Vol.2018-EC-47 No.7
2018/3/16

風向知覚特性を利用したリダイレクテッド・ウォーキング手法

斉藤 佑祈[1,a)]　室崎 之典[1]　小野 龍一[1]　羽田 久一[1,b)]

概要：本研究では，RDW の新たな手法として風の刺激を用いた方法を提案した．
人の VR 空間内での歩行に風の刺激を与えて，RDW の実験を行った．被験者のほとんどが風の刺激があったほうが歩行が誘導される傾向があり，没入感が増すということがわかった．間接的な刺激のみで RDW が可能になったため，ユーザーの手や歩くコースの自由度が増し，今後の RDW を用いたコンテンツの幅が広がる．

キーワード：VR，風向知覚，RDW，風，MR

Redirected Walking Method Based on Perception Characteristics of Wind Direction

Saito Yuki[1,a)]　Murosaki Yukinori[1]　Ono Ryuichi[1]　Hada Hisakazu[1,b)]

Abstract: In this paper, we propose a new method for redirected walking using stimulation of wind. We investigate effects of wind from a fan for redirected walking in VR space. As a result, most of the subjects tend to be guided walking by wind stimulations. Our proposal makes redirected walking with only indirect stimulation from the wind. Therefore, a user could use their hands freely and could walk every direction. Also, it contributes new contents of VR space with redirected-walking.

1. はじめに

近年，VR の発展が盛んになりヘッドマウントディスプレイ (以下 HMD) とコントローラーの位置トラッキングが正確に行える様になった．それに伴い，仮想空間内での歩行が可能になった．さらに，物理スペースよりも大きい VR 空間を歩行できる技術，Redirected Walking（以下 RDW）を用いたコンテンツも増えてきている．東京大学大学院の廣瀬・谷川・鳴海研究室が制作した Unlimited Corridor[1] でもこの技術が応用されている．しかし，これらの研究では，ユーザーが歩く道やコンテンツの幅が限定されてしまっている．そこで，今までになかった手法で RDW を行い，より狭い空間で幅のあるコンテンツを体験できる方法はないか考えた．VR 空間において，体験者に多感覚刺激を与えることで空間内での没入感が増すことがわかっている [2]．体験者に多感覚刺激を与える方法として，視覚と聴覚に加えて触覚に刺激を与える様々な方法が提案されている．例えば，没入型 VR 環境のためのウェアラブル手首力覚提示デバイス [3] やスピーカーからの振動を用いて触覚効果を生み出すデバイス [4] などがある．これらのデバイスはユーザーの動きが拘束されるため，仮想空間内での自由度が下がってしまう．そこで注目されているのが，風を用いた触覚デバイスである．風は非接触で触覚刺激を与えることができるため，ユーザーの動きが拘束されにくい．ヘッドマウントディスプレイに装着し，風を提示できるデバイスとして，VaiR[2] や Ambiotherm[5] などがある．これらのデバイスは風源を 45 度間隔で配置したり，頭部前面のみに配置しているものが多い．そのため，人の知覚特性に基づいて風を提示しているのかは疑問が残る．そこで

[1] 東京工科大学 メディア学部
Tokyo Uniersity of Technology School of Media Science
[a)] m0114181cf@edu.teu.ac.jp
[b)] hadahskz@edu.teu.ac.jp

© 2018 Information Processing Society of Japan

風を触覚刺激に用いる場合にユーザーに対して正確な風向を提示するため，風が当たった時の感覚である「風覚」の知覚特性を測定した研究 [6], [7], [8] がある．これらの結果を参照し，風という触覚刺激を用いて，RDW を行う方法を調査する．

2. 関連研究

この章では，様々な手法で RDW を行っている研究や RDW が与える影響について調査した研究を挙げる．Frank らは，VR において仮想空間をユーザーが歩行している時に仮想視点を回転させ RDW を行った場合，ユーザーがどの程度が無意識にリダイレクトされるのかを調査している．[12] これは仮想空間と物理空間内でのユーザーの視点回転率や，歩行する経路の湾曲率を変化させて実験を行っている．被験者は，知覚している仮想空間の回転よりも約 49 %大きく，または 20 %少ない回転を行って物理的な方向転換を行っても気づかないということがわかった．また被験者が感じる歩行距離が 14 %縮小するということもわかっている．

Matsumoto らは，触覚を用いて、経路曲率を識別することにより、RDW の効果を改善する方法を提案している．[14] 視覚と触覚の組み合わせを使用することによって、視覚に対応するユーザーの固有感覚を変化させるため，実験では，歩行経路の横に被験者が手で触れながら歩くことのできる湾曲した壁を設置した．この壁の湾曲率を変化させ，湾曲操作による仮想空間への浸漬の効果や不快感を軽減するかどうかを調査している．結果は壁による触覚刺激が歩行経路の湾曲の知覚に影響を与え、物理スペースを節約する可能性を有することを示唆している．また触覚刺激により，不快な感覚を軽減する傾向にあることがわかった．

3. 風を用いた触覚刺激による RDW

我々は風を用いてユーザーに多感覚刺激を与える事で，コンテンツへの没入感が増し，RDW がより小さい範囲で可能になるのではないかと予想した．手による刺激や足裏への刺激で RDW を行っている研究もあるため，風も触覚刺激の一つとして作用すると考えた．また，間接的に触覚刺激を風で与えるため，ユーザーは手などを拘束されることはなく，コンテンツの幅が広がるのではないかと予想した．そして，風を用いることにより，コースに囚われることがないので，ユーザーの歩くコースが限定されないという利点もあり，コンテンツの自由度が増す．

4. 風を用いた RDW 実験の概要

我々は，風を用いてユーザーに多感覚刺激を与える事で，没入感が増し，RDW がより小さい範囲で可能になるのではないかと予想した．手による刺激 [15] や足裏への刺激 [17] で RDW を行っている研究もあるため，風も触覚刺激の一つとして作用するのではないかと考えた．本研究では HMD を装着し，ユーザーが進む道と風向が認識できる映像と音像が把握できる風の音をユーザーが視聴した状態で，風による触覚刺激を与えることで実際に RDW が可能かを調査した．ユーザーには VR 内の道を歩いてもらい，前面から頭部に風を当てた状態で RDW がどこまで高い精度でできているか実験を行う．

図 1　実験に用いた HMD
Fig. 1　The HMD used in the experiment.

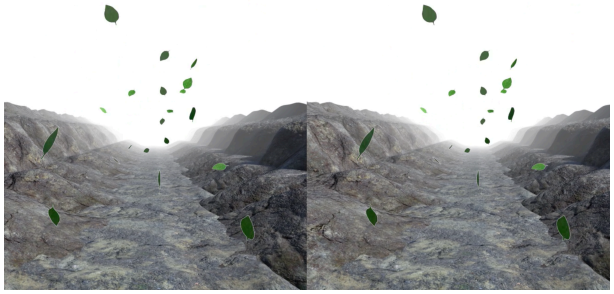

図 2　HMD で被験者に提示する映像
Fig. 2　Images to be presented to subjects with HMD.

被験者は図 1 のように HMD とイヤフォンを装着する．使用する HMD は Acer 社の Windows Mixed Reality を用いた．

HMD 内では図 2 のように空間内を大量の葉が一方向へ流れている映像を提示し，風向を認識できるようにした．さらに VR 空間内には道を配置し，被験者は道の真ん中に立っている状態に設定を行う．また，イヤフォンでは風源の方向に風の音源を配置することでステレオ音像が把握できるようになっている．被験者には，合図と共に VR 空間内にある道を進んでもらい，その歩行に合わせて RDW を行う．被験者には実験終了後に実験中の酔いや感覚についての簡単なアンケートに回答してもらう．

また，RDW の精度を高めるために風向を被験者に感じさせる必要がある．前回の報告 [13] で述べたように，人の頭部前面に風を当てる場合，図 3 のように正面を 0°としたとき，49°以下までは風向が前から来ていると被験者は感

© 2018 Information Processing Society of Japan

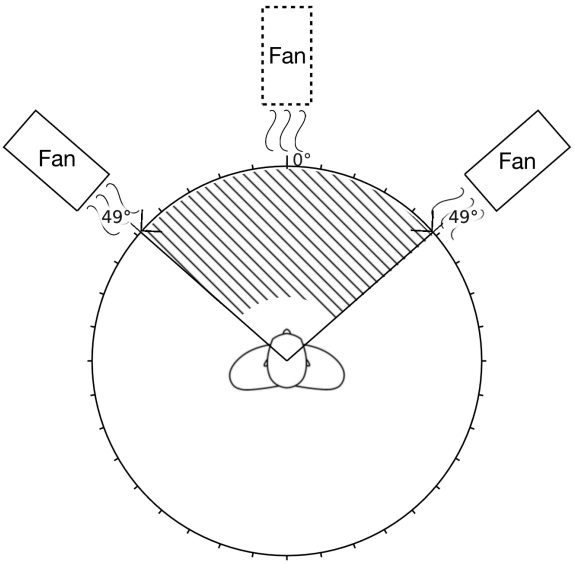

図 3　ファンの移動位置
Fig. 3　Fan movement position.

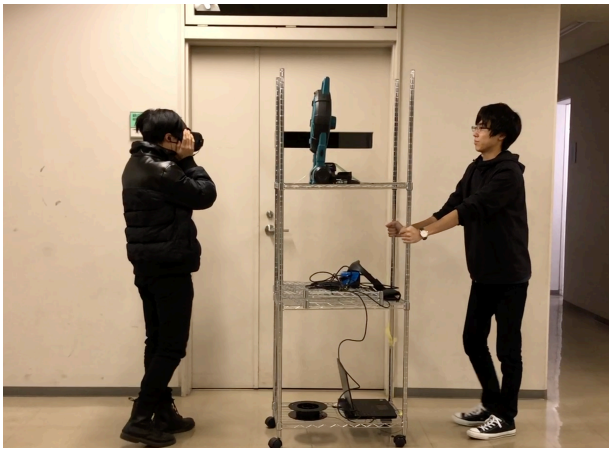

図 4　風を用いた RDW の実験風景
Fig. 4　Experimental scenery of RDW using wind.

じることがわかっている．そのため，風向のずれを被験者に感じさせないために，常に 49°以下の位置で送風する．

ヘッドマウントディスプレイに表示する映像に補正を加え、実際には曲がった通路を歩いているにもかかわらず、まっすぐ歩いていると感じさせる必要がある．この曲げる角度が大きすぎると，被験者が酔いを訴える可能性が高くなってしまうため，注意が必要である．実験中の風景は図 4 である．

5.　風を用いた RDW の実験

5.1　実験の流れ

風の刺激を与えて RDW が可能なのか調査するために実験を行った．まず，最初に被験者には実験の趣旨について詳しくは伝えず，HMD の映像に映っている道を真っ直ぐ歩いてくださいと伝える．被験者には，HMD を装着してもらい，風の刺激がない状態で歩行してもらう．次に，風の刺激がある状態でもう一度歩行してもらい，風がある状態とない状態の比較を行う．風の比較実験が終わった後には，RDW の誘導する角度を大きくしたものに映像を変えて実験を風の刺激のある状態で行う．誘導する角度の種類は，全部で 3 つ用意しており，最初から順に角度を大きくして実験を行っていく．実験は以下の実験 4 種類を行う．

(1) 風の刺激がない状態での RDW の誘導角度 (3°)
(2) 風の刺激がある状態での RDW の誘導角度 (3°)
(3) 風の刺激がある状態での RDW の誘導角度 (4°)
(4) 風の刺激がある状態での RDW の誘導角度 (5°)

誘導角度については，図 5 のように誘導角度 A の角度の大きさを変えていく．各実験ごとの誘導角度 A の角度の大きさは表 1 の実験番号の後に記す．

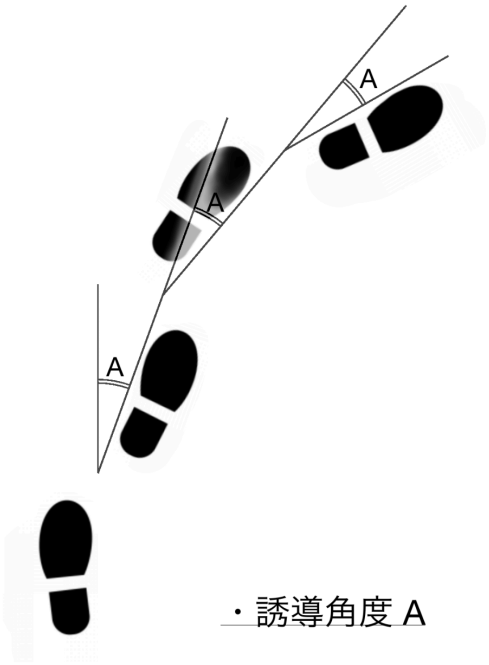

図 5　被験者の誘導角度
Fig. 5　Guidance angle of subject.

5.2　実験の結果

実験した 7 名の実験結果を各被験者ごとに表 1 に記す．結果は，まず実験を行った全ての人が実験 3 の誘導角度 4°の時に誘導された．その他の実験では，被験者の全てが誘導されることはなく，誘導されない被験者が存在する実験もあった．

6.　考察

まず，風の刺激の有無比較については，ほぼ全ての人が風の刺激があったほうが没入感があると答えていた．その

© 2018 Information Processing Society of Japan

表 1　RDW の成功率
Table 1　RDW success rate.

風覚	なし	あり	あり	あり
被験者	実験 1(3°)	実験 2(3°)	実験 3(4°)	実験 4(5°)
1	歩きにくい	誘導された	誘導された	誘導された
2	歩きにくい	誘導された	誘導された	誘導された
3	誘導された	誘導された	誘導された	誘導された
4	歩きにくい	歩きにくい	誘導された	誘導された
5	歩きにくい	誘導された	誘導された	歩きにくい
6	歩きにくい	誘導された	誘導された	歩きにくい
7	歩きにくい	誘導された	誘導された	歩きにくい

ため，RDW を行うにあたって，風を用いることは有用性があることがわかる．

実験終了後，被験者に自分が歩行した物理距離と仮想距離に違いがあったかのアンケートでは，違いがあったと回答する人が多かった．しかし，RDW に違和感を感じた人や，上手くいかなかった人は，没入感が少なかったため，物理距離と仮想距離が一致する傾向があった．しかし，どの被験者も思っていた以上に自身が曲がって歩行していたと感じており，ほとんどの被験者で RDW ができているということがわかる．

また，RDW の誘導角度については，表 1 より，RDW の誘導角度 (小) と誘導角度 (中) が誘導されやすいという結果が多かった．そのため，被験者の違和感を少なく，より小さい範囲で RDW を行うには誘導角度 (中) が適していることがわかった．

また，実験中に実験を行っていた部屋では RDW が収まらないということが何度かあった．この原因として考えられるのは被験者の歩行コースや歩幅の影響である．風を用いた誘導だと，被験者が歩行コースや歩幅を限定することが難しいため，このような結果になったと思われる．この問題の解決策として，歩幅を小さくするために，HMD 内の映像を恐怖心を感じるようなコンテンツにする方法が考えられる．このコンテンツにより，被験者の歩幅を縮小することができるため，より小さい範囲で RDW ができる．

風を用いた場合，VR 酔いに関しては全ての人が酔いはなかったと回答しているため，RDW で起こる VR 酔いは風を用いることによって軽減されていることがわかる．

RDW の誘導する角度を 3 種類に分けて実験を行ったが，アンケートの結果では，2 回目に行った角度が違和感がないという結果になっている．また，最初に行った風の刺激がない状態の RDW では，どの被験者も違和感があると答えており，風の刺激がある場合と無い場合で有意差があることがわかった．

7. まとめ

HMD を装着し，風向が認識できる映像と音像が把握できる風の音をユーザーが視聴した状態で風による触覚刺激を与え，RDW を行うことが可能なのか実験を行った．実験は以下の実験 4 種類を行った．

(1) 風の刺激がない状態での RDW の誘導角度 (3°)
(2) 風の刺激がある状態での RDW の誘導角度 (3°)
(3) 風の刺激がある状態での RDW の誘導角度 (4°)
(4) 風の刺激がある状態での RDW の誘導角度 (5°)

結果は，ほとんどの被験者が風による刺激があるほうが違和感を感じることが少なく，誘導されやすいということがわかった．このことから，風の刺激がある場合と無い場合で行う RDW には有意差があることがわかった．また，RDW の誘導角度については，RDW の誘導角度 (小) と誘導角度 (中) が違和感が少ないという解答が多かった．そのため，被験者の違和感を少なく，より小さい範囲で RDW を行うには誘導角度 (中) が適していることがわかった．

RDW の誘導範囲の大きさに関しては，風の刺激による誘導だけでは被験者の歩幅や歩行コースを限定することができず，被験者によってバラバラだった．被験者の歩幅を小さくすることで誘導範囲エリアの大きさはかなり小さくなるということもわかった．被験者の歩幅を小さくする方法としては，VR コンテンツを恐怖心を与えるものに変更することで，進行速度が遅くなりより小さい範囲で RDW が可能になると考えられる．

風を用いてユーザーに多感覚刺激を与えることで，違和感なく RDW を行うことができた．間接的な刺激のみで RDW が可能になったため，ユーザーの手や歩くコースの自由度が増し，今後の RDW を用いたコンテンツの幅が広がると考えられる．

参考文献

[1] 松本 啓吾, 鳴海 拓志, 簗瀬 洋平, 伴 祐樹 : *Unlimited Corridor*, 入手先 ⟨http://www.cyber.t.u-tokyo.ac.jp/ matsumoto/unlimitedcorridor.html⟩(2016).
[2] Michael Rietzler,Katrin Plaumann,Taras Kraenzle,Marcel Erath,Alexander Stahl,Enrico Rukzio : *VaiR: Simulating 3D Airflows in Virtual Reality*, CHI 2017, May 611, 2017, Denver, CO, USAs.
[3] 永井 一樹，田上 想馬，赤羽 克仁，佐藤 誠 : 没入型 *VR* 環境のためのウェアラブル手首力覚掲示デバイス，エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2015 論文集 p.365-371.
[4] Ali Israr, Zachary Schwemler, John Mars, Brian Krainer: *VR360HD: A VR360° player with enhanced haptic feedback*, The ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology (VRST) 2016
[5] Nimesha Ranasinghe,Pravar Jain,Shienny Karwita,David Tolley,Ellen Yi-Luen Do : *Ambiotherm: Enhancing Sense of Presence in Virtual Reality by Simulating Real-World Environmental Conditions*, CHI 2017, May 611, 2017, Denver, CO, USAs.
[6] 中野 拓哉，佐治 翔太，吉岡 有哉，河地 祐樹，柳田 康幸 : 単発のファンを用いた人の頭部前面における風向知覚特性の測定，日本バーチャルリアリティ学会論文誌 Vol.18(2013)No.1 p.37-44.

© 2018 Information Processing Society of Japan

[7] 中野 拓哉，柳田 康幸：人の頭部側面における風向知覚特性の測定，電子情報通信学会技術研究報告：信学技報 115(245), 123-126, 2015-10-08.
[8] 中野 拓哉，柳田 康幸：人の頭部背面における風向知覚特性の測定, 電子情報通信学会技術研究報告：信学技報 116(245), 93-96, 2016-10-13.
[9] Cardin Sylvain，halmann Daniel，Vexo Frederic：*Head Mounted Wind*, proceeding of the 20th annual conference on Computer Animation and Social Agents (CASA2007) p.101-108.
[10] FEELREAL, Inc.：*FEELREAL VR Mask & NIRVANA VR Helmet*, 入手先 ⟨http://feelreal.com⟩ (2017).
[11] 中野 拓哉，佐治 翔太，柳田 康幸：頭部前面における風覚の水平角分解能の測定—心理物理学測定法を用いた丁度可知差異の計測—, 日本バーチャルリアリティ学会研究報告 Vol.16(2011)CS-3 p.51-52.
[12] 中野 拓哉，吉岡 有哉，佐藤 佑二，柳田 康幸：頭部に対する均一な風提示を目的とした風源の構成と風速分布の測定, 電子情報通信学会技術研究報告 Vol.112(2012)，112，p.123-124.
[13] 斉藤 佑祈，室崎 之典，小野 龍一，中野 亜希人，羽田 久一：ヘッドマウントディスプレイを装着した状態での風向知覚特性の測定, エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2017 論文集, 138-144, 2017-09-09.
[14] Frank Steinicke，Gerd Bruder，Jason Jerald，Harald Frenz，Markus Lappe：*Estimation of Detection Thresholds for Redirected Walking Techniques*, IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, pp. 1727, 2010.
[15] Keigo Matsumoto，Yuki Ban，Takuji Narumi，Tomohiro Tanikawa，Michitaka Hirose：*Cur-vature manipulation techniques in redirection using haptic cues*, IEEE Symposium on 3D User Interfaces 2016, pp. 1920, 2016.
[16] 小坂崇之，宮下芳明，服部進実：没入型三次元風覚ディスプレイの開発と評価,
[17] 中垣内千晶，橋本康弘，岡瑞起，加藤和彦：*VR* と足裏触覚を用いたアテンション操作によるリダイレクテッド・ウォーキング, The 31st Annual Conference of the Japanese Society for Artificial Intelligence, pp. 1G3-3, 2017.
[18] ADORES,Inc：*VR PARK TOKYO*, 入手先 ⟨http://www.adores.jp/vrpark/⟩(2017).
[19] GORE-TEX：*CROSSOVER-SKY WALK*, 入手先 ⟨http://gore-tex-x-over.jp⟩(2015).
[20] 株式会社コーエーテクモウェーブ：*VR SENSE*, 入手先 ⟨https://www.gamecity.ne.jp/vrsense/⟩(2017).

© 2018 Information Processing Society of Japan