

# 機能性と意匠性の同時評価に基づく設計方法の開発

## Development of Design Method Based on Simultaneous Evaluation of Functionability and Designability

80223107 庭前裕樹(Yuki Niwamae) Supervisor 青山英樹(Hideki Aoyama)

### 1. 緒言

ユーザの製品に対する要求は多様化してきており、機能や性能だけでなく、外観デザインも商品を差別化する重要な要因になってきた。すなわち、製品仕様やコスト、環境保全などに加えて、ユーザの製品形状に対する感性や芸術的側面からの評価も含めた設計が求められている。しかし、一般的に機能性と意匠性の両方を共に満足する設計解を得ることは容易ではなく、それらはトレードオフの関係となることが多い。したがって、機能性と意匠性について独自の視点から最適な設計解を算出した後、互いに妥協しながら設計解を探索する従来の方法は、設計期間を長期化する大きな問題となっている。

従来の意匠性の評価法は、アンケートなどの言語表現を用いた主観的評価と、黄金分割などの形状パラメータやヒトの生理情報による客観的評価に分けられる。言語表現による評価は、言葉の捉え方などに個人差を生じるため、客観的指標であるヒトの生理情報を用いて感性を直接的に評価する方法が期待されている。生理情報による感性評価はいろいろな用途に試みられてきているが、製品形状の意匠性評価に適用した研究はいまだみられない。

本研究では、生理情報の中でも思考の情報処理の中核である脳の働きの状態を表す脳波によって、意匠性に対する満足度評価を得る。そして、機能性の工学的評価と意匠性の客観的評価を同時に行うことにより、トレードオフの関係にある設計解を導出する設計方法の提案を行う。

### 2. 脳波による意匠性の満足度評価法

#### 2.1 満足度評価システムの開発と解析処理

図1は、満足度評価システムの構成を示している。頭部に電極付きキャップを装着し、頭皮上の8ポイントの脳波をA/Dコンバータを介してコンピュータに取り込み、デジタルフィルタ処理を施した後、FFTにより周波数パワースペクトルを求める。脳波は周波数帯域により $\delta$ ,  $\theta$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$ 波に分類され、各周波数帯域のパワースペクトルが積算される。

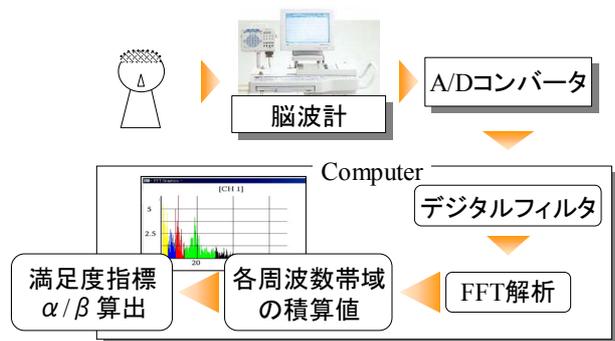


図1 満足度評価システムの構成

本研究では、快適時に多く現れる $\alpha$ 波と不快時に多く現れる $\beta$ 波に着目し、 $\alpha$ 波積算値/ $\beta$ 波積算値を用いて満足度を評価した。以後、 $\alpha$ 波積算値/ $\beta$ 波積算値を満足度指標 $\alpha/\beta$ とよぶ。

#### 2.2 満足度の評価実験

満足度指標 $\alpha/\beta$ を検討するために、8人の被験者を対象に4種類の音、3種類の風景画像、3種類のコーヒーカップの写真、3種類の自転車の写真をそれぞれ30秒間提示し、その間の $\alpha/\beta$ を算出し、官能評価との相関係数を調べた。官能評価は、満足感について5段階の評定尺度で行った。表1は各実験における全被験者の相関係数の平均値である。全ての結果で0.5以上の正の相関があり、特にコーヒーカップの相関係数が最も高いことから、製品形状の意匠性評価に脳波による満足度指標 $\alpha/\beta$ が有効であることが確認された。

### 3. 提案する設計方法

機能性と意匠性の関係がトレードオフであるとき、設計解は一意には求まらず、優先する目的によって設計解が複数個存在する。このような解をパレート最適解と呼び、集合を形成する。設計者は、あらかじめ求められたパレート最適解集合のそれぞれの解を比較することで、効率よく設計解を探索することが可能となる。

現在、機能設計において、多目的最適化がパレート最適解の集合を求める手法として主に利用されている。図2に示されるように、提案される設計方法は、この手法を基にし、機能性と意匠性の同時評価を行うものである。意匠性評価は、形状の工学的・数学的解析評価による美の量と脳波による満足度に着目し、次の手順で行う。

まず、多目的最適化の準備として、各目的を定式化する。このとき、脳波による満足度は、評価実験とその結果からの

表1 全被験者の相関係数平均値

	音鑑賞	風景鑑賞	コーヒーカップ	自転車
相関係数	0.570	0.709	0.739	0.540

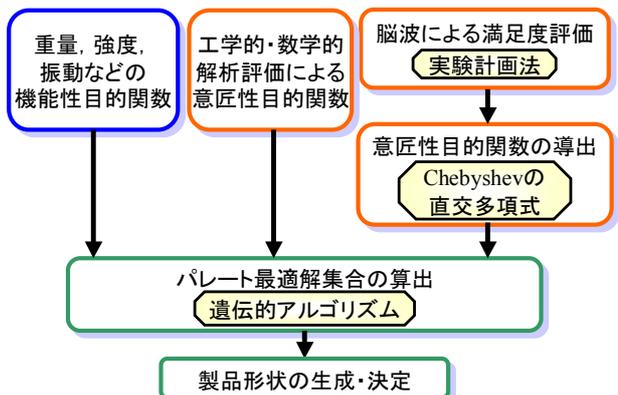


図2 提案する設計方法

推定式の同定が必要である。本設計方法では、少ない回数で効果的な解析ができる実験計画法と非線形式での表現が可能な Chebyshev の直交多項式により同定する<sup>1)</sup>。

次に、多目的最適化に適用した遺伝的アルゴリズム (以下, GA) によって目的関数を最適化する<sup>2)</sup>。GA は個体による多点探索を行う手法であり、パレート最適解を一度に多数求めることが可能である。パレート最適解集合の中から最終的な解の決定は設計者が行う。

#### 4. 設計方法の適用 — 椅子の設計事例 —

提案した設計方法を椅子の設計問題に適用し、その有効性を検討した。図3に示すように、4つの設計目的を設定し、それぞれに対応する目的関数を導出した。また、図4および表2に示すように、それらに影響を与えると思われる設計変数を抽出した。

各目的関数の導出は、次のとおり行った。安定性の評価では、人が椅子に腰掛けたときに椅子の脚が床から受ける反力を求め、各脚に作用する力の差を目的関数 $f_1$ とした。快適性の評価では、人が椅子に腰掛けたときの臀部および太股部の圧力分布解析シミュレーションを行い、椅子の形状に対する最大圧力値の近似式を目的関数 $f_2$ とした。美の量による評価では、椅子の設計変数の中から代表的な12組の変数比に注目し、その比がどれだけ黄金比に近いかをメンバーシップ関数によって0~1に数値化した総和を目的関数 $f_3$ とした。満足度による評価では、7人の被験者を対象に椅子の設計変数に対する直交表 $L_{16}$ を用いて椅子の3次元モデルを作成し、その実験により得られた満足度指標 $\alpha/\beta$ から Chebyshev の直交多項式を用いて目的関数 $f_4$ を導出した。最終的に、4つの目的関数をGAによって多目的最適化を行い、パレート最適解の集合を得た。

本研究では、パレート最適解を描画するシステムを構築し

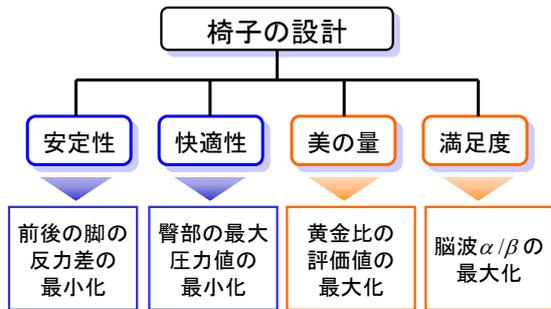


図3 椅子設計の目的とその目的関数

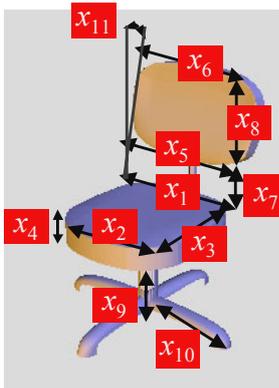


図4 抽出した設計変数

表2 設計変数の名称

設計変数	部位の名称
$x_1$	座面後部の幅
$x_2$	座面前部の幅
$x_3$	座面長さ
$x_4$	座面厚さ
$x_5$	背もたれ下端の幅
$x_6$	背もたれ上端の幅
$x_7$	支柱長さ
$x_8$	背もたれ長さ
$x_9$	脚高さ
$x_{10}$	脚長さ
$x_{11}$	床面に垂直な軸に対する背もたれの角度

た。このシステムは、設計者が各目的に対する要求度を0~100の数値で入力することにより、それに最も近いパレート最適解の椅子形状を描画する。その例として、1つの目的に対する要求度を100と入力し、その他の目的に対する要求度を50としたときの結果を図5に示す。要求度を100とした目的の性質を十分に表していることから、多様なパレート最適解が算出されたことがわかる。

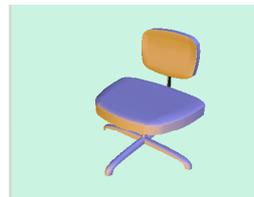
機能性の安定性と快適性のみ、または意匠性の美の量と満足度のみを目的としてパレート最適解集合を算出した結果と比較する。表3は、4つの設計目的、機能性のみ、意匠性のみそれぞれのにおける各目的関数値の最大値と平均値、最小値を示している。例えば機能性のみを設計目的とした場合、4目的と同程度の良い機能評価値が得られている一方、意匠性の評価値は4目的同時評価時に比べ悪く、改善できる余地があることを表している。この結果から、提案した設計方法の有効性が確認できた。

#### 5. 結言

脳波による意匠性の満足度評価システムを開発し、4種類の実験において満足度指標 $\alpha/\beta$ が官能評価と正の相関が見られたことから、そのシステムと指標が有効であることを確認した。さらに、客観的な意匠性評価法を2つ取り上げ、機能性と同時に評価する設計方法を提案した。椅子の設計に適用し、その有効性を確認した。

#### 参考文献

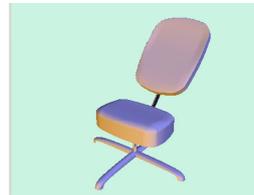
- 1) 柏村孝義, 白鳥正樹, 于強: 実験計画法による非線形問題の最適化, 朝倉書店, (1998), 8-39.
- 2) 廣安知之, 三木光範, 渡邊真也: 進化的計算手法による多目的最適化, 自律分散システム・シンポジウム資料, 13, (2001), 295-300.



(a)  $f_1:100, f_2:50, f_3:50, f_4:50$



(b)  $f_1:50, f_2:100, f_3:50, f_4:50$



(c)  $f_1:50, f_2:50, f_3:100, f_4:50$



(d)  $f_1:50, f_2:50, f_3:50, f_4:100$

図5 各要求度を入力したパレート最適解の描画

表3 4目的と機能性のみ・意匠性のみとの比較

	脚の反力差[N]			最大圧力値[ $gf/cm^2$ ]		
	4目的	機能性	意匠性	4目的	機能性	意匠性
最大値	49.8	30.1	49.3	458.8	459.7	420.8
平均値	24.3	18.9	24.2	271.4	268.2	352.5
最小値	3.5	3.5	17.3	79.4	79.4	197.7
	黄金比評価値			脳波 $\alpha/\beta$		
	4目的	機能性	意匠性	4目的	機能性	意匠性
最大値	10.3	9.2	10.5	33.8	28.9	33.9
平均値	8.2	7.4	9.1	25.3	21.7	28.3
最小値	3.8	5.0	5.6	9.3	11.3	14.5