

# TranScope: 広大な仮想環境における 遠方の物体とのインタラクション手法の実装と考察

TranScope: Implementation and Discussion of an Interaction Technique  
for Distant Objects in Spacious Virtual Environments

吉田俊介<sup>1)</sup>, 望月研二<sup>1)</sup>, 相澤清晴<sup>1)2)</sup>, 齊藤隆弘<sup>1)3)</sup>

Shunsuke YOSHIDA, Kenji MOCHIZUKI, Kiyoharu AIZAWA and Takahiro SAITO

1) 通信・放送機構 空間共有コミュニケーションプロジェクト

(〒113-0001 東京都文京区白山 1-33-16 オルテンシア白山 4F, {yoshida, mochi}@hrc4.tao.go.jp)

2) 東京大学 新領域創成科学研究科 (〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1, aizawa@hal.t.u-tokyo.ac.jp)

3) 神奈川大学 工学部 (〒221-8686 横浜市神奈川区六角橋 3-27-1, saitot01@kanagawa-u.ac.jp)

**Abstract:** Scope-Based Interaction is a concept to interact with spacious virtual environments based on a telescope-like virtual tool. The tool ‘TranScope’ enables the user to stereoscopically view a distant object that will appear to be within reach, and to manipulate the object directly by putting a hand in the ‘Scope’. Hence, the user can handle objects at any distance seamlessly without traveling and leaving an immersive environment. This paper describes a basic idea of the interaction and an implementation of the TranScope, and discusses merits of our technique through comparisons with existing techniques.

**Key Words:** Two-handed operation, Interaction technique, Immersive virtual environment

## 1. はじめに

街並や自然環境のような広大な仮想環境を想定し、手元だけではなく手を伸ばしても届かない遠方にある仮想物体とのインタラクションを考える。

筆者らの提案するスコープベースインタラクション[1]では、レンズ効果を持つ窓状の仮想ツール‘TranScope’を介することでこれを実現する(図1)。望遠鏡を扱うようにTranScopeを通じてシーンを観察することにより、ユーザは遠方の物体を実際に目の前に知覚することができる。さ

らに手で触れることができるものは直接操作できると環境を定義することにより、手の届く範囲を主な操作対象としていた従来の仮想物体の操作手法を遠方の物体にもシームレスに適用することが可能となる。

本文ではまず提案手法の実装方法について述べる。次に、既存手法と比較することにより、従来手法の問題点を考慮して設計された本手法の特徴を考察する。最後に、具体的な応用例についても示す。

## 2. Scope-Based Interaction

### 2.1 TranScope のインターフェース

直観的かつ容易な空間操作を行える環境を構築する目的から、本研究では没入型の映像提示装置と両手による操作環境を前提とする。そこで TranScope (スコープ) は両手で操作できる仮想ツールとして定義し、取り扱い方は現実の動作から類推されようなものにする[1]。図2に外観と大まかな操作方法を示す。

TranScope には照準が表示されており、それを向けた先にある物体を拡大するかのようにスコープのある位置に提示する機能を持つ。環境は触れることのできる物体は直接操作可能であると定義されているため、TranScope を介することでこのスコープ上の物体も操作できる。すなわち、遠方の物体を手元で操作することが可能となる。

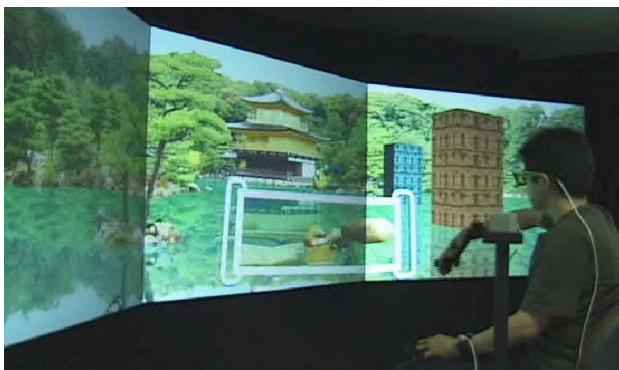
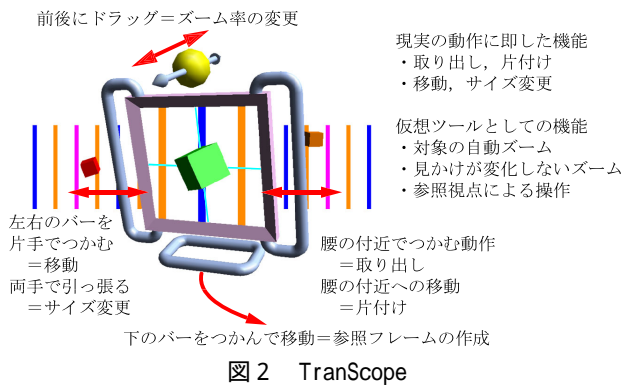


図1 Scope-Based Interaction

この例では遠くに浮かぶアヒルが手元の TranScope 上に表示されている。ユーザは TranScope を介して、遠方の水面や木に直に手で触ることができる。



## 2.2 TranScope のレンズ効果の表現

### 2.2.1 移動による拡大効果の表現

望遠鏡で拡大しているかのような効果の表現方法として、ここでは単純にスコープに写るシーン全体をスコープ側に近づける方法を用いる。スコープ上部にある球によりこの移動量は制御され、これを手前にドラッグすることにより徐々に遠方の物体が近づき、結果的に遠方の物体が拡大されるかのように見える（図 3 a）。

### 2.2.2 見かけの大きさを固定した拡大表現

例えばビルのような大きな物体を配置換えしたい場合、上記の方法ではユーザにビルの真横に立つのと同じ効果を与えるため移動操作に適さない。そこで見かけの大きさを固定した拡大表現を用意する。この機能ではスコープまでの距離と対象までの距離の比を縮小率として移動パラメータと共に用いることにより、ミニチュア化されたシーンがスコープ上に表示される（図 3 b）。

### 2.2.3 参照視点からの操作

スコープはその定義上、本来向こう側に見えるはずの物体を覆い隠してしまう。そこで現在のスコープの位置に参照用のフレームと照準線だけを残し、参照フレームの映像を別の位置へ移動させたスコープ上に表示させる機能を用意する（図 3 c）。これにより遠方にある状態で操作結果が確認できるだけでなく、実際の作業領域であるスコープを操作しやすい位置に置くことにより、楽な体勢で作業を進めることができる。

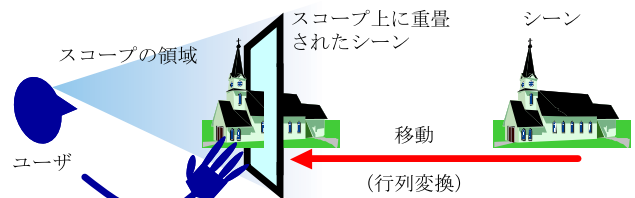
## 2.3 実装方法

### 2.3.1 スコープ内のシーンのレンダリング

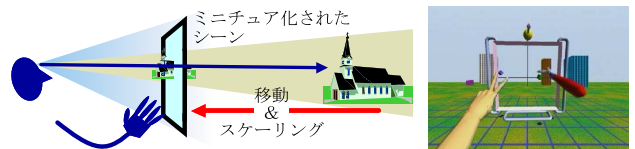
レンズ効果は2パスレンダリングにより表現する。1回目のレンダリングでは、現在の視界とシーン全体を表すシーングラフを用いて通常どおり描画する。2回目のパスでは描画領域を視点とスコープの四隅で定義される内部だけに制限し、ズームパラメータである移動量ぶんだけスコープ側に近づかせ、縮小率により適切に縮小させたシーングラフを用い描画を行う。これにより立体視環境でユーザはスコープ上に遠方の物体を知覚できる（図 3）。

### 2.3.2 シーンとのインタラクション

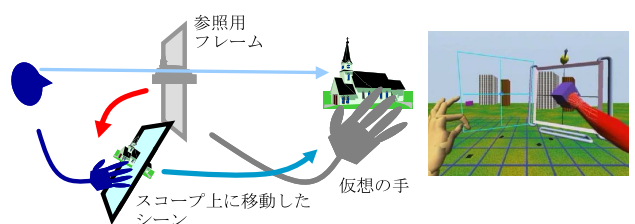
手を「握る」ユーザの動作が検出された場合、計測される両手の位置とシーングラフ中の物体の位置とを比較し、物体をつかめるかどうかの判定をする。判定に合格した際



a) 通常の拡大表現



b) 見かけの大きさを固定した表現



c) 参照視点を使った操作

図 3 TranScope を用いたシーンの表現

には、一般的な VR の操作手法に基づいて物体が操作される。手がスコープの中にあつた場合には、手の位置や姿勢がスコープ上のシーン座標系に変換され判定が行われる。2.3.1 で説明した 2 回目のパスのシーングラフ処理は行列演算にて可能であるため、これの逆行列を求めることで実際の手の位置をスコープ内部の座標系に容易に変換できる。この場合の物体操作は、巨大な仮想の手を使いシーンを操作しているとみなすこともできる（図 3 c）。

## 3. 考察

### 3.1 既存のインタラクション手法

広大な仮想環境とインタラクションする方法としては、ウォークスルーに代表される空間のナビゲーション手法を応用し、自分自身が操作対象まで移動して直接触れる方法が挙げられる。この実世界のルールに基づいた方法も有効な手段ではあるが、広い空間を移動する時間が必要となる点や、建造物の配置換えのような広範囲を対象とした操作に適さない点から、ここではその場にながら直観的に環境を操作、編集できる手法を考える。

そのような既存手法は、光線投射、腕拡張、ミニチュアの 3 つの基本的なタイプに大別される。これらの手法では対象となる物体を「選択」し、「操作」する 2 段階を経る。選択後の操作は数多くあるが、ここでは簡単に物体の「移動」と「回転」を考えることにする。表 1 にこれらと比較してまとめ、以下で各手法の特徴を簡単に述べる。

**光線投射** この手法ではビームポイントと同じ要領でどんなに遠方の物体でも選択できる一方、光線の先では手

元の微妙な操作が増幅されてしまうために遠方ほど選択しづらくなるという欠点がある。また操作に関しては、移動は円弧を描くようにしかできず、回転も光線の軸に沿った方向にしかできない。前後の移動や他の軸での回転については別の手法と組み合わせる必要がある[2]。

**腕拡張** Go-Go Interaction[3]では、体からの距離に応じて非線形に増幅された手の動きに同期する仮想の手を使い遠方の物体をつかむ（選択）ことができ、手の動きに応じた移動、回転操作ができる。光線投射と比較して直観的ではあるが、あらかじめ動きに対するマッピング関数を定義する必要があり、動作可能範囲も限定される。この距離の制限を克服するために、スイッチや伸びをする動作をキーにして腕を伸ばす手法も提案されているが、この場合は光線投射と同様の問題（選択と操作の困難さ）が発生する。

**ミニチュア** この手法はユーザの手元に用意されたシーンのミニチュアを媒介として環境を操作する[4]。ユーザはミニチュアから物体を選択し、それに対する操作はオリジナルのシーンにも反映される。全ての物体の位置関係を即座に把握することができる利点があるが、扱うシーンの規模が大きくなるにつれてミニチュアが細かくなり、容易に選択と操作ができなくなる問題がある。

**複合方式** これらの基本的な手法はいずれも長所と短所があり全ての状況にうまく働くというものではない。したがって、これらを組み合わせた手法が提案されている。

例えば、Bowmanらは光線投射と腕拡張を実験により比較し、光線投射のほうが選択に優れ、手を中心とした操作ができる腕拡張のほうが回転に関しては優れていると結論付けた。そして選択に光線投射を用い、操作に腕拡張を用いた手法を提案している[5]。

また、Voodoo Dolls[6]では操作する手にも意味を持たせることにより新しい選択と操作方法を提案している。選択には2次元ベースの方式（親指と人差し指の間にある照準を使い片目で狙いを付け、つまむ動作で選択）を用いる。選択後、手には適切な大きさのコピー（ドール）が作成される。操作は両手にドールを持つことで行う。左手には基準となる座標系を示すドール（例えば机）を持ち、右手に持つドール（机の上のライトスタンドなど）に加えられた

移動、回転操作は、左手のドールからの相対的な変化量として対応するシーンの物体に反映される。

### 3.2 提案手法との比較

本手法も複合方式の一つと言え、各手法と比較することによりそれらの側面が見えてくる。

**選択に関して** TranScopeの照準により狙いをつける方法は光線投射と原理は同じであるが、実際に選択を行う場所が異なる。例えば密集した遠方の物体より一つを選択する場合、光線投射では長い棒を使うかのように遠方で選択する必要があるが、本手法では大まかに狙いを付け手元に表示した後、その中から選別することができる。

また、球のドラッグによる拡大操作は腕拡張のボタンやアクションを使った仮想の腕を伸ばす操作に似ている。いずれも遠方になるほど物体の選択に時間を要する点は同じであるが、実装例では自動的に照準の先の物体を拡大する機能を別に用意することでこの問題を回避している。

**操作に関して** 移動には本手法では2種類の方法が用意されている。通常の拡大表示（図3a）では、手の動きと物体の動きは1対1に対応する。これは一般的な手を使った仮想物体の移動操作と同一の状況である。見かけの大きさを固定した拡大表示（図3b）の際には、手の動きがS倍（Sは表示における縮小率の逆数）に増幅されて適用される。これはミニチュアでの移動操作に等しくなり、ユーザはシーン全体を広い視野を持ちながら操作できるようになる。これらの機能を使い分けることにより、ラフな操作と詳細な操作を同時に行うことができる。

また、回転に関しては腕拡張方式やミニチュア方式と同じく手の動きがそのまま物体に反映される。

**実装方法に関して** 本手法の実装には2パスレンダリングを採用している。そのため、ミニチュアの手法と同様に多少描画コストが高くなる傾向にある。これは、スコープに表示されない物体を適切に間引くなど描画方法を工夫することで抑えることが可能である。

### 3.3 本手法の特徴と発展

本手法の最大の利点は、TranScopeを介すことによって遠方の物体も手元の物体も同様に扱うことが可能になるという点である。加えて、窓をメタファとした仮想ツール

表1 基本的な手法の特徴と問題点

手法	操作性	特徴/問題点
光線投射 (Ray-casting)	選択：良 移動：可 回転：不良	- ユーザの指示した方向に伸びる光線で物体を選択する。 - どのような距離でも選択が可能である。
腕拡張 (Arm-extension)	選択：不良 移動：可 回転：良	- 離れた場所から密集した物体の一つを選択することは困難である。 - 基本的には長い棒の先で行うかのような操作しかできない。 - ユーザの腕がボタン操作、伸びの動作、手の動きの増幅などにより仮想的に長くなる。 - 物体を直につかむ感覚で操作できる（手の動きがそのまま伝わる）。 - 距離の制限：仮想の手の長さが実際の手の可動範囲で制限される（動き増幅）。 - 対象が遠くにあるほど選択、操作がしづらくなる（ボタン、伸び）。 - 光線投射と同じく、遠方の密集物体からの選択が難しい。
ミニチュア (World-in-Miniature)	選択：可 移動：良 回転：良	- アイコン的なシーンのミニチュアが手元に用意される。 - ミニチュアに加えられる操作はシーン全体に即時または適時反映させられる。 - ミニチュアが小さくなりすぎるため、複雑で広大なシーンの扱いに向いていない。
提案手法 (Scope-Based Interaction)	選択：良 移動：良 回転：良	- スコープを向けている先にある遠方の物体が手元のスコープ上に立体的に表示される。 - スコープ上の物体に加えられる操作がそのまま遠方の物体への操作となる。 - 手元と遠方の物体を同じ操作手法で扱う。

と定義することで様々な概念を取り込み易い利点もある。例えば、スコープを一つの作業台と考えることにより、はさみなどの他の仮想ツールとの連携や、複数のスコープ間での物体の受け渡しなどが可能になる。また、例示した既存手法はミニチュアを除きいずれも操作後の物体は遠方に存在もしくは復帰するため、同一物体の再選択にコストがかかる。作業台とみなせるミニチュアや本手法は手元に残しておくことが可能であるため、比較的作業の連続性が保たれ易いという点においても有効である。さらに、Magic Lens[7]のような概念を取り入れることにより、単に拡大表示だけではなく付加的な情報を提示して操作支援したり、拡大と同時にビルの内部構造に切り替わるような別のシーンへのアクセス手法としての利用も考えられる。

#### 4. 応用例

図1は画像ベースで構築された仮想環境とのインタラクションに本手法を採用した例である。ここで実現したシステムの構成を図4に示す。

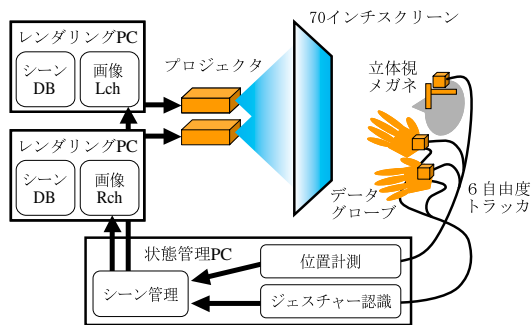


図4 実装例のシステム構成

TranScopeの自動拡大や見かけの大きさを固定した拡大の機能は、便宜的に左手のジェスチャー（自動：OKサイン、見かけ固定：Vサイン）により有効化するよう定義した（図3の写真参照）。ここでは、シーンに配置された仮想物体（木や様々な大きさの箱）を操作でき、水面とのインタラクションにより波紋が生成されるようになっている。図5はこれらの機能を使った操作の例である。

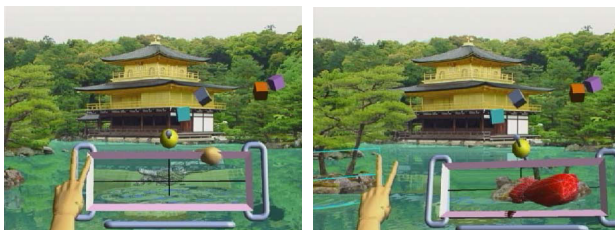


図5 操作例（左：波紋生成、右：木の移動）

本手法は他の手法と比較し、背景としての意味合いを持って構築される画像ベースの仮想空間との親和性が高い。なぜならば、一般的にそのような環境ではデータを計測した地点が最良の観察地点となり、ユーザの移動を必要としない手法は意図しない方向からの観察をふせぐことがで

き、最良の視点から様々な操作を行うことができる。

また、インタラクションの手法に関してもあらゆる距離で3次元的な操作をするのではなく、簡略化された空間記述（例えば、近距離の物体については適切な立体化を行うが、立体感を得ることができないような遠方の物体については2次元の物体で近似する[1]）に適した手法に代えることも可能である。図6にその概念を示す。例えば、遠景として屏風状に表現されている山などはそのまま画像として表示して色の変更やレタッチといった2次元的な操作を加えられるようにし、中景の建物は詳細な形状に切り替えて細部を作りこむなどできるようにすることで、操作の幅を広げることが可能であると考えられる。

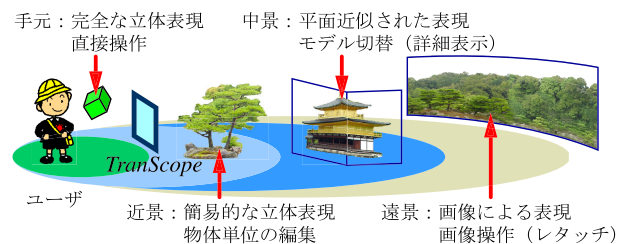


図6 距離に応じたインタラクションの概念

#### 5. おわりに

手の届かない遠方の物体と手元の物体とがシームレスにインタラクションできる手法としてスコープベースインタラクションを提案し、その実装例としてTranScopeを示した。また他の既存手法と比較し本手法の特徴を明確化することにより、その有効性を考察した。本手法を用いることによりユーザは仮想世界を歩き回ることなく、広大な環境に対して両手を使い様々な操作を加えることができる。今後は応用例で述べた機能の実現や、実験による有効性の検証などを行いたい。

謝辞 撮影にご協力頂きました宗教法人鹿苑寺に感謝致します。

#### 参考文献

- [1]吉田ら：スコープベースインタラクション，日本VR学会第6回大会論文集，pp.193-196, 2001.
- [2]Mulder: Remote object translation methods for immersive virtual environments, EG VE'98, pp.80-89, 1998.
- [3]Poupyrev, et al.: The Go-Go Interaction Technique, ACM UIST'96, pp.79-80, 1996.
- [4]Stoakley, et al.: Virtual Reality on a WIM, ACM CHI'95, pp.265-272, 1995.
- [5]Bowman, et al.: An Evaluation of Techniques for Grabbing and Manipulating Remote Objects in Immersive Virtual Environments, ACM I3D'97, pp.35-38, 1997.
- [6]Pierce, et al.: Voodoo Dolls, ACM I3D'99, pp.141-145, 1999.
- [7]Bier, et al.: Toolglass and magic lenses, SIGGRAPH'93, Vol.27, pp.73-80, 1993.