

対話的枠組による概念設計支援

平 俊 男

Study of Interactive Assistant System for Conceptual Design

Toshio HIRA

On industrial design, human designer intuitively creates the shape. In order to assist this process by artificial system, it is important to suggest the variety of the design candidates. In this article, the author proposes an interactive design assistant system in the case of bottle or bowl. The initial shape candidate population is made of the user-defined object's profile curve and the randomly generated ones. When the designer selects a candidate, population is updated to novel one by the crossover and mutation in terms of genetic algorithm. The designer can find preferable shape on the candidate population and refine this shape by his/herself. A proposed framework is implemented on the conventional 3-D modeling software in order to treat the geometric model for detailed design. Through the case study, the framework demonstrates the applicability to suggest the various design candidates reflecting the subjective preferences.

1. はじめに

工学設計に対するコンピュータの利用は、主に設計問題の客観的側面から進められており、機械工学分野においては、有限要素法(FEM)に代表される解析手法⁽¹⁾や、数理的解法による最適化手法⁽²⁾が定着している。一方で、形状意匠設計など、設計者による主観的価値観が支配的となる場面では、紙と鉛筆の延長としてのコンピュータの利用が進んでおり、発想行為そのものに対するコンピュータの利用については、様々な試みや議論がみられる^{(3),(4)}。これらの議論では、人間の発想行為を含む広義の設計問題に対して、コンピュータには、設計の自動化を目指すアプローチではなく、個別の設計者の対話的なアシスタントとして多様な設計候補を示唆することで異なる視点からの刺激を与える役割が求められている。

本報では、設計者による形状意匠の発想が中心となる概念設計の例として、回転体として表現できる容器形状をとりあげ、その対話的な支援に遺伝的アルゴリズムの利用を考える。形状候補は、断面形状を保持する遺伝子プールの交叉などの遺伝的操作によって生成する。また、設計者により定義された形状及び主観的に選ばれた

形状候補をもとに選択操作を行い、個体群を更新していくことで、形状候補の提示に設計者の主観的価値観の反映を試みる。ただし、本報で提案する枠組は、「正しい」設計解の探索を目指すものではなく、多様な形状候補に対する対話的取舍選択の過程を通じて、形状設計の出発点を設計者自身が見出すための端緒を与えることを目的としている。

2. 形状意匠の取扱い

コンピュータによって人工物の形状意匠を取扱う試みには、陶磁器を対象に、検索機能を活用することを主眼にしたもの^{(5),(6)}や、ラピッドプロトタイプングとの連携により商品開発のサイクルを向上させようとする試み⁽⁷⁾がみられる。また、曲線形状の巨視的特徴として曲率に注目し、自動車のサイドビュー生成を例に、曲線設計を行ったもの⁽⁸⁾、利用者の個々の感性的要求に対応する意匠設計のための対話型縮約進化計算法の提案⁽⁹⁾などがみられる。

ここでは、遺伝的アルゴリズムによって生成する多様な形状候補の提示による設計者の形状発想の支援を検討する。一般に遺伝的アルゴリズムは、解を表現する個体からなる個体群に対して、選択・交叉・突然変異の3

種類の遺伝的操作と、問題に対する適合度評価を繰り返して、良い形質を持つと期待される新たな個体を作っていく過程である。すなわち、自然界の生物進化を模擬した確率的探索・学習・最適化の一手法と考える事ができる⁽¹⁰⁾。

意匠デザインのように人間の主観的判断が強い分野に対しては、遺伝的アルゴリズムにおける適合度に応じた個体の選択を、利用者が主観的に行い、対話的にそのプロセスに介入する手法が多く試みられている。この枠組は、生物進化における「自然選択」に代わって「人為選択」によって次世代の形質を決定していくことに相当し、遺伝的アルゴリズムを利用する問題解決のなかでも、特に対話型進化計算法⁽¹¹⁾や、模擬育種法⁽¹²⁾などと呼ばれている。コンピュータグラフィクスアートへの応用では、この手法が明示的には記述されない人間の選好基準を引き出し、単なる好みの選択にとどまらず、創造力の増幅にも寄与するとの指摘⁽¹³⁾がある。

3. 形状候補の生成と提示

図1に、提案する形状候補の生成と提示及び候補個体群の更新の流れを示す。このシステムは、形状候補生成後のモデルデータの取扱いを考慮し、3次元モデリングソフトウェア Rhinoceros (Robert McNeel & Associates) 上に実装されている。

まず、設計者はモデリングソフトウェア上に、自身が好む形状断面曲線を定義する。システムはランダムに生成した断面曲線と形状パラメータをもとに候補個体群を生成し設計者の選択を促す。次に、設計者によって定義・選択された断面曲線をもとに、それらの組合せを生成する遺伝的操作である交叉を行う。さらに突然変異の操作によって新たな断面曲線を生成した後、個体群の更新を行う。設計者がシステムとの対話を通じて、より好ましい形状を見出した時点で個体群の更新を終了し、設計者自身による詳細な形状設計へと移行することになる。以下にそれぞれの操作の詳細を述べる。

3.1 曲率に基づく初期形状の生成

形状断面曲線の生成には、ランダムに決定した曲率を用いる。全長 l の曲線に対し、 $N + 1$ 個のキーポイント $P_i (i = 0, \dots, N)$ を設定し、図2に模式的に示すように、それぞれのポイントで曲率ベクトル κ_i をランダムに与える。さらに、キーポイント間を M 個に分割し、曲率補間点 $p_{ij} (j = 0, \dots, M)$ を設定する(図2は $M = 3$)。この時、 p_{i0} は P_i 、 p_{iM} は P_{i+1} である。曲率補間点での曲率 κ_{ij} は、

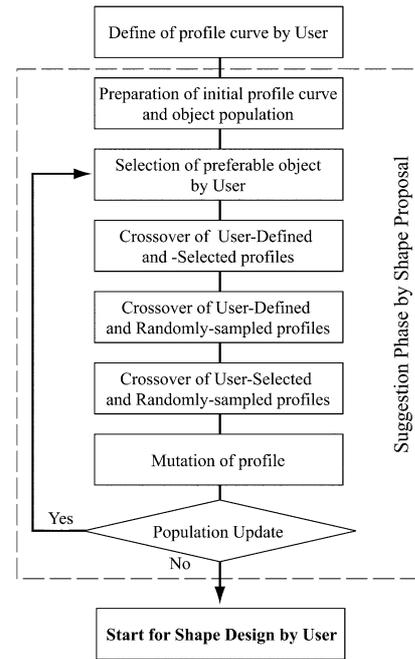


Fig.1 Flow of Interactive Assistant System

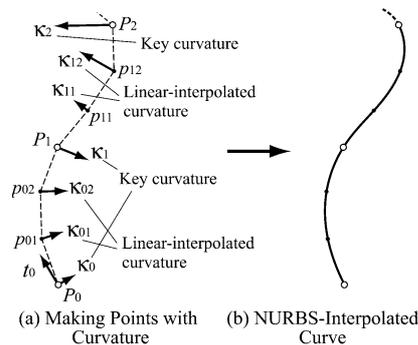


Fig.2 Profile Curve Generated with Curvature

$$\kappa_{ij} = \kappa_i + (\kappa_{i+1} - \kappa_i) j / M \dots\dots\dots (1)$$

とする。

キーポイント間において、曲率補間点 $p_{ij} (x_{ij}, y_{ij})$ は、接線ベクトル t_{ij-1} と補間曲率ベクトル κ_{ij-1} を用いて

$$p_{ij} = p_{ij-1} + (t_{ij-1} + \kappa_{ij-1}) \Delta l \dots\dots\dots (2)$$

となる。ただし、接線ベクトル t_{ij-1} は近似的に $p_{ij-1} - p_{ij-2}$ で与え、 Δl は全長 l を $N \times M$ で割ったものである。また、形状曲線始点 $P_0 (= p_{00})$ では、位置 (x_{00}, y_{00}) と接線ベクトル $t_0 (= t_{00})$ を与え、ランダムに与える曲率ベクトル $\kappa_0 (= \kappa_{00})$ を用いて次の補間点 p_{01} を得る。初期形状の断面曲線には、これらの補間点 p_{ij} を非一様有理 B-スプラインで結んだものを用いる。

3.2 遺伝的操作による新規形状断面曲線の生成

設計者によって定義・選択された形状断面曲線の特

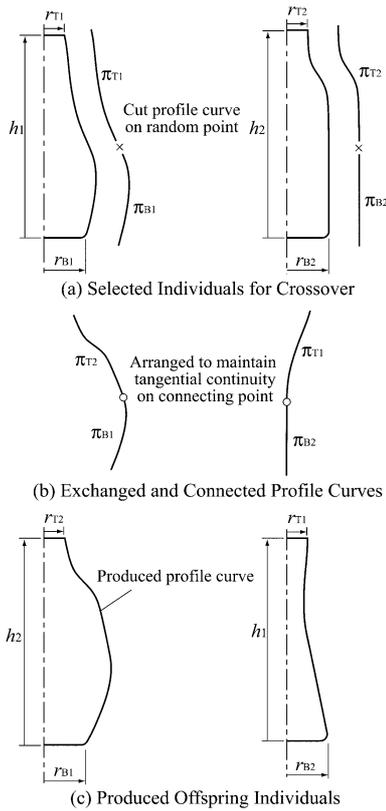


Fig.3 Crossover of Profile Curves

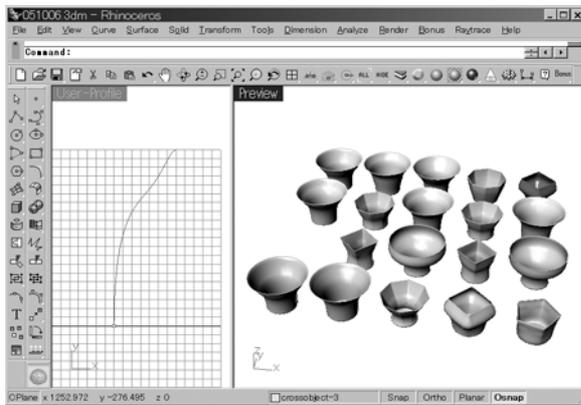


Fig.4 Shape Candidates on Implemented System

徴を反映する新規形状断面曲線の生成には、一点交叉を用いる。形状候補個体は、図3に示すように底部半径 r_B 、口部半径 r_T 、高さ h 及び断面曲線 π を属性として持っている。また、口部は多角形状も可能としておく。選ばれた親個体ペアについて、断面曲線 π をランダムに1箇所切断したものを交換し、それぞれを接線接続(C1連続)することによって交叉の操作とする(図3(b))。形状候補は、親個体それぞれの口部半径、高さ及び口部頂点数についても交換を行い、新たな口部半径、底部半径、高さに一致するように断面曲線を回転・拡大したものを用いる(図3(c))。また、突然変異の操作には、初期形状

候補個体の断面曲線と同様にランダムに与えた曲率に基づく生成手法を用いる。

3.3 設計者の選好を反映する形状候補個体群の更新

設計者によって定義・選択された形状断面曲線は、設計者の選好を探る手がかりとなる。ここでは、形状断面曲線を、底部半径 r_B の円と口部半径 r_T の多角形に沿って回転挿引した曲面を形状候補として提示し、ユーザに選択を行わせる。

図4は、モデリングソフトウェア上に実装された本システムのスクリーンショットであり、左側にユーザによる定義断面曲線、右側に生成された形状候補個体群が表示されている。形状候補個体群に対する視点の変更等は、モデリングソフトウェアの通常の操作が可能である。

システムは、(1)ユーザによって定義された形状断面曲線と選択された形状候補、(2)定義された断面曲線とランダムに選ばれた形状候補、(3)ユーザによって選択された形状候補とランダムに選ばれた形状候補の3通りのペアの交叉と突然変異の操作によって子個体を生成し、個体群を更新する。個体群は、ユーザが更新を停止するまで新規形状候補として提示される。更新された個体群には、ユーザによって選択された形状候補の持つ形質が継承される確率が高くなり、ユーザの選好を反映していると考えられるが、交叉、突然変異の操作によって形質の多様性は保たれている。

4. 対話的設計支援に関するケーススタディ

4.1 初期形状生成と遺伝的操作の検討

個体数9の形状候補個体群を例に、システムによる初期形状生成と交叉の遺伝的操作を検討する。図5(a)に、ユーザがシステム上で定義したボトル状の形状断面曲線を示す。図5(b)は、この断面曲線の弧長パラメータ s に関する曲率をプロットしたものである。曲率の符号は s の増加に対して曲率中心が左側にある時を正、右側にある時を負としている。この断面曲線は、底部 $s=0$ から0.5付近までは曲率が非常に小さく、0.75と0.80の間に変曲点を持っている。

図6に、3.1節に示した手法で生成した初期形状候補個体群を示し、図7にこれらの断面曲線の曲率を示す。ただし、口部は円形とし半径 r_T は15mm、高さ h は150mm、底部は楕円形とし、短径は30mm、長径 r_B は30から50mmの範囲でランダムに与えている。これらの図より、システムによって、多様な形状が生成されていることがわかる。また、図6(g)は、回転中心線と断面曲線が交わっており、そのままでは容器形状として実現できないが、交叉の操作で用いる部分的な断面曲線とし

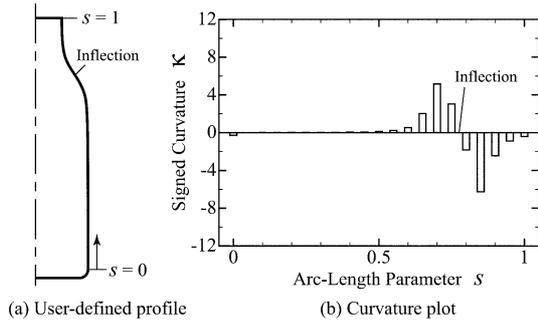


Fig.5 User-Defined Profile and Curvature

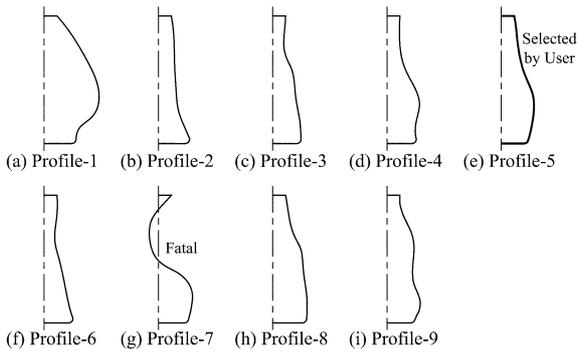


Fig.6 Generated Initial Candidate Population

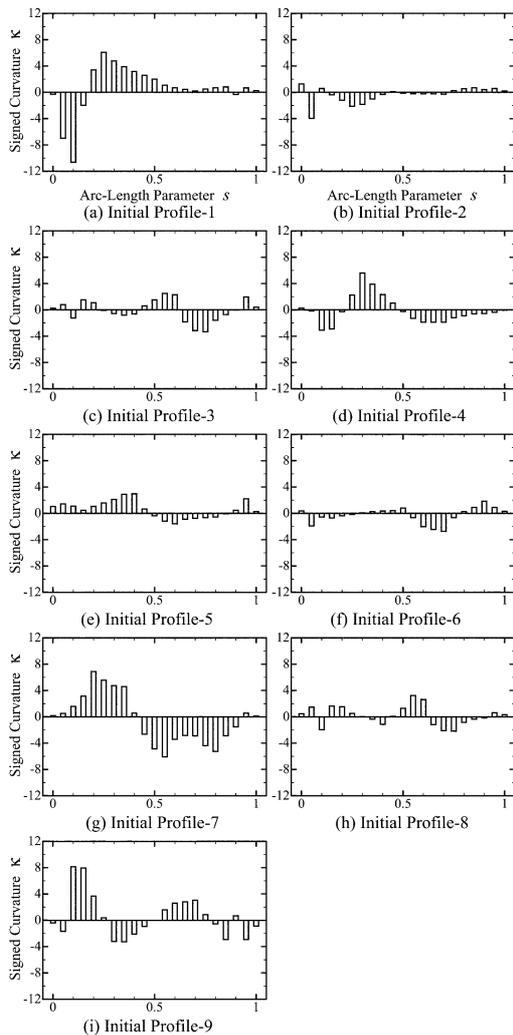


Fig.7 Curvature Plot of Initial Candidates

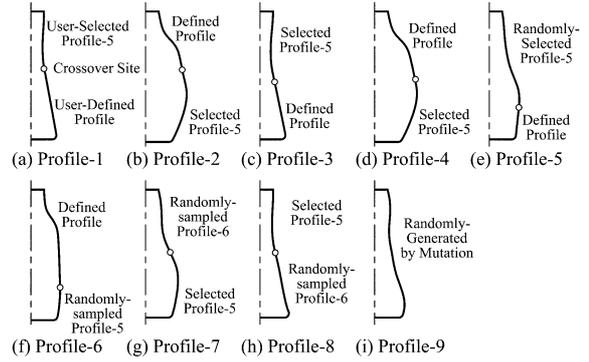


Fig.8 Candidate Population of The First Generation

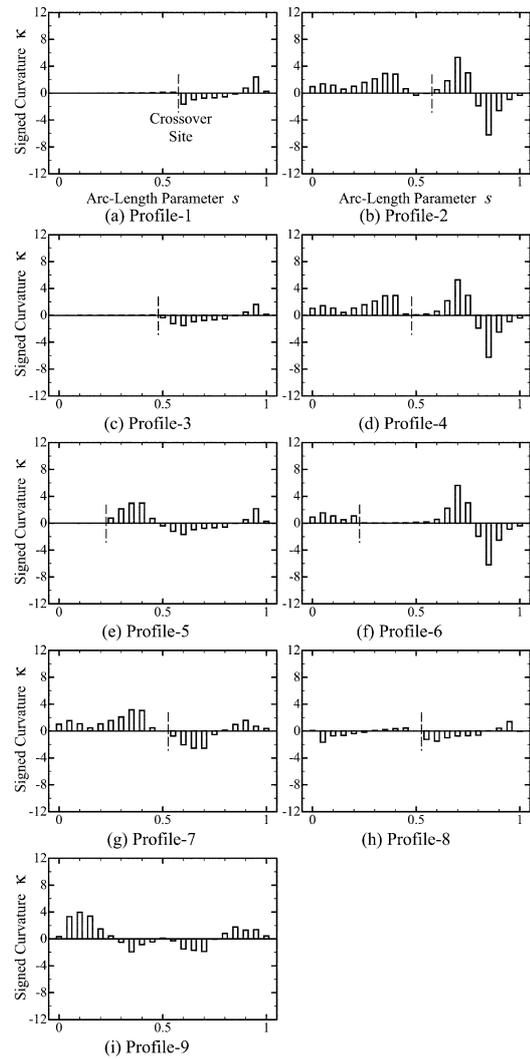


Fig.9 Curvature Plot of The First Generation

て再利用の可能性がある。

この初期個体群に対して、ユーザが図6(e)に示す形状候補を選択した場合に、3.2節に示した遺伝的操作で生成された第1世代の個体群の断面曲線と曲率を図8、9に示す。図8中、○の記号はランダムに設定された交差点である。個体(a)~(d)の4つは、ユーザ定義曲線(図5(a))とユーザ選択曲線(図6(e))が交叉されたものであり、

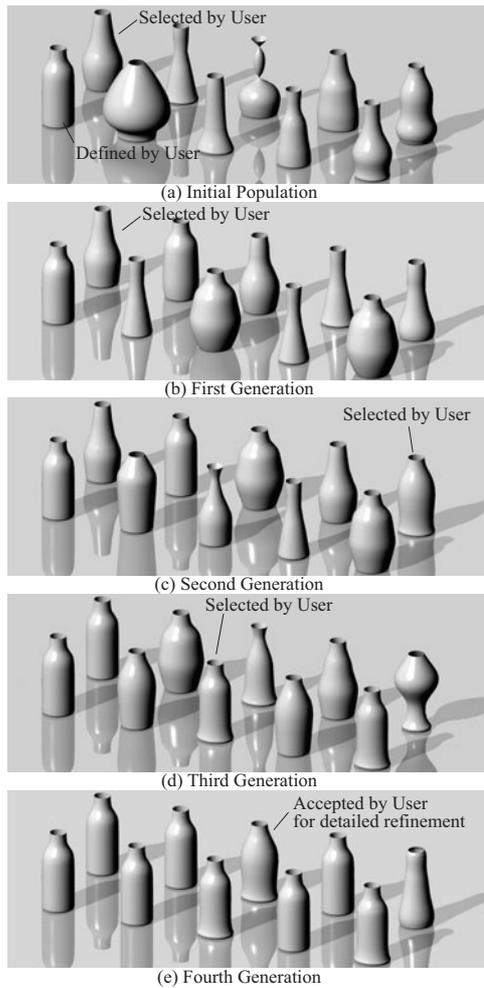


Fig.10 Updated Candidate Population

個体(e), (f)は、ユーザ定義曲線と個体群中からランダムに選ばれた断面曲線(この例では、ユーザが選択した曲線が偶然に選ばれている)が交叉されたものである。また個体(g), (h)は、ユーザ選択曲線とランダムに選ばれた断面曲線(この例では、図6(f)に示した曲線)が交叉されたものである。個体(g)は、初期形状と同様の手法で生成された断面曲線である。図7と9からは、交叉によって生成された断面曲線が、それぞれの親個体の持つ曲率を部分的に保持していることが確認できる。

4.2 ユーザの対話的選択による個体群更新

図10に、ユーザの形状候補選択によって個体群更新を第4世代まで重ねた過程を示す。最も左側の形状候補はユーザが定義したもので、最も右側の形状候補は、突然変異の操作で生成されたものである。この例では、初期個体群(図10(a))と第1世代(b)の個体群中で類似の形状候補がユーザによって選択されている。しかしながら、ユーザの定義した形状候補との交叉の操作によって生成された新たな形状候補は、断面曲線上の交叉位置によって異なったものとなっていることがわかる。たとえば、

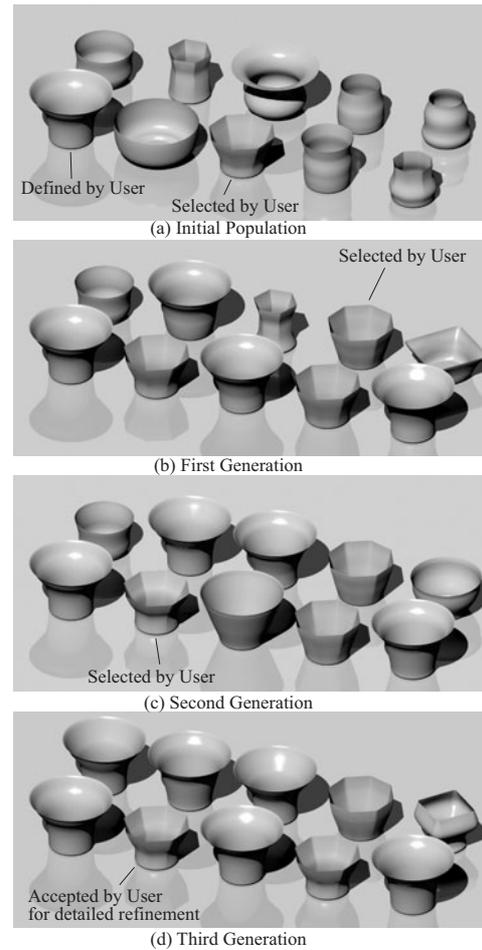


Fig.11 Updated Candidate Population by another User

第2世代(図10(c))の前列左から2, 3番目と4, 5番目の形状候補は、それぞれ同じ親個体ペアから生成されたものである。

また、第4世代においては、形状候補の多様性が小さくなっており、突然変異によって生成された形状候補を除き、ユーザが定義した断面曲線の特徴(首部の変曲点や直線的な胴下部)や、ユーザが選択した形状候補の底部付近でのくびれを持つ形状が大部分を占めている。

4.3 異なるユーザに対する形状候補提示

異なるユーザに対する形状候補提示の過程を示す。形状候補群の個体数は4.1節と同様9である。底部は円形とし半径 r_B は40mm、高さ h は50から100mmの範囲、口部半径 r_T は30から80mmの範囲でランダムに与えている。また、口部は約58%の確率で円形、約42%の確率で頂点数が4~8の多角形状となる。

図11は、初期個体群から第3世代まで、このユーザによって形状候補が選択され、個体群が更新された過程を示している。ユーザは、どの世代の形状候補に対しても八角形の口部を持つ形状を選択しているが、図12に

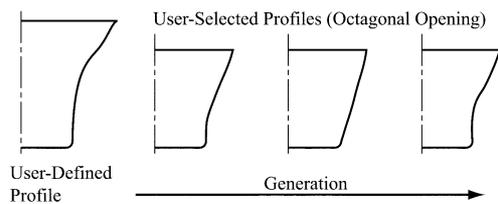


Fig.12 Updated Profile Curves by another User



Fig.13 Ray-Traced Image for User Detailed Refinement

示すように、ユーザが定義した断面曲線の特徴を持つ形状候補が生成されていることがわかる。

この例では、第3世代の候補提示において、個体群更新がユーザによって打ち切れられ、以降は、ユーザ自身による形状の検討となる。図13は、ユーザが形状候補の詳細な検討を行うために、システムによって生成された形状候補に肉厚を加え、ガラス状の材質を与えた後に、モデリングソフトウェアのレイ・トレースプラグインである Flamingo (Robert McNeel & Associates) により得たものである。

5. おわりに

形状発想の例として容器形状をとりあげ、対話型な概念設計支援の枠組とケーススタディを示した。新規形状を生成するために断面曲線と形状パラメータで表される形状候補に対して遺伝的アルゴリズムの適用を考えた。候補に対する評価には、設計者による選択を考え、これを考慮する個体群更新によって新規形状候補を提示する枠組を示した。ケーススタディでは、設計者の主

観的嗜好を反映しつつ、多様な形状候補を設計者に示唆することが可能であることを確認した。

このような枠組は、デザイナーが他者の作例を見ることによって刺激を受け、自分自身のデザインを確立していくような過程の延長にコンピュータを介在させたものである。この枠組は、設計者自身の選好に対して提示の傾向が動的に変わることが特徴である。なお、現在は多様な形状候補の生成を主眼に予備的検証を行っている段階である。設計者の主観的意思決定には、形状の力学的合理性など客観的に評価し得る指標が潜在的に含まれていると考えられるので、それを考慮する枠組の確立が今後の課題である。

本研究の一部は日本学術振興会科学研究費補助金(若手(B) 課題番号 16760115)の補助を受けた。記して謝意を表する。

文 献

- (1) たとえば, Zienkiewicz, O. C. and Morgan, K., *Finite Elements and Approximation*, (1982), John Wiley & Sons.
- (2) たとえば, 山川, 最適化デザイン(計算力学と CAE シリーズ9), (1994), 培風館.
- (3) 萩原, 造形の発想を支援するための CAD デザイン支援システムに関する研究, *デザイン学研究*, **41-1**, (1994), pp.59-64.
- (4) Soufi, B. and Edmonds, E., "The Cognitive Basis of Emergence: Implications for Design Support," *Design Studies*, **17-4**, (1996), pp.451-463.
- (5) 西村ほか3名, 陶磁器を対象とした3次元実物体データの類似検索, *信学技報 DE2001-62*, (2001), pp.109-206.
- (6) 伏見ほか4名, 陶磁研究に役立つ発想支援システムの考察—柴田コレクション作品画像の特徴抽出と陶磁研究への応用—, *情処研報 2003-CH-59*, (2003), pp.9-16.
- (7) 野上ほか2名, 陶器デザインのための CG シミュレーションシステムと商品開発への応用, *情処研報 2003-CH-58*, (2003), pp.81-88.
- (8) 氏家・松岡, 曲率積分を用いた形状生成方法, *日本機械学会論文集(C編)*, **71-702**, (2005), pp.547-554.
- (9) Yanagisawa, H. and Fukuda, S., "Interactive Reduct Evolutionary Computation for Aesthetic Design," *ASME, J. Computing and Info. Sci. in Eng.*, **5-1**, (2005), pp.1-7.
- (10) 北野, 遺伝的アルゴリズム, (1993), pp.3-7, 産業図書.
- (11) 高木ほか2名, 対話型進化計算法の研究動向, *人工知能学会誌*, **13-5**, (1998), pp.1-13.
- (12) 武藤ほか2名, 模擬育種法を用いた画像フィルタシーケンスの自動生成の試み, ワークショップ「インタラクティブ進化的計算論」, (1998), pp.7-12.
- (13) 畝見, 遺伝的アルゴリズムとコンピュータグラフィクスアート, *人工知能学会誌*, **9-4**, (1994), pp.518-523.