

## 機能性の評価を考慮した意匠設計支援システムの開発

佐藤央 久保田直行

首都大学東京大学院 システムデザイン研究科

近年、製品に対するユーザの要求の多様化に、製品の意匠を個人でデザインできるように支援をする方法が研究されている。従来研究として、対話型進化的計算を利用して意匠設計支援を行うシステムの研究は行われているが、主に形状生成に適用されており、形以外の要求されている機能を満たしているかの議論は、ほとんど行われていない。そこで、本研究では、最終目標として、意匠設計と機能設計を相互に支援するシステム開発を行うものとし、本発表では、その準備段階として、対話型進化的計算を用いて有限のデザインの中からユーザが望むデザインを選出する意匠選出支援システムの評価と、機能の可視化によって与える影響について調査検証を行う。

### Development of Design Support System based on Functionality Evaluation

Wataru Sato Naoyuki Kubota

Department of Human Mechatronics Systems,  
Graduate School of System Design,  
Tokyo Metropolitan University

Recently, human-friendly support systems for product design have been developed as the diversification of demands of individual user to products. In the previous works, interactive evolutionary computation has been applied to the support for product design, but the main target of the application is in the design of appearance, not functionality. Therefore, the final aim of this study is to develop the support system for simultaneous design of appearance, shape, and functionality. First of all, in this talk, we focus on the development of selection system of product design based on the preference from candidate designs, and discuss the effectiveness of the proposed method through experiments on the effect of visualization of functionality to human evaluation.

#### 1. 緒言

近年、ユーザの製品に対する要求が多様化し、そのため製品はそれらの要求に応えるために機能や信頼性だけでなく、意匠性などを個々の要求に合わせて無駄なく生産していく必要がある。製品がユーザから求められている観点は様々であるが、特にその中でも製品の顔とも言える意匠性は非常に重要な要素であり、製品開発においても同様に大きな比重を占め、大きな予算と時間をかけて設計されている。

現在の同一のものを大量に生産する供給体系においては、いかに多くのユーザに受け入れてもらえるかという点が重要である。しかし意匠性は、その仕様を具体的かつ明確に表現することは難しく、客観的に評価を行えないといった問題を抱えている。そのため、アンケートなど

を用いた主観的な評価をまとめることによって客観性を求めるといった手法が主となっている。この方法は製品開発の指標としてある程度の成果は期待できる。しかし、多くの手間暇をかけて一つの解を作り出すというのは、要求の多様化および高速化に対して全くの不十分である。これら要求に対して十分な対応を行うためには、設計を何らかの方法で支援し、迅速に多様な解を作り出すシステムが必要となる。

この要求の多様化、個人化に対応する製品供給の方法の一つとして、ユーザが直接デザインする方法が考えられる。これは、ユーザの要望に個々に応える手法をさらに押し進めたものである。ユーザ本人がデザインすることによって、満足したものを得ることができるといった長所がある。しかし、作業そのものがユーザの負担

となり多くの時間が必要となるだけでなく、意匠設計のための専門的な知識が求められるため、このような方法は非現実的である。しかし見方を変えれば、ユーザが個々に望むものを専門的な知識を必要とせずに手軽にデザインすることが可能であれば、非常に有用な方法となる。要求の即時性と個人化に対応する設計支援の一つの技術的な方法として、対話型進化的計算(Interactive Evolutionary Computation : IEC) [1]を用いた方法が提唱されており、眼鏡フレームや食器など、人間の感性に頼るような設計支援に適用されている[2][3]。IEC とは、進化的計算(Evolutionary Computation : EC) [4]における適応度を人間の主観的な評価に置き換えたものであり、集団内の各個体をあらかじめ定められた適応度関数によって評価するのではなく、ユーザが各個体を直接評価する。すなわち各個体は、環境にいかにか適合するかではなく、利用するユーザにとっての「好ましき」によって評価され、次の世代での生存度が決定される。こうすることで、個人の好みや感覚などのユーザの主観に基づく評価系をモデル化することなく、ブラックボックスのままシステム内に取り込むことができる。本研究ではこの手法に、遺伝的アルゴリズム(Genetic Algorithm : GA)の選択の手法を組み合わせて利用する。IEC の、評価系に人間そのものを用いる考え方は、感性のモデル化に非常に即しており、デザインやアートといった主観的な対象に向いている。実際にこの手法を利用した設計支援システムの研究が行われ、様々な成果を残している。

しかし、多くの研究が目的の形状を得ることに注力しており、それが真に機能性を満たしたものであるかということあまり議論されていない。ユーザが自分で意匠設計を行った場合、形状が本人の望むものになったとしても、それが使えるものであるかということまでは本人には分からない。例えば、細身でスマートだが安定性の悪い椅子、丸くて可愛らしいが保持しづらい携帯電話など、意匠性と機能性がトレードオフとなっていることは多い。機能性が満たされていないのであれば、その設計支援は価値の低いものになってしまう。機能設計もユーザによって手軽に設計できるようにして、意匠設計と機能設計のバランスを交互に取りながら最良の解を導き出す支援システムが望まれている。

そこで本研究の最終的な目標として、意匠設

計と機能設計を相互的に支援し、デザインを作り出すシステムの開発を行う。本稿では、まず、有限に定められたデザインの中から、IEC を用いてユーザが望むデザインを選出するシステムを開発し、有用なシステムであるかを評価することを目的とする。また、機能設計の準備段階として、選出時に各デザインの機能を可視化できるようにし、システムにどのような影響を与えるかを調査することを目的とする。

本稿の構成は、2章でまず本研究で用いた提案手法と設計対象について説明し、3章で実際に使用したシステムについて説明する。そして4章で実験とその結果を提示し、5章で本稿のまとめを記す。

## 2. 提案手法と設計対象

### 2.1 提案手法

本研究は、従来の厳密な数学的体系に基づく科学技術であるハードコンピューティングとは違った、ソフトコンピューティング(Soft Computing)という概念を土台としている[5]。ソフトコンピューティングとは、人間が行う現実的な多くの行為には、適度の寛容性が含まれていることに着目し、精密さを過度に求めることを避け、扱いやすさ、頑健さ、低コストを実現するための情報処理戦略である。ソフトコンピューティングの方法論的な諸原理を構成するものとしては様々あるが、その中でも本研究ではIECを利用して実現している。

### 2.2 設計対象(PC型パートナーロボット)

本研究はロボットを設計対象とする。近年、ロボットは工業・産業の分野から段々と一般家庭に普及し始めている。また、自動車や携帯電話など多くの分野においてデザインを専門に担当する部門があるのに対し、ロボットではまだその部門が確立されていない。このような理由から、今後、ロボットの意匠設計が重要視されてくると考えられ、PC型のパートナーロボットを設計対象とした。

本研究はあくまでIECの有効性を実証するための研究であることと、手作業によるデザイン作成の限界から、84種類のパターンとした。デザインパターンの内訳は、本体の形状が7種類、足回りが3種類、カメラの有無で2種類、超音波センサの有無で2種類という組み合わせから

構成され、Fig.1 にデザイン例を示す。

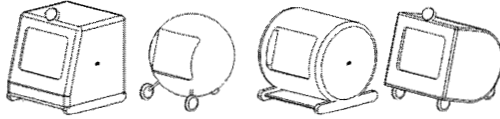


Fig.1 Example of robot designs

本体形状は、球体、円柱(縦)、円柱(横)、四角柱、三角柱、球+円錐、かまぼこ形である。すべてに対してモニタ用の切り抜きがある。足回りは、3輪(2輪+球)、4輪、クローラである。カメラの設置箇所は上部前面、超音波センサの設置箇所は左右側面と後面の3箇所である。このような組み合わせとした理由であるが、まず本体に関してはあまり特徴的な形にならないように一般的な形状で構成し、ユーザ違和感を与えずに使用してもらうためである。コミュニケーションロボットが前提となっているので移動は不可欠であり、そのためにこの大きさのロボットで一般的に利用される3種の足回りを用意した。外部センサは様々なものがあるが、その中から最低限空間把握に必要な能力として2つのセンサを選んだ。形状の違いが分かりやすいように色は付けず、線画のみとした。表示方向は、デザインの情報量と見やすさを考慮して両等角投影図とした。

### 3. 設計支援システム

#### 3.1 システムの構造

インタフェースの外観を Fig.2 に示す。

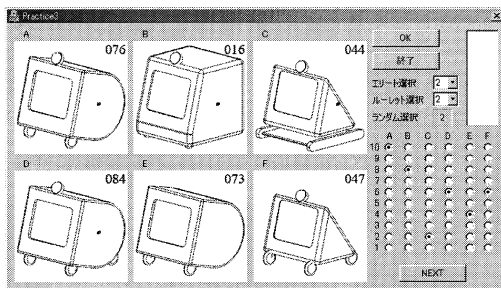


Fig.2 Interface of system

まず、初期個体として6つのデザインを表示する。本研究で1世代に表示するデザインの数を6つとしたのは、人が対象を一度に判別できる個数が最大9つであり、また、一度に行う主観評価が現状においてとても煩雑な作業であることから、あまりに多いとユーザビリティに反するためである。次に、選択方法の振り分けを決定する。本研究では、IECが行うデザインの

選択方法が、ユーザの選好度への与える影響について議論するため、選択方法として、エリート選択、ルーレット選択、ランダム選択の3種類を用いる[6]。6つの枠に対して、それぞれ3枠、2枠、1枠といったように振り分ける。そして、各個体に対して1点から10点で評価をし、その得点を元に次の世代を表示する。重複表示は不可としている。ユーザは同様に評価をし、満足のいく個体が表示されるまで以上の操作を繰り返し行う。

#### 3.2 IECに基づく選択システム

インタフェースのデザイン表示枠には左上から順にA～Fのアルファベットが振られており、遺伝的アルゴリズムの代表的な選択方法であるエリート選択、ルーレット選択、ランダム選択を若い順に振り分け数に応じて表示する。ただし、局所解に陥らないように、常に1枠以上はランダム選択が行われるものとする。まず、6つのデザインを得点の高い順に並べ替える。もしこのとき、同じ得点のデザインがあった場合は、ランダムで順位を決定する。

そして、高い得点から順にエリート選択として選出し、そのデザインを除外した中からルーレット選択で選出し、さらにそれを除外してランダム選択を行う。ルーレット選択は、得点を適応度として選択をし、さらに選び出されたデザインに対して類似度マトリクスを適応度として利用してルーレット選択を行う。類似度マトリクスとは、全84個のデザインに対して各々の類似性を84次の正方行列にしたものである。同じデザイン自身の類似度を100%とし、百分率で表記する。類似性の評価は各要素(本体、足回り、カメラ、超音波センサ)に対して行い、足し合わせたものである。また、評価方法については、本研究が意匠性を取り扱うものであるので、計算式などは用いらずに筆者の直感に基づいたものとした。

### 4. 実験

本研究の有効性を示すために、3つの実験を行った。まず、6つの画像表示枠に対する選択方法のバランスを変更して評価を行い、どのようなバランスが適当か調査した。そしてその結果から最も良かったバランスを用いて、本システムと全数検索との評価実験を行った。また、各デザインの機能を任意に表示する方法を複数

用意し、アンケートを用いての調査を行った。以降では、分かりやすいように選択枠のバランスを表記するのに、 $[x-y-z]$  ( $x$ : エリート選択の枠数、 $y$ : ルーレット選択の枠数、 $z$ : ランダム選択の枠数)を用いる。

#### 4.1 システムの比較評価実験(予備実験)

6つの枠の選択方法は、エリート選択、ルーレット選択、ランダム選択の3種類あり、少なくとも1枠はランダム選択を採用する場合の組み合わせは全部で21通りある。その組み合わせの全てに対して、大きく分けて2つの方法で評価実験を行った。これらの作業は、手作業では困難なため、目標デザインに対しての類似度マトリクスを用いて自動で得点評価を行うプログラムによって、機械的に評価を行った。

##### 4.1.1 試行回数比較実験

あるデザインに辿り着くまでに要した試行回数を、各バランスごとに10回ずつ計測し、平均値、標準偏差、最大値を求めた。試行回数は、初期個体の表示を0回とし、その後、次の世代を表示するたびに1ずつ加算し、6つの枠のいずれかに目的のデザインが表示されたら終了する。目標としたデザインは、(a)例外を考えないある1つのデザイン、(b)ある程度の余裕を持たせ、本体形状と足回りが同一の4つのデザインの2種類で試行した。

その結果、エリート選択が多いほど試行回数は増え、また同様にランダム選択が少ないほど試行回数が増えることが分かった。

##### 4.1.2 満足度比較実験

4.1.1節とは違い、こちらは10回に限定された試行回数で、どれだけ満足のいくデザインが見つかるかという実験である。実験の特質上、こちらは1つのデザインに目標を絞って行った。

以上4.1.1節と4.1.2節の結果を踏まえると、どのバランスにも一長一短があり一概にどのバランスが良いとは決定しづらい。しかし、極端なバランスに設定すると、良い結果を残すこともあるが、ばらつきのある結果となる可能性と隣り合わせであると考えられる。

#### 4.2 意匠設計支援システムの評価実験

予備実験の結果、比較的、良好な結果が得られる[2-2-2]の設計支援システムと全数検索を使

用し、満足度の比較を行った。全数検索は、[0-0-6]のランダム選択のみの機能を利用した。A~Cの3人に、5回、3回、1回の試行回数で使用してもらい、最後の結果の評価点数を比較した。全数検索においては、一度の試行回数で表示された6つの中から1番気に入ったデザインを選出しストックしていき、最後に全てに評価を行った。よって、試行回数分しかデザインは選出されないため、支援システムの結果は足切りをして全数検索に揃えた。それぞれ、3回ずつ行った。

試行回数を限定しているのは、84種類しかないデザインから選出するとき、試行回数を限定することにより、「IECを用いて新しいデザインを作り出すシステム」というテーマを「無限大に存在するデザインから選出するシステム」というテーマとして帰着できるならば、そのシステムのマイクロモデルとして考えられる。さらにマイクロモデルとして機能しているならば、試行回数を減らしていったとしても、支援システムは高い有効性を保ち、全数検索との間に明確な違いをもたらすと考えられるからである。平均値と最大値に対して平均を取ったものを、折れ線グラフとしてそれぞれ Fig.3、Fig.4 に示す。

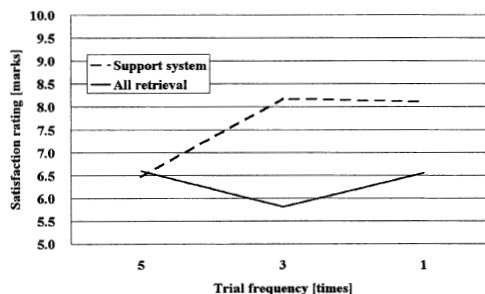


Fig.3 Average of Support system and All retrieval

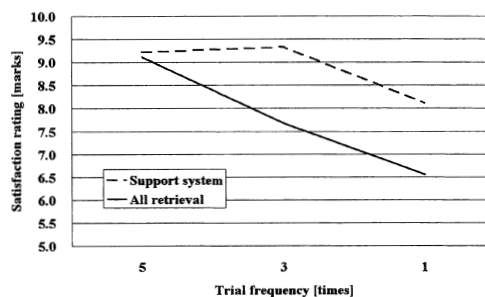


Fig.4 Maximum Value of Support system and All retrieval

Fig.3 から、試行回数を減らしていくに従って、

支援システムの方が全数検索よりも満足度が高くなる事が分かる。また、Fig.4 からも満足度が全数検索と比較してあまり低下していない事が分かる。これらの結果から、支援システムの方が高い選出性能を持っており、推測通りの結果を得られたと考えられる。

### 4.3 機能設計の表現方法に関する評価実験

ここでは、情報の可視化に関する議論を行うために、ロボットの機能を表示する方法を A、B の 2 種類用意し、それぞれの使用感および何もない支援システムとの使用感の比較をアンケート調査により行った結果を示す。ロボットの機能を表示する機能を備えた機能情報提示システム A、B を、それぞれ Fig.5、Fig.6 に示す。両図には、分かりやすいように円と矢印を加えている。実際のシステムには表示されないものである。

機能情報提示システム A は、ロボットの詳細

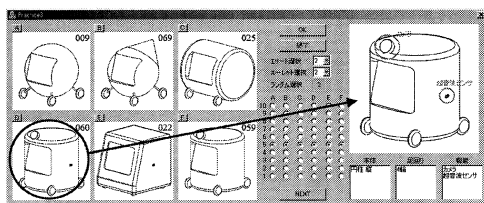


Fig.5 Function display system A

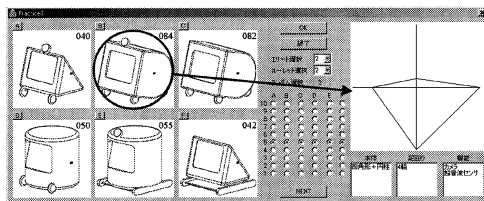


Fig.6 Function display system B

図を表示し、具体的にどのような機能がどの位置に付加されているかをロボットの画像の上に重ねて可視化したものである。機能が付加された位置を丸で囲み、説明を補足している。機能情報提示システム B は、レーダチャートを用いて可視化したものである。上下左右の軸はそれぞれ、本体の丸さ、駆動系の軽快さ(3輪が高く、4輪、クローラの順に低い)、内蔵カメラの有無、超音波センサの有無を示している。同じ性能を有しているほど、レーダチャートの形は似た形状を示す。

4.2 節と同様に 3 人の被験者に調査を行った結

果、両システムとも、何もないシステム(Fig.2 のシステム)よりは分かりやすく、デザインを選ぶのに非常に参考になるという意見を得られた。機能情報提示システム A と機能情報提示システム B の比較では、あまり明確な違いが出るような意見は得られなかった。しかし、機能情報提示システム B の方については、他のロボットを選んだときの機能の変化がレーダチャート上での値の変化となるため、デザイン候補間の差異が直感的に伝わり、素早く選べるという意見を得られた。

### 5. まとめ

以上のことから、解の選出に IEC は有効な手段と言える。多くの解から絞り込んでいくことが有用ならば、同様に設計支援システムに利用しても望ましい結果が期待できる。今回の実験では、最もバランスの良い[2-2-2]を選択して良い結果を収めることができた。

しかし、4.1.1 節の実験からは、(a)の方法と(b)の方法の結果に違いが読み取れた。例えば(a)では、遺伝的アルゴリズムを用いない(ランダム選択のみを使う)方が少ない試行回数で到達していることが分かった(全体平均 32.6 回で到達しているところ、[1-0-5]では最短の 7.9 回で到達しており 4.1 倍短く到達した)。また、(b)においてはエリート選択とルーレット選択を利用している方が良いことが分かった(全体平均 10.7 回で到達のところ、[2-0-4]は 4.1 回、[0-4-2]は 4.8 回での到達であり 2 倍強の差がある)。このことから、例えば次のようなシステムが有用であると考えられる。まず初期段階の欲しい対象がぼんやりとしたイメージしかないときは 3 つの選択方式を用いて選択をし、だんだんと明確なイメージが固まってきたら、それをシステムが判断し、流動的に選択方式のバランスを変更していくシステムというものである。

4.2 節の実験では、Fig.3 では試行回数を減らしているのに満足度が上昇している。これは、平均値に含まれていた低い点数が足切りされたことによる点数の上昇であり、また、Fig.4 から、最大値の低下は全数検索と比較して少ないことが分かり(試行回数 5 回から 1 回への低下満足度は、支援システムが 9.22-8.11=1.11、全数検索は 9.11-5.89=3.22)、このことから、試行回数を減らしても、高い満足度を得られることが分かる。機能の可視化については、システムがまだ

不十分であったために十分な結果は得られていない。しかし、機能を可視化することによって支援システムの使いやすさを向上できることが分かり、確実な関連性を持っているということが考えられる。また、機能情報提示システム B で得られた「機能の変化が分かる」という要素を、受動的な機能設計支援と捉えるならば、今後、機能設計支援を作り上げるときに一つの指針となると考えられる。

IEC を利用することによって、人間が多くのデザインから選出する行為の支援をし、労力を下げることができる。また、デザインの機能を提示することによって、支援システムの性能を向上させられることが分かった。今後はこれらの結果を踏まえ、意匠設計については、デザインを作り出すシステムの開発が最優先で求められる。機能設計については、機能設計支援システムの構造を構築する。

#### 参考文献

- [1] H.Takagi, Interactive evolutionary computation: fusion of the capabilities of EC optimization and human evaluation. Proceedings of IEEE, Vol.89, No.9, pp.1275-1296, 2001
- [2] 柳澤秀吉、福田収一、顧客の主観評価を考慮した対話型意匠設計支援システムの開発(眼鏡フレーム形状への応用)、日本機械学会 論文集 C 編、Vol.68、No.675、pp.3431-3438、2002
- [3] 畦原宗之、山田耕一、特徴表現ルール選好によるユーザに対応した対話型コンセプトデザイン支援システム、第 23 回ファジィシステムシンポジウム 公演論文集、pp.357-362、2007
- [4] D.B.Fogel, Evolutionary Computation, New York, IEEE Press, 1995
- [5] G.J.Klir, B.Yaun (ed.), Fuzzy Sets, Fuzzy Logic, and Fuzzy Systems, World Scientific Publishing, 1996
- [6] 伊庭斉志、遺伝的プログラミング入門、東京大学出版会、2001