

日本刀製作工程の折り返し鍛錬を模した鍛え肌のプロシージャル生成

田中 ひとみ[†] 中本 啓子[‡] 小池 崇文[†]
[†]法政大学情報科学部 [‡]法政大学大学院情報科学研究科

1. はじめに

日本刀は、玉鋼を砕き、熱しては叩いて変形して冷却することで作られる。鋼を強くするために、鋼に切れ目を入れ半分に折り叩いて伸ばす、折り返し鍛錬と呼ぶ工程がある [1]。折り返し鍛錬には、同一方向に折り曲げ続ける一文字鍛えと、縦横交互に折り曲げる十文字鍛えがある。折り曲げ方向を選択し、10 から 15 回繰り返す。

折り返し鍛錬をすることで、日本刀表面に鍛え肌と呼ばれる模様が現れる。鍛え肌は、4 種類の代表的な模様があり、それぞれ、柂目肌(まさめはだ)、板目肌(いためはだ)、杓目肌(もくめはだ)、綾杉肌(あやすぎはだ)と呼ばれる。渡辺は、鍛え肌について、柂目肌は「木材を真中から縦に切断すると、柂目の模様になるが、これに似た肌」、板目肌は「木材の縦の切断面に見る板目に似た肌」、杓目肌は「木材を横に切断したときに見る年輪に似た肌」、綾杉肌は「波状の曲線模様の肌」と説明している(渡辺, 1966, p.238)[2]。

小泉は鍛え肌の生み出し方について、折り返し鍛錬後に、側面部を出せば柂目肌となり、正面を出せば、杓目肌や板目肌となることを示している(小泉, 1933, p.19)[3]。また、綾杉肌は、刀材表面を

丸鑿で磨り落とし平らに打延べたものであるが、古い時代のものは、鍛へ上げた皮金属材料を飴の棒の様に振ってこしらへたと云う説がある(小泉, 1933, p.20)[3]

と述べている。

本研究では、日本刀の折り返し鍛錬を模した、プロシージャルな鍛え肌の生成手法を提案する。提案手法により、柂目肌、板目肌、杓目肌が生成できることを確認した。

2. 提案手法

日本刀の生成過程の鋼の塊を S 行 T 列の高さ場とみなし、折り返し鍛錬をモデル化する。最初に、初期高さ場 H_0 を、平均 μ 、標準偏差 σ をもつ正規分布から生成した $S \times T$ 個の乱数 \mathcal{G} によって、式 (1) のように初期化する。

$$H_0(i, j) = \mathcal{G}(T \times (i - 1) + j). \quad (1)$$

次に、鋼に切り込みを入れ、半分に折りたたみ叩きのぼす工程を行った高さ場 H'_n を、式 (2) で表す。列方向に

切り込みを入れる場合を分割 C、行方向に切り込みを入れる場合を分割 R とする。

$$H'_n(i, j) = \begin{cases} \frac{1}{2} \times \left\{ H_n \left(\left\lfloor \frac{i}{2} \right\rfloor, \left\lfloor \frac{j}{2} \right\rfloor \right) + H_n \left(\left\lfloor \frac{i}{2} \right\rfloor, T - \left\lfloor \frac{j}{2} \right\rfloor \right) \right\}, & \text{(分割 C)} \\ \frac{1}{2} \times \left\{ H_n \left(\left\lfloor \frac{i}{2} \right\rfloor, \left\lfloor \frac{j}{2} \right\rfloor \right) + H_n \left(S - \left\lfloor \frac{i}{2} \right\rfloor, \left\lfloor \frac{j}{2} \right\rfloor \right) \right\}. & \text{(分割 R)} \end{cases} \quad (2)$$

実際の工程では、鋼の塊を叩き伸ばした後、形を整えて、 $n + 1$ 回目の折り返し鍛錬を終了する。この時、表面が均されていると考えられる。そこで、本手法では、3 点の中心移動平均を計算する。 $n + 1$ 回目の折り返し鍛錬を終了した時の高さ場 H_{n+1} を、式 (3) で表す。移動平均フィルタ K は式 (4) のように定義する。移動平均計算時に、高さ場が存在しない部分では高さ場を 0 とする。

$$H_{n+1}(i, j) = \sum_{u=-1}^1 \sum_{v=-1}^1 K(u, v) H'_n(i + u, j + v), \quad (3)$$

$$K = \begin{bmatrix} \frac{1}{16} & \frac{1}{8} & \frac{1}{16} \\ \frac{1}{8} & \frac{1}{4} & \frac{1}{8} \\ \frac{1}{16} & \frac{1}{8} & \frac{1}{16} \end{bmatrix}. \quad (4)$$

最後に、折り返し鍛錬を N 回行った状態の高さ場を、グレースケール画像で出力する。行列の各値が最大値 c 、最小値が 0 となるよう正規化し、間隔 d で離散化したグレースケール画像 T を、式 (5) で計算する。 $\max(H_N)$ は H_N の成分の最大値、 $\min(H_N)$ は H_N の成分の最小値を表す。

$$T(i, j) = d \times \left\lfloor \frac{H_N(i, j)}{\max(H_N) - \min(H_N)} \times \frac{c}{d} \right\rfloor. \quad (5)$$

3. 結果

折り返し鍛錬の繰り返しの方法のみを変化させる実験を行い、鍛え肌を生成することが出来るのかを調べた。折り返し鍛錬の繰り返しの方法以外のパラメータの値は表 1 とした。シード値 $seed$ は 1 つを除き、0 とした。また、 S と T は日本刀モデルを UV 展開した際の領域の縦横比に合わせて 1 : 8 とした。

8 つの異なる折り返し鍛錬の繰り返しの方法で生成したテクスチャを、図 1 に示す。生成時は 2048×16384 の大きさを持つが、ここでは 1024×1800 の領域を表示している。目視で判断すると、図 1(a)、図 1(b) は柂目肌

Procedural generation of kitaehada imitating the fold-and-forging process of Japanese sword making
[†]Hitomi TANAKA and Takafumi KOIKE
 Faculty of Computer and Information Sciences, Hosei University
[‡]Keiko NAKAMOTO, Graduate School of Computer and Information Sciences, Hosei University

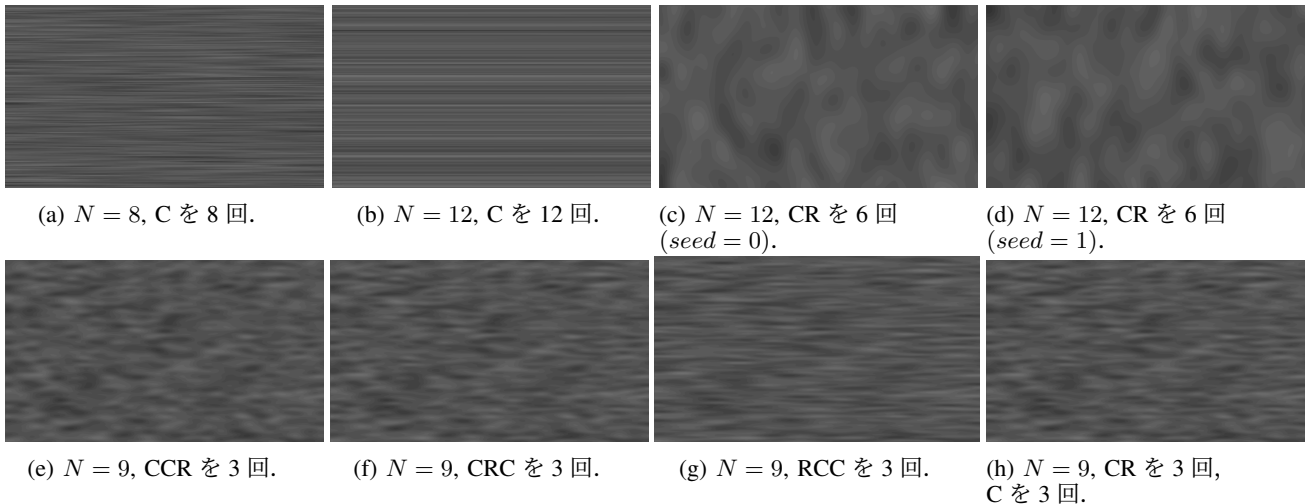


図 1: 生成したテクスチャ. 2048×16384 の大きさを持つが, ここでは左上の 1024×1800 の領域を表示している. 各キャプションは折り返し鍛錬の繰り返し方を示す. (d) 以外のシード値は $seed = 0$ である.



図 2: テクスチャを適用した刀身全体をレンダリングした結果. 適用したテクスチャには, 図 1(e) の CCR を 3 回繰り返し生成したものを生じた. 光源を置かず, 環境マップは HDR 画像としている. 黒い平面を背景として配置した. シェーダのパラメータの値は, スペキュラーを 0.5, 粗さを 0.03, メタリックを 1 とした.

表 1: 本実験のパラメータの値

パラメータ名	値
高さ場 H_0 の行のサイズ S	2048
高さ場 H_0 の列のサイズ T	16384
正規分布の平均 μ	0
正規分布の標準偏差 σ	1
正規化の最大値 c	70
離散化の間隔 d	5

となった. 図 1(c), 図 1(d) は杓目肌となった. 図 1(e), 図 1(f), 図 1(g), 図 1(h) は板目肌となった.

縦の回数のみ異なる図 1(a) と図 1(b) では, 図 1(b) の方が模様が横に引き伸ばされている. 同様に, 繰り返し回数は同じで, 繰り返し方が異なる図 1(b) と図 1(c) を比較すると, 図 1(c) の方が模様が縦に引き伸ばされている. 繰り返し方が同じで乱数のシード値のみを変えた図 1(c) と図 1(d) では, わずかながら模様に変化がある. また, 縦と横の総数は同じで順番のみ異なる, 図 1(e), 1(f), 1(g), 1(h) を比較すると模様に変化があることがわかる.

縦と横の回数比により鍛え肌の種類に変化が生まれ, N の長さにより模様の変化する大きさがある. また, シード値を変えることでわずかに異なる模様を生成できたことから, 鍛え肌の種類を変えずに, 様々なバリエーションの模様を生成できることがわかった. 縦と横の回数を変えずに繰り返し方のみを変えた場合は, シード値を変えたものより大きな変化が生じており, より多くの模様の生成が期待できる. 更に, 小泉が述べているように, 綾杉肌は折り返し鍛錬後に手を加えて出来るもののため, 今回の手法では生成できないと考えられる.

テクスチャを適用した日本刀のモデル全体を, Blender の Eevee レンダラでレンダリングした結果を,

図 2 に示す. 適用したテクスチャには, 図 1(e) の CCR を 3 回繰り返し生成したものを生じた. 光源を置かず, 環境マップは HDR 画像としている. 黒い平面を背景として配置した. シェーダは, Disney principled BSDF[4] に基づいている. シェーダのパラメータの値は, スペキュラーを 0.5, 粗さを 0.03, メタリックを 1 とした. これらは, 目視の判断により決めた. より写実的な日本刀に近づけるためには, 反射特性を吟味する必要がある.

4. 結論

本研究では, 日本刀の生成過程の鋼の塊を高さ場とみなして, 折り返し鍛錬をモデル化することで, 鍛え肌をプロシージャルに生成した. 本手法により, 杓目肌, 板目肌, 杓目肌を生成することが出来た. 実際の折り返し鍛錬と同様に, 繰り返し方を変えることで異なる模様が生成されることを確認した. 繰り返し方の縦と横の割合が, 生成される鍛え肌の種類を決めることがわかった.

参考文献

- [1] 井上, “日本刀に息づく科学と技術”, 材料, vol. 66, no. 11, pp. 804–810, 2017.
- [2] 小泉, 辻本, 沼田, 渡辺, 日本刀全集 第 1 巻, 1966.
- [3] 小泉, 日本刀の近代的研究, 1933.
- [4] B. Burley, “Physically-Based Shading at Disney,” in ACM SIGGRAPH 2012 Course Notes, vol. 2012, pp. 1–7, 2012.