JAIST Repository
https://dspace.jaist.ac.jp/

Title	スパイダーヒーロー：張力提示によるエンタテインメントVR
Author(s)	石橋，賢; Luz，Toni Da; Eynard，Remy; 北，直樹; 姜，南; 瀬木，宏; 寺田，圭介; 藤田，恭平; 宮田，一乗
Citation	映像情報メディア学会誌，66(1)：J11-J16
Issue Date	2012
Type	Journal Article
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/11421
Rights	Copyright (C) 2012 映像情報メディア学会．石橋賢，Toni Da Luz，Remy Eynard，北直樹，姜南，瀬木宏，寺田圭介，藤田恭平，宮田一乗，映像情報メディア学会誌，66(1)，2012，J11-J16．http://dx.doi.org/10.3169/itej.66.J11
Description	

JAIST
JAPAN
ADVANCED INSTITUTE OF
SCIENCE AND TECHNOLOGY

Japan Advanced Institute of Science and Technology

© 2012 社団法人映像情報メディア学会

論 文

スパイダーヒーロー：張力提示によるエンタテインメントVR

Spider Hero: Entertainment VR with Pulling Force

石橋 賢†, Toni Da Luz††, Remy Eynard††,
北 直樹†, 姜 南†, 瀬木 宏†,
寺田圭介†, 藤田恭平†, 正会員 宮田一乗†††

Ken Ishibashi†, Toni Da Luz††, Remy Eynard††, Naoki Kita†, Nan Jiang†, Hiroshi Segi†, Keisuke Terada†, Kyohei Fujita† and Kazunori Miyata†††

Abstract In our entertainment VR application, the user can move freely through a virtual city by using a web like Spiderman^{TM}. In this application, the user wears a web shooter, which is a device to shoot webs, and takes aim at a target building. Then, when the user swings his/her arm ahead, a web is launched and it sticks to the target building on the screen. After the web sticks to the building, the user's arm is pulled in the direction of the target building by a pulling force feedback system, which gives the feeling of pulling to the user directly and smoothly, as if he/she were attached to an elastic string. Finally, the user moves to the target building. In three exhibitions, we surveyed the effectiveness of the application by questionnaire. We were able to confirm that a lot of users had enjoyed and were satisfied with our VR application.

キーワード：バーチャルリアリティ，力覚提示，張力提示，エンタテインメント，インタラクション

1. まえがき

映画の中のスーパーヒーローは，超人的なスピードやパワーそして特殊能力を持っており，世代や性別を問わず多くの人の憧れの存在となっている．世界的に有名なスパイダーマン^{TM}も同様に，日本国内においても人気を博しており，スパイダーマン^{TM}をテーマにしたアトラクションやゲーム*が登場している．しかしながら，これらはユーザ操作による自由度と感覚提示による没入感の両者を満たすことはできない．そこで筆者らは，バーチャルリアリティ（VR）技術において，自由度と没入感を与えることができると考え，スパイダーマン^{TM}の特殊能力であるクモの糸を使った移動手段に着目し，バーチャル都市空間をクモの糸を使って自由に飛び回ることができるVR作品“スパイダーヒーロー”を制作した．本作品の特徴として，クモの糸による張力提示が挙げられる．張力提示には，ユーザの安全性，システムの堅牢性，ユーザの満足する張力提示の三つの条件を満たす必要がある．SPIDAR[1]やPHANTOM[2]などの既存の力覚提示システムでは，上記三つの条件を満たした制御が困難である．そこで，上記の条件を複雑な制御に依存せずに満たすことが可能な，バキュームデバイスを用いた張力提示システムを提案する．本研究の目的は，張力提示システムにより，クモの糸で引っ張られる感覚をユーザに与えることで，スパイダーマン^{TM}の持つ超人的な能力を使用する楽しさを提供することである．

以降，本作品の構成要素である張力と風覚提示システム，映像と音響システムの詳細について述べ，複数回の展示で得られたユーザからのアンケートに基づき，本作品のエンタテインメント性と張力提示システムの有効性を評価する．

2010年2月，VRCAI2009で発表
2010年10月28日受付，2011年5月26日再受付，2011年11月14日採録
†北陸先端科学技術大学院大学 知識科学研究科
（〒923–1292 石川県能美市旭台 1–1, TEL 0761-51-1111）
††Arts et Métiers ParisTech Presence & innovation Laboratories
（Ingénierium – 4, rue de l'Ermitage – 53000 Laval, France）
†††北陸先端科学技術大学院大学 ライフスタイルデザイン研究センター
（〒923–1292 石川県能美市旭台 1–1, TEL 0761-51-1810）
†School of Knowleadge Science, Japan Advanced Institute of Science and Technology
（1–1, Asahidai, Nomi, Ishikawa, 923-1292, Japan）
††Arts et Métiers ParisTech Presence & innovation Laboratories
（Ingénierium – 4, rue de l'Ermitage – 53000 Laval, France）
†††Research Center for Innovative Lifestyle Design, Japan Advanced Institute of Science and Technology
（1–1, Asahidai, Nomi, Ishikawa, 923-1292, Japan）
* http://www.usj.co.jp/attraction/att_detail/spm.html および http://www.sonypictures.com/homevideo/spider-man3/を参照していただきたい（2010年10月閲覧）．

2. 関連研究

2.1 移動型VRアプリケーション

移動を主目的としたVR作品として，泳ぐジェスチャを入力とするUoQA[3]やトランポリンインタフェースを用いたVRアプリケーション[4]などが挙げられる．前者は，ユーザ

に別々の色が付いた腕輪を装着させ CCD カメラで腕の動作を認識して，動作に合わせた映像提示により映像の中を泳ぐ感覚を与える．後者は，運動用ミニトランポリンの下部に測距センサボードを置いたトランポリンインタフェースを用いて，トランポリン上でのユーザの動作（静止，歩行，跳躍）に応じた映像中の移動を可能にしている．

2.2 力覚と風覚

代表的な力覚提示デバイスとして，SPIDAR や PHANTOM が挙げられる．前者は，立方体の四隅に設置されたワイヤをモータ制御することで力覚を提示し，後者は，ペン型のデバイスをロボットアームにより制御することで力覚を提示する．これらのデバイスの応用作品として，オールを漕ぐ時の力覚を提示する Virtual Canoe[5] や，ゲームコントローラを自動操作する Robogamer[6] などが挙げられる．どちらの場合も直接ユーザに力覚を提示するのではなく，ハードウェアに対して力を加えている．その他にも，携帯性に優れユーザに直接牽引力を提示する Buru Navi[7]，動いている回転体を急に停止させ撃力を提示する GEKI2[8]，ユーザの棒で撹拌する動作にモータでブレーキをかけて物体の破壊を提示する Witch's Cauldron[9] などが挙げられる．

また，本作品では空を飛ぶ風覚も提示する．既存の風覚提示デバイスとして，BYU BYU view[10] や Wind stage[11] が挙げられる．前者はメッシュ状のスクリーンに風力を感知するセンサと，送風用のエアコンプレッサを使用して風情報を送受信する．後者は，ドーム型の筐体に付属した 25 個の DC ファンを用いて，過去や別の場所の風覚を提示する．

本作品の張力提示システムは，既存のデバイスの問題点を考慮し，ユーザの安全性とユーザへの充分な張力提示およびロバストな構成を実現する．風覚提示システムは，既存システムのような特殊な機材を必要とせず，シンプルな構成で迅速に設置でき，風覚制御が張力制御と同一環境で行えることでシステム管理が容易であるという利点を有する．

3. スパイダーヒーローの概要

スパイダーヒーローは，スパイダーマン TM のようにクモの糸を使ってビルの谷間を飛び回ることができる VR 作品である．操作デバイスには，ウェブシューター（ユーザの両腕に装着し，目標となるビルの選択およびクモの糸の発射に用いる）と圧力センサ（ユーザの足下に設置することで体重移動を検知し，画面の視点切換に用いる）を使用する．ユーザは，移動先のビルを選択する**照準フェーズ**，腕を振ってクモの糸を発射する**発射フェーズ**，そして選択したビルに移動する**移動フェーズ**の三つのフェーズを繰り返すことで，バーチャル都市空間を自由に飛び回ることができる．**図 1** にユーザの体験フローを示す．

照準フェーズ: まず，ユーザはウェブシューターを用いて，上下左右に画面上のポインタを操作し，バーチャル都市空間の移動先のビルを選択する．ウェブシューターのトリガーボタンを押すことでポインタが固定される．

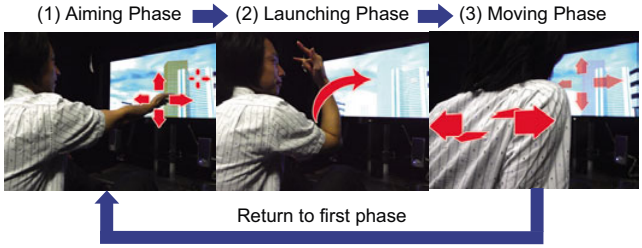


図 1 ユーザの体験フロー
Flow of the user's experience.

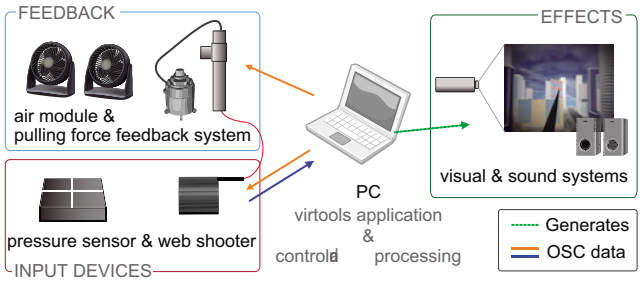


図 2 システムの全体構成
System overview.

発射フェーズ: 次に，クモの糸を発射する．ユーザは腕を画面前方に振り，振り終わった時にトリガーボタンを離すことでクモの糸が選択されたビルに向かって発射される．ただし，ユーザの腕を振る勢いが不充分な場合，糸はビルに張り付かず地面に落ちてしまう．すなわち，ユーザの腕を振る速度が糸の最大飛距離になる．ユーザは，より遠くのビルへ移動する場合，より速く腕を振る必要がある．

移動フェーズ: クモの糸がビルに到着すると同時に，その糸によって引っ張られながらビルとビルの間を移動する．この時，本作品に導入した張力提示システムと風覚提示システムによって，ユーザに張力と風覚を提示する．また，空中を移動する際に，ユーザは圧力センサ上で体重移動することで視点を切換えることが可能である．さらに，移動中にもう片方の腕で照準および発射フェーズの処理を行うことで，空中で移動先を変更できる．両腕を使用して左右交互に空中で移動先を変更することで，スパイダーマン TM のように次々とビルを飛び回る体験ができる．

4. システムの概要

本作品は，張力と風覚提示システム，映像と音響システムで構成される．操作デバイスはグローブ型デバイスのウェブシューターと圧力センサを用いる．なお，VR アプリケーションの開発に Virtools TM 4.0，ソフトウェアとハードウェア間のデータ通信に OSC（Open Sound Control）プロトコルを利用している．**図 2** にシステムの全体構成を示す．

4.1 張力提示システム

張力提示は本作品において，最も重要な構成要素である．2.2 節で述べた力覚提示デバイスは，張力提示時の安全性の確保と張力調整との兼ね合いが困難であり，ユーザが強

い力を加えた場合に，ユーザまたはシステムに強い負荷を与える危険性がある．Buru Navi は，ユーザに直接牽引力を提示し，展示においてその安全性も確認できるが，歩行者の誘導が目的であり，ユーザが満足する張力の提示が困難であると考える．よって，本システムには，ユーザの安全性の確保，フィードバックとして充分な張力の提示とロバストな構造が求められる．これらの要素を満たすためにバキュームデバイスを用いた張力提示システムを制作した．張力提示システムの構成図を**図 3** に示す．

本張力提示システムの特徴は，バキュームデバイスを用いている点であり，空気圧を動力とすることでシステムの耐久性と安全性の向上が期待される．空気圧の制御には，通常エアシリンダやエアバルブが用いられるが，空気圧制御用のパーツを含めると高価なシステムになるため，市販の掃除機（CCP CT-605D）を使用することにした．ここで，本張力提示システムの張力提示方法について詳細に述べる．

まず，PC から MIDI 信号が調光器（ELATION CYBER PAK）に送信され，電圧が制御されることでバキュームデバイスが作動する．同時にサーボモータ（Futaba S3003）による開閉式キャップが閉じることでパイプ内を減圧する．減圧によってパイプ内のゴムプラグが吸い上げられ，ゴムプラグに取り付けられた糸により，腕輪が引っ張られることでユーザへ張力を提示する．糸は，10 本のポリウレタン製ゴム紐の束とナイロン製の釣り糸を繋ぎ合わせており，糸の強度とクモの糸の伸びる感覚を兼ね備えている．また，開閉式キャップが空気口の大きさを変化させることで，張力だけでなく，ビルへ到着した際のクモの糸が切れる感覚も提示できる．さらに，移動時の爽快感を演出するためバキュームデバイスの電圧を二段階に設定して，ユーザの移動速度に応じて張力の強さを変化させた．なお，ばね秤（SANKO 手秤 2kg 検定付）による張力測定で，最大 8.24N を示した．

張力提示の安全性に関しては，ユーザの手首に損傷を与えないことに最も注意する必要がある．本システムは，ゴム紐が伸びることでユーザへの過度な張力提示を防ぎ，腕輪を用いてゴム紐との摩擦による手首への損傷を防止している．また，モータのような動力ではなく空気圧を用いているため，ユーザが糸を引き戻すことができる．以上の 3 点において，安全性の高い設計を目指した．

本システムは空気圧を用いるため，ユーザの力が直接動力部分に影響せず，既存の力覚提示に用いられるモータと比較して故障する可能性が極めて低い．また，ユーザが強く糸を引き戻す場合は，筐体に負荷がかかるが，筐体は 200kg 程度の重荷に耐えられる強度の高いパイプで構築されている．さらに，すべて市販品を流用しており修復が容易である．以上の 3 点において，堅牢性の高い設計になっている．

4.2　風覚提示システム

本作品では，高層ビル間を移動すること，クモの糸によるユーザの移動は加速度運動であることを前提としており，移動の際に向かい風を再現すること，ユーザの移動速度に応じて風覚を変化させること，そして空中移動時の視点切換に応じた風覚の変化が必要である．空中移動時の視点切換に応じた風覚の変化としては，ユーザが右方向へ視点を切換えた場合，クモの糸によって引っ張られている方向（ユーザの移動方向であり，この場合は左方向）から強い風が感じられ，その反対方向からは風が弱く感じられることが予想される．ユーザの視点切換に応じて左右の風量を変化させるために，調光器と二つのエアファン（Honeywell HFT-115-BK）を用いた風覚提示システムを制作した．調光器は前述した張力提示システムと同一のものを使用する．この調光器で二つのエアファンの電圧をそれぞれ制御することで，ユーザの移動速度に応じた風覚提示およびユーザの視点切換に対応した風覚提示を実現している．本風覚提示システムはシンプルな構造であり，既存のシステムのように複数のセンサやパーツを必要とせず，実装，設置，修復が簡単かつ迅速に行える利点がある．

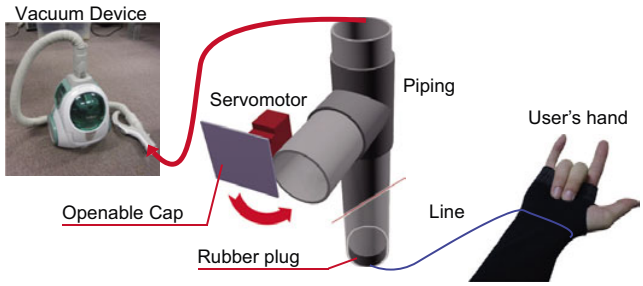


図 3　張力提示システム
Pulling force feedback system.

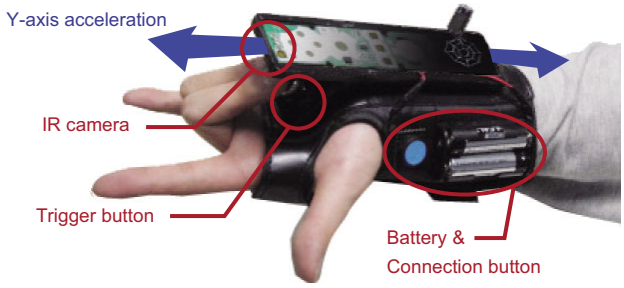


図 4　ウェブシュータ
Web-Shooter.

4.3　操作デバイス（ウェブシュータと圧力センサ）

ウェブシュータは，ポインタの移動，目標となるビルの選択，クモの糸の発射に関する操作が可能なグローブ型のデバイスである．**図 4** にウェブシュータの構成図を示す．

本デバイスは，Wii リモコン ™ をグローブ型に改造しており，赤外線カメラ，トリガーボタン，加速度センサ，そして振動モータで構成される．赤外線カメラは，画面上部に設置される赤外線バーの LED を検知することで，画面上の赤いポインタの操作を可能にし，トリガーボタンは，ポインタを目標となるビルに固定することができる．加速度センサは，ユーザの腕振り時に図 4 中に示す Y 軸の加速度を検知する．そして，検知された加速度に応じて，クモの糸の飛距離を決定する．振動モータはクモの糸を発射する

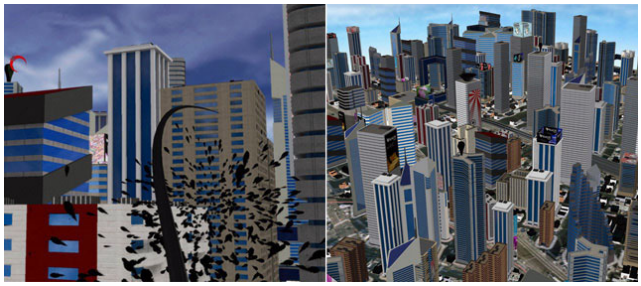


図 5　スクリーンショット
Screenshot.

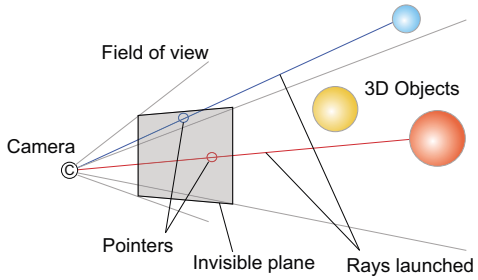


図 6　マルチポインタの概念図
Multipoints.

際の力覚提示に使用する．本デバイスは，スパイダーマン™ が糸を発射する動作を再現できるとともに，操作を容易にした．操作上において，ユーザが一旦目標となるビルにポインタを固定した後，別のビルに目標を変更する場合が考えられる．そこで，成人男性が軽く腕を振る程度の加速度値を参考に，Y 軸の加速度の実測値が 14.7m/s^2 以上でクモの糸が発射されるものとした．さらに，一度の移動でマップの端へ到達すると，連続で飛び回る動作を妨げる可能性が高い．そこで，マップの最長距離（1448）と取得される加速度データの最大値（128）を参考に，実装時の経験に基づきクモの糸の飛距離を加速度データの 6 倍とした．

圧力センサは，ユーザの姿勢を検知することで，前後左右の体重移動を判定し，仮想空間上での視点切換に用いる．圧力センサには，バランス Wii ボード™ を使用した．

4.4　映像と音響

映像投影には，短焦点のプロジェクタ（NEC WT610J）を用いて，張力提示システムの糸の映り込み防止や，ユーザが腕を振り体を前後左右に揺らす大きな動作に必要な操作空間の確保を行う．映像効果では，ブラーやフォーカス効果により，空中移動中のスピード感と，スピードが速くなるとともに，視野が狭くなる人間の視覚特性を再現している．仮想都市空間の構築には，高精細な建築物とテクスチャを用いており，リフレクションマッピングやシャドウマッピングなどの視覚効果を導入している．クモの糸の演出には，ウロコが飛ぶ効果や糸が弛みながら発射される演出を加えている．**図 5** に体験画面と仮想都市空間を示す．

音響効果には，仮想都市空間の環境音や空中移動中の風の効果音を用いている．環境音は，9 個の音響ボックスを仮想都市空間上に配置し，ある場所から他の場所へ移動すると異なる環境音に切換える．風の効果音は，一つの効果音をループ再生しており，ユーザのスピードに連動して風の効果音のピッチを上げることで音の変化を可能にしている．これらの併用効果により，ユーザへの没入感を演出する．

5.　テクニカルプログラミング

5.1　マルチポインタ

本 VR アプリケーションの開発環境（Virtools™4.0）では，複数のポインタを扱うコンポーネント（BB: Building Block）が存在しない．前述したように，ウェブシューターは両腕に装着し，画面上のポインタも二つ必要になるため，新たに BB を作成した．その概念図を**図 6** に示す．

現実空間の人間の目に当たる主観カメラを，透明なレイヤの直近に設置し，ポインタはそのレイヤ上に限定して移動する．すなわち，ポインタは画面に投影されている部分が可動領域となる．次に，目標とするビルにポインタを固定する．ここで，組込みの BB である Ray Intersection BB を用いて，3D オブジェクトの情報を取得する．この BB は，レイトレーシングと同様のメカニズムで光線を発射し 3D オブジェクトと交差した場合に，オブジェクト情報を取得できる．主観カメラからポインタに向けて光線を発射することで，交差した 3D オブジェクトの情報を取得し，ポインタを固定することで移動先の座標を決定する．以上の方法で，Virtools™ 上での複数ポインタの制御を可能にした．

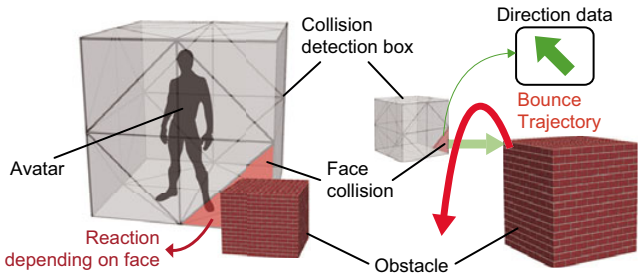


図 7　衝突判定モデル
Collision detection model.

5.2　衝突判定

衝突判定は，アバタ（ユーザが操作する対象）と移動先のビルとの間に障害物が存在する場合に必要である．組込みの BB では，視点切換に回転運動が加わる．回転運動は，映像酔いの一要因であるため [12]，新たに回転運動を含まない BB を作成した．**図 7** に BB の衝突判定モデルを示す．

アバタの周りに 48 の面（六面体の各面に 8 面ずつ）からなる箱を作成し，その箱を衝突判定に用いる．各面は配列として組まれ，各配列に 3 軸方向データが格納されている．衝突後の跳ね返りは，アバタの移動速度と衝突面の 3 軸方向データ，重力の 3 要素で決定される．図 7 での衝突面の場合，3 軸方向データは左上方向であり，初期の跳ね返り方向に設定され，跳ね返り距離は衝突時のアバタの速度で決定される．この時，アバタは回転せずに跳ね返る．以上の方法で，回転運動を含まない衝突判定を可能にした．

図 8　Laval Virtual 2010 での展示の様子
Exhibition in Laval Virtual 2010.

6. 展示と考察

6.1 対外展示

IVRC（International collegiate Virtual Reality Contest）2009 東京大会（4 日間，日本科学未来館，東京），いしかわ夢未来博 2009（3 日間，石川県産業展示会館，石川），インタラクション 2010（1 日間，学術総合センター，東京）および Laval Virtual 2010（5 日間，ラバル，フランス）にて展示を行った．国内展示でアンケート調査を行った人数が 206 名，海外展示の一般公開（2 日間）での体験者数が 259 名，国内外合わせて約 460 名以上が本作品を体験した．Laval Virtual 2010 での展示の様子を**図 8** に示す．

本作品で最も難しい操作は，空中で移動先のビルを変更することである．特に，体験型のゲームに不慣れな人や小さな子どもには困難な操作となる．そこで，難易度が高いと感じた人には，図 8 のように二人一組でそれぞれ片腕にウェブシューターと張力提示用の腕輪を装着し体験してもらった．この展示方法の利点として，一つの動作に集中することにより連続でビルを飛び回ることができる点，装着および説明時間の節約による展示効率の向上，体験者同士での操作方法の教え合いによる上達速度の向上が挙げられる．

6.2 アンケート調査による評価とその考察

3 度の国内展示において，本作品に関するアンケート調査を行った．回答者数は 206 名（女性 42 名，男性 153 名，不明 11 名）であり，アンケート内容は，5 段階評価（最大値 5，最小値 1）で七つの評価項目を設けた．**表 1** にアンケート内容（上表）と評価結果（下表）を示す．

下表の F_{Ave} が女性回答者の評価値平均，M_{Ave} が男性回答者の評価値平均，A_{Ave} が回答者全員の評価値平均である．また，本作品は性別年齢問わずに楽しめることを目指していることため，U 検定を用いて各評価項目における男女間の統計的検定値を算出した．下表の z と P がそれぞれ検定統計量と P 値を表す．なお，男女の評価値平均を比較し高い値を示す数字を下線で，有意水準 $\alpha = 0.05$ で有意差が見られた項目の P 値を太字で示している．全体では女性の評価値平均が高い値を示し，特に張力提示の項目で男女間に有意差が見られる．ただし，操作性の項目のみ男性の評価値平均が高く，男女間に有意差が見られる．つまり，女性は男性より本作品の操作が困難に感じられ，男性は女性より張力提示の強さを求めていることがわかる．さらに，本作品のエンタテインメント性と張力提示システムの有効性について評価するため，満足度，魅力度，張力提示の 3 項目で，年齢別の 100% カラムチャートと評価値平均の折れ線グラフを作成した．それらのグラフを**図 9** に示す．

表 1　（上表）アンケート内容，（下表）アンケート評価結果
(Upper)Questionnair items, (Lower)Evaluation results

No.	評価項目	質問内容
1	満足度	“スパイダーヒーロー” は楽しかったですか?
2	操作性	“スパイダーヒーロー” を快適に操作できましたか?
3	没入感	“ヒーロー” になったような気分を味わえましたか?
4	魅力度	“スパイダーヒーロー” をもう一度プレイしたいですか?
5	爽快感	空を飛ぶ爽快感は充分に感じられましたか?
6	張力提示	糸で引っ張られる感覚は充分に感じられましたか?
7	風覚提示	風が吹く感覚は充分に感じられましたか?

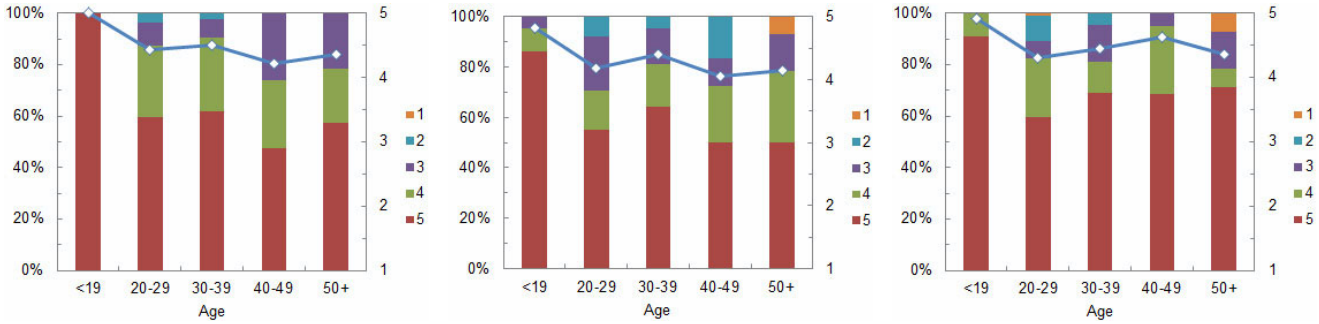
No.	1	2	3	4	5	6	7
F_{Ave}	4.6429	2.8810	3.4762	4.4524	3.9524	4.6190	3.8333
M_{Ave}	4.4575	3.2157	3.3750	4.2566	3.7105	4.4052	3.6144
A_{Ave}	4.4757	3.0728	3.3463	4.2878	3.7463	4.4369	3.6748
z	1.5216	3.3510	1.2081	1.8295	2.7058	1.6753	1.5661
P	0.1281	**0.0008**	0.2270	0.0673	**0.0068**	0.0939	0.1173

$\alpha = 0.05$

図 9 の主縦軸は，年齢別の回答された評価値が占める割合，第二縦軸は各年齢における評価値平均，主横軸は各年齢層である．なお，10 歳以下と 60 歳以上の回答者数が 10 名未満であったため，それぞれ 10 代と 50 代の年齢層のデータとして扱うものとした．図 9(a)，9(b)（満足度と魅力度）では，評価値が 4 または 5 を選択した回答者は，それぞれの年齢層で 70% 以上を占めている．年齢が高くなるに従い評価値平均は減少傾向にあるものの，20 歳以上の年齢層の評価値平均はほぼ横ばいである．これは，年齢を問わずに超人的な能力を使う疑似体験がユーザを楽しませており，本作品が高いエンタテインメント性を有していることを示す．図 9(c)（張力提示）では，約 80% 以上の回答者がフィードバックとして充分な強さの張力を感じており，全年齢層に対して適切な強さの張力を提示できていると言える．

7. むすび

本稿では，クモの糸による空中移動を体験できる VR 作品 “スパイダーヒーロー” について述べた．また，アンケート調査の評価結果より，満足度と魅力度の項目で幅広い年齢層から高い評価を得たことから，本作品は，高いエンタテインメント性を有しており，本研究の目的である「超人的な能力を使用する楽しさを提供すること」を達成できたと言える．張力提示の項目で高い評価を得ており，ゴム紐と空気圧，そして強度の高い筐体の特性を活かしたシステム設計により，国内外の展示でもトラブルが一切起こらなかったことから，ユーザが満足する張力を提示しつつ，堅牢性と安全性の高い張力提示システムを実現できたと言える．他にも様々なモダリティの追加が考えられるが，今後の課題としては浮遊感の提示が必要であると考える．なお，本作品は第 15 回学生 CG コンテスト（インタラクティブ部門）優秀賞を受賞し，芸術作品としても高い評価も得た．



(a) 満足度
Satisfaction.

(b) 魅力度
Attraction.

(c) 張力提示
Pull force.

図 9 年齢別アンケート評価結果
Evaluation results by age.

最後に，IVRC 実行委員会および文部科学省が実施する“組織的な大学院教育改革推進プログラム” の研究開発助成による支援に対して深謝する．

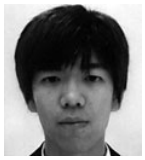
〔文　献〕

1) G.C. Burdea: ”Force and Touch Feedback for Virtual Reality”, A Wiley-Interscience Publication, (1996)
2) T.H. Massie and K.J. Salisbury: ”Phantom Haptic Interface: A Device for Probing Virtual Objects”, Proceedings of the 1994 International Mechanical Engineering Congress and Exposition, (1994)
3) 高橋誠史, 河原塚有希彦, 桑村宏幸, 宮田一乗: “UoQA：ジェスチャ認識と簡易なモーションベースを用いた VR アプリケーション”, 芸術科学論, **3**, 3, pp. 200–204, (2004)
4) 森博志, 白鳥和人, 星野准一: “トランポリンインターフェースを用いたウェルネスエンタテインメントシステム”, 日本 VR 学論, **15**, 3, pp. 369–378, (2010)
5) S. Hasegawa, Y. Dobashi, M. Kato, M. Sato, T. Yamamoto and T. Nishita: ”Virtual Canoe: Real-Time Realistic Water Simulation for Haptic Interaction”, Proceedings of SIGGRAPH2005, (2005)
6) A. Shirai, L. Dominjon and M. Takahashi, ”RoboGamer: Development of Robotic TV Game Player using Haptic Interface and GPU Image Recognition”, Proceedings of ACE 2005, (2005)
7) T. Amamiya, T. Maeda and H. Ando: ”Location-free Haptic Interaction for Large-area Social Applications”, Personal and Ubiquitous Compution, **13**, 5, pp. 379–386, Springer, (2009)
8) D. Koga and T. Itagaki: ”Virtual Chanbara”, Proceedings of SIGGRAPH2002, (2002)
9) 瀬崎勇一, 大内農, 櫻井快勢, 瀬井大志, 谷本隼飛, 溝口敦士, 宮田一乗: “Witch’s Cauldron:力覚インタフェースを利用した混ぜる VR アプリケーション”, インタラクション 2007 論文集, pp.73–74, (2007)
10) E. Sawada, S. Ida, T. Awaji, K. Morishita, T. Aruga, R. Takeichi, T. Fujii, H. Kimura, T. Nakamura, M. Furukawa, N. Shimizu, T. Tokiwa, H. Nii, M. Sugimoto and M.Inami: ”Byu-Byu-View: A Wind Communication Interface”, Proceedings of SIGGRAPH2007, (2007)
11) 小坂崇之: “WindStage (WindDisplay & WindCaemra)”, 芸術科学論, **8**, 2, pp. 57–65, (2008)
12) 氏家弘裕: “（第 20 回）映像酔い（知っておきたいキーワード）”, 映情学誌, **61**, 8, pp1122–1124, (2007)

石橋　賢 2011 年，北陸先端科学技術大学院大学知識科学研究科博士前期課程修了．同年，北陸先端科学技術大学院大学知識科学研究科博士後期課程入学．主として感性とメディア表現に関する研究に従事．

Toni Da Luz 2009 年，L’Ecole De Design Nantes Atlantique, Arts & Metiers ParisTech 卒業．現在，immersion（フランス）にて，VR インタラクションのためのハードウェア開発に従事．

Remy Eynard 2009 年，L’Ecole De Design Nantes Atlantique, Arts & Metiers ParisTech 卒業．現在，Interactive Agency（フランス）にて，ウェブサイトのデータ可視化などに従事．



北　直樹 2011 年，北陸先端科学技術大学院大学知識科学研究科博士前期課程修了．主としてコンピュータグラフィックスに関する研究に従事．

姜　南 2008 年，中国武漢市華中科学技術大学計算機工学部卒業．2009 年，北陸先端科学技術大学院大学知識科学研究科博士前期課程入学．主として画像処理に関する研究に従事．

瀬木　宏 2011 年，北陸先端科学技術大学院大学知識科学研究科博士前期課程修了．主として画像処理や Non-Photorealistic Rendering に関する研究に従事．

寺田　圭祐 2011 年，北陸先端科学技術大学院大学知識科学研究科博士前期課程修了．主としてプロシージャルモデリングに関する研究に従事．

藤田　恭平 2011 年，北陸先端科学技術大学院大学知識科学研究科博士前期課程修了．主としてコミュニケーション分析に関する研究に従事．

宮田　一乗 1986 年，東京工業大学大学院総合理工学研究科物理情報工学専攻修士課程修了．同年，日本 IBM （株）東京基礎研究所入社．1998 年，東京工芸大学芸術学部助教授．2002 年より，北陸先端科学技術大学院大学知識科学教育（現：ライフスタイルデザイン）研究センター教授．博士（工学）．コンピュータグラフィックスおよびデジタル映像表現に関する研究に従事．正会員．