オブジェクトデザインシステム開発のための三次元円錐モデルの感性評価に関する解析

Analysis of the Kansei evaluation process on 3D conic models for development of object-design-system

森島美佳　王　少遅*　久保　洋**　魚住　超**　宮本教雄
Mika MORISHIMA　Shao-Chi WANG　Hiroshi KUBO　Takashi UOZUMI　Norio MIYAMOTO
*北海道大学　**室蘭工業大学

Abstract

In order to develop a 3D object-design-system, we intend to construct a Java-based application to serve as Kansei information processing. Designers can customize the system to design the solid primitives, such as ball, cone, cylinder, cube and taper elements, etc., by using their Kansei and then combine the reconfigured solids as an object to reflect the users' desires. In order to mine the Kansei information and construct a Kansei database in the application, Kansei evaluation for ten models of a primitive element cone was measured by the semantic differential method. Fuzzy set theory was applied to investigate the measurement results. The primitive model could be classified among four pairs of adjectives. The amount of the features of classified primitive models was defined as the Kansei evaluation variable. The machine-learning algorithm of an individual adaptation object-design-system was proposed using the Kansei evaluation variable.

Keywords: Kansei evaluation, Semantic differential method, Fuzzy set theory

１．緒言

設計業務を行う際、３次元での設計ツールを用いることにより、設計効率を向上させる能力が秘められている。1980年代に急速に普及した２次元 CAD は、90年代初頭までには大手機械系製造企業のほとんどで導入されることになった。一方、３次元 CAD の普及は、２次元 CAD のそれに比して約10年遅れて90年代中盤から加速されたが、２次元 CAD の普及よりも低いレベルで飽和する兆しをみせている［1］。この原因は、３次元 CAD を導入しても、期待したような開発効率の向上が見られないという理由による。具体的には、第１に、設計情報を取り扱う開発ツールの変更に伴い、組織構造とプロセスを変更しなければならなくなり、変更初期の効率の悪化が予測されるからである。第２に、設計者が新しいツールに合わせたスキルと技能を向上させることが必要であることによる。後者に対し、設計者のスキルと技能習得への負担を、軽減させることが、一つの解決手段であると考えられる。

本研究では、３次元設計ツールの普及を目指し、設計者（以下、ユーザと記す）各々の感性を、オンラインで理解し、対応するインタフェースの構築を目的とする。また、時代の変化とともに移り変わるユーザの感性を反映し、普遍性を有するインタフェースの構築を目指す。その基礎研究として、空間における三次元形状モデルに対する評価の過程を、ユーザ各々の感性に着目し、検討していく［2-6］。最近では、衣服デザインや人物画像に対する知的画像検索の手法として、イメージマイニングに着目した基礎的研究が進められているが［7］、視覚的特徴などの画像特徴量の抽出に留まっている［8］。システム実装を目指し、実験的な結果に基づいた系統的な提案は数少ない［9］。本論文では、様々な形状、色、大きさ等を有するプリミティブなデザインモデルを用い、視覚から影響を受ける感性評価を計測し、評価結果に対する解析方法について論ずる。さらに、感性評価の計測結果をもとに、オンラインで個人の感性を獲得するオブジェクトデザインシステムの学習機構を提案する。

２．感性評価の概略図

図１に、ユーザ群の平均的な感性を反映させたオブジェクトデザインシステムにおける、感性評価モデルの概要を示す。各ユーザは、製品開発に用いようとする対象物をイメージし、試行錯誤を繰り返しながら、設計に取り組むこととする。本研究では、以下に述べる３段階の設計手順を提案する。

第１段階として、各ユーザは PC 画面上に同一に提示された10個のプリミティブモデルを知覚することで、評価対象を認識する。第２段階では、知覚、認識したプリミティブモデルに対し、各ユーザは嗜好の観点から感性評価を行う。第３段階とし

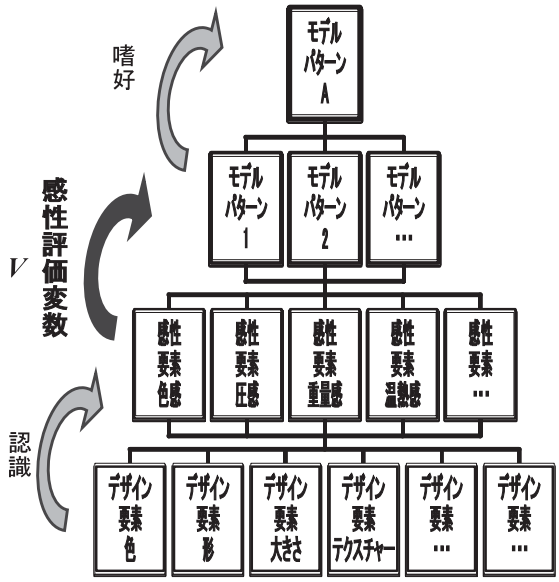


図１　プリミティブモデルに対する感性評価モデル概略図

て、感性評価がなされた各プリミティブモデルに対し、ユーザの嗜好に基づき､ユーザはプリミティブモデル一つを選択する。

システム側では、各ユーザが行った感性評価についてファジィ学習処理を行い、300個のプリミティブモデルの中から、２～３個のプリミティブモデルを画面上で提示する（第２段階)。ユーザ側では、提案されたプリミティブモデルに対し、ユーザの嗜好にマッチしたものがあれば、そのうちの一つを採用する（第３段階)。一方、提示されたプリミティブモデルに対し、ユーザの嗜好にマッチしたものがなければ、感性評価用語に対する評価得点をユーザが調整し、嗜好にマッチするものが画面上に読み出されるまで、再試行する。以上に述べたシステムを実装するために、ユーザの平均的な感性を表す感性評価変数Ｖを実験的に求める。

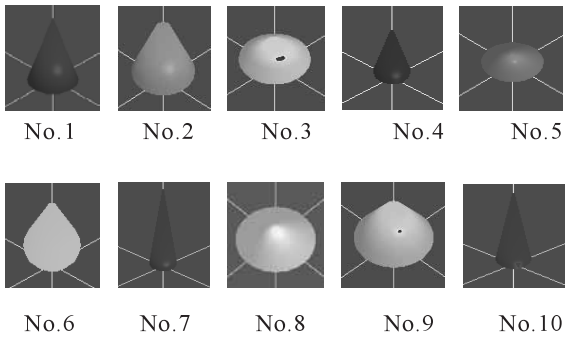


図２　感性評価対象のプリミティブモデル

３．実験

３．１．プリミティブモデルの作成

Visual C++を用い、感性評価の対象物とするプリミティブモデル300個を、事前に作成した。採用したプリミティブモデルの形状は、図形認識に関する研究分野において、一般的に用いられている円錐である［10]。色と形状については、システム実装の際の汎用性を考慮し、RGB 表色値、底面半径、高さ、

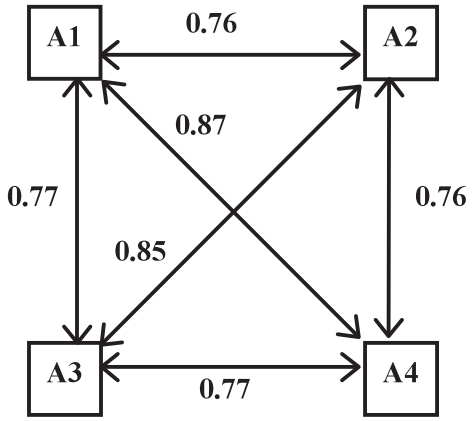


図３　プリミティブモデル No.1に対する評価用語間の類似性

Ａ１「明るさ」、Ａ２「やわらかさ」、Ａ３「あたたかさ」、Ａ４「派手さ」

表１　プリミティブモデルの特性値

プリミティブモデル番号	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6	No. 7	No. 8	No. 9	No. 10
R	134	39	112	137	102	86	152	237	54	123
G	10	193	252	40	178	235	7	212	240	23
B	230	95	28	36	91	1	184	219	209	236
高さ	106	93	36	146	12	84	150	17	54	145
底面半径	37	43	72	17	84	48	15	81	63	17
頂点丸み	2	18	14	12	2	7	3	6	18	5
底面丸み	1	11	10	8	4	26	6	1	7	9
照明 R	11	115	228	91	169	112	27	59	246	156
照明 G	163	223	197	35	16	130	59	177	96	111
照明 B	51	84	102	175	84	222	236	193	5	252

頂点丸み、および照明RGB表色値に、乱数を用いて300個作成している。

３．２．感性評価の計測方法

感性評価プロセスを解明するために、SD法を用い、プリミティブモデルに対する感性評価を計測した。計測においては、上述したプリミティブモデル300個のうちの10個を無作為に採用した。図２に、計測に採用したプリミティブモデル、表１に、採用したプリミティブモデルの特性値として、RGB表色値、底面半径、高さ、頂点丸み、および照明RGB表色値を示す。

評価用語は、A１「明るい-暗い」、A２「やわらかい-かたい」、A３「あたたかい-つめたい」、A４「派手な-地味な」の計４対の語である［11-14］。評価は、７段階評価で実施した。被験者は、CAD未経験者男性17人および女性99人の計116人である。

４．実験結果および考察

４．１　感性評価の計測結果および解析

SD法から得られた感性評価の計測結果について、曖昧な情報を取り扱うために、ファジィ集合理論を適用し、解析を行った［15、16］。被験者 S_k の感性評価用語 a_i に対する評価得点 r_{ki} について、式（１）に従い、カテゴリカル評定値 x_p を定義した。

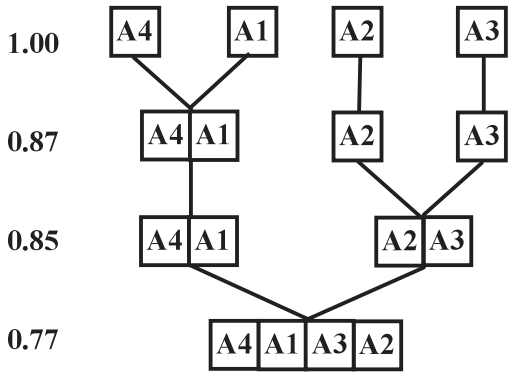


図４　プリミティブモデルNo.1に対する評価用語の分割樹形図

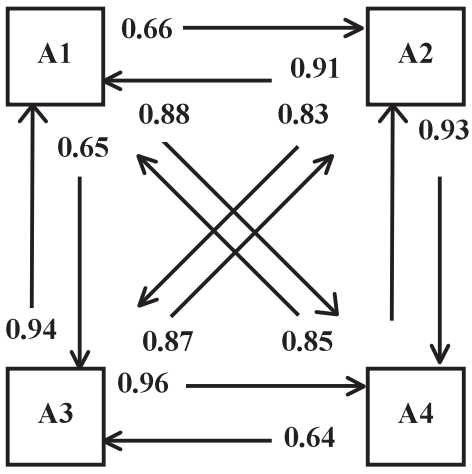


図５　プリミティブモデル No.1に対する関連構造

$$r_{ki} \in \{x_0, x_1, \cdots, x_p\} \tag{1}$$

ここで、p は評価段階数を示す。カテゴリカル評定値に基づいて決定された評価得点 r_{ki} を、式（２）に従って重み付けを行い、ニューメリカル評定値 z_{ki} を算出した。

$$z_{ki} = r_{ki}/p \in [0,\ 1),\ 0 \leqq r_{ki} < p \tag{2}$$

得られたニューメリカル評定値 z_{ki} について、ファジィ理論を適用した。式(３)を用い、ファジィ類似係数 s_{ij}，s_{ji} を算出し、評価用語間の類似性を検討した。

$$s_{ij} = s_{ji} = 1 - \frac{\sum_{k=1}^{n} |z_{ki} - z_{kj}|}{N_s} \tag{3}$$

ここで、Ns は被験者数を示す。ファジィ類似係数から、ファジィ類似構造行列 $S=(s_{ij})$，$s_{ij}=s_{ji}$ を得ることができる。n は形容詞対数を表す。図３に、プリミティブモデルNo.1に対する評価用語間の類似構造グラフを示す。得られたファジィ類似係数を用いてクラスター分析を行い、評価用語間の分割樹形図Pを、図４に示す。図３および図４から、評価用語A１「明るさ」とA４「派手さ」間には、ファジィ類似係数0.86で高い類似性があることがわかる。さらに、類似係数0.83でA２「やわらかさ」、A３「あたたかさ」とが類似性があると言える。

評価用語４対に対する感性評価順位を検討するために、得られたファジィ類似係数に基づき、ファジィ関連係数を算出し、さらに、近似構造分析を行った。まず始めに、式(３)を用い、ファジィ関連係数 t_{ij} を算出した。

$$t_{ij} = \frac{s_{ij}}{1 - \overline{z_i} + \overline{z_j}} \tag{4}$$

ここで、z_i，z_j は、ニューメリカル評定値の平均値を示す。

ファジィ関連係数から、ファジィ関連構造行列Tを得ることができる。図５に、プリミティブモデルNo.1についてのファジィ関連構造グラフを示す。得られたファジィ関連構造行列について、式（５）から（７）で定義される近似三値分析を行った。

$$p^* \in [0,\ 0.5] \tag{5}$$

$$T^* = (t_{ij}{}^*) \tag{6}$$

$$t_{ij}{}^* = \begin{cases} 1, & t_{ij} > 0.5 + p^* \\ 0, & t_{ij} < 0.5 - p^* \\ t_{ij}, & others \end{cases} \tag{7}$$

ファジィ関連構造行列 T に対して、適切な近似三値構造行列 T^*を求めるために、T と T^*の距離関数 $d(p)$を式（８）を用いて算出した。

$$d(p) = \frac{2\sum_{ij} \left| t_{ij} - t_{ij}^{p} \right|}{N_a^2 - N_a} \in [0,\ 1] \tag{8}$$

式（９）で表した $d(p) < \varepsilon$ を満たす p^*の最小値を算出し、最適なファジィ近似三値構造グラフ T^*を得た。

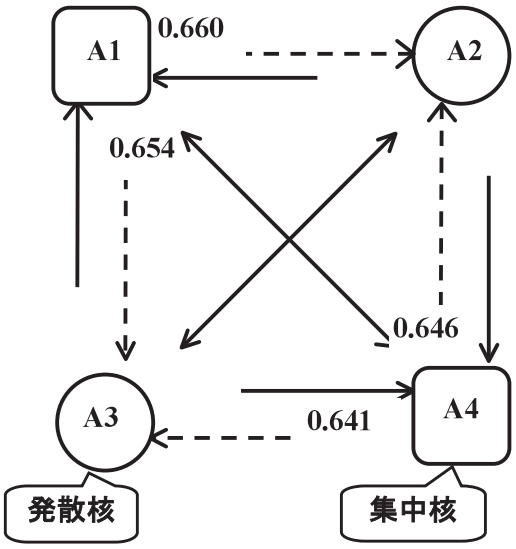


図６　プリミティブモデルNo.1に対する感性評価構造グラフΦ

$$p^* = \min\{p : d(p) < \varepsilon\} \qquad (9)$$

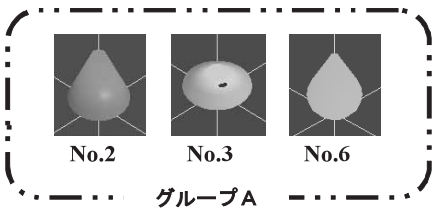
図６に、ファジィ関連構造グラフの近似三値グラフ T^*と評価用語間の類似状態を表す分割樹形図 P を総合した感性評価構造グラフϕを示す。得られた感性評価構造グラフから、A１～A４の連結性を考察した結果、発散核Ａ３、集中核Ａ４で歩道Ａ２⇒Ａ４の全域歩道を得ることができる。さらに、感性評価構造グラフϕの最短距離を考慮すると、Ａ３「明るさ」(E_1)→Ａ２「やわらかさ」(E_3)→Ａ１「あたたかさ」(E_2)→Ａ４「派手さ」(Ｅ４)の順序で、評価順位 En を決定することができる。プリミティブモデル No. ２～10についても No. １と同様の手法で解析を行った。図７に、プリミティブモデル No. １～10に対する感性評価順位を示す。図中の表左１列はプリミティブモデル番号を示し、左２～５列は評価順位に従い、評価用語Ａ１～

表２　感性評価順位とニューメリカル評定順位の一致度$N(z_4)/N$

プリミティブモデル番号	N（z_4）/N（%）
No. 1	63
No. 2	82
No. 3	73
No. 4	84
No. 5	85
No. 6	69
No. 7	75
No. 8	75
No. 9	79
No. 10	57

４を表した。これらの結果について、得られた感性評価順位 E とニューメリカル評定順位 z との対応について検討した。被験者のニューメリカル評定順位 z については、評価用語間で順位付けを行い、最も高い値を示した評定値 z４の評価用語を抽出し、集中核Ｅ４の評価用語と一致する割合 $N(z_4)/N$ を算出した。検討にあたり、ニューメリカル評定値の順位付けにおいて、同じ値を示すものも含まれることから、ユーザのプリミティブモデルの特徴を最も示すことが予測される集中核に着目した。表２に、プリミティブモデル No. １～10についての感性評価順位とニューメリカル評定値との一致度 $N(z_4)/N$ を示した。プリミティブモデル No. １～10の $N(z_4)/N$ の平均値は75%を示し、各々のユーザの感性評価順位を、よく反映している結果であると言えよう。集中核を表す感性評価順位と最も高いニューメリカル評定順位とが一致しないユーザについては、ファジィ理論に基づく平均的な感性評価とは異なることから、試行の繰り返しにより、設計上の問題は解決されることが期待される。さらに、長期的な見地からは、感性情報の蓄積により、各ユーザの意外性を、自己発見する手掛かりとなることも予測される。

プリミティブモデル No.	感性評価順位 E_1	E_2	E_3	E_4
No.1	A3	A2	A1	A4
No.2	A3	A2	A4	A1
No.3	A3	A2	A4	A1
No.4	A4	A1	A2	A3
No.5	A4	A1	A3	A2
No.6	A3	A2	A4	A1
No.7	A2	A3	A1	A4
No.8	A4	A3	A1	A2
No.9	A3	A4	A2	A1
No.10	A2	A3	A1	A4



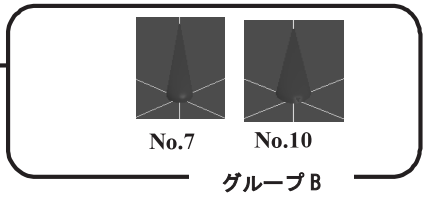


図７　プリミティブモデル No.1～10の分類結果

プリミティブモデル No. １～10に対する感性評価順位は、平均75%の被験者が、ファジィ理論に基づく感性評価順位を示すことから、システムの実装にあたり、評価用語４対に対して、同じ評価順位を有するプリミティブモデルについて、グルーピングを行った。図７中の右側に、評価対象プリミティブモデル No. １～10のグルーピング結果を示した。評価用語４対に対する評価順位の組み合わせは、24通りの評価順位の組み合わせが考えられ、本実験では７通りの評価順位が得られた。さらに、得られた評価順位においては２通りの評価順位が、グルーピングされた。10個のプリミティブモデルのうち、グループ A では No. ２、３、６、グループ B では No. ７、10が属する。また、クラスタリングに属さないプリミティブモデル No. １、４、５、８、９については、評価モデル数を増加させるとともに、ユーザの感性評価データの自動的な蓄積によりグループ化され得ることが予測される。グループ A のものは、「明るく、派手だ、そして、あたたかく、つめたい」という評価が得られる。グループ B のプリミティブモデルは、「派手で、明るく、そして、つめたく、かたい」と評価されることがわかる。グループ

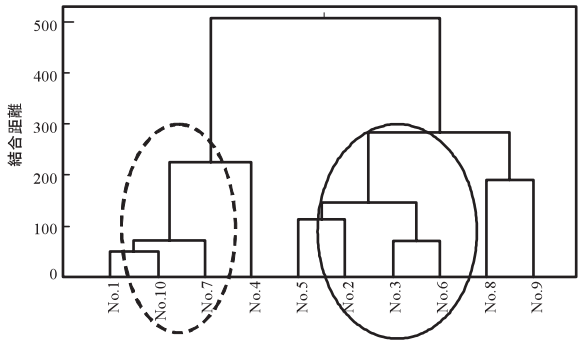


図８　プリミティブモデル No.1～10の特性値（RGB）と感性評価順位に基づくグループ化との対応

A、B の特徴量は、表色値 RGB 値に着目すると、図８に示したクラスター分析結果にも示されるように、妥当なグループ分けであることが示唆される。クラスター分析を行うにあたり、非類似度はユークリッド平方距離、結合手法はウォード法を採用した。

以上の解析手順でグルーピングされたプリミティブモデルに対する感性評価プロセスの特徴量を、感性評価変数 V とし、ユーザの感性が反映されるオブジェクトデザインシステムへの採用方法を、次項に提案する。

４．２　デザインシステムの提案

図９に、オブジェクトデザインシステムの実装にあたり採用する感性評価変数 V について述べる。はじめに、ユーザ側が設計しようとイメージしたプリミティブモデルに対する感性（例：かたく、つめたく、明るく、派手なモデル）を PC 側に要求する。要求に対し、あらかじめ用意された平均的感性のプリミティブモデルを提示する。ユーザは、画面上に提示されたプリミティブモデルに対し、個人的感性評価を行う。このときの学習アルゴリズムには、式（10）から（12）を採用する。

$$V = f(s_1 a_1, s_2 a_2, \cdots, s_n a_n) \tag{10}$$

$$V = s_1 a_1 + s_2 a_2 + \cdots + s_n a_n \tag{11}$$

$$s_1 + s_2 + \cdots + = 1 \tag{12}$$

ここで、V は感性評価変数を表す。s は、ファジィ類似係数、a は感性評価用語である。V は、ファジィ類似係数 s と感性評価用語 a で表現され、評価用語数 n に応じる n 次の式を得ることができる。式（11）において、ファジィ類似係数 s は、集中核を基準値とし、式(12)で示される拘束条件を有する。よって、感性評価計測において用いた円錐 No. 1については、s_1=0.86、s_2=0.75、s_3=0.78、s_4=1.00となる。以上の手順で得られた感性評価変数 V を、データベース上でのマッピング関数とし、データベースへ個人のユーザの感性情報を蓄積する。同時に、そのユーザの感性を表現するであろうプリミティブモデルのクラスターを推論して読み出す。読み出されたプリミティブモデルのクラスターに対し、ユーザの嗜好に見合い、満足するものが存在すれば、採用するモデルが決定される。一方、ユー

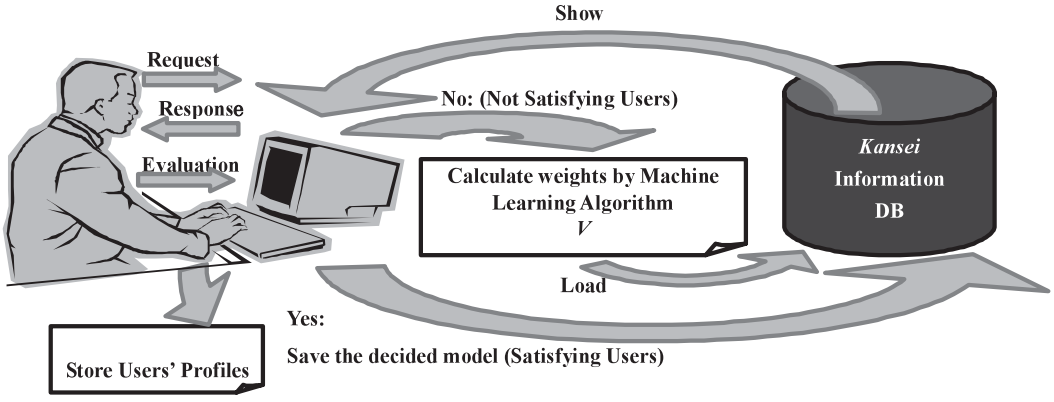


図９　感性評価を反映させたオブジェクトデザインシステムの概要

ザの感性にマッチするものがなければ、感性および嗜好に見合うものがあるまで、試行を繰り返す。以上のオブジェクトデザインシステムを実装することにより、コンピュータ上で仮想的に試作することが可能となり、設計図面を作成しやすくなることが期待される。

5．結言

ユーザの感性を、オンラインで理解し、対応するインタフェースの構築を目指し、プリミティブモデルを用いて、感性評価の計測を行った。計測方法はSD法を用いた。感性評価用語4対、評価対象にはコンピュータ上で設計した3次元プリミティブモデル10個を採用した。

ユーザの感性評価計測の結果について、ファジィ理論を適用した。各プリミティブモデルに対し、ユーザが感性評価を行う際の評価順位を、算出することができた。その結果、10個のプリミティブモデルのうち、同じ評価順位を有するものを、2つのクラスターに分類した。各クラスターにおける感性評価順位に基づき、感性評価変数を算出し、それをマッピング関数としてオブジェクトデザインシステムに採用することを提案した。以上に述べた解析手順を有するオブジェクトデザインシステムにより、コンピュータ上で仮想的に試作することが可能となり、3次元設計における設計図面を作成しやすくなることが期待される。

引用文献

1．延岡健太郎、竹田陽子、青島矢一、Computer Today、112、53-57（2002）
2．S.-C. Wang, H. Kubo, H. Hikita, Y. Sato and T. Uozumi: Proc., Int., Symposium: Toward a Development of KANSEI Technology, KANSEI 2001, 215-218（2001）
3．王少遅、久保洋、サテライトベンチャービジネスラボラトリー　平成13年度年報、vol. 3、45-48（2001）
4．S.-C., Wang, H., Kubo, H., Hikita, T., Uozumi and T. Ifukub, 2002 International Symposium on Emotion and Human Sensibility Joint Conference, 266-268, PUSAN, Korea, 17-18（2002）
5．王少遅、森島美佳、久保洋、疋田弘光、井野秀一、伊福部達、ヒューマンインタフェースシンポジウム2002予稿集、511-514（2002）
6．森島美佳、王少遅、久保洋、魚住超、日本感性工学会第4回日本感性工学会大会発表予稿集、F23（2002）
7．吉田真澄、ヒューマンインタフェースシンポジウム2002講演会資料、pp. 110-125（2002）
8．辻　幸恵、第15回繊維連合研究発表会後援集、p. 205（2002）
9．高寺政行、日本感性工学会第4回日本感性工学会大会発表予稿集、pp. 76-77（2002）
10. Long Quan: Conic Reconstruction and Correspondence From Two Views, IEEE TRANSACTIONS ON PATTERN ANALYSIS AND MACHINE INTELLIGENCE, VOL18, NO.2, 151-160（1996）
11. 徳丸正孝、山下一美、電子情報通信学会論文誌 D-Ⅱ、Vol. J83-D-Ⅱ、No. 2、680-689（2002）
12. M. TOKUMARU, N. MURANAKA, S. IMANISHI, 2002 IEEE World Congress on Computational Intelligence, 378-383（2002）
13. 藤林俊彦、徳丸正孝、村中徳明、今西茂、日本感性工学会第4回日本感性工学会大会発表予稿集、P163（2002）
14. 小林重順、感性情報処理、オーム社、37-61（1994）
15. 洲之内治男、山下元、ファジィ情報分析、共立出版社（1995）
16. 山下元、西村和子、勝又保雄、津田栄、電子情報通信学会技術研究報告、ET89-109（1989）