研究論文：論文

感性を反映できるフォント自動作成システム

村山浩之^{*+}, 萩原将文^{*}

^{*}慶應義塾大学 理工学部 情報工学科, ⁺現在、日本 IBM

AUTOMATIC FONT CREATING SYSTEM REFLECTING USERS' KANSEI

Hiroyuki MURAYAMA^{*+} and Masafumi HAGIWARA^{*}

^{*} Keio University, 3-14-1 Hiyoshi, Kohoku-ku, Yokohama 223-8522, Japan ⁺ Now working for IBM Japan.

Abstract: In this paper, we propose a system that automatically creates fonts which reflect a user's kansei and outputs them by inputting some impression words about fonts. The proposed system consists of two major parts, creating fonts part and evaluating fonts part, and it operates based on genetic algorithm (GA). In the evaluating fonts part, the system calculates the fitness value of the font created in the creating fonts part. In the creating fonts part, some font parameters are added to the basic data of characters such as control points. These font parameters are expressed as a gene and it is possible to create various fonts by means of GA operations. The evaluating fonts part estimates the impression of the created font using fuzzy rules. And the system calculates Euclidean distance between the user's inputs and the values that the system infers as the fitness value. By repeating these processes, the system creates the font which the user desires. In addition, the system can adjust to the user's kansei by introducing the learning based on his/her absolute evaluation. The validity of the proposed system is confirmed by experiments in respect of the following points: Euclidean distance between the user's evaluation and the estimation of the system, the adaptability of the system to individual kansei and the variety of fonts that the system creates.

Keywords: *Fonts, Automatic creating*

1. はじめに

コンピュータと人間との相違点の一つとして、感性の有無が挙げられる。そのため、この人間の持つ感性をコンピュータ上で実現することができれば、柔軟なヒューマンインタフェースとして様々な分野において役立つと考えられる。近年そのような考えのもと、人間の感性情報を工学的に取り扱う感性工学の研究が盛んに行われている[注 1-5]。このような感性を扱ったシステムの例として、人間の感覚に沿った情報検索システムや物事の発想やデザインなどの支援を行うシステムがある[注 6-9]。なかでもこのデザインに関する研究は、近年の個人の好みの多様化に伴い、工学的ニーズも高く関心を集めている。

デザインにおいて、人が受ける印象の異なるものの一つとしてフォントがある。フォントとは、統一的なデザインで共通化された文字セットのことをさす。近年のパーソナルコンピュータの普及に伴い、ドキュメント作成やホームページ作成などでフォントを自分で選択して利用する機会が多くなってきている[注 10-14]。また、この他にもフォントはゲームや液晶パネル付き家電など幅広く利用され、フォントが身近な存在となっている。これらはフォントを変更すると、文章から受ける印象が異なるものとなる。そのため、ユーザの中にはいろいろな種類のフォントや個性的なフォントを利用したいといった要求も潜在していると考えられる。しかしながら、従来のフォント作成方法は、フォントデザイナーが試行錯誤しながら一文字ずつ作成するといった方法が一般的であ

るため、既存のフォントの大半はデザイナーの手によって作成されたものである[注 12]。このように作成された既存のフォントはデザイナーの感性に依存しており、必ずしもユーザ自身が求めているフォントであるとは限らない。また、自らが望むフォントを、フォントデザイナーの多くが利用しているような多機能・高性能なフォント作成ツールを用いて作成するにはセンスや専門知識が必要となり、一般ユーザにとっては大きな負担となる。

一方で、こうしたユーザの要求から個性を反映するものとして、ユーザの筆跡に近い手書き風のフォントを作成するという研究がある[注 15-18]。しかしながら、これらの目標は手書き風の文字であるため、作成できるフォントの傾向が似たものになってしまい多様性に欠けるといった面がある。また、フォント作成を支援するシステムの研究もされている[注 19]。これはユーザが感性を反映させる際の手段にはなりうるが、何もない状態からどのように感性を反映すればよいのかといったことは教えてくれない。その他にも、フォントに関する研究は多数なされているが[注 20-21]、フォントと人間の感性とを関連付けているものは非常に少ない。

本論文では、フォントに関する印象語を入力として与えると、ユーザ個々の感性を反映したフォントを自動作成し出力する「感性を反映できるフォント自動作成システム」を提案する。提案システムの大枠は宮崎らや尾畑らの手法[注 8-9]をもとにしている。これらの手法を利用することにより、一般的な観点からのフォントと印象語の関係をもとに、学習に

よってユーザ個々の感性に適応することができる。提案システムでは、実際にフォントを作成する手段として、TeX で利用することができる METAFONT [注 22] を使用している。

以下、2. で提案システムについて説明し、3. では評価実験について述べ、4. を結論とする。

2. 提案システム

2.1. 提案システムの概要

提案システムの概要を図 1 に示す。提案システムは、文献 [注 8-9] のシステムを参考とした構成となっており、大きくフォント作成部とフォント評価部の二つからなる。システムは、大域的な複数の解を得ることができ、多様なデザインで作成可能な遺伝的アルゴリズム [注 27-28] の流れで動作する。提案システムで用いる遺伝的的操作は、エリート保存、選択淘汰、2 点交叉、突然変異といった通常の遺伝的アルゴリズムと同じものである。

提案システムのユーザインタフェースを図 2 に示す。本論文では、印象語として 8 対 16 語の形容語を用いている。これらはフォントに関する印象語を集め因子分析した研究 [注 25-26] において、因子空間上で互いに離れた言葉を選択した後、それらに対して 15 人にアンケートを行い、その結果よりユーザがイメージしやすい印象語として選んだものである。

ユーザは入力として図 2 にあるスライダーを用いて、どのようなフォントが欲しいかといった印象語に対する要求の度合いをシステムに与える。ここでは、各印象語におけるスライダーの強弱の度合いに対して -1 から 1 の値を割り当てている。

このようなユーザからの入力を受け、システムは実際にフォントをいくつか作成し、ユーザに提示する。システムの一連の動作は次のとおりである。まず、フォント作成部において、遺伝的的操作を用いて様々なフォントの作成を行う。そして、フォント評価部ではファジィルールを利用し、作成されたフォントがユーザの入力した印象に近いかどうかといった評価を行う。ユーザの入力に近いフォントは、次の世代に残る可能性が高く、こうした処理を繰り返すことにより、ユーザの要求するフォントを得ることができる。さらに、提案システムではユーザ個々の感性に適応するために、ユーザの絶対評価による学習法を取り入れている。ユーザは出力されたフォントに対し、印象の評価値を入力する。このユーザの評価はフォント評価部のファジィルールに反映される。このような学習が行われることにより、ユーザ個人個人の感性に適応したフォントが作成されることを可能としている。以下、フォント作成部、フォント評価部及びユーザ個々の感性への適応を行う学習について詳しく説明する。

2.2. フォント作成部

フォント作成部では、文字基本情報に様々なフォントパラメータを付加することによりフォントを作成している。図 3 に文字基本情報とフォントパラメータの遺伝子表現の概略図を示す。このフォントパラメータを遺伝子表現し、それらを多数用意する。そして、その遺伝子群に遺伝的的操作を加えることにより様々な種類のフォントを作成することを可能とし

図 1: 提案システムの概要

図 2: 提案システムのユーザインタフェース

図 3: 文字基本情報とフォントパラメータ

ている。

まず、文字基本情報について説明する。文字基本情報とは、文字自体を構成する制御点情報と、それらの制御点をどのような順番で結んでいくかといったストローク情報から成り立つ。各文字は、図 3(a)にあるような座標(0,0)と(w,h)を対角とするバウンダリボックスの中に収まるように設定する。そして、各制御点を横の大きさを表す w と縦の大きさを表す h で表現する。このように制御点を表すことにより、横や縦の大きさを変化させた場合でも対応することができる。今回の実装例では、文献 [注 23-24] を参考に制御点、ストロークを決定した。このような基本情報を文字ごとに用意し、フォ

トの特徴量であるフォントパラメータを加えて統一的なデザインで共通化した文字セットであるフォントを作成する。フォントに新しい文字を追加したい場合には、その文字の文字基本情報をシステムに追加することで文字を追加することができる。

次にフォントパラメータについて説明する。提案システムでは、様々なフォントパラメータを一つの個体として遺伝子で表している。フォントパラメータの例として、後述する実装例に用いたフォントパラメータの一例を以下に示す。

- ・ストローク系

ストローク形状パラメータ、太さパラメータ

- ・制御点系

縦横比パラメータ、回転角度パラメータ

- ・装飾系

飾りパラメータ、模様パラメータ

ここでは、わかりやすいように各パラメータを、ストローク系パラメータ、制御点系パラメータ、そして装飾系パラメータの大きく三つに分けている。ストローク系とは、制御点の結び方に関するパラメータであり、制御点系は文字基本情報の制御点に対し直接変化を加えるパラメータである。また、装飾系は文字の装飾に関するパラメータである。ここで挙げたそれぞれのパラメータについて簡潔に説明していく。

ストローク形状パラメータは、文字基本情報のストローク情報に対して白抜きや影付きの線など、どのような形で結ぶかを決定するパラメータである。太さパラメータは、線の基本となる太さを決定する。また縦横比パラメータは、縦の大きさに対する横の大きさであり、この値が大きいほど横長の文字になる。回転角度パラメータは、各制御点を回転させる角度を表す。そして、飾りパラメータは、文字のアウトラインが変化するセリフなどの飾りを決定し、模様パラメータはストライプや星形などの模様を決定する。

このようなパラメータをすべての文字に適用することによりフォントを作成している。また今回の実装例では、全 11 種類のフォントパラメータを用いているが、こうしたパラメータをさらに追加することにより、より多様なフォントを表現することが可能である。

このような遺伝子表現されたフォントパラメータの遺伝子群に対して遺伝的操作を加える。そして、次のフォント評価部において作成した各フォントの評価を行う。

2.3. フォント評価部

次に、フォント評価部について説明する。フォント作成部で作成された各フォントは、このフォント評価部でその評価が行われる。ここでは、改良型ファジィルール [注 8-9] を利用してフォントから受ける印象を求め、その印象とユーザの入力した印象との距離、つまり適応度の計算を行う。

ファジィルールは、言語的・定性的な情報を定量化することができるといった特徴を持っており、これを用いることによりエキスパートの知識や、経験的、感覚的なルールを取り扱うことが容易となる [注 28-29]。フォント評価部では、感性を取り扱う手法としてこのファジィルールを利用している。

図 4：ルール前件部のメンバシップ関数

後で述べる実装例で使用したファジィルールの総数は 32 個であるが、ルールさえ用意すれば同様の枠組みで新しいルールの拡張が可能である。

ルールの形式としては、前件部にフォントの特徴量の条件を記し、後件部に各印象語への得点を記述する。

Rule r : if x_1 is L_{1r} and x_2 is L_{2r} ... (前件部)

then I_1 is K_{1r} and I_2 is K_{2r} ... (後件部)

ここで前件部における x_l は特徴量、 L_{lr} は特徴量を表すラベルである。このラベルに対応するメンバシップ関数の形状を図 4 に示す。メンバシップ関数 $f_{lr}(x_l)$ は、できるだけ簡単に表現するために、次式に示すような台形型を用いた。

$$f_{lr}(x_l) = \begin{cases} \frac{x - a_{lr}}{b_{lr} - a_{lr}} \vee 0, & x_l < b_{lr} \\ 1, & b_{lr} \leq x_l < c_{lr} \\ \frac{-x + d_{lr}}{d_{lr} - c_{lr}} \vee 0, & c_{lr} < x_l \end{cases} \quad (1)$$

後件部における I_k は印象語 k への度合、 K_{kr} は印象語 k に対するルール r の得点であり、 $-1 \leq K_{kr} \leq 1$ である。ルール r の前件部に設定した条件が印象語 k を満たす場合には K_{kr} は正の値を取り、逆の印象を与える場合には負の値をとる。また、前件部の条件が印象語 k と無関係であれば K_{kr} は 0 とする。

後述する評価実験用の実装例では、フォントに関する印象語 8 対 16 語に関して 32 個のルールを使用している。これらのルールは、フォントの特徴量を変化させた場合どのように感じるかといったアンケートを行い、その結果からフォントに関する知識として求めたものである。以下にルールの一例を示す。

- ・ if ストローク形状 is 白抜き

then $I_{\text{「モダンな」}}$ = Positive Big.

- ・ if 太さ is LARGE

then $I_{\text{「女性的な」}}$ = Negative Big.

- ・ if 縦横比 is LARGE

then $I_{\text{「暖かみのある」}}$ = Positive Big.

- ・ if 回転角度 is SMALL

then $I_{\text{「落ち着いた」}}$ = Negative Small.

先のルール例では、後件部の値を "Positive Big"、"Negative Big" のように表現したが、実際にはこれらのラベルに対応するような得点 K_{kr} が与えられる。

ルール r への適合度 g_r は、次式で示すように前件部のすべ

図5：ルール後件部の変更

ての条件に関するメンバシップ値の積で与えられる。

$$g_r = \prod_i f_i(x_i) \quad (2)$$

そして、すべてのルールの推論結果を統合することにより、作成したフォントに対する各印象語への印象の度合いが計算される。推論結果の統合方法としては、次式のようなルールへの適合度 g_r による得点 K_{kr} の重み付き平均を用いている。

$$I_k = \frac{\sum_r |g_r K_{kr}|^p g_r K_{kr}}{\sum_r |g_r K_{kr}|^p} \quad (3)$$

ルールを統合する際に、次の二点について考慮すべきである。ルールに対する適合度が、印象の強さに対して影響を与えるということ、および人間は印象の強いものにより強く注目し、弱い印象に対してはほとんど関与しないといったことである。式(3)のルール統合式は、 p を大きくするほど小さな推論値をさらに弱めることができる。そのためこのような式を用いることにより、これら二点を解決することができる。

そして、印象の評価に関する個体の適応度を求める。各印象語の推論結果とユーザが入力した印象語の度合いとのマッチングを行い、その近さを適応度とする。各個体の適応度 fit は次式のようなユークリッド距離により求めている。

$$fit = dist(I_{user}, I_{sys}) = \sqrt{\sum_k (I_{k, user} - I_{k, sys})^2} \quad (4)$$

ここで、 I_{user} 、 I_{sys} はそれぞれ各印象語に対してのユーザの入力値とシステムとの推論値を並べたベクトルである。このような適応度を作成したフォントごとに計算する。遺伝的アルゴリズムより、これらの作成されたフォントの中で適応度が高いものは次の世代に残る可能性が高くなる。

2.4. ユーザの感性への適応

フォントと各特徴を結び付けているルールは、アンケートより決定したものであるが、必ずしもすべての人に対して有

効であるとは限らない。人間の感性は、人それぞれに異なるものである。そのため、同じ印象語や同じフォントの特徴に対して少しずつ異なる部分が存在する。提案システムでは、このようなユーザの感性への適応を考慮して、出力されたフォントに対してユーザ自身が絶対評価を行い、フォント評価部におけるファジィルール後件部を変更する学習法を取り入れている。図5にルール後件部の変更の様子を示す。

システムが提示したフォントに対して、ユーザが感じる印象を評価値として図2のスライダーを用いて直接システムに入力する。印象語 k に関するユーザの評価値 $I_{k, user}$ とシステムの推論値 $I_{k, sys}$ との誤差勾配を利用してルール後件部の値 K_{kr} を更新する。この学習法を用いることにより、ユーザの評価値とシステムの推論値が近づくように推論結果の大きさを決定することができる。ルール r における後件部の印象語 k に関する更新式は次のとおりである。

$$\Delta K_{kr} = -\eta \frac{\partial}{\partial K_{kr}} \left\{ \frac{1}{2} (I_{k, user} - I_{k, sys})^2 \right\} \quad (5)$$

ここで η は学習定数である。

3. 評価実験

提案システムの有効性を確認するために評価実験を行った。各パラメータの値は、ファジィルールのべき数 $p=2$ 、個体数 50、世代数 100、学習係数 $\eta=0.3$ とした。遺伝的操作における交叉率、突然変異率はそれぞれ 0.3、0.1 とした。また、システムが1回に提示するフォントの数は四つとした。これらのパラメータは予備実験を行い、経験的に定めた。

評価実験の方法について述べる。学習前後の被験者による評価を次のような手順で行った。

1. 学習前

- (1) 任意の印象語を2から3語選択し、以後それらをシステムへの入力として固定する
- (2) 出力された各フォントに対し、入力した印象語に合致するかを5段階で評価する
- (3) 5点満点が四つ以上出るか、フォント評価が50回に達するまで上記のステップ(1)、(2)を続ける

2. 設定した印象語に対して学習を10回行う

3. 学習後

- (1) 1.で固定した印象語をシステムへの入力として固定する
- (2) 出力された各フォントに対し、設定した印象語に合致するかを5段階で評価する
- (3) 5点満点が四つ以上出るか、フォント評価が50回に達するまで上記のステップ(1)、(2)を続ける

このような評価実験を被験者10人に対して行った。学習前後の得点の分布を図6に示す。また、平均得点や出力されたフォントに対する被験者による印象値とシステム推論値の平均ユークリッド距離を表1に示す。ここで、被験者による印象値とは、出力されたフォントに対し被験者がどのような印象を受けたかを図2のスライダーを用いて入力してもらった値である。図6、表1より学習前後で、出力フォントに対す

図 6：出力されたフォントに対する得点の分布

表 1：学習前後のフォントに対する評価の推移

	平均得点	得点分散	平均ユークリッド距離
学習前	3.03	1.28	2.08
学習後	3.63	1.28	1.71

る得点は上昇しており、平均ユークリッド距離は減少していることがわかる。これらのことから、システムがユーザの感性に適応していることがわかる。

この評価実験でシステムを使用してもらったユーザの意見には、以下のようなものがあつた。

- ・自分の好みに合ったフォントが得られ、しかもそれらがすぐに使用できるのでよかった。
- ・学習によって自分の感性が徐々に反映されていく様子がおもしろかった。
- ・印象語に対して、自分が予期していなかったフォントが出力される場合があり選択の幅が広がった。
- ・初めはフォントに対する印象は漠然としていたが、具体的な形として出力されることにより自分の感性をしっかりと意識することができた。

これらの意見から、より主観的な評価においても提案システムによるフォント作成の新規性や有効性が確認されることがうかがえる。

また、実際に提案システムで作成したフォントの一例を入力した印象語とともに図 7～10 に示す。これらのフォントは、前述の評価実験で 10 人の被験者が学習を行ったルールを平均し、その平均ルールを用いて出力されたものである。図 7 のフォントが出力されるのに関わったと思われるルールの一部を表 2 に示す。ここで、表 2 のような特徴を持ったフォントを出力した理由について考える。このフォントの特徴として、以下の点が挙げられる。

- ・右方向へ傾いている
- ・横ストライプの模様が入っている
- ・太さが少し太めである
- ・飾りとしてセリフがついている

右方向へ傾いている点については次のようなことが考えられる。表 2 より傾き角が右方向へ大きいと「モダンな」とい

A	B	C	D	E	F	G	H	I
J	K	L	M	N	O	P	Q	R
S	T	U	V	W	X	Y	Z	

図 7：フォント作成結果 1 (モダンな、落ち着いた、重厚な)

A	B	C	D	E	F	G	H	I
J	K	L	M	N	O	P	Q	R
S	T	U	V	W	X	Y	Z	

図 8：フォント作成結果 2 (躍動的な、暖かみのある、素朴な)

A	B	C	D	E	F	G	H	I
J	K	L	M	N	O	P	Q	R
S	T	U	V	W	X	Y	Z	

図 9：フォント作成結果 3 (男性的な、軽快な、幻想的な)

A	B	C	D	E	F	G	H	I
J	K	L	M	N	O	P	Q	R
S	T	U	V	W	X	Y	Z	

図 10：フォント作成結果 4 (モダンな、洗練された、現実的な)

表 2：用いたルールと各印象語に対する後件部の得点

ルール番号	ルール	得点(モダンな)
18	傾き角が右へ大きい	0.67
23	飾りがセリフである	-0.45
25	模様が横のストライプ	0.72
ルール番号	ルール	得点(重厚な)
5	太さが大きい	0.80
23	飾りがセリフである	0.59

う印象語に対する得点は高いことが見てとれる。システムは、このルールを考慮し右に傾いたフォントを出力したと思われる。横ストライプ模様や太さについても同様のことが言える。次に、飾りであるセリフが付いた点について述べる。表 2 より、セリフが付くと「モダンな」という印象は、得点がマイナス値であるため小さくなる。それに対し、「重厚な」という

印象は得点がプラス値であるため大きくなる。入力には「モダンな」、「重厚な」といった印象語が与えられていることから、その両方に対しての最適解を求めた結果、セリフが付いたと考えられる。提案システムでは、このようにファジィルールを利用し作成されたフォントに対する印象を求め、入力された印象語に合ったフォントが出力される。

4. 結論

本論文では、フォントに関する印象語を入力とし、ユーザ個人個人の感性を反映したフォントを出力するフォント自動作成システムを提案した。

提案システムは、フォント作成部とフォント評価部の二つから構成されている。フォントの作成には遺伝的操作を用い、作成したフォントの印象はファジィルールを利用し評価している。各個体の適応度は、作成したフォントに対するシステムによる印象の推論値とユーザの要求との距離とした。さらに、ファジィルールに対してユーザの絶対評価による学習法を利用し、ユーザ自身の感性への適応を可能とした。評価実験を通して、ユーザの感性とシステム推論値とのユークリッド距離、学習によるユーザの個性への適応、および作成したフォントの多様性等を確認し、フォント自動作成システムとしての有効性を確認した。

注

- 1) 井口征士ほか：感性情報処理，オーム社，1994
- 2) 一松信：感性と情報処理，共立出版，1993
- 3) 長町三生：感性商品学：感性工学の基礎と応用，海文堂出版，1993
- 4) 長町三生：感性工学：感性をデザインに活かすテクノロジー，海文堂出版，1989
- 5) 特集 感性と言語の情報処理，Computer Today，83，1998
- 6) 池添剛，梶川嘉延，野村康雄：形容詞を用いた音楽データベース検索システム，情報処理学会研究報告，99，106，7-14，1999
- 7) 市野順子，千川文子，田野俊一：ユーザの感性推定によるデザイン描画支援システムの評価，ヒューマン・インタフェース・シンポジウム論文集，14，665-672，1998
- 8) 宮崎隆之，萩原将文：感性を反映できるポスター作成支援システム，情報処理学会論文誌，38，10，1928-1936，1997
- 9) 尾畑貴信，萩原将文：感性を反映できるカラーポスター作成支援システム，情報処理学会論文誌，41，3，701-710，2000
- 10) Robin Williams：ノンデザイナーズ・デザインブック，毎日コミュニケーションズ，1998
- 11) 上高地仁：標準DTP出力講座 フォント攻略編，翔泳社，1998
- 12) ミヤヂマタカフミほか：Fontgraphers，翔泳社，1999
- 13) 桑山弥三郎：レタリングデザイン，グラフィック社，1969
- 14) 白石和也，工藤剛，河地知木：タイプフェイスとタイポグラフィ，九州大学出版会，1998
- 15) 吉村ミツ，木村文隆：手書き文字の個性が現れる特性の機械的計測化とその解析，電子通信学会論文誌，J63-D，9，795-802，1980
- 16) 但馬文昭，張軍：遺伝的アルゴリズムによる個性と変動を伴った手書き風文字の生成，電子通信学会論文誌，J63-D，9，795-802，1980
- 17) Lisong Wang, Lifeng He, Tsuyoshi Nkamura, Atsuko Mutoh, and Hidenori Itoh: Calligraphy Generation Using Deformable Contours, IEICE Trans. Inf. & Syst., 82-D, 6, 1066-1073, 1999
- 18) 安本護，池田尚志，堀井洋：大域的個人性と局所的個人性に基づく手書き風フォントの生成，電子情報通信学会論文誌，80-D-II，113，2930-2939，1997
- 19) Ariel Shamir and Ari Rappoport: Feature-Based Design of Fonts Using Constraints, Electronic Publishing, Artistic Imaging and Digital Typography, Proc. of the EP'98 and RIDT'98 Conferences, 93-108, 1998
- 20) 田中哲朗，岩崎英哉，長橋賢児，和田英一：部品合成による漢字スケルトンフォントの作成，情報処理学会論文誌，36，9，2122-2131，1995
- 21) Jacky Hertz, Changyuan Hu, Jakob Gunczarowski and Roger D. Hersch: A Window-Based Method for Automatic Typographic Parameter Extraction, Electronic Publishing, Artistic Imaging and Digital Typography, Proc. of the EP'98 and RIDT'98 Conferences, 44-54, 1998
- 22) Donald E. Knuth: METAFONT ブック，アスキー出版局，1994
- 23) 大町尚友：レタリングエッセンス，日本文芸社，1981
- 24) 瀬野敏春：基本レタリング入門，日本文芸社，1994
- 25) 和爾祥隆：レイアウトハンドブック，視覚デザイン研究所，1979
- 26) 生田目美紀，石川重遠：日本語デジタルフォントの感性的評価 日本語フォントのイメージ調査例，感性評価 3，筑波大学感性評価モデル構築特別プロジェクト研究報告集，169-173，1999
- 27) 北野宏明：遺伝的アルゴリズム，産業図書，1993
- 28) 萩原将文：ニューロ・ファジィ・遺伝的アルゴリズム，産業図書，1994
- 29) 菅野道夫：ファジィ制御，日刊工業新聞社，1988