

I. 調査研究の目的

成熟工業社会においては、機能に加えて意匠デザインが工業製品の付加価値を決定的に規定する。

本調査研究では、先導的意匠デザインシステムの構築のために意匠デザイナーやアーティストの要求を明らかにし、デザイナーの発想支援に有効な方式と理論を開発することを目標としている。

本調査研究で目標とする内容は以下のとおりである。

- (1) 製品や計算機の技術ではなく、意匠デザイナーやアーティストの真の要求を明らかにする。
- (2) 単なる形状モデリングではなく、「デザイナーの発想支援」に有効な方式と理論を追及する。
- (3) 単なる「お絵描きツール」ではなく、高品質工業製品としての評価に耐える曲面モデリングを目標とする。
- (4) 急速に発展している CAD/CAM、コンピュータ・グラフィックスやネットワークの開発成果を十分に活用し、それらをプラットフォームとして、「意匠デザイン」に特化して、実用性の高い調査研究を行う。
- (5) 調査研究の成果をもとに、直ちにシステム開発を提案できることを目標とする。
- (6) 意匠デザインのための 3 次元形状モデリングの現状調査
- (7) 意匠デザインが要求する 3 次元形状モデリングの検討
- (8) 高付加価値意匠デザインのための形状創成理論の検討
- (9) 高付加価値意匠デザイン支援システムの提案

本調査研究は、「意匠デザイン」を主題として、計算機基礎技術（OS, Hardware）、CAD/CAM、コンピュータ・グラフィックス（CG）やネットワークなどの技術を横断的に統合しようとするものであり、新しい産業分野の創出に貢献できるという特徴を持っている。このような研究開発は、アメリカを中心として、全世界的に激しい技術競争が展開されているが、我が国は、依然として製品の基礎的な製造技術に優れており、これを基礎に、マルチメディア技術や意匠デザイン技術を統合すれば、世界にひけをとらない「高付加価値意匠デザイン」力を維持できるものと期待される。

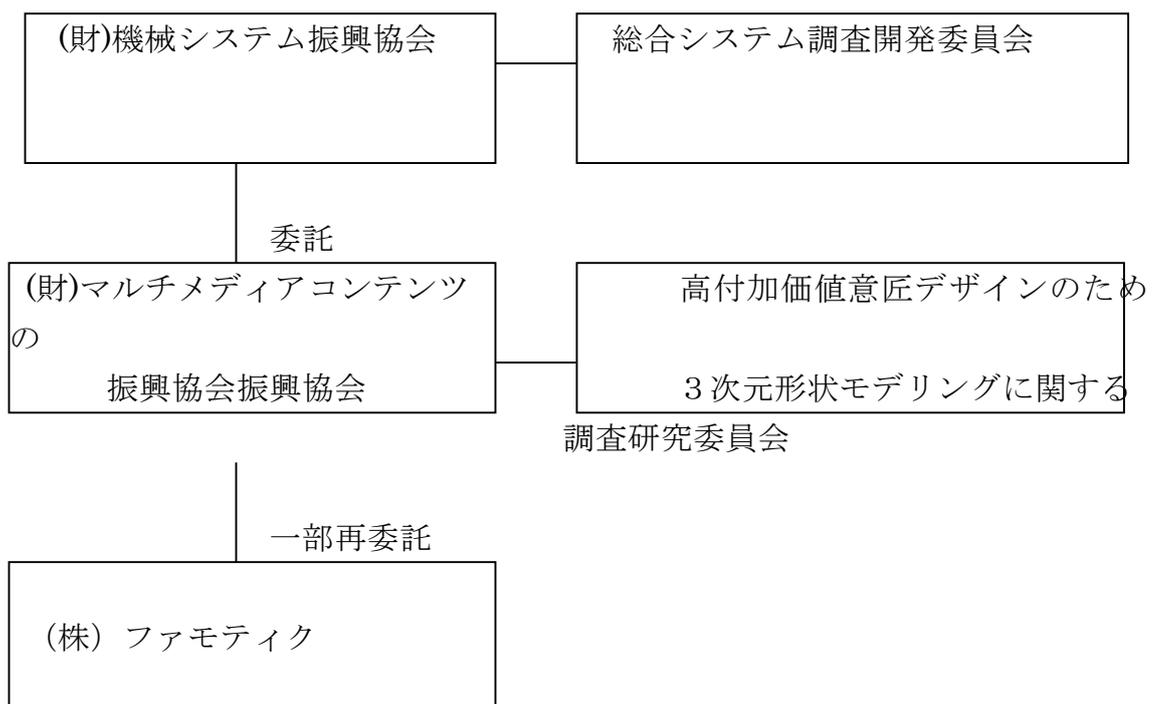
II. 調査研究の実施体制

II.1 実施体制

本調査研究の実施にあたり、(財)マルチメディアコンテンツ振興協会内に「高付加価値意匠デザインのための 3次元形状モデリングに関する調査研究委員会」を設置した。

本調査研究は上記委員会の指導のもとに具体的業務を遂行し、調査研究成果を報告書としてまとめた。

本調査研究は、以下の実施体制で行なった。



総合システム調査開発委員会委員名簿

(順不同・敬称略)

委員長	東京大学大学院 工学系研究科長	中 島 尚 正
委 員	政策研究大学院大学 政策研究科 教授	藤 正 巖
委 員	東京大学大学院 新領域創成科学研究科 教授	月 尾 嘉 男
委 員	東京工業大学 大学院総合理工学研究科 知能システム科学専攻 教授	廣 田 薫
委 員	東京大学大学院 工学系研究科 助教授	藤 岡 健 彦
委 員	通商産業省工業技術院 機械技術研究所 企画室長	矢 部 彰
委 員	通商産業省工業技術院 電子技術総合研究所 企画室長	中 島 秀 之

高付加価値意匠デザインのための 3次元形状モデリングに関する
調査研究委員会名簿

(順不同・敬称略)

委員長	木村 文彦	東京大学大学院工学系研究科教授
副委員長	近藤 邦雄	埼玉大学工学部情報システム工学科助教授
委員	渡辺 誠	千葉大学工学部工業意匠学科助教授
	青木 潔	(株)エヌ・ケー・エクサ デザインスピナーカーセンター
	岩政 隆一	(株)GK テック
	小池 純一	富士通(株) 総合デザイン研究所 インダストリアル研究部
	高瀬 茂	(株)三菱総合研究所システム ソリューション研究センター 産業情報システム部
	高橋 靖	ソニー(株) クリエイティブセンター
	田島 進	日経 BP 社 日経 CG 編集
	松田 浩一	埼玉大学理工学研究科博士後期課程 近藤研究室
	矢島 章夫	(株)日立製作所 デザイン研究所
	若森 真一	日産自動車(株) テクニカルセンター デザイン本部 企画デザイン部
オブザーバ	鈴木 啓文	通商産業省 機械情報産業局 情報処理システム開発課
	伊藤 比呂行	ファモティク(株) プロジェクトエンジニアリング部
執筆協力者	谷津 真人	(株)日立製作所 デザイン研究所
	遠藤 明彦	(株)エヌ・ケー・エクサ デザインスピナーカーセンター
事務局	中村 全孝	(財)マルチメディアコンテンツ振興協会 研究開発部
	阿部 信彦	(財)マルチメディアコンテンツ振興協会 研究開発部
	須藤 智明	(財)マルチメディアコンテンツ振興協会 研究開発部

Ⅲ. 調査研究成果要約

本調査研究では、昨年までの成果をもとに以下のことを行った。

(1) 高付加価値意匠デザインのための形状創成理論を用いた形状入力手法の提案

デザイナーに対するスケッチ作業の分析に基づいた形状入力システムの開発を行なった。このシステムは昨年度開発した多面体入力システムを発展させたもので、スケッチ線分の清書手法と3断面による3次元復元手法をもとに、曲線や曲面を取り扱えるようにしたソフトウェアである。本ソフトウェアでは曲面生成手法として細分割曲面を適用しており、その制御ポリゴンを自動生成するために、(a)スケッチによるフリーハンド曲線を細分割曲面の制御ポリゴンの断面として適用するための手法、(b)スケッチの形状表現で用いられる輪郭線や面上線を曲面制御に利用する手法を考案した。

(2) 高付加価値意匠デザイン支援のためのプロトタイプの開発

上記(1)の手法を利用し、曲線や曲面を取り扱えるプロトタイプシステムを構築する。埼玉大学で開発中の「3次元形状入力のためのスケッチインタプリタシステム」をベースとして、スケッチインタプリタに必要とされる「プリミティブ作成／操作機能」、「対話処理のためのユーザインタフェース機能」をまとめ、インプリメントし評価する。

本システムは大きく分類すると、(a)スケッチ入力支援機能、(b)3次元形状入力支援機能から成り、それぞれがスケッチ作業の分析に基づいたデザイナーからの要求を実現するための機能である。

(a) スケッチ入力支援機能

まず、手書きによる直線／曲線を自動的に清書し、コンピュータへの入力とする機能がある。この機能は、入力された直線／曲線を逐次に清書することにより、常に清書された線分が得られる機能である。また本手法は、この清書された線分に対し修正部分を加えると、新たに修正が反映された線分が得られる対話的な清書手法である。そして、コンピュータへ入力することの長所を生かし、履歴管理の機能も有している。デザイナーはポンチ絵などを描きながらア

アイデアを展開していくため、紙におけるスケッチの場合は多くのアイデアの中から決定した絵を書き直す必要がある。しかし、本システムでは、描いた絵がペン入力によりデジタルデータとして格納されていることを利用し、決定した絵の拡大／移動を行なうことにより一から描き直す必要なく作業を続けることができ、過去のスケッチを容易に参照したり再利用したりすることが可能になる。

(b) 3次元形状入力支援機能

本システムでは、形状入力において面上線という概念を導入した。面上線は、曲面形状を明確に示すためにデザイナーがスケッチの際に曲面上に描く線であるが、従来、この線を利用した入力手法は提案されていない。本システムでは面上線を清書機能を用いて入力し、3次元形状の入力情報として利用する。その3次元形状の生成のために、入力された3本の面上線からXYZ平面に対応する断面をスケッチから自動的に生成し、3次元形状のポリゴン生成に利用するという手法を提案したが、これが従来のCADシステムと大きく異なる点である。本手法を利用することにより、スケッチした形状をもとに多面体ポリゴンを生成し、そのポリゴンから高品位な曲面形状を生成できる。また、生成した曲面形状データはDXFデータに変換できるので、スケッチにより生成した形状データを既存のCADシステムで利用することも可能である。

(3) 提案システムの評価

構築したスケッチ入力システムの評価を委員会のメンバーであるデザイナーが行なった。評価項目は、以下のとおりである。

- 自動清書におけるスケッチと清書曲線の再現性および修正機能の評価
- スケッチの面上線を利用した形状入力により得られた3次元形状の再現性
また、今後のシステムの方向性や、必要な機能についても検討を行なった。

Ⅲ.1 CAD システムの現状と課題

Ⅲ.1.1 初年度における調査内容と課題

初年度の調査として、CAD システムの利用とその課題について整理した。そして意匠デザイナーが理想とするデザイン支援環境を有する次世代 3 次元 CAD に対する要求をまとめ、課題を明らかにした。これらのデザイナーの要求は、次世代 CAD を構築するための重要な内容が多く含まれていた。

Ⅲ.1.2 昨年度における調査内容と課題

昨年度は、初年度の分析に基づいた次世代 CAD を構築するための研究目標とデザイナーのスケッチ作業とそれをもとにした形状入力のために必要な手法の開発項目、形状モデリングと形状入力手法の現状と課題についての分析に基づき、スケッチインタプリターシステムの機能を整理し、プロトタイプシステムを提案した。

Ⅲ.1.3 形状入力のためのインタフェース技術

形状入力のためのインタフェース技術として、新規に 3 次元形状を生成する場合には、2 次元のスケッチを利用したシステム、スケッチを直接描いて 3 次元化するシステム、3 次元計測して立体化するシステム、3 次元デバイスを利用して入力するシステム等がある。また既に 3 次元形状がある場合の編集を容易化するシステムとして、マウスなどの 2 次元デバイスを利用して変形するシステム、3 次元デバイスを利用して変形するシステムがある。

Ⅲ.2 形状入力手法に関する動向

既存の CAD システムは、既にある程度形状概念が固まっている場合には適用の可能性はあるが、形状の発想段階を想定しているものはほとんど見当たらない。このため、発想支援として CAD を用いるためには、デザイナーがより直接的に操作できる形状入力法の開発が望まれている。

Ⅲ.3 形状決定におけるスケッチの役割

スケッチは、デザインプロセスの順序という視点から、アイデアの「発散」の役割としてのスケッチか、「収斂」のためのスケッチかに分類することができる。「発散」と「収斂」では、形状の決定に対しては全く異なる立場をとる。「発散」はおおよそその形状が決定できればよく、「収斂」は詳細に検討されることが要求される。またスケッチは「機能」を解決することに比重が置かれているか、「機能」に比重が置かれているかによっても役割が変わってくる。

ここでは、現在のデザインにおけるスケッチの役割を「発散」と「形態」に限定することで、スケッチの役割を「思考の発展過程における形態の検討」すなわちさまざまな形状を即座に入力できることとし、それについての検討を行うこととした。

Ⅲ.4 スケッチインタプリタシステム

ここでは、ペン入力を用いた直接入力による 3 次元形状生成システムについて述べる。本システムは、スケッチ感覚の 3 次元形状入力を可能にするシステムである。

スケッチによる形状表現では曖昧さや歪みが含まれていてもイメージとして合っていれば良いため、3 次元形状としてあり得ない場合もある。また、稜線の不明瞭さや奥行き情報の欠落のため、スケッチそのままを 3 次元形状として復元することは困難である。そこで、手描きによる曖昧さや歪みを対話処理で補正しながら形状を決定する対話型形状入力システムとしてスケッチインタプリタシステムを開発した。本システムは大きく分けると 4 つの機能から構成される。

- (1)ラフスケッチのベクターデータ保存と選択などのスケッチ作業支援
- (2)スケッチで用いられる線分の重ね書きによる形状入力を、コンピュータ上で可能にする逐次清書法
- (3)面上線のスケッチによる 3 断面の生成と細分割曲面の生成手法と修正機能
- (4)作成した曲面形状を他の CAD システムで利用するための DXF データ変換機能

以上の機能をまとめたスケッチインタプリタシステムにより、手描きによる曖昧さを持った入力が可能となり、試行錯誤による 3 次元形状の形状生成が可能となった。

Ⅲ.5 逐次清書法によるスケッチ入力

一般にスケッチは図面に描くような詳細で正確な図ではなく、線分の集まりにより稜線・頂点が表されている。スケッチによる作画は、図の形がはっきり決まっていない状態で何本もの線を描くことによってアイデアを固めていく。逐次清書法は、重ね書きによる線群から動的に芯線を求め、さらにその結果に対して直接修正を行う手法である。

本手法では、決められた時間内に描画作業が行なわれない場合に、その時間を思考時間とみなし、線群からの芯線抽出を自動的に行なう。

Ⅲ.6 手描き断面線を用いた細分割曲面生成手法

ここでは、Doo/Sabin の細分割曲面の制御ポリゴン生成のために、

- (1) Chaikin の手法の逆問題を解くための、手描き清書曲線からの制御ポリゴン生成手法
- (2) 頂点数の異なるポリゴン同士の自動接続手法

について提案を行なう。提案手法の特長は、以下のとおりである。

- 手描き断面線の入力だけで容易に Doo/Sabin の細分割曲面の制御ポリゴンが得られる
- 手描き曲線と制御ポリゴンを細分割して得られる曲線の差が非常に少ない
- 断面同士の頂点数の差を考慮する必要がない

提案手法を用いることにより、手描き断面線の入力により任意の断面を持つ細分割曲面が容易に生成できるようになった。

Ⅲ.7 スケッチ情報を利用した手描き細分割曲面生成手法

ここでは、制御点数が少なく曲面を表現できる細分割曲面に注目し、入力されたスケッチからその制御ポリゴンを生成し、立体生成に利用する手法を提案する。提案手法は、描画者の視点で描いたスケッチ情報のうち、曲面上に補助的に描かれる線に注目する。そして、その線を曲面の流れを作る線として利用し、スケッチに近いイメー

ジの形状を生成するための細分割曲面の制御ポリゴンを自動生成する。

Ⅲ.8 スケッチインタプリタシステムの評価

Ⅲ.8.1 スケッチインタプリタシステムの構成

スケッチインタプリタシステムはUNIX上にて動作し、3次元形状の入力にペンを用いるために液晶タブレットを使用している。本システムは、スケッチを描画して3次元データを作成する「スケッチシステム本体」、3次元形状を表示するための「3次元モデル表示プログラム」から成る。なお、スケッチシステム本体はX Window System、3次元モデル表示プログラムはOpenGLを使って書かれており、同時に起動し、連動して動作するようになっている。

Ⅲ.8.2 提案手法に対する評価

はじめに、2次元図形入力機能に対する評価を示し、次に、3次元形状の生成機能に対する評価を示す。

(1) 2次元図形入力機能に対する評価

(a) 逐次清書法に対する評価

入力した直線や曲線をラフに入力しても、それらを自動的に清書するという思想は高い評価を得た。修正についても、修正部分をそのまま描画することによる動的な修正は直感的であるという評価を得た。

曲線入力においては、「一定時間内に入力された線分が、同一曲線を構成するとみなして曲線変換する」という規則を設定していたため、清書に必要な曲線を一気に描く必要があった。その規則がデザイナーにとって不自然であり、また一度に描かねばならないというプレッシャーになるという意見があった。

(b) スケッチ支援機能に対する評価

入力データをすべて記録できるという利点を生かし、画面内に描かれた図形データを履歴情報として保存し再利用することができる。これにより、たくさん描いたサムネイルを拡大してベースにすることができるので、またはじめからきれいに描きなす必要がないという点で高い評価を得た。

要望が多かった機能はアンドゥ機能の強化である。アンドゥは、試行錯誤において最も多く使われる動作であるため、デザイナーの作業を円滑に進めるためには最も重視すべき支援機能となる。気に入らない線や部分はすぐさま直したいという要求に対

し、修正対象となる曲線を選択してからやり直すというインターフェースは使いにくいという評価であった。

(2) 3次元形状の生成機能に対する評価

(a) 逐次清書法に対する評価

ペンのストロークを用いた形状入力という思想は高い評価を得た。一般に曲線・曲面制御ではマウスを使った制御点移動により行なわれているが、やはり違和感があり、ペンを動かすことにより形状を作り上げていく作業がデザイナーにとって最も違和感のない作業形態である。

(b) スケッチ支援機能に対する評価

形状変形にもペンで描いた線を使うことにより、より直感的に形状変更を行なうことができるということ、また、面上線を入力線として利用することにより曲面制御を目に見える形で明示的に行なうことができるインターフェースは高い評価を受けた。

また、「現状では面上線を3本しか扱えないため部分的な形状の変化には対応できない。」ということや「現在の曲面生成手法の利用の仕方ではエッジになる部分が生成できないことが問題であり、平面と曲面の混在を考慮した形状生成手法が必要となる。」といった意見をいただいた。

Ⅲ.8.3 考察および今後の方向性

評価に対する考察と、デザイナーからの要求をまとめた今後のシステムの方角性についてまとめる。

(1) 2次元図形入力機能について

- スケッチ入力線については、試行錯誤の結果、古い線を選択する可能性もある。
- スケッチにおいては描いた線の濃さが重要度に大きく関係しているため、すべての線が均一の太さ・色で描かれるようなシステムではデザイナーの意図を反映させることができない。ペン入力による筆圧を利用して線と太さ・濃さの制御を行うことができる。
- スケッチを行なっている場面・人によって描画・思考時間は異なるため、筆圧を感知し、より強い筆圧での描画が行なわれた場合に変換を行なうようにするなど、清書開始のきっかけについては今後検討する必要がある。

(2) スケッチ支援機能について

- 描画データをすべて記録しているため、再利用することが可能なことがコンピュータを利用する最大の長所である。描いたスケッチをデータベースとして一括管理して利用することが可能である。
- 部分選択されたスケッチの拡大・縮小・移動といった機能があり、発想展開の際に描くサムネイルのうち必要なものだけ拡大して利用するような利用法を想定していたが、選択した図形自体を拡大していたため、不要なサムネイルと線が重なるため使いにくいという意見があった。そこで、図形自体を大きくするのではなく、キャンバス全体を拡大することにより注目している部分だけ見せるようにすることで解決する。

(3) 3次元形状入力手法について

- 曲面を有する初期形状を作るためにペン入力を利用することにより、3次元形状入力システムが受け入れられやすくなるという評価は得られた。しかし、形状を入力するための初期形状を詳細化する機能が不足している。
- 局所変形に関する機能としては、本システムでは外形入力のインタフェースしか用意しておらず、細部を描くための手法について、新たに検討する必要がある。
- 現在は曲面・平面の混在した立体は生成できないため、細分割曲面の制御ポリゴンを作る際に、平面を作ることができるような構成にする必要がある。また、入力の際にも直線・曲線が混在した線を描くことが出来なければならぬため、線分清書法の改良も必要となる。
- 現在のシステムでは、入力と表示が別になっておいるが、表示プログラムを結合し、立体生成後には面上線を立体上に描き、それを操作することになれば、2次元入力と3次元形状の結びつきを強め、より直感的な形状制御を可能となる。
- 1つのパーツからすべてが描けることはなく、複数のパーツを組み合わせたり、パーツから任意の形状を削り取るにより作り上げていくため、複数のプリミティブの扱いも必要である。

(4) 今後のシステムの利用の方向性について

- アイデアのツールとして、デザインの方向性およびコンセプト決定の際に使用したい。しかしながら、システムの表現力が向上しても、応答時間がデザイナーの思考に追いついてこないと利用価値は薄い。
- テクスチャや材質の変化や光源設定等の機能を付与することにより、美観、質感を表現したい。
- 簡単にその場でデザインの修正ができるようなシステムとして、プレゼンテーションの際に利用したい。しかしながら、納得させる要素にするためには、さまざまな変形操作ができる必要があり、同時に上記項目を満たす必要がある。

Ⅲ.9 本調査研究のまとめ

意匠デザイナーが直接利用することができて、形状の発想支援や形状概念の明確化に有効であるような、形状モデリングシステム構築のための調査研究とプロトタイピングを行ってきた。昨年度は、既存の研究開発を十分に調査して評価するとともに、デザイン現場での意匠デザインの現状とデザイナーの要求を知る機会を得て、今後の形状モデリングや形状入力について、極めて有益な情報をまとめることができた。また、比較的簡単な3次元形状のスケッチ入力システムのプロトタイプを作成し、デザイナーらからの評価を受けた。

昨年度までの成果をもとに、今年度には、まず、スケッチと形状入力について分析を深め、デザインプロセスにおけるスケッチの役割を明確にするとともに、形状決定におけるスケッチの役割を整理した。そして、スケッチインタプリタシステムのプロトタイプを提案した。このプロトタイプに必要な手法として逐次清書手法の提案、スケッチ線から細分割曲線への変換手法、スケッチ線分から細分割曲面の生成手法などを考案した。これらの、スケッチ主体の形状入力アルゴリズムの拡張を行った。さらにプロトタイプシステムの拡張を進め、デザイナーの評価を受け、プロトタイプシステムの特徴と今後の課題をまとめた。

今後は、プロトタイプシステムの更なる拡張とともに、デザイナーによる試用を続け、実用化システムへの可能性を追求する。

目次

I . 調査研究の目的	1
II . 調査研究の実施体制	2
II.1 実施体制	2
III . 調査研究成果要約	5
III.1 CAD システムの現状と課題	7
III.1.1 初年度における調査内容と課題	7
III.1.2 昨年度における調査内容と課題	7
III.1.3 形状入力のためのインタフェース技術	7
III.2 形状入力手法に関する動向	7
III.3 形状決定におけるスケッチの役割	9
III.4 スケッチインタプリタシステム	9
III.5 逐次清書法によるスケッチ入力	11
III.6 手描き断面線を用いた細分割曲面生成手法	11
III.7 スケッチ情報を利用した手描き細分割曲面生成 手法	11
III.8 スケッチインタプリタシステムの評価	13
III.8.1 スケッチインタプリタシステムの構成	13
III.8.2 提案手法に対する評価	13
III.8.3 考察および今後の方向性	14
III.9 本調査研究のまとめ	16

1. 調査研究の目的

1.1 目的

本調査研究では、先導的意匠デザインシステムの構築のために意匠デザイナーやアーティストの要求を明らかにし、デザイナーの発想支援に有効な方式と理論を開発することを目標とする。97年度（平成9年度）は3次元形状モデリングと意匠デザインの研究調査、意匠デザイナーのCAD・モデリングに関する要求を整理した結果をまとめた。さらに98年度（平成10年度）は、3次元形状モデリングと形状入力の研究・開発動向、意匠デザイナーの熟練技術であるスケッチ作業と形状決定との関係、そして形状入力のために作成したプロトタイプシステムについて調査研究を行った。これらの成果をもとに今年度は、スケッチを利用した形状入力のためのプロトタイプシステムに必要とされる「プリミティブ作成／操作機能」、「対話処理のためのユーザインタフェース機能」をまとめ、プロトタイプシステムを作成し評価することを目的とする。

このためにデザイナーに対するスケッチ作業の分析に基づいた形状入力システムの開発を行なう。このシステムは昨年度開発した多面体入力システムを発展させたもので、スケッチ線分の清書手法と3断面による3次元復元手法をもとに、曲線や曲面を取り扱えるようにしたシステムである。本システムでは曲面生成手法として細分割曲面を適用しており、その制御ポリゴンを自動生成するために(1)スケッチによるフリーハンド曲線を細分割曲面の制御ポリゴンの断面として適用するための手法、(2)スケッチの形状表現で用いられる輪郭線や面上線を曲面制御に利用する手法を考案する。

これらの手法を取り入れたスケッチシステムの特徴は以下の通りである。

- (1) フリーハンド曲線を自由曲線に変換する手法はいくつか提案されているが、提案手法では複数のスケッチ線分を一本の線分にし、それをもとに、細分割曲面の断面となりうる制御ポリゴンを自動生成することができる。
- (2) (1)で得られた断面をスイープして柱体を生成し、それらの相貫立体を求めると、スケッチした3次元形状を生成するための制御ポリゴンが生成できる。このポリゴンを細分割処理することによりスケッチと同一の曲面形状が生成できる。

1.2 背景

成熟工業社会においては、機能に加えて、意匠デザインが工業製品の付加価値に大きく影響する。そのため、自動車産業などを中心として美しい曲面のデザインを支援する CAD システムはよく普及しており、実用的に不可欠の道具となっている。しかし、これらのシステムは、デザイナーが描いた形状の初期スケッチが与えられて、オペレータがそれを見ながら形状構成するようなシステムが多く、(a)デザイナーの自由な発想の支援には有効ではなく、(b)形状構成操作が計算機的であるためデザイナー自身が利用するには適さない、という欠点がある。一方、一般に広く用いられている 3 次元コンピュータグラフィックス (3 次元 CG) のための曲面生成システムやレンダリングシステムは、CAD システムに比べてより使いやすいが、結果として得られる曲面形状の品質が不十分で工業利用に不適であるという弱点がある。

現在 CAD システムは多数開発されており、多くの機能が提案されている。したがって、本研究委員会では、多くの企業が取り組むような今までの延長的なテーマでなく、その先のテーマに取り組むことが提案された。そのために形のデザインなどの上流を重視して取り組むこと、技術者の考えでなく、デザイナーの考えを取り入れることが重要である。これによって、デザイナーから望まれるシステムの構築が可能となる。本研究で目標とする CAD システムの一つは、イメージが完全にでき上がらない状態の曖昧なままの形状の入力が可能なシステムである。このためには、概念から形を作るために必要な支援のための機能の開発や、使いやすいインタフェースの開発が望まれる。

本研究で扱うキーワードを「意匠デザイン」とした。ここで言う「意匠デザイン」とは、価値を持った美しい形を作ることである。そのために将来的に必要とされるデザイン支援が可能なプロトタイプシステム構築のための形状入力手法を確立することを本研究の目標のひとつとする。

デザイン支援システムは計算機によって実現されるが、計算機は単なる道具にすぎない。これは、紙とペンに代わって作業の中心となるとは考えられられないためであり、作業を効率化するという「支援」に重きを置くこととする。例えば、現在の 3 次元 CAD システムは、「支援」という観点からは程遠い。これは使う側の視点で作られていないためである。本研究では現状だけを考えないで、アーティストが考えているところをまず調査する。そこで形を作るアー

テストの立場で要求を収集し分析を行い、それらをまとめて将来のデザインシステムの提案を行う。本委員会で提案するシステムは、現在企業が作っているようなシステムではなく、近未来的なシステムであり、それを使うためのスケッチインタフェースを提案する。これによって、デザイナーが使うことができる形状入力インタフェースを提供する。

例えば、曲面の表現において、曲面というものは数式で表されるのが当然のように思われているが、それは、理系人間の考えることであり、デザイナーの頭には形状のイメージしかない。したがって、技術者の立場ではなく、デザイナーの立場から提案した形状デザインを計算機内に表現できるインタフェースの提案を行えるとよい。デザイナーの立場から生成した形状は、実現するためには難しかったり、形状が正確でなかったりする場合がある。しかしながら、最終的には精度の高い製品化に耐えうる品質を持った形状を生成することが必要となる。デザイナーの意図する高品質な製品形状ができることが重要であり、形を作る方式を提案することが望まれる。

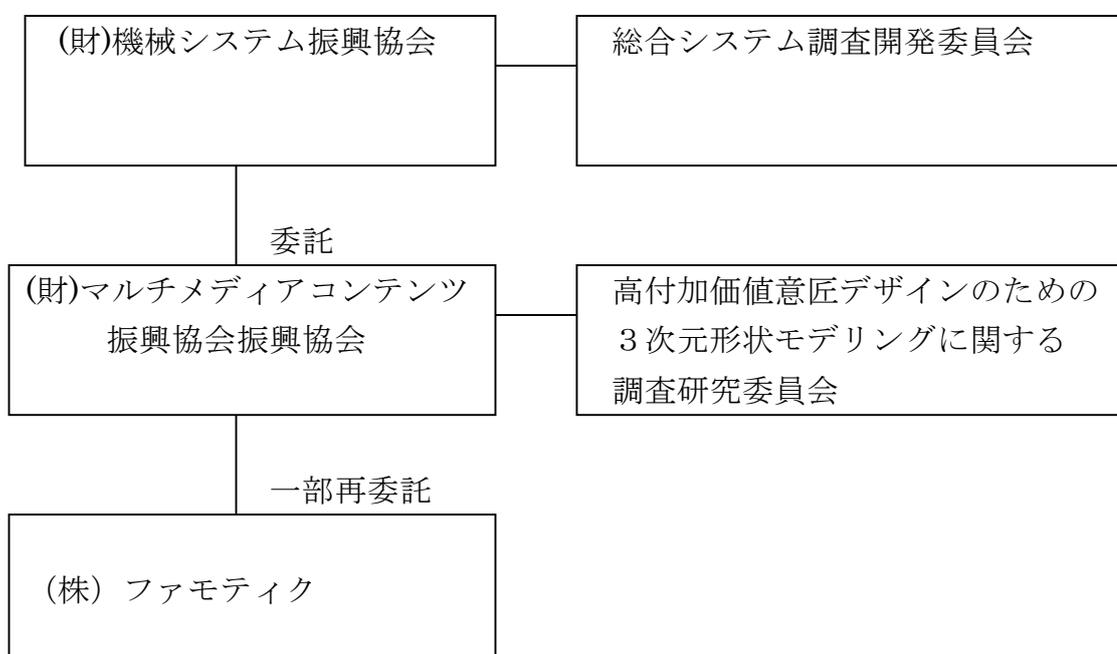
本調査研究は、「意匠デザイン」を主題として、計算機基礎技術（OS、Hardware）、CAD/CAM、コンピュータ・グラフィックスやネットワークなどの技術を横断的に統合しようとするものであり、新しい産業分野の創出に貢献できるという特徴を持っている。このような研究開発は、アメリカを中心として、全世界的に激しい技術競争が展開されているが、我が国は、依然として製品の基礎的な製造技術に優れており、これを基礎に、マルチメディア技術や意匠デザイン技術を統合すれば、世界にひけをとらない「高付加価値意匠デザイン」力を維持できるものと期待される。

2. 調査研究の実施体制

本調査研究の実施にあたり、(財)マルチメディアコンテンツ振興協会内に「高付加価値意匠デザインのための 3次元形状モデリングに関する調査研究委員会」を設置した。

本調査研究は上記委員会の指導のもとに具体的業務を遂行し、調査研究成果を報告書としてまとめた。

本調査研究は、以下の実施体制で行なった。



総合システム調査開発委員会委員名簿

(順不同・敬称略)

委員長	東京大学大学院 工学系研究科長	中 島 尚 正
委 員	政策研究大学院大学 政策研究科 教授	藤 正 巖
委 員	東京大学大学院 新領域創成科学研究科 教授	月 尾 嘉 男
委 員	東京工業大学 大学院総合理工学研究科 知能システム科学専攻 教授	廣 田 薫
委 員	東京大学大学院 工学系研究科 助教授	藤 岡 健 彦
委 員	通商産業省工業技術院 機械技術研究所 企画室長	矢 部 彰
委 員	通商産業省工業技術院 電子技術総合研究所 企画室長	中 島 秀 之

**高付加価値意匠デザインのための 3次元形状モデリングに関する
調査研究委員会名簿**

(順不同・敬称略)

委員長	木村 文彦	東京大学大学院工学系研究科教授
副委員長	近藤 邦雄	埼玉大学工学部情報システム工学科助教授
委員	渡辺 誠	千葉大学工学部工業意匠学科助教授
	青木 潔	(株)エヌ・ケー・エクサ デザインスピナーカーセンター
	岩政 隆一	(株)GK テック
	小池 純一	富士通(株) 総合デザイン研究所 インダストリアル研究部
	高瀬 茂	(株)三菱総合研究所システム ソリューション研究センター 産業情報システム部
	高橋 靖	ソニー(株) クリエイティブセンター
	田島 進	日経 BP 社 日経 CG 編集
	松田 浩一	埼玉大学理工学研究科博士後期課程 近藤研究室
	矢島 章夫	(株)日立製作所 デザイン研究所
	若森 真一	日産自動車(株) テクニカルセンター デザイン本部 企画デザイン部
オブザーバ	鈴木 啓文	通商産業省 機械情報産業局 情報処理システム開発課
	伊藤 比呂行	ファモティク(株) プロジェクトエンジニアリング部
執筆協力者	谷津 真人	(株)日立製作所 デザイン研究所
	遠藤 明彦	(株)エヌ・ケー・エクサ デザインスピナーカーセンター
事務局	中村 全孝	(財)マルチメディアコンテンツ振興協会 研究開発部
	阿部 信彦	(財)マルチメディアコンテンツ振興協会 研究開発部
	須藤 智明	(財)マルチメディアコンテンツ振興協会 研究開発部

3. 調査研究内容

本研究の目標は以下の通りである。

- 製品や計算機の技術ではなく、意匠デザイナーやアーティストの真の要求を明らかにする。
- 単なる形状モデリングではなく、「デザイナーの発想支援」に有効な方式と理論を追及する。
- 単なる「お絵描きツール」ではなく、高品質工業製品としての評価に耐える曲面モデリングを目標とする。
- 急速に発展している CAD/CAM、コンピュータ・グラフィックスやネットワークの開発成果を十分に活用し、それらをプラットフォームとして「意匠デザイン」に特化して、実用性の高い調査研究を行う。
- 調査研究の成果をもとに、直ちにシステム開発を提案できることを目標とする。

これらの目標を達成するために本年度は昨年度までの 2 年間の成果をもとに、以下のような 4 項目を調査しまとめる。まずはじめに昨年度のおもな調査内容を以下に示す。

(1) 形状モデリングと形状入力に関する研究・開発動向

意匠デザインにおける形状モデリングとその入力手法は、世界中でさまざまな研究と開発が行われている。昨年度の報告書では過去 5 年間の研究動向をまとめた。本年度は産業界における実際面からの調査と実用的な形状モデリングシステムと形状入力システムをまとめた。さらに先端的な会議などで報告された形状モデリングや形状入力に関する研究動向をまとめた。

(2) 意匠デザインが要求する 3 次元形状モデリングと形状入力の分析

デザイナー自身が要求するデザイン支援の「道具」と現状システムを把握し、デザイナーと CAD 技術者との討議により望まれるモデリング機能を検討した。そしてデザイン作業におけるスケッチの役割を明確にし、形状入力との関係を明らかにした。

(3) スケッチ作業の分析に基づく形状入力手法

デザイナーのスケッチ作業は、さまざまな工程で目的に合わせて用いられている。コンピュータを利用して形状入力をするために、デザイナーごとに異なっている部分と共通している部分を明確にするように、デザイナーのスケッチ作業を調査し、スケッチを行う意味とスケッチにおける形状決定手法をまとめた。

(4) 意匠デザイン支援のためのスケッチ入力システム

上記検討を踏まえて、高付加価値意匠デザイン支援のためのスケッチ入力システムであるスケッチインタプリタシステムの開発を行った。

今年度はさらに上記の成果をもとに以下のことを行った。

(a) 高付加価値意匠デザインのための形状創成理論を用いた形状入力手法の提案

デザイナーに対するスケッチ作業の分析に基づいた形状入力システムの開発を行なった。このシステムは昨年度開発した多面体入力システムを発展させたもので、スケッチ線分の清書手法と3断面による3次元復元手法をもとに、曲線や曲面を取り扱えるようにしたソフトウェアである。本ソフトウェアでは曲面生成手法として細分割曲面を適用しており、その制御ポリゴンを自動生成するために、「スケッチによるフリーハンド曲線を細分割曲面の制御ポリゴンの断面として適用するための手法」および「スケッチの形状表現で用いられる輪郭線や面上線を曲面制御に利用する手法」を考案した。

(b) 高付加価値意匠デザイン支援のためのプロトタイプの開発

上記(a)の手法を利用し、曲線や曲面を取り扱えるプロトタイプシステムを構築する。埼玉大学で開発中の「3次元形状入力のためのスケッチインタプリタシステム」をベースとして、スケッチインタプリタに必要とされる「プリミティブ作成／操作機能」、「対話処理のためのユーザインタフェース機能」をまとめ、インプリメントし評価する。

本システムは大きく分類すると、①スケッチ入力支援機能、②3次元形状入力支援機能から成り、それぞれがスケッチ作業の分析に基づいたデザイナーからの要求を実現するための機能である。

① スケッチ入力支援機能

まず、手書きによる直線／曲線を自動的に清書し、コンピュータへの入力とする機能がある。この機能は、入力された直線／曲線を逐次に清書することにより、常に清書された線分が得られる機能である。また本手法は、この清書された線分に対し修正部分を加えると、新たに修正が反映された線分が得られる対話的な清書手法である。そして、コンピュータへ入力することの長所を生かし、履歴管理の機能も有している。デザイナーはポンチ絵などを描きながらアイデアを展開する。紙におけるスケッチの場合は多くのアイデアの中から選択したスケッチを書き直す必要がある。しかし、本システムでは、描いた絵がペン入力によりデジタルデータとして格納されていることを利用し、選択した絵の拡大／移動を行なうことにより一から描き直す必要なく作業を続けることができ、過去のスケッチを容易に参照したり再利用したりすることが可能になる。

② 3次元形状入力支援機能

本システムでは、形状入力において面上線という概念を導入した。面上線は、曲面形状を明確に示すためにデザイナーがスケッチの際に曲面上に描く線であるが、従来、この線を利用した入力手法は提案されていない。本システムでは面上線を清書機能を用いて入力し、3次元形状の入力情報として利用する。その3次元形状の生成のために、入力された3本の面上線からXYZ平面に対応する断面をスケッチから自動的に生成し、3次元形状のポリゴン生成に利用するという手法を提案したが、これが従来のCADシステムと大きく異なる点である。本手法を利用することにより、スケッチした形状をもとに多面体ポリゴンを生成し、そのポリゴンから高品位な曲面形状を生成できる。また、生成した曲面形状データはDXFデータに変換できるので、スケッチにより生成した形状データを既存のCADシステムで利用することも可能である。

(c) 提案システムの評価

構築したスケッチ入力システムの評価を委員会のメンバーであるデザイナーが行なった。評価項目は、以下のとおりである。

- 自動清書におけるスケッチと清書曲線の再現性および修正機能の評価
- スケッチのと面上線を利用した形状入力により得られた3次元形状の再現性

また、今後のシステムの方向性や、必要な機能についても検討を行なった。

第 1 章 CAD システムの現状と課題

1.1 初年度(97 年)における調査内容と課題

ここでは、調査研究初年度にまとめた CAD システムの現状と課題の概要について述べる。まずはじめに、CAD システムの現状を調査し、企業における CAD システムの利用とその課題について整理した。そして、デザイナーが利用できるような CAD システムを開発するための課題について述べた。これらのデザイナーの要求は、次世代 CAD を構築するために重要な内容を多く含んでいた。

1.1.1 CAD システムの現状

工業製品などの製品デザインにおいて、CAD/CAM システムの利用が広まっているが、現在の CAD/CAM システムは技術者の発想により作られたインタフェースが提供されるため、デザイナー側から必要とされているとは言い難い。また、現在の CAD/CAM システムは、上記の理由から発想支援よりも、立体生成に主眼を置いていることもその理由である。

そこで、本研究において「高付加価値 3 次元モデリング」を 2 種類の支援形態に分類し、その柱とした。一つめは、スケッチのプロセスにおける高付加価値であり、思考を発散させる創造型の支援システムである。この型の支援システムでは、デザイナーの思考展開のプロセスをモデルとして扱うことにより、未知の形状を探索するシステムとする。その際には、デザイナーの思考のモデル化、デザイナーの個人的資質のデータベース化、形状創成を促進する知的なシステムといったテーマを検討する必要がある。また、二つめは、レンダリングした形状をデザイナーの意図する形をもとに、データとしてきれいに作成してくれる、代行型の支援システムである。この支援システムにおいては、デザイナーのノウハウのデータベース化、理解しやすい入力インタフェース、モデルの構成要素のデータベース化、といったテーマがある。前者、後者いずれの型においても、デザイナーの思考・知識を明らかにすることが必要である。

97 年度 (調査研究の初年度) は意匠デザインのための 3 次元モデリングの既存システムの調査を行い、現状技術の整理・体系化を行った。また、意匠デザ

イナーが要求する 3 次元形状モデリングの検討のために、デザイナーが理想とするデザイン支援環境を有する次世代 3 次元 CAD に対する要求をまとめた。そして以下の課題を明らかにした。

- プロトタイプ of 要求機能案の検討
- 高付加価値形状デザインのための形状創成理論の検討
- モデリング機能検証のためのプロトタイピング
- 高付加価値意匠デザイン支援システムの提案
- システム開発の試行によるフィージビリティスタディ

また、プロトタイプシステムには、デザイナーが頭に浮かんだ形状のアイデアを直接入力してモデル化できるような、形状創成の初期段階を支援できる機能が要求された。このプロトタイプにより作られた形状のモデルは、詳細設計に適した既存の CAD への入力となる。

1.1.2 次世代 CAD システムへの要望

ここでは以下の 4 項目を調査し、分析した結果をもとに次世代 CAD への要望を示す。

- 3 次元形状創成のための機能と課題
- 企業における 3 次元 CAD の活用と課題
- 3 次元形状モデリングの技術的動向
- CAD システムの現状と取り組むべき課題と今後の検討事項

これらのうちから今後の CAD システムに対する各企業の要望の概略を列挙した。調査した企業は 6 社であり、設計対象などが異なることから、それぞれの意見を列挙するにとどめる。

- (1) 現在の 3 次元 CAD の入力インタフェースには、本来実世界ではあるべき拘束条件が存在せず、自由度がありすぎ制御できないことに根源的な理由があるといえる。次世代 3 次元 CAD が必要としている入力インタフェースには、日常感覚とギャップの少ない入力インタフェースが期待される。次世代 CAD の実現のためには、(a)物理モデルを考慮した共通プラットフォーム

ームの確立、(b)加工法も含めた素材の流通、(c)多数ユーザへの普及を促す、個人所有可能な CAD の開発、が期待される。

- (2) 要望する次世代 CAD システムは、以下の 3 つの要素から構成されるところと考えられる。(a)イメージ・図面・3次元が自由に行き来できるシームレスな、マルチ・モーダル統合型デザイン CAD、(b)発想刺激イメージ・アクセラレータ、形状バリエーション自動生成といった、発想支援を行うインテリジェントな機能、(c)異なるプラットフォームで同様の作業が可能であったり、異種 CAD との完全データ互換を保証するようなハードウェア・ソフトウェアの開発。そして、上記の要素を反映したシステムを構築することにより、おおまかなイメージを素早く 3次元形状としてモデリングでき、その 3次元形状を用いてシミュレーションを行うなど、インタラクティブな操作による挙動チェックを 1 つのシステム上で手軽に行き来することが可能となる。
- (3) デザイナーの利用する CAD として以下のような提案を行う。(a)デザイナー自身がスケッチ並みな手軽さで扱える、(b)スケッチと立体との行き来が容易に行える、(c)立体構成要素ごとに曲線・曲面分割せずに、かたまりベースのモデリングが可能、(d)一度できあがったものから可逆的に自由な変形・修正が可能、(e)CAD 間における完全データ互換性を持つ。さらに、自動車デザインにおいては微妙な線・面の変化が重要であるためフルサイズモデルを作ることが不可欠であり、また、室内空間全体もデザインする必要がある。それらすべてを CAD により実現するためには、高度な VR によるシミュレーションが必要となる。
- (4) 現状 CAD への要望は以下の通りである。(a)デザイン意図に沿った多様な形状入力手法、(b)デザイン作業の下流工程とのインタフェースを独立化できる形状モデリング、(c)非専門オペレータでも従来デバイスと同等の分かりやすい入力コマンド・装置・ユーザインタフェース、(d)造形力支援タイプの形状提案型 CAD、(e)画像・図面・仕様書等を融合し、デザイン意図を提案する発想支援 CAD である。
- (5) 現状では、デザイナーの要求に応え得る、ストレスなく利用できる操作性を持つシステムが存在しない。したがって、次世代 3次元 CAD システムには、性能の高さや機能の豊富さよりも使いやすさに重点をおいたシステ

ムが期待される。そのためには、高度な形状データベースと知識データベースを有機的に結び付けることのできるアルゴリズムと、誰でもストレスなく使えるインタフェースが必要である。

- (6) 次世代 CAD に期待される機能は、(a)厳密な精度の寸法定義を必要としない、あいまいさへの対応、(b)設計変更に対し柔軟に対応し、試行錯誤が容易、(c)部門間における 3 次元データの共有・一元性が保証されること、といった要素を実現したシステムである。

1.2 昨年度(98年)における調査内容と課題

本節では、初年度の分析に基づいた次世代 CAD を構築するための研究目標とデザイナーのスケッチ作業とそれをもとにした形状入力のために必要な手法の開発項目、形状モデリングと形状入力手法の現状と課題について述べる。今年度はこれらの分析に基づき、スケッチインタプリタシステムの機能を整理し、プロトタイプシステムを提案した。

1.2.1 研究の目標と調査内容

ここでは、98年度(調査研究2年目)における調査研究内容をまとめる。本研究の目標は以下の通りである。

- (1) 製品や計算機の技術ではなく、意匠デザイナーやアーティストの真の要求を明らかにする。
- (2) 単なる形状モデリングではなく、「デザイナーの発想支援」に有効な方式と理論を追及する。
- (3) 単なる「お絵描きツール」ではなく、高品質工業製品としての評価に耐える曲面モデリングを目標とする。
- (4) 急速に発展している CAD/CAM、コンピュータ・グラフィックスやネットワークの開発成果を十分に活用し、それらをプラットフォームとして「意匠デザイン」に特化して、実用性の高い調査研究を行う。
- (5) 調査研究の成果をもとに、直ちにシステム開発を提案できることを目標とする。

これらの目標を達成するために98年度は97年度の成果をもとに、以下のような4項目を調査しまとめた。

(a) 形状モデリングと形状入力に関する研究・開発動向

意匠デザインにおける形状モデリングとその入力手法は、世界中でさまざまな研究と開発が行われている。昨年度の報告書では過去5年間の研究動向をまとめた。本年度は産業界における実際面からの調査と実用的な形状モデリングシステムと形状入力システムをまとめた。さらに先端的な会議などで報告された形状モデリングや形状入力に関する研究動向をまとめた。

(b) 意匠デザインが要求する 3次元形状モデリングと形状入力の分析

デザイナー自身が要求するデザイン支援の「道具」と現状システムを把握し、デザイナーと CAD 技術者との討議により望まれるモデリング機能を検討した。そしてデザイン作業におけるスケッチの役割を明確にし、形状入力との関係を明らかにした。

(c) スケッチ作業の分析に基づく形状入力手法

デザイナーのスケッチ作業は、さまざまな工程で目的に合わせて用いられている。コンピュータを利用して形状入力をするために、デザイナーごとに異なっている部分と共通している部分を明らかにした。このためにデザイナーのスケッチ作業を調査し、スケッチを行う意味とスケッチにおける形状決定手法をまとめる。

(d) 意匠デザイン支援のためのスケッチ入力システム

上記検討を踏まえて、高付加価値意匠デザイン支援のためのスケッチ入力システムであるスケッチインタプリタシステムの開発を行う。そしてこのプロトタイプシステムの評価を行う。

以下では、(a)形状モデリングと形状入力の動向と実用システムの技術について調査した概要について示した。

1.2.2 形状モデリングと形状入力の課題

形状モデリングの研究分野を大きく分類すると、以下のようになる。

- (1) 形状構成の基礎理論（位相構造、曲面式など）
- (2) 計算幾何学（計算量、数値計算の頑健性など）
- (3) 形状構成のアルゴリズム（モデル表現、形状生成処理）
- (4) 形状情報の利用や入出力処理（CAD/CAM、コンピュータグラフィックスなど）

上記の(1)については十分な研究がなされてきたが、理論をシステムとして計算機上に実装するときには、実用的な計算量の算定や、とりわけ計算機の有限桁計算から不可避免的に生ずる数値計算誤差に対する対策が必須であり、(2)の研究開発に対する期待は高いが、現状では実用的に適用可能な理論的成果は乏しく、今後の課題が多い。(1)や(3)については、既存の理論の枠組みでの研究は出

尽くした感じがあり、(2)の課題を基本的に回避するためにも、新しい理論的なアプローチが求められている。それにより、やや手詰まりの感じがある(4)の研究開発にも新しい展開が見込まれる。

以下のような方向が、今後期待される理論的あるいは技術的課題であるが、いずれも困難な課題である。

- 曖昧さを許容するモデリング（曖昧な境界）
- 形状の特徴を直接表現するモデリング（大域的、局所的）
- 形状表現の精度を制御できるモデリング（概念的 ↔ 詳細形状）
- 変形や動きを自然に表現できるモデリング

更に本質的には、人が発想した形状を容易に計算機にモデル化できる体系や発想そのものを支援できる体系が必要であるが、これらは、上記のようなモデリングの枠組みを根本的に拡大することにより解決されていくであろう。

形状入力の実用的に重要な課題であり、上記のような本質的な問題の解決と並行して、現実的に問題を解決していかねばならない。以下のような多様な方法が開発されている。

- メニュー入力とグラフィックフィードバック
- 2次元スケッチの取り込み
- 3次元動作の取り込み
- 実体形状の計測（3次元測定機、画像）

いずれの手法も、既にある程度形状概念が固まっている場合には適用の可能性があるが、形状の発想段階を想定しているものはほとんど見当たらない。CADの導入が進んでいる分野では、意匠デザイン部門においても、CAD化を推進しようとしているが、その考え方は様々であり、それに従って、適用できる手法も異なってくる。実体プロトタイプを作成する場合には計測が、デザイナーとオペレータが共同で作業を進める場合には通常のCADに近いユーザインタフェースが用いられる。発想支援としてCADを用いるためには、デザイナーがより直接的に操作できる形状入力法の開発が必須である。

1.3 形状入力のためのインタフェース技術

1.3.1 形状入力技術の概要

過去、3次元形状をより簡単に入力することを意図して開発・商品化されたものは数多くあるが、それらが、デザイナーが思ったイメージで入力、生成できるかという点必ずしもそうではない。それは、ソフトウェア技術あるいはハードウェア技術のブレークスルーが必要であり、その時点で存在していた技術の組み合わせという限界の中で、デザインプロセスへの考えは後回しであったために結果として、開発者が勝手に作ったインタフェースも数多くあった。しかし、最近では、それらの技術も進歩を続け、また、デザイナーもシステムの限界をある程度理解しその範囲の中で適用可能なシステムとして検討するようになり、デザイナーとの溝は縮まりつつある。

デザインを支援するシステムとして考えた場合、グラフィクスやレンダリング、発想支援、3次元形状入力、などいくつかの分類ができるが、ここでは、3次元形状を簡単あるいは直感的な操作性で入力できるシステムに絞り分類を行う。

まず、新規に3次元形状を生成する場合では、2次元のスケッチを利用したシステム、スケッチを直接描いて3次元化するシステム、3次元計測して立体化するシステム、3次元デバイスを利用して入力するシステム等がある。既に3次元形状がある場合の編集を容易化するシステムとして、マウスなどの2次元デバイスを利用して変形するシステム、3次元デバイスを利用して変形するシステムがある。

また、インタフェース技術ではないが、フィーチャーやパラメトリックなど寸法や特徴変更で再計算してくれるシステムに加え、最近ではプロシージャルモデリングと呼ばれる一連の操作プロセスをプロシージャとして組み込んで編集を容易化する方法を実装したシステムが登場してきている。

以上を整理すると、次のようにまとめられる。

- (1) 3次元形状を容易に生成する方法
 - (a) 2次元のスケッチを利用
 - (b) スケッチを直接描いて3次元化
 - (c) 3次元計測して立体化
 - (d) 3次元デバイスを利用して入力

- (2) 既存の3次元形状を容易に編集する方法
 - (a) マウスなどの2次元デバイスを利用して変形
 - ① ポリゴンの格子を利用
 - ② サーフェスの格子を利用
 - (d) 3次元デバイスを利用して変形

1.3.2 コンピューター支援による形状入力に関する動向の具体例

本節では、前節の概要で述べたインターフェース技術の分類に従って、どのようなシステムがあるかについて説明する。もちろんここでは全てのシステムを紹介しきれないことをお断りしておく。

(1) 3次元形状を容易に生成するシステム

(a) 2次元のスケッチを利用

既に描かれた2次元のスケッチを利用する例として、商品レベルでは数多くでていますが、正面や側面方向の図面方向でのスケッチを利用した例として、FRESDOM（ソニー）などでサポートされている[1]。

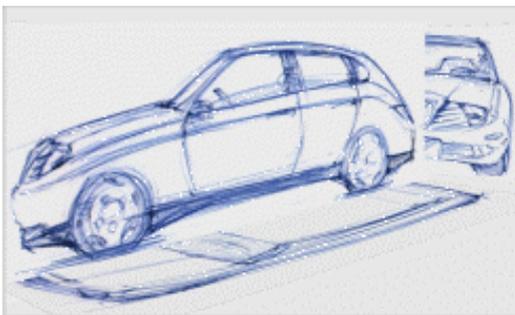


図 1.1 スケッチの 3 面図の配置

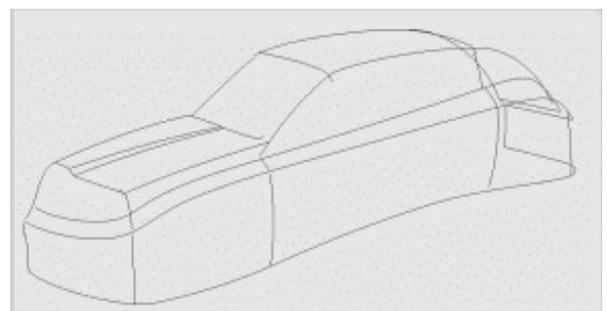


図 1.2 生成された枠組み曲線

また、パーススケッチを利用して立体化をするシステムとしては、Perspective（エヌ・ケー・エクサ）が代表的である。パーススケッチからビューを推定し、面对称性を利用して（非面对称でも可能）立体化できるシステムで操作も簡単である[2]。

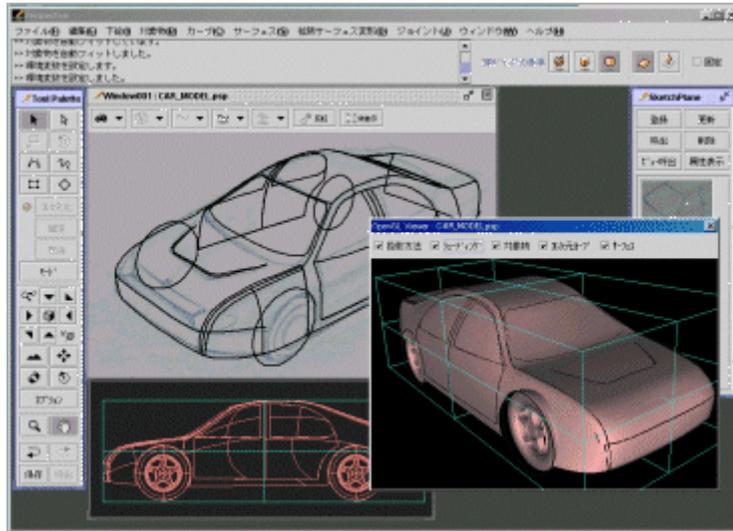


図 1.3 パーススケッチから立体化する（Perspective）

一方、立体のトポロジー構成を予めきだめておき、それに基づいてスケッチ入力すると自動的に立体となるシステムが開発されている[3]。

(b) スケッチを直接描いて3次元化

画面上でパース方向のスケッチを入力して立体化するシステムとして、その斬新さで群を抜く Teddy（五十嵐）がある。これは商品ではないが、Web からダウンロードできる。作成できる形状には制限があるが、その割り切りの良さが画期的なユーザーインターフェースとなっている[4]。

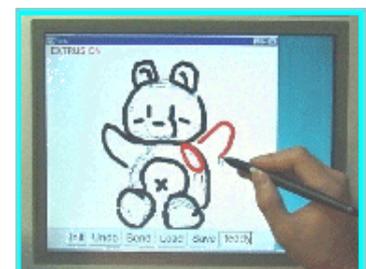
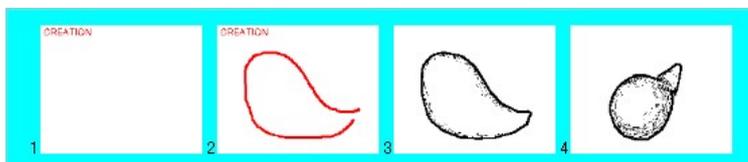


図 1.4 スケッチを描いて立体形状を作成する

また、前述した、**Perspective**（エヌ・ケー・エクサ）も画面上で直接カーブを入力して立体化しサーフェス（**NURBS**）を作成することができる。同様なインターフェースでポリゴンを生成するシステムとして、六角大王（古島 終作氏）がある。これも **Perspective** と同様面対称性を利用して立体化するシステムで、ポリゴンモデルとして編集できる。

(c) 3次元計測して立体化

① 点群利用

3次元計測した点群を利用して立体化するシステムは数多くでている。一般にはリバーズエンジニアリングと呼ばれるツールであるが、市販の商品として出荷されているものや、会社内部で作成されているもの等様々である。代表的なものは、**ICEMSURF**（独 **ICEM Technologies**）、**SURFACER**（米 **ImageWare**）、**AliasSurfaceStudio**（**AliasWavefront**）、**SmarShapeDesigner**（仏 **Dassault Systems**）等がある。

市販の商品の多くはクラウドと呼ばれる特に断面を指定しない点群を立体化する方法や特定の断面を通過する点群からサーフェスを貼る方法がある。どちらの手法も一長一短ある。一概には言えないが、面をよりの確にとらえるという観点では、断面を通過する点群からサーフェスを生成した方がよいという考え方が多い。

② 3次元デジタイザー

3次元デジタイザーでモックアップや製品を測定して、立体化してしまうシステムがある。**CyberModeler**（三洋電機）や **VIVID**（ミノルタ）のシステム等がある。特に、**CyberModeler** はそのままの色具合で立体化してしまうため、プレゼンテーション用途にも簡単に用いることができる。

③ イメージベースモデラー

実際にある形状の複数の写真を合成して立体化するシステムをイメージベースモデラーと呼ばれている。**PhotoModelerPro**（**VictorySoft**）や **FotoG**（マツポー）など数多くのシステムがでている。最近では、ロジックが大幅に改良され、より精密な形状を取り扱えるようになってきた。

④ ビデオ画像の利用

少し変わった例として、ビデオの動画画像から立体を推定するシステム VIRTUAL GAIA (オージス総研) が登場してきている。これは動画画像処理を用いたオプティカルフローの原理を応用している。

⑤ 補完システム

3次元測定などで入力された形状やCGシステムはポリゴンでもつことも多いが、ポリゴンデータを3次元形状のトポロジーや曲面を維持した状態でNURBSサーフェスに自動的に変換するユーティリティー的なツール Shape (米 RaindropGeomagic) が登場し、販売されている。これらのカテゴリーのツールは、入力インターフェースを補完するものとして今後も重要な位置づけになるであろう。

(d) 3次元デバイスを利用して入力:3次元形状測定器を用いたシステム

① 反力をもつ3次元デバイス

反力をもつ3次元デバイスとして、FANTOM (米 SensAbleTechnologies) が代表的なシステムがあるが、これだけでは、形状を作成することはできない。しかしながら、これを利用して3次元形状を簡単に作成できる FreeForm(米 SensAbleTechnologies) と呼ぶシステムが SIGGRAPH99 で登場している。

② 反力をもたない簡易的な3次元デバイス

通常のマウスは2次元数値をシステムに伝達するが、直接3次元位置情報をシステムへ伝達して3次元入力できるようになった。これは市販の3次元CADシステム+3次元入力機器という組み合わせで可能である。3次元入力機器として、MicroScribe3D (米 ImmersionCorp) 等が市販されている。

(2) 既存の3次元形状を容易に編集するシステム

(a) マウスなどの2次元デバイスを利用して変形

① ポリゴンの格子を利用

既存のポリゴン形状を編集して変形するシステムとしては、従来のCG系システムが代表であるが、最近では、格子のデータにサーフェスの概念を組み合わせた例としてラティスデザイナー (ラティス・テクノロジー) や ElectiricImage(米 Play Incorporated.) がある。またモデリングの新しい考え

方としてサブディビジョンサーフェスという方法が数年前から登場した。この方法を用いると、すき間をあげずに複雑な形状をモデリングすることが可能となり、特にエンターテインメント系のモデリングに用いられている。市販システムとしては、Maya (AliasWavefront) や SolidThinking (伊 GESTEL) などがある。

② サーフェスの格子を利用

通常の NURBS やベジエの制御ポリゴンを用いてサーフェスを編集する方法はサーフェス系の CAD システムにあり、制御ポリゴンの頂点を編集することによりサーフェスが編集できる。CATIA (仏 Dassault Systems) や FRESDOM (ソニー) 等が代表であるが、制御できることを限定させより簡素化して使いやすくしたシステムとして Neofom (豪 Formation Design Systems) 等がある。

(b) 3次元デバイスを利用して変形

前述した FANTOM を利用した FreeForm (米 SensAbleTechnologies) 等がある。

(3) その他の3次元形状入力を容易化する技術

フィーチャーやパラメトリックモデラーは設計支援ツールとして定着されつつあるが、これらの一連のプロセスを形状作成のルールとして1つのプロシージャとして定義し、例えばネジや部品相互の接合などで必要となる形状処理を意識することなく自動的に編集される方法としてプロシージャルモデリングと呼ぶ方法が提唱されている。設計ノウハウや知識ベースを保存・適用できる方法を実現する市販のシステムとして Paralogix (米 Applied 3D Science) が登場した。CG では関数的にアニメーションする方法としては似た考え方はあったが、モデリングへ適用し、それを実現するシステムがでてきたことが新しい。

以上、市販あるいは世に出ているシステムを中心にコンピュータ支援による形状入力システムに関する動向について述べた。技術的な成熟度が高まっていることもあるが、最近ではユーザーと密着した開発が行われるケースが多い。今までの技術中心からユーザーのプロセスに視点を移し、デザイナーが使いやすいシステムが今後はもっと登場してくることが期待できるであろう。

【参考文献】

- [1]財団法人 機械システム振興協会,財団法人 マルチメディアコンテンツ振興協会”コンテンツ制作支援システムに関する調査報告書”,(1999年4月),p29-36
- [2]財団法人 機械システム振興協会,財団法人 マルチメディアコンテンツ振興協会”コンテンツ制作支援システムに関する調査報告書” ,(1999年4月),p19-28
- [3]日経BP社,"日経CG",(1999年7月),p56-57
- [4] Takeo Igarashi, Satoshi Matsuoka, Hidehiko Tanaka :Teddy: A Sketching Interface for 3D Freedom Design, SIGGRAPH 99, pp.409-416(1999).

第 2 章 形状入力手法に関する動向

前章で述べたように、既存の CAD システムは、既にある程度形状概念が固まっている場合には適用の可能性があるが、形状の発想段階を想定しているものはほとんど見当たらない。このため、発想支援として CAD を用いるためには、デザイナーがより直接的に操作できる形状入力手法の開発が望まれている。2.1 節では、まずコンピュータ支援による形状入力のための課題について明らかにする。そして、2.2 節では、インタフェース技術の動向について述べる。

2.1 コンピュータ支援による形状入力に関する動向

現在の CAD を導入したデザイン工程では、3 次元モデルを生成するためには 3、4 ヶ月という長い期間を必要とする。現在の CAD システムでは、詳細な設計図の作成すなわち製図を行い、形状を決定した後 3 次元形状を入力する。あるいは、入力が容易な CG システムを用いて概略形状を生成し、それをもとに CAD システムを用いて詳細を決定していくことが行われている。このような状況から、デザイン期間の短縮が求められているが、発想段階である上流工程の比率を上げ、設計・生産作業の下流工程の時間を短縮することが理想的である。

デザイナーが形状を考えるときには頭の中にはなんとなく 3 次元形状があり、それを描くことによって整理していく。しかし 3 次元形状を確認するためには、正確な面ができていなくてもラフな 3 次元モデルがあればデザイン評価ができる。ある程度までデザインができれば、モデラーが形をきれいに製作してくれる。たとえば R（丸め）をぼかした面、なだらかにつなげなどの命令でモデラーが生成してくれる。従ってデザイナーが考えていることをどう定義するか、形をどう伝達するかが課題であり、CAD がそのような課題に対して役立つかどうかを整理しなければいけない。

デザイナーが使用する CAD システムのインタフェースを構築するためには、以下の課題がある。

(1) スケッチ入力のためのハードウェア

工業製品などの製品デザインにおいて、CAD/CAM システムの利用が広まっているが、現在の CAD/CAM システムは技術者の発想により作られたインタフェースが提供されるため、ユーザ側から必要とされるデザインツールとは言い難い。これは、技術者がよいと思った方法でも受け入れられるとは限らないこと、デザイナーが直接使いこなせるような環境をどのように作るか、という点が考慮されていないことが要因である。CAD システムの操作性の向上にはソフトウェアのインタフェースだけでなく、ハードウェアのインタフェースの進化も重要である。デザイナーが道具として自分で使えるものが必要であるが、現状では満足するシステムは少ない。たとえば自由な線が描きたいという要望に対して各種の制限がシステムによって存在する。今までと異なった視点で CAD システムを構築することが望まれる。

(2) 紙と鉛筆に優るインタフェース

デザイナーに合うインタフェースとはなにかを明らかにしていくことが大切である。現場では発想にはいまだ紙と鉛筆を用いている。自由な発想のためには、紙と鉛筆に勝る手段はないのが現状であろう。しかし、絵を描いても発想の一部だけしか表すことはできない。絵をいくら描いても 2 次元情報であるから、全てを表せるわけではない。したがって、ある程度の発想ができ上がると、クレイモデルなどの模型を作ることにより 3 次元の形状確認を行うのである。以上の過程では発想の時点で、紙と鉛筆で足りないところをクレイで補うことにより発想を展開していく。しかし、現在の CAD システムではクレイの代用が可能なシステムはない。人の考えていることをどうコンピュータに移すか、また出力をどう評価するかを考案しなければいけない。また、クレイなどの扱いとスケッチ入力などの違いや特徴も整理することが望まれる。これによって、CAD を用いたときに形の作り方が容易に理解できるようにする方法、発想したものが形に簡単に変換できるような方法を提案できる。

(3) スケッチの自動認識による 3 次元形状生成

デザイナーが望む一番良い入力インタフェースは、紙に描いたスケッチがコンピュータの中で 3 次元形状として自動的に認識され、形状データが生成されることである。しかし具体的にはどのような実装ができるのかが課題である。スケッチから自動的に変換されて 3 次元立体ができることが理想的であるが、2 次元は 2 次元の絵でしかないので、それが 3 次元モデルへのつながりがあれば有効となる。紙のスケッチが入力できてそれでいいかという問題がある。スケッチの電子化は行われているが、単純に置き換わるだけでは、画材が変化し

たにすぎない。スケッチの意図が取り出せるようにならなければいけない。レンダリング画像の取り扱いが楽になるだけではいけない。図面的なものの捉え方、構造的な考え方をまとめる必要がある。キャラクターラインで形を捉えればいいのか、それともレンダリングして評価することがいいのかなどをまとめることが必要である。立体構成のスキルを整理することも大切である。

2.2 形状入力のインタフェース技術の動向

2.2.1 手描きによる線分入力に関する研究

手描きによる図形入力の研究では、極大・極小・変曲点を用いた一筆描き曲線の清書[1]がある。直接操作による曲線の形状変形が特徴であり、大域的な変形が可能である。また、手描きにより描かれた線や図形がどのような幾何形状であるかを識別する研究もあり、ファジー理論を用いて補正する Chen ら[2]の手法などがある。この研究では楕円や円弧や直線などを柔軟に認識することが可能である。そして、歪みを含んだ直線の補正を行なう手法として、Ramer[3]、近藤ら[4]の手法がある。両者共に、折れ線の端点を結び、端点を結ぶ線から距離最大点を選んで区間分割し直線近似する手法である。しかし、距離最大点の選び方に違いがあり、前者は端点を結ぶ直線からの距離を用いるのに対し、後者は端点間の距離と端点を結ぶ直線からの距離の比を用いている。上記の研究においては、描かれた線分をどのように処理するかは主眼がおかれ、どのように描くかについては言及されていない。描き方に関する研究としては、拘束条件などを用いて清書図形を容易に描く五十嵐ら[5]、[6]の研究がある。平行や垂直、対称性などを利用して自動的に次に描く候補を予想することにより図形描画を可能にしている。

以上の手描き入力に関する研究は、いずれも処理対象とする描線が1本であることが挙げられる。スケッチを行なう場合には、ひと筆で図形を全て描くことは少ない。例えば車の外形を描く場合にひと筆で描こうとすると、描きにくい方向が必ずあり、紙を回すなどして得意な方向に線が引けるようにする。不得意な方向では意図した曲線が描きにくいからである。

そして、入力後の線分に対する修正手法が UNDO などで行い直すことしかできない。スケッチでは修正を行なう場合には消しゴムはあまり使わず、重ねて濃く描くことにより修正を行なう。また、従来法では同様に部分的な変更をラフに描きながら試行錯誤することが不可能である。

本研究で提案する逐次清書法はスケッチの描画手法をコンピュータへの入力として扱うことを目的としており、複数線分の入力を1本の清書線分に変換し、リアルタイムに修正後の清書線分を表示する。また、修正を行なう場合には、

重ねて描画することにより、後に描かれた線分を優先して清書線分を動的に計算する。本手法を用いて動的に新たな清書線分を出力することにより対話的な線分清書が可能となる。

2.2.2 手描きによる 3 次元形状入力に関する研究

手描きをキーワードにした 3 次元形状入力手法はオフライン型・オンライン型の 2 つに分類できる。前者は描き上がったスケッチをスキャナで取り込み、形状入力の指標として利用する研究である。後者は描いた線分／図形をリアルタイムに図形や立体に変換する研究である。

オフライン型の完成スケッチをスキャナで読み込むことによる形状入力手法として、赤尾による手法[7]がある。この手法はスケッチ画を取り込み画像として利用して概形を入力することにより立体入力の負担を軽減する手法である。しかし、この手法ではスケッチ画が完成している必要があり、発想段階で用いる手法ではない。

これに対し、オンライン型手法は図形認識手法の提案や 3 次元空間内への描画インタフェースの考案により、コンピュータとの関係を容易にする試みである。まず、対称性を利用した立体入力[8]、簡単な手描き図形から平面による 3 次元の立体を復元する研究[9]があるが、初期段階の簡単な形状は入力できるものの、その後の変形や拡張性については論議されておらず、形状生成のみに留まっている。

よりスケッチに近いシステムとして注目を浴びたのが、基本オブジェクトをスケッチとしてジェスチャで入力し、組み合わせることにより空間内に形状を配置する Zeleznik ら[10]の SKETCH システム、五十嵐らによる丸みのあるオブジェクトの外形を描くと自動的に 3 次元形状に復元する Teddy システム[11]、自動車の形状に限定し、手描き情報を利用する 3 次元形状生成手法[12]であり、また、スタイラスペンを用いてタブレットに直接入力された図形を処理し、3 次元形状を生成する手法も提案されている[13]、[14]。これらの研究では、定められたジェスチャがデザイナーが使うものとは遠かったり、自由形状が扱えないなどの問題、また、決められた位相をもつ形状の入力しか可能でない、断面が楕円であるといった制限があった。

本研究では、デザイナーが描くスケッチの情報のうち、曲面上に描かれる補助線に注目した。その線を用いて立体入力に利用するため、デザイナーにとって自然な入力手法である。また、立体生成に相貫体を用いているため立体の生成／変形が容易であり、補助線の描き直しによる形状変形操作も可能であり、形状の自由度が高い。

【参考文献】

- [1] 日本機械学会：形態とデザイン, pp.7--12, 培風館(1993).
- [2] C. L. Philip Chen, Sen Xie：Freehand drawing system using a fuzzy logic concept, Computer Aided Design, Vol. 28 No. 3, pp. 77--89,(1996)
- [3] U. Ramer：An Iterative Procedure for the Polygonal Approximation of Plane Curves Computer Graphics and Image Processing, Vol, 1, pp. 244--256, 1972
- [4] 近藤邦雄, 木村文彦, 田嶋太郎：曲面の形状感の表現（第3報）手描き入力による図形作成法, 精密工学会誌, Vol. 53, No.4(1987).
- [5] 五十嵐健夫, 他：制約を利用した対話的図形整形システム, インタラクシオン'97 論文集, pp.69--70, (1997)
- [6] 五十嵐健夫, 他：対話的整形と予測描画による幾何学図形の高速度描画インタラクシオン'98 論文集, pp.25--26(1998).
- [7] 明尾 誠, 他：アイデアスケッチからの3次元形状自動復元システム, 第9回 NICOGRAPH 論文コンテスト, pp.55--65, (1993)
- [8] 古島 終作, 他：ラフスケッチ図からの3次元モデルの生成, 第6回 NICOGRAPH 論文コンテスト, pp.11--21, (1990)
- [9] Lynn Egli, Beat D. Bruderlin, Gershon Elber：Sketching as a Solid Modeling Tool, Proceedings of Third Symposium on Solid Modeling and Applications, pp.313--321, (1995)
- [10] Pobert C. Zeleznik, Kenneth P. Herndon, John F. Hughes：SKETCH：An Interface for Sketching 3D Scenes, SIGGRAPH 96, Computer Graphics Proceedings, pp.163--170(1996).
- [11] Takeo Igarashi, Satoshi Matsuoka, Hidehiko Tanaka：Teddy: A Sketching Interface for 3D Freedom Design, SIGGRAPH 99, pp.409--416(1999).

[12] 五十嵐健夫, 中嶋孝行, 小寺敏正, 田中英彦 :手書きスケッチによる自動車のボディ形状デザイン, Visual Computing グラフィックスと CAD 合同シンポジウム'99 予稿集, pp.75--80(1999).

[13] 杉下悟, 他 : フリーハンドスケッチによる3次元形状入力法, 情報処理学会 グラフィックスと CAD シンポジウム論文集, (1995)

[14] S. Sugishita, K. Kondo, et al., Interactive Freehand Sketch Interpreter for Geometric Modelling, Symbiosis of Human and Artifact, pp.561-566, (1995)

【参考文献】

以下にスケッチ入力に関連する文献を4つの分野に分けて示す。

(1) 対話的なスケッチ描画と形状入力

[1] C.L.Philip Chen, Sen Xie: “Freehand drawing system using a fuzzy logic concept” , Computer Aided Design Vol.28 No.3 pp.77-89, (1996)

[2] K.Matsuda, S.Sugishita, Z.Xu, K.Kondo, H Sato, S.Shimada : “Freehand Sketch System for 3D Geometric Modeling” ,Shape Modeling International '97 pp.55-62, (1997)

[3] Takeo Igarashi, Satoshi Matsuoka, Hidehiko Tanaka :Teddy: A Sketching Interface for 3D Freedom Design, SIGGRAPH 99, pp.409-416(1999).

[4] Robert C. Zeleznik, K.P. Herndon, J. F. Hughes: “SKETCH: An Interface for Sketching 3D Scenes” , SIGGRAPH'96 pp.163-170,(1996)

[5] 鈴木 宏正, 山本 貴史, 金井 崇, 木村 文彦: “面上線による自由曲面形状の操作” , 精密工学会誌 Vol.62 No.1 pp.75-79, (1996)

[6] Yifan Chen, Klaus Beier, Dimitris Papageorgiou: “Direct highlight line modification on nurbs surfaces” , Computer Aided Geometric Design Vol.14 pp.583-601, (1997)

[7] Marti E, Regomcos J, Lopez-Krahe J and Villanueva J J : “Hand line drawing interpretation as three dimensional object, Signal Process” , Vol.32 pp.91-110,(1993)

[8]Eggl, D.L., Bruderlin, B.and Elber, G.: “Sketching as a solid modeling tool” , In Proceedings of the 1995ACM/SIGGRAPH Symposium on Solid

Modeling Foundations and CAD/CAM Applications, Salt Lake City pp.17-19,(May 1995)

[9]Pugh,D.: “ Designing solid objects using interactive sketch interpretation” , In Proceedings of the 1992 Symposium on Interactive 3D Graphics, (1992)

[10] Saga, S and Makino, H : “Fuzzy spline interpolation and its application to on-line freehand curve identification” , Proc. 2nd IEEE Int. Conf. Fuzzy Systems pp.1183-1190,(1993)

[11] LIANG, J. AND GREEN, M. : “A highly interactive 3D modeling system” , Computers & Graphics 18 1994 (July), pp.499-506

[12] Elvis KoYung Jeng, Zhigang Xiang: “Moving Cursor Plane for Interactive Sculpting” ,ACM Transactions Vol.15 No.3 pp.211-222, (1996)

(2) 2次元図形からの3次元形状を復元する手法

[1]Lipson H, Shpitalni M : “A new interface of conceptual design based on object reconstruction from a single freehand sketch” , Ann. CIRP Vol.44 No.1 pp.133-136,(1995)

[2]H.Lipson, M.Shpitalni: “Optimization-based reconstruction of a 3D object from a single freehand line drawing” , Computer Aided Design Vol.28 No.8 pp.651-663, (1996)

[3]Shpitalni M and Lipson H : “Identification of faces in a 2D line drawing projection of a wireframe object” ,IEEE Trans. Pattern Analysis && Machine Intell

[4]Lynn Egli, Ching-yao Hsu, Beat D.Bruderlin, Gershon Elbert: “Inferring 3D models from freehand sketches and constraints” , Computer Aided Design Vol.29 No.2 pp.101-112, (1997)

[5]Hwang,T. and Ullman, D.: “Recognizing features from freehand sketches” ,Computers in Engineering, ASME,1 pp.67-78,(1994)

[6]Grimsted I J and Martion R R : “Creating solid models from single 2D sketches” , Proc. Third Symp. on Solid Modeling Applications, ACM Siggraph pp.323-337,(1995)

[7]Lamb D and Bandopadhyay A : “Interpreting a 3D object from a rough 2D line drawing” , Proc. First IEEE Conf. on Visualization 90 pp.59-66,(1990)

- [8]Sugihara K: “ Machine Interpretation of Line Drawings ” ,MIT Press,(1986)
- [9]Wang W and Grinstein G : “A survey of 3D solid reconstruction from 2D projection line drawings” ,Comput. Graph. forum Vol.12 pp.137-158,(1993)
- [10]Kanade T : “Recovery of the three diensional shape of an object from a single view” , Aritificial Intelligence Vol.17 pp.409-460,(1980)
- [11]Marill T : “Emulating the human interpretation of line drawings as three dimensional objects ” , Int. J. Comput Vision Vol.6 No.2 pp.147-161(1991)
- [12]Leclerc Y G and Fisler M A : “An optimization based approach to the interpretation of single line drawings as 3D wire frames” , Int. J. Comput Vision Vol.9 No.2 pp.113-136,(1992)

(3) スケッチ画や写真を利用した形状入力

- [1]明尾 誠: “スケッチ図からの三次元形状の生成” ,設計工学 Vol.29 No.7 pp.17-21, (1994)
- [2]金井 理, 遠藤 明彦, 堀田 邦彦, 青木 潔: “デザインスケッチからのリアルタイム NURBS 曲線生成の研究” ,精密工学会春季大会学術講演会講演論文集,(1997)
- [3]T.Kuragano: “Methods to Generate Freeform Surfaces from Idea-sketch and Three Dimensional Data” ,Sixth IFIP WG5.2 International Workshop on Geometric Modeling:Fundamentals and Applications(GEO-6) pp.286-295,(1998)
- [4]趙 修偉, 大沼 一彦: “物体の鏡面对称性を利用して 2次元画像から 3次元情報を復元する方法” ,デザイン学研究 vol.78 pp.23-28,(1998)
- [5]H.Sakurai , D.C. Gossard: “Solid Model Input through Orthographics Views “ ,Proc. of SIGGRAPH '83 vol.17 No.3 pp.243,(1983)

(4) イメージベースの形状入力・生成手法

- [1]Paul E. Debevec: “ Modeling and Rendering Architecture from Photographs:A hybrid geometry-and image-besed approach” ,SIGGRAPH'96 pp.11-20,(1996)

- [2]Y.Horry,Ken-ichi Anjyo: “Tour into the Picture:using a Spidery Mesh Interface to Make Animation from a Single Image” ,SIGGRAPH'97 pp.225-232,(1997)
- [3]S.Ozawa,M.Miyama,K.Kondo: “ Estimation of Viewpoint and Light Source for a Montage Perspective of Electronic catalogue” ,Proceedings of the 8th ICECGDG Cnference Vol.1 pp.49-53,(1998)
- [4] 小沢,宮間,近藤: “電子カタログのための写真撮影条件の推定と画像合成への応用” ,第 13 回 NICOGRAPH/MULTIMEDIA 論文コンテスト論文集 pp.111-120,(1997)

第3章 形状決定におけるスケッチの役割

本章では、98年度の報告書にまとめられた「形状決定におけるスケッチの役割」から抜粋して、(1)デザインプロセスにおけるスケッチの役割、(2)スケッチとデザイン作業、(3)スケッチの実際についてまとめる。そのために、新たにそれぞれの企業において同じような意味で用いられていたスケッチ用語を見なおし、用語を統一した。デザインプロセスで必要とされるスケッチとその役割を明確にした。

3.1 デザインプロセスにおけるスケッチの役割

3.1.1 デザインプロセスとスケッチ

デザインプロセスにおけるスケッチの役割は、さまざまな視点でとらえることができる。これは、工業デザインの対象範囲が広いことや業種によりスケッチの利用方法が異なる等その理由はさまざまである。このスケッチは、商品開発の過程においてデザインセクションに委ねられたものであり、他の商品企画や設計では生成されない情報である。それゆえ、スケッチを描くことは、デザインにおいては大きな業務対象となっているともいえる。

スケッチは、単に対象となる製品のスタイルだけを描いていると思われがちだがそれだけではない。機能や性能、使い勝手や便利さなどさまざまなことが検討されている。したがってデザインプロセスにおけるスケッチの役割は一概に述べるのが難しいことも事実である。

(1) 発散と収斂

スケッチには、デザインプロセスの順序という視点から、その役割として大きく2つに分類できる。その2つとは、アイデアの「発散」の役割としてのスケッチか、「収斂」のためのスケッチか、である。すなわち、デザイナーが描いているスケッチがさまざまなアイデアを多岐にわたって検討するために描かれているものなのか、それとも展開してきたアイデアをまとめるために描かれているかという違いである。

この2つのスケッチにどのような違いが存在するかというと、「発散」は比較的自己の思考を具現化するためにスケッチを描くのに対して、「収斂」はスケッチによって機能的整合性や機構・大きさなどを検証するために描いている。これらは一連のプロセスとして連続している場合も多いが、発散と収斂では、形状の決定に関しては、まったく異なる立場をとる。発散の行為は、おおよその形状が決定できれば良く、収斂の行為は詳細に検討することが要求される。この2つのうちどちらの行為を支援するかによって、その方法は全く異なったものとなるはずである。

(2) 機能と形態

この2つがデザインにおいてどのような役割を果たしているかは、難しい問題であるのでここでは議論の対象としないが、描いているスケッチが「機能」を解決することに比重がおかれているか、「形態」に比重が置かれているか、あるいはどちらが主体であるかは、比較的簡単に検討することができるのではないだろうか。

例えば、まったく新しい性能や機構を採用する製品をデザインする場合には、それらをどのように使いやすいものとして仕上げていくかが主体となるスケッチが描かれ、「機能」に比重が置かれ、思考展開の対象も機能のデザインが主体となる。逆に、他との差別化や個性化をその形態で演出する、あるいはしなやかさや軽快感などを新しい面やRで表現したい場合は、「形態」に比重が置かれたスケッチとなる。

以上のように、「機能」と「形態」に分類して考えた場合でも、どちらのスケッチの行為を支援するかによりその方法が全く異なっていることは自明であるといえる。もちろん両方をバランス良く処理する場合や連続的に思考展開がなされる場合もあり、これができなければデザインではないという意見もあるかも知れない。しかしここでは、どちらに比重が置かれているかであえてスケッチの役割の違いを上記のように分けることにした。

このように、デザインプロセスにおけるスケッチは、どのような視点により検討するかや、スケッチの行為が何を対象としているかによって異なるものであり、その役割を特定することが難しい。しかしながら、対象や範囲を限定することで、どのような行為が存在するかを抽出することは可能である。

3.1.2 スケッチと形状入力

デザインにおけるスケッチの役割を検討する際に、現在のデザインを取り巻く環境においてどのような支援が今後必要であるかを考える。ここでは、上記の2つの役割分担に依存して検討した結果、以下のようにスケッチの役割をとらえることにした。

まず第一の「発散」と「収斂」では、前者の「**発散**」過程を取り上げた。この理由としては、後者の「収斂」の過程は、現状の CAD システム入力方法を改善することで比較的対応が可能であると考えられるためである。後者はアイデア展開にスピードよりも正確さが要求されるため、CAD システム上での検討が望ましいといえる。

第2の「機能」と「形態」については、「**形態**」の立場に比重を置くべきである。「機能」のないようなデザインセクションだけでは解決できない問題が多い場合には、そのスケッチ行為の対象が設計制約や設計条件として提示されれば、それをもとに形態の検討に移行することも可能である。

このように、スケッチの役割を限定すると、その方法もわかりやすくなる。当然のことながらすべてのスケッチが担う役割には至らないが、今後のデザインの支援という立場からすれば、「**思考の発展過程における形態の検討**」すなわち、さまざまな形状を即座に入力できることを、スケッチの役割とし、その方法について検討すればよい。

スケッチの担う役割が広範である以上、システムをいくつかのサブシステムに分け、さらに既存のシステムで補える部分についてはそれらを利用し、よりデザイナーが求めるスケッチの役割に限定したシステムを構築することが必要である。

3.2 スケッチとデザイン作業

3.2.1 デザインプロセスにおけるスケッチ

デザイン作業において、具体的なスケッチの活用の仕方や描き方は、デザインの進展に対応して変化する。その理由はデザイナーの関心事（全体的なイメージなのか、ディテールなのか、アイデアを発散させるのか、まとめるのか等）が変化するからである。図 3.1 にスケッチワークの位置付けを示す。ここでスケッチの活用はラフスケッチ、レンダリングの2つの段階に分けられているが、ラフスケッチとレンダリングの間にはアイデアスケッチがある。以下に3つの段階におけるスケッチの目的とスケッチの実例を示す。

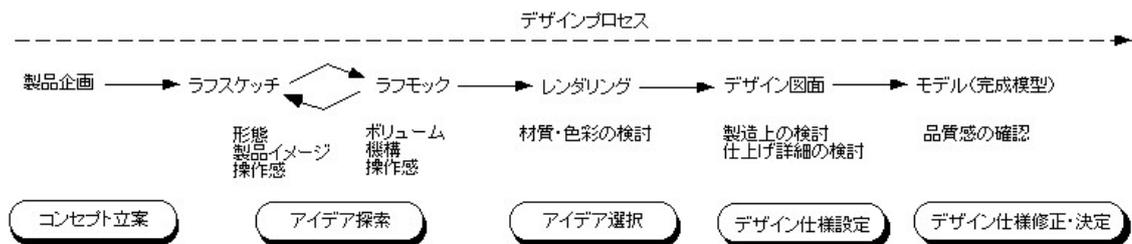


図 3.1 スケッチワークの位置付け

(1) ラフスケッチ

スケッチ初期段階、アイデア展開の段階、アイデア抽出・構築段階

発想の初期において、まだ全体的なイメージを模索する段階であり、できるだけアイデアを発散させる必要があるときに使われるものである。ラフスケッチの呼び方には、このほかにイメージスケッチ、エスキス（下絵）、ポンチ絵、サムネイルスケッチがある。

この段階では、形を決める情報はまだ大部分デザイナーの頭の中に漠然とあるだけである。そのため先にも述べたように、全体イメージが良く分かる最外形線から始めて、大きく塊を捉えながら形を決めていくことが一般的な手法である。本研究では、ラフスケッチということにする。ポンチ絵はサムネイルスケッチ（小さいメモ用紙に書くスケッチ）及びA4～A3までの紙（ミスコピーの裏、プロジェクトペーパー、PM パッド等なんでも）に書くあまり書きこみを

していないスケッチをさす俗称である。

この段階でも線画にとどまらず、線を書くミリペン・サインペン等の線の集合で面や影を表現したり、色鉛筆・マーカー等で色や影をつけることも多い。このように、「ラフスケッチ」は、デザイナー自身が自分のアイデアを展開するためのものといえる。アイデアが熟成していないような段階に活用するスケッチである。

(2) アイデアスケッチ

スケッチ中期段階 アイデア交換

中期はアイデアの基本的な方向性が決まった後、これを具体的なデザインにまとめていく段階となる。具体的には**アイデアスケッチ**に相当し、アイデアのバリエーション出しを行いながら、細部のデザインを詰めていく。基本的なシルエットは決まっているため、各ビューでのキャラクターの見せ方や、それらを結ぶ断面等に注意を払う。ラフスケッチよりは相互の関係（各ビューでの関係）を考えて描くが、あくまでアイデアの表現が目的であり、見せたいデザインを見せたいビューで表現することが基本となる。この段階になると、形を決める情報はイメージスケッチの場合に比べると増えてくるが、まだ一義的に形を決められる程、細部が詰まっている訳ではない。

このように、デザイナー相互の意見交換に使ったり、製品開発に関する設計者や企画担当・営業担当者などと意見を交わし、アイデア展開の方向づけの確認や問題点を洗い出すなど、解決点を探る段階のスケッチを**アイデアスケッチ**という。

つまり、**アイデアスケッチ**は、デザイン作業における収束的プロセスにおいて利用されるといってよい。ラフスケッチ(ポンチ絵)よりも進んだ段階で形をより正確に書きこんだものである。ミリペン・サインペンで形をとり、マーカー・色鉛筆等で陰影や色彩を表現する。微妙な色や柔らかい曲面を表現するためにパステルを使うデザイナーもいる。ホワイトでハイライトを入れる。ボールペンで書き、マーカーのインクで延ばしてグラデーションを表現する手法もある。

(3) レンダリング

スケッチ後期段階 アイデア伝達段階

後期は絞り込んだアイデアを成長/洗練させ、最終的なデザインを表示する段階となる。具体的には「レンダリング」に相当し、アイデアスケッチで決めた各ラインを吟味し、整えることと並行して、ディテールの描き込みを行うことになる。この段階では各ビューでのキャラクターラインの整合が取れていることが望ましく、3面図に落とし込んであまり矛盾が出ない程度には形を決める必要がある。しかし、ここでのスケッチの目的はあくまでデザインをリアルに表現し伝達することである。

最終段階におけるスケッチはデザインの絞り込み使われる「レンダリング」と呼ぶプレゼンテーション用のものである。かならずしもパースペクティブで描くばかりでなく、アイデア交換用の三面図レンダリングをそれと兼ねる形で活用する場合も多い。

以上から分かるように、「ラフスケッチ」はクライアントへのプレゼンテーション以前のアイデアを固めていくまでの段階に用いられるスケッチの総称である。「アイデアスケッチ」はデザイナー相互の意見交換に使ったり、製品開発に関する設計者や企画担当・営業担当者などと意見を交わし、アイデア展開の方向づけの確認や問題点を洗い出すなど、解決点を探る段階のスケッチをいう。このために機器の細部の機構や使用法、使用環境等も表現されることがある。「レンダリング」はプレゼンテーション用のものであり、パースペクティブで描くばかりでなく、三面図レンダリングも活用される。

3.2.2 スケッチの役割

前節のデザインプロセスとスケッチの関係をもとにすると、スケッチに求められる役割は大きく二つに分けることができる。

(a) 発想そのものの支援

これは限られた時間にアイデアをできるだけ幅広く多面的に検討するために、素早くアイデアを視覚化し、自由に試行錯誤することである。

(b) 視覚化

発想したアイデアを誤解なく確認し伝達するために、リアルにアイデアを視覚化することである。

ただしここで言うリアルとは、必ずしも図学的な正確さを意味する訳ではなく、デザインの狙いやイメージを、誤解無く伝達できる精度さえあれば基本的には問題無い。自動車の場合、その形態は極めて複雑な曲面/曲線の集合体で成り立っているため、それを図学的な正確さで表示することは事実上困難である。また見る側にしても、スケッチだけで立体を正確に把握することは不可能である。そのためスケッチの役割は、他の業種に比べるとアイデアやイメージを伝達することに主眼が置かれることになり、省略や誇張が多用されることが普通である。

スケッチの段階で完璧に立体の細部まで決めきことはほとんどなく、3次元のモデルになってから決まる部分の比重が大きい。逆に言えば、アイデアやイメージさえ明確に表現されていれば、モデルへ移行する判断は十分に下すことができる。しかし、このことは、スケッチの弱点でもある。つまり、省略や誇張といった約束事を理解できる専門家が判断を下す場合は良いが、幅広く第三者を含めて同じレベルで判断をしようとする場合は誤解を生ずることがある。最近、デザインに3次元CGが使われつつある理由は、この問題を解決するためでもある。

3.2.3 デザイン作業における手書きスケッチの役割

パソコンを使った2次元スケッチや3次元レンダリングによるプレゼンテーションが普及しつつある現在、手書きレンダリングは減少する傾向にある。手書き作業は、デザイン初期のアイデアスケッチにますます比重が移りつつある。レンダリングスケッチの手法はパステル/色鉛筆といった時代から水彩、マーカー、そして近年のパソコンツールへと変遷したが、デザイン初期段階のアイデアスケッチは相変わらず鉛筆やボールペン、細線のマーカーペンなどによる線画ドローイングが主流である。これは適当なサイズのスケッチパッドと相まって、腕と手のしなやかな運動からうまれる伸びのある美しい線を生み出す。運動の軌跡はリアルタイムに紙の上に定着され、目を通して捉えられた視覚的な形体は脳の中で運動感覚と照合されて、美的判断を含む総合判断が即なされる。

タブレット・ペンによる手書き入力にはスケッチのスキナー取り込みと比べた場合、手と目と脳の連動を保ち思考が中断しないというメリットがある。

スケッチの線はさまざまな意味をもつ。外形線、断面線、相貫線、特徴線（キャラクターライン）、面の張りや流れ、フィレット、部品割り線、陰影、ハイライト、テクスチャーなど物の形状や属性を表わすものから、物と物の関係、運動、さらに概念を表わすダイアグラムや記号もある。スケッチ作業の過程では、外形線や特徴線を描き進むうちに部品の分割線が見えてきたり、そこから新たに断面形状のイメージが湧いたりといった形の意味の展開や変換が、手と目と脳の相互作用を通じて自然に行われている。ソニーにおけるICレコーダーのデザインは新カテゴリー商品の造形プロトタイプを求めて、多方面のアイデアスケッチがスピーディに展開された。手描きイメージスケッチに実寸大の発泡ラフモックを添えて企画、設計サイドに提示された。商品は提案デザインより一回り大きくなったが、デザインイメージは貫かれた。

言うまでもないが、デザイナーは外装形状を内部部品との関係、機能と操作のための最適解、当該製品と他の物や環境との関わり方、そして最も重要な製品のヒューマンインタフェースや形の持つ象徴的な意味性等を同時に考慮しながら描いていく。このプロセスは製品ジャンルとその時々々のデザインテーマによって多様である。

いずれにしても3次元スケッチ入力方式は、手と目と脳のインタラクティブな相互作用を通じて行われる思考の流れを妨げない、むしろ活性化するくらいスムーズなインタフェースを備えていなければならない。本研究では、スムーズなスケッチ入力インタフェースの実現をめざしている。これは紙の上で行われたスケッチ作業をそのままパソコン上で行うことではない。本研究の目標は3次元モデリングを直感的・直接的に行うための手法の開発である。

3.3 スケッチの実際

ここでは、98年度の報告書にまとめられた各企業の「形状決定におけるスケッチの役割」から抜粋して、特に、スケッチの実例を中心に概要をまとめる。デザインプロセスにおけるラフスケッチ、アイデアスケッチ、レンダリングの例を示すことにより、それぞれのスケッチの役割を明確にする。

3.3.1 スケッチの実際（その1 日立製作所における家電の例）

スケッチについては実際どのような思考を経て進行しているのか、その一例を示す。スケッチは形態を案出するために行われるのであるが、その過程はアイデアを生かす形態を描きつつ、絶えずそれを自己にフィードバックすることで次の展開へと繋げながら描いているといえる。つまり、明解な形が常に頭のなかに先行的に浮かんでいるのではなく、目と手とが連動し、線や形が描かれたときに始めて明確に認識され、それがまた頭に即座にフィードバックされ続けて次の形や線を描かせているといえる。線をなぞったり次々と思いつく形を描きながら、同時にアイデアや形へのヒントが生み出されている。従って重複した線や描き出した形には、次の形態発想を促す意味が隠されているものである。

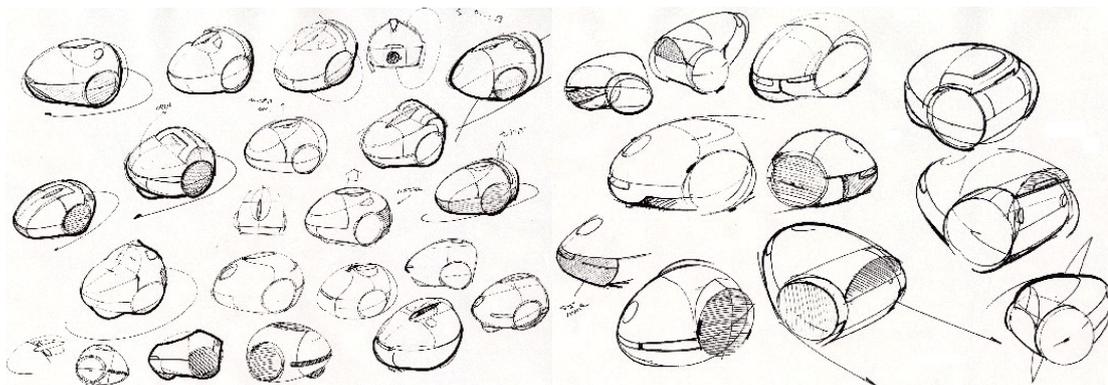


図 3.2 手描きによるラフスケッチの展開例（アイデア展開の段階、サムネイルスケッチ）

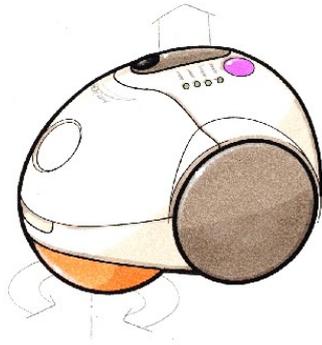


図 3.3 アイデアスケッチよりピックアップした描画例

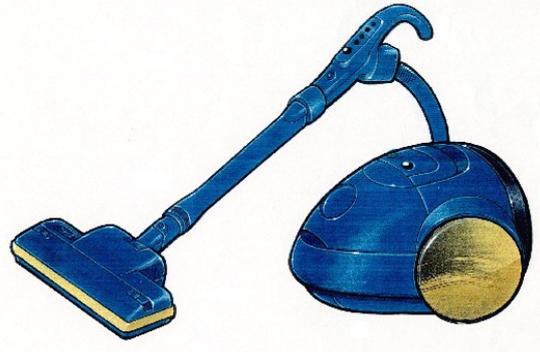


図 3.4 プレゼンテーション用のレンダリング

何個もの形や何本もの線を確認しながら、ここには納得する線も形もないと、次のまったく違った線を引き出したり、あるいは無意識になぞりながら、先程なにげなく書いた線にもう一度戻りながら、段差を付けたらどうかと思いついたり、丸みをつけて見たらどうかといったことを繰り返しながら展開していく(図 3.2 参照)。図 3.3、図 3.4 にアイデアスケッチとレンダリングの例を示す。

あるアイデアをさらに詰めてひとつにまとめる場合、ある形態が固定されて似たような線が何本も引かれるが、それは形態検討の過程であり、結果的には迷いといえてもニュアンスには微妙な違いがある。しかもなぞり線が形態決定で占める重要度は、その中の一本の納得できる線を選択するために全体造形を常にトレースしながら判断している点である。スケッチされた線や形は次の形態展開を予期しているといえる。手書き手法はかなりの程度で、行きつ戻りつの思考を繰り返した痕跡を留める。このように推敲の跡を常にその時点で最新情報に置き換えて表示するのが、現在の 2D や 3D の表示方法である。つまり思考のプロセスの痕跡はその表示画像そのものからは読みとれない。手書きと現在の電子化された手法の違いはここに明らかである。現在の電子化の手法は、REDO 操作により取り消し前の描画状態に復帰することができるが、その表示画像は現在のみを示し続けるという形をとっている。ところが実際は、デザイナーが思考した線や形はまた甦り再発見される線でもあり形でもある。そのような繰り返し引いた線を確認しながら、デザイナー自身が意味のある、例えばいままでになかった新鮮さ、美しさ、合理性、機能性といった自分自身が納得できる形態創出を確信しようとしている。あるときは以前に感銘を受けた類似の形態イメージを突然思い出し、それをここに適用したら良いと思いつくということも大いにある。

3.3.2 スケッチの実際（その2 ソニーにおける家電の例）

ここでは、ソニーにおいて実際に製作されたICレコーダーの開発において用いられたスケッチを示す。図 3.5 のスケッチ段階において多数のアイデアが出された。図 3.6 の段階では、スケッチと実寸大の発泡ラフモックを企画、設計に提示した。

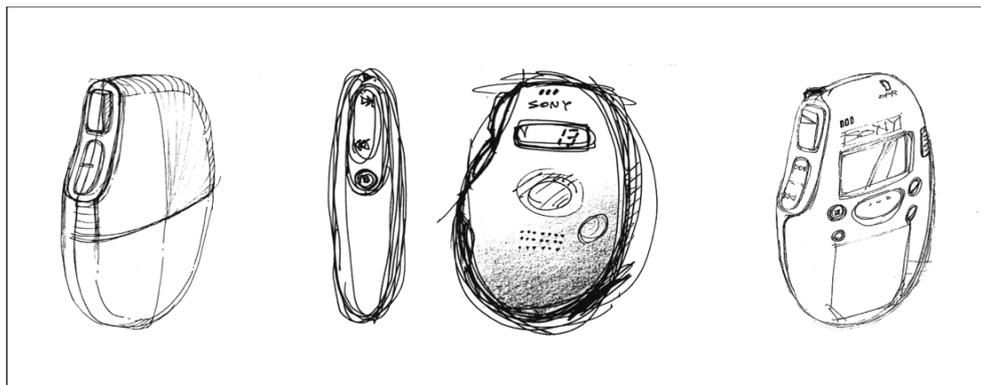


図 3.5 ICレコーダーのアイデア展開用ラフスケッチ、D: 政光



図 3.6 ICレコーダーのアイデアスケッチ(イメージスケッチ)



図 3.7 ICレコーダー ICD-50、1996年発売

3.3.3 スケッチの実際（その3 富士通における情報家電の例）

図 3.8 に、ヒューマンインタフェースも考慮して、機構的なアイデアも含めてデザインを検討したラフスケッチを示す。

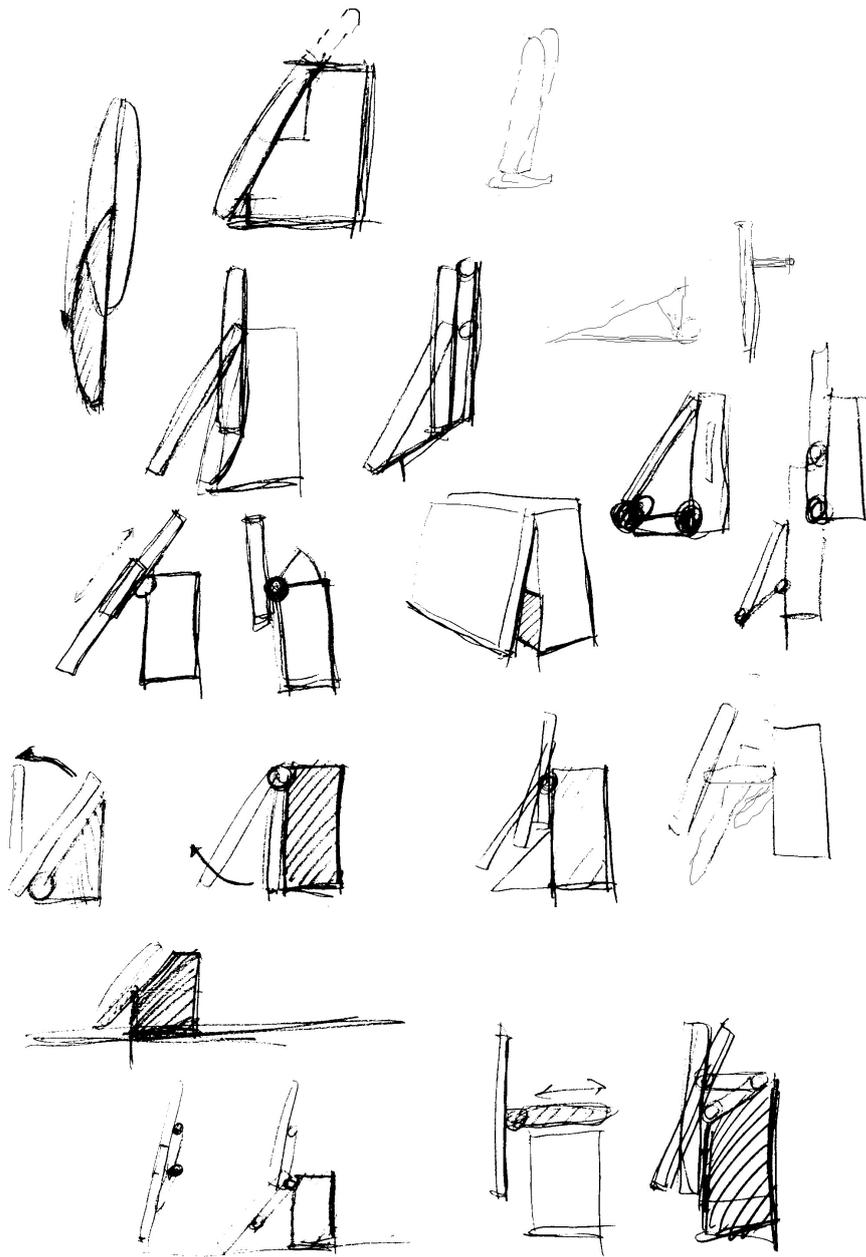


図 3.8 アイデア展開のためのラフスケッチの例

3.3.4 スケッチの実際（その4 GKテックにおける家電の例）

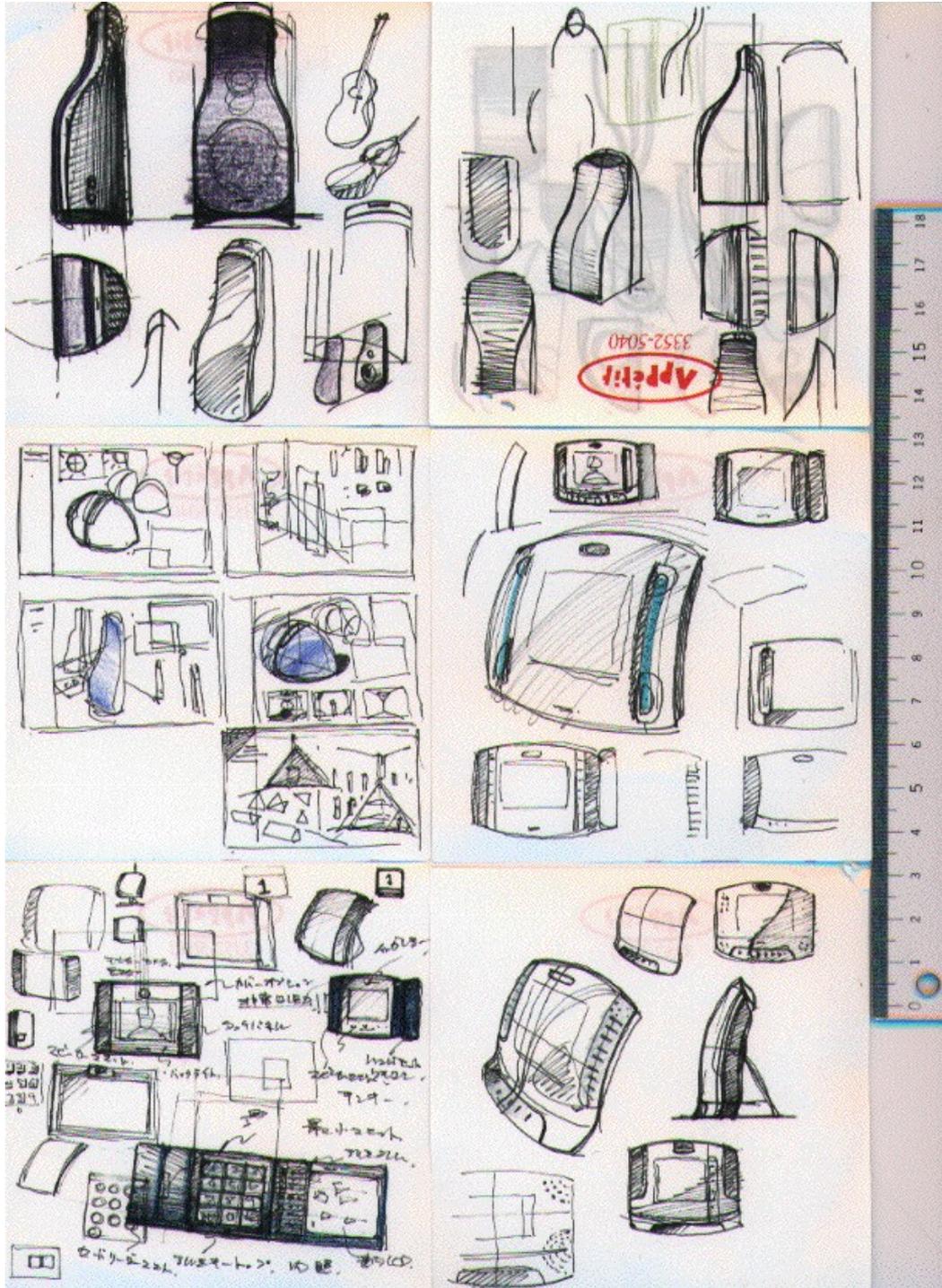


図 3.9 ラフスケッチ(サムネイルスケッチ)の例

10cm×10cm のメモ用紙にミリペン・色鉛筆・マーカ使用

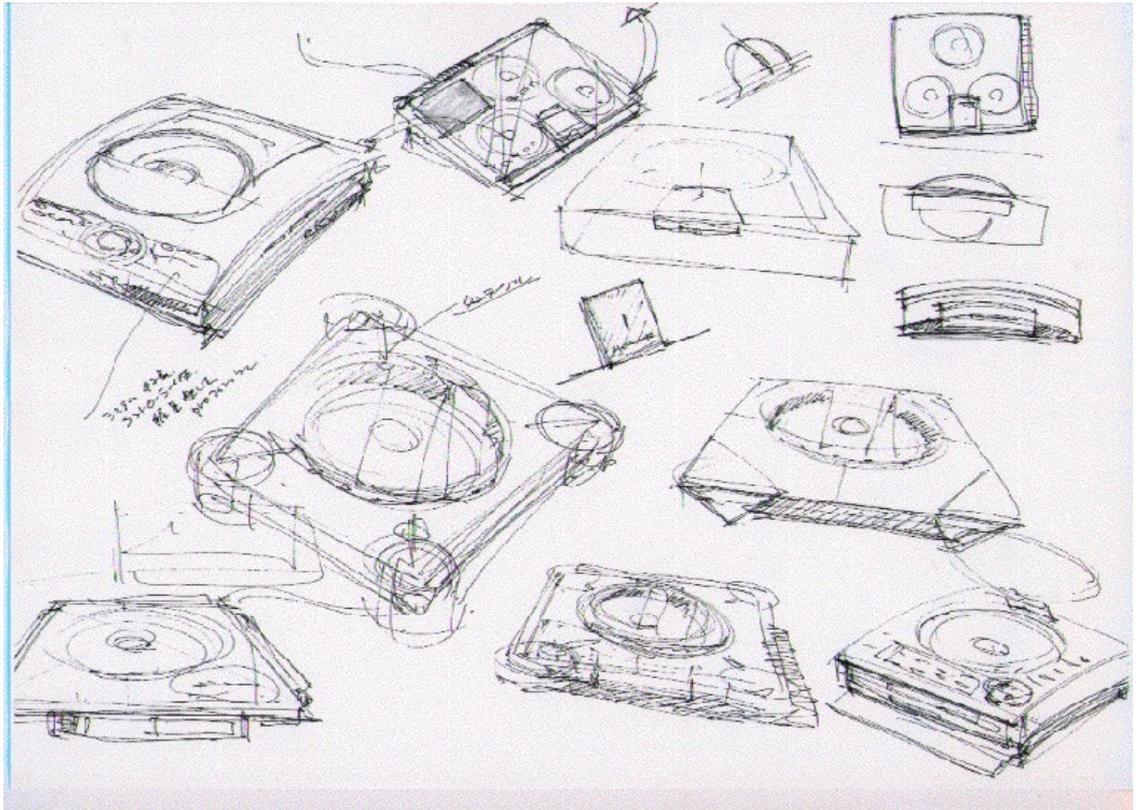


図 3.10 ラフスケッチ (ポンチ絵) の例 -箱- A3PM パッド+ミリペン

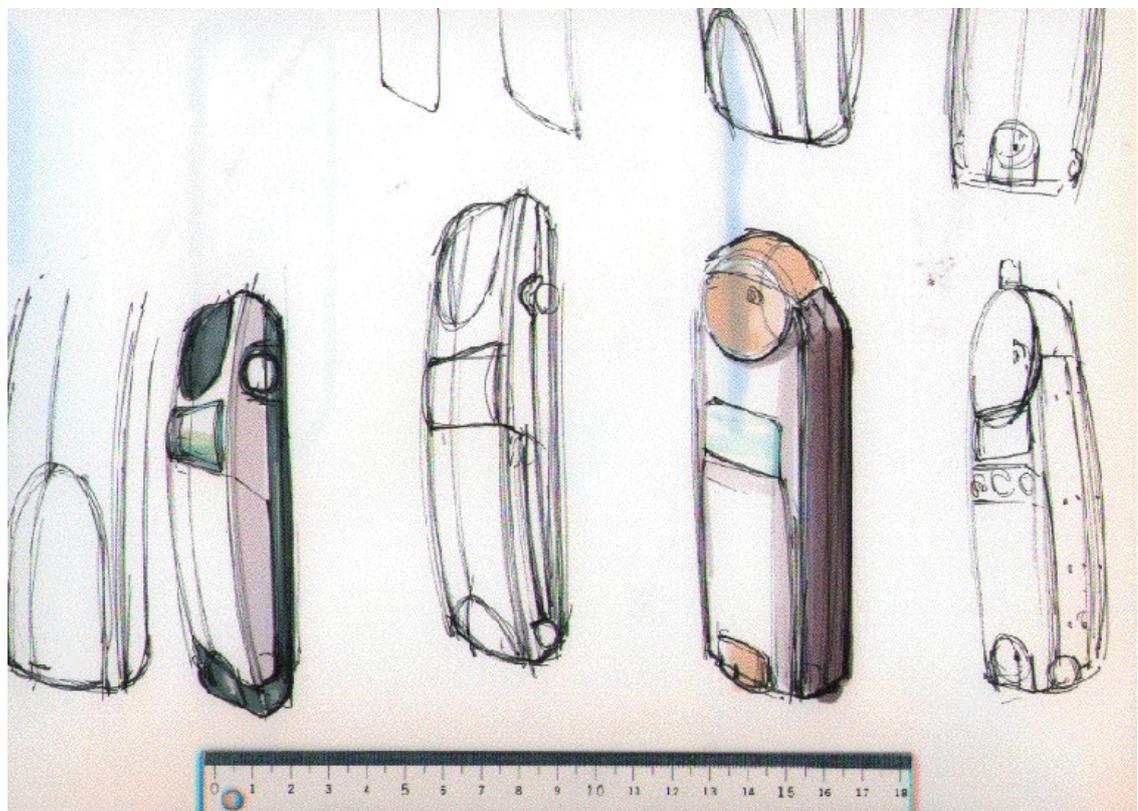


図 3.11 ラフスケッチの展開プロセス A3 ミリペン+マーカ

3.3.5 スケッチ実際（その5 日産における自動車の例）

ここではスケッチ初期段階のラフスケッチ、スケッチ中期段階のアイデアスケッチ、スケッチ後期段階のスケッチ例を示す。

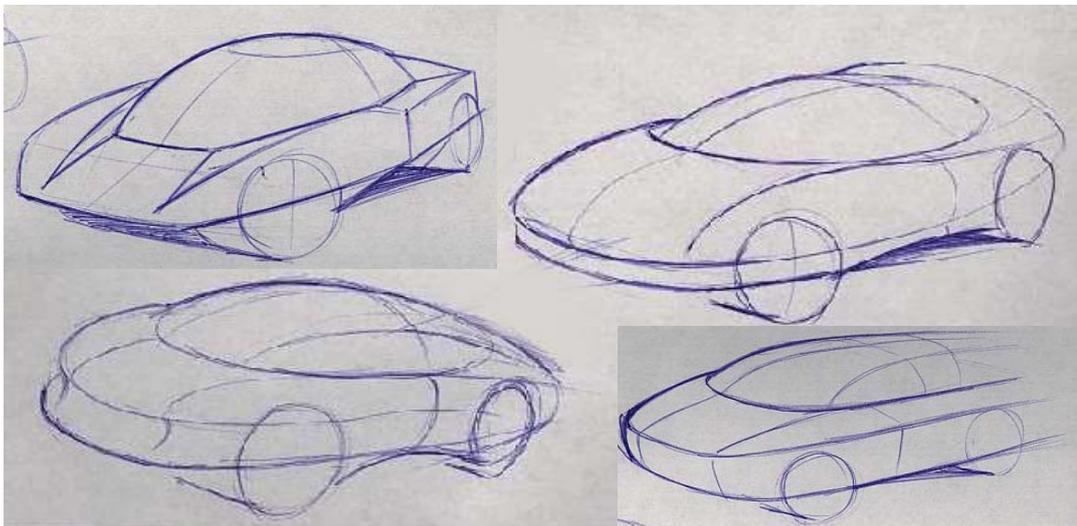


図 3.12 スケッチ初期段階のラフスケッチ



図 3.13 スケッチ中期段階のアイデアスケッチ



図 3.14 スケッチ後期段階のレンダリング

3.4 スケッチに関する用語

本節では、スケッチで用いる用語についてまとめる。

(a) 外形線

主に立体の一番外側（アウトライン）やエッジ部分などの形状を決定する線分。影を作るラインともいえる。

(b) 断面線

立体の断面形状を表す線であるが、立体上には存在しない線である。断面線は、不可視部分における線が含まれるため、デザインを行なう際には描かれることは少ない。業種によっては断面だけで立体デザインを行なう場合もある。見えない線であっても、形状が平らであったり丸かったりという形状の変化を明示したい場合には断面線を描いて表現する。

(c) 面上線

断面線は不可視部分についても描画するが、面上線は断面線のうち可視部分のみを指すものとする。すなわち、面上線は断面線の一部である。形がとらえにくい形状、面の流れが分かりにくい形状といった複雑な形状の場合には面上線を引いて第3者が理解しやすいようにするときに用いる。

(d) 部品割り線(デザイン線)

見た目は面上線であるが、パーツ同士の張り合わせにより発生する線であり、実在する線分である。内形線の一部とも考えられる。また、この線が面上線の代わりになり、曲面の形状を表す場合もある。

(e) 補助線

立体上には存在しない線であるが、第3者に理解させるために描かれる線。中心や対称であることを示す線がこれに相当し、立体の形状とは特に関係がない線である。形状を直接的に表現する面上線とは区別する。ボタンが一行に並んでいたりする場合に、「このラインに乗っている」という線を補助線として描く。

(f) 下書き線

未決定の線分を描画する際に、初期段階のうちに描かれる線。したがって、スケッチに描かれる線分のうち、線の濃さは最も薄い部類となる。その後に描かれる形状および線分のガイドラインになる。パースを決定したり、面上に配列される部品などの位置の目安にもなる。

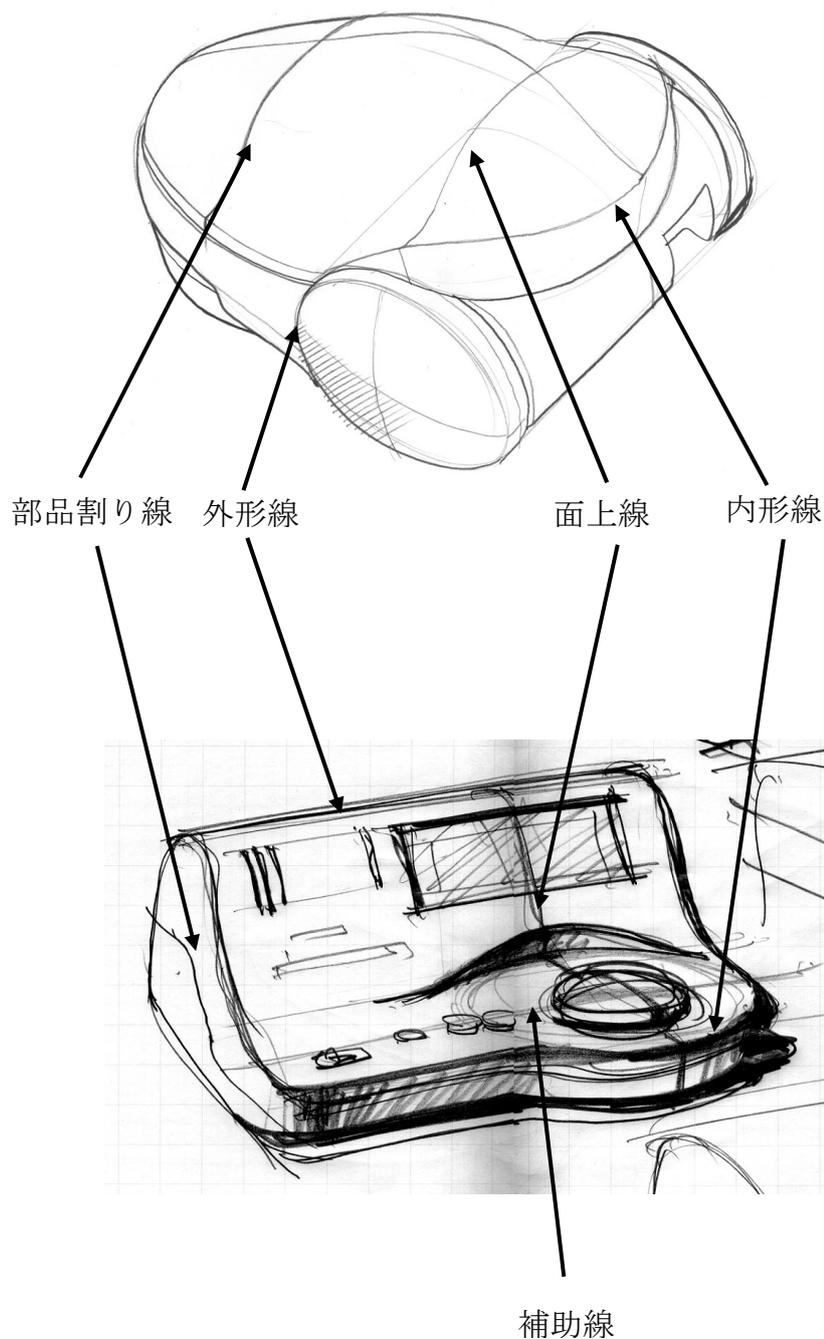


図 3.15 スケッチにおける線の呼び方

第 4 章 スケッチインタプリタシステム

4.1 スケッチインタプリタシステムの目標

提案システム作成にあたっては、コンピュータを用いたペン入力によるスケッチ感覚のデザインを可能にし、製品デザインの初期段階から利用できるようにすることを目標とする。

デザイナーが形状をイメージするときには頭の中に 3 次元形状がある。頭の中にあるイメージは直接はっきりとした形として表すことができないため、概形を描き、徐々にスケッチを具体化していくことが一般的に行なわれている。このスケッチによる描画は発想の段階で多く用いられる。そこでコンピュータにおける形状入力において、このスケッチによる思考過程を取り入れた、デザイナー自身が試行錯誤できる入力インタフェースが望まれている。

まずはじめに、CAD システムの入力インタフェースの課題について整理する。従来手作業で行なわれていたデザイン工程に設計業務支援システムとして CAD の導入が進み、形状の作り込み・シミュレーション作業にコンピュータを用いることが多くなった。しかし、既存の CAD システムにおける形状入力は、基本形状の論理演算や制御点操作などの限られた作業を繰り返し行なう手法が主流である。これらのシステムでは平面に対して断面の座標点を入力し、制御点やサイズなどを変化させることにより任意の形状を得ることができる。しかし、コンピュータによる形状の表現能力は向上したが、形状生成時には得意な組合せを利用することが多く、また、面の張り方にも法則があるため、同じような印象の形状ができてしまうことが指摘されている。以上のように、従来の入力インタフェースは数値入力による形状修正が必要であり、直感的な試行錯誤の可能な入力インタフェースとは言えない。

次に、手描き入力の課題について示す。手描き入力は、清書に関する研究と、形状入力に関する研究に分けられる。前者には、描かれた曲線の清書を行なう研究、図形の幾何形状をファジー理論を用いて補正する研究、平行や垂直といった幾何的要素をもとに次に描かれるであろう線を予測し効率良く描画する研究などがある。また、後者には、手描き図形を 3 次元立体として認識する手法、

手描きによる 3 次元空間内への描画インタフェースの考案、ペンによる 3 次元形状の直接変形操作をおこなうことのできる手法も提案されている。しかしこれらの手描き入力に関する研究では、処理を行なう対象が 1 本の線分に限定されていることや、イメージした形状や線分が生成される過程という要素がなく、特に修正により形状を意図に近付けていく試行錯誤が行なえないという欠点がある。したがって、ペンを用いることによる長所を生かした形状入力作業を支援するインタフェースが必要である。

そこで、本研究では、スケッチの描画手法をコンピュータへの入力として扱うことが可能な 3 次元形状入力のためのスケッチインタプリタシステムを提案する。ここで提案するスケッチインタプリタシステムは、手描きによる曖昧さや歪みをコンピュータとの対話処理で補正しながら形状を決定する、対話型の形状入力システムである。

ここで提案するスケッチインタプリタシステムはデザイナーとコンピュータのインタフェースとして投影図を用いる。デザイナーは投影面上で線図として入力を行なう。本システムはこの線図をコンピュータに解釈させ 3 次元形状に対して処理を行ない、さらに 3 次元情報をデザイナーに見えるようにするための通訳の役割を果たす(図 4.1 参考)。デザイナーはペンを用いてスケッチを描き、システムは計算結果を画像としてデザイナーにフィードバックする。そしてデザイナーは処理結果に対して修正を行なうことにより、対話処理を行なうことができる。

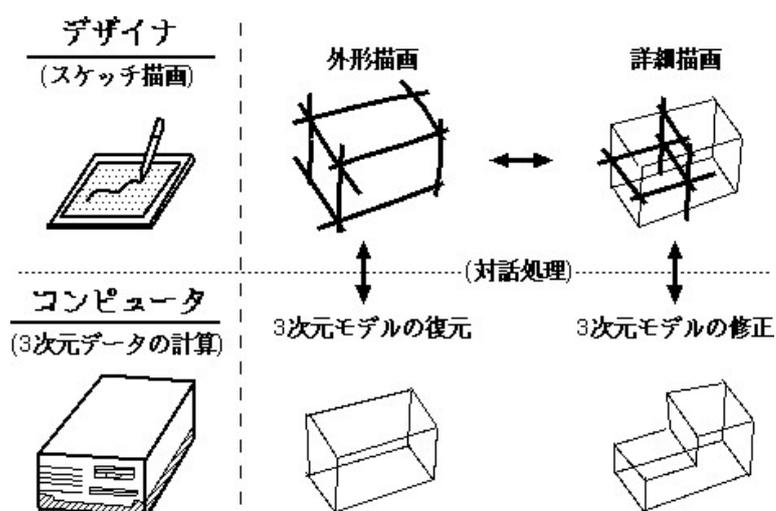


図 4.1 スケッチインタプリタシステムの概要

4.2 システムの概要

ここではペン入力を用いた直接入力による 3 次元形状生成システムについて述べる。本システムは、スケッチ感覚の 3 次元形状入力を可能にするシステムである。

スケッチによる形状表現では曖昧さや歪みが含まれていてもイメージとして合っていれば良いため、3 次元形状としてあり得ない場合もある。また、稜線の不明瞭さや奥行き情報の欠落のため、スケッチそのままを 3 次元形状として復元することは困難である。そこで、手描きによる曖昧さや歪みを対話処理で補正しながら形状を決定する対話型形状入力システムとしてスケッチインタプリタシステムを開発した。本システムは大きく分けると 4 つの機能から構成される。

- (1) ラフスケッチのベクターデータ保存と選択などのスケッチ作業支援
- (2) スケッチで用いられる線分の重ね書きによる形状入力を、コンピュータ上で可能にする逐次清書法
- (3) 面上線のスケッチによる 3 断面の生成と細分割曲面の生成手法と修正機能
- (4) 作成した曲面形状を他の CAD システムで利用するための DXF データ出力機能

以上の機能をまとめたスケッチインタプリタシステムにより、手描きによる曖昧さを持った入力が可能となり、試行錯誤による 3 次元形状の形状生成が可能となった。

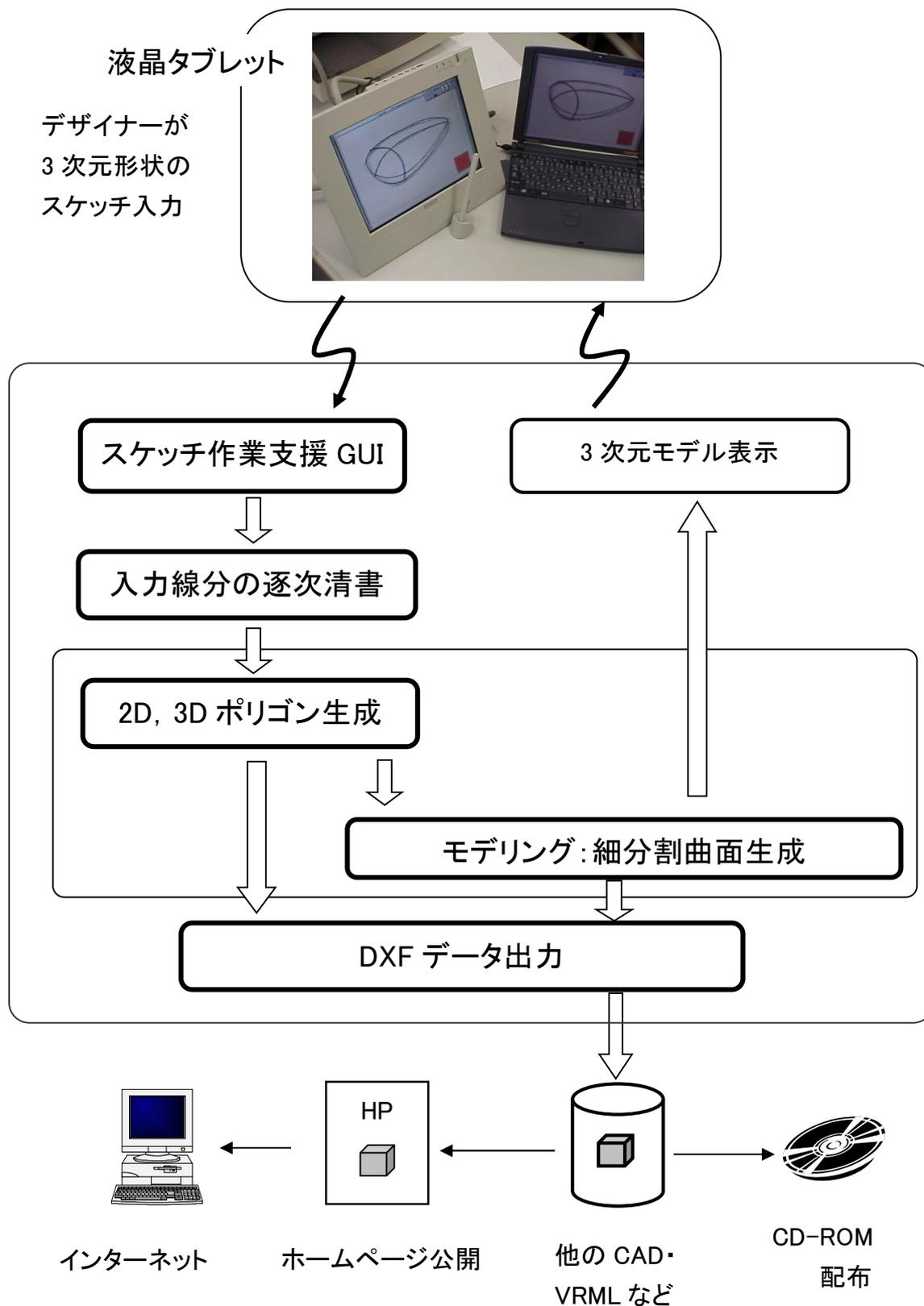


図 4.2 スケッチインタプリタシステム概念図

4.3 システム構成

本システムは、大きく分けて以下の4つの機能を持つ。

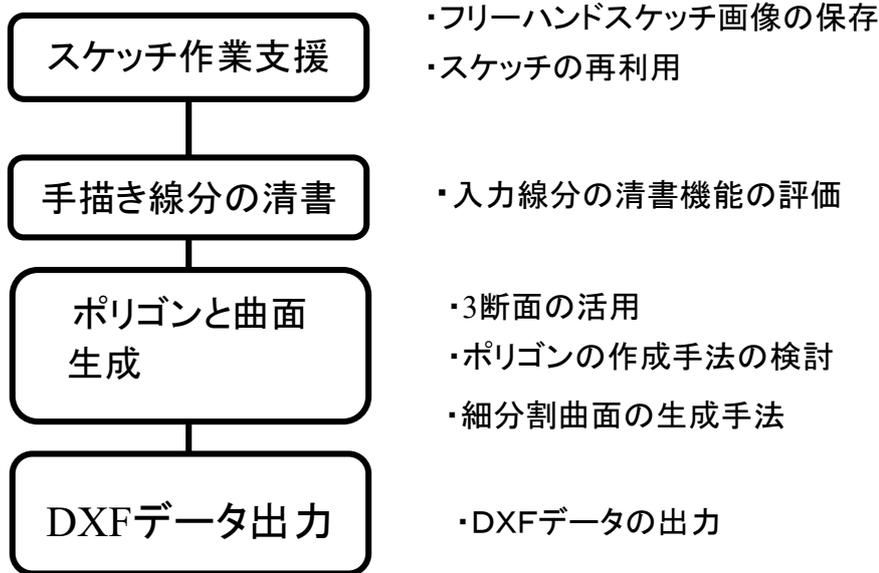


図 4.3 スケッチインタプリタシステムの機能

(1) ラフスケッチのベクターデータ保存と選択などのスケッチ作業支援

手描きによる直線／曲線をコンピュータへの入力とする機能である。この機能は、コンピュータへ入力することの長所を生かし、履歴管理の機能も有している。デザイナーはポンチ絵などを描きながらアイデアを展開していくが紙におけるスケッチの場合は多くのアイデアの中から決定した絵を書き直す必要がある。しかし、本システムでは、描いた絵がペン入力によりデジタルデータとして格納されていることを利用し、選択した絵の拡大／移動を行なうことにより一から描き直す必要なく作業を続けることが可能であり、過去のスケッチを容易に参照したり再利用したりすることが可能になる。

(2) スケッチで用いられる線分の重ね書きによる形状入力を、コンピュータ上で可能にする逐次清書法

逐次清書法は、スケッチでよく見られる線分の重ね書きをコンピュータに実装するための手法である。重ね書きによる描画はデザイナーにとって分かりやすい描画手法であるが、コンピュータが図形として処理を行なうことは困難で

ある。逐次清書法では、リアルタイムに芯線抽出を行ない、コンピュータで処理を行なうことを容易にする。さらに、抽出された芯線に対して直接加筆や修正を行なうことが可能である。

(3) 面上線のスケッチによる 3 断面の生成と細分割曲面の生成手法と修正機能

本システムでは、形状入力において面上線という概念を導入した。面上線は、曲面形状を明確に示すためにデザイナーがスケッチの際に曲面上に描く線であるが、従来、この線を利用した入力手法は提案されていない。本システムでは面上線を清書機能を用いて入力し、3次元形状の入力情報として利用する。その3次元形状の生成のために、入力された3本の面上線からXYZ平面に対応する断面を自動的に生成し、3次元形状のポリゴン生成に利用するという手法を提案した。これが従来のCADシステムと大きく異なる点である。本手法を利用することにより、スケッチした形状をもとに多面体ポリゴンを生成し、そのポリゴンから高品位な曲面形状を生成できる。

(4) 作成した曲面形状を他のCADシステムで利用するためのDXFデータ変換機能

生成した曲面形状データはDXFデータに変換できるので、スケッチにより生成した形状データを既存のDXFデータに対応するCADシステムで利用することも可能である。

第5章 逐次清書法によるスケッチ入力

5.1 逐次清書法の概要

一般にスケッチは図面に描くような詳細で正確な図ではなく、線分の集まりにより稜線・頂点が表されている。図はデザイナーの描いたスケッチの例である。スケッチによる作画は、図の形がはっきり決まっていない状態で何本もの線を描くことによってアイデアを固めていく。

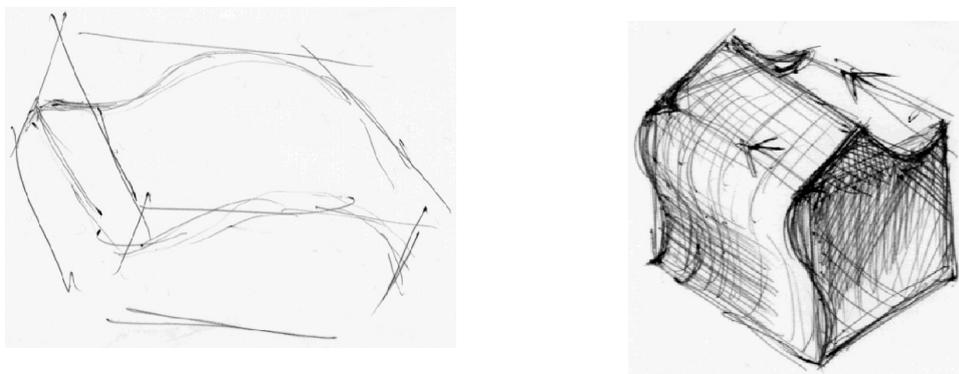


図 5.1 スケッチの例

逐次清書法は、重ね書きによる線群から動的に芯線を求め、さらにその結果に対して直接修正を行う手法である。本手法では、決められた時間内に描画作業が行なわれない場合に、その時間を思考時間とみなし、線群からの芯線抽出を自動的に行なう。

図 5.2 に概念図を示す。図 5.2 は直線入力の例であるが、曲線入力に関しても同様に思考時間中に自動処理を行なう。図 5.2(1)は入力線群を示し、図 5.2(2)は、複数本あった線分から新たな芯線が抽出された状態を示す。実線は抽出結果を表し、破線は抽出前の入力線群を表している。図 5.2(3)は図 5.2(2)で抽出された線分（図中の細線）に対し、直接修正線分を描画した（図中の太線）図であり、図 5.2(4)は、修正線分からさらに抽出した結果を示している。

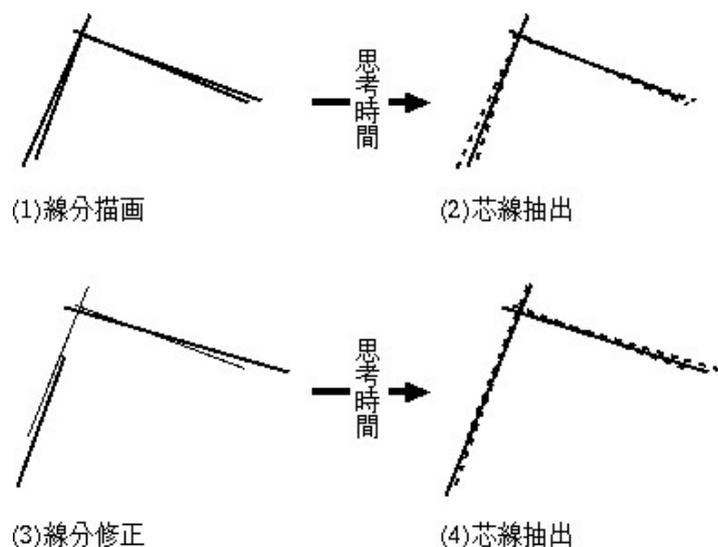


図 5.2 逐次清書法の概念図

現在提案している逐次清書法では直線と曲線の抽出方法が異なる。そこで本スケッチシステムでは直線・曲線入力 of 自動判別は行なわず、直線・曲線の選択をユーザが指定する。次に直線・曲線それぞれの芯線抽出手法について述べる。

5.2 逐次清書法における直線抽出法

ここでは線分同士を混ぜ合わせるにより新たな線分を生成する線分混合法について述べる。任意の 2 線分について、(a)角度が近い、(b)線分間の距離が近い、という 2 条件を満たす場合を同一線分と定義する。角度の近い線分とは、線分の水平線からの角度を調べたときの角度の差が閾値より小さいこととし、線分間の距離が近いとは、一方の線分の midpoint と他方の線分との距離の値が閾値より小さいこととする。

直線抽出アルゴリズムは以下の通りである。

- (1) 前述の定義に従い、角度・距離により線分をグループ分けする (図 5.3(1))
- (2) グループ内で描かれた順に 2 本を取り出し、L1、L2 とする (図 5.3(2))
- (3) L1、L2 の角度の平均および後に描かれた線分 L2 の midpoint を用いて線分を生成する (図 5.3(3))
- (4) グループ内に未処理の線分がある場合、(3)で生成された線分を L1、次に取り出した線分を L2 とし、(3)を実行する

(5) 全てのグループに対して(2)~(4)を行なう

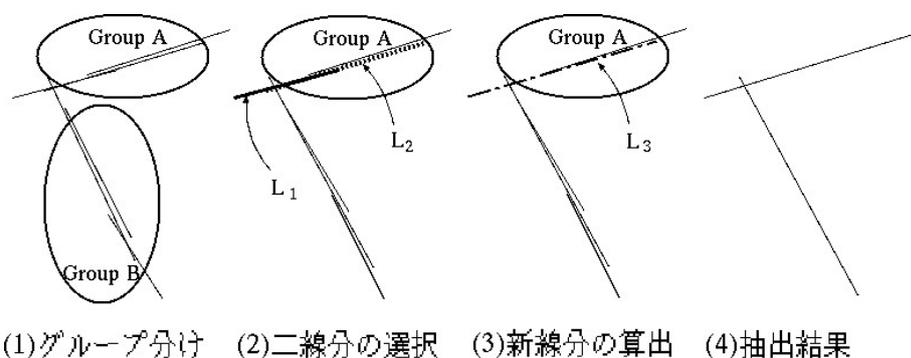


図 5.3 芯線抽出手順

「描き手はスケッチに描き足していくことによりイメージに近づけていこうとする。」という考えに基づき、本アルゴリズムでは、後に描かれる線分の比重を高くするため、描いた順に逐次に線分を求めている。

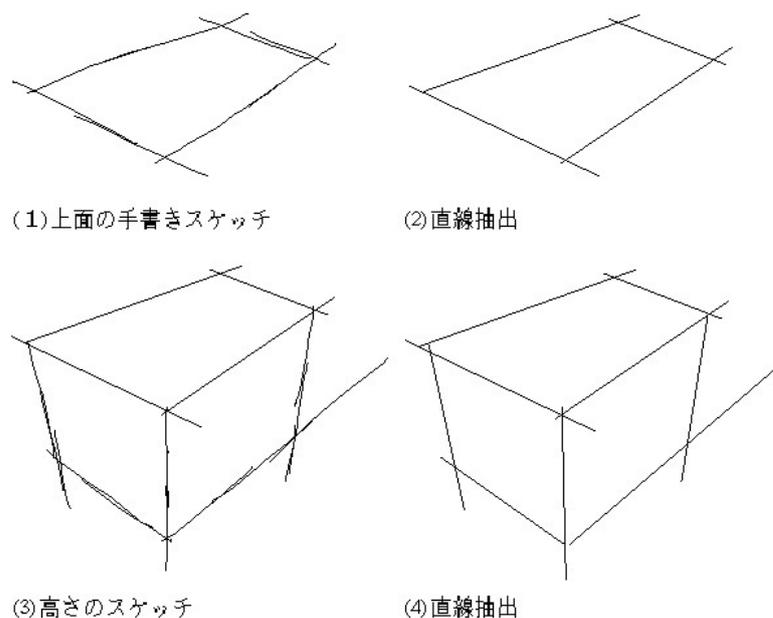


図 5.4 逐次清書法による直線描画

図 5.4 に直線入力を利用した直方体スケッチの入力例を示す。図 5.4(1)はスケッチを示す。図 5.4(2)では逐次清書法により自動的に芯線が抽出されている。図 5.4(3)では、清書図形に対し、さらにスケッチを続けた結果を示している。

5.3 逐次清書法における曲線抽出

曲線の描画においても直線と同様に1本で表されることは少ない。特に曲線の場合は、描き始める位置や方向が一定でなく、描き足すなどの様々な描画が考えられ、単に入力順に制御点を結合し自由曲線を生成しても意図通りに生成されないことが多い。そこで本節では入力曲線に関し逐次に制御点を再構成する特徴点結合法について述べる。本手法は重ね書きにより得られた複数線分から曲線の制御点候補を選び出す手法であり、曲線の描画・修正を容易にする手法である。

(1) 特徴点選択

ここでは入力線群から得られた制御点候補となる点を特徴点と呼ぶ。その特徴点を線分単位で抽出し(図-5.4-05)、それらを結合することにより求める曲線の制御点とする。一般に重ね書きにより入力される線分は複雑な形状をもたないため、端点間を結んだ直線から最も遠い1点を選び、端点を含めて特徴点とする。端点から最大距離を持つ点を選択する理由は、概形を崩さずに特徴点を選択するためである。

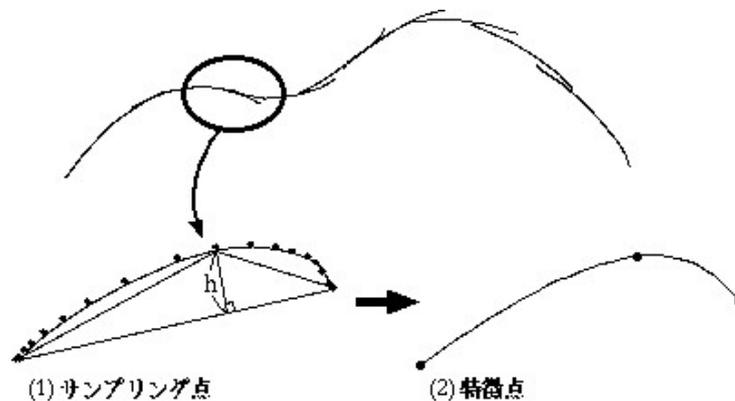


図 5.5 特徴点の抽出

(2) 特徴点結合

線群に含まれるそれぞれの線分から得られた特徴点列を結合することにより新たな特徴点列を生成する。その際には常に新しい方の点列を優先して挿入するという規則に従う。以下に3つの結合例を示す。

図 5.6 における 0、1、2、3 は計算済みの特徴点列 L1 を表し、A、B、C は次に入力された特徴点列 L2 を表している。

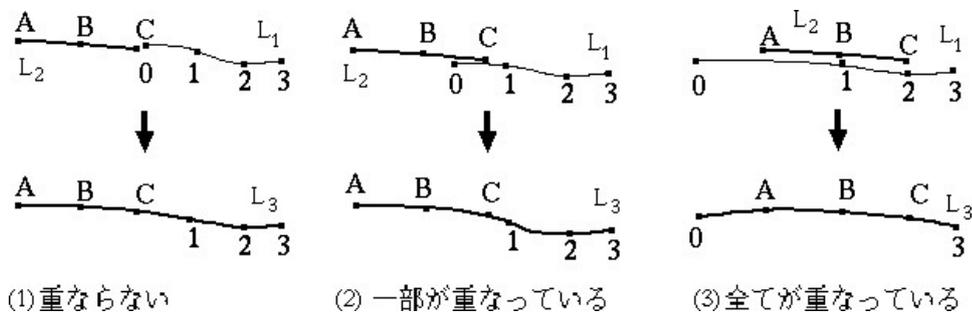


図 5.6 特徴点の挿入

- (a) 点列に重なりがない場合はそのままつなぐ (図 5.6(1))。ただし、特徴点列 A、B、C に対して、閾値より近い距離に L1 の特徴点がある場合には、L2 の点に置き換える。点 0 は C に近いと判断され削除される。
- (b) 点列の一部が重なっている場合には、後に描かれた線分の特徴点列を優先する (図 5.6(2))。点 0 は BC 間にあるため削除される。
- (c) 全てが重なっている場合には、重なっている部分を後に描かれた線分の特徴点列に置き換える (図 5.6(3))。

図 5.7 は、特徴点結合法を用いた曲線の描画および修正例である。ここでは、特徴点を結ぶ曲線の生成には自然スプライン曲線を用いた。本手法の特徴は以下の通りである。①一度に描かれた複数の線分から成るラフな曲線に対し本手法を用いることにより、必ずしも曲線が一筆書きで描かれている必要がない。②常に最新の清書結果が出力されるため、対話的な曲線入力が可能である。③清書曲線に対し直接修正曲線を描くことによる加筆・修正が可能である。

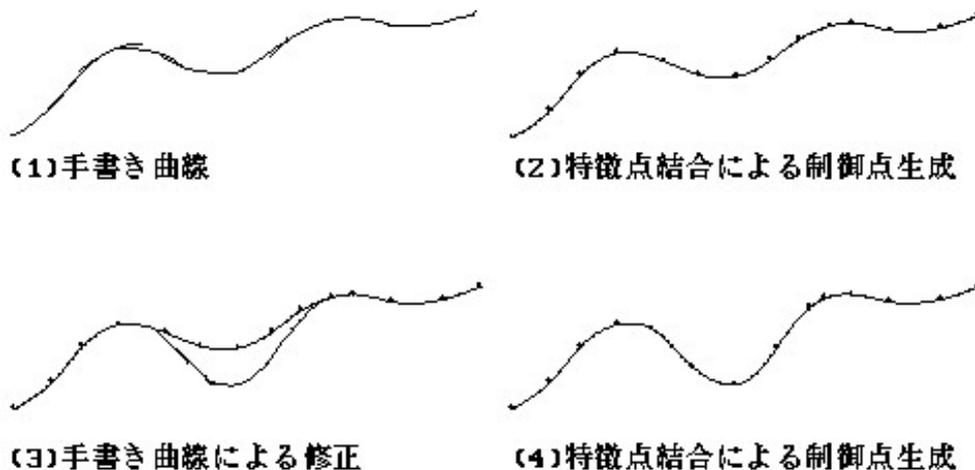


図 5.7 特徴点結合法による描画・修正

(3) 節点分割抽出法

前節で述べた特徴点結合法は修正が容易な反面、凹凸を生じさせることが多い。そこで、凹凸を生じさせる制御点を削除し、滑らかにつながる制御点を残す手法である節点分割抽出法について述べる。本手法は直線近似手法である節点抽出法を曲線に拡張した手法であり、特徴点結合法により生成された制御点列に対して処理を行なう。

本手法は、振幅を残すべき区間を検出して全体を小さく分割し、それぞれの区間で同様の分割を行ないながら制御点を選択していくことにより、局所的な振幅の対応を可能にする。以下にそのアルゴリズムを示す。

- (a) 端点 P_1 、 P_2 を結ぶ直線と交点を持つか調べる。交点を検出した場合、最初に検出した交点 P_3 を分割点とし、その左右の区間で再帰的に同様の探索を行なう (図 5.8(1))。
 - (b) 区間内で交点が見つからず、その区間内に変曲点が存在するならば最も小さな極小値を 1 つ求める。極小値が存在した場合にはその点を分割点 P_3 とし、(a)に戻る (図 5.8(2))。
 - (c) 区間内に交点が見つからず、変曲点が存在しない場合には、節点抽出法を用いて区間内を再帰的に分割し、無駄な制御点を省く (図 5.8(3))。
- 図の ε は閾値を表し、 $\varepsilon < h/L$ を満たす制御点を残す。

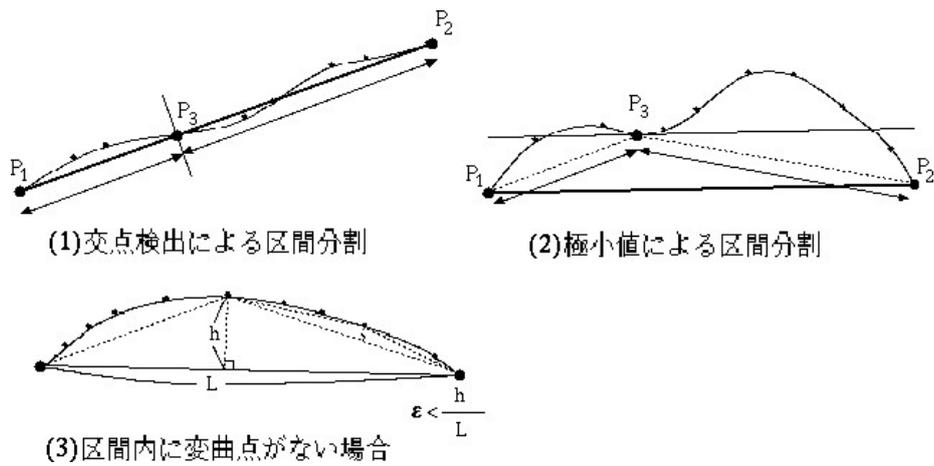


図 5.8 節点分割抽出法による制御点選択

図 5.9 は、特徴点結合法により手書き曲線から生成した制御点列に対し、節点分割抽出法を施した結果である。曲線上の黒丸が制御点である。図 5.9(1)-1、2 では凹凸が削除され、図 5.9(2)-1、2 においては凹凸の削除に加え、不要な制御点が大幅に削除されている。

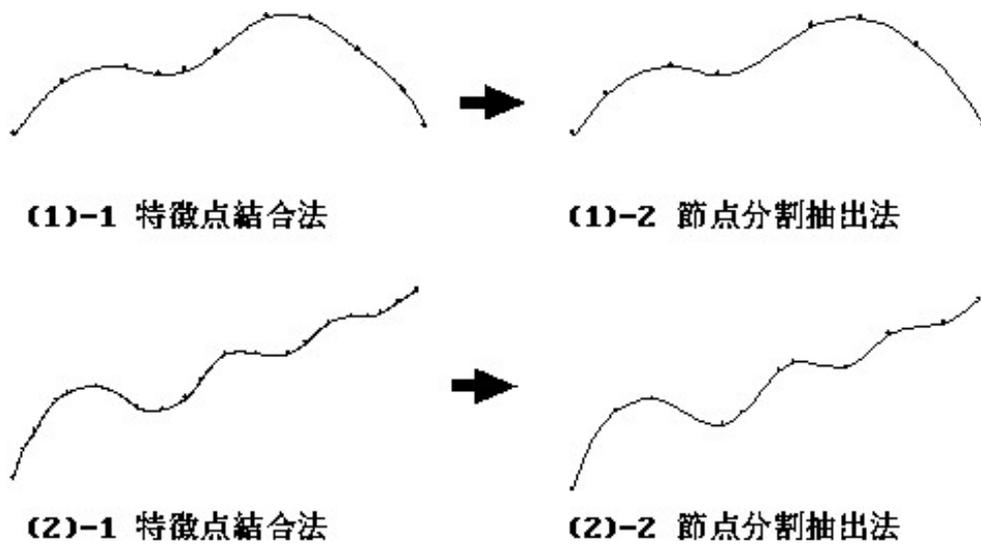


図 5.9 節点分割抽出法による制御点生成

【参考文献】

- [1]マルチメディアコンテンツ振興協会：“高付加価値意匠デザインのための 3次元形状モデリングに関する調査研究報告書” ,(1998)
- [2]鳥谷 浩志, 千代倉 弘明 編著：“3次元 CAD の基礎と応用” ,pp.119-130, 共立出版(1991)
- [3]日本図学会 シンセティック CAD 編集委員会：“シンセティック CAD” ,培風館(1997)
- [4]塩谷 景一：“3次元 CAD/CAM における形状処理技術” ,pp.115-127,日刊工業新聞社(1989)
- [5]岩田 一明監修, 財団法人大阪科学技術センターCIM 研究会編：“コンピュータ設計・製図 -CAD の実際-” ,共立出版(1987)
- [6]明尾 誠, 他：“アイデアスケッチからの 3次元形状自動復元システム” ,第 9 回 NICOGRAPH 論文コンテスト pp.55-65,(1993)
- [7]日本機械学会：“形態とデザイン” ,pp.7-12,培風館(1993)
- [8]C. L. Philip Chen, Sen Xie:“Freehand drawing system using a fuzzy logic concept” ,Computer Aided Design Vol. 28 No. 3 pp. 77-89,(1996)
- [9]五十嵐 健夫, 他：“対話的整形と予測描画による幾何学的図形の高速度描画” ,インタラクシオン'98 論文集 pp.25-26,(1998)
- [10]古島 終作, 他：“ラフスケッチ図からの 3次元モデルの生成” ,第 6 回 NICOGRAPH 論文コンテスト pp.11-21,(1990)
- [11]Lynn Egli, Beat D. Bruderlin, Gershon Elber: “Sketching as a Solid Modeling Tool” ,Proceedings of Third Symposium on Solid Modeling and Applications pp.313-321,(1995)
- [12]Lynn Egli, et. al: “Inferring 3D models from freehand sketches and constraints” ,Computer Aided Design Vol. 28 No. 2 pp. 101-112,(1997)
- [13]Pobert C. Zeleznik, Kenneth P. Herndon, John F. Hughes : “SKETCH : An Interface for Sketching 3D Scenes” , SIGGRAPH 96,Computer Graphics Proceedings pp.163-170,(1996)
- [14]杉下 悟, 徐 崢, 松田 浩一, 近藤 邦雄：“フリーハンドスケッチによる 3次元形状入力法” ,情報処理学会 グラフィックスと CAD シンポジウム論文集, (1995)
- [15]S. Sugishita, K. Kondo: “Interactive Freehand Sketch Interpreter for Geometric Modelling” ,Symbiosis of Human and Artifact pp.561-566,(1995)

- [16]松田 浩一, 杉下 悟, 近藤 邦雄: “対話型スケッチシステムのためのユーザインタフェース”, 第 11 回ヒューマン・インタフェース・シンポジウム論文集 pp.69-76,(1995)
- [17]松田 浩一, 近藤 邦雄: “ペンベースインタフェースによる曲線の逐次清書法”, 第 56 回情報処理学会全国大会論文集, 第 4 分冊 pp.84-85,(1998)
- [18]近藤 邦雄, 木村 文彦, 田嶋 太郎: “手描き透視図の視点推定とその応用”, 情報処理学会論文誌 vol.29 No.7 pp.686-693,(1988)
- [19]近藤 邦雄, 木村 文彦, 田嶋 太郎: “曲面の形状感の表現(第 3 報)手描き入力による図形作成法”, 精密工学会誌 Vol.53 No.4 pp.607-612,(1987)
- [20]K.Matsuda,K.Kondo: “Freehand Sketch System for 3D Geometric Modeling”, Shape Modeling International '97 pp.55-62,(1997)
- [21]松田 浩一, 近藤 邦雄: “3 次元形状入力のためのスケッチインタプリタシステム”, 第 14 回 NICOGRAPH/MULTIMEDIA 論文集 pp.17-26,(1998)
- [22]松田 浩一, 近藤 邦雄: “手書き図形入力のための時系列情報を利用した逐次清書法”, 情報処理学会論文集 Vol.40 No.20 pp.594-601,(1999)

第 6 章 手描き断面線を用いた細分割曲面生成手法

6.1 はじめに

細分割曲面は、任意位相の多面体を再帰的に細分割して得られる曲面のことであり、従来のパラメトリック曲面と比べ制御が容易なことから、曲面表現手法として注目を集めている。Chaikin[1]の多角形から再帰的に2次 B スプライン曲線を生成するアイデアを基に、Catmullらは任意位相の多面体から再帰的に滑らかな曲面を生成する2次と3次の分割式による手法を提案し[2]、また、Dooらは2次の手法を提案した[3]。

本章では Doo/Sabin の細分割曲面を用いる。ここで、Doo/Sabin の細分割形状を制御する制御点が与えられた場合の細分割曲面の生成手法については研究が行なわれているが、逆に、任意の Doo/Sabin の細分割曲面を生成するような制御ポリゴンを求める研究は行なわれていない。求める形状が得られるような制御ポリゴンを生成することや、その曲面の制御には、制御点移動などの作業を必要とし、多くの経験を要する。本論文では、任意の断面を持つような Doo/Sabin の細分割曲面の制御ポリゴンを生成する手法について提案を行なう。

本章では、Doo/Sabin の細分割曲面の制御ポリゴン生成のために、(1)Chaikin の手法の逆問題を解くための、手描き清書曲線からの制御ポリゴン生成手法、(2)頂点数の異なるポリゴン同士の自動接続手法、について提案を行なう。提案手法の特長は、

- (1)手描き断面線の入力だけで容易に Doo/Sabin の細分割曲面の制御ポリゴンが得られる、
 - (2)手描き曲線と制御ポリゴンを細分割して得られる曲線の差が非常に少ない、
 - (3)断面同士の頂点数の差を考慮する必要がない、
- ことである。

提案手法を用いることにより、手描き断面線の入力により任意の断面を持つ細分割曲面が容易に生成できるようになった。

6.2 手描き断面線による制御ポリゴン生成

本研究で用いる細分割曲面は Doo-Sabin の手法である。本節においては、まず Doo/Sabin の細分割曲面のアルゴリズムの基となっている Chaikin のアルゴリズムについて述べ、次に手描き曲線から制御ポリゴンを求める手法について述べる。提案手法は形状誤差を全体的に分散させるため、大局的に入力図形と形状差のない制御ポリゴンを得ることができる。

本論文では、清書図形から細分割処理用の制御ポリゴンを生成する手法を提案する。提案手法では、雑音の少ない清書された閉曲線を入力図形とする。本論文では、筆者らの提案する曲線清書法[4](図 6.1)を用いて入力図形を求めた。

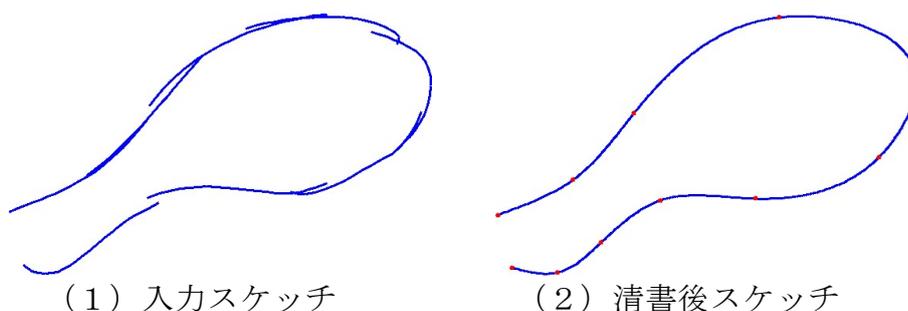


図 6.1 入力スケッチの清書

以下では、まず、Chaikin のアルゴリズムについて述べ、次に、その性質を用いた制御ポリゴン生成手法について述べる。

6.2.1 Chaikin のアルゴリズム

Chaikin のアルゴリズム[1]は、多角形の角を再帰的に削り落とす処理を行なって、極限において2次Bスプライン曲線を生成する手法である。図 6.2 は、Chaikin のアルゴリズムを用いた2次Bスプライン曲線の生成過程を表している。A₀,...,A₃ は初期多角形、B₀,...,B₇ は細分割処理を1回行なった後の多角形、C₀,...,C₁₅ は細分割処理を2回行なった後の多角形を表している。

細分割処理は、次のようになる。多角形の各辺に対して、1/4 と 3/4 の内分点をとり、これを分割後の頂点とする。図 6.2 では、辺 A₀A₁ おける頂点 B₀, B₁、辺 A₁A₂ おける

頂点 B_2, B_3 などに対応する。次に、隣合う分割後の頂点どうしを結び、分割後の辺とする。この細分割処理を無限に繰り返すと2次のBスプライン曲線が得られる。

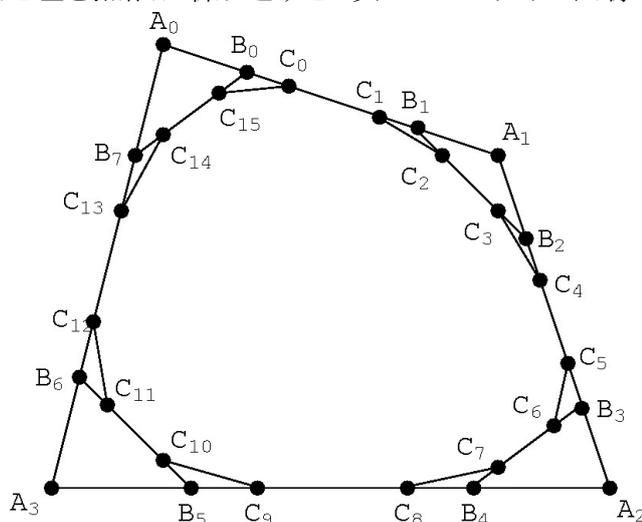


図 6.2 Chaikin のアルゴリズム

上記のアルゴリズムから得られる性質は、細分割の極限において、曲線が接線の中点で接することである。この性質を利用して、制御ポリゴンを求める手法を以下に述べる。

6.2.2 手描き曲線からの制御ポリゴン生成手法

制御ポリゴンを求める手順を以下に示す。

(1) 極大値・極小値・変曲点の計算 (図 6.3(1))

描画開始点の接線を座標軸の x 軸として xy 座標系を定め、極大値、極小値、変曲点を求める。

(2) となりあった接線同士の交点計算 (図 6.3(2))

求めた接線の接線同士の交点を求め、初期多角形の頂点とする。

(3) 分割処理による形状誤差の減少 (図 6.3(3))

Chaikin の手法より細分割形状が元の形状と一致するためには、接点は辺の中点であることが必要となる。一般に接点は中点とならないので、頂点間に新たな接線を求める。その際に、接点が辺の中心になるように選ぶ。ここでは、頂点の増加量に対し誤差の減少度が少ないため、分割処理には変曲点は用いない。

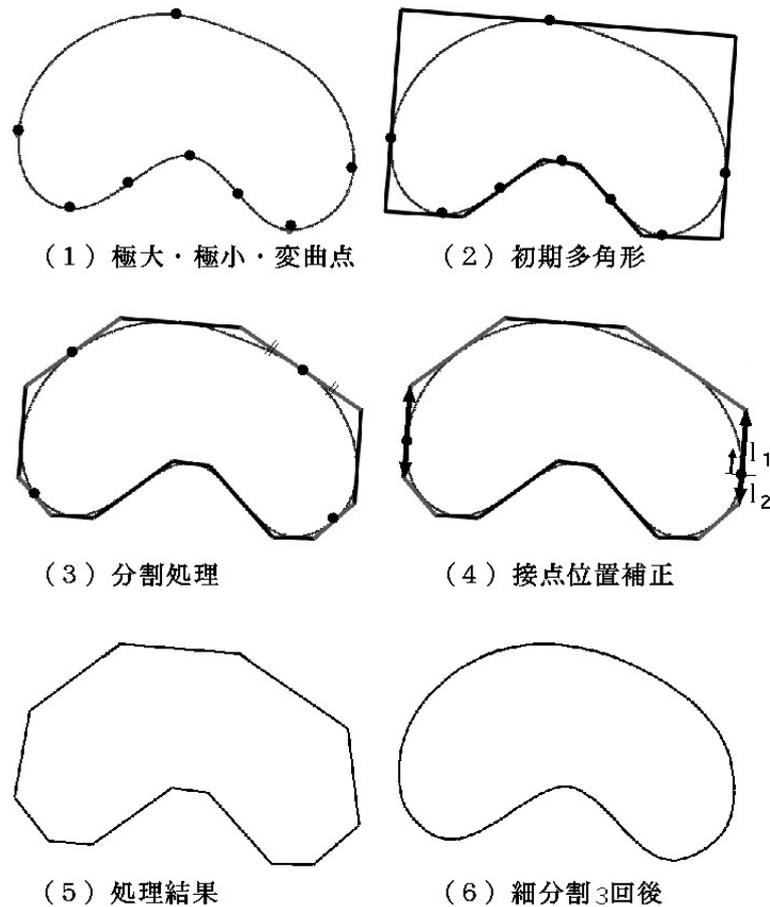


図 6.3 多角形生成アルゴリズム

(4) 接点位置の調整 (図 6.3(4))

3.で得られた分割処理後多角形に対し入力図形を重ね、接点から多角形の2頂点への距離 l_1 , l_2 を求め、 l_1 と l_2 の差 d と接点の存在する多角形の辺の長さ $l (=l_1+l_2)$ の比の値 d/l が閾値以上の場合は接点補正処理を行なう。本論文では閾値を 0.1 としている。接点補正処理は接点から多角形の2頂点への距離の差 d の存在位置により以下の2つに分岐する。

差 d は図 6.4 のように定義する。接点 P から隣接する多角形の2頂点への距離がそれぞれ l_1 , $l_2 (l_1 < l_2)$ とするとき、 $d = l_2 - l_1$ である。そして、 l_2 を l_1 と d に置き換え、差 d は l_2 上の頂点側に配置する。

(a) 2接線において、接点 P_1 , P_2 を基準にしたとき交点 C 側に差 d が1つ (図 6.5(1))

P_1 における差 d を0とみなす場合であり、接点 P_2 だけを C の方向に曲線に沿って $d/2$ だけ移動させる。

(b) 2接線において、接点 P_1, P_2 を基準にしたとき交点 C 側に差 d が2つ(d_1 および d_2) (図 6.5-(2))

曲線上の P_1, P_2 間に新たな接点 P_3 を求める。このとき、 P_3 は新たな頂点 C_1, C_2 の中点になるようにとる。

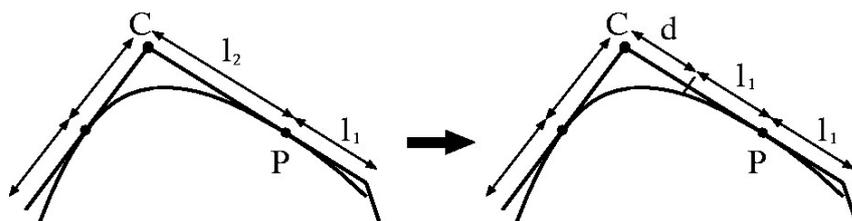
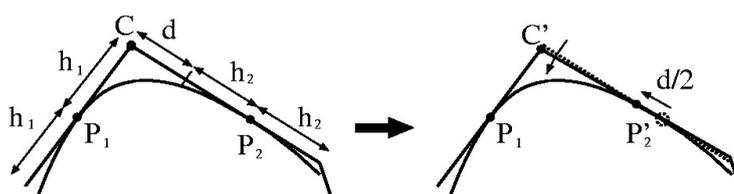
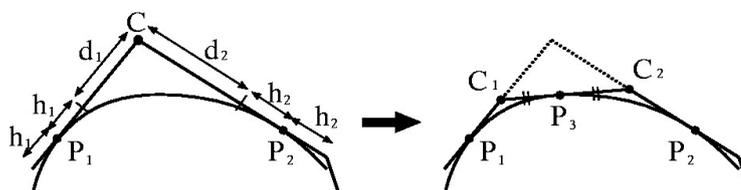


図 6.4 「差 d 」 の定義



(1) C に接続する側に差 d が1つ



(2) C に接続する側に差 d が2つ

図 6.5 接点位置補正

(5) 得られた多角形を用いて細分割処理 (図 6.3(5))

得られた多角形を細分割することにより、入力図形に近い形状を得ることができる。図 6.3(6)は細分割処理を3回行なった結果である。

6.2.3 制御ポリゴン生成例

以下では、提案手法による制御ポリゴン生成例および、多角形を細分割処理したときの再現性の評価を示す。

評価は清書閉曲線と求めた多角形の差分面積を用いて行なった。図 6.6 に差分面

積の求め方を示す。清書後図形(図 6.6(1))から制御ポリゴン(図 6.6(2))を求め、その差分となる領域の総面積を D(単位:画素)とする(図 6.6(3))。また、清書後図形と制御ポリゴンの和集合による形状の面積を S(単位:画素)とし、 $D/S \times 100$ を誤差値として用いた。細分割処理は3回まで行ない(図 6.6(4))、元図形と比較を行なった。

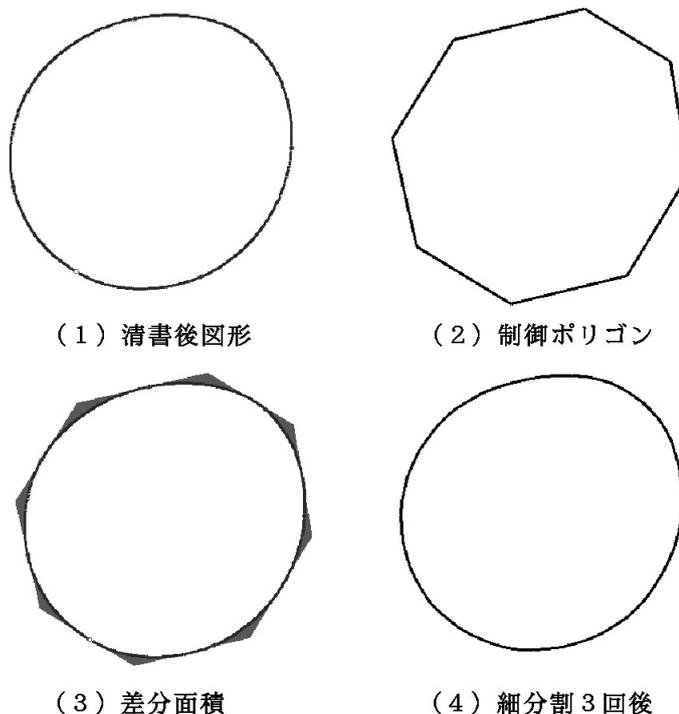


図 6.6 差分面積の求め方

ここで、細分割を無限に行ない得られる図形と入力図形との差が最大になる場合は、初期多角形の各辺の中心から接点をもっとも離れたとき、すなわち、初期多角形の頂点が接点に限りなく近付くときである。その場合においても、図 6.3(3)の分割処理と図 6.3(4)の接点位置補正処理により形状誤差を周囲に分散させるため、部分的に突出した形状誤差は現れない。図 6.7 に制御ポリゴン生成例、表 6.1 に評価値を示す。評価は、図 6.6、図 6.7(1)(2)の 3 図形で行った。それぞれの図形において、誤差が分割前では全体の 5%程度であるが、細分割処理を 3 回施すと、線幅 3 ドットで描かれた各図において形状の差分となる部分が 1%未満となる形状が得られた。

表 6.1 細分割回数による入力図形との誤差値

	分割前(%)	1回(%)	2回(%)	3回(%)
図6.6	5.10	1.42	0.36	0.12
図 6.7(1)	4.23	1.52	0.93	0.82
図 6.7(2)	4.21	1.33	0.64	0.52

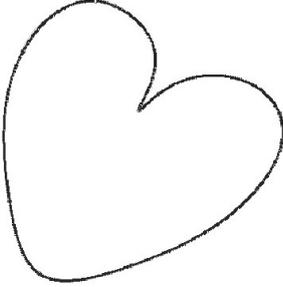
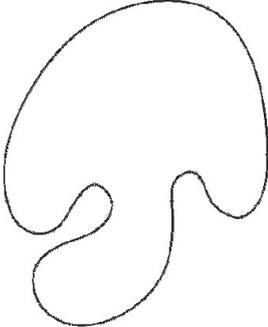
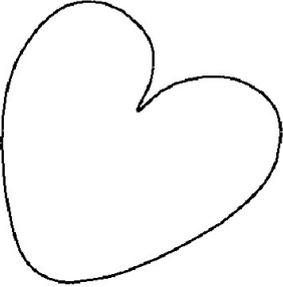
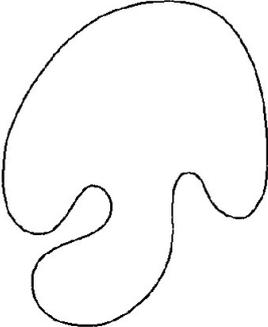
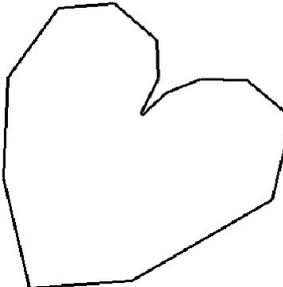
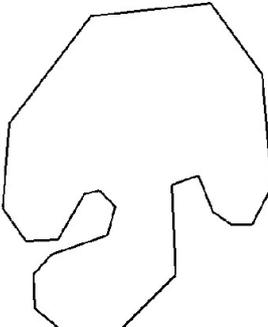
	(1)	(2)
清書後図形		
細分割3回後		
制御ポリゴン		

図 6.7 制御ポリゴン生成例

6.3 断面接続による細分割曲面生成

本節では、前節の手描き図形からの制御ポリゴン変換手法を用いて、任意の断面をもつ細分割曲面を生成する手法について述べる。

提案手法では、断面から柱体を作り、柱体同士を接続することにより細分割曲面の制御ポリゴンを生成する。本手法では、用いる柱体同士の頂点数が違って、ねじれの少ない選択を行ない接続することができる。本論文では各断面が z 軸上に垂直な面上にあるとしている。

6.3.1 断面を用いたポリゴン生成

Doo/Sabin の細分割曲面は Chaikin の手法を拡張したものであり、細分割を行なった際に、柱体を2等分する断面の形状が Chaikin の手法と一致する(図 6.8)。そこで、前節で得られた制御ポリゴンを2等分の断面として柱体を生成する。このようにして得られた複数の柱体を接続することにより、任意の断面を持つ制御ポリゴンを作ることができる。以下に柱体の接続について述べる。

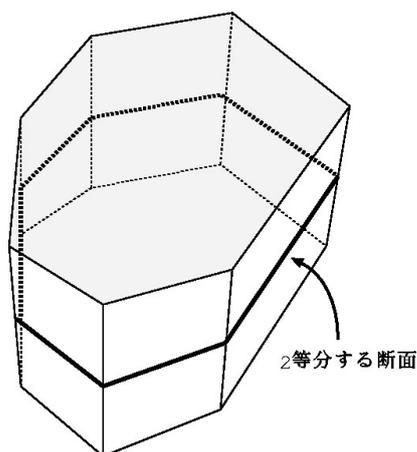


図 6.8 Doo/Sabin 法における断面

6.3.2 柱体の接続

柱体同士を接続するとき、頂点数が異なる場合に対応点の見つからない頂点やねじれが生じることがある。細分割曲面は、頂点のつながり方によって細分割形状の曲面が変化するため、本論文では、以下の手法を用いて頂点の対応づけを行なう。

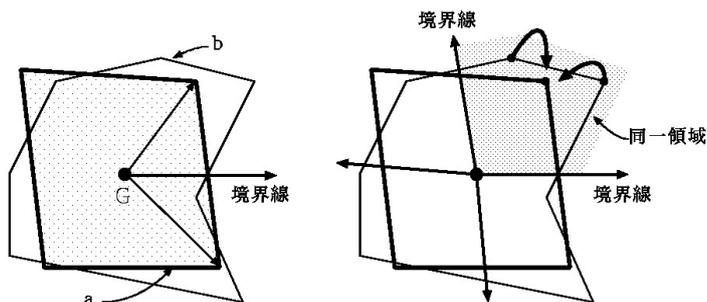
(1) 境界線を求める(図 6.9(1))

ここでは、2 ポリゴンの頂点の対応づけを行なうために、頂点数の少ない方のポリゴンを用いて領域分割を行なうための境界線を求める。まず、各ポリゴンの重心位置 G を求め重ね合わせる。そして、頂点数の少ない方のポリゴン(図 6.9(1)では a)の重心から各頂点へ直線を伸ばし、角度の2等分線を境界線とする。ここで重心を用いるの

は、頂点の多い方のポリゴンの持つ頂点をできるだけ多くの領域に分散させるためである。

(2) 頂点の対応づけ(図 6.9(2))

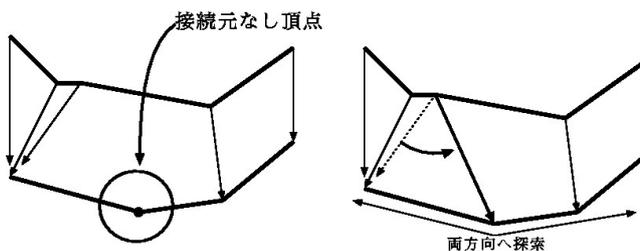
境界線で分割した同一領域内で、ポリゴン a, b の頂点同士の対応点をそれぞれ決定する。



(1) 重心を合わせ境界線を求める (2) 同一領域内の頂点に対応づける
図 6.9 ポリゴン同士の頂点の対応づけ

(3) 対応頂点のない頂点の補正(図 6.10)

頂点の配置によっては、対応する頂点が存在しない場合がある(図 6.10(1))。そのときには、頂点から両方向へ探索を行ない、頂点が多く集まっている方向から頂点を選択し、対応関係を変更する(図 6.10(2))。Doo/Sabin の細分割曲面では、制御ポリゴンが三角ポリゴンである必要はないため、ここでは三角形化は行わず、できるだけ大きなポリゴンで制御ポリゴンを構成する。



(1) 対応頂点のない頂点 (2) 周辺の頂点から移動
図 6.10 対応頂点のない頂点の補正

6.4 実験結果と評価

本章では、断面はz軸に垂直な面上にあるとし、図6.11に示すような入力インターフェースを用意している。画面左部分で断面を入力すると柱体が画面右に表示され、断面の掃引長および柱体間の距離をマウスで指定できるようになっている。

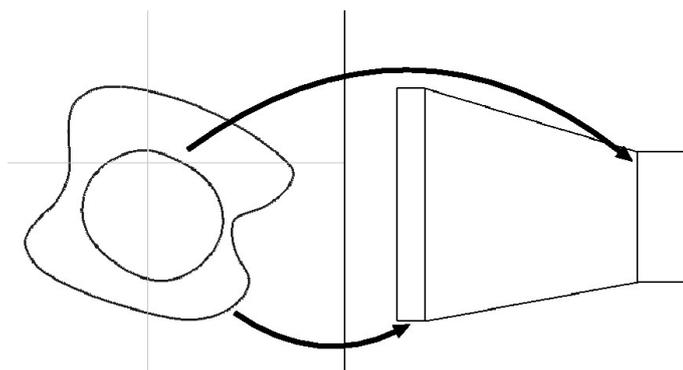


図 6.11 高さの入力

図 6.12、図 6.13、図 6.14 は手描き断面を用いた形状生成例である。図 6.14 については、入力断面を図 6.15 に示した。各図において、(1)使用した断面から生成した柱体と括弧内にその断面の頂点数、(2)断面接続により得られた制御ポリゴン、(3)細分割処理を施した形状、(4)シェーディング結果を示した。それぞれの生成例において、柱体間の自動接続が行なわれ、頂点数の差による不自然な形状のねじれなどが確認できた。

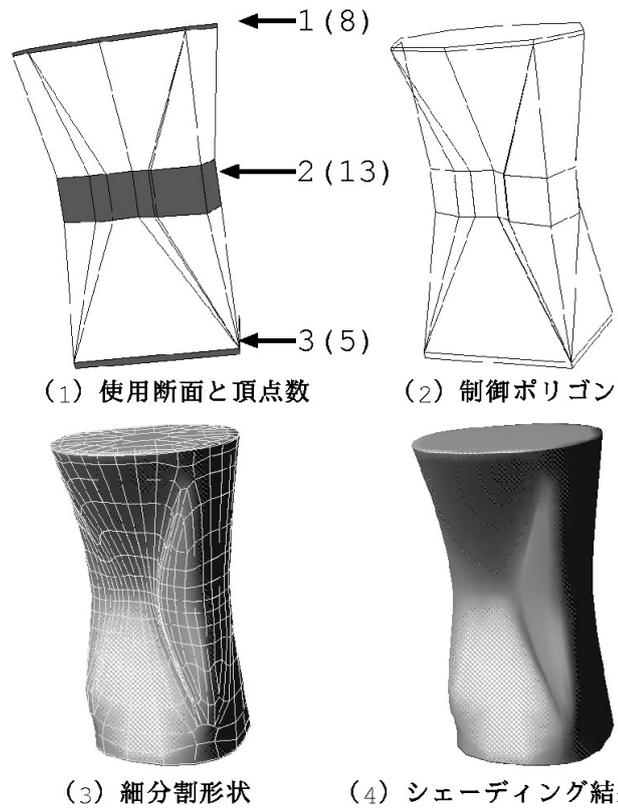


図 6.12 断面による形状生成例 1

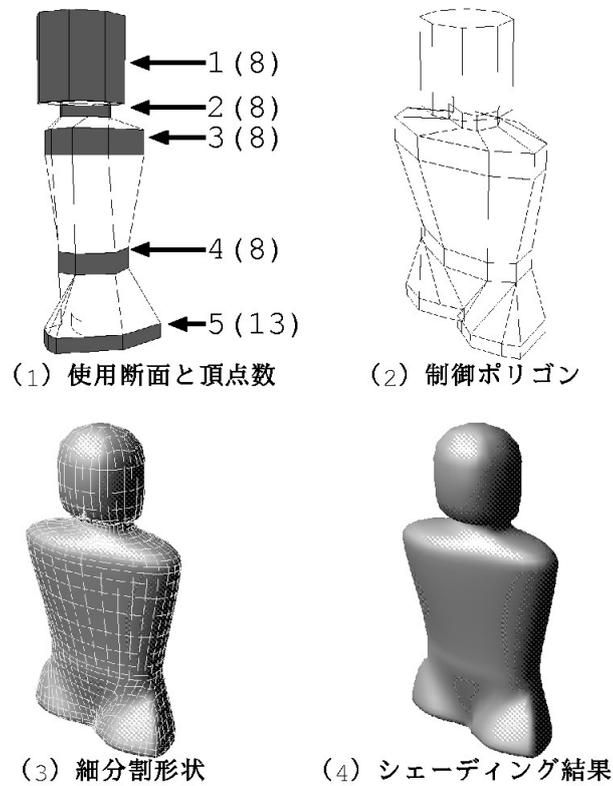


図 6.13 断面による形状生成例 2

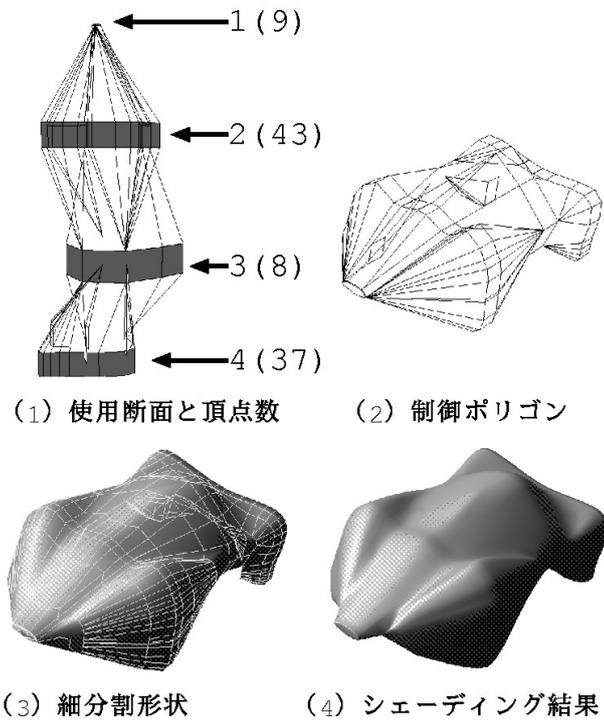


図 6.14 断面による形状生成例 3

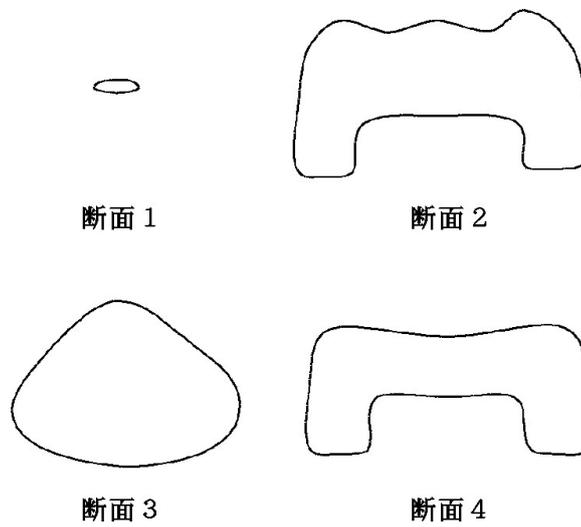


図 6.15 図 6.12 で使用した断面図

6.5 まとめ

本研究では、任意の断面を持つ細分割曲面の制御ポリゴンを生成する手法の提案を行なった。

本研究では、(1)手描き清書曲線からの制御ポリゴン生成手法、(2)頂点数の異なるポリゴン同士の自動接続手法、について提案を行なった。

そして提案手法により、

- 手描き断面線の入力だけで容易に Doo / Sabin の細分割曲面の制御ポリゴンが得られる、
- 手描き曲線と制御ポリゴンを細分割して得られる曲線の差が非常に少ない、
- 断面同士の頂点数の差を考慮する必要がない、

といった特長が得られた。

その結果、手描き断面線の入力だけで、任意の断面を持つ細分割曲面が容易に生成できるようになった。

【参考文献】

- [1] G.M. Chaikin : An Algorithm for High-Speed Curve Generation. Computer Graphics and Image Processing, Vol. 3, 346-349, 1974
- [2] E. Catmull, J.Clark : Recursively generated B-Spline surfaces on arbitrary topological meshes. Computer Aided Design, Vol. 10, No.6, 350-355, 1978
- [3] D. Doo, M.Sabin : A behaviour of recursive subdivision surfaces near extraordinary points. Computer Aided Design, Vol. 10, No.6, 356-360, 1978
- [4] 松田浩一, 近藤邦雄 : 手書き図形入力のための時系列情報を用いた逐次清書法, 情報処理学会論文誌, Vol. 40, No.2, 594-601, 1999

第7章 スケッチ情報を利用した手書きによる細分割曲面生成手法

7.1 はじめに

デザイナーが形状をイメージするときには頭の中に3次元形状がある。頭の中にあるイメージは直接はっきりとした形として表すことができないため、概形を描き、徐々にスケッチを具体化していくことが一般的に行なわれている。このスケッチによる描画は発想の段階で多く用いられる。そこでコンピュータにおける形状入力において、このスケッチによる思考過程を取り入れたデザイナー自身がスケッチを描き試行錯誤できる入力インタフェースが望まれている[1]。

また、従来手作業で行なわれていたデザイン工程に設計業務支援システムとしてCADの導入が進み、形状の作り込み・シミュレーション作業にコンピュータを用いることが多くなった。しかし、既存のCADシステムにおける形状入力は、基本形状の論理演算や制御点操作などの限られた作業を繰り返すような手法が主流である。これらのシステムでは平面に対して断面の座標点を入力し、制御点やサイズなどを変化させることにより任意の形状を得ることができる。しかし、コンピュータによる形状の表現能力は向上したが、形状生成時には得意な組合せを利用することが多く、また、曲面生成においては面の張り方にも法則があるため、同じような印象の形状ができてしまうことが指摘されている[1]。従来の入力インタフェースは経験に頼った形状修正が必要であり、直感的な修正が可能な入力インタフェースとはいえない。

上記の問題を解決するために、スケッチを用いた3次元形状のコンピュータへの入力手法について研究が行なわれるようになってきた。Zeleznikら[2]の研究は、基本オブジェクトをスケッチ入力し組み合わせることにより空間内に形状を配置するインタフェース、五十嵐らによる丸みのあるオブジェクトの外形を描くと自動的に3次元形状に復元するTeddyシステム[3]、自動車の形状に限定し、手書き情報を利用する3次元形状生成手法[4]などが提案されている。しかし、これらの提案手法は形状入力を容易にするものの、決められた形状の入力しか可能でなかったり、断面が楕円であるといった制限があった。

そこで、本章では、制御点数が少なく曲面を表現できる細分割曲面に注目し、入力されたスケッチからその制御ポリゴンを生成し、立体生成に利用する手法を提案する。本章で提案する手法は、描画者の視点で描いたスケッチ情報のうち、曲面上に補助的に描かれる線に注目する。そして、その線を曲面の流れを作る線として利用し、スケッチに近いイメージの形状を生成するための細分割曲面の制御ポリゴンを自動生成する。

本章では、まず 2 節においてスケッチにおける表現手法について述べ、3 節において曲面生成手法として用いる細分割曲面について述べる。次に 4 節、5 節において、スケッチ要素と細分割曲面を組み合わせた形状生成手法の提案を行ない、最後に実験結果から得られた特徴についてまとめた。

7.2 スケッチにおける曲面の表現手法

まず、スケッチにおける曲面の表現手法について整理する。スケッチにおいて曲面を表現する手法は主に以下の4種に分類できる。

(1) 輪郭線による形の表現

輪郭線は立体の一番外側に見える線であり、あるビューからの形状の見え方・形状の特徴を表す線となる(図 7.1(a))。

(2) 面上に描かれた補助線による表現

実際には存在しない線であるが、デザイナー本人が形状を確認するため、また、第 3 者に説明を行なうために描く(図 7.1(b))。

(3) 陰影による形の表現

ペンやマーカーで形状に陰影を与えることにより曲面の立体感を表現する。

(4) ハイライトや映り込みによる表現

反射のある金属やガラスなどを表現する場合に、マーカーなどで背景(空や地面)などを描いて面の流れを表現する。

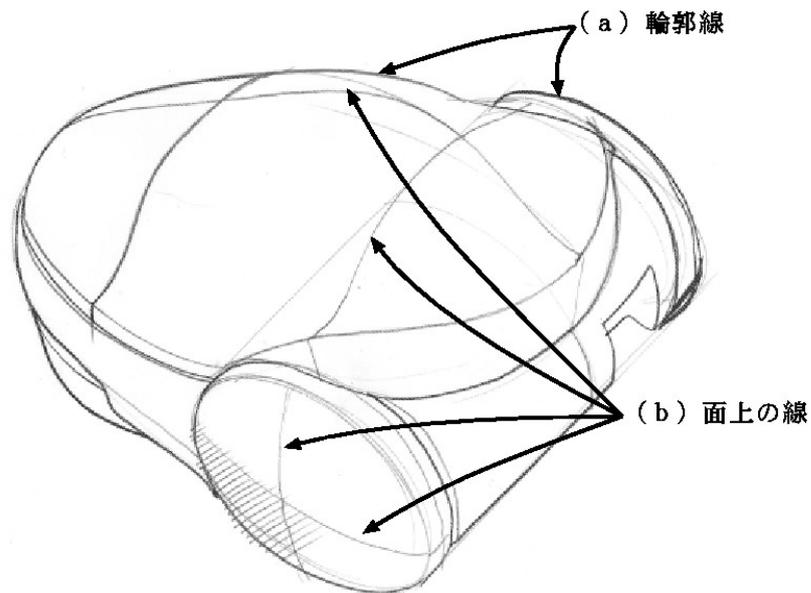
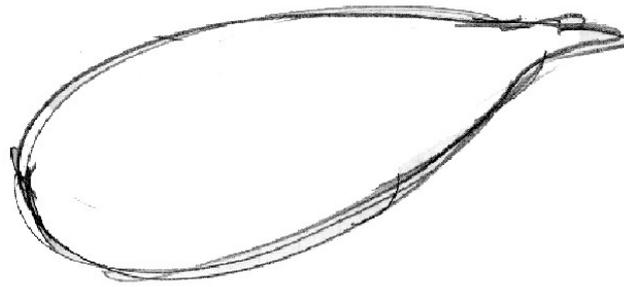


図 7.1 スケッチにおける曲面の表現手法

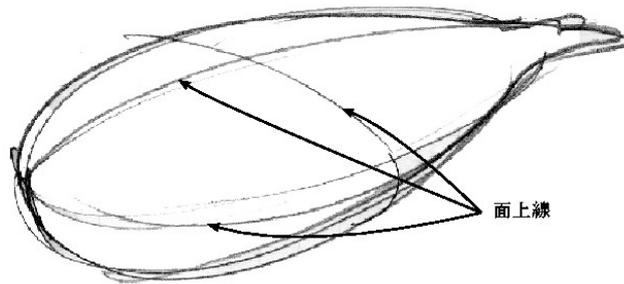
7.3 スケッチにおける曲面表現

前節のうち、(1)、(2)は線による曲面表現、(3)、(4)は塗りつぶしによる曲面表現である。本章では、(2)の面の上に描かれた線分を用いて曲面制御を行なう。以下、この面の上に描かれた線分のことを面上線と呼ぶ。

面上線はデザインの一部として存在するのではなく、形状を説明するための補足情報である。輪郭線だけで形状を表現すると曖昧な表現となるが、面上線を描画することにより、形状の曖昧さが解消される。図 7.2(1)に示した絵は面上線がなければ楕円の断面をもつ形状に見えるが、面上線を入れることにより、上部は平たい形状であることが分かる(図 7.2(2))。



(1) 輪郭線のみ形状



(2) 面上線による形状指示

図 7.2 面上線による形状指示

この面上線は、デザイナーがスケッチを描く場合にはよく描かれる要素であり、以下のような規則性・意味を持って描かれている。

- 直交するように描かれる
- 可視面における断面形状を表す
- 変化のある部分に描かれる

これらの面上線の特徴を利用することにより、各軸方向からの完全な断面図を入力することなく形状入力が可能となる。

7.4 細分割曲面による形状生成

本論文では曲面生成手法として Doo-Sabin の細分割曲面[5]を用いる。Doo-Sabin の細分割曲面は、多角形から再帰的に2次 B-Spline を生成する Chaikin[6]の手法が基になっている。本節では、曲線から Chaikin の分割元多角形を求め、Doo-Sabin の細分割曲面の制御ポリゴンに適用する手法について述べる。

7.4.1 スケッチからの断面生成

Chaikinの手法は多角形からB-Spline 曲線を求める手法であるが、本節ではその逆となる、曲線から多角形を求める手法について述べる。Chaikinの手法では、ある頂点から他方へ伸びる稜線を $1/4$ に内分する点同士を結び、角を落とす。したがって、極限において曲線は多角形の各稜線を中心に接することになる。そこで、閉曲線が与えられたとき、接点から接線方向に同じ長さの接線を伸ばし(図 7.3(1))、それらを結ぶことにより、元の形状に近い細分割多角形を生成する多角形を作ることができる(図 7.3(2))。図 7.3(3)が図 7.3(2)にある多角形を1回細分割した結果であり、3回細分割処理を行なった図 7.3(4)では、元の形状にかなり近い形状が得られている。なお、これ以降で使われている手書き曲線は筆者らの提案した手書き曲線の清書法[7]を用いて作画している。

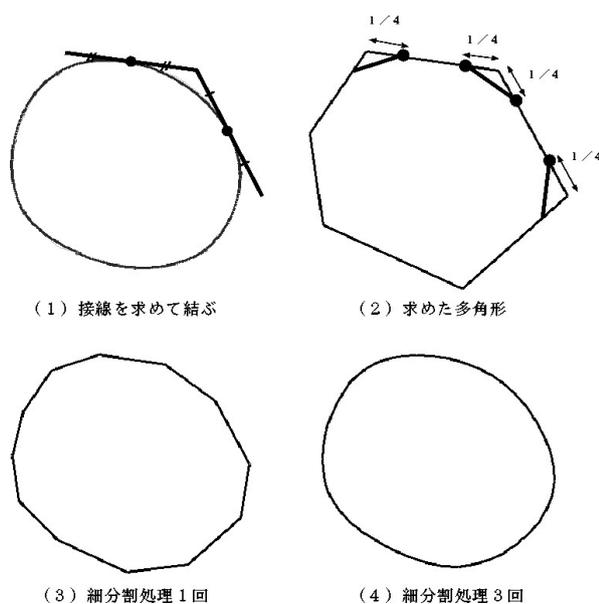


図 7.3 Chaikin の手法を利用した多角形生成

図 7.4 は、凹部を含む閉曲線から得られた多角形を示したものである。凹部を含む場合には、変曲点も接点として追加することにより多角形を作成することができる。

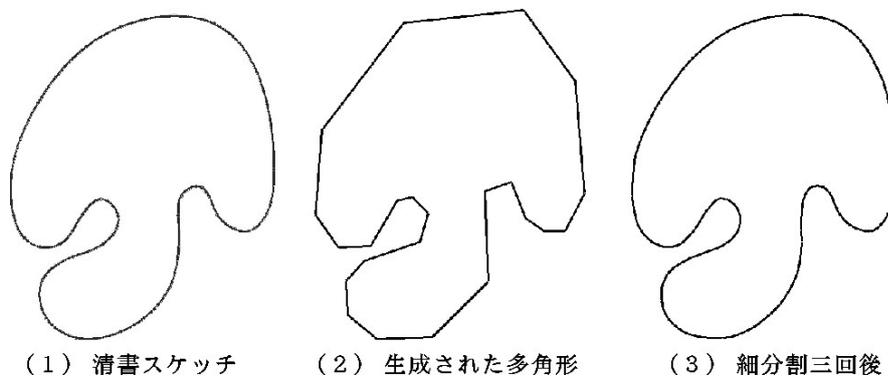


図 7.4 凹部を含む閉曲線スケッチからの多角形生成例

7.4.2 Doo-Sabin の細分割曲面

細分割曲面は 3 次元空間上に制御ポリゴンを用意し、ポリゴンを再帰的に細かく分割することにより立体を滑らかな形状に変形させる手法である。Doo-Sabin の手法は Chaikin の手法が基になっており、図 7.5 に示すように制御ポリゴンとして柱体を用意した場合、Doo-Sabin 法では、柱体を等分する断面の形状が Chaikin の手法で分割を行なった形状になる。したがって、曲線からの多角形生成手法を用いて柱体を用意することにより、細分割後の形状が任意の断面を持つような制御ポリゴンを生成することができる。

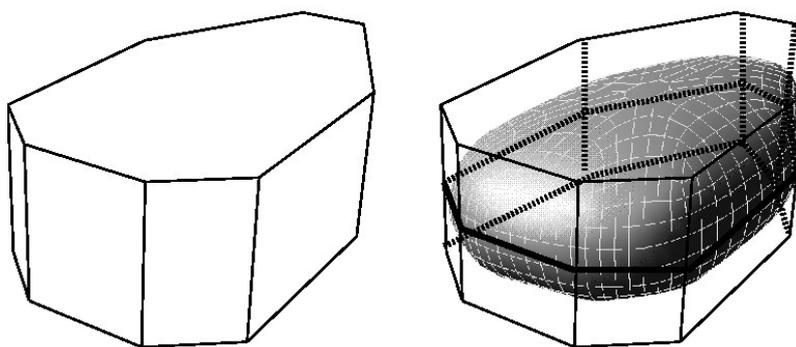


図 7.5 制御ポリゴンと Doo-Sabin 法による断面

7.5 面上線を用いた立体生成

本節では、面上線を利用して細分割曲面の制御ポリゴンを作成する手法について述べる。まず、入力対象とする線について述べ、入力された線を用いて細分割曲面の制御ポリゴンを作成する手法を述べる。3断面の柱体の相貫体を求め、制御ポリゴンとして利用する手法を提案する。相貫体を用いることにより、ポリゴン同士のつながりや頂点の位置関係などを考慮することなく制御ポリゴンを生成することができる。

7.5.1 入力対象線

入力できる立体は左右対称であるとし、線は以下の条件で描かれるものとする。

- 入力曲線は輪郭線の他に面上線が3本
- 3本の面上線は3次元空間上で直交している

本手法で得られる立体は左右対称であるが、上下は対称の制限はない。これらの条件をもとに、ラフに描かれたスケッチから、スケッチに近い形状を生成する。

7.5.2 スケッチ図からの断面図作成

本節では、標準モデルを用いた制御ポリゴン生成手法について述べる。ここでは理論上の頂点構成を定め、断面から得られた情報をもとに頂点位置を対応づけることにより制御ポリゴンを作成する。

以下、断面ポリゴンの生成手順について述べる。

(1) 描かれたスケッチから断面要素を抽出(図 7.6)

曲線の分割を行なう。その際に、交点 $p1 \sim p3$ における接線が水平になるように各曲線を回転させる。その結果、(a)~(d)の4つの曲線を抽出する。

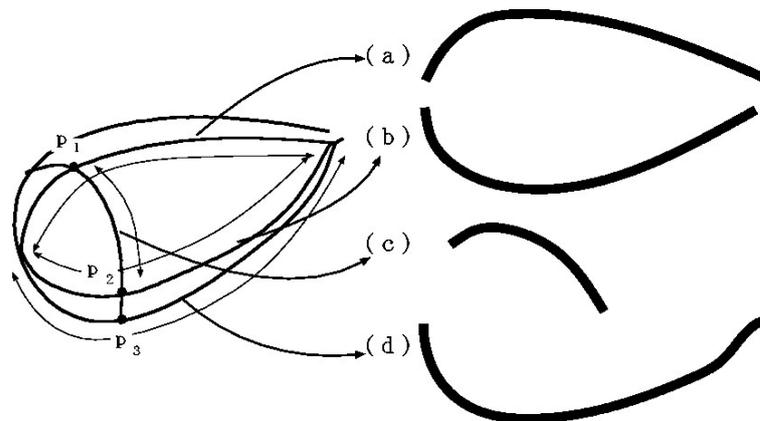


図 7.6 断面情報の抽出

(2) 立体下部の高さの決定(図 7.7)

不可視部分を含めた立体下部の高さを推定する。不可視部の仮想長 L_4 を $L_4 = L_1 / L_2 * L_3$ として求め、この仮想長を利用し、立体下部の仮想高さ h_4 を求める。

$$h_4 = (L_3 + L_4) / L_3 * h_3$$

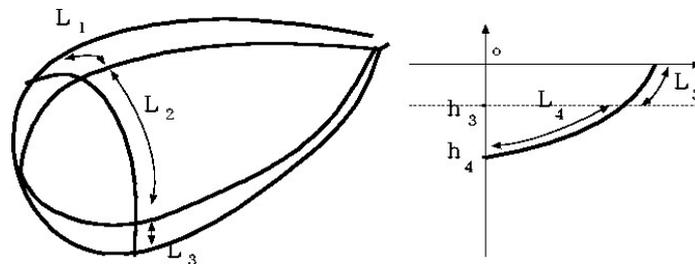


図 7.7 下部の高さの決定

(3) 3次元空間上での断面を求める(図 7.8)

(1)で求めた図 7.6(a)~(d)の曲線を利用し断面を求める。(a)~(d)の長さや幅は、(a)、(b)を基準に拡大縮小して合わせる。

① z 軸方向断面(図 7.8(1))

図 7.6-(b)を用い、線対称図形を上に繋げる

② x 軸方向断面(図 7.8(2))

図 7.6-(c)を左右対称にし、 $(y, z) = (0, -h_4)$ を通る自然スプライン曲線で繋げる

③ y 軸方向断面(図 7.8(3))

図 7.6-(a)、(d)を繋げ、最下部の z 座標が h_4 になるように図 7.6-(d)の z 座標を拡大・縮小する。

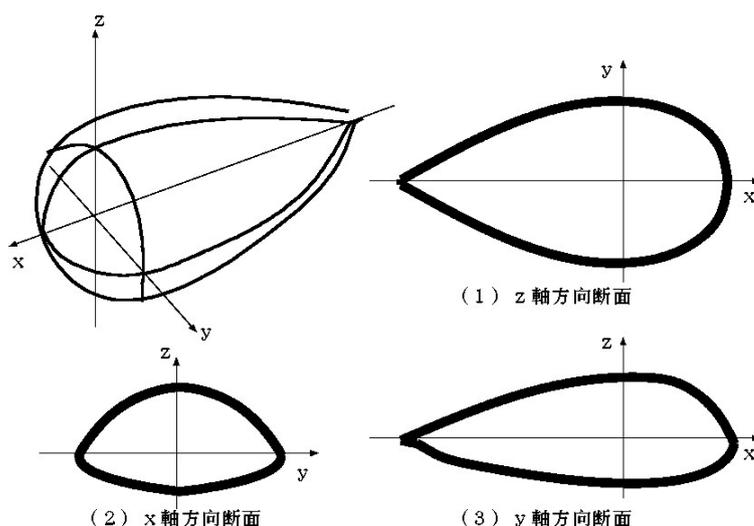


図 7.8 スケッチから求めた断面

(4) 制御ポリゴンの座標を求める(図 7.9)

(3)で得られた断面から制御ポリゴンを求める。断面は図 7.8(1)~(3)における各象限に1つの接線を持ち、座標軸に交わる点では座標軸に直交する接線をもつとした。ここで作成した断面ポリゴンから標準モデルの頂点座標にあてはめる。

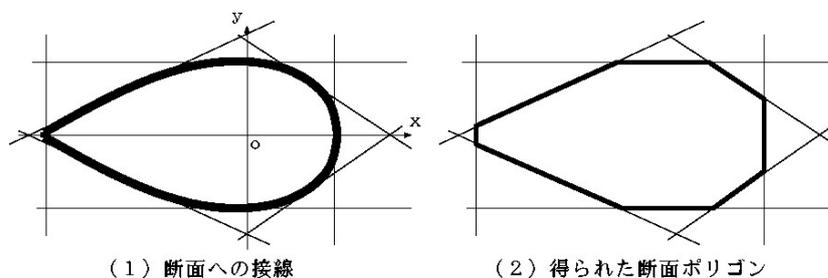
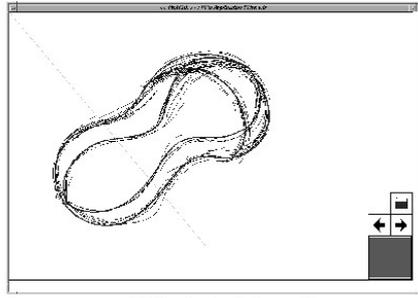
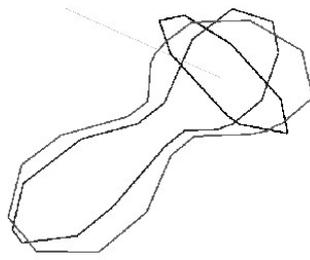


図 7.9 断面ポリゴンの決定

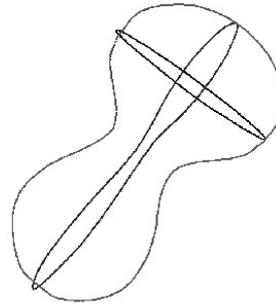
本手法は、柱体を等分する断面が細分割後の形状に反映されることを利用し、求めた断面を互いに直交させて3次元化する。図 7.10、図 7.11 は、スケッチから求めた断面を直交させた例である。断面を細分割すると、もとのスケッチの線分が得られる。



(1) 入力スケッチ

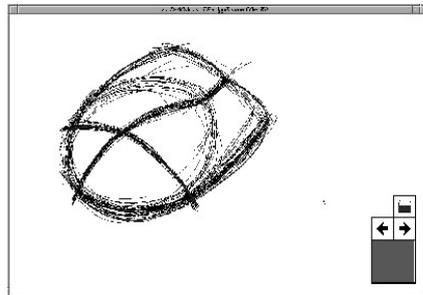


(2) 抽出断面形状

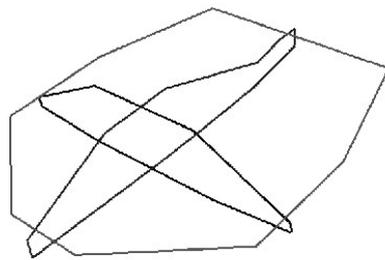


(3) 細分割後断面

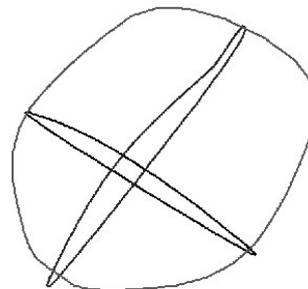
図 7.10 スケッチからの断面図作成例



(1) 入力スケッチ



(2) 抽出断面形状



(3) 細分割後断面

図 7.11 スケッチからの断面図作成例

7.5.3 相貫体による制御ポリゴン生成および変形例

断面を求めるところまでは標準モデルを利用する手法と同様である。求めた断面に対し、曲線からの制御ポリゴン生成手法を用いて柱体を作成する。

ここでは相貫体による形状生成例および、形状変形への適用例について述べる。図 7.12 は、スケッチから得られた曲線をもとに断面を生成し、制御ポリゴンを求めた例である。下書きしたスケッチの上に輪郭および3本の面上線を描き、その曲線を利用して断面を生成することができる。

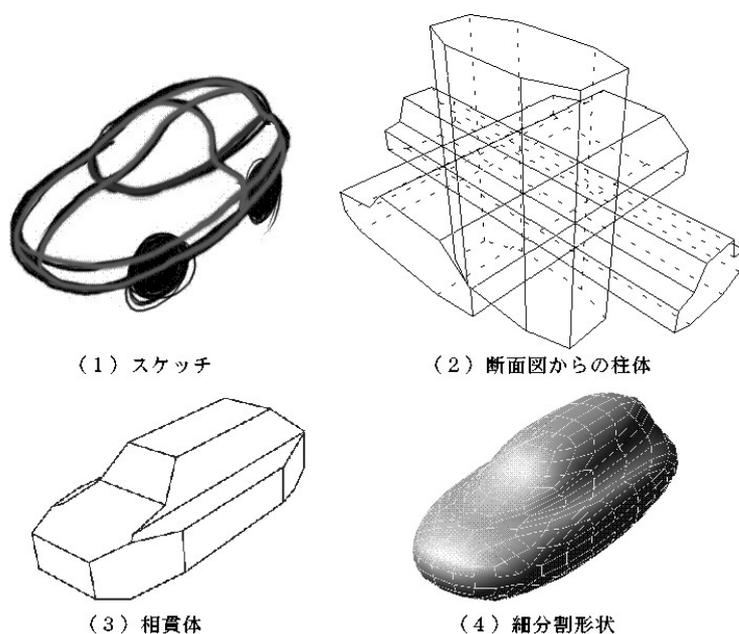


図 7.12 スケッチからの形状生成例

次に、形状変形への適用例について述べる。図 7.13 は、あらかじめ用意した断面を利用して作成した形状である。図 7.13(3)は x 軸方向からの断面形状の理論上の形状であり、図 7.13 (4)とほぼ同じ形状をしている。そして、得られた細分割形状は図 7.13 (5)に示す通りである。そして、図 7.14 は、面上線スケッチにより断面形状が得られたとして細分割形状を求めた結果である。スケッチから得られた断面形状から制御ポリゴンを求め(図 7.13(1))、図 7.13 の x 軸方向からの断面として用いた結果、図 7.14(2)の制御ポリゴンが得られる。理論上の断面と x 軸方向からのモデルのシルエットは同様な形状になっており、図 7.14(5)のような形状が得られた。

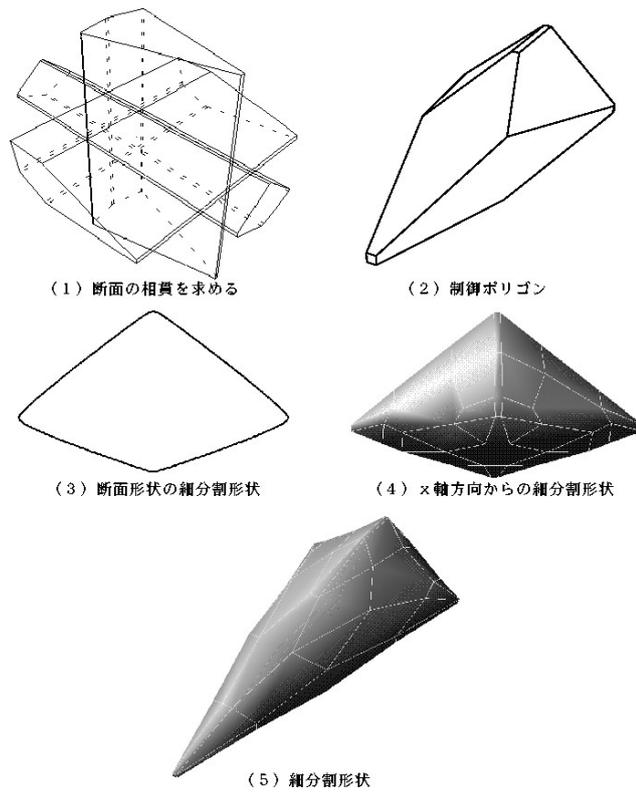


図 7.13 相貫体による形状生成例

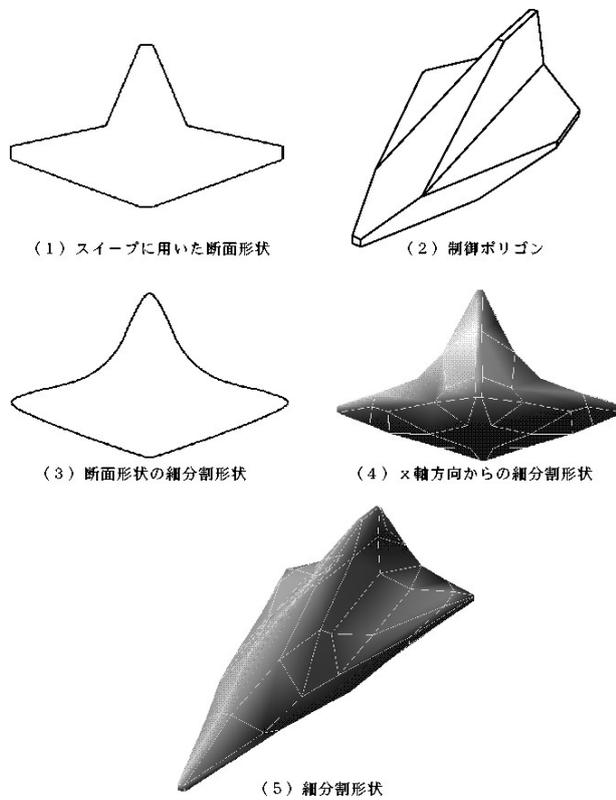


図 7.14 断面変形による形状変形

以上の実験結果から、以下のような特徴が確認できた。

(1) 面上線を利用するため、可視部分の形状だけを指示すればよい

スケッチでは形状指示のために不可視部分を描くことは少ないため、可視部分の形状指示のみで形状ができる方が望ましい。

(2) おおまかな形状を描くことにより曲面形状が得られる

必ずしも正確な形状情報である必要がない。また、形状の視点や角度は描画者の思った角度でよい。それによってスケッチを描くような感覚で立体生成が可能になる。

(3) スケッチから求めた断面を再現できる

スケッチから求めた断面と各軸方向からのシルエットが同じ形状になる。また、断面とシルエットが同じ形状になる場所は面上線の作る面であり、本研究では xy 平面、 yz 平面、 xz 平面が該当する。

(4) 相貫体により制御ポリゴンが容易に生成可能

断面が求まれば、細分割曲面の制御ポリゴンを容易に求めることができる。したがって、断面を制御する面上線を修正することによる曲面変形操作が可能になる。また、制御ポリゴンの集合演算により局所的な凹凸の付与も可能になると考えている。さらに、入力された断面の数が少ない場合でも形状を作ることができるため、何もない状態から情報を書き足しながら徐々に形状を作り上げていくようなインタフェースが期待できる。

7.6 まとめ

本章では、スケッチに描かれる曲面情報を細分割曲面の制御ポリゴン生成に利用する手法を提案した。作画実験を行なった結果、

- 面上線を利用するため、可視部分の形状だけを指示すればよい
- おおまかな形状を描くことにより曲面形状が得られる
- スケッチから求めた断面を再現した立体を作ることができる
- 相貫体により制御ポリゴンが容易に生成可能

といった特徴が確認できた。

【参考文献】

- [1] マルチメディアコンテンツ振興協会：高付加価値意匠デザインのための3次元形状モデリングに関する調査研究報告書, 1998
- [2] Robert C. Zeleznik, Kenneth P. Herndon, John F. Hughes :Graphics Proceedings, pp.163—170, 1996
- [3] Takeo Igarashi, Satoshi Matsuoka, Hidehiko Tanaka :Teddy: A Sketching Interface for 3D Freedom Design, SIGGRAPH 99, pp.409-416, 1999
- [4] 五十嵐健夫, 中嶋孝行, 小寺敏正, 田中英彦 :手書きスケッチによる自動車のボディ形状デザイン, Visual Computing グラフィックスとCAD 合同シンポジウム'99 予稿集, pp.75—80, 1999
- [5] D.Doo, M.Sabin : A behaviour of recursive subdivision surfaces near extraordinary points, CAD 10, pp.356—360, 1978
- [6] G. M. Chaikin : An Algorithm for High-Speed Curve Generation, Computer Graphics and Image Processing, Vol.3, pp.346—349, 1974
- [7] 松田浩一, 近藤邦雄 : 手書き図形入力のための時系列情報を用いた逐次清書法, 情報処理学会論文誌, Vol. 40, No. 2, pp.594--pp.601, 1999

第 8 章 システム評価

本章では、構築したスケッチシステムを用いて形状入力した評価実験について述べる。まず評価に使用したシステムの構成および使用方法を示し、その環境を用いて試用および評価を行なった結果について述べ、最後に今後のシステムの方向性について検討した結果をまとめた。なお、評価事項は(1) 2次元図形入力手法、(2) 3次元形状入力手法とした。

8.1 スケッチインタプリタシステム仕様

8.1.1 システム構成

スケッチインタプリタシステムは UNIX 上にて動作し、3次元形状の入力にペンを用いるために液晶タブレットを使用している。以下の表に評価に使用した環境のスペックについて示す。

表 8.1 スケッチインタプリタシステム使用環境

OS	UNIX(FreeBSD 2.2.8)
言語	C言語
PC	ノートPC(CPU:Pentium MMX 266MHz, Memory:96MB)
液晶タブレット	WACOM PL-300(10.4 型 800x600)

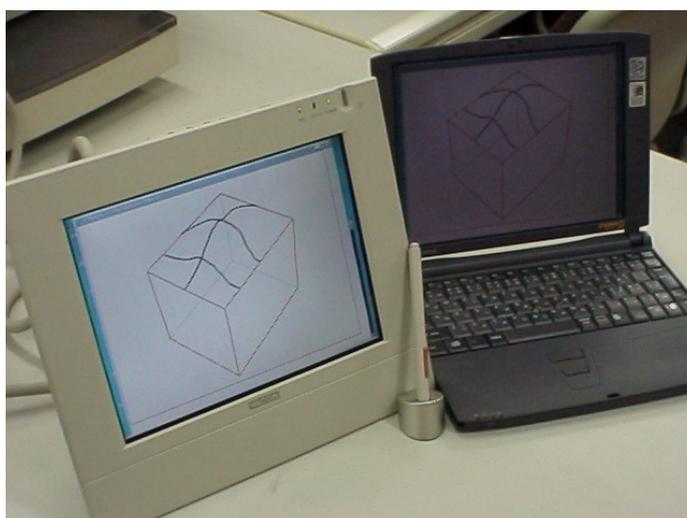


図 8.1 スケッチインタプリタシステム評価環境

また、本システムは、スケッチを描画して 3 次元データを作成する「スケッチシステム本体」、3 次元形状を表示するための「3 次元モデル表示プログラム」から成る。なお、スケッチシステム本体は X Window System、3 次元モデル表示プログラムは OpenGL を使って書かれており、同時に起動し、連動して動作するようになっている。

8.1.2 システム使用方法

スケッチシステムは、以下の 3 ステップで入力を行なう。

(1) 下書きスケッチの入力

右下のウィンドウが青い状態は下書きモードを意味している。このモードでは描いた線をすべて残す。また、描いた線については選択を行なった後に拡大・縮小・移動といった操作を行なうことができる。図 8.2 の右図は、左図の図形を移動後に拡大したものである。

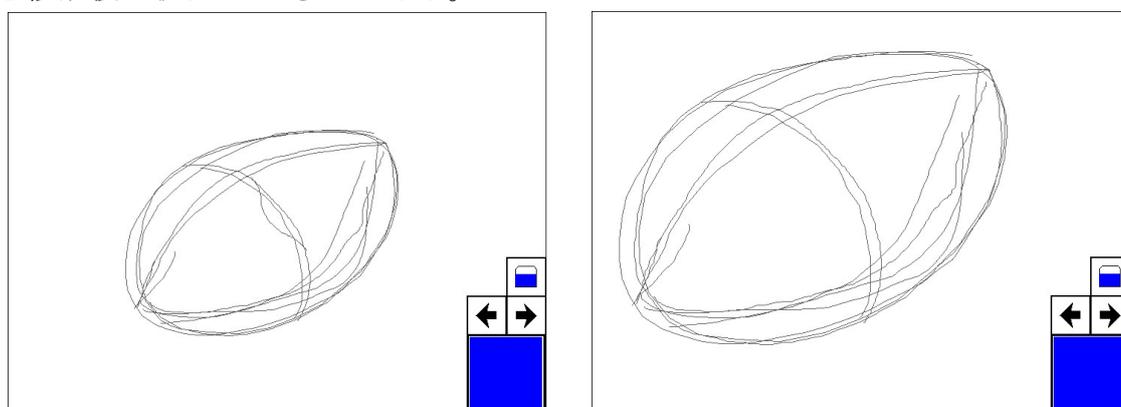


図 8.2 下書きモード(左)と下書き編集機能 (右)

(2) 形状を表す曲線の入力

右下のウィンドウをクリックすると、ウィンドウの色が赤く変わる。これにより清書モードに移行する。清書モードでは下書きをもとに輪郭線および 3 本の面上線を入力する。

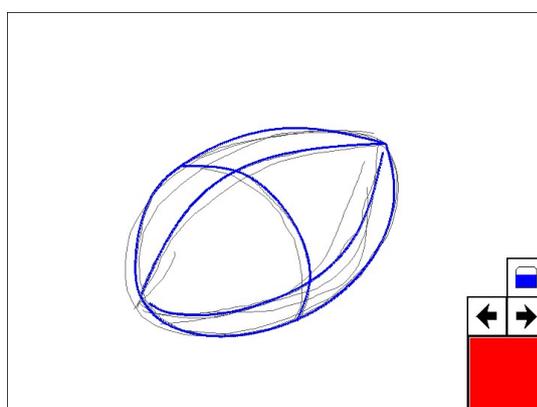


図 8.3 輪郭線および面上線の清書

(3) 3次元化手順

消し線の無いところで画面をポイントするとメニューが現れる。その中の Object ボタンを押すことにより 3次元化へと作業が移行する。現在のバージョンでは、曲線をどの断面として利用するかをユーザ自身が指定する必要がある。まず (i) 輪郭線を選択し、(ii) 背を通る線、(iii) 腹を通る線、(iv) 胴を通る線と順に選択する。

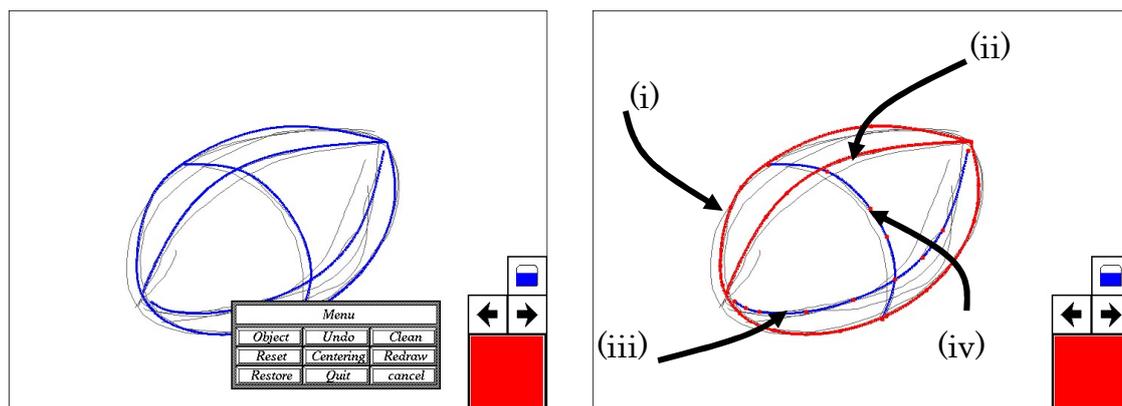


図 8.4 輪郭線および面上線の指定

曲線指定後、自動的に入力曲線に対応した 3次元形状がモデル表示ウインドウに表示される。3次元形状であるため、回転させながら形状の確認を行なうことができる (図 8.5)。

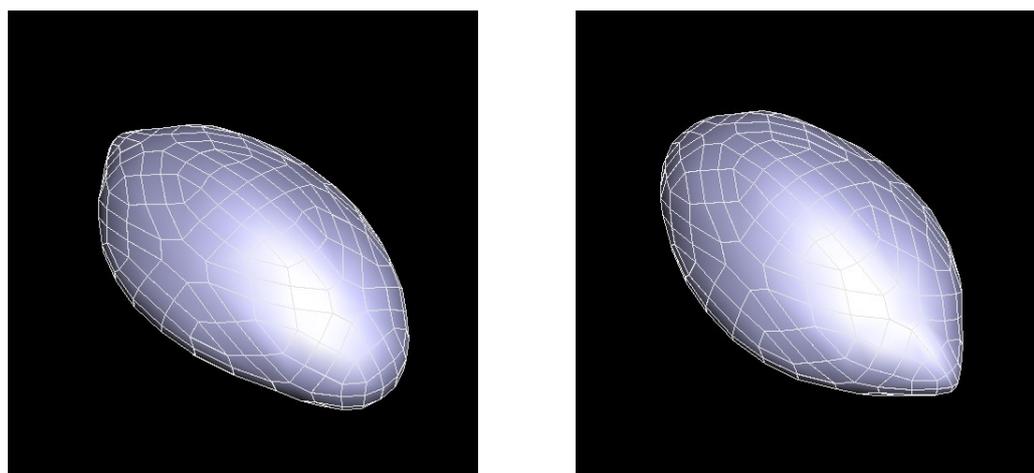


図 8.5 得られた 3次元形状 (左) と形状を回転させた例

(4) 形状変形

本システムでは輪郭線および面上線を変更することにより、動的に3次元形状を得ることができる。描画ウインドウにおける面上線に対して直接変更を加えることにより面上線の曲線を変更することができる。変更後に(3)の手順を行なうことにより、変更後の面上線に対応した3次元形状がモデル表示ウインドウに表示される(図8.6)。なお、図8.6において、手前部分のみの面上線の変更を行なっているが、左右対称という制限により、手前半分の情報の変更により奥側も変形している。

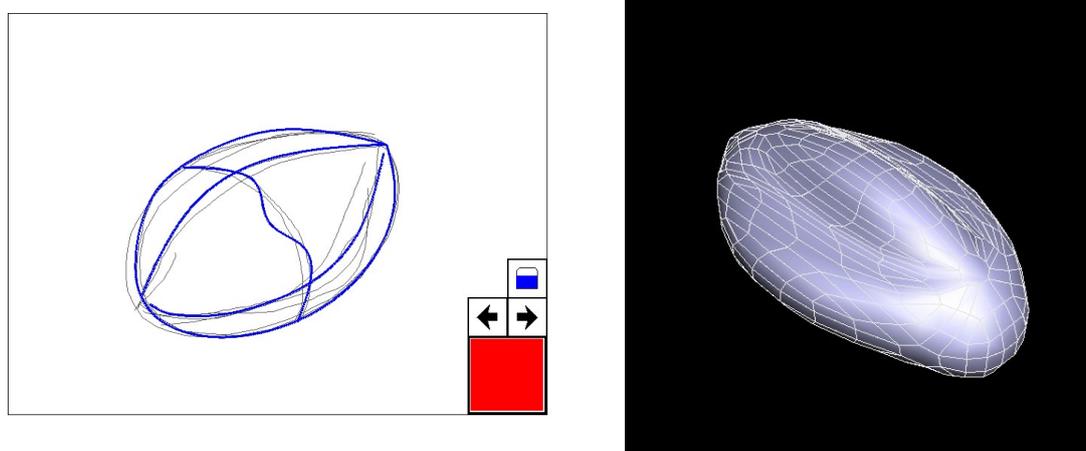


図 8.6 面上線の変更と得られた 3 次元形状

8.2 評価実験

ここでは、本システムを利用して作成した形状を示し、デザイナーの評価していただいた結果をまとめた。

8.1 節で描いた形状にさらに形状特徴を与えた結果が図 8.7 である。背の面上線が大きく変更されているため、面上線の形状に合わせて曲面の様子が大きく変わり、全体的な印象も変わることが確認できた。

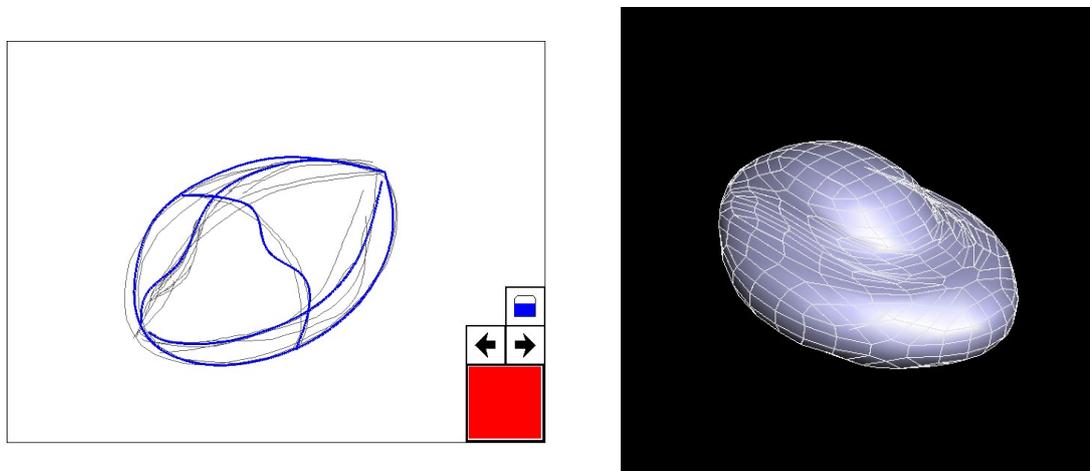


図 8.7 面上線の変更による形状変形例

CD プレイヤーの下書きをもとに、面上線による形状入力を試みた例を図 8.8 に示す。

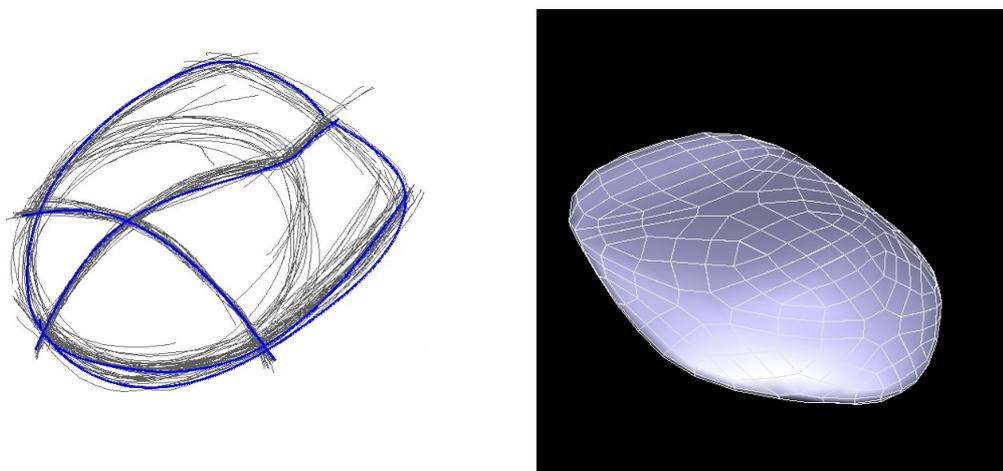


図 8.8 CD プレイヤーの面上線による表現

図 8.8 の半球状部分の大きさを変更するために面上線を変更し、3次元形状を求めた例を図 8.9 に示す。面上線の膨らみを変更することにより、3次元形状の膨らみもそれに応じて膨らみの形状が変化していることが確認できた。

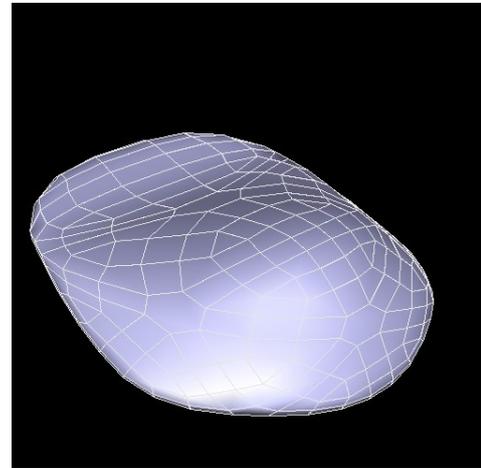
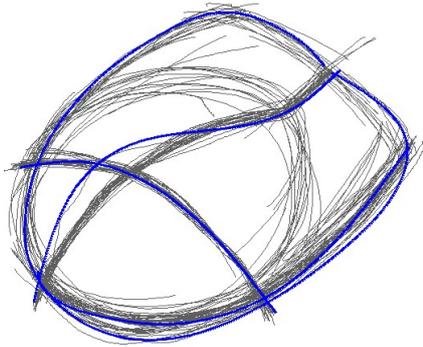


図 8.9 面上線の変更による形状変形

8.3 提案手法に対する評価

8.3.1 2次元図形入力機能に対する評価

(1) 逐次清書法に対する評価

- (a) 逐次清書法は動的に清書を行ない、ユーザが徐々に最終形に近づけていくというスタイルをコンピュータに実装するための手法である。入力した直線や曲線をラフに入力しても、それらを自動的に清書するという思想は高い評価を得た。
- (b) 修正についても、修正部分をそのまま描画することによる動的な修正は直感的であるという評価を得た。
- (c) 曲線入力において、「一定時間内に入力された線分が、同一曲線を構成するとみなして曲線変換する」という規則を設定していたため、清書に必要な曲線を一気に描く必要があった。その規則がデザイナーにとって不自然であり、また一度に描かねばならないというプレッシャーになるという意見があった。

(2) スケッチ支援機能に対する評価

- (a) 入力データをすべて記録できるという利点を生かし、画面内に描かれた図形データを履歴情報として保存し再利用することができる。これにより、たくさん描いたサムネイルを拡大してベースにすることができるので、またはじめから描きなおす必要がないという点で高い評価を得た。
- (b) 要望が多かった機能はアンドゥ機能の強化である。アンドゥは、試行錯誤において最も多く使われる動作であるため、デザイナーの作業を円滑に進めるためには最も重視すべき支援機能となる。気に入らない線や部分はすぐさま直したいという要求に対し、修正対象となる曲線を選択してからやり直すというインターフェースは使いにくいという評価であった。

8.3.2 3次元形状生成機能に対する評価

- (1) ペンのストロークを用いた形状入力という思想は高い評価を得た。一般に曲線・曲面制御はマウスを使った制御点移動により行なわれているが、やはり違和感があり、ペンを動かすことにより形状を作り上げていく作業がデザイナーにとって最も違和感のない作業形態である。
- (2) 形状変形にもペンで描いた線を使うことにより、より直感的に形状変更を行なうことができるということ、また、面上線を入力線として利用することにより曲面制御を目に見える形で明示的に行なうことができるインターフェースは高い評価を受けた。

要望は以下のとおりである。

- (1) 表現力の向上が挙げられた。現状では面上線を3本しか扱えないため部分的な形状の変化には対応できない。
- (2) 現在の曲面生成手法の利用の仕方ではエッジになる部分が生成できないことが問題であり、平面と曲面の混在を考慮した形状生成手法が必要となる。

8.4 考察および今後の方向性

本節では、評価に対する考察と、デザイナーからの要求をまとめた今後のシステムの方向性について述べる。

8.4.1 2次元図形入力機能について

(1) 逐次清書法について

(a) スケッチ入力線について

動的に最新の情報だけ得られていればよいのではなく、デザイナーは多くの線を描きながら、今までに描かれた情報すべてを考慮して最適な線を選んでいく。つまり、試行錯誤した結果、描かれた線のうちで最も古い線であっても選択される可能性はある。

(b) 下書きモードにおける筆圧の利用

スケッチにおいては描いた線の濃さが重要度に大きく関係しているため、すべての線が均一の太さ・色で描かれるようなシステムではデザイナーの意図を反映させることができない。本システムの下書きモードでは、入力した線分は同じ太さ・色で描画されるため、描きこみを行なえば行なうほど画面上の情報からは、どの線が重要であるかという意図を判別することができなくなり、デザイナー自身もどの線を選択したいのか分からなくなるという結果になる。ペン入力では筆圧を取ることができるので、その情報を利用し、太さ・濃さの制御を行なうようにすることで解決できる。

(c) 動的清書の経過時間について

動的清書が「描画停止から一定時間経過すると開始する」という方法を採用しているが、スケッチを行なっている場面・人によって描画・思考時間は異なる。したがって、均一の時間で動的清書を行なうと意図せぬ変換の原因にもなり、また、一定時間内にユーザに入力を強制しているということになる。現在は、動的清書を経過時間をきっかけに行なうようにしているが、筆圧を感知し、より強い筆圧での描画が行なわれた場合に変換を行なうようにするなど、清書開始のきっかけについては今後検討する必要がある。

(2) スケッチ支援機能について

(a) スケッチ情報の管理について

描画データをすべて記録しているため、再利用することが可能なことがコンピュータを利用する最大の長所である。描いたスケッチを変形・回転・移動させたり、グループごとに登録する機能を設け、データベースとして利用することが可能である。そのために、個々のスケッチ・グループごとにブラウジングできる機構が必要である。また、紙のスケッチは劣化・紛失などをすることがあるが、デジタルデータとして持っていればスケッチ情報を一括管理することができる。

(b) スケッチの拡大・縮小機能

部分選択されたスケッチの拡大・縮小・移動といった機能があり、発想展開の際に描くサムネイルのうち必要なものだけ拡大して利用するような利用法を想定している。しかし、選択した図形自体を拡大していたため、不要なサムネイルと線が重なるため使いにくいという意見があった。そこで、図形自体を大きくするのではなく、キャンバス全体を拡大することにより注目している部分だけ見せるようにすることで解決する。したがって、デザイナーは無限に大きな仮想キャンバスの上にもういくらでもスケッチを描くことができ、いつでも再利用することが可能となる。

8.4.2 3次元形状入力手法について

(1) 入力可能な曲面形状

曲面を有する初期形状を作るためにペン入力を利用することにより、3次元形状入力システムが受け入れられやすくなるという評価は得られた。しかし、形状を入力するためには初期形状を詳細化していく作業が必要になるが、そのための機能が不足している。

(2) 局所変形機能

局所変形に関する機能を付与する機能が挙げられる。エッジ・フィレットといった角を付与する機能、穴を空ける・へこませる・膨らませる・切断できることが必要であり、その操作がリアルタイムで形状に反映されることが必要である。しかし、本システムでは外形入力のインタフェースしか用意しておらず、細部を描くための手法について、新たに検討する必要がある。

(3) 曲面・平面の混在について

現在は曲面・平面の混在した立体は生成できないため、細分割曲面の制御ポリゴンを作る際に、平面を作ることができるような構成にする必要がある。また、入力の際にも直線・曲線が混在した線を描くことが出来なければならないため、線分清書法の改良も必要となる。

(4) より密接な入力システムのために

現在スケッチシステムは3次元形状入力と生成を行なう本体、描画プログラムの2つから成っているため入力と表示が別になっており、入力図形と生成立体の結びつきが弱く、2次元と3次元を行き来することになる。そこで、表示プログラムを結合し、立体生成後には面上線を立体上に描き、それを操作することにより形状変形を可能にする。これにより、2次元入力と3次元形状の結びつきを強め、より直感的な形状制御を可能にする。

(5) 複数のパーツの取り扱い

複数のプリミティブの扱いも必要である。1つのパーツからすべてが描けることはなく、複数のパーツを組み合わせたリ、パーツから任意の形状を削り取ることにより作り上げていく。そのために、空間内でのパーツの移動方法、結合や削除などの手法の検討が必要である。

8.4.3 今後の方向性について

今後のシステムの利用の方向性および、それに必要な要素について述べる。

(1) デザインの方向性およびコンセプト決定の際に使いたい

アイデアのツールとしてスケッチ入力システムを使いたいということである。時間短縮をするためには、インタラクティブにその場で修正されていかないと用途に合わない。したがって、システムの表現力が向上しても、応答時間がデザイナーの思考に追いついてこないと利用価値が薄いということになる。

(2) 美観、質感を表現したい

特にプレゼンテーションにおいては質感表現が重要である。

(a) テクスチャ

現在は単色の立体であるため、現実味がない。そこで、テクスチャを張ることにより、よりリアルな形状を得ることができる。ロゴマークなどのテクスチャがあるだけでも大きく印象が変わる。

(b) 材質の変化を表現する

部分部分の材質の指定と、レンダリングへの即座に反映されるとよい。透明やアクリル、メタル、ガラス、ステンレス、クロムメッキ、チタンなどの材質表現などを3次元上で手軽に見たい。

(c) 光源設定

光源の設定が自由にできること。内部に光源を持たせて透明感の確認を行なうこともできる、など。

(3) プレゼンテーションの際に利用したい

上層部やバイヤー向けに、簡単にその場でデザインの修正ができるようなシステムであることが望ましい。また、納得させる要素にするためには、さまざまな変形操作ができる必要があり、同時に(1),(2)の項目を両方満たす必要がある。

第9章 まとめ

意匠デザイナーが直接利用することができて、形状の発想支援や形状概念の明確化に有効であるような、形状モデリングシステム構築のための調査研究とプロトタイピングを行ってきた。昨年度は、既存の研究開発を十分に調査して評価するとともに、デザイン現場での意匠デザインの現状とデザイナーの要求を知る機会を得て、今後の形状モデリングや形状入力について、極めて有益な情報をまとめることができた。また、比較的簡単な3次元形状のスケッチ入力システムのプロトタイプを作成し、デザイナーらからの評価を受けた。

昨年度までの成果をもとに、今年度には、まず、スケッチと形状入力について分析を深め、デザインプロセスにおけるスケッチの役割を明確にするとともに、形状決定におけるスケッチの役割を整理した。そして、スケッチインタプリタシステムのプロトタイプを提案した。このプロトタイプに必要な手法として逐次清書手法の提案、スケッチ線から細分割曲線への変換手法、スケッチ線分から細分割曲面の生成手法などを考案した。これらのスケッチ主体の形状入力アルゴリズムの拡張を行った。さらにプロトタイプシステムの拡張を進め、デザイナーの評価を受け、プロトタイプシステムの特徴と今後の課題をまとめた。

今後は、プロトタイプシステムの更なる拡張とともに、デザイナーによる試用を続け、実用化システムへの可能性を追求する。

目次

1. 調査研究の目的	1
1.1 目的	1
1.2 背景	20
2. 調査研究の実施体制	22
3. 調査研究内容	25
第 1 章 CAD システムの現状と課題	28
1.1 初年度(97 年)における調査内容と課題	28
1.1.1 CAD システムの現状	28
1.1.2 次世代 CAD システムへの要望	29
1.2 昨年度(98 年)における調査内容と課題	32
1.2.1 研究の目標と調査内容	32
1.2.2 形状モデリングと形状入力の課題	33
1.3 形状入力のためのインタフェース技術	35
1.3.1 形状入力技術の概要	35
1.3.2 コンピューター支援による形状入力に関する動向の具体例	36
第 2 章 形状入力手法に関する動向	42
2.1 コンピュータ支援による形状入力に関する動向	42
2.2 形状入力のインタフェース技術の動向	45
2.2.1 手描きによる線分入力に関する研究	45
2.2.2 手描きによる 3 次元形状入力に関する研究	46
第 3 章 形状決定におけるスケッチの役割	52
3.1 デザインプロセスにおけるスケッチの役割	52

3.1.1	デザインプロセスとスケッチ	52
3.1.2	スケッチと形状入力	54
3.2	スケッチとデザイン作業	55
3.2.1	デザインプロセスにおけるスケッチ	55
3.2.2	スケッチの役割	57
3.2.3	デザイン作業における手書きスケッチの役割	58
3.3	スケッチの実際	42
3.3.1	スケッチの実際（その 1 日立製作所における家電の例）.....	60
3.3.2	スケッチの実際（その 2 ソニーにおける家電の例）.....	62
3.3.3	スケッチの実際（その 3 富士通における情報家電の例）.....	63
3.3.4	スケッチの実際（その 4 GKテックにおける家電の例）.....	64
3.3.5	スケッチ実際（その 5 日産における自動車の例）.....	66
3.4	スケッチに関する用語	67
第 4 章	スケッチインタプリタシステム	69
4.1	スケッチインタプリタシステムの目標	69
4.2	システムの概要	71
4.3	システム構成	73
第 5 章	逐次清書法によるスケッチ入力	75
5.1	逐次清書法の概要	75
5.2	逐次清書法における直線抽出法	76
5.3	逐次清書法における曲線抽出	78
第 6 章	手描き断面線を用いた細分割曲面生成手法	84
6.1	はじめに	84
6.2	手描き断面線による制御ポリゴン生成	85
6.2.1	Chaikin のアルゴリズム	85
6.2.2	手描き曲線からの制御ポリゴン生成手法	86
6.2.3	制御ポリゴン生成例	88

6.3 断面積続による細分割曲面生成.....	90
6.3.1 断面を用いたポリゴン生成.....	91
6.3.2 柱体の接続.....	91
6.4 実験結果と評価.....	93
6.5 まとめ.....	96
第7章 スケッチ情報を利用した手書きによる細分割 曲面生成手法.....	98
7.1 はじめに.....	98
7.2 スケッチにおける曲面の表現手法.....	99
7.3 スケッチにおける曲面表現.....	100
7.4 細分割曲面による形状生成.....	101
7.4.1 スケッチからの断面生成.....	102
7.4.2 Doo-Sabin の細分割曲面.....	103
7.5 面上線を用いた立体生成.....	104
7.5.1 入力対象線.....	104
7.5.2 スケッチ図からの断面図作成.....	104
7.5.3 相貫体による制御ポリゴン生成および変形例.....	109
7.6 まとめ.....	111
第8章 システム評価.....	113
8.1 スケッチインタプリタシステム仕様.....	113
8.1.1 システム構成.....	113
8.1.2 システム使用方法.....	115
8.2 評価実験.....	100
8.3 提案手法に対する評価.....	120
8.3.1 2次元図形入力機能に対する評価.....	120
8.3.2 3次元形状生成機能に対する評価.....	121
8.4 考察および今後の方向性.....	122

8.4.1 2次元図形入力機能について	122
8.4.2 3次元形状入力手法について	123
8.4.3 今後の方向性について	124
第9章 まとめ	126

図表目次

図 1.1	スケッチの 3 面図の配置	36
図 1.2	生成された枠組み曲線	36
図 1.3	パーススケッチから立体化する(Perspective)	37
図 1.4	スケッチを描いて立体形状を作成する	37
図 3.1	スケッチワークの位置付け	55
図 3.2	手描きによるラフスケッチの展開例	60
図 3.3	アイデアスケッチよりピックアップした描画例	61
図 3.4	プレゼンテーション用のレンダリング	61
図 3.5	IC レコーダーのアイデア展開用ラフスケッチ	62
図 3.6	IC レコーダーのアイデアスケッチ	62
図 3.7	IC レコーダー ICD-50	62
図 3.8	アイデア展開のためのラフスケッチの例	45
図 3.9	ラフスケッチ(サムネイルスケッチ)の例	64
図 3.10	ラフスケッチ(ポンチ絵)の例	65
図 3.11	ラフスケッチの展開プロセス	65
図 3.12	スケッチ初期段階のラフスケッチ	66
図 3.13	スケッチ中期段階のアイデアスケッチ	66
図 3.14	スケッチ後期段階のレンダリング	66
図 3.15	スケッチにおける線の呼び方	50
図 4.1	スケッチインタプリタシステムの概要	70
図 4.2	スケッチインタプリタシステム概念図	72
図 4.3	スケッチインタプリタシステムの機能	73
図 5.1	スケッチの例	75
図 5.2	逐次清書法の概念図	76
図 5.3	芯線抽出手順	77
図 5.4	逐次清書法による直線描画	77

図 5.5 特徴点の抽出	78
図 5.6 特徴点の挿入	79
図 5.7 特徴点結合法による描画・修正	80
図 5.8 節点分割抽出法による制御点選択	81
図 5.9 節点分割抽出法による制御点生成	81
図 6.1 入力スケッチの清書	85
図 6.2 Chaikin のアルゴリズム	86
図 6.3 多角形生成アルゴリズム	88
図 6.4 「差 d」の定義	88
図 6.5 接点位置補正	88
図 6.6 差分面積の求め方	89
表 6.1 細分割回数による入力図形との誤差値	89
図 6.7 制御ポリゴン生成例	90
図 6.8 Doo/Sabin 法における断面	91
図 6.9 ポリゴン同士の頂点の対応づけ	92
図 6.10 対応頂点のない頂点の補正	92
図 6.11 高さの入力	93
図 6.12 断面による形状生成例 1	94
図 6.13 断面による形状生成例 2	94
図 6.14 断面による形状生成例 3	95
図 6.15 図 6.12 で使用した断面図	95
図 7.1 スケッチにおける曲面の表現手法	100
図 7.2 面上線による形状指示	101
図 7.3 Chaikin の手法を利用した多角形生成	102
図 7.4 凹部を含む閉曲線スケッチからの多角形生成例	103
図 7.5 制御ポリゴンと Doo-Sabin 法による断面	103
図 7.6 断面情報の抽出	105

図 7.7 下部の高さの決定	105
図 7.8 スケッチから求めた断面	106
図 7.9 断面ポリゴンの決定.....	107
図 7.10 スケッチからの断面図作成例.....	107
図 7.11 スケッチからの断面図作成例	108
図 7.12 スケッチからの形状生成例	109
図 7.13 相貫体による形状生成例	110
図 7.14 断面変形による形状変形	110
表 8.1 スケッチインタプリタシステム使用環境	113
図 8.1 スケッチインタプリタシステム評価環境	113
図 8.2 下書きモード(左)と下書き編集機能(右).....	115
図 8.3 輪郭線および面上線の清書	115
図 8.4 輪郭線および面上線の指定	116
図 8.5 得られた 3 次元形状(左)と形状を回転させた例	116
図 8.6 面上線の変更と得られた 3 次元形状.....	117
図 8.7 面上線の変更による形状変形例.....	118
図 8.8 CD プレイヤーの面上線による表現	118
図 8.9 面上線の変更による形状変形	119