

機関番号：12608  
 研究種目：基盤研究 (B)  
 研究期間：2008～2010  
 課題番号：20300044  
 研究課題名 (和文) 両手多指操作可能な等身大ハプティック VR 設計環境の構築  
 研究課題名 (英文) A Human scale haptic VR environment with both hands multi-fingers manipulation  
 研究代表者  
 佐藤 誠 (MAKOTO SATO)  
 東京工業大学・精密工学研究所・教授  
 研究者番号：50114872

## 研究成果の概要 (和文)：

本研究の目的である両手多指操作可能な等身大ハプティック VR 設計環境を研究開発するため、次の三つのシステム構成要素の研究開発を行うことである。

- ① 実スケールで直接操作可能な等身大 VR 環境
- ② 両手多指操作のための力触覚提示装置
- ③ 実時間 VR 空間の動的シミュレーション機能

これらの3つの構成要素を統合したハプティック VR 設計環境を明確化して、操作性、有効性、実用性等の評価実験を行い、今後の課題を明らかにした。

## 研究成果の概要 (英文)：

The purpose of this research is to develop a human scale virtual reality environment with both hands multi-fingers manipulation capability.

We have developed the following three system components for the system:

1. Real scale VR environment with direct manipulation.
2. Haptic device for the both hands multi-fingers manipulation.
3. Real time dynamic simulation system for haptic interaction.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	5,800,000	1,740,000	7,540,000
2009年度	6,800,000	2,040,000	8,840,000
2010年度	2,100,000	630,000	2,730,000
年度			
年度			
総計	14,700,000	4,410,000	19,110,000

研究分野：ヒューマンインタフェース・VR

科研費の分科・細目：情報学・メディア情報学・データベース

キーワード：情報通信工学・バーチャルリアリティ

## 1. 研究開始当初の背景

我国の製造業が近隣諸国に対する競争力を維持して、より一層の発展を遂げるためには、工業製品の設計・製造の高度な自動化は、極めて重要な課題の一つであり、設計者の創造性を十分に引き出すことができ、しかも利用者のユーザビリティを的確に評価することのできる設計環

境が強く求められている。このような設計環境は単に製造業に留まらず、様々な産業においても重要性を高めてきている。我々は、次世代の設計環境を実現する上で、バーチャルリアリティ (VR) 技術の活用が必要であることに 10 数年前より着目して、関連の研究開発を進めてきた。人間中心型の VR 設計環境を構築する

上で問題となる技術的課題の一つは、実世界で無意識のうちにユーザが用いている力覚や触覚といった体性感覚が極めて重要であり、この力触覚をどのようにユーザの手元に提示するかということである。研究代表者は、以前より世界に先駆けてこの問題に取り組み、ワイヤ駆動型の力覚提示装置 SPIDAR を提案し、開発してきた。さらに、装置の高性能化、多様化および実用化に取り組んでおり、その有効性、実用性は世界的に認められている。

この装置 SPIDAR は、ユーザの指先の3次元位置を計算機に入力するポインティング機能と指先へ操作時の力覚情報をフィードバックする機能を兼ね揃えた装置であり、この装置と映像提示装置とを組み合わせることで力覚を感じながら直接操作することのできる、いわゆるハプティック VR 環境を構築することができる。

人間中心型の VR 設計環境に欠かすことのできないもう一つの構成要素は実スケールの等身大 VR 環境である。ユーザを VR 環境に没入させて、実世界と同様なスケール感覚で直接操作を行うためには、等身大の映像空間によりユーザを覆う必要があり、このために我々はマルチプロジェクション方式による没入型映像提示装置を数年前より開発し、その有効性を明らかにしてきた。

## 2. 研究の目的

本研究は、設計者が自らの両手や指先を用いて VR 世界の様々な設計対象を直接的にかつ直感的に操作することのできる等身大のハプティック VR 設計環境の構築方法を明らかにして、そのシステム実現を目指すことを目的としている。

本研究の目的とする VR 設計環境の実現は、決して容易な課題ではない。従来の研究開発の経験を通じて、真に操作性の優れた VR 設計環境を構築するには、ユーザの両手操作と親指から小指に至る指先による多指操作を実現する必要があり、大きな困難が伴うことが予想される。今まで培ってきた上記研究開発の実績と近年の計算機能力の進歩に支えられ急速に発展してきている実時間の物理シミュレーション機能を融合し、かつ新規な力触覚提示装置を提案することにより、その目的を達成する。

## 3. 研究の方法

本研究の目的である両手多指操作可能なハプティック VR 設計環境を実現するためには、次の三つのシステム構成要素が不可欠である。

(1) 実スケールで直接操作可能な等身大

## VR 環境

車、生産設備、建築、都市環境といった人間の身体性インタラクションが重要な対象物の設計においては、設計対象を実スケールで提示できなければならない。従来から車の設計においてクレイモデルが不可欠であった要因の一つにこのような実スケールの没入型設計環境の構築が容易でなかったことがある。設計者や利用者が VR 環境に没入して設計対象をデザインし、そのユーザビリティを評価できる等身大 VR 環境が必要である。

(2) 両手多指操作のための力触覚提示装置

創造的な設計作業においては、まず設計者が思い浮かべた設計イメージを容易にモデル化して、可視化できなければならない。そのためには、実世界における粘土作業や積木作業のように、VR 空間内を直接操作することのできるマルチモーダルインタフェースが必要である。とくに、ユーザが自らの両手で直接的に設計対象を捉え、自らの指先で直感的に多指操作のできる両手多指操作インタフェースが強く求められる。しかも、ハプティックインタラクションを実現するためには、設計対象の重さや操作感を両手に直接に力覚として伝え、設計対象を操作した際の接触感を触覚としてユーザの指先に提示しなければならない。このような力触覚提示機能を備えたインタフェース装置が必要となる。

(3) 実時間 VR 空間の動的シミュレーション機能

創造的な設計のためには、ただ単に設計物を客観的に眺めるだけでは不十分であり、設計対象のもつ諸機能を実際に人間が操作して確かめてみることもできるダイナミックな設計環境が必要である。このためには VR 空間内の設計対象の剛体や柔軟体などの物理特性に応じた動的なシミュレーションを実時間で実行するソフトウェア機能が必要となる。また、本研究では VR 環境内でのバーチャルヒューマンとのインタラクションやコラボレーションも実現したいと考えており、その実時間シミュレーション機能も開発する必要がある。

本研究を達成するために、上記の三構成要素を実現する提案とその開発を行い、さらにこれらの構成要素を有機的結合することにより等身大ハプティック VR 設計環境の構築を目指した。

## 4. 研究成果

本研究の目的である両手多指操作可能な等身大ハプティック VR 設計環境を研究開

発するため、次の三つのシステム構成要素の研究開発を行った。

- (1) 実スケールで直接操作可能な等身大VR環境
- (2) 両手多指操作のための力触覚提示装置
- (3) 実時間VR空間の動的シミュレーション機能

具体的な研究開発項目を以下に記述する。

- (1) 実スケールで直接操作可能な等身大VR環境
  - ① 設計作業に必要な高品位な映像を投影することのできるマルチプロジェクションシステム
  - ② 3次元の幾何学的再生の忠実度の高い等身大曲面スクリーン上でのステレオ立体視の実現
  - ③ 直接操作可能なインタラクション機能を備えるための力触覚提示装置の結合
- (2) 両手多指操作のための力触覚提示装置  
高品位の触覚提示が可能でしかも等身大VR環境との整合性に優れた装置を提案し設計開発を行った。開発装置は各指を3本あるいは4本の糸で吊るワイヤ駆動型SPIDARシステムである。

- (3) 実時間 VR 空間の動的シミュレーション機能

力触覚提示装置と VR 空間とを結合するためのバーチャルカップリング制御と力触覚情報の生成システムを開発した。これらの3つの構成要素を統合したハプティック VR 設計環境を明確化して、操作性、有効性、実用性等の評価実験を行い、今後の課題を明らかにした。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計9件)

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

- ① 橋本 直己, 石渡 祐貴, 佐藤 誠, 凸面鏡を用いた室内広視野投影システムの開発, 映像情報メディア学会誌, 64, 594-601, 2010, 有
- ② Xiangning Liu, Katsuhito Akahane, Masaharu Isshiki and Makoto Sato, Design and Implementation of an Image Haptization System, 3DSA2010 (International Conference on 3D Systems and Applications), 260-262, 2010, 有
- ③ Katsuhito Akahane, Xiangning Liu, Masaharu Isshiki, Lin Liping, Makoto Sato, Open Source Haptic Interface - SPIDAR-mouse, ASIAGRAPH 2010, 4, 83-88, 2010, 有

- ④ 一色 正晴, 瀬崎 崇浩, 赤羽 克仁, 木野村 健, 佐藤 誠, 大規模3次元VR空間におけるハプティックデバイスの自動クラッチ操作の提案, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 14, 193-202, 2009, 有
- ⑤ 青木 孝文, 三武 裕玄, 長谷川 晶一, 佐藤 誠, ワイヤによる皮膚感覚刺激を用いた指先装着型接触感提示デバイス, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 14, 421-428, 2009, 有
- ⑥ 須佐 育弥, 大内 政義, 岩下 克, 佐藤 誠, 長谷川 晶一, 局所的な高速物理シミュレーションによる高解像度力覚提示の実現, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 14, 463-472, 2009, 有
- ⑦ 本多健二, 橋本直己, 佐藤 誠, 奥行きモデルを用いた擬似広視野映像の実時間生成, 映像情報メディア学会誌, 62, 550-557, 2008, 有
- ⑧ 橋本 直己, 木村 耕一郎, 佐藤 誠, 等身大仮想環境における力覚提示可能な組立作業システム, 映像情報メディア学会誌, 62, 880-888, 2008, 有
- ⑨ 橋本 直己, 飯尾裕一郎, 佐藤 誠, 等身大仮想空間における力覚と触覚を組み合わせた接触感提示手法, 電子情報通信学会論文誌, J91-D, 2765-2772, 2008, 有

〔学会発表〕(計6件)

- ① 赤羽 克仁, 兪 晨曦, 五十嵐 達郎, 小西 康貴, 佐藤 誠, ワイヤ駆動型力覚提示装置開発のための高機能コントローラの開発, 日本バーチャルリアリティ学会, 2010.9.15-17, 金沢工業大学
- ② 佐藤 誠, 多指型ハプティックインタフェースSPIDAR-MFの開発, 日本バーチャルリアリティ学会・第4回力触覚の提示と計算研究委員会, 2010.3.5, 電気通信大学
- ③ Naoki Hashimoto, Yuichiro Iio, Makoto Sato, An Effective Combination of Haptic and Tactile Sensations in Human-scale Virtual Environments, SIGGRAPH2008 (The 35th International Conference and Exhibition on Computer Graphics and Interactive Techniques), 2008.8.11-15, Los Angeles Convention Center
- ④ 本多 健二, 橋本 直己, 佐藤 誠, オプティカルフローの連続性を考慮した高精度な擬似広視野化映像の生成, 第13回日本バーチャルリアリティ学会, 2008.9.24-26, 奈良先端科学技術大学院大学
- ⑤ 神宮司 有加, 橋本 直己, 佐藤 美恵, 佐藤 誠, 広視野映像に対する視覚特性を用いた輝度補正手法, 第13回バーチャルリアリティ学会, 2008.9.24-26, 奈良先端科学技術大学院大学
- ⑥ 石渡 祐貴, 橋本 直己, 佐藤 誠, 凸

面鏡を用いた室内広視野映像投影システムの試作, 第13回バーチャルリアリティ学会, 2008.9.24-26, 奈良先端科学技術大学院大学

[図書] (計1件)

- ① 舘 暲, 佐藤 誠, 廣瀬 通孝, コロナ社, バーチャルリアリティ学, 2011, 65-75

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

佐藤 誠 (MAKOTO SATO)  
東京工業大学・精密工学研究所・教授  
研究者番号: 50114872

### (2) 研究分担者

橋本 直己 (NAOKI HASHIMOTO)  
電気通信大学・電気通信学部・准教授  
研究者番号: 70345354

赤羽 克人 (KATSUHITO AKAHAME)  
東京工業大学・精密工学研究所・助教  
研究者番号: 70500007

### (3) 連携研究者

小池 康晴 (YASUHARU KOIKE)  
東京工業大学・精密工学研究所・教授  
研究者番号: 10302978

張 曉林 (ZHANG XIAOLIN)  
東京工業大学・精密工学研究所・准教授  
研究者番号: 60280971