

Fig. 7 Passage models with obstacles(dashed line) and corresponding potential field, and bright point be virtual movement point

は目隠した状態で5分間に本インタフェースを4種類の通路モデルに対して操作しながら区別するという練習を行なった。その後、目隠した状態で4種類の通路モデルをランダムに変えて、それぞれ3回の計12回どの種類であるかを答える実験を行なった。この実験結果をTable 1に示す。

この結果において、全体の正答率は91.6%であった。結果を見ると、被験者2のように勘違いがなかなか正されないと、続けて誤答を示す場合があることが認められる。さらに、誤答の例を見ると、前方の壁があるか否かで誤っており、左右の壁に関する誤りはなかった。このことを被験者に問診すると、前方よりも左右に注意を強く払いすぎて前方に注意が向かず誤認識したとの回答を得た。前方よりも左右に注意がより向くのは、実験の歩行環境設定として前方よりの障害物(人や自転車など)が現れないことが暗黙のうちに前方への注意意識レベルを低下させたことと、この状態は一般の人間の通路歩行における通常の注意行動¹⁸⁾であり、誤認識はこれが行き過ぎたためと考えられる。

5.2 通路での歩行実験

提案するインタフェースを搭載した歩行器のプロトタイプ

Table 1 List of correct rate

subject	Number of correct answers	Examples of erros
1	12/12	
2	8/12	(b) ⇒ (a), (b) ⇒ (a) (b) ⇒ (a), (c) ⇒ (d)
3	11/12	(d) ⇒ (c)
4	12/12	
5	12/12	

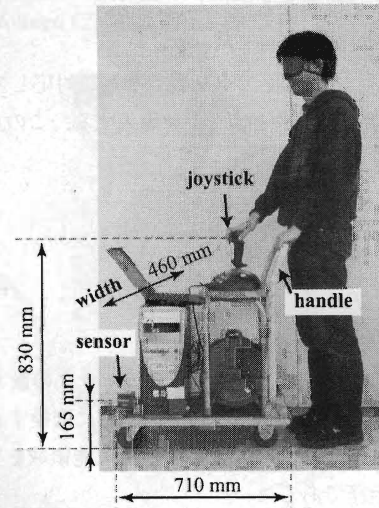


Fig. 8 Prototype of HESW

をFig. 8に示す。これを目隠した被験者が使用する。センサの設置高は165 mm、水平設置しており、設置高での水平面状に障害物検知が行なえる。また、障害物可能検出領域はセンサの有効検出距離と同じ $R = 3m$ 、ほかのパラメータ値は5.1節と同じ値を使用した。被験者が通路形状の事前知識をもたない通路(Fig. 9)での歩行実験を行なった。ただし、事前に5.1節の実験を行ないインタフェース使い方の練習は行なった。

実験開始に先立って、被験者は通路の右端に誘導されて停止する。壁からの距離は被験者の手が届く距離とした。実験開始の合図とともに、1~2秒間ジョイスティックを操作した後歩行を開始した。歩行するにつれて、環境情報を再認識するために、たびたび1~2秒間停止してはジョイスティックを操作する状況が観測された。そのときのようすをFig. 10に示す。環境情報の確認を繰り返しながら、実験通路を障害物に衝突することなく歩行することができた。なお、Fig. 10(a)から(c)に示す歩行距離約5 mを約8秒で歩行し、これは高齢者の歩行速度に相当するものである。しかも、多くの被験者が安全と思われる壁からの距離とは手が届かない距離であり、これを保ちながらの歩行を実現できた。この実験の後に、被験者に目隠した状態で環境を認識できたか否かの問診に対して、ほぼ認識できたとの結果を得た。

つぎに、狭い通路での実験を行なった。このとき、日本の家屋では90cm幅通路が多いため、Fig. 11(a)のような通路環境を設け、これに対する実験の1シーンをFig. 11(b)に示

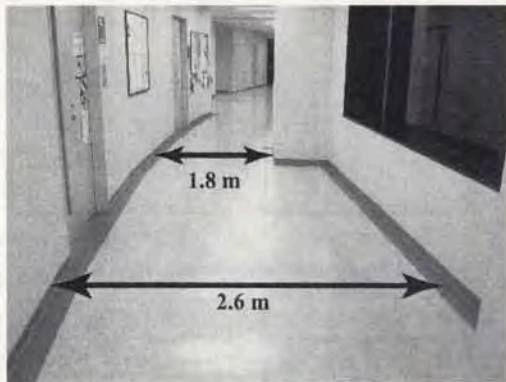
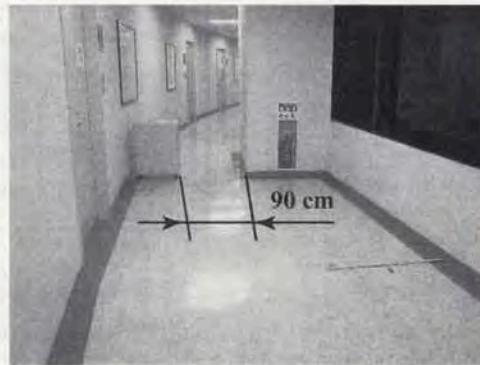


Fig. 9 Test passage



(a) Passage of 90cm width



(b) Momentary scene where subject passed passage



Fig. 11 Walking experiment for narrow passage



(b) Recognize the pillar and both side walls



(c) Recognize passage

Fig. 10 Walking experiment by blindfold subject

す。実験では、Fig. 9の通路のときよりゆっくりした歩行であったが、通路のほぼ中央を意識的に選んで通過できた。これらの実験後に、被験者に問診すると、左右に相應の注意を

払っているため左右の障害物環境を認識しているという自覚があったが、前方に何も障害物を感じなかったのが少しばかりの不安を感じた、との結果を得た。これについて、健常者の視覚ではダイナミックレンジが広い(10cm~10m以上¹⁵⁾)ため、視覚によりFig. 11(a)のような通路環境は一瞥するだけで全体を認識できる。一方、提案システムが面認識であることに加えて、用いたセンサのレンジが3mであるため目隠しした被験者が本システムを用いても3m以上の前方に何があるかを認識できないためといえる。

5.3 メンタルマップの評価

前節の実験において、面認識の情報が被験者のメンタルマップ形成にどのような影響を与えたかを知ることは重要なことと考える。このことを知るために、Fig. 12(a)に示すように、ダンボール箱で通路を構築した。この見取り図(Fig. 12(b))に示す。この通路を被験者が提案する歩行器を用いて歩行し、その後に被験者がイメージした通路のスケッチを行なう実験を行なった。この実験において、歩行器が通った経路の計測は、Fig. 12(a)の天井に設置したHiBall-300(3rd Tech, Inc.¹⁹⁾、位置誤差0.4mm RMS、サンプリング周波数1 kHz)により行なった。被験者に先見情報を与えないようにすることを前提として、実験条件を以下のようにおいた。

- 通路幅は1.2mと0.9mの2種を用意した
- 被験者は6人の理工系学生(男女、20~25歳)
- 本実験前に歩行器の使用法を説明させ、5.1節に示した

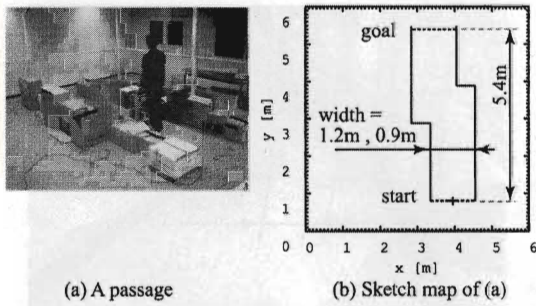
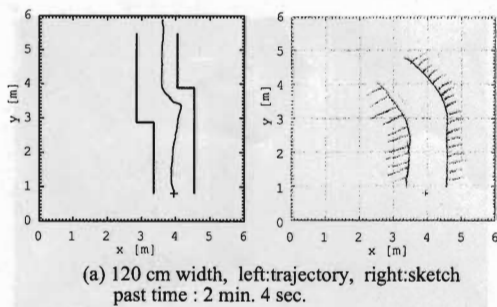
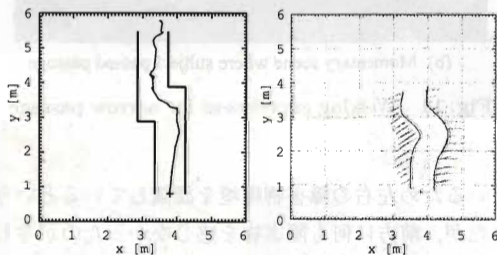


Fig. 12 Experiments for investigating mechanism generating mental map



(a) 120 cm width, left:trajectory, right:sketch
past time : 2 min. 4 sec.



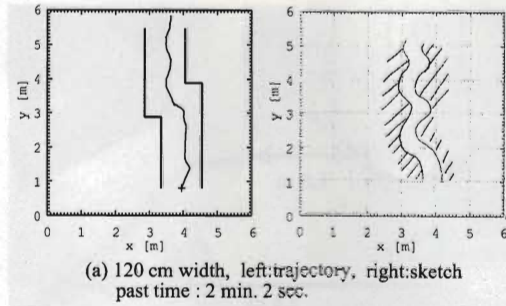
(b) 90 cm width, left:trajectory, right:sketch
past time : 3 min. 51 sec.

Fig. 13 Results of subject I

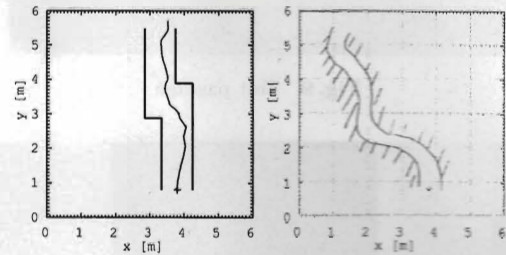
ような使用練習を事前に数分間行なう

- 通路通行中、被験者はアイマスクを着用して視界を遮った
- 通路のスケッチを終えるまで、被験者には通路を見せず、また、その情報も一切知らせない
- スケッチが終わるまで、被験者相互が一切の情報交換をしない
- スケッチのため、通路歩行中になるべく周辺の状況を探るように指示した

実験では、全員が側壁に衝突することなく通過できた。代表的な結果を示した被験者 I, II の実験結果を Fig. 13, 14 に示す。両方の結果とも、通路がいったん左折することの認識ができていたことが認められる。また、Fig. 13(a) を除いて、道が左折のみならず、右折もありうるという結果が示されている。被験者に対する問診より、Fig. 13(a) は、道幅が広かったため、進行方向が道の真ん中を通れば障害物がないと認識したため、スケッチでは左折が一度だけと被験者は認識したようである。さらに、Fig. 14 を見ると、実験条件の中の周囲状況をよく探るといふ指示に影響されたほかに、Fig. 1(b)



(a) 120 cm width, left:trajectory, right:sketch
past time : 2 min. 2 sec.



(b) 90 cm width, left:trajectory, right:sketch
past time : 2 min. 39 sec.

Fig. 14 Results of subject II

で述べたように、見えない領域（左折角の奥部分）への不安感から、右左折を繰り返したとのことである。しかし、メンタルマップからは、定性的に道はおおまかに左方向に傾いていることを認識できていることが認められる。この傾向はほかの被験者の実験結果でも認められた。文献 13)~15) でも述べられているように、メンタルマップは、抽象画となりやすいものであるため、認識対象の性質の定量的には一致しないことが一般的で、定性的な性質が反映される。この知見に照らし合わせれば、大まかな方向性を表現できているという点で本システムがメンタルマップの形成に役立っているものと考えられる。すなわち、通路認識の大層感（大層感）はメンタルマップを用いて認識できるため安心感に寄与でき、障害物に近接するという局所性では、フォースフィードバックが強く働くため安全性は保たれる。

6. おわりに

提案するハプティックインタフェースは、ユーザの周辺にある障害物に関し面状に環境認識できるもので、この点で従来の線認識するという点で異なる。このインタフェースを使うと、目の不自由な被験者は手の力覚を通して環境認識を行なえ、心のイメージとして環境情報を認識できるため、安心感を抱くことができる。しかも、手の力覚という知覚に訴えるインタフェースのため、ユーザはおおよそ分間の練習でインタフェースの修得と環境認識をおおよそ行なえることが実験で確認でき、被験者は 20 代学生であったが、使いやすしいインタフェースといえる。

通路モデルでは誤認識が一部の被験者にあったが、センサの探索レンジを伸ばすと共に手への力覚の分解能を高めれば解決できるものと考えている。この成果を踏まえ、実際に 90cm

という狭い通路を目隠しして通路の中央を意識的に選んで安全に歩行できることの確認も行った。

今回のインタフェースはプロトタイプのため、今後は、ダウンサイジング、軽量化、グリップ形状の改善などを行なうと共に一般の歩行環境を勘案して前後から移動する障害物が現れる状態でも適用可能にすることと、前遠方の検知能力を高めるシステムに発展させる予定である。さらに、今後は、SLAM²⁰⁾のような既存のマッピング技術との融合を図ることにより環境認識力を高め、また高齢者での臨床実験を実施し、その知見を生かして、高齢者が簡単に使える真に人に優しいインタフェースを構築する予定である。

最後に、東京工科大学大学院生齋藤将人氏(現在、ソニー・エナジー・デバイス(株))の多大な研究協力に感謝する。

参考文献

- 1) 松永俊雄: 高齢者の高度活動を支援する高度インタフェースの展望, SICE SI 部門講演会 (CD-ROM) (2004)
- 2) 高齢者の困っていること事例収集報告, (社) 人間生活工学研究センター (2002)
- 3) S. Dubowsky, F. Genot, S. Godding, H. Kozono, A. Skwersky and H.Y. Yu: PAMM - A Robotic Aid to the Elderly for Mobility Assistance and Monitoring - A Helping-Hand for the Elderly, IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), 570/576 (2000)
- 4) G. Wasson, J. Gunderson, S. Graves and R. Felder: An Assistive Robotic Agent for Pedestrian Mobility, International Conference on Autonomous Agents, Proc. of the fifth international conf. on Autonomous Agents, 169/173 (2001)
- 5) G. Wasson, P. Sheth, M. Alwan, K. Granata, A. Ledoux and C. Huang: User Intent in a Shared Control Framework for Pedestrian Mobility Aids, IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robotics and Systems (CD-ROM) (2003)
- 6) A.J. Rentschler, R.A. Cooper, B. Blasch and M.L. Boninger: Intelligent walkers for the elderly: Performance and safety testing of VA-PAMAID robotic walker, Journal of Rehabilitation Research and Development, 40-5, 423/432 (2003)
- 7) S. Shoval, I. Ulrich and J. Borenstein: NavBelt and the GuideCane, IEEE Robotics and Automation Magazine, 9/20 (2003)
- 8) 原, 平田, 小菅: パッシブ型知的歩行支援システム RT Walker の環境適応型運動制御, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演論文集 (CD-ROM) (2004)
- 9) 阿部, 濱上, 小畑, 平田: ティーチングと Q 学習を併用した知的車椅子の自律走行, 電気学会論文誌 D, 123-D-11, 1384/1385 (2003)
- 10) 坂口, 鹿糠, 高地, 橋元: 前腕の回旋を用いた力覚提示システムの開発および歩行誘導制御, 第 8 回ロボティクスシンポジウム, 124/129 (2003)
- 11) H.R. Everett: Sensors for Mobile Robots Theory and Application, A K Peters, Ltd. (1995)
- 12) O. Khatib: Real-Time Obstacle Avoidance for Manipulators and Mobile Robots, The International Journal of Robotics Research, 90/98 (1986)
- 13) 村田厚生: 認知科学—心の働きをさぐる—, 11,12 章, 朝倉書店 (1997)
- 14) 島山卓朗: 障害者の生活を支援する電子情報技術とその実用化に関する研究, 名古屋大学大学院院論文 (2001)
- 15) R. Enoka: Neuromechanics of Human Movement, Human Kinetics (2002)
- 16) S. Appelle: Haptic perception of form, Activity and stimulus attributes, The Psychology of Touch (edited by M. Heller and W. Schiff), Esd. Lawrence Erlbaum Associated Inc., 169/188 (1991)
- 17) S.C. Wei, Y. Yagi and M. Yachida: On-line Map Building Based On Ultrasonic and Image Sensor, IEEE Int. Conf. on Systems, Man and Cybernetics (SMC), 2, 1601/1605 (1996)
- 18) 佐々木, 三嶋: アフォーダンスと行為, 金子書房 (2001)
- 19) <http://www.3rdtech.com/HiBall.htm>
- 20) <http://www.acfr.usyd.edu.au/projects/research/navigation/slam/>

[著者紹介]

橋本 洋志 (正会員)



1988年早稲田大学大学院理工学研究科博士後期課程単位取得後退学。同年4月早稲田大学工学部助手, 90年東京工科大学専任講師, 95年助教授, 現在に至る。バイオロボット, サイバネティックインタフェース, デジタル空間, 福祉工学に従事。工学博士, IEEE, 電気学会, 電子情報通信学会, 日本ロボット学会などの会員。

松永 俊雄



1965年東北大学工学部通信工学科卒業。同年4月日本電信電話公社(現在NTT)に入社。電気通信研究所データ処理方式研究室長, 情報通信処理研究所専用システム研究部長, 研究企画部長, 主席研究員を歴任。93年4月東京工科大学教授。工学博士。主に大型コンピュータの方式研究・実用化に従事。IEEE, ACM, 情報処理学会などの会員。

佐々木 智典



2005年東京工科大学卒業。同年同大学大学院博士前期課程進学。群ロボット, 生体インタフェースを用いたコミュニケーションの研究に従事。

石井 千春 (正会員)



1997年上智大学大学院理工学研究科博士後期課程修了。同年4月~2002年3月足利工業大学機械工学科勤務, 2002年4月~2005年4月工科大学工学部国際基礎工学科講師, 助教授, 2006年4月同大学グローバルエンジニアリング学部機械創造工学科助教授兼任, 現在に至る。ロボスト制御理論およびそのロボットへの応用, 医療福祉機器の研究に従事。博士(工学)。IEEE, 日本ロボット学会, 日本機械学会, 電気学会などの会員。