

空間スケッチシステム - コンセプトデザインのためのデジタルツールの開発 -

吉田俊介\*1(現在\*5) 星野俊仁\*2 宮崎慎也\*3 大関徹\*2 長谷川純一\*3 安田孝美\*4 横井茂樹\*1

SPATIAL SKETCH SYSTEM – Development of a Digital Tool for Conceptual Design -

Shunsuke Yoshida\*1\*5, Toshihito Hoshino\*2, Shinya Miyazaki\*3, Toru Ozeki\*2, Junichi Hasegawa\*3, Takami Yasuda\*4, and Shigeki Yokoi\*1

## ABSTRACT

This paper presents a Spatial Sketch System that provides a sketch-like modeling interface, and realizes 3D drawing for human oriented industrial design, such as car styling. The designer can draw lines and surfaces directly and freely in the canvas of 3D space by operating a pen-type pointing device while viewing a stereoscopic display. The process of modeling consists of two parts; In the Rough Sketch stage, the user works his/her ideas out rapidly by drawing free-formed curves and surfaces. Then, in the Refinement stage, precise tracing of the sketched surfaces completes the refined NURBS model. Additionally, implemented intuitive command selection assists creative work. For example, a curve is removed when the designer shakes it quickly.

Keyword : Modeling CAD, Sketching, Industrial Design, Computer Graphics, Virtual Reality

## 1. はじめに

コンピュータが現代社会の生活基盤を支える昨今、産業分野における各種工程のデジタル化は時流である。それは工業製品デザイン分野でも例外ではなく、知識を共有・蓄積しやすくする点や、電子データを活用することで設計から評価までをより低コストかつ短期間で試行錯誤できる点から有用な手段であると言える。

現在広く普及している Computer Aided Design(CAD)システムは、この分野における代表的なデジタルツールである。本来のCADには、初期のアイデア検討から製品形状の図面化、試作による立体化、評価や過去の検討結果のデータベ

ース化といった一連のデザインプロセス全体を支援する概念が含まれていたが、当初のコンピュータ性能の限界などからその実現には課題が多く、現在は早くから実用化されてきた作図機能に特化したアプリケーションをCADシステムと称することが多い。

しかしながら、そのようないわゆるモデリングCADシステムについてさえも幾つかの問題点が存在する。三面図を介したモデリング作業の煩わしさや平面画像による立体形状のデザイン評価の難しさがそれであり、創造性やスピードが要求されるデザイナーの創作活動を阻害してしまっている。そのため、現状のデザイン工程では、コンセプトデザイン時には紙と鉛筆によるスケッチや粘土による造形を行い、ある程度形状がまとまった時点でCADを用いた作図をすることが多い。しかしながらディスプレイ上での立体形状の検討は難しく検討時には実物であるモックアップを作成するため、その検討結果をコンピュータ上のモデルデータに反映させる手順がさらに必要となっている。

\*1: 名古屋大学人間情報学研究科

\*2: トヨタ自動車株式会社

\*3: 中京大学情報科学部

\*4: 名古屋大学情報文化学部

\*5: 通信 放送機構

\*1: Graduate School of Human Informatics, Nagoya Univ.

\*2: TOYOTA Motor Corporation

\*3: School of Computer and Cognitive Sciences, Chukyo Univ.

\*4: School of Informatics and Sciences, Nagoya Univ.

\*5: Telecommunications Advancement Organization of Japan

我々は Virtual Reality (VR) 技術を用いることによってこれらの問題を克服し、本来の CAD の概念により近い統合化された新しいデザイン支援ツールをデザイナーに提供できると考え、その可能性をこれまでに探ってきた。しかしながら、位置センサや立体表示装置の精度、高い質感をもつ CG のレンダリングを実時間で行うためのグラフィックスハードウェアの能力がボトルネックとなり、我々の考えるシステムを実現する上での障壁となっていた。特に前者による VR 空間に生じる様々な歪みの問題は、ペンとその軌跡などの実物と仮想物が一致しない違和感から作業効率を低下させることが予想でき、設計段階の立体映像の製品と実際の製品との間に印象の不一致を招き、意図したデザインが製品に反映されないという結果を生じうる。我々はこれらの考えを基に、立体表示において生じる誤差を高い精度で計測するとともに、デザイン作業に与える影響が十分小さいと考えられる範囲に補正する手段をこれまでに確立してきた [1]。

そこで本論文では、その成果を基盤とし、従来のモデリング CAD システムでは扱うことが難しい初期段階の形状デザインに適した直観的なインタフェースを供えるデザインシステムを試作したので報告する。空間スケッチシステムと題した提案システムは、目の前の 3次元空間をキャンパスとして空間でモデリング作業が行えるものである。図 1 にその操作風景を示す。

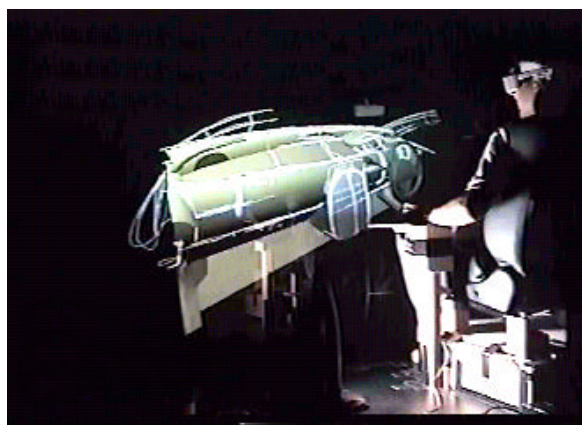


図 1 空間スケッチシステム

本研究の対象とするユーザは工業製品デザイナーであり、本文では特にデザイナーの創造的な作

業を妨げないようなモデリング手法の提案や、実空間と仮想空間が一致する直接操作に適した環境と検討に必要な立体形状表示能力を有したシステムの構築方法について述べる。また、自動車スタイルデザインを例にとりデザイナー数名による試用実験を行い、アンケートによりシステムを評価する。

## 2. コンセプトデザインのためのデジタルツール

コンピュータを媒介とした造形作業を行うデジタルツールの実現はこれまでも幾つか試みられている。SKETCH [2] や Teddy [3] はマウスやタブレットを使い直接コンピュータ上で紙と鉛筆を使うようにスケッチしながら 3次元形状をモデリングすることができるシステムである。2次元のスケッチ動作からある規則に従い 3次元モデルを自動的に構築することができるこれらのシステム [2-4] は有用であるが、デザイナーが直接入力した形状をデザイナーの意図に忠実な位置と形で 3次元化を試みる本システムとは開発の主旨が異なる。

他に VR 技術を用いて従来のモデリング手法のインタフェースを改良したものが挙げられる。3-Draw [5] はマウスの代わりに 3次元ポインティング装置を使うことで 3次元の曲線を直接入力できるシステムであり、FreeForm [6] やスタイリング CAD システム [7] は粘土造形をモチーフとした触覚を伴うモデリング環境である。これらは空間を作業スペースすることでモデリングの自由度を広げたが、入力デバイスであるツールと作業スペースが同空間ではないことから直接的な操作という面でやや不満が残る。また、さらに HMD とデータグローブなどを使い没入間を高め、仮想物体を直接操作できる環境を構築したものもある。例えば VLEGO [8] はブロック遊びを模倣することで初心者でもモデリングしやすい環境を提供している。しかしながら、これら [8-12] は初心者でも扱いやすい直観的で操作しやすいインタフェースの提案とプリミティブを使ったモデリングツールの開発を主題としており、曲面を多用する自動車デザインのようなモデルを構築するためのツールとしては、操作や形状検討のための立体表示の精度についてもあまり重視していないこともあり、まだ十分ではない。また、我々の目的とするアイデアを形にする段階のコンセプト

デザインをコンピュータ上で行うためにはこれら従来の CAD 的なモデリング手法では難しいと言える。

本研究ではコンセプトデザイン時に有用なツールとなるように、デザイナーが頭に思い描く形を忠実に即座に立体化でき、そのもののサイズと立体感で確認でき、創造的な作業を阻害せずに修正変更が行える新しいデザインツールを目指している。さらに、操作がしやすく作業を阻害しない環境と正しくデザイン検討を行える環境を提供するという観点から、立体視における表示の精度についても重視しながらシステムを構築した。

### 3. 空間スケッチシステム

ここでは、空間スケッチシステムの機能面について述べる。図 2 に本システムを構成する装置の概要を示す。

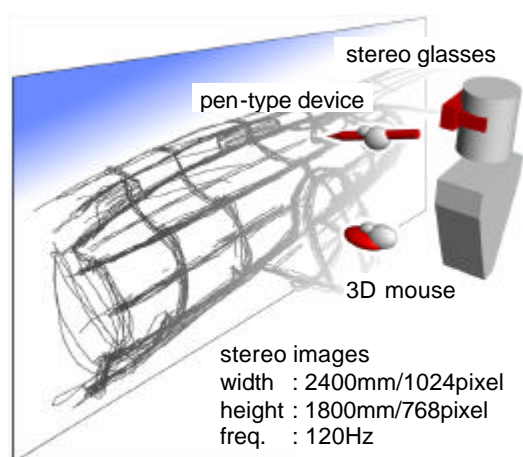


図 2 システム構成

3次元のオブジェクトを直接操作し、デザインを評価するのに不可欠な立体表示には、背面投影式大型スクリーンと液晶シャッター式メガネを組み合わせた方式を用いる[13]。任意の方向からのモデルの観察を可能とするために、頭部に取り付けた磁気式位置センサからの相対位置をもとにユーザの視点位置をリアルタイムで算出し、投影する立体視画像へ適切に反映させる。使用毎に変化するセンサと視点の相対位置は、システム起動時に毎回再計測し、計測する視点位置は瞳孔中心、瞼の上とした。また、ユーザ毎の瞳孔間距離は計測器を

使ってあらかじめ計測した。

スケッチや各種のモデリング操作は、利き手に持った6自由度のペン型入力デバイスと、空いた手に持つ補助操作指示用の6自由度の入力が可能なマウスで行う。ペン型デバイスにはボタンがひとつ取り付けられており、空間でのクリック操作、またはドラッグによりデザイン作業を進める。これらの基本操作を組み合わせることでより利用者は線や面を描画し、曲面を作成する。

本システムによるモデリング過程は、大きくラフスケッチステージと清書ステージの2段階に分けられる。ラフスケッチとはいわば2次元平面のスケッチを3次元空間に拡張したものであり、アナログ感覚で自由にスケッチして初期段階のアイディアを膨らませるためのツールとして位置付けられる。清書はさらに一段階進んだより堅実なデザインを作成するためのツールであり、ラフスケッチを参照しながらパラメトリック曲線や曲面を使い3次元モデルを作成してゆくことができる。これらのステージは明確に分離されているわけではなく、筆を持ち替えるようにジェスチャによって簡単に切り替えることができる。また、随時立体表示されている形状を様々な方向から観察して検討することができる。次に、各ステージについて詳しく述べる。

#### 3.1 ラフスケッチステージ

様々なアイディアを膨らませながらデザイン検討を行う段階であるラフスケッチは、さらにラインスケッチとサーフェイススケッチの2つの機能に分けられる。

ラインスケッチは空間に線を引くことができる機能であり、ドラッグの軌跡から3次元空間内に曲線が描画される。これにより大まかな形状をスケッチし、デザインの基礎となる形状を作成してゆく。この際、ドラッグ中のペン位置の計測値として得られる点列は、手の移動速度に対して計測機器の時間分解能が十分ではないためある程度離散的になる。そこでこの点列を B-spline 曲線により補間して滑らかな曲線を生成する。

サーフェイススケッチは線の代わりに向きや大きさを持った面を空間に描画する機能である。ラインスケッチと同様にドラッグによる軌跡に面が描画され、その向きは描画時のペンの向きに追従し、ペ

ンの移動速度により大きさが決定する。従来の紙を用いた2次元でのスケッチでは曲面を表現するためには面上線や陰影をつけるなどのテクニックを要したが、この機能によってより手早く直観的に立体感のあるデザインを行うことが可能となる。

通常のラフスケッチと同様に、これらの作業には描いては消す試行錯誤が要求されるため、消しゴムで消すように描いた線や面をペンでこすることで消去する機能も備える。さらに、ラフスケッチを使い簡単なデザイン検討が加えられるよう、描画される線の太さや面の基本形状(丸形や方形)とそれらの色を変更する機能や、複数のキャンバスを切り替えることで数種類の検討を同時に行えるレイヤー機能を持つ。これらの各機能は空間に浮かぶメニューパレットを用いて設定される。図3にこれらの機能を用いてデザインした例を示す。

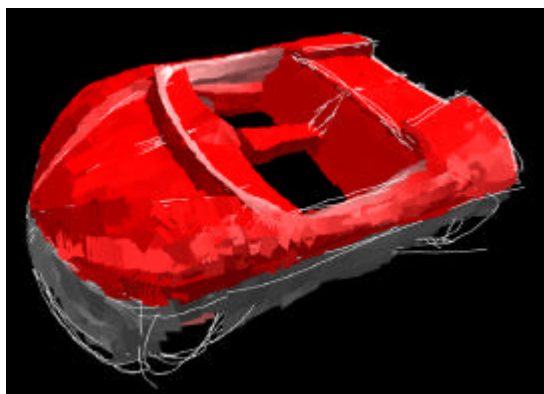


図3 ラフスケッチステージの作例

### 3.2 清書ステージ

ラフスケッチにより大まかな形状を作成した後、それを洗練しながら3次元モデルを作成する段階をここでは清書ステージと呼ぶ。清書ステージでは数値的な制御が容易なNURBS曲線または曲面を使用してモデルを作成してゆく。曲線は利用者が任意数の特徴量を設定することで生成される。具体的には、利用者は立体表示されているラフスケッチで描いたものを参照しながら、作成したい曲線の通過点をクリック操作により配置してゆく。最後の点でダブルクリックすることによりそれらの点を滑らかに通過する曲線が作成される。曲面は作成された曲線を組み合わせることにより生成される。面の作成方法は曲線の組み合わせ方により数種類

あり、任意のものをメニューパレットより選択する。例えば、挿引曲面を作成するのであれば、あらかじめ基準となる曲線を作成しておき、メニューパレットから挿引を選択してからそれをドラッグする。すると、その軌跡と選択しておいた基準曲線を特徴量とするような曲面が生成される。

清書ステージで作成された形状は、作成後でも自由に編集ができる。曲線や曲面といったオブジェクトをクリックすることで各種のハンドルが表示され、それらをドラッグすることにより形状が回転、拡大縮小する。さらに通過点や制御点といった特徴点をドラッグすることにより形状そのものが編集される。また、オブジェクトは直接ドラッグすることで移動することができ、ジェスチャを用いたコマンド操作によりコピーや削除が実行される。また、配色や質感の変更はラフスケッチでの補助操作と同様にパレットメニューから行う。

### 3.3 コマンド切り替え時のインターフェース

これまでに述べた各ステージや、鉛筆と消しゴムといった頻繁に行われるツールの切り替え、また移動とコピーのような似た性質のコマンドの変更については空間に浮かぶメニューパレットからではなく、ジェスチャやアクションによって行う。メニュー方式はコマンドが体系的に並べられているためわかりやすいという反面、熟練してくるとその手続きが煩わしくなるという面もある。ジェスチャを用いることの利点は、創造的な作業を中断することなく少ない動作で迅速に各種の切り替えが行える点にある。例えば、一般的な2次元のGUIを模した3次元のメニューパレットを使う場合では、まずメニューまでポインタを動かして希望するコマンドを目で確認しながら探し出し、次にそれを選択して作業に復帰するという手順を踏む必要がある。しかし、ジェスチャを用いればこれらを単純な1動作で行うことも可能である。

そこで本システムでは、各コマンドの使用頻度を考慮し一時的に使う機能や種類が多いコマンドについてはメニューパレットによる切り替え操作を行い、作業中に頻繁に切り替えることが多し操作には必要なステップ数が少ないジェスチャによる変更を割り当てる。また、常に使う機能については専用の装置を用意する。図4に切り替え操作の流れを



一覧で示し，具体的な事例を幾つか以下で説明する．

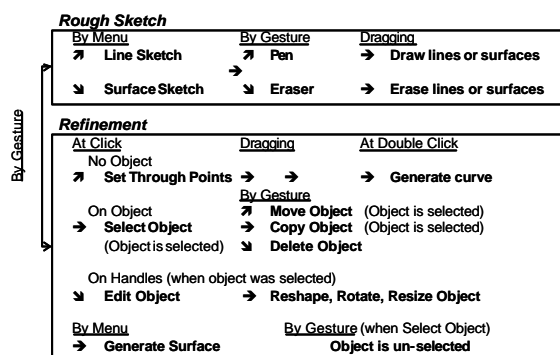


図4 コマンド切り替えの流れ

### ラフスケッチと清書の切り替え

利き手側の肩付近でクリックした際にステージが切り替わる．判定条件を厳しくしすぎると扱いづらいため，ここではペンが視点の前方10cmから後ろ側かつ利き手側の位置にあるときにクリックした場合とした．

### ペンと消しゴムの切り替え

ペンを持っていない方の肩付近でクリックすることでペンと消しゴムが切り替わる．判定基準は上と同様である．

### 清書における次動作の決定

清書時の曲線作成や物体選択といった各種のモードは，利用者のアクション(具体的にはクリック操作)によって自動的に切り替わる．何も無い場所でクリックした時は曲線作成モードになる．その後任意数の通過点をクリックして設定した後，最後の点をダブルクリックすることで曲線が生成される．オブジェクト上でクリックした時はそのオブジェクトが選択され，そのままドラッグすることで移動やコピーとなる．オブジェクトが選択されると同時にその制御点や通過点，回転や変形用の制御ハンドルなどが表示される．図形編集モードへはそれらをクリックすることで移行し，ドラッグすることで回転や変形などの図形編集が行える．なお，この際にペンを持っていない方の肩付近でクリックするというジェスチャによって選択中のオブジェクトを未選択にすることもできる．

### 移動，コピー，削除の判定

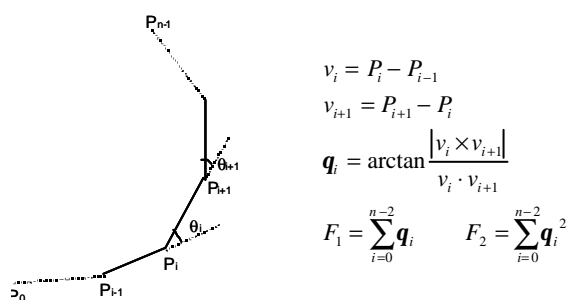
オブジェクトをドラッグした際，その軌跡を解析することで移動，コピー，削除の動作のうち利用者がどれを望んだのかを判別する．単純にドラッグをしたただけの場合，最も使用頻度が高い移動操作になる．ドラッグの始めにループを描けばオブジェクトのコピーを望んだと判定し，ボタンを離れた場所にオブジェクトがコピーされる．また，オブジェクトをつかみ振り払うかのようなジェスチャを行えばそれを削除したいのだと判定し，ドラッグ中のオブジェクトを消去する．これらの各操作の判別には文献[14,15]の各ストローク間の角度を利用する方法を3次元に応用したもので行っている．図5にここで用いたアルゴリズムを簡単に説明する．

### 3.4 各種補助機能

空間スケッチシステムには以上のほかに幾つかのデザイン作業を効率よく進めるために必要な補助機能が存在する．ここでは主なものについて紹介する．

### ワークスペースの調整

手元のマウスを操作することで，ワークスペースを回転，移動，拡大，縮小することができる．本研究の対象としている主な用途は自動車スタイルデザインといった大きな形状デザインであるためにこの機能は重要であり，ジェスチャでもなく専用のデバイスを使い直接操作することとした．これにより，アイディアスケッチ時には半分のスケールでラフスケッチを行い，その後実寸大に戻してデザインを検討するといったことが可能になる．また，視点を



At the stroke in 0.7 seconds from the beginning

```

if F2 > 6000°
  then DELETE
if F1 > 330° and 20° < average(θ) < 60°
  then COPY
else
  MOVE
  
```

図5 ジェスチャ認識手法の基礎

大きく動かすことなく細部を様々な角度から検討できるという利点もある。

### アンドゥ・リドゥ

スケッチ過程を全てメモリ上に記憶し、任意の回数だけ操作の取り消しや再実行を行える環境を提供することで試行錯誤を行いやすくする。また、ファイルに保存することで後日再開することや任意の箇所から派生する数パターンのデザイン検討をも可能にする。これも頻繁に使用する操作のため、ジェスチャやメニューではなくマウスのボタンにより実行する。

### 左右対称物体のスケッチ

自動車のスタイルは左右対称であることが多いため、片側に描いた図形を反対側にも描くことができる。そこで、左右同時にスケッチし消す機能や片側を編集すると自動的に対になる形状も編集される機能を与える。この機能はメニューを使い設定する。

### 構造物・ガイド線表示

エアコンユニットなどは各車で共通の部品を流用することが多く、あらかじめデザインに制約を与えることがわかっている。そこでそれらの構造物を表示しておく機能を付加することでデザイン上の問題点を探しやすくする。また、ガイド線を表示し、ガイド線上にオブジェクトを合わせることでより精密なデザイン作業を行いやすくする。

## 4. デザイン作業を可能とする仮想空間の設計

理論的には必要なパラメータをリアルタイムで誤差無く計測し立体視画像を作成できれば、ユーザに正確な立体感で仮想物体が提示されるはずである。しかしながら、現実的にはそこに多少の誤差が含まれるのはやむを得ず、その作成は不可能に近い。例えば今回使用した市販の瞳孔間距離計測器の精度は 0.5mm でありそれ以上の精度を得ることは難しい上、眼球内部にあると思われる画像を作成するのに適した視点位置を計測することは容易ではない。また、立体視で得られる立体知覚要因は明らかに実世界よりも少なく、正確に画像を作成したとしても人が正しく立体感を知覚するとは限らない[16- 18]。正しく立体感が提示できないことは実世界と仮想世界の座標系が一致していないこ

とを意味し、このようなデザイン環境を構築する上では重大な問題となる。また言い換えればこのような環境下ではペン先と仮想線が一致しておらず、ペンの軌跡と異なる場所に表示される仮想線を常に意識して描かなければならないという不必要な入力ルールをデザイナーに強要し直観性を損なうことになる。このような観点の基に我々はデザイン作業に必要な立体視の表示精度を確保するための手法について調査、研究し、その表示の補正方法を提案してきた。本システムでは図6に示す流れで実空間と仮想空間の位置合わせをし、それらを高い精度で実現している[19]。以下でその流れについて簡単に説明する。

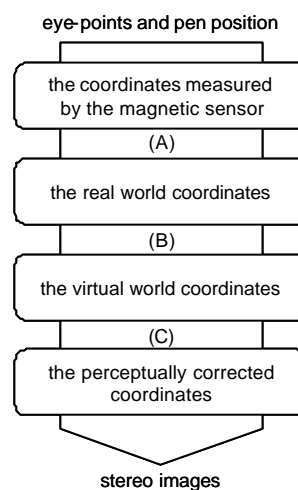


図6 補正の流れ

### 磁気式センサに存在する計測誤差の補正(A)

本システムでは位置計測に光学式と磁気式の位置センサ2つを、それぞれの長所と短所を考慮し組み合わせて使用した。光学式は高精度(今回使用したもので 0.51mm)であるが、リアルタイムでの計測が難しく、遮蔽物がある場合には計測不能となる。対して、磁気式は遮蔽物に影響されずに計測することが可能であるが、磁界の乱れに弱く、その精度に問題があることが知られている[20]。そこで位置と角度の計測がリアルタイムに必要な視点とペン位置の取得には磁気式を用い、光学式は磁気式の補正や実座標と仮想座標を一致させるための予備計測に使用する。すなわち、事前に光学式位置センサによる高精度の計測値との比較から補

正手順を確立しておき、これにより磁気式位置センサの計測値を補正する。ここで、視点とペン先ではセンサの存在する頻度の高い領域が異なるため、精度を高めるために視点用の補正手順とペン先用の補正手順を別に求め適時組み合わせて使用することとした。ここでは、磁気式の座標系を光学式の座標系に変換する行列を定義して用いている。実空間と仮想空間の対応付け(B)

本システムは自動車の内装デザインを主題にしているため、実空間と仮想空間の両座標系において、唯一座標値が定義されているのはシートの位置のみである。そこで、これを基準に両座標系を対応付ける。実際にはより扱いが容易なスクリーン面(シートからの相対位置として唯一に求まる)を基準とし、光学式位置センサにより計測されるスクリーン平面とその外積ベクトルから座標系を変換する行列を作成する。

#### 奥行き知覚誤差を補正する手法の適用(C)

ここまでの変換が誤差無く行われれば観察者は正しい立体感を得るのだろうが、実際には前述の理由などから奥行き感に誤差が生じている。そこで最後に文献[1]の手法を用いて奥行き知覚に生じているズレを補正し、正しい奥行き感を与える画像を生成する。この手法は立体視画像を作成する際の視点位置とスクリーン位置を修正することにより実現する。最適な修正量は予備実験より得られる奥行き知覚誤差のサンプルを使い決定される。システム利用時に行うその実験では、経験的に数十点、時間にして5分程度のサンプルの計測が必要になる。

これらの各補正過程を経ることにより、全体平均で25mm程度あった誤差が、最終的にペン先と知覚される描画位置とが5mm以内程度で一致する

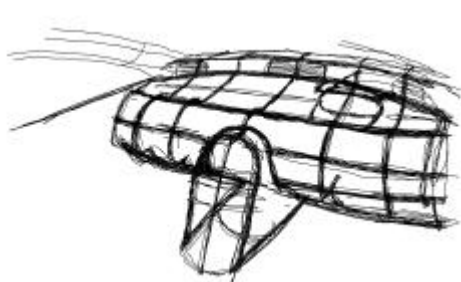
環境を構築することができた。

## 5. 考察

最後に、複数のデザイナーによる本システムの試行検証の結果を基に考察する。実験の参加者は自動車デザイナー8名であり、従来のモデリングCADシステムにある程度熟練した者が多い。図7に、あるデザイナーによる試行時の自動車内装のデザインを示し、それを例に考察を加える。例示したデータの作成に要した時間はラフスケッチに3時間程度、清書ステージで1時間程度であった。

図7aはラフスケッチステージで作成された初期段階のスケッチである。紙面上では従来の紙を使った2次元的なスケッチのように見えるが、実際には奥行きも持つ立体形状である。本システムによって従来のスケッチと同じ感覚でアイデアを形にするだけでなく、同時に立体形状のスケッチが作成できることが確認された。作業中、最も頻繁に行われた操作はサイズの拡大縮小や移動に代表される視点変更に関するものであり、続いて鉛筆と消しゴムツールの切り替え操作であった。専用のボタンやジェスチャに割り当てられたこれらの操作は、作業を中断することなく効果的に進められると好意的な意見が得られた。

このスケッチで興味深い部分は、平面ではなく3次元空間で作業しているにもかかわらずデザイナーは従来と同じように面上線を描いて立体感をつかもうとしている点である。このことに関して利用後に尋ねたところ、従来のスケッチでも面上線を見るだけで頭の中でおおよその立体感が把握できたとえに、このシステムでは線が立体形状として観察できるため特にサーフェイススケッチを用いるまでも無かったという回答があり、それに慣れているデザ



(a) 初期段階であるラフスケッチ



(b) 最終段階のデザイン

図7 デザイン例

イナーにとっては、サーフェイススケッチよりもラインスケッチの方が使いやすいという意見が得られた。逆に、そうでない者にとっては立体感が直接得られるサーフェイススケッチに可能性を感じるという意見も得られた。サーフェイススケッチはこれまでにない新しいモデリング手法であるために、既に描き方を熟知している線によるスケッチという手法をより好んだとも考えられる。

次に、図 7b にこれを基に清書をした例を示す。ここに挙げた最終段階の形状データは、本システムで清書した NURBS 曲線・曲面で構成される形状データを既存のモデリング CAD システムで読み込みさらに細部の数値的な調整を行ったものである。それを再度本システム上に読み込み立体表示し検討を行っている。今回提案した空間スケッチシステムの目標は従来のモデリング CAD システムでは表現しづらいコンセプトデザインのためのデジタルツールである。そのため、精密な面の数値制御や高機能なモデリング機能は有しない。コンセプトデザイン以降の数値的に整った形状の作成といった従来の高機能な CAD システムが既に実現しておりそれらに適した作業については、既存のモデリング CAD システムに委嘱する。しかしながら、データを変換する機能を付加することで一方の変更を他方に反映させることは容易である。今回挙げた最終デザイン例は全デザイン検討過程の初期段階に当たる物でありまだ細部まで作り込まれてはいない。実際に製品化する際にはさらに精度を追求する必要があるが、これは本研究の目的とすべき課題の次の問題だと考える。

この試行実験の結果、従来のアイデアをスケッチしてからモデリングし、3次元形状を作成するまでの期間と比較して格段に短縮できることを確認した。また、クレイモデルに頼った立体検討ではその作成にかなりの時間を要するため、データを直接立体表示して検討に用いることができ、即座に変更できる本システムはコスト面、スピード面で共に有効であると考えられる。

この実験に参加したデザイナー達からは、自分の想像するスタイルを直観的かつ短時間にデザインする事が可能な点、アイデアを出しながら細部のモデリングも行える点、従来の CAD システムより

も作業スペースを広く自由に使える点、デジタルデータとしてアイデアを再活用できる点などで新しいコンセプトデザインのためのデジタルツールとして可能性を感じるという高い評価を得ることができた。しかし、既存の CAD と比較してモデリングの機能や精度が低いことや立体視表示の精度を上げるための予備実験が若干煩わしく装置が大掛かりで個人利用が難しいという意見もあり、これらは今後の課題としたい。

また、従来のビジュアルシミュレーション系アプリケーションの試行、評価は、物珍しさも手強い初めは興味を持ち熱心に利用するがそれでも数十分で終了するのが通例だった。しかし本システムの場合、デザイナーが時間を忘れデザイン作業に没頭し始めるため、1名につき数時間が必要であったということも付記しておきたい。

さらに、本システムはデザインした自動車を仮想の街の中で走行させる機能も有する。従来のモックアップでは静止した状態のスタイルのみを評価することしかできないが、デジタルモックアップとすることで走行時の各種機器類の取り扱いの容易さや視認性、実際に街中をその車が走っている場合の印象についても検討することが可能である。また、仮想的に視点位置を調整することにより、平均的な女性と男性から見える視界の比較や、子供の視点で見た街の風景など、新しい観点での検討が加えられると期待できる。

## 6. おわりに

本研究では3次元空間に直接スケッチする感覚でのデザインが可能な空間スケッチシステムの実現手法について述べてきた。工業製品のデザイン、特に自動車スタイルデザインを念頭に置き、アイデアスケッチに必要な創造性を損なわないようなラフスケッチと清書を組み合わせたモデリング手法を提案し、その試作を行った。また、デザイン検討に必要な立体視時の表示精度を重視し、正しく仮想物体を提示できる環境を構築する手法について述べた。本システムを用いることにより、従来の CAD システムに比べて制約が少なく自由により直観的にデザイン作業を進められることが期待できる。

本研究はコンセプトデザインから実寸での最終



形状評価までの全デザインプロセスを視野に入れた新たな創造的デジタルツールの実現を目指すものである。今回実現したシステムはその第一段階であるコンセプトデザインを支援するためのツールであるが、今後は CAD 的な使用をも考慮に入れた新しい作業空間を持つ CAD システムとしての使い道を模索していく予定である。また、本システムのインタフェース部についてはまだ考慮の余地が残されている。例えば、今回のアルゴリズムでは認識精度が十分でなかったために、ジェスチャによる操作が意図通りに出来ない時があるという意見が得られた。今後はこの認識精度を高めるか、音声認識などによる別のインタフェースも視野に入れて検討を加えたい。さらに、インタフェースや立体感の再現性を含めたシステムの評価や、デザイナーではなく一般ユーザが使うモデリングシステムを想定して熟練者とそうでない者のモデリング過程の比較なども行ってみたいと考えている。

謝辞 本研究の試行実験に参加して頂いたトヨタ自動車デザイン部の皆様に感謝致します。また、研究を進めるにあたり日頃よりご援助頂いている中京大学福村晃夫教授に感謝致します。

#### 参考文献

- [1] 吉田俊介, 宮崎慎也, 星野俊仁, 大関徹, 長谷川純一, 安田孝美, 横井茂樹, “ステレオ視表示における高精度な奥行き距離補正の一手法”, 日本 VR 学会論文誌, Vol.5, No.3, pp.1019-1026, 2000.
- [2] Zeleznik, R., “SKETCH: An Interface for Sketching 3D Scenes”, SIGGRAPH'96 Proceedings, pp.163-170, 1996.
- [3] Igarashi, T., Matsuoka, S., Tanaka, H., “Teddy: A Sketching Interface for 3D Freeform Design”, SIGGRAPH'99 Proceedings, pp.409-416, 1999.
- [4] 松田浩一, 小森望, 近藤邦雄, 木村文彦, “3次元形状モデリングのためのフリーハンドによる直接入力法”, 情処学研報, 99-HI-83, pp.13-18, 1999.
- [5] Sachs, E., Roberts, A., Stoops, D., “3-Draw: A Tool for Designing 3D Shapes”, IEEE Computer Graphics & Applications, Vol.11, No.6, pp.18-26, 1991.
- [6] SensAble Technologies, Inc., “FreeForm”, <http://www.sensable.com/>
- [7] 亀山研一, “スタイリング CAD システム”, 信学技法, MVE97-28, pp.53-56, 1997.
- [8] Kiyokawa, K., Takemura, H., Katayama, Y., Iwasa, H., Yokoya, N., “VLEGO: A simple two-handed modeling environment based on toy blocks”, Proc. ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology 1996, pp.27-34, 1996.
- [9] Butterworth, J., Davidson, A., Hench, S., Olano, T., “3DM: A Three Dimensional Modeler Using a Head-Mounted Display”, Proceedings of ACM Symposium on Interactive 3D Graphics, pp.27-34, 1992.
- [10] 川村洋介, 田中和明, 鄭緯宇, 安部憲広, 何守杰, 滝寛和, “人工現実感を利用した意匠設計システム”, 信学技法, MVE97-74, pp.125-131, 1997.

- [11] 橋本直己, 中嶋正之, “CAVE における直観的操作手法と動的自由度制御を用いた 3 次元形状モデラ”, 日本 VR 学界論文誌, Vol.4, No.3, pp.487-494, 1999.
- [12] 西野浩明, 凍田和美, 宇津宮孝一, “両手ジェスチャで変形可能な 3 次元形状表現法”, 情処学論, Vo.40, No.2, pp.698-701, 1999.
- [13] Cruz-Neira, C., Sandin, D., Defanti, A., “Surround-Screen Projection-Based Virtual Reality: The Design and Implementation of the CAVE”, SIGGRAPH'93 Proceedings, pp.135-142, 1993.
- [14] Rubine, D., “Specifying Gestures by Example”, Computer Graphics, Vol.25, No.4, pp.329-337, 1991.
- [15] Lipscomb, J., “A Trainable Gesture Recognizer”, Pattern Recognition, Vol.24, No.9, pp.895-907, 1991.
- [16] Lampton, R., McDonald, D., Singer, M., “Distance estimation in virtual environments”, Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 39 th Annual Meeting 1995, pp.1268-1272, 1995.
- [17] Utsumi, A., Milgram, P., Takemura, H., Kishino, F., “Investigation of errors in perception of stereoscopically presented virtual object locations in real display space”, In proceedings of human factors and ergonomics society 38th annual meeting, pp.324-328, 1994.
- [18] Nagata, S., “The binocular fusion of human vision on stereoscopic displays - field of view and environment effects”, Ergonomics, Vol.39, No.11, pp.1273-1284, 1996.
- [19] 星野俊仁, 大関徹, 吉田俊介, 宮崎慎也, 安田孝美, 長谷川純一, 横井茂樹, “空間スケッチシステムの基礎研究”, 日本バーチャルリアリティ学会第 4 回大会論文集, pp.327-333, 1999.
- [20] Muller, S., “Experiences and Applications with a CAVE at Fraunhofer-IGD”, Forschung und Praxis T51, 1.International Immersive Projection Technology Workshop, pp.97-108, 1997.