンを考える(図3(b))。もし溝のある視点から見たときの俯角(図3の α_1, α_2)が大きすぎる場合、観測者には溝の底が見えるため所望の濃淡情報を得られない。そこで俯角の制約について考える。俯角は θ_2 に依存しないので $\theta_2 = \theta_{\max}$ とすると、図3(a)の場合に俯角が最小値をとるのは図4(a)のように $\theta_1 = \theta_{\max}$ のときである。このときの俯角を α_1 とすると、

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= \tan^{-1}\left(\frac{L-f}{(L+f)\tan q_{\max}}\right) \\ &= \tan^{-1}\left(\frac{b-1}{(b+1)\tan q_{\max}}\right) \end{aligned}$$

また図3(b)のようなときに俯角が最小値をとるのは図4(b)のように $\theta_1 = 0$ の場合なので、俯角を α_2 とすると、

$$\alpha_2 = \tan^{-1}\left(\frac{L}{D}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{a}{b}\right)$$

表面にはこの2パターンの溝が並んで配置されているので、溝の最大角度が θ_{\max} のレリーフの最大俯角 α_{\max} は α_1 と α_2 のうち小さい値をとる方である。 $\theta_{\max} = 45^\circ$ のときの溝の長さ、深さ、俯角の関係を図6に示した。溝を長くすると、最大俯角 α_{\max} は大きくなり視点範囲が広く取れるが、配置できる溝の数の制約が大きくなる。また溝間の境界部分が薄いため、深く彫ると破損しやすくなってしまう。これらを考慮した結果、 $a = 1.5, b = 3$ が妥当であると考えた。このとき $\alpha_{\max} = 26.6^\circ$ となる。

次に、彫った溝に光を当てたときのコントラストを考える。フラットエンドミルで切削した場合、円柱のスイープ形状が削り取られ、壁面は斜円柱面と平面の組み合わせとなる。ここでは簡単のため、エンドミルを直方体で近似し、壁面を平面と考えた場合の明るさを考える。表

面での鏡面反射がないものと仮定し，法線方向から光があたった場合の反射光強度を K と，このときの拡散反射成分と環境光成分の比を $(1-k):k$ とする．このとき溝の斜面からの反射光は， $k(1-k)+k \sin \theta$ となり， θ が大きいほど明るくなる．図7のように溝の間隔をと $c\phi$ し，溝間の平面部分を含めた平均の明るさの最大値 ($\theta = \theta_{\max}$) を L_{\max} ，最小値 ($\theta = 0$) を L_{\min} とする．

明暗のコントラスト比を $C = \frac{L_{\max} - L_{\min}}{L_{\max}}$

とすると，

$$C = 1 - \frac{b(1-k) + c(b+c+1)}{b\{1-k + k \sin \theta_{\max}\} + c(b+c+1)}$$

例えば， $b=3$ ， $c=0.2$ ， $k=0.8$ ， $\theta_{\max} = 45^\circ$ としたとき，コントラスト比は $C=0.28$ となる．

4. おわりに

本稿では，視点の変化に応じて異なる濃淡パターンが現れるレリーフの作成手法における溝形状の検討について述べた．今後はこれをもとに実際に厚みを持った平らな板の表面に様々な長さや深さの溝を彫り，どのような見え方をするのかを確認する．

参考文献

- [1] M. Papas, W. Jarosz, W. Jakob, S. Rusinkiewicz, W. Matusik, T. Weyrich, Goal-based caustics. Computer Graphics Forum Vol.30, No.2 (Proc. Eurographics '11), pp.503-511 (2011).
- [2] M. Alexa, W. Matusik, Reliefs as Images. ACM Trans. on Graphics Vol.29, No.4 (Proc. SIGGRAPH 2010), Article 60 (2010).
- [3] Y. Yue, K. Iwasaki, B-Y. Chen, Y. Dobashi and T. Nishita, A Method for Designing Transparent Objects Generating Desired Caustics Patterns. Visual Computing/グラフィクスと CAD 合同シンポジウム 2011, No.2 (2011).
- [4] M. Alexa, W. Matusik, Images from Self-Occlusion. Computational Aesthetics in Graphics, Visualization, and Imaging, pp.17-24 (2011).



図1 直線状の溝

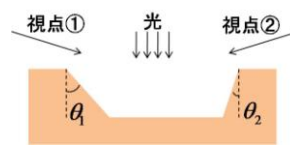


図2 溝の見え方

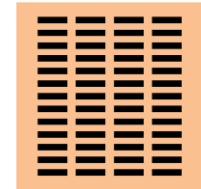


図3 溝の配置

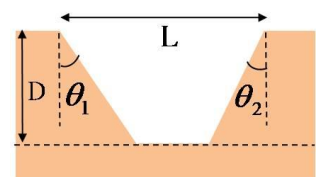
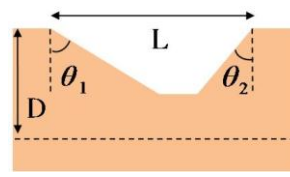


図4 溝パターン

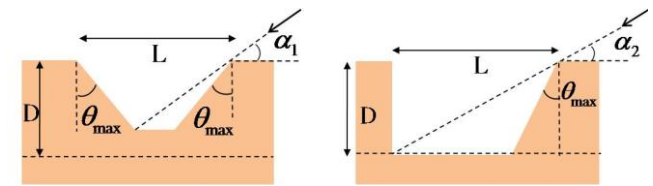


図5 俯角が最大値をとる溝パターン

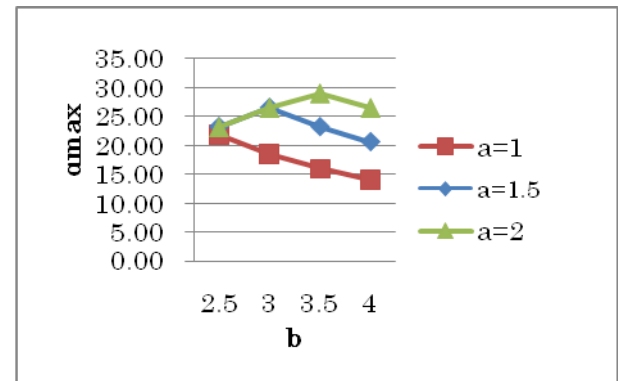


図6 b と a_{\max} の関係

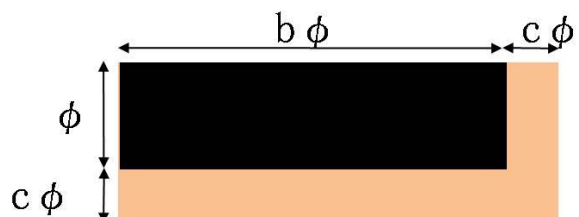


図7 溝の間隔