

# Flat3D : クリエーションとコミュニケーションを可能にする 3次元共有仮想空間システム

飛田 博章<sup>†</sup> 暦本 純一<sup>†</sup>

Flat3D はクリエーションが可能な 3 次元共有仮想空間システムである。ユーザは 3 次元空間に 2 次元キャンバスを設定し、そのキャンバスに対して描画を行うことにより 2.5 次元的なシーンを構築する。キャンバスをベースとした 2.5 次元シーンは、既存の 3 次元シーンに比べシンプルであるが、操作はすべて 2 次元のスケッチの操作で行えるため、だれでも簡単に 3 次元空間内にオブジェクトを構築することができる。ユーザは 3 次元空間内の好きな場所に自由にオブジェクトを構築できるので、あらかじめ用意された 3 次元シーンをブラウジングするだけの既存のシステムとは異なる。また、共有仮想空間に参加する他のユーザと、キャンバスやシーンを共有することができるので、ユーザはクリエーションを通じてコミュニケーションやコラボレーションを行うことができる。クリエーションを介したコミュニケーションやコラボレーションでは、共同作業での面白さや、様々な表現が生まれると考えられる。本論文では、クリエーションが可能な 3 次元共有仮想空間システム Flat3D と、その応用について述べる。

## Flat3D: A Shared Virtual 3D World System for Creative Activities and Communication

HIROAKI TOBITA<sup>†</sup> and JUN REKIMOTO<sup>†</sup>

Flat3D is a shared 3D virtual world system enabling creative activities and communication over a network. Scenes in the Flat3D system are constructed by combining 2D canvases in a 3D scene, thus allowing users to apply 2D manipulations and 2D contents in a 3D world. In previous shared virtual world system, users sharing a virtual 3D world communicated with each other by text-based chatting through avatars, so the communication capabilities were quite limited. In contrast, the Flat3D system allows users to create and extend 3D scenes, so they can communicate or collaborate on creative activities. In this paper, we describe the Flat3D system and its capabilities as demonstrated by user experiments.

### 1. はじめに

近年、コンピュータのハードウェアとソフトウェアの両者の発展にともない、3D CG ( Computer Graphics ) を用いた 3 次元共有仮想空間システムが数多く存在し、ネットワークを介した次世代のコミュニケーション手法として注目されている<sup>1),3),4)</sup>。こうした 3 次元システムは、位置、サイズやイベントなどの実世界の情報を仮想世界に反映させることができるため、そうした情報を基に作られた仮想世界の中で、ユーザは現実に近いリアルな経験を行うことができる。また、こうした共有仮想空間内で、ユーザを表すアバタを通してコミュニケーションを行う場合には、仮想空間に

いるにもかかわらず、お互いを直接的に認識することができる。結果として、実際は遠くにいるにもかかわらず、ネットワークを介して、相手をより近い存在として感じることができるので、効果的なコミュニケーション手法として期待されている。しかし、3 次元共有仮想空間システムは、2 次元のシステムに比べ、コミュニケーション手法として一般的に使われるに至っていない。

こうした背景には 2 つの原因があると考えられる。1 つ目は、3DCG により構築された共有仮想空間でのインタラクションが、あらかじめ用意されたイベントを経験すること ( 3 次元シーン内をブラウジングすることや、アバタを介して対話することなど ) に限定されている点にある。こうした制約のために、3DCG を用いてリアルでリッチに構築されたシーンは、一見インパクトや目新しさはあるが、3 次元空間とのインタラクション手法や、使った際に受ける印象は 2 次元の

<sup>†</sup> ソニーコンピュータサイエンス研究所インタラクションラボラトリ  
Interaction Laboratory, Sony Computer Science Laboratories

システムと大差がないといえる。結果として、コミュニケーションを支援する2次元システムと3次元システムは機能的に大差がないために、チャットボードなどの2次元システムが一般的に使われている。また、3DCGを対象とする場合、3次元特有の難しさ(3次元幾何や複雑なパラメータの設定など)が増えるために、単に操作を増やすだけではなく、3DCGを扱うための簡単なインタラクション手法を考える必要がある。

2つ目は、サービスを提供する側にとっても、3次元をベースとしたコンテンツを更新する作業は、2次元のWebコンテンツを更新する作業に比べ、はるかに時間がかかる点にある。随時更新することは困難であり、更新されないコンテンツは、新しさに欠けるためにユーザに飽きられてしまうことになる。こうした原因により、3次元共有仮想空間システムが一般的に使われていないと考えられる。表示技術に加え、ネットワーク技術などの環境が向上したことにより、コミュニケーションを支援する3次元共有仮想空間システムが、より扱いやすくなることが望まれている。

我々の目的は、こうした原因を簡単なインタラクション手法で対処することにより、コミュニケーションを支援する新しい3次元共有仮想空間システムを提案することにある。そこで、新たなインタラクション手法としてクリエーションに着目し、簡単な操作をベースとして、クリエーションを可能にする3次元共有仮想空間システム、Flat3Dの実現を考えた。本論文で述べるクリエーションとは、仮想空間内でユーザが描画操作などによりオブジェクトを作ることや、オブジェクトを作る操作の繰返しによりシーンを作ることの意味する。また、2次元のスケッチの操作とは、実世界で紙に鉛筆を使ってスケッチするのと変わらない手間で操作できることを意味している。構築する3次元シーンは、2次元キャンバスを3次元空間に配置することで構築されるので、テキストやイメージをベースとした2次元シーンと、ポリゴンをベースとした3次元シーンとの間に位置する、2.5次元的なシーンである。また、ユーザのクリエーションは、共有仮想空間自体を更新することに直接つながっていくことに加え、ユーザ同士のコミュニケーションのためのきっかけになる点で、既存の3次元共有仮想空間システムとは異なる。

ユーザが3次元空間内の地面に対してストロークを引くと、そのストロークの3次元位置がシステムにより計算され、その3次元位置をベースラインとするキャンバスが自動的に現れる。次に、ユーザは、このキャンバスに対して、描画を行うことや、画像など

を貼り付けることで、3次元空間内にオブジェクトを作る。3次元空間に対する操作は、すべて2次元のスケッチの操作で行えるので、3次元幾何学や複雑なパラメータ設定などの3次元特有の難しさは生じず、簡単な操作でクリエーションが行える。また、キャンバスに対して、ペイントやテクスチャエフェクトなどの2次元のテクニック使うことができる。

共有仮想空間に参加するユーザとのコミュニケーションも、クリエーションを通して行う。共有仮想空間内で、ユーザはアバタとして表示されるので、その空間内でアバタを介して他のユーザを認識することができる。ユーザはシーンを共有することに加え、自分で設定したキャンバスを他のユーザと共有することができる。したがって、同一キャンバスに対して複数のユーザが同時に絵を描くことや、共有仮想空間内に家や森を作ることなどの目的を設定して、コラボレーションを行うこともできる。

さらに、我々はクリエーションを支援するためのナビゲーション手法も重要であると考えている。すべてのクリエーションやコミュニケーションは、キャンバスをベースとして行われるので、キャンバスに注目したナビゲーション手法が必要となる。そこで、極座標を用いたナビゲーション手法により、注目するキャンバスに対して、回転移動をスムーズに行う手法を提案する。

本論文では、クリエーションを通じて、ユーザ同士がコミュニケーションやコラボレーションを行うことが可能な3次元共有仮想空間システム Flat3D について述べる。

## 2. 関連研究

コミュニケーションを支援するための様々な共有仮想空間システムが存在している。PAW<sup>1)</sup>は、ネットワークを介してコミュニケーションを支援するための3次元共有仮想空間システムである。PAWの提供する3次元空間には、多くのイベントがあらかじめ用意されているので、こうしたイベントを共有することで、ユーザはお互いの持つ情報を交換することができる。また、ユーザはアバタとして表現され、アバタを介してテキストベースのチャットを行うことも可能である。しかし、3次元空間に対するユーザの操作は、あらかじめ用意されたシーンやイベントを経験することに限定されている。CAVE<sup>4)</sup>は等身大サイズのディスプレイに映像を投影し、仮想現実感を体験するシステムである。複数のユーザが、投影された映像を共有することが可能である。さらに、CAVE どうしをネットワー

クでつなぐことで、遠隔地にいるユーザと同じ 3 次元空間を共有することもできる。構築される 3 次元シーンはリッチでリアルであるが、インタラクション手法は非常に限定されている。また、システムが大変高価であり、だれでも簡単に利用できるとはいえない。

一方で、2 次元コミュニケーションシステムでは、Web をベースとしたテキストベースのチャットシステムが一般的である。単に文字だけでなく、漫画のキャラクターを使った ComicChat<sup>7)</sup> や、実写の情報を使った ChatScape<sup>6)</sup> もコミュニケーションを支援するための 2 次元システムとして有効な手法であり、ちょっとした議論の場としても利用することができる。しかし、2 次元をベースとした場合、情報量が増えるにつれて、大量の情報を効果的に表示するためのレイアウトが必要となる。3 次元の空間的な広がりを利用することができる 3 次元システムに比べ、効果的な 2 次元レイアウトを考えることは困難である。

2 次元をベースに 3 次元シーンを構築するシステムも数多く存在している。Tour<sup>8)</sup> では、ユーザは画像に対してマスク処理などを行うことで、2 次元のデジタルカメラ画像や絵画画像から 3 次元シーンを作り出すことができる。画像内の注目オブジェクトを、舞台セットの書割りのように 3 次元空間に配置することで、2.5 次元的なシーンの構築を行う。こうしてできたシーンをブラウジングすることにより、ユーザは絵画の世界に入り込むような感覚を得ることができる。Flat3D の 3 次元シーンは、このシステムの 3 次元シーンに影響を受けているが、ユーザが 3 次元空間内の好きな場所に自由にキャンパスを設定し、オブジェクトやシーンを作れる点で異なる。同様に、擬似 3 次元空間を構築するシステムも存在する。IBNR<sup>19)</sup> では、写真画像の中の「床」に相当する領域を指定し、ユーザを表すアバタの方向や大きさを切り替えることで、擬似的に奥行きを表現している。STAMP<sup>20)</sup> は、部分的な同一性を用いて歪めた写真郡を重ね合わせて構築したシーンに対して、透明度を連続的に変化させることで擬似的な空間移動を可能にするシステムである。これらのシステムも、基本的には 3 次元シーンのブラウジングを目的としている。Bell<sup>9)</sup> では、2 次元の動画を 3 次元空間に配置することで、より親しみやすい 3 次元シーンの構築手法を提案している。

簡単な操作により、初心者や子供向けのクリエイションを支援するシステムも数多く存在する。KidPad<sup>2)</sup> は 2 次元のお絵描きを対象とし、KidKlump<sup>3)</sup> は 3 次元のモデリングを対象としたシステムである。これらは、複数のユーザ、特に子供同士での共同作業を支援

するシステムで、共同作業の面白さや有効性を教える教育の場で効果的に使うことができる。また、3 次元クリエイションを対象とした、スケッチインタフェースも新しいインタラクション手法として注目を集めている。これらのシステムは、2 次元のスケッチの操作で 3 次元クリエイションを行うシステムである。Sketch<sup>10)</sup> のユーザは 2 次元の操作で 3 次元空間に 3 次元の曲線を描くことができる。また、Harold<sup>11)</sup> や Tolba<sup>12)</sup> では、ユーザは 3 次元シーンを 2 次元のスケッチの操作で描画することができる。Teddy<sup>13)</sup> は、ポリュームを自動計算する手法により、2 次元の操作で 3 次元のモデリングを行えるシステムである。こうしたシステムは簡単に扱うことができるが、シングルユーザに限定されていることに加え、ノンフォトリアリスティックなシーンやモデルの構築を対象としている。

### 3. Flat3D システム概要

Flat3D システムのインタフェースは、3 次元共有仮想空間を表示する部分と、その空間に対するインタラクションをサポートするための GUI 領域の 2 つの領域を持っている(図 1)。共有仮想空間領域では、ユーザはクリエイション、3 次元空間内の移動、および、他のユーザとのコミュニケーションを行うことができる。ユーザは通常の視点と上空からの視点の異なる 2 つの視点を持ち(図 2)、上空からの視点からは、地面に対しての川や道などの描画を行うことができる。また、マウス操作での GUI の選択により、ペン属性や色の選択などクリエイションに関する様々な操作が可能である。

システムは操作の点から、クリエイション、コミュ



図 1 Flat3D システム：システムの画面は共有仮想空間に対して描画を行う部分と GUI 部分に大別される

Fig.1 Flat3D System overview: The system is divided into two parts: a shared 3D virtual world and GUI.

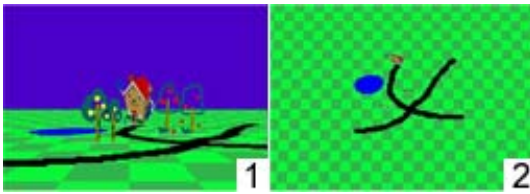


図 2 Flat3D における視点: Flat3D のユーザは通常の視点(1)と上空からの視点(2)の2つの視点を使うことができる  
Fig. 2 Users's viewpoints: normal (1) and top view (2).

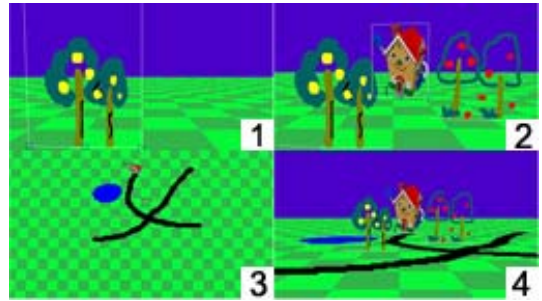


図 4 シーンの構築例  
Fig. 4 A simple scene creation.

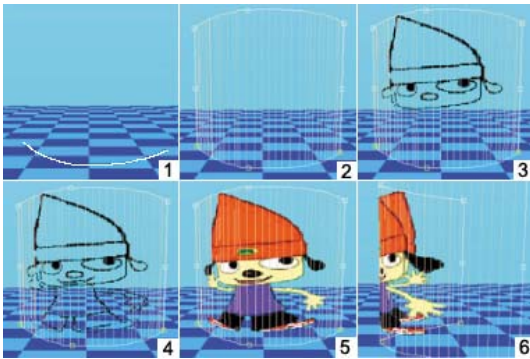


図 3 キャンバス設定と描画

Fig. 3 Setting a canvas and drawing a picture on it.

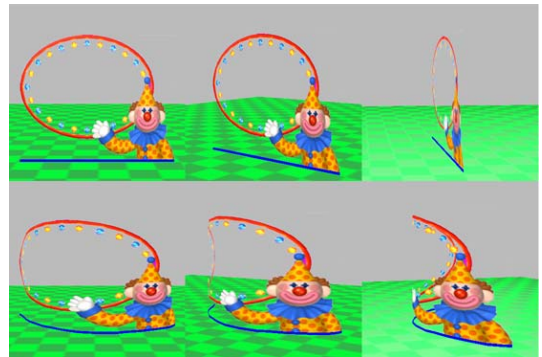


図 5 直線(上)と曲線(下)入力によるオブジェクト

Fig. 5 Creating different types of objects.

ニケーションとナビゲーションの3つの部分に分類される。クリエイション部分では、3次元空間内にオブジェクトの構築を可能にしている。コミュニケーション部分では、他のユーザとのコミュニケーションやコラボレーションをサポートしている。また、ナビゲーション部分では、通常のナビゲーション手法に加え、クリエイションを効果的に行うための、極座標を用いたナビゲーション手法を提供している。

### 3.1 クリエーション

Flat3D システムは、初期状態では地面だけが存在する3次元シーンである。オブジェクトを作るために、ユーザは最初に地面にストロークを描画する。ユーザが描画したストロークのスクリーン座標は、システムにより3次元のワールド座標系に自動的に変換され、地面に3次元情報を持つキャンバスが現れる(図3(1),(2))。この変換において、2次元ストロークと3次元位置は見かけ上まったくずれが生じないように変換されるため、ユーザの操作は2次元のスケッチの操作で行える。次に、キャンバスへの描画や、画像データなどの貼り付けにより、オブジェクトの構築を行っていく(図3(3)~(6))。図4は、簡単なシーン構築の流れを示したものである。ユーザはキャンバス設定と、そのキャンバスに対する描画を繰り返すことでシーンにオブジェクトを加えていく(図4(1),(2))。上空か

らの視点から、道や池を描画する(図4(3))。こうした操作により、2.5次元的なシーンが構築されていく(図4(4))。

オブジェクトの形は、キャンバスの設定の仕方に依存している。たとえば、直線の入力により設定されたキャンバスにより、単純な矩形のオブジェクトが生成される(図5(上))、曲線の入力により奥行きを持つオブジェクトが生成される(図5(下))。

こうしたキャンバス設定と描画によるオブジェクトやシーンの構築に加え、あらかじめ用意された画像やシーンデータの利用や、スケッチの操作で簡単なアニメーションを反映させる手法も提供されている。

#### 3.1.1 画像やシーンデータの利用

キャンバスに対して、画像などの2次元コンテンツを使うことで、描画操作なしでシーンの構築も可能である。また、あらかじめ用意されているシーンデータを読み込むことで、読み込んだシーンを利用して新たなシーンの構築を行える。2次元コンテンツはキャンバスに対して適用され、シーンデータは3次元空間に対して適用される(図6)。

キャンバスやシーンに貼り付ける対象には、特殊効果(テキストチャ効果、シェーダ効果やフォグなど)も



図 6 画像(上)とシーンデータ(下)  
Fig. 6 Example of image and scene data.



図 7 エフェクトの使用例  
Fig. 7 Example of using a reflection effect.

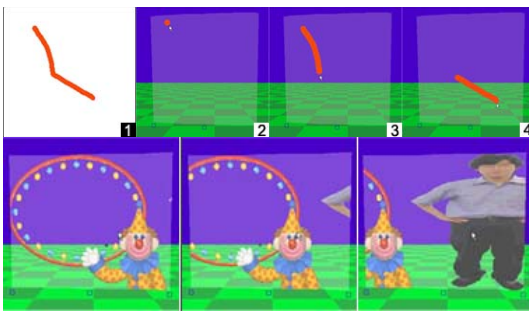


図 8 セルアニメーション  
Fig. 8 Cell animation.

含まれている。画像がマッピングされたキャンバスに対して、エフェクトを GUI 部分から選択し、貼り付けることで効果が反映される(図 7)。こうしたエフェクトは、カメラや光源との位置関係によりキャンバスに変化を与えるもので、組み合わせ方により様々な表現が可能である。

### 3.2 アニメーション

本システムは、キャラクターアニメーションのような、リアルなアニメーションを提供していないが、キャンバスに対してセルアニメーションを適用する機能を持っている。

複数の画像を同一キャンバス上で、一定間隔の時間で切り替えることでセルアニメーションを実現している。単に張り替えることで、ストロークの描き方で変化するアニメーションが実現でき(図 8(上))、横にスライドさせることでスクロールアニメーションの実現も可能である(図 8(下))。一定時間でループするアニメーションを止めて、各画像に対して詳細を描画することも可能である。

また、キャンバスを 3 次元のオブジェクトとして扱

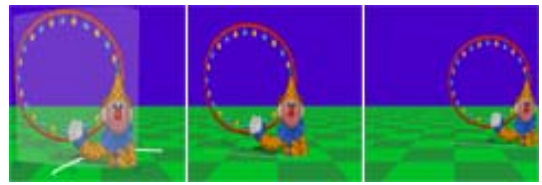


図 9 パスアニメーション  
Fig. 9 Path animation.

うことで、地面にストロークを加えることにより、パスアニメーションを実現できる(図 9)。ユーザがキャンバスを選択し、地面にパスを描画すると、そのキャンバスは自動的にパス上で移動をはじめ。同様の操作で、キャンバスを選択しパスを追加することで、キャンバスのベースラインと加えたパスの間で補間が行われ、波のようなアニメーションが実現される。これらのアニメーションも、基本的に 2 次元のスケッチの操作で行える。セルアニメーションとパスアニメーションの組合せにより、セルアニメーションをするキャンバスを、パス上で動かすことも可能である。また、セル間の差分に応じて、自動的に音を割り当てることで、簡単なサウンドエフェクトを付けることもできる。

構築されるシーンは、2.5 次元シーンに限定されるが、キャンバスを設定してしまえば、キャンバスに対して 2 次元のテクニックを使うことができる。ペイントのテクニックやテクスチャエフェクトを使えることに加え、デジタルカメラ画像など、ユーザが簡単に用意することができる素材も、手軽にシーンの要素として利用できる。また、クリエーションは 3 次元空間を対象に行っているため、ユーザは 3 次元の空間的な広がりや自由を使うことが可能であり、好きな場所に移動し自由にオブジェクトを構築することができる。

## 4. コミュニケーション

ユーザは共有空間にログインすると、ユーザを表すアバタが現れる。ユーザはキャンバスをベースに、アバタを介して他のユーザとコミュニケーションを行う。アバタはユーザの視点とマウス操作に依存して動く(図 10)。したがって、ユーザは、他のユーザがどのキャンバスに対して、どのように描画を行っているかなどの情報を、アバタの動きからある程度知ることができる。加えて、アバタもキャンバスデータとして存在しているので、アバタに対して画像を貼ることで、アバタのキャラクタを自由に変更でき、他人のアバタに落書きすることもできる。

ユーザは他のユーザと同一のキャンバスを共有することにより、クリエーションを介してコラボレーショ

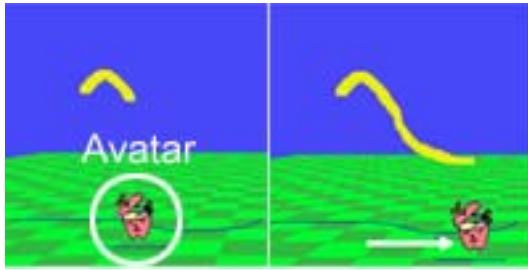


図 10 マウスの動きとアバタの関係

Fig. 10 Relationship between mouse motion and an avatar.

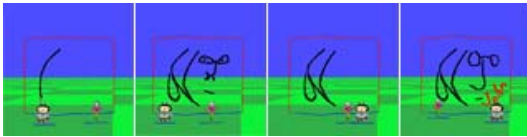


図 11 簡単なコラボレーション

Fig. 11 Simple collaboration through creations.

ンを行う．たとえば，あるユーザがキャンパスを設定し顔の輪郭を描画し，他のユーザが目や鼻を描画するといった具合に，作業の分担が可能である（図 11）．また，他人の描画を消すこともできるので，何度も書き直すことで，イメージに近い結果を得ることや完成度を高めることができる．

単に，同一のキャンパスを共有することに加え，コラボレーション作業でシーンを構築することも可能である．たとえば，ユーザが共同で家を建てる場合，あるユーザが壁や床をデザインし，他のユーザが家具をデザインすることで共同作業が行える．同様の操作により，森や町を作ることも考えられる．また，ポリゴンベースの 3 次元シーンに比べ，シーンデータがシンプルであり，ネットワークを介したコミュニケーションでは，データ転送などの面からも利点が多く，シーンデータをメールで送る新しいコミュニケーションも考えられる．

#### 4.1 ネットワークモデル

Flat3D の共有仮想空間は，単純なクライアント-サーバによるネットワークモデルで実装されている．共有仮想空間を実現する効果的なネットワークモデルも存在するが<sup>5)</sup>，シンプルなデータで構築される Flat3D シーンは，クライアントから送られる情報がマウスの位置情報とイベント情報（絵の描画，キャンパスの設定，画像 ID のみ）を基にシーンが構築されているため，簡単なネットワークモデルで共有仮想空間を実現できる．たとえば，ユーザがキャンパスに絵を描いた場合，マウス位置とキャンパス ID が，クライアン



図 12 壁型ディスプレイを介したコラボレーション

Fig. 12 The Flat3D system with wall-type displays.

トからサーバに送られる．サーバ側では，送られてきたデータを基にオブジェクトの構築や更新が行われる．その後，各クライアントに対してオブジェクトデータがサーバから送られることで，ユーザの操作が共有仮想空間に反映される．画像データを貼り付けた場合には，画像データそのものがサーバに送られる．クライアントの操作はすべてサーバに保存されているので，ユーザは以前のクリエーション情報を Time-Machine Computing<sup>16)</sup> により，Undo の操作なしで，スムーズに獲得することができる．

システムの簡易性から，AR (Augmented Reality) や VR (Virtual Reality) システム<sup>4),14),15),17)</sup> とのコンビネーションも効果的である．単に PC 上でクリエーション作業を行うよりも，よりスムーズで自然な 3 次元空間とのインタラクションが可能になる．図 12 は，壁型のディスプレイとペンデバイスを用いて，2 人のユーザが同じ 3 次元空間を共有している例である．それぞれユーザは，オフラインで会話をしながら，コラボレーションによりシーンの構築を行っている．本システムの手法により，単にブラウジングするだけだった VR システムに，クリエーションの要素を加えることができる．さらに，HMD (Head Mounted Display) を使った拡張現実感システムのように，明確なスクリーンがない場合でも，仮想的な地面の位置さえ指定できればキャンパスの設定が行え，キャンパスを設定できれば 2 次元のスケッチの操作でクリエーションが可能となる．加えて，VR システムと Internet との連携などにより，ユーザ同士が様々な形で 3 次元空間を共有することにより，クリエーションだけでなく，教育や議論の場としての共有仮想空間が実現される．

#### 4.2 実世界情報

共有仮想空間をより親しみやすいものにするために，



図 13 実世界情報の利用

Fig. 13 Real-world information obtained with a video camera.



図 15 カメラとマイクの利用例

Fig. 15 An example of setting camera and microphone.



図 14 カメラを使ったコミュニケーション

Fig. 14 Communication through video cameras.

実世界情報とのリンクが必要である。本システムでは、ユーザが設定したキャンパスに、外部カメラで撮影したビデオ画像をリアルタイムで貼り付けることにより、仮想世界に実世界の情報や変化を反映させることができる。

#### 4.2.1 シーン構築での利用

図 13 はビデオ画像を直接キャンパスに貼り、シーンを構成する要素とすることにより、実世界情報をシーン構築に使った例である。実世界の変化をとらえるカメラからの情報により、仮想空間にいながら実世界の変化を知ることができる。また、カメラのフレーム差分などの簡単な画像処理から、人物などのキャラクタを取り出すことも可能である。

#### 4.2.2 コミュニケーションでの利用

ユーザはカメラ画像を、コミュニケーションの手段としても利用できる。既存のシステムでも、アバタにユーザの顔画像を貼ることで、臨場感のあるコミュニケーションを支援しようとする試みがなされている。それに対し、本システムでは、キャンパスに対して相手の画像を貼ることで、コミュニケーションの支援を行う。ユーザは、他のユーザのアバタをクリックしキャンパスにドラッグすることで、アバタが表示するユーザの顔画像をキャンパスに表示させることができる(図 14)。

ユーザが図 15 に示すような、カメラとマイクのセットを PC 上に備えている場合には、カメラ画像を見ながらオンラインによる音声コミュニケーションが可能である。加えて、マウスカーソルがキャンパス上に現れるので、それぞれの操作をお互いに認識することができ、カメラ画像にジェスチャを交えて直接的な

指示や提案をしながら、ClearBoard<sup>18)</sup> のようなコラボレーションを行うことができる。

## 5. ナビゲーション

Flat3D のシーンは、キャンパスをベースとして構成されているため、キャンパスの前への移動や背後への移動など、キャンパスに対する効果的な移動手法が必要となる。たとえば、家を構築する場合、壁を作った後で室内に家具を作る場合には、壁の背後に移動する必要があり、その後で、庭に木を設定したい場合は、再び、壁の裏側に移動しなければならない。どちらの場合においても、つねに基準となる壁を視野にとらえて、スムーズな回転移動を行う必要がある。

既存のナビゲーション手法でも、ユーザの視点に対して仮想空間内を前後左右に移動する手法 (Driving) や、注目オブジェクトに対し直線的に移動する手法 (Flying) などが考えられているが、仮想空間内の注目点に対して回転を含む移動をスムーズに行うことは困難である。また、既存のナビゲーション手法で後方への移動を行う場合には、視界に目的のオブジェクトが表示されないまま移動しなければならず、意図した位置に移動することは困難である。そこで、本システムでは、キャンパスを中心に回転移動を支援する極座標ナビゲーションを提案する。

### 5.1 極座標ナビゲーション

極座標ナビゲーションは、回転と移動の両方を効果的に支援するナビゲーション手法である。マウスのスクリーン座標での X 軸と Y 軸の値を、極座標の角度と距離の値に変換することにより実現している(図 16)。このナビゲーションでは、ユーザが地面に対しクリックした位置を基準点(原点)とし、そこからのドラッグ操作により Y 軸上であれば前後の視点の移動を行い(図 16(2))、X 軸上であれば左右の回転を行う(図 16(3))。極座標ナビゲーションは、マウスのクリックとドラッグの操作で行えるので、特別な GUI を追加することなく実装することが可能である。また、X 軸と Y 軸のドラッグ操作の組合せにより、回転しながら注目点に近づくような移動も可能で

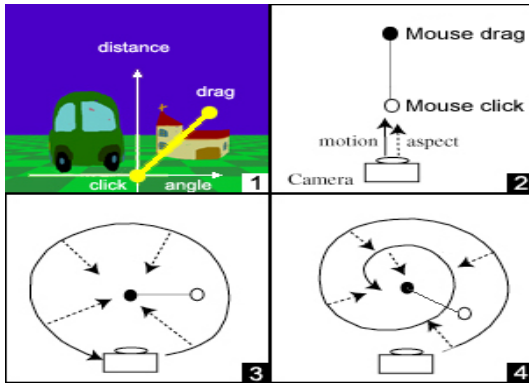


図 16 極座標ナビゲーション

Fig. 16 Navigation with polar coordinates.

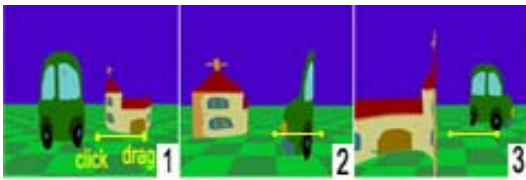


図 17 極座標ナビゲーション実行例

Fig. 17 An example of the navigation.

ある(図 16(4))。

クリック点はユーザの注目を表し、その点を基準に移動を行うため、つねに注目オブジェクトを視野にとらえながらの移動が可能である(図 17)。また、ユーザはオブジェクトの周りをスムーズに回転できるので、視界をオブジェクトに覆われている場合でも、地面さえクリックできれば、回転操作によりそのオブジェクトの反対側への移動が簡単に行える。さらに、既存の手法では困難であった視野の後方への移動も、1度回転を行うことにより、前方への移動と同じ操作で行うことができ、視野にオブジェクトをとらえながら移動することが可能である。この場合、目的の場所に到達したら再度回転することにより、もとの視点の位置に戻る。

## 5.2 応用

極座標ナビゲーションの手法を利用することで、Flying と回転移動を組み合わせた移動が可能である(図 18)。Flying ナビゲーションはオブジェクトに対する直線移動のみをサポートするが、極座標ナビゲーションにより、直線移動と回転移動の両方を使い、オブジェクトの正面への移動が可能である。

注目オブジェクトをダブルクリックすることで、ユーザの視点が目オブジェクトに対して自動的に移動を行う。まず、オブジェクトに対して直線移動が行われ、

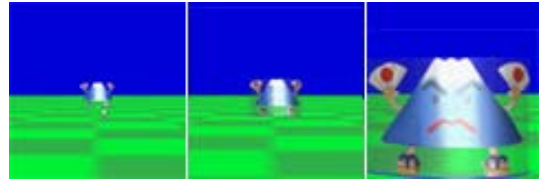


図 18 極座標ナビゲーションの応用

Fig. 18 Other example of the navigation.

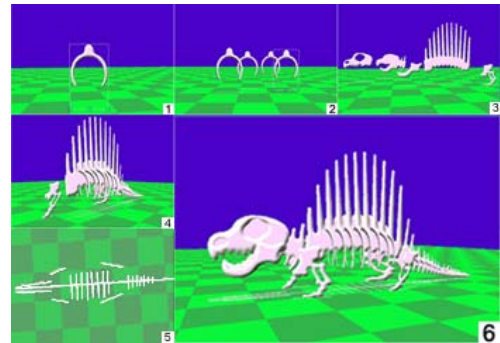


図 19 恐竜の化石モデル

Fig. 19 Dinosaur model constructed by 2D canvas.

視点をオブジェクトの前に移動させ、次に、視点は自動的にオブジェクトの正面に向かって回転移動を行う。結果として、視点は、オブジェクトの前で正面を向く位置に移動することになる。同様の操作でアバタの前に移動できるので、コミュニケーションにおいても有効であると考えられる。

## 6. クリエーション例

シングルユーザによるシーンの構築例を示す。これらのシーンはすべて、キャンバスの設定と、そのキャンバスに対する描画や画像データの貼り付けによって構築されたものである。図 19 は、キャンバスの組合せにより恐竜の化石のモデルを作ったものである。部品は 1 つ作ってしまえば、コピーとペーストの操作で複製することができるので、同じ部品の組合せで構成されるモデルは比較的簡単に構築できる。

図 20 は、家のレイアウトを行ったものである。上空から大まかなレイアウトを行った後で、詳細の描画を行っている。図 21 は、デジタルカメラの画像からキャラクタを取り出し、3次元空間に配置した例である。特に、人物などは不要の部分を消しゴムで消す操作により、シーンの構成要素に取り込むことができる。

## 7. 議論

Flat3D システムは、これまで研究所や学会などの公開デモンストレーションで試用された。操作の簡単





図 20 家のレイアウト  
Fig. 20 House layout.

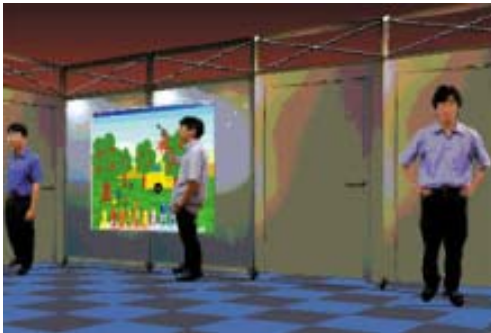


図 21 画像を使ったシーン  
Fig. 21 Image-based scene.

さに関する評価は行われていないが、デモ中に得られた知見や試用者からのコメントに基づいて議論する。

### 7.1 クリエーション

キャンパス設定と描画によるクリエイション手法は、多くの利用者に好意的に受け止められた。また、多くのユーザが、簡単な説明を受けた後に、特に 3 次元空間を意識することなく、自由にオブジェクトやシーンの構築を行っていた。複数のユーザがシーンを共有し描画を行った例を示す(図 22)。

オブジェクトやシーンの構築において、何らかの描画のイメージが最初からある場合には、スムーズにクリエイションを行い、そうでない場合には、周りを移動することや見回すことで、描画のアイデアやきっかけを探す傾向が見られた。さらに、描画結果だけではなく、描画手法(描き方、色使いや配置など)を観察することで、他のユーザから描画手法を学ぶユーザや、他のユーザから効果的な描画手法を教えてもらうユー

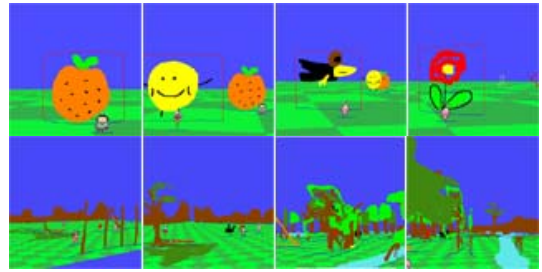


図 22 自由描画(上)と森の構築(下)  
Fig. 22 Drawing freely (top) and creating a wood (bottom).

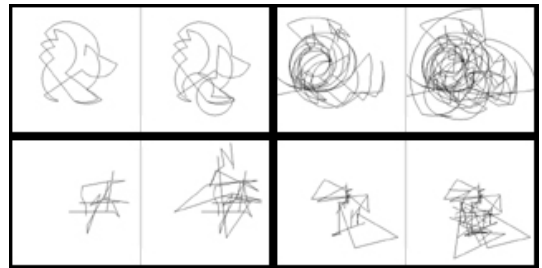


図 23 ナビゲーションの軌跡  
Fig. 23 Navigation results.

ザも観察された。図 22(下)のコラボレーションでは、同一のキャンパスでの共同作業が頻繁に現れ、実際に共同で木や草を描いていた。

一方で、シーンが簡単すぎるといった指摘も受けた。2.5 次元シーンは手軽に構築できるが、シーンが全体として簡単すぎてしまう点に問題がある。したがって、ボリュームや質感などを簡単な操作で反映させる手法が必要であると考えられる。

### 7.2 ナビゲーション

極座標を利用した回転をスムーズに行うナビゲーション手法も、多くの利用者に理解された。図 23 は、共有仮想空間内でのユーザの移動の軌跡を表したものである。これらの結果にはいくつかの傾向があり、特に、円弧のようなものと直線的なものが顕著に表れている点に特徴がある。円弧は極座標ナビゲーションを使って、注目オブジェクトの周りを回転していることを表している。単に、自分のクリエイションに使うだけではなく、他のユーザの作業を観察する際にも頻繁に使われていた。ユーザが極座標ナビゲーションの直線移動を使った場合、長い直線の軌跡が現れる。Flat3D では、GUI 操作による Driving ナビゲーションもサポートしていたが、円弧や長い直線の軌跡が見られる点から、極座標ナビゲーションがクリエイションにおいて効果的に使われたといえる。

加えて、Flat3D では視点と離れた場所でも、キャ



図 24 シーンをメールとして送る

Fig. 24 Sending scene data as E-mail message.

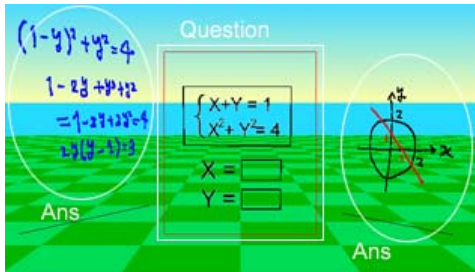


図 25 議論や教育での Flat3D シーン

Fig. 25 Example of using the Flat3D system for discussion and education.

ンバスを設定しオブジェクトを構築できるので、移動をしなくてもクリエイションが可能である。したがって、3次元空間内をほとんど移動しないで、オブジェクトを構築しているユーザも観察された。

### 7.3 アプリケーション

シーンは画像データと位置情報だけで構成されるので、シーンをメールとして送ることも可能である。単に、文字と画像の組合せではなく、空間的な広がりを利用することで、図 24 のような立体的なバースカードや日記などもメールとして送ることができる。システムは単に、クリエイションが可能な共有仮想空間としてではなく、議論をする場として使うことも可能である。たとえば、図 25 のように、ある問題を共有空間内に与えた場合、異なる解法によってグループが構成されることが予想される。このような環境下では、キャンバスをホワイトボードのように使いながら、それぞれのグループで問題に対する議論が行われ、それぞれの解法を見つけることも可能である。さらに、カメラとマイクを使うことで、現在行われているネットワークを介した英会話の授業なども、Flat3D の共有仮想空間内で展開することが可能となる。この場合、人気のある授業にはたくさんのアバタが集まるので、遠くからでも授業の様子などを知ることができる。

一方で、既存の 2 次元のシステムを 2.5 次元に拡張することも可能である。テキストをマッピングする感覚で、2 次元のゲーム（パズルやシューティングゲームなど）をキャンバスに貼り付けることも可能で

ある。キャンバスを設定し、ゲーム自体を貼り付けることで、同一キャンバスでコラボレーションを行うように、対戦型のゲームを設定することも考えられる。

また、等身大のディスプレイでのデモンストレーションを行う中で、Flat3D の 2.5 次元シーンをプレゼンテーションで使いたいといったコメントが多く聞かれた。3次元空間上に資料を配置し、プレゼンテーションを行うことは可能である。加えて、シーンは 3 次元空間内に構築されているため、3DCG のモデルを配置することにより、実際の形や大きさを使って説明することができる。加えて、極座標ナビゲーションにより、3次元シーンをブラウジングする感覚でプレゼンテーションを行えると考えられる。同様に、Web のコンテンツ自体も現在の素材をそのまま利用するだけで、本システムの 2.5 次元シーンに展開することが可能である。

## 8. ま と め

本論文では、クリエイションを介してコミュニケーションが可能な 3 次元共有仮想空間システム、Flat3D について述べた。2 次元のスケッチの操作をベースとし、3次元空間に 2.5 次元シーンを作るクリエイション、クリエイションを介したコミュニケーションやコラボレーション、および、クリエイションを支援する極座標を利用したナビゲーション手法について述べた。

今後、簡単な手法でリアルな描画やリッチなシーンの構築ができる手法を探っていくことを考えている。また、2 次元の操作にとらわれず、様々な角度から、より自然で簡単なインタラクション手法を、システムに加えていくことが必要であると考えられる。

謝辞 本研究の実施にあたり、有益な助言をいただいた唐沢英了氏をはじめとするソニー CSL インタラクションラボの연구원諸氏、システム実装に協力していただいた磯大輔氏、および、Flat3D の製品化に携わっていただいたポップアップスケッチプロジェクトのメンバに感謝する。

## 参 考 文 献

- 1) Matsuda, K., Honda, Y. and Lea, R.: Virtual Society: Multi-user Interactive Shared Space on WWW, *Proc. ICAT '96*, Tokyo, Japan, pp.83-95 (1996).
- 2) Druin, A., Stewart, J., Proft, D., Bederson, B. and Hollan, J.: KidPad: A Design Collaboration Between Children, Technologists and Educators, *Proc. CHI 1997*, pp.463-470 (1997).
- 3) Benford, S., Bederson, B., Akesson, K., Bayon, V., Druin, D., Hansson, P., Hourcade,

- J., Ingram, R., Neale, H., O'Malley, C., Simsarian, K., Stanton, D., Sundblad, Y. and Taxen, G.: Designing Storytelling Technologies to Encourage Collaboration Between Young Children, *Proc. CHI 2000*, pp.556-563 (2000).
- 4) <http://www.evl.vic.edu/paper/CAVE>
- 5) Greenhalgh, G., Benford, S. and Reynard, G.: A QoS Architecture for Collaborative Virtual Environments, *Proc. ACM Multimedia 1999*, pp.121-130 (1999).
- 6) Ayatsuka, Y., Matsushita, N. and Rekimoto, J.: ChatScape: A Virtual Informal Communication Tool in Communities, *CHI2001 Extended Abstracts*, pp.327-328 (2001).
- 7) Kurlander, D., Skelly, T. and Salesin, D.: Comic Chat, *Proc. SIGGRAPH'96*, pp.225-236 (1996).
- 8) Horry, Y., Anjyo, K. and Arai, K.: Tour Into the Picture, *Proc. SIGGRAPH'97*, pp.225-232 (1997).
- 9) Carraro, G., Edmark, J. and Ensor, J.: Techniques for Handling Video in Virtual Environments, *Proc. SIGGRAPH'98*, pp.353-360 (1998).
- 10) Zeleznik, R., Herndon, K. and Hughes, J.: An Interface for Sketching 3D Curves, *Proc. SIGGRAPH'96*, pp.163-170 (1996).
- 11) Cohen, J., Hughes, J. and Zeleznik, R.: Harold: A World Made of Drawing, *NPAR2000 (Symposium on Non-Photorealistic Animation and Rendering)*, pp.83-90 (2000).
- 12) Tolba, O., Doresey, J. and McMillan, L.: Sketching with Projective 2D Strokes, *Proc. UIST'99*, pp.149-157 (1999).
- 13) Igarashi, T., Matsuoka, S. and Tanaka, H.: Teddy: A sketching interface for 3D freeform design, *Proc. SIGGRAPH'99*, pp.409-416 (1999).
- 14) Rekimoto, J. and Sciamarella, E.: ToolStone: Effective Use of the Physical Manipulation Vocabularies of Input Device, *Proc. UIST'00*, pp.209-217 (2000).
- 15) Rekimoto, J.: Pick-and-Drop: A Direct Manipulation Technique for Multiple Computer Environments, *Proc. UIST'97*, pp.31-39 (1997).
- 16) Rekimoto, J.: Time-Machine Computing: A Time-centric Approach for the Information Environment, *Proc. UIST'99*, pp.45-54 (1999).
- 17) Rekimoto, J.: Tilting Operations for Small Screen Interfaces, *Proc. UIST'96*, pp.167-168 (1996).
- 18) Ishii, H., Kobayashi, M. and Grudin, J.: Integration of Inter-Personal Space and Shared Workspace: ClearBoard Design and Experimentants Cooperative Work, *Proc. CSCW 92*, pp.33-42 (1992).
- 19) 小川剛史, 塚本昌彦, 西尾章治郎: シーンのつながりを考慮した WWW 上でのコミュニケーション支援システム, *Proc. WISS'99*, pp.77-82, 日本ソフトウェア科学会 (1999).
- 20) 田中浩也, 有川正俊, 柴崎亮介: 写真画像群の重なりを用いた広域的な擬似 3 次元空間, *Proc. WISS'01*, pp.75-84, 日本ソフトウェア科学会 (2001).

(平成 14 年 7 月 1 日受付)

(平成 14 年 12 月 3 日採録)



飛田 博章

1999 年電気通信大学大学院情報システム学専攻博士前期課程修了。同年ソニー株式会社入社。クリエイションとコミュニケーションを支援する、インタラクティブ 3 次元コンピュータグラフィックスに関する研究に従事。また、そうした研究の情報視覚化や実世界指向インタフェースへの応用に興味を持つ。



暦本 純一(正会員)

1986 年東京工業大学大学院情報科学専攻修了。日本電気, カナダアルバータ大学を経て, 1994 年より(株)ソニーコンピュータサイエンス研究所に勤務。現在, 同研究所インタラクショナルラボラトリー室長。理学博士。ヒューマンコンピュータインタラクショナル全般, 特に実世界指向インタフェース, 拡張現実感, 情報視覚化等に興味を持つ。ACM, 日本ソフトウェア科学会会員。1990 年情報処理学会 30 周年記念論文賞, 1998 年 MMCA マルチメディアグランプリ技術賞, 1999 年情報処理学会山下記念研究賞。