デジタルスタイルデザインに関する研究*

— シボ（テクスチャ）デザインシステムの開発—

青山英樹** 中塚暁志***

Study on Digital Style Design

- Development of Wrinkle Pattern (Texture) Design System -

Satoshi Nakatsuka and Hideki Aoyama

Wrinkle patterns which are decorative texture and have the function to hide surface damage are formed on exterior surfaces of industrial products. To enhance product value, it is required to generate various wrinkle patterns having different impressions for meeting diverse needs of customers. The wrinkle patterns are usually designed as copies of leather and peel wrinkles, etc. so that designed patterns are limited. The objective of this research is to develop a system for designing various wrinkle patterns with unique and natural impressions. The properties of “fractal” and “1/f fluctuation” which are involved in nature are applied for realizing a computer algorithm to generate wrinkle patterns with natural impressions. The developed system allows everyone to design various wrinkle patterns easily using the user-intuitive interface, and check patterns in real time.

Key words: digital style design, wrinkle pattern, texture, surface treatment, industrial product, fractal, 1/f fluctuation,

1. 緒 言

家電製品・情報機器のプラスチック製キャビネットや自動車の内装プラスチック製品などには、意匠デザインとしてシボが成形されている。シボとは、元来、皮革業界において皮に付与した皺のことを表し、プラスチック製品におけるシボは、これを模したデザインとなっている。シボは、製品の意匠的価値を高めるだけでなく、成形におけるウェルドラインやヒケの防止、金型の研磨など二次加工工程の短縮、塗装行程の省略、製品利用時における傷の目立ち防止などといった実用的利点をもっている。

シボは、「自然物の模様を基にする方法」、「デザイナーの発想に基づく方法」、および「コンピュータにおける一定のアルゴリズムを基にする方法」の主に3つの方法でデザインされている。「自然物の模様を基にする方法」では、図1に示すように、実際に存在する皮革皺や梨などの表面模様を転写することにより形成される。この手法は、人工物に自然物の印象をもたせ高級感を生み出すことができるが、実在するものからの選択的なデザインとなり、多様なデザインを創造することが困難である。「デザイナーの発想に基づく方法」では、製品のイメージに適した独自性の高いデザインが可能であるが、デザイナーに対する負荷が大きく、また、時間的・コスト的な問題も見逃せない。「コンピュータにおける一定のアルゴリズムを基にする方法」では、デザインパラメータを設定するだけで多様なデザインを生成することが可能であるが、規則的なデザイン形状となり、自然な印象が低く高級感を得ることが難しいという問題がある。

そこでコンピュータアルゴリズムを基に、簡単かつ直感的な操作によって、自然な印象をもつ多様なシボのスタイル（模様）をデザインできるデジタルシステムの開発を目的とし、本論文では、線分が入り組んで形成されるような皮革のようなシボ模様のデザインに適用するアルゴリズムについて述べる。

2. 自然な印象のシボ形状構築方法

シボは、製品の特性や意匠的意図によって、規則的な幾何学形状として、あるいは、木目、皮シボ、梨地と呼ばれる自然物からの転写としてデザインされている。したがって、規則的な幾何学形状だけでなく、自然な印象を与える形状を生成する機能はシボデザインシステムとして重要である。しかし、一定のコンピュータアルゴリズムによって生成される形状は規則的となるため、形状生成の過程で一様乱数を適用することにより規則性を排除できるが、必ずしも自然な印象をもつ形状を生成できない。そこで、自然に内在している“フラクタル”，および“1/f ゆらぎ”といった工学的特徴を基に形状を生成することにより、自然の印象をシボ形状に付与することとした。以下に本システムで用いる“フラクタル”および“1/f ゆらぎ”について簡単に述べる。

(a) Artificial lather (b) Pear skin
(Brochure of Tanasawahakkousya Co. Ltd)

Fig.1 Texture on the industrial surfaces

* 原稿受付 平成20年9月2日

* 正 会 員 慶應義塾大学理工学部（横浜市港北区日吉3-14-1）

*** 慶應義塾大学大学院（現、キヤノン（株）；東京都大田区下丸子3-30-20）

Fig.2 Generation method of "Geometric fractal"

Fig.3 $1/f$ fluctuation

2.1 フラクタル

海岸、木の枝別れ、雲の表面、雷、微視的な凝集体、星雲などの形状は自己相似性があり、フラクタルとよばれている。フラクタル形状(図形)は、代数的フラクタル¹⁾、確率的フラクタル^{2),3),4)}、幾何学的フラクタル^{5)~7)}に分類される。これらは、パラメータの制御によって多種多様な図形を生成することが可能であるが、本研究では、パラメータによる図形の制御が感覚的に可能である幾何学的フラクタルを採用し、システムの開発を行った。

幾何学的フラクタルを生成する手法はいくつか提案されているが、本研究では、複数の線分で構成される幾何形状をジェネレータとして定義し、ジェネレータを構成する各線分をジェネレータの相似形状で繰り返し置き換えていく手法を用いた。図2は、幾何学的フラクタルとして有名なコッホ曲線の生成例を示している。図2(a)に示す4本の線分から成るジェネレータを定義し、4本の線分すべてをジェネレータの相似図形で置き換えるという操作を繰り返す。図2(b)~(f)は、その置き換えを0~4回繰り返した場合の結果を示している。このように、置き換えの回数により形状の印象も変化する。本研究では、ジェネレータの形状に加えて、置き換え回数 N も形状制御パラメータとすることとした。

2.2 $1/f$ ゆらぎ

「ゆらぎ」^{8),9),10)}は様々な自然現象において確認されており、図3に示すように、横軸を周波数、縦軸をパワースペクトル密度とした両対数座標系において、パワースペクトル密度の分布によって、その特徴は、「 $1/f^0$ ゆらぎ(白色ゆらぎ)」,「 $1/f$ ゆらぎ」,「 $1/f^2$ ゆらぎ」に分類される。「 $1/f^0$ ゆらぎ」は、周波数全域において同じ程度のパワースペクトル密度をもっており、ランダム性が強い現象に現れる。「 $1/f^2$ ゆらぎ」は、特定の周

Fig.4 Generator definition

Fig.5 Procedures of 2D texture generation

波数のパワースペクトル密度が強い現象、すなわち周期的・単調な現象にみられる。「 $1/f$ ゆらぎ」は、「 $1/f^0$ ゆらぎ」と「 $1/f^2$ ゆらぎ」の中間のパワースペクトル密度分布を示す現象であり、「現象に対する期待性と意外性(刺激)が適度に現れる状態」である。現在では、科学的な理由は明確になっていないが、「 $1/f$ ゆらぎ」が人に心地良さを与えることは定説になりつつあり¹²⁾、本研究において自然な印象を付与する手法として採用することとした。

3. シボ形状構築手法

3.1 シボ基礎形状の構築

本研究では、皮革模様のようなシボのデザインを対象としており、シボの2次元模様とシボ溝の幅および深さを定義する機能が必要である。シボの2次元の基本模様をデザインするため、初めに図4に示す手順でジェネレータを定義する。ジェネレータを構成する線分数を指定することにより、初期ジェネレータが生成される。図4(a)では、線分数が7のジェネレータが示されている。生成された初期ジェネレータに対して、線分と線分の頂点(a)~(h)をマウスで移動し、要求するジェネレータ形状を定義する。図4(b)では、頂点(d)を頂点(b)に、頂点(g)を頂点(e)に移動している。その結果として、図4(c)に示すジェネレータが定義された。このとき、頂点(a)と頂点(h)はジェネレータの両端点となり、不動点となる。

シボの2次元の基本模様は、図5に示されるように、次の手順でデザインされる。

① 図5(a)に示されるように、フラクタル形状の基本となるジェネレータを定義する。

Fig.6 Examples of element layout rules

Fig.7 Defined variation of line segments

- ② 図 5(b)に示されるように、ジェネレータを構成する線分をジェネレータの相似形状で N 回置き換えて得られる形状を“シボエレメント”として定義する。
- ③ 図 5(c)に示されるように、“シボエレメント”を矩形領域内で一定の規則に従って配置し、“シボ基本形状”を定義する。

幾何学的フラクタル生成の方法に従いジェネレータの各線分をジェネレータ相似形で置き換える際に、ジェネレータの両端点は、置き換えに依存せず不動点となる。その不動点となる両端点位置を格子点とし、格子点の設定規則により“シボエレメント”の配置を容易に設定できる。図 6 は、本システムの格子点の設定規則の例を示している。同図において、黒丸が格子点、格子点に接続している線分と楕円が“シボエレメント”を示している。本システムでは、デザイン対象の特徴を表す配置規則を設定できる。例えば、皮革模様の場合、皺の方向性が存在するため、図 6(a)の配置規則を設定することにより、自然の印象に近い皮革模様を形成できる。

3.2 シボ基礎形状への $1/f$ ゆらぎの付与

シボ基礎形状は、フラクタル性質をもつシボエレメントの規則配置により定義されるため、規則的な形状となる。この規則的な印象を抑え自然な印象を与える形状として再構成するために、シボ基礎形状を構築する線分の位置、幅、深さに対して $1/f$ ゆらぎとなる成分を付与する。その再構成において、シボ基本

(a) Simple running pattern (b) Advanced running pattern

Fig.8 Examples of a running pattern

形状を構成する全ての線分の両端点に関して、座標位置、線分の幅、線分の深さに対して、座標値に応じたゆらぎ（ノイズ）成分を付与した。この結果として、線分の両端点でその幅、深さが異なるため、線分の両端点の間においては両端点の線形補間により幅と深さを決定した。

図 7 において、シボ基本形状を構成している線分が濃いハッチングで示されている。シボ基本形状の k 番目の線分端点の位置に対して Δx_k , Δy_k , 幅に対して Δw_k , 深さに対して Δz_k のゆらぎ（ノイズ）成分を付与するが、それぞれは次式(1)~(8)¹¹⁾より決定される。同式は、座標値 (x, y) より、ゆらぎ Δx_k , Δy_k , Δw_k , Δz_k を一意に導出できるため、本目的に適したゆらぎ式であるといえる。

$$\Delta x_k = \sum_i \left\{ \frac{\sin(n^{i-1} f_x(x_k, y_k, i)) + \sin(n^{i-1} f_x(y_k, x_k, i))}{n^{i-1}} \right\} \quad (1)$$

$$f_x(x_k, y_k, i) = \sin(x_k + \alpha_x \sin(\beta_x y_k) + (i-1)\gamma_x) \quad (2)$$

$$\Delta y_k = \sum_i \left\{ \frac{\sin(n^{i-1} f_y(x_k, y_k, i)) + \sin(n^{i-1} f_y(y_k, x_k, i))}{n^{i-1}} \right\} \quad (3)$$

$$f_y(x_k, y_k, i) = \sin(x_k + \alpha_y \sin(\beta_y y_k) + (i-1)\gamma_y) \quad (4)$$

$$\Delta w_k = \sum_i \left\{ \frac{\sin(n^{i-1} f_w(x_k, y_k, i)) + \sin(n^{i-1} f_w(y_k, x_k, i))}{n^{i-1}} \right\} \quad (5)$$

$$f_w(x_k, y_k, i) = \sin(x_k + \alpha_w \sin(\beta_w y_k) + (i-1)\gamma_w) \quad (6)$$

$$\Delta z_k = \sum_i \left\{ \frac{\sin(n^{i-1} f_z(x_k, y_k, i)) + \sin(n^{i-1} f_z(y_k, x_k, i))}{n^{i-1}} \right\} \quad (7)$$

$$f_z(x_k, y_k, i) = \sin(x_k + \alpha_z \sin(\beta_z y_k) + (i-1)\gamma_z) \quad (8)$$

式(1)~(8)において、 α_p , β_p , γ_p ($p=x, y, w, z$) は Δx_k , Δy_k , Δw_k , Δz_k に与えるゆらぎの程度を決定するパラメータであり、システム操作者（デザイナー）によって任意に決定される。また、 n は周波数係数で最小周波数を決定し、 i は多重度で最小周波数の i 倍までの周波数を重ね合わせることを決定している。本論文では、 $n=2$, $i=5$ と設定した。

式(1)~(8)より、シボ基本形状を構成する各線分の両端点における位置 (Δx_k , Δy_k), 幅 (Δw_k), 深さ (Δz_k) のゆらぎ（ノイズ）成分が決定されるが、これらは座標値 (x, y) で一意に定まるため、シボ基本形状を構成する各線分の接続点における位置、幅、深さの連続性を保証してゆらぎを付与することが可能となる。図 7 において、青い矢印は位置に対するゆらぎ量 Δx_k , Δy_k , Δz_k を、茶色の矢印は幅に対するゆらぎ量 Δw_k を示している。また、ゆらぎが付与された後のシボ基本形状を構成する線分を薄いハッチングで示している。しかし、線分の接続部において、図 7 に示すような線分の折れ曲がりによる隙間が発生するため、本システムでは、線分幅の $1/2$ の半径をもつ扇形を線分端点間に

Fig.9 Sequential layout of method

Fig.10 shear of elements

形成し、接続部における隙間の発生を防いでいる。

3.3 シボ形状の広域連続模様形成

シボ形状を広い面積に対して形成する場合、取り扱いやすい適当な大きさの矩形面積に形成されたシボ基本形状を連続模様となるように配置し、広い面積におけるシボ形状を構築する手法を採用した。配置方法は、図 8(a)に示すように、矩形（太破線）の頂点を一致させて配置するパターンと、同図(b)に示すように、矩形（太破線）の頂点を矩形の稜線上に配置するパターンのいずれかを選択できる。この配置において、適当な矩形面積に形成されたシボ形状が連続模様として接続されるように下記の処理を行った。

(1) 矩形の頂点を一致させて配置する様式

図 9 において、太線枠はシボ基本形状を形成している 1 つの矩形領域を示している。矩形領域の左右および上下に同じシボデザインの矩形領域を配置したとき、シボ模様が連続となるように矩形領域にシボ基本形状を形成しなければならない。矩形領域内に格子点を設定し、“シボエレメント”を配置するが、図 9 の右側ハッチング部分に示されるように、矩形領域外に存在している隣接格子点までのシボエレメント模様を切り取り、図 9 の左側のハッチング部分に示されるように、矩形領域内の反対側に存在する格子点に接続するように配置する。この処理により、矩形領域を左右に連続して配置したときに、シボ模様が連続となる。上下の配置についても同様の処理を行うことにより、左右、上下の配置に対して連続模様を形成できる。

(2) 矩形の頂点を矩形の稜線上に配置する様式

矩形領域の頂点をその稜線上に配置する場合、すなわち、矩形領域のコーナ点を一致させずに配置する場合、矩形領域を配置する際のコーナの移動量（ずれ量）の最小単位は格子点間隔とする。このことにより、図 10（太実線が矩形領域の境界を示す）に示すように、シボ模様を連続的に接続することが可能になる。

(3) ゆらぎの付与に対する処理

3.2 節で述べたように、シボ基本形状の形成において、シボ基本形状を構成する線分の位置、幅、深さに対して、式(1)～(8)より導出される位置(x, y)に応じたゆらぎ成分が付与される。しかし、その成分を単純に付与した場合、シボ基本形状を形成して

Fig.11 Positional relation of sequence

Fig.12 Interface of setting generator

いる矩形領域を左右、上下に連続配置したときに、その接続部分においてゆらぎ成分が異なるため、シボ模様が連続とならない。そこで矩形領域を連続配置したとき、接続部分でゆらぎ成分が同一の値になるようにするため、式(1), (3), (5), (7)が矩形領域の横幅・縦幅に対して周期関数となる条件を与えることとした。式(1)が周期関数となる条件は、式(1), (2)より、次式(9)となる。

$$f_x(x_k, y_k, i) = f_x(x_k - T_x, y_k - T_y, i) \quad (9)$$

ここで、 T_x, T_y は、 x 方向（左右）、 y 方向（上下）の周期である。これより、 $T_x = T_y = 2\pi k$ (k は任意の整数)およびパラメータ β は整数という条件を得る。本システムでは、矩形領域の横幅および縦幅を $2\pi k$ とし、パラメータ β を可変（整数）とした。式(3), (5), (7)に関しても、同様の処理を行った。このことにより、矩形の頂点を一致させて配置する様式において、ゆらぎを付与した場合でも、矩形領域の左右、上下の配置に対してシボ模様の連続性が保証される。矩形の頂点を矩形の稜線上に配置する様式においては、以下の処理を行った。

矩形の頂点が稜線上にある場合、矩形領域の配置の位置関係から、図 11（太線が矩形領域の境界を示す）において細実線もしくは細破線で結ばれる矩形境界点でゆらぎ成分が一致することが必要である。そこで、矩形の頂点を一致させて配置する場合の処理に換えて、式(1)の代わりに式(10)によりゆらぎ成分を導出することとした。

$$\Delta x = \sum_i \left\{ \frac{\sin(n^{i-1} f_x(x_k, y_k - mx_k, i)) + \sin(n^{i-1} f_x(y_k - mx_k, x_k, i))}{n^{i-1}} \right\} \quad (10)$$

式(10)において、パラメータ m は図 11 における細実線もしくは細破線の傾きを表している。この処理により、直線 $y = mx$ 上の点のゆらぎ成分は式(1)でゆらぎ成分を導出した場合の x 軸上の成分と等しくなる。矩形の頂点を一致させて配置した場合では傾き m が 0 となり、式(10)は式(1)を内包した表現であり、式(10)

Fig.13 Interface of setting lattice and element

Fig.14 Interface of setting fluctuation

Fig.15 Output of film for photoetching

でどちらの様式も扱うことが可能となる。式(3), (5), (7)についても同様の変更処理を加えることにより、矩形の頂点を矩形の稜線上に配置した際も連続シボ模様として形成できる。

4. システム構築と結果

本システムは、ジェネレータの定義とジェネレータからフラクタル形状を構築する“シボエレメント定義モジュール”，格子点およびシボエレメントの配置を制御してシボ基本形状を構築する“シボ基本形状構築モジュール”，シボ基本形状に対してゆらぎを付与する“ゆらぎ付与モジュール”，シボ形状の描画およびデータ出力を処理する“出力モジュール”の4つのモジュールから構成されている。これらのモジュールに適したユーザインターフェースを構築し、モジュールが相互に情報を共有しながら各モジュールの機能を達成する。

4.1 シボエレメント定義モジュール

本モジュールは、シボ基本形状を構成するシボエレメント形状を定義する。シボエレメントはジェネレータから構築される。図12はジェネレータを直感的に定義するためのユーザインターフェースを示している。図12に示すように、ジェネレータを複数線分（線分数は任意に設定可能）で定義し、マウスによるドラッグ&ドロップ操作により各線分の接続点を移動し、ジェネレータ形状を定義する。ジェネレータの各線分をジェネレータの相似形で置き換えることによりシボエレメントが形成されるが、その置き換え回数も任意に指定できる。

4.2 シボ基本形状構築モジュール

本モジュールは、格子点およびエレメントの配置規則の制御により、シボ基本形状を構築する。それぞれ数種類の配置規則を用意している。図6は、その配置例を示している。図6(a)と図6(b)，図6(c)と図6(d)は、それぞれ同じ格子点配置であるがエレメントの配置規則が異なっており、格子点とエレメントの配置規則の指定により、多様な配置構成を可能としている。格子点に関しては配置数と配置パターンが、エレメントに関しては配置の向きとパターンが制御できるパラメータとして設定されている。図13は、そのユーザインターフェースを示している。

4.3 ゆらぎ付与モジュール

本モジュールは、3.2節、3.3節で述べたゆらぎ付与方法に基づき、シボ基本形状構築モジュールで構築されたシボ基本形状に対してゆらぎ成分を付与するためのパラメータを処理し、ゆらぎを含んだシボ基本形状を構築する。したがって、構築されたシボ基本形状を連続配置したときにシボ模様は連続となり、広域における連続シボ模様の形成が可能となる。図14は、本モジュールのユーザインターフェースを示しているが、ゆらぎを付与する要素（線分の位置，線分の幅，線分の深さ），ゆらぎ成分を導出するための式(1)～(8)に必要なパラメータ α ， β ， γ およびゆらぎの強度などを対話的に入力できる。入力情報を基

に位置応じたゆらぎを導出し、シボ基本形状構築モジュールで構築されたシボ基本形状にゆらぎを付与し、最終的なシボ基本形状を形成する。

4.4 出力モジュール

本モジュールでは、形成されたシボ基本形状の画面表示および加工のためのデータ出力を行う。金型に対するシボ加工は、一般的にフォトエッチングにより行われている。本モジュールでは、図15に示すように、フォトエッチングのプロセスに対応し、加工深さに応じたフォトエッチング用フィルムデータの出力を可能としている。また、シボデザインをラピッドプロトタイプングにより実モデルとして造形し評価することを実現するために、STLデータによる出力も可能とした。加えて、今後、シボ加工がマシニングセンタやロボットにより金型成形面に直接加工する方法も期待されているため、NCデータとしての出力も可能している。

4.5 結果例

本システムにより得られたデザイン例を図16(a)～(f)示す。同図は、得られたシボ基本形状データを元にバンプマッピングテクスチャとしてレンダリング表示したものである。図16(a)～(c)は1/fゆらぎ成分を含まないデザイン結果であり、図16(d)～(f)は図16(a)～(c)に示される形状に対して1/fゆらぎ成分を付与したデザイン結果を示している。このように、本システムは、簡易な操作で多様なシボデザイン解を導出でき、そのデザインに対してゆらぎ成分を付与することにより印象の異なるデザインを得ることが可能であった。

5. 結 言

自然界に内在する性質であるフラクタルおよび1/fゆらぎを複合的に適用してシボ形状（テクスチャ）をデザインするシステムを構築した。同システムは，“シボエレメント定義モジュール”，“シボ基本形状構築モジュール”，“ゆらぎ付与モジュール”，“出力モジュール”から構成されており、以下に得られた成果を示す。

- (1) ジェネレータから幾何学的フラクタルを生成する手法を応用して、シボ形状のエレメントとなる形状を定義するモジュールを構築した。
- (2) シボエレメントを構築するジェネレータは、ユーザインターフェースにより、直感的に簡易な操作で定義可能である。
- (3) 格子点を設置し、その間にシボエレメントを配置する手法により、直感的な操作によりシボ基本形状を構築するモジュールを構築した。
- (4) 格子点の設置パターンとシボエレメントの配置パターンの指定により、多様なシボ基本形状の構築が可能となった。
- (5) シボ基本形状を構成する線分の位置，幅，深さに対して、1/fゆらぎ成分を付与するゆらぎ付与モジュールを構築した。

Fig.16 Examples of wrinkle pattern (texture) generation

- (6) $1/f$ ゆらぎ成分を付与することにより，規則的な印象となるデザインを避けることができた。
- (7) シボ基本形状は，それが形成されている適当な大きさの矩形領域を連続的に配置することにより，広域における連続シボ模様の形成を可能とした。
- (8) 4つのモジュールの統合システムにより，新規性，多様性，自然性の高いシボデザインシステムを実現できた。

今後，本システムによりデザインされたシボ形状が，自然な印象の観点で，どの程度のデザイン性を向上させているかについての評価および検討が必要である。また，本システムではシボデザインを制御するパラメータが多く自由度が高すぎ，デザイナーの負担となることが考えられるため，今後，感性言語（印象語）でシボデザインを制御できるシステムの開発に取り組む予定である。

参考文献

- 1) Jones, J, D: Three unconventional representations of the Mandelbrot set. *Computers & Graphics*, **14**, 1, (1990) 127.

- 2) Kappraff, J: The geometry of coastlines: A study in fractals, *Computers & mathematics with applications*, **12**, 3/4, (1986) 655.
- 3) Nikora, V, I, Sapozhnikov, V, B: River Network Fractal Geometry and Its Computer Simulation, *Water Resources Research*, **29**, 10, (1993) 3569.
- 4) Nagashima, K: Computer generation of eroded valley and mountain terrains, *Visual Computer*, **13**, 9/10, (1997) 456.
- 5) Fielding, A: Applications of fractal geometry to biology, *CABIOS: Computer applications in the biosciences*, **8**, 4, (1992) 359.
- 6) Gujar, U, G, Bhavsar, V, C, Choi, S, Y, M, and Kalra, P, K: Traversed Geometric Fractals, *IEEE computer graphics and applications*, **13**, 5, (1993) 61.
- 7) Casey, S, D, and Reingold, N, F: Self-Similar Fractal Sets: Theory and Procedure, *IEEE computer graphics and applications*, **14**, 3, (1994) 73.
- 8) Casaleggio, A, Pestelli, S, Mela, G, S, Ridella, S: Some results on a fractal-like behaviour of ECG signals, *Computers in Cardiology*, 1988, (1989) 421.
- 9) Oguchi, K, Tsukamoto, H, Seki, H and Agu, M: $1/f$ Fluctuation control of illuminance for comfortable luminous environments, *Conference Record of the 1991 IEEE Industry Applications Conference*, 1991, 2, (1991) 1870.
- 10) Mineshige, S, Ouchi, N, B, and Nishimori, H: On the Generation of $1/f$ Fluctuations in X-Rays from Black-Hole Objects, *Publications of the Astronomical Society of Japan*, **46**, 1, (1994) 97.
- 11) 桃井貞美：CGによる質感表現のための3次元連続な揺らぎの生成手法，長野県情報技術試験場研究報告，16，(2000) 23.
- 12) 武者利光：人が快・不快を感じる理由，河出書房新社，(1999) 12.