

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 3 月 31 日現在

機関番号：13701

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2012

課題番号：22500504

研究課題名（和文）VRを利用した車椅子シミュレータの開発

研究課題名（英文）Development of Simulator for Wheelchair

using Virtual Reality Technology

研究代表者

山田 宏尚（YAMADA HIRONAO）

岐阜大学・工学部・教授

研究者番号：80240034

研究成果の概要（和文）：

車椅子で段差を乗り越える際、車椅子利用者が前輪を浮かせて移動する、いわゆるウィリー動作を安全に習得できる車椅子体験 VR シミュレータの開発を行った。

まず、車椅子のハンドリム部に力フィードバックが可能なように改良した車椅子シミュレータを用いて、揺動感覚と人の認知機能との関係および、車椅子の動作訓練への適用可能性について検証した。次に、ウィリー動作が出来るように装置を改良し、段差乗り越え実験を行った。その結果、ウィリー動作に対する車椅子シミュレータの訓練効果が確認された。さらに、仮想空間の効果的な提示法の検討および訓練状況に関する情報を提示画面に付加することで訓練効果の向上させることを目的として検討を行った。その結果車椅子シミュレータのユーザに、どのような視覚情報を提示すれば、訓練効果が高まるかについての有効なデータが得られた。

研究成果の概要（英文）：

In this research, a wheelchair simulator using a virtual reality (VR) technique was developed. The purpose of this study was to develop a system to evaluate a barrier-free environment for wheelchair users. As a first step of this research, the simulator system was improved to have a force feedback, and the real feeling in virtual space presented by the simulator system was verified. And the simulation by the motion equation and the validity of using the wheelchair simulator as an evaluation system were verified. Based on the results of the sensory evaluation, the simulator has efficacy as an evaluation system of a barrier-free environment for wheelchair users. Moreover we improved the simulator which can simulate "willie" action. In order to get over the steps, wheelchair users often have to do "willie", but learning this skill entails risk of falls. We made a simulator that can learn "willie" safely, but training time takes long. We could enhance the effectiveness of the simulator by using computer graphic indication.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2011年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2012年度	1,000,000	300,000	1,300,000
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学

キーワード：リハビリテーション科学・福祉工学

1. 研究開始当初の背景

高齢者・障害者のハンディキャップは多種多様であるが、現実には車椅子が使用される場合が多い。このことから、車椅子で自由に移動できる環境を整えることがバリアフリー化のひとつの目安となる。そこで、設備等の設計段階において、利便性を評価・検討することが重要となる。このような評価を行うための技術としてVR (Virtual Reality) が注目されている。また、VR 技術は福祉分野では、リハビリテーション訓練などにも多く用いられており、人工現実感におけるアミューズメント性やシミュレーション技術が非常に有効な手段であるといえる。

当研究室では、これまで建設機械の遠隔操作システムにVRを用いた研究、起立補助装置や、パワーアシスト装置などの福祉機器に関する研究・開発を行ってきた。また、船舶内のバリアフリー検討のためにコンピュータグラフィックス (以下CG) 映像および6自由度の揺動感覚のみを提示する簡易的な車椅子シミュレータを開発してきた。本研究ではこれらの研究を発展させ、車椅子シミュレータのハンドリムへの反力と、身体の動きに対する車椅子への圧力のセンシングと前輪のピッチ方向の揺動機構を付加することで、本格的な車椅子のシミュレーションが可能となるシステムの構築し福祉分野への応用をはかる。

2. 研究の目的

公共施設など、建築前の施設にバリアフリーの機能を持たせようとする場合、事前に十分な評価をすることは難しい。このような状況において、VR 技術を用いたシミュレータを用いて構想段階の施設等の利便性を評価できれば有用である。本研究では、まず車椅子の位置・姿勢が6軸揺動装置により提示され、ユーザがハンドリム (駆動輪握り) を駆動することでコンピュータグラフィックス (以下CG) で構築された仮想空間内を自由に動き回ることが可能にする車椅子シミュレータを構築し、揺動感覚と人の認知機能との関係を検証するとともに、車椅子の前輪を短時間、空中に持ち上げて移動するウィリー動作の訓練への適用可能性の検証を目的とする。

3. 研究の方法

(1) 実験システムの構築と数学モデル

本研究では手動車椅子を対象に揺動感覚と車椅子のハンドリムの力感覚を提示できるシミュレータを開発し、揺動感覚と人の認知機能との関係について検討した。

本システムの仮想空間提示部は、図1のように、仮想空間提示用コンピュータ (PC1)、

車輪が回転可能な車椅子、その車椅子の駆動輪に取り付けられたロータリエンコーダ、頭部搭載型ディスプレイ (HMD)、およびそれに取り付けられた3自由度角度センサから構成されている。また、揺動感覚提示部は、6軸揺動装置と制御用コンピュータ (PC2) から構成される。本システムに対して、ハンドリム部への力覚提示を可能にするため、車輪駆動用のサーボモータおよびトルクセンサを付加した。

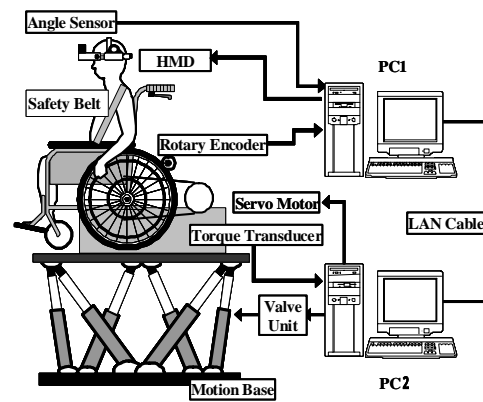


図1 実験装置

システムの中心となる仮想空間提示部では、ロータリエンコーダによって車椅子の駆動輪回転量を計測し、これに基づきPC1により車体の移動・旋回を計算し、そのデータから仮想空間内における車椅子の位置・姿勢の計算を行い、HMDに対応する周辺環境のCG映像を出力する。HMDに取り付けられた角度センサは頭部の回転角度を検出することができる。これにより視点の変更ができる。

そして、車椅子の姿勢データをPC1からLANケーブルを介し、PC2に送信する。PC2では、受信データを受け取り、そのデータを用いて揺動装置 (平行リンク型油圧6軸揺動装置) を駆動させることにより、操作者に姿勢情報を伝達する。同時に被験者がハンドリムを回したときのトルクをPC2で受信し、そのトルクに応じた回転速度命令でサーボモータ及び車輪を動作させることで、被験者は現実の車椅子ハンドリムを操作するのと同じ力覚を感じることができる。

上記のシステムを構築した後、まず、仮想空間上で車椅子の運動を実現するために必要となる数学モデルを導出した。数学モデルでは、車椅子と搭乗者の動的モデルを導き、これに基づき、駆動輪の回転量から車椅子の移動距離と旋回量を計算するものである。

(2) 揺動感覚と人の認知機能との関係

本システムの構築と動作検証の後、揺動感覚と人の認知機能との関係を検証した。具体的には角度を自由に変えられるスロープ上で車椅子の操作を行い、実際のスロープ角度と操作者が感じているスロープ角度の関係を明らかにした。

車椅子シミュレータの構築に際して、車椅子の傾きや揺動の感覚を呈示することは、路面状態の認識をうながすためにきわめて有効である。車椅子の姿勢を感じ取る感覚は、動的な揺動感覚と静的な傾斜感覚に分けてそれぞれについて検証をおこなった。

これにより本システムが提示する揺動感覚情報の有効性について検証し、情報の質という点においてその妥当性を示す。加えて仮想空間においては揺動感覚のみでなく、視覚を含んだ複合的な感覚の統合によって現実感が生み出される。そこで、感覚情報を統合した現実感という観点より本システムを実際の生活空間を VR により構築し、通常の車椅子の生活に相当する総合的な環境でシミュレータとしての有用性について評価する実験を行い、本シミュレータの妥当性を検証する。

(3) ウィリー動作の模擬

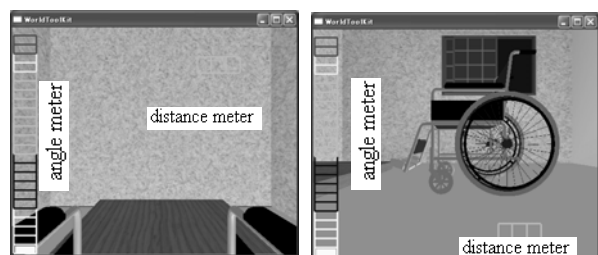
ウィリー動作が可能となるようシミュレータに新たな機構を追加し、段差乗り越えの訓練効果について検証した。既存の6軸揺動装置ではピッチ方向への応答速度が遅く傾斜角が小さいため新たに油圧ピストンを用いたピッチ方向の揺動を検討する。すなわち、揺動装置上部の車椅子の機構に対して傾斜感覚を与えるため、油圧シリンダによるピッチ揺動機構を取り付けた。また、座面と背もたれには操作者の上半身の動きをセンシングするための感圧センサを取り付けた。ウィリー動作では、素早くハンドリムを回転させると共に身体の重心をタイミング良く若干後方に移動させることにより、前輪を浮かせることができる。本シミュレータではハンドリムのトルクセンサと座面・背もたれの圧力センサから得られた情報に基づき、構築された数学モデルにより操作者を含む車椅子の挙動を計算し、油圧シリンダへの指令値を算出することで、ウィリー動作に相当する上下運動を模擬した。

本システムの構築後、まずハンドリムと身体の動きに応じた適正なピッチ運動が実現できるかについて実際の車椅子との比較に基づく基礎的な実験とその検証を行った。次に、妥当なシステムが構築できた後、ウィリー動作を用いた段差乗り越え実験を行った。実験では被験者を無作為に二つのグループに分ける。片方のグループにはシミュレータを用いてウィリーの訓練をしてもらい、もう片方のグループではウィリーの訓練を全く

しないでもらう。その後、実際の車椅子を用いてウィリー動作をしてもらい、その時の成功率を実験データとして取得した。この実験によりウィリー動作に対する車椅子シミュレータの訓練効果を評価するために必要なデータを取得した。

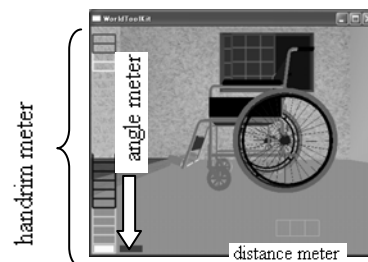
(4) 仮想空間の提示法の検討

本研究ではさらに、仮想空間の効果的な提示法の検討と訓練状況に関する情報を提示画面に付加することで訓練効果の向上を目指した。すなわち、車椅子のピッチ角に対応した情報を提示する角度メータと、ハンドリムに加えた力の情報を提示するハンドリムメータを作成し、被験者に提示する映像に付加した。



(a) 正面角度メータ

(b) 横角度メータ



(c) 横ハンドリムメータ

図2 操作者に提示するCG映像

実験では車椅子未経験の被験者に対し、図2に示す車椅子のコンピュータグラフィックス映像に車椅子の角度メータを付加した(a)正面角度メータ、(b)横角度メータ、(c)横ハンドリムメータの3つの状態表示メータのパターンを見せ、それぞれ訓練を行ってもらった。そして、それぞれに対し、訓練時間、試行回数、ウィリーの傾向、実際の車椅子での段差乗り越え成功率を計測し、評価した。

4. 研究成果

(1) 実験システムと数学モデルの検証

車椅子シミュレータに対し、車椅子のハンドリム部への力覚提示を可能にするため、車輪駆動用のサーボモータおよびトルクセンサを付加しその動作が良好に行えることを確認した。

本システムに対し、仮想空間上で車椅子の

運動を実現するために必要となる数学モデルを導出した。数学モデルでは、図3の模式図に基づいて車椅子と搭乗者の動的モデルを導き、これに基づき、駆動輪の回転量から車椅子の移動距離と旋回量を計算した。

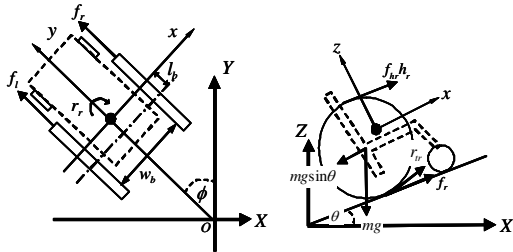


図3 数学モデルのための模式図

また、操作者が車椅子の左右駆動輪に対して与えたトルクから、車椅子の速度および旋回速度を求めた。その車椅子の速度および旋回速度より数学モデルに基づいて、左右駆動輪の角速度を計算した。これらに基づき車椅子車輪に直結されたサーボモータを駆動させることにより、操作者は実際の車椅子が動くときとおなじ力覚を得ることができる。加えて、車椅子の速度および旋回速度から仮想空間上の車椅子の位置をリアルタイムに計算することで、車椅子の位置を視覚により提示することができる。なお数学モデルの妥当性については、車椅子の運動の軌跡と移動速度を比較することで検証した。

図4に、車椅子の左車輪の上端におもり(2種類)を吊し、自然落下するときの車椅子の移動速度を示す。

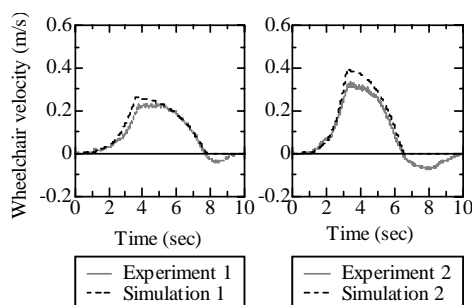


図4 車椅子速度の実験とシミュレーション結果

図4より、実験結果をシミュレーションで十分に再現できているといえる。よって、本研究で導出した運動方程式による車椅子の運動の妥当性が確認された。

(2) 揺動感覚と人の認知機能の検証

車椅子の傾斜実験により、車椅子における傾斜認知に関する平衡感覚、触圧覚、および力覚に関する検討を行い、これをふまえて本研究で構築したシステムの評価をした。

実験では、(a)揺動感覚提示装置のみを使用した場合、(b)力覚提示装置のみを使用した場合、(c)揺動感覚提示装置と力覚提示装置の両方を使用した場合において、スロープの上り下りおよびクランク型廊下の走行実験を行い。実測値と回答の差により、正確にスロープの傾斜角度を適正に認識しているかどうかを検証した。その結果、曲がり角、スロープとともに全体として現実空間と仮想空間のバリアフリー評価結果は同じ傾向が見られた。これにより、傾斜角度を認知するための情報提示に関する妥当性を確認できた。そして、システムが提示する情報を統合することで得られる現実感の評価においては、良好な現実感が得られることが確認できた。以上により本システムはバリアフリー評価システムとして、妥当な機能を備えているといえる。

(3) ウィリー動作の検証

車椅子シミュレータに図5のように油圧アクチュエータを用いてウィリー動作を可能とする新たな機構を追加した。

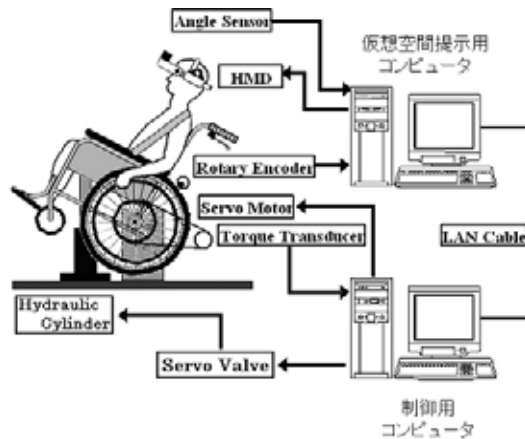


図5 ウィリー動作機能を付加した装置

そして、段差乗り越えの訓練効果について検証した。また、ハンドリムと身体の動きに応じた適正なピッチ運動が実現できるかについて実際の車椅子との比較に基づく基礎的な実験とその検証を行った。さらに、ウィリー動作を用いた段差乗り越え実験を行った。被験者は車椅子未経験者20名の内、シミュレータを使用するグループ10名(男性10名 平均年齢:21.9)、シミュレータを使用しないグループ10名(男性10名 女性1名 平均年齢:21.7)とした。図6はそれぞれのグループにおける成功率の平均を、図7

は試行回数ごとにおける成功率をグラフ化したものである。

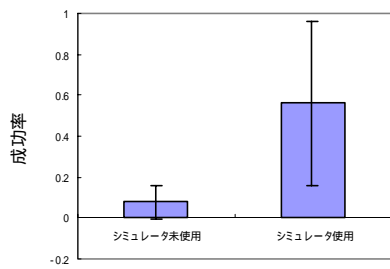


図6 成功率の平均

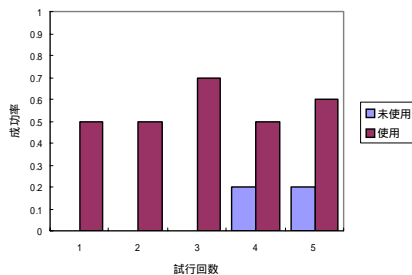


図7 試行回数ごとにおける成功率

図6より、車椅子シミュレータを使用したグループは未使用のグループに対してウィリー動作の成功率が約7倍となっていることがわかる。しかし、車椅子シミュレータを使用したグループではシミュレータにより訓練を行ったもののウィリー動作の成功には至らなかった者もいるなどばらつきは大きい。そこで、シミュレータを使用したグループと未使用のグループを母集団として t 検定を行った結果、両グループの平均に有意差が認められた。試行回数ごとのグループ別の成功率をグラフにした図7を見ると、シミュレータ未使用のグループでは、ある程度試行回数を重ねた後に成功例が見られる。これは、ある程度回数をこなして慣れてくることで恐怖心が薄まり、またコツを掴んだために成功に至ったものと考えられる。対して車椅子シミュレータを使用したグループでは、被験者はいずれも車椅子未経験者だったにも関わらず、シミュレータ未使用のグループでは全く成功の見られなかった、試行回数の早い段階でも成功率が高い。これは車椅子シミュレータを使用しなかったグループが実際の車椅子にて試行を重ねる内に獲得したウィリー動作への慣れやコツといったものとおおよそ同等のものを、シミュレータを用いて行った訓練で得られたためと考えられる。また、それは車椅子シミュレータを使用した被験者の感想として、「力の入れ方や体の使い方などといった動作のコツを掴むことがで

きた」という声が多く聞かれたことから、その妥当性が確認できる。

以上により、本研究で開発した車椅子シミュレータはウィリー動作習得に関して有効な訓練効果が得られることが確認できた。

(4) 仮想空間の効果的な提示法の検討

以上の研究により、シミュレータでの訓練効果が認められたが、映像の見づらさや訓練による疲労などの問題点があった。そこで本研究では、シミュレータ訓練時に被験者が見る映像パターンを複数用意し、どのパターンが最も効率よく訓練効果が得られるのか検証を行った。

実験では車椅子未経験の被験者 10 名に対し、3つの映像パターンを見せ、それぞれ訓練を行ってもらった。それぞれに対し、訓練時間、試行回数、ウィリーの傾向、実際の車椅子での段差乗り越え成功率を計測し、評価した。なお図2の(a), (b), (c)のパターンを、パターンA、パターンB、パターンCと呼ぶこととする。

図8に訓練に必要な時間を各映像パターンごとに示す。この図より、パターンA、B、Cの順に訓練時間が減少していることが分かる。

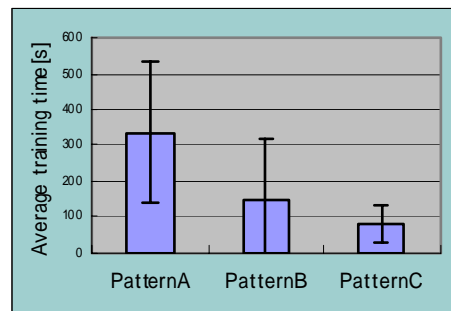


図8 練習時間の比較

t 検定を行った結果、パターンAとパターンCの間に、訓練時間においては危険率 1%で、試行回数においては危険率 5%で有意差が認められた。ハンドリムに加えた力と前輪の上がった角度の最大値をウィリー後に確認して振り返ることで、訓練者自身が失敗の原因を把握し、その点を意識しながら訓練できる。このため訓練時間の短縮および、訓練回数の減少に繋がったものと考えられる。以上より、パターンAよりパターンCの方が訓練効率が向上したことが確認された。図9にシミュレータでの訓練後に実際の車椅子に乗ってもらい、段差乗り越えをした際の成功率を示す。

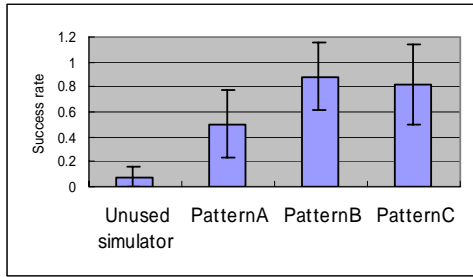


図9 ウィリー動作の成功率

t検定を行った結果、パターンAとパターンB,Cの間に危険率1%で有意差が認められた。横からの映像を見ながら訓練を行った方が段差を乗り越えるイメージが得られ易いため、訓練効果が上がったと考えられる。

以上より、横方向からの車椅子作業映像にハンドリムの操作力メータと車椅子の傾斜角度メータを付加したものが最も高い訓練効果が得られることが確認された。これにより、車椅子シミュレータのユーザに、どのような視覚情報を提示すれば、訓練効果が高まるかについての基礎的なデータが得られた。

しかし、長時間の訓練による疲労などの問題があり、訓練効率をさらに高める必要性が認められた。そこで、被験者が訓練を行う前に、ウィリー成功時の車椅子の動きと、その時の車椅子を動かすためのハンドリム操作や体重移動の仕方をシミュレータにより体験させることで、効率良く訓練が行えるシステムについても実験によりその有効性を検証した。本検討により、さらに実用的なシミュレータへの改善をはかるための指針を得た。このような車椅子シミュレータの訓練効果に関する研究事例は国内外でも殆ど見られず、価値のある研究を推進できたものと考えられる。また、本研究によって得られた結果により車椅子の操作スキルを安全かつ容易に習得するのに最適なシミュレータを開発でき、将来的には車椅子利用者の社会進出を支援していくことができるものと期待される。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計0件)

[学会発表](計2件)

飯田秀人, 近藤学, 川村拓也, 山田宏尚, VRの利用による車椅子体験シミュレータの開発, 日本機械学会東海支部第60期講演会, 豊橋技術科学大学, 2011, 168 (CD-ROM).

飯田秀人, 川村拓也, 山田宏尚, VRの利用による車椅子体験シミュレータの開発(操作訓練の効果についての検討), 第54

回自動制御連合講演会, 豊橋技術科学大学, 2011, 2 F205 (CD-ROM).

[図書](計0件)

[産業財産権]

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

6. 研究組織

(1)研究代表者

山田 宏尚 (YAMADA HIRONAO)

岐阜大学・工学部・教授

研究者番号: 80240034

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし