

修士論文

複数経路上を歩行移動可能なテレプレゼンス
システムにおける違和感の低減に関する研究

和田 浩明

2006年2月2日

奈良先端科学技術大学院大学
情報科学研究科 情報システム学専攻

本論文は奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科に
修士(工学)授与の要件として提出した修士論文である。

和田 浩明

審査委員： 横矢 直和 教授 (主指導教員)
千原 國宏 教授 (副指導教員)
山澤 一誠 助教授 (委員)

複数経路上を歩行移動可能なテレプレゼンス システムにおける違和感の低減に関する研究*

和田 浩明

内容梗概

遠隔地での事象を没入感の高い画像提示装置などを用いて体験するテレプレゼンス技術は、娯楽、教育、医療などの分野への応用が期待される。本研究の目的は、遠隔地における複数の経路上を歩行移動する感覚を再現するテレプレゼンスシステムの構築手法を確立することである。本研究では、全方向型の歩行装置上において利用者の歩行移動量を検出及び相殺し、これに応じて全方位マルチカメラシステムにより取得された画像を没入型ディスプレイに提示することで、歩行移動中の視界を再現する。このようなシステムでは、一般に利用者の仮想視点の移動範囲が動画像の撮影経路上に制限されるため、(1) 仮想環境中の進行可能な方向や異なる経路の交差位置を利用者が把握できずスムーズな移動が困難となる、(2) 利用者の歩行移動量と仮想視点移動量の不一致により臨場感が損なわれる、という2つの問題が生じる。本研究では、撮影経路の把握の問題(1)に対して、経路の方向や交差位置といった経路情報を提示画像上に重畳表示し、利用者を移動可能な方向に誘導することで解決を図る。移動量の不一致の問題(2)に関しては、違和感の少ない仮想視点位置の決定手法を実験的に明らかにし、これを用いる。本論文では、これらの違和感の低減手法を利用して構築したプロトタイプシステムを用いた被験者実験により提案システムの有効性を示す。

* 奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 情報システム学専攻 修士論文, NAIST-IS-MT0451126, 2006年2月2日.

キーワード

テレプレゼンスシステム, 歩行感覚, 違和感の低減, 没入型ディスプレイ, 歩行装置

Reduction of Unnatural Feeling in a Telepresence System that Provides Multiple Walk-through Routes*

Hiroaki Wada

Abstract

Telepresence systems which allow us to experience a remote site virtually are expected to be used in a number of fields such as entertainment, education and medicine. This paper describes a method to reduce unnatural feeling of a telepresence system in which a user can walk multiple routes virtually. The system which is used in this research has good features that high-resolution and wide field-of-view images are presented on an immersive display and view point of a virtual scene can be changed by the user's locomotion detected on an omnidirectional treadmill. However, in this system, there were two problems caused by the limitation of the movable area of the virtual view point. One is that it is difficult for users to move smoothly because they do not have the knowledge of the movable direction and crossing position of different routes. The other is that users feel unnatural sense due to a gap between user's walking distance in a real and a virtual scene. In this research, for the former problem, signs for route information are overlaid on the presented real images. For the latter problem, the way for determining virtual view point is decided experimentally to reduce unnatural feeling of the user. In this paper, a prototype system using these methods

* Master's Thesis, Department of Information Systems, Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology, NAIST-IS-MT0451126, February 2, 2006.

is developed and subjectively evaluated to show the availability of the proposed method.

Keywords:

telepresence system, sense of walking, reduction of unnatural feeling, immersive display, treadmill

目次

1. はじめに	1
2. テレプレゼンスシステムに関する従来研究と本研究の位置付け	3
2.1 テレプレゼンスシステムに関する従来研究	4
2.1.1 仮想環境の構築手法	4
2.1.2 仮想環境の提示機器	9
2.1.3 入力インターフェース	12
2.2 本研究の位置付けと設計方針	15
2.2.1 本研究の位置付け	15
2.2.2 システムの設計方針	18
3. 複数経路上を歩行移動可能なテレプレゼンスシステム	20
3.1 システムの実装と仮想環境コンテンツの作成	20
3.1.1 システムの機器構成	20
3.1.2 仮想環境コンテンツの作成	22
3.2 視点移動範囲の制限に起因する違和感の低減	26
3.2.1 経路情報の重畳表示	26
3.2.2 提示フレームの決定	28
4. 違和感低減手法の評価と考察	32
4.1 提示フレーム決定手法の評価	32
4.1.1 実験条件	32
4.1.2 実験結果と考察	34
4.2 経路情報の重畳表示手法の評価	38
4.2.1 実験条件	38
4.2.2 実験結果と考察	39
5. 広範囲環境を歩行移動可能な試作テレプレゼンスシステム	43
6. まとめ	45

謝辞	46
参考文献	47

目 次

1	Town Digitizing	5
2	Aspen Movie-Map	7
3	Woods らのシステムの画像提示例 (2)	7
4	Woods らのシステムの画像提示例 (1)	8
5	Uyttendaele らのシステムの画像提示例	8
6	ヘッドマウントディスプレイ	10
7	COSMOS	11
8	CYLINDRA	11
9	Omni-Directional Treadmill	12
10	Gait Master	13
11	The Pressure Mat	14
12	パワードシューズ	15
13	テレプレゼンスシステムの写実性と視点移動範囲に対する比較	16
14	違和感の発生	18
15	機器構成の模式図	21
16	歩行装置の歩行面とレンジファインダ	22
17	全方位マルチカメラシステム (Ladybug)	23
18	画像取得システム	24
19	トータルステーション	25
20	標示図形例	27
21	経路情報の重畳表示例	28
22	(i) 移動量の差を最小にするフレーム	29
23	(ii) 移動後の視点位置の差を最小にするフレーム	30
24	(iii) 経路の接線方向成分の移動量の差を最小にするフレーム	31
25	タスク 1 に用いた経路	33
26	タスク 2 に用いた経路	34
27	画像提示手法評価における歩行時間結果 (タスク 1)	35
28	画像提示手法評価における歩行方位の差の平均 (タスク 2)	36

29	画像提示手法評価における歩行方位の差の平均 (タスク 1)	37
30	画像提示手法評価における歩行方位の差の平均 (タスク 2)	37
31	(a) 歩行可能な方位の表示例	39
32	(b) 歩行可能な方位と経路の形状と経路の接続関係の表示例	39
33	経路情報評価における歩行時間 (タスク 1)	41
34	経路情報評価における歩行時間 (タスク 2)	41
35	経路情報評価における歩行方位の差の平均 (タスク 1)	42
36	経路情報評価における歩行方位の差の平均 (タスク 2)	42
37	試作システムの画像提示例 (0 度回転)	43
38	試作システムの画像提示例 (90 度回転)	44
39	試作システムの画像提示例 (180 度回転)	44
40	試作システムの画像提示例 (270 度回転)	44

表 目 次

1	仮想環境の提示装置に関する没入感の比較	16
2	歩行感覚提示装置の入力可能なパラメータの数	17
3	仮想環境内における頭部の運動に関する物理量	19
4	画像提示システム	22
5	Ladybug の仕様	24
6	アンケートによる画像提示手法評価	35
7	アンケートによる経路情報の評価	40

1. はじめに

時間や場所に隔たりのある空間での事象を仮想環境内で再現し、あたかもその空間に居るかのような感覚を利用者に与えることが可能なテレプレゼンスと呼ばれる技術は、近年広く研究され、娯楽、教育、医療などの分野へ応用が期待されている。このようなテレプレゼンス技術によって構築される仮想環境において、視覚だけでなく歩行移動感覚を再現することができれば、利用者の居る場所や時間などの制約に関係なく、景勝地や歴史的な町並みのような観光地を利用者の自然な歩行動作によって体験可能な臨場感の高いテレプレゼンスシステムを実現できる。このようなテレプレゼンスシステムにおいて利用者に高い臨場感を与えるためには、没入感が高いこと、写実性が高いことその他に、歩行感覚が再現されていること、視点移動が可能であること、視線変更が可能であること、などが重要である。

テレプレゼンスシステムに関する研究は、既に数多く成されているが、写実性を高めるために実画像を用いることが一般的である。実画像を用いるテレプレゼンスシステムは、任意視点画像生成技術を用いるものと動画像系列を用いるものが主に研究されている。任意視点画像生成技術を用いたシステム [1, 2, 3] は、自由な視点移動や視線変更が可能であるという特長を持つ。しかし、自然環境などの広域で複雑な環境において写実性の高い画像を生成することは難しい。これに対して、動画像系列を要求に応じて順に提示するテレプレゼンスシステム [4, 5, 6, 7, 8, 9] は、ユーザの視点移動可能な範囲を特定の経路上に制限することで、遠隔地の情景を高い写実性を保ったまま再現できる。しかし、視点移動の可能な範囲が動画像系列の撮影経路上に制限される。

本研究では、自然環境などの広域で複雑な環境を対象とするため、後者の動画像系列を用いるテレプレゼンスシステムを基礎とするが、利用者の歩行移動によって複数経路を選択的に移動し、広域を自由に体験可能なテレプレゼンスシステムの構築を目指す。本システムでは、全方向に歩行可能な歩行装置上において利用者の歩行移動量を検出および相殺し、これに応じて全方位型マルチカメラシステムにより取得された複数の撮影経路上の画像を選択的に利用者に提示することで、歩行移動中の視界を再現する。本研究では、このようなシステムにおいて

複数経路を提示する際の問題点である (1) 仮想環境中の進行可能な方向や異なる経路の交差位置を利用者が把握できずスムーズな移動が困難となる, (2) 利用者の歩行移動量と仮想視点移動量の不一致により臨場感が損なわれる, の 2 つの問題を解決する.

経路の把握の問題 (1) に対しては従来, 経路の交差点付近で矢印などによる進行可能な方向の提示 [5, 7] や, 撮影経路と仮想視点位置を示した地図 [7, 10] を表示する手法が提案されているが, 本研究においてもこれらと同様に, 経路情報を実画像上に付加し視点移動が可能な方向に利用者を誘導する. ただし, 矢印や地図のように実環境中に存在し得ない物を表示することにより現実感が損なわれる可能性があり, 特に地図の表示は利用者の視覚を遮り没入感を減じると考えられる. 本研究では, 視点移動が可能な経路情報を地面上に描き道路標示のように表示することで, 経路情報を認識させる. 移動量の不一致による違和感の問題 (2) に対しては, 経路の交差点付近でのみ任意視点画像を生成し, 視点移動量の不一致が生じないようにすることが可能である [11]. しかしすでに述べたように, このようなアプローチでは, 自然情景など複雑な環境を高い写実性で再現することは難しい. 本研究では, 利用者の歩行が視点移動可能な範囲から外れた場合に生じる違和感を最小限にする提示画像フレームの決定手法を検討する.

以下, 本論文では 2 章において, テレプレゼンスシステムに関する従来研究とその問題点について述べ, 研究の位置付けおよび設計方針を述べる. 3 章では, 視点移動範囲の制限に起因する違和感の低減のための手法について述べる. 4 章では, 被験者実験によって提案手法による違和感低減の効果を検証する. 5 章では, 試作した広域環境を歩行移動可能なテレプレゼンスシステムについて紹介し, 最後に 6 章でまとめと今後の展望を述べる.

2. テレプレゼンスシステムに関する従来研究と本研究の位置付け

本章では、テレプレゼンスシステムにおける要求事項、本研究に関連する従来研究、本研究の位置付けおよび設計方針について述べる。テレプレゼンスシステムが利用者に高い臨場感を与えるためには、仮想環境の構築手法および仮想環境の提示機器、入力インターフェースに関して、以下の5つの事項を満たすことが重要であると考えられる。

(A) 仮想環境の構築手法に対する要求

(要求事項 1) 高い写実性

仮想環境において利用者に提示する画像は、遠隔地の情景を細部まで写実的に再現すること

(要求事項 2) 視点位置の移動

利用者の要求に対して、視点位置を自由に移動可能であること

(要求事項 3) 視線方向の変更

視点位置と同様に利用者の視線方向の変更要求に対しても、再現可能であること

(B) 仮想環境の提示機器に対する要求

(要求事項 4) 高い没入感

利用者に仮想環境内に没しているような感覚を与えること

(C) 入力インターフェースに対する要求

(要求事項 5) 歩行感覚

視覚的な移動感覚だけでなく、利用者の視覚以外の感覚系からも歩行感覚が与えられること

以下では、これらの 5 つの要求事項に関するテレプレゼンスシステムの関連研究について概観し、臨場感の高いテレプレゼンスを実現するための本研究の方針と従来手法に対する位置付けについて述べる。

2.1 テレプレゼンスシステムに関する従来研究

前述した臨場感の高いテレプレゼンスシステムを実現するためには、仮想環境の構築手法、仮想環境の提示機器および入力インターフェースについて検討する必要がある。以下ではそれぞれの項目に対する従来研究について順に述べ、前述した要求事項について各手法・機器の特徴を述べる。

2.1.1 仮想環境の構築手法

写実性の高い仮想環境の構築手法として、実画像を用いて遠隔地の情景を再現することが一般的である。実画像を利用する遠隔地情景の再現手法は、取得した画像をそのまま利用者に提示する手法と任意視点画像生成技術を用いて取得した画像以外の新たな視点位置の画像を生成し提示する手法に大別できる。さらに取得画像をそのまま用いる手法は、離散的な位置で撮影された画像を用いる手法、移動を伴って撮影された動画像を用いる手法に分類できる。以下ではそれぞれの手法について詳述する。

離散的な位置で撮影された画像を用いる手法

離散的な位置で撮影された画像を用いる手法には、一般的な画像を用いる手法と全方位画像を用いる手法がある。一般的な画像を用いる手法では、入力画像から消失点をみつけ出し、画像処理技術を用いて奥行き感の異なる画像を生成するもの [12, 13] や、離散的な位置で撮影された動画像を足踏み装置を用いて一步に一度切り替えることで遠隔地における疑似体験を可能にしたシステム [14] が提案されている。これらの手法では、視点移動は可能であるが利用者が観測できる視線方向に制限があるため、高い臨場感を与えることは難しい。

これらの手法に対し全方位画像を用いる手法では，利用者の要求に応じて任意の視線方向の画像を提示することができる．Chen の Quick Time VR[15] に代表される手法では，入力された視線方向の画像を全方位画像から切り出し幾何学的な補正を行った後に利用者に提示することで遠隔地の情景を360度見回す感覚を再現可能である[16, 17, 18]．これらの技術はウェブブラウザ上での観光案内や施設案内など，様々なところで利用されている．また，離散的な位置で撮影された複数の全方位画像を用いる Kato らの Town Digitizing[10](図1)では，2枚の画像の取得位置の間を補間する画像をズームングおよびミキシング手法を用いて作成することで，広範囲にわたる擬似的な視点位置の移動を可能としている．

これらの手法は，安価なデジタルカメラによって手軽に入力画像を作成でき，また入力画像をそのまま提示するために高い写実性を持つ．加えて全方位カメラを用いれば視線変更も可能となる．しかし，視点位置の変更は離散的な画像取得位置上に限定されているため，前述した仮想環境の構築手法に対する要求事項である視点位置の移動について，要求を見たさない．

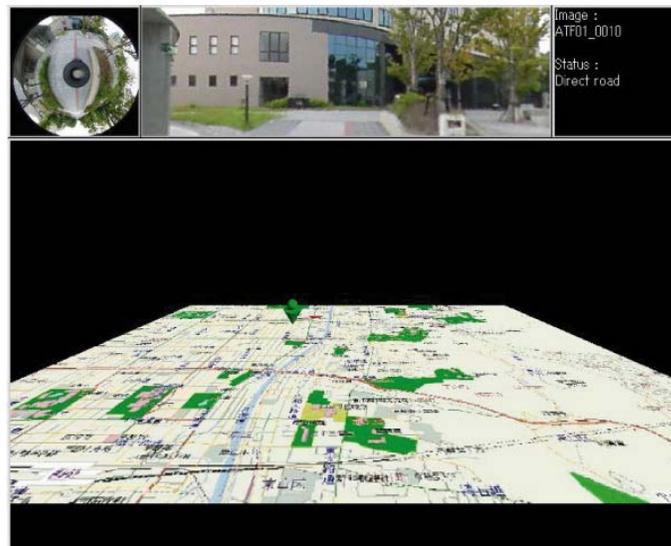


図1 Town Digitizing[10]

移動を伴って撮影された動画像を用いる手法

離散的な位置で撮影された画像では、視点位置の移動も離散的となるため臨場感が低いという問題があるが、移動を伴って撮影された動画像を用いることで、連続的な視点移動が可能となる。一般的なビデオカメラを用いる手法としては、利用者の仮想視点位置の入力に応じた画像を動画像系列から生成し提示する手法 [8] が最も基本的なものである。しかし、前述の手法と同様に、一般的なカメラを用いた場合には視線方向を変更できないため高臨場に遠隔地を再現しているはといえない。これに対して、全方位動画像を用いる手法 [9] では、撮影経路上における連続的な視点移動、視線変更が可能となる。しかし、単一の全方位動画像で移動できる範囲は 1 次元的なものとなってしまう、広域環境を自由に移動するといった目的に対しては不十分である。

このような問題では、複数の経路上を撮影した動画像を用い、視点位置を複数の経路にわたり選択的に移動させることで解決できる。このような手法の原点は、Aspen Movie-Map[4]に見られ、後に 2 つのビデオシーケンスを用いて Aspen Movie-Map を立体視可能にした Woods らのシステム [5] に発展している。これらの手法では図 2 に示すように、あらかじめ撮影した多経路の動画像をレーザーディスクに蓄積・再生し、利用者が動画像の再生速度の制御および経路の交差点における再生方向の制御を行う。Woods ら [5] のシステムにおける経路の分岐点での提示画像の例を図 4、図 3 に示す。このシステムでは利用者に進行可能な方向を示すために進行可能な方向を指す矢印を表示し、同時に入力操作を促している。これにより、複数の経路上にわたる視点移動が可能となるが、視線方向については利用者が変更することはできない。

一般的な動画像を用いる Aspen Movie-Map に対して全方位動画像を用いる手法では、複数経路にわたる視点移動および視線変更が可能であり、利用者に遠隔地における情景を高い臨場感で提示することが可能である。これらの手法 [6, 7] では、経路上における視点移動・視線変更が自由に行え、また写実性も高いため、遠隔地を再現する手法として様々なアプリケーション

ンへの応用が考えられる．図 5(a) , 図 5(b) に , Uyttendaele ら [7] のシステムの提示画像の例を示す．図 5(a) では , 地図上に動画像の撮影経路と仮想視点の位置を記したものを画面上に表示することで利用者に進行可能な方向を示している．図 5(b) では , 画面上に矢印を表示することで利用者に進行可能な方向を示している．

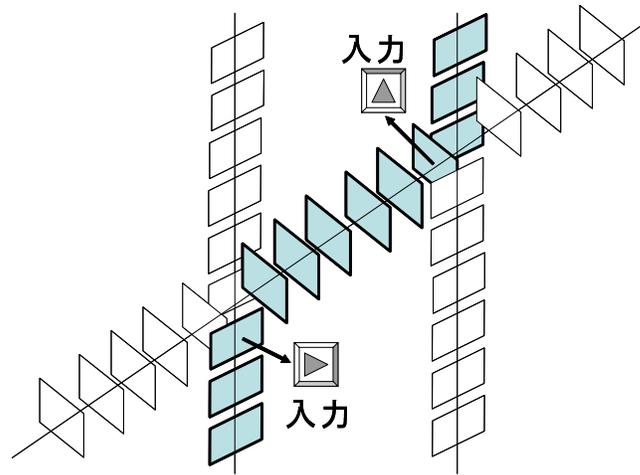


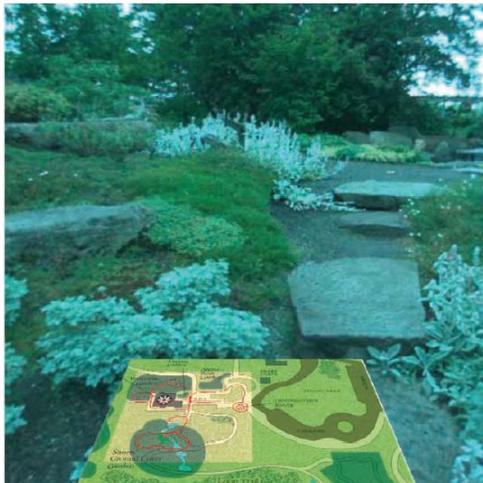
図 2 Aspen Movie-Map



図 3 Woods らのシステムの画像提示例 (2)[5]



図 4 Woods らのシステムの画像提示例 (1)[5]



(a)



(b)

図 5 Uyttendaele らのシステムの画像提示例 [7]

任意視点画像生成技術を用いる手法

画像系列をそのまま利用者に提示する手法に対し，任意視点画像生成技術を用いる手法 [1, 2, 3] では，離散的な視点位置において撮影された複数の静止画像上において対応点を与えることで，取得した画像以外の新たな視点位置の画像を生成し，利用者に提示する．これにより，利用者は仮想環境内で視点移動や視線変更を自由に行うことができる．しかし，これらの手法では画像の取得位置から大きく離れた視点位置の画像を生成する場合において，生成される画像上に大きな歪みが発生してしまう．また，対応点決定の難しさから，自然環境など複雑な環境において写実性の高い画像を生成することが困難であり，臨場感が損なわれる可能性がある．

2.1.2 仮想環境の提示機器

遠隔地の情景再現のための画像提示装置について述べる．遠隔地の情景を高臨場に提示するためには高い没入感 (要求事項 4) が要求される．以下では，従来からテレプレゼンスに広く用いられてきたヘッドマウントディスプレイと没入型ディスプレイについて述べる．

ヘッドマウントディスプレイ

ヘッドマウントディスプレイ (Head Mounted Display : HMD) は，図 6 に示すような頭部に装着するヘルメット型の装置で 1968 年に Sutherland [19] により提案されて以来，広く使用されている．利用者の視野が完全に覆われ，外部の環境が遮断されるため利用者に与える没入感が高い．しかし，画角が狭いこと，解像度が低いことが問題である．テレプレゼンスシステムへの利用時には，姿勢センサなどによって取得された方向の画像を利用者の眼前に提示することで，利用者の首振り動作による視線変更を実現できる．



図 6 ヘッドマウントディスプレイ

没入型ディスプレイ

没入型ディスプレイには、平面の組み合わせにより構成される多面ディスプレイと円筒面または球面で構成されるディスプレイがある。多面ディスプレイは、イリノイ大学の CAVE[20] に代表されるように、利用者の全視野を覆うような映像体験が可能であり高い臨場感を与えることができる [21, 22, 23]。しかしシステムが想定した視点位置から離れると投影された映像に幾何学的な不連続を伴う歪みを生じ、違和感が生じるといった問題がある。図 7 に 6 面型ディスプレイ COSMOS[22] を示す。

一方、表示面の曲率が一定でありスクリーンの折れ曲がり部が存在しない円筒面・球面ディスプレイ [24, 25] は、利用者を与える視野角が広いため高い臨場感を与えられることに加え、複数人が同時に観測可能である。また、システムが想定した視点位置から大きく離れた場合にも、スクリーン上において幾何学的不連続が発生しない。図 8 に 円筒型ディスプレイ CYLINDRA を示す。



图 7 COSMOS[22]



图 8 CYLINDRA

2.1.3 入力インターフェース

テレプレゼンスシステムにおいては、利用者の動作に応じてインタラクティブに提示画像を変更することで、仮想環境における臨場感を向上させることができる。本研究では、歩行動作に着目し、テレプレゼンスシステムにおける臨場感の向上のために特に重要とされる歩行感覚を提示することを主眼とした入力インターフェースについて、構造によるタイプ別に概観する。

トレッドミル型

トレッドミル型はベルト機構を用いて利用者の歩行動作を相殺する装置である。ベルトの回転方向が1自由度のもの[26]と2自由度のもの[27, 28]があり、利用者には1次元または2次元の無限歩行面上における歩行感覚が提示される。図9にDarkenらのOmni-Directional Treadmill[28]を示す。トレッドミル型は3次元モデルで生成された仮想空間内を歩行移動するためのインターフェースとして用いられることが多いが、Ikedaら[9]のシステムでは、ベルトの移動量を仮想視点の移動量として実動画像の再生を制御することで、遠隔地における歩行感覚を利用者に与えている。

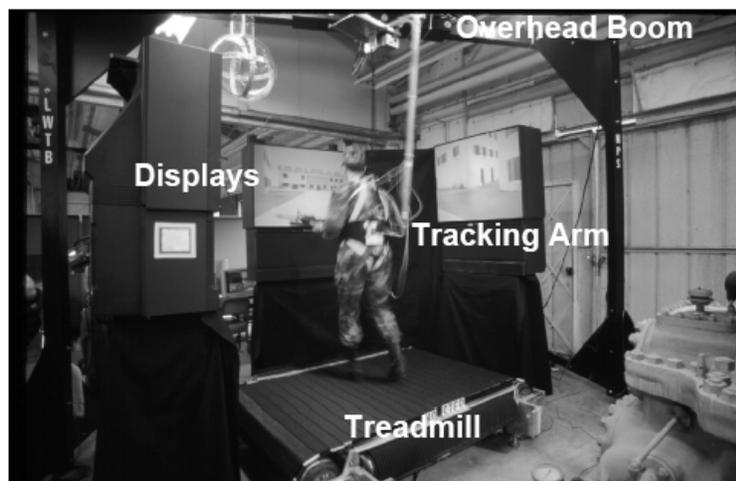


図9 Omni-Directional Treadmill[28]

フットパッド型

フットパッド型は利用者の足先動作に追従する複数の可動板によって運動を相殺する手法である。フットパッド型を採用している Gait Master[29](図 10) は、4 自由度の機構を用いて可動板の駆動を実現している。これによって、仮想的な階段の昇降など 3 次元的に構成された仮想空間内における歩行動作感覚を利用者に提示可能である。

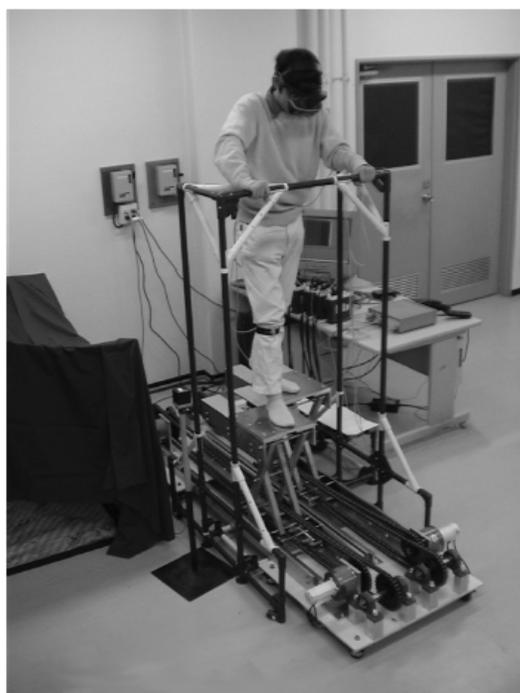


図 10 Gait Master[29]

定点歩行動作型

定点歩行動作型は、定点での足踏み動作によって仮想空間の移動操作を行う手法である。WARP[30] や Pressure Mat[31](図 11) やターンテーブルを併用したシステム [32] などが提案されている。大須賀ら [14] は、足踏み装置によって一步に一度、離散的な位置で撮影された実画像を切り替えるこ

とで散歩している感覚を利用者に与えるシステムを提案している．しかしながら，このシステムでは経路の分岐点での進路選択にはマウスなど別の入力インターフェースを必要としている．



図 11 The Pressure Mat[31]

スライディングサーフェス型

スライディングサーフェス型は，利用者の足の裏に駆動力を持つ車輪を取り付け歩行を相殺する手法である．スライディングサーフェス型を採用しているものにパワードシューズ[33](図 12)がある．このシステムでは，ターンテーブルを併用することで仮想 2 次元空間の歩行移動感覚の提示が可能であり，全方位画像を提示可能な球面ディスプレイと組み合わせることで

環境シミュレータの構築を提案している。

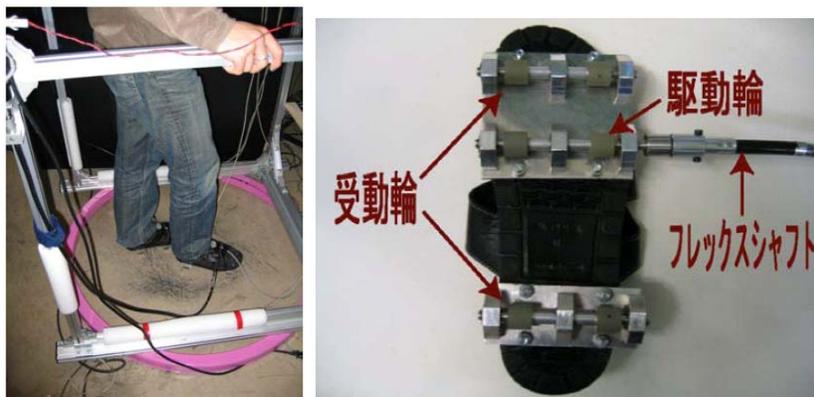


図 12 パワードシューズ [33]

その他の歩行感覚提示手法

その他の歩行感覚提示手法として，利用者の位置や重心の情報を用いたシステムが提案されている．また小鷹ら [34] は，歩行装置を用いない簡易的なインターフェースを用いて歩行感覚を表現した仮想空間移動システムを提案している．これらの歩行移動感覚は自然な歩行動作には及ばないが，システムの簡素化が実現できる．

2.2 本研究の位置付けと設計方針

2.2.1 本研究の位置付け

以下では，前節で概観した仮想空間の構築手法，提示機器，入力インターフェースについて，先に示した要求事項をどの程度達成できるかをまとめ，次に本研究の位置付けを述べる．仮想空間の構築には，写実性 (要求事項 1) および視点移動・視線変更の自由度 (要求事項 2,3) が関連する．これらの要求事項の中でも，視線方向の自由度については，どの手法においても全方位カメラを用いることで要求を満たすことができる．また，図 13 に示すように写実性に関しては，撮影

画像をそのまま利用者に提示する手法が、任意視点画像生成を用いる手法に対して優れている。視点位置の移動に関する自由度は、任意視点画像生成手法が最も高いが、経路上での動画像を用いる手法において複数経路にわたる動画像を用いた場合には、容易に広域の環境を仮想化できるという特長がある。

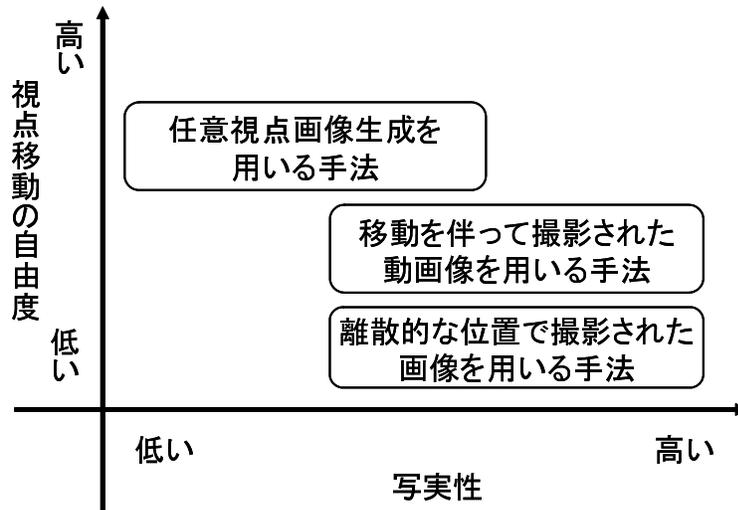


図 13 テレプレゼンスシステムの写実性と視点移動範囲に対する比較

仮想環境の提示装置については、没入感 (要求事項 4) が関連する。表 1 に仮想環境の提示装置に関する没入感の比較結果をまとめる。HMD および没入型ディスプレイは、要求を満たしているが、HMD は画角が限られておりまた解像度が低いことが問題である。

表 1 仮想環境の提示装置に関する没入感の比較

	没入感
一般的なディスプレイ	低い
HMD	高い
没入型ディスプレイ	高い

入力インターフェースについては、歩行感覚 (要求事項 5) が関連する。当然ではあるが、ジョイスティックなどの入力デバイスでは歩行感覚を再現できず、特殊な歩行感覚の提示装置が必要である。また、仮想環境中の視点位置の移動には少なくとも 2 次元の位置を入力する必要がある、入力インターフェースはこの 2 次元位置の入力が要求される。表 2 に歩行感覚提示装置の入力可能なパラメータの数についてまとめる。トレッドミル型、フットパッド型、スライディングサーフェス型であれば、2 パラメータ以上の入力が可能であり、歩行感覚の提示と 2 次元の位置入力が可能である。

表 2 歩行感覚提示装置の入力可能なパラメータの数

	入力パラメータの数
トレッドミル型	2
フットパッド型	3
定点歩行型	1
スライディングサーフェス型	2

以上のことから本研究では仮想環境の構築手法として、全方位カメラによって得られる複数の撮影経路にわたる全方位動画像を用いる。また、仮想環境の提示装置として没入型ディスプレイを、歩行感覚提示装置としてトレッドミル型を用いる。

提案システムでは、2 次元の無限歩行面を歩行可能なトレッドミル上において利用者の歩行移動量を検出および相殺し、これに応じて全方位動画像を没入型ディスプレイに提示することで歩行移動中の遠隔地における視界を再現する。このような構成によるテレプレゼンスシステムでは、図 14 に示すように、視点移動可能な範囲が撮影経路上に制限されているため以下の 2 つの問題が生じる。1 つは、(1) 仮想環境中の進行可能な方向や異なる経路の交差位置を利用者が把握できずスムーズな移動が困難となり違和感が生じることであり、もう 1 つは、この問題 (1) に対して進行可能な方向を利用者が認識出来た場合でも、利用者は経路から逸れることなく歩行することが困難であるため、(2) 利用者の歩行移動量と仮想

視点移動量の不一致により違和感が生じることである。



図 14 違和感の発生

本研究では、これらの2つの問題を解決手法を提案する。経路の把握の問題(1)に対しては従来、経路の交差点付近で矢印などの進行可能な方向の提示[5, 7](図4, 図3, 図5(b))や、撮影経路と仮想視点位置を示した地図[7, 10](図1, 図5(a))を表示する手法が提案されている。本研究では、これらと同様に経路情報を実画像上に付加し視点移動が可能な方向に利用者を誘導する。次に、利用者の歩行移動量と仮想視点移動量の不一致による違和感の問題(2)に対しては、経路の交差点付近でのみ任意視点画像を生成し、視点移動量の不一致が生じないようにすることが可能である[11]。しかしすでに述べたように任意視点画像生成手法では、自然情景など複雑な環境を高い写実性で再現することは難しい。そこで本研究では、利用者の歩行が視点移動可能な範囲から外れた場合に生じる違和感を最小限にする提示画像フレームの決定手法を検討する。

2.2.2 システムの設計方針

本研究では先に挙げた5つの要求事項を満たすために、高解像な全方位カメラにより実画像を取得し、これを没入型ディスプレイに投影することで遠隔地の情景を高臨場に再現する。また、歩行感覚を再現するためにトレッドミル型の歩行感覚提示装置を用いる。画像の提示に関しては、写実性の観点から操作メニュー

や注釈，地図など実環境中に存在し得ない物や視界を遮る物は仮想環境内に配置せず，利用者に違和感を与えないような日常経験的に見慣れている図形を表示する [35] .

一方，歩行感覚のような運動感覚の再現では，前庭感覚系や深部感覚系など視覚系以外の感覚系と視覚系との関係を再現する必要がある [36] . これらの感覚系を通して人間が感じることでできる頭部の運動に関する物理量として，環境に対する頭部の角速度，角加速度，並進速度，並進加速度，位置，姿勢が挙げられる [36, 37] . このうち，角度，角速度，角加速度の変化については首振り動作などの視線変更に伴い知覚されるものであるが，単純に没入型ディスプレイを利用することにより，視覚による運動感覚と，その他の感覚系によるものとの間の関係を矛盾なく再現することが可能である . これに対して，仮想環境内での並進加速度については，基本的に視覚とその他の感覚を一致させることは難しい . また，並進速度および位置の感覚についても，仮想視点の移動範囲が撮影経路上に限定されるため，完全に再現することは難しく，経路に沿った方向などの一部の成分のみが近似的に再現が可能である . 表 3 に以上の関係をまとめる . 本研究では，利用者の歩行が視点移動可能な範囲から外れた場合に生じる違和感を最小限にする提示画像フレームの決定手法について検討するが，並進速度に対応する利用者の歩行速度ベクトルおよび位置に対応する画像の取得位置を近似的に再現するように考慮して行う .

表 3 仮想環境内における頭部の運動に関する物理量

角度・角速度・角加速度	没入型ディスプレイの利用により再現可能
並進加速度	一致は困難
並進速度・位置	一部の成分のみが近似的に再現可能

3. 複数経路上を歩行移動可能なテレプレゼンスシステム

本章では，複数経路上を歩行移動可能なテレプレゼンスシステムの構築のために，まずシステムの実装方法およびコンテンツの作成方法について述べ，次に視点移動可能な範囲の制限に起因した違和感低減のための手法について提案する．

3.1 システムの実装と仮想環境コンテンツの作成

本節では，提案するテレプレゼンスシステムの実装方法として，システムの機器構成および仮想環境コンテンツの作成手法について詳述する．

3.1.1 システムの機器構成

本研究で用いるテレプレゼンスシステムは，没入型ディスプレイと歩行動作インタフェースからなる．図 15 にシステムを模式的に示し，表 4 に試作システムで使用した機器構成をまとめる．以下では，各機器に関して詳細を述べる．

没入型ディスプレイ

没入型ディスプレイは，3 面の傾斜スクリーンとプロジェクタ (1024×768 pixel) からなり，各プロジェクタにつき 1 台の計算機 (CPU: Intel Pentium4 1.8GHz, Graphics Card: Geforce4 Ti4600) が接続されている．3 面傾斜スクリーンは，利用者の全視野を覆い高い没入感を与えることが可能であり，画像は背面投影により提示される．スクリーン 1 面につきプロジェクタ 4 台が用いられ，高解像な画像提示が可能である．プロジェクタを制御する計算機には，後述するコンテンツ作成方法によってあらかじめ生成された画像が蓄積されおり，次に述べる歩行動作インタフェースを制御する計算機とは 100 Mbps の有線 LAN により接続されている．

歩行動作インタフェース

歩行動作インタフェースは、歩行装置とレンジファインダ (Sick LMS200) およびこれらを制御する計算機 (CPU: Intel Pentium4 2.4GHz) から構成される。歩行装置は、平面状を全方向に歩行移動が可能なトレッドミル [27] を用い、利用者の両足の重心位置の変位を相殺するように歩行面が制御される。レンジファインダは、歩行装置の歩行面の前方に配置され、利用者の両足の重心位置を検出する。歩行動作インタフェースを制御する計算機は、トレッドミルの歩行面の移動速度を入力として提示すべき画像フレームを決定し、各画像提示用計算機に送信する。本研究で用いる歩行装置とレンジファインダの外観を図 16 に示す。

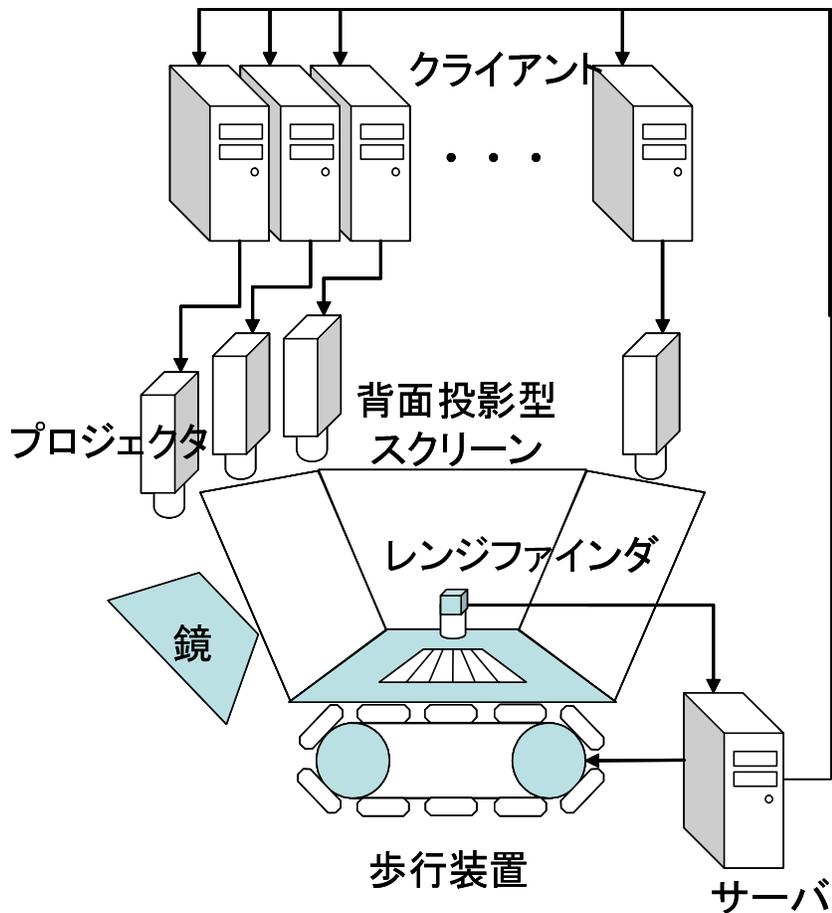


図 15 機器構成の模式図

表 4 画像提示システム

没入型ディスプレイ	SOLIDRAY Visual Valley
映像表示用計算機	CPU: Intel Pentium4 1.8GHz Graphics Card: Geforce4 Ti4600
プロジェクタ	1024×768 pixel
歩行装置	SOLIDRAY WalkMaster
歩行装置制御用計算機	CPU: Intel Pentium4 2.4GHz
レンジファインダ	Sick LMS200

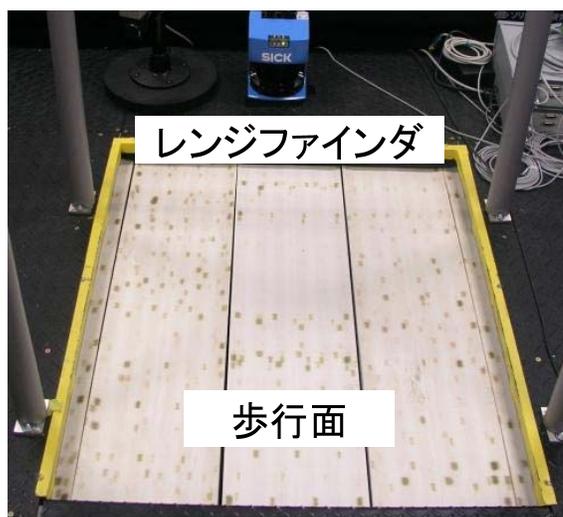


図 16 歩行装置の歩行面とレンジファインダ

3.1.2 仮想環境コンテンツの作成

提示画像の生成には、全方位動画像に加えて経路情報を付加するために位置姿勢情報が必要である。以下に全方位マルチカメラシステムによる全方位動画像の

取得方法および利用者の視点位置から幾何学的に正しい画像の生成方法について詳述する。

全方位マルチカメラシステムによる提示画像の取得

全方位動画像の取得では、Point Grey Research 社の マルチカメラシステム Ladybug[38] (図 17) を用いる。Ladybug は放射状に合計 6 つのカメラユニットが配置されており全天球の約 75 % の視野を一度に撮影可能である。また Ladybug の各カメラユニットはそれぞれ 768×1024 画素の解像度の画像を秒間 15 枚撮影できる。表 5 に Ladybug の仕様をまとめる。歩行時の利用者の視界を再現するために、Ladybug を図 18 のように目線の高さ付近になるよう電動車いすに取り付け、一定速度で環境を移動しながら動画像の撮影を行う。撮影では、自然特徴点が多く含まれる環境内を経路が交差するように複数の経路上を移動して行う。



図 17 全方位マルチカメラシステム (Ladybug)

表 5 Ladybug の仕様

カメラ数	6 個
解像度	1024×768 pixel
視野	75 % 以上
フレームレート	15 fps
蓄積可能時間	約 20 min



図 18 画像取得システム

提示画像の生成

提示画像の生成では、Ladybug に配置された 6 つのカメラから取得した画像

を入力として、カメラの位置姿勢情報の推定、提示用の画像生成を行う。

カメラの位置姿勢情報の推定では、最初に Ikeda らの手法 [39] を用いて Ladybug の内部パラメータの推定を行い、次に佐藤らの手法 [40] を用いて各フレームの外部パラメータの推定を行う。内部パラメータの推定では、幾何学的なパラメータと光学的なパラメータを推定し、光学的・幾何学的に整合性の取れたパノラマ画像を生成する。外部パラメータの推定では、基準マーカおよび動画像中の自然特徴点を追跡することで、各フレームのカメラ位置・姿勢を推定する。基準マーカの 3 次元位置は、レーザ距離測定機器トータルステーション (図 19) を用いて計測し、キーフレームにおける画像上の基準マーカの位置は、人手によって入力する。

提示用画像の生成では、カメラの姿勢変動を除去処理を行い、次に利用者の視点位置から幾何学的に整合性の取れた画像を生成する。カメラの姿勢変動を除去処理は、カメラ位置・姿勢情報の推定された結果を用いる。利用者の視点位置から幾何学的に整合性の取れた画像生成では、傾斜スクリーンと仮定した利用者の視点の空間的な位置をトータルステーションを用いて計測することで取得したキャリブレーション結果を用いる。



図 19 トータルステーション

3.2 視点移動範囲の制限に起因する違和感の低減

実画像を用いたテレプレゼンスシステムでは、利用者の仮想視点の移動範囲が動画像の撮影経路上に制限されるため違和感が生じる。本節では 2.2.2 項の設計方針に基づいた解決手法として、経路情報の表示方法および提示画像フレーム決定方法について述べる。

3.2.1 経路情報の重畳表示

本研究では、仮想環境中の進行可能な方向や異なる経路との交差位置を利用者に伝えるために提示画像上に経路情報の重畳表示を行う。ここでは利用者が歩行移動可能な経路情報として 3.1.2 項で述べた手法によって推定された全方位動画像取得時のカメラの移動経路を画面上に表示する。これにより、利用者に随時歩行移動可能な経路を認識させ、利用者を視点移動が可能な方向に誘導することで、円滑な歩行移動を実現する。また経路の分岐点において利用者を意図する経路に円滑に移動させるために、本研究では経路選択が可能な位置を経路の交差位置付近に範囲として設ける。以下では、経路情報および経路選択可能範囲について述べる。

(a) 経路情報

経路情報として、動画像上に図 20 中の曲線状の帯で表される視点移動が可能な経路を表す図形を重畳表示する。この図の重畳表示例を図 21 に示す。図 21 のように重畳表示することによって仮想環境内で利用者が認識可能な情報は、次の 3 つである。

- ・ 進行可能な方向
- ・ 経路の形状
- ・ 経路と経路の接続関係

進行可能な方向は、利用者を仮想視点が用意されている方向に誘導する。経路の形状は、矢印などの方向のみの表示と比較して経路の曲がり具合を利用者に認識

させるため、円滑な歩行移動を実現させる。経路と経路の接続関係は、利用者に経路の交差点位置と分岐後の進行可能な方向が示される。これらの経路情報は、設計方針に基づいて各フレームのカメラ位置直下の地面上に描かれているかのように表示する。これにより周囲の環境と経路上の各点との位置関係を利用者が容易に把握できるようにする。また、道路上に普遍的に存在する道路標示と類似した位置と形にすることで、写実性の低下を抑止し違和感の低減を図る。

(b) 経路選択可能範囲

交差する経路の最近傍フレーム対のカメラ位置を交差点とし、この交差点から一定距離 d の範囲内を経路選択可能範囲とする。この範囲内に利用者の仮想視点位置がある場合に、異なる経路への移動を許す。仮想環境の床面には歩行装置があるため、利用者の仮想視点位置が経路選択可能な範囲内にある場合、交差点を見ることができない。本研究では、経路選択可能範囲の表示方法として、利用者の仮想視点位置が経路選択可能な範囲内にある場合には、重畳表示する図形の色を変化させる。

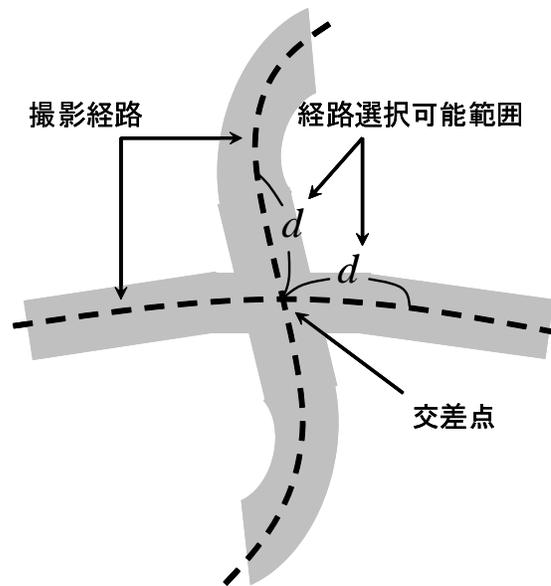


図 20 標示図形例

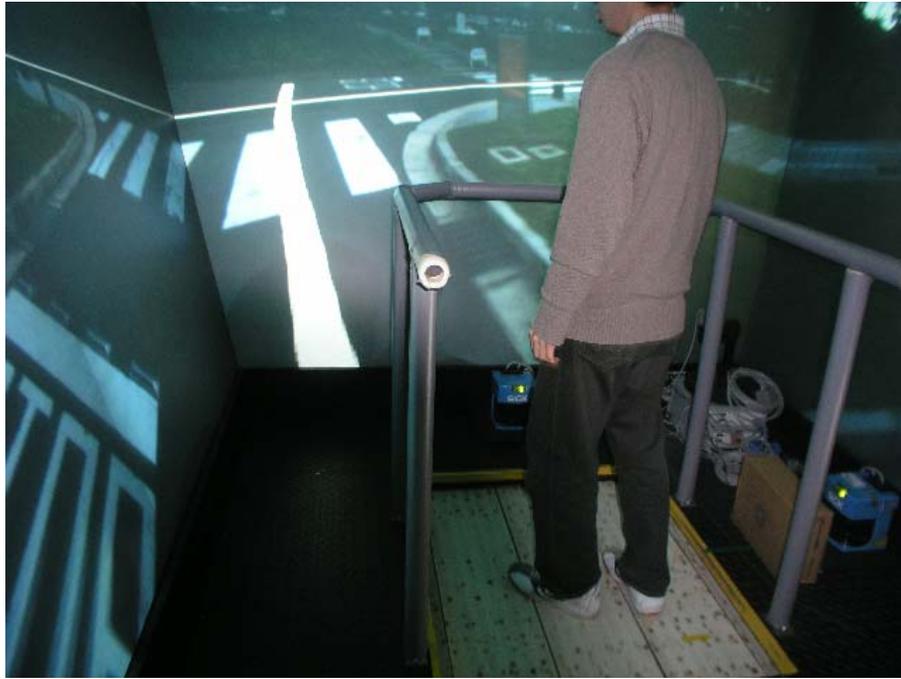


図 21 経路情報の重畳表示例

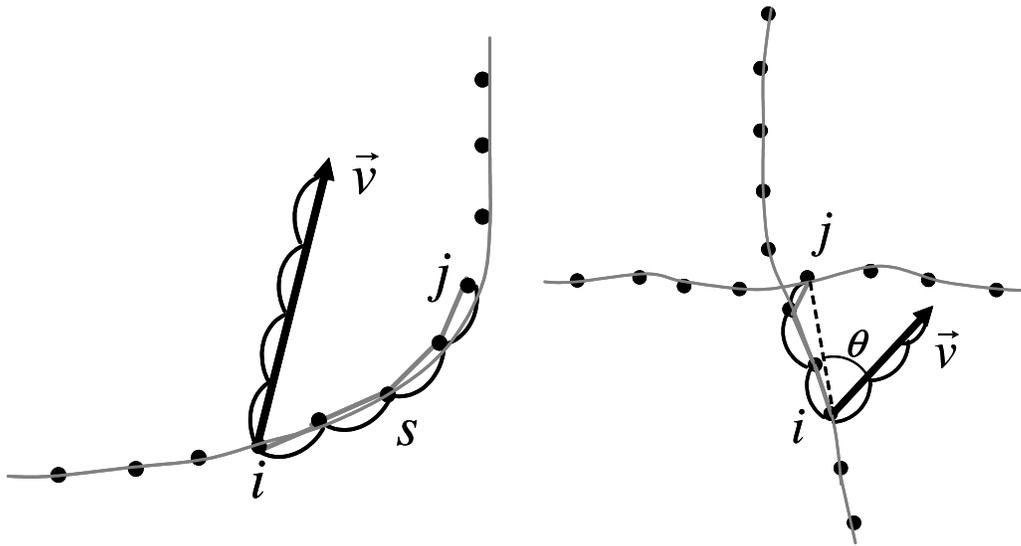
3.2.2 提示フレームの決定

本研究では撮影経路上の画像のみを提示可能であるため，利用者の歩行が視点移動可能な範囲から外れたときには違和感の少ない画像を提示することが必要である．そこで本節では，設計方針に基づいて提示フレームの決定手法について検討する．以下に，2.2.2 項で述べたように利用者の歩行速度ベクトルおよび画像の取得位置を近似的に再現する 3 つの提示フレームの決定手法を提案する．ただし本研究では，利用者の歩行速度ベクトルを現在と微小時間前の利用者の位置ベクトルの差とする．

(i) 移動量の差を最小にするフレーム

利用者の歩行移動量と仮想視点の移動量を等しくすることで違和感の軽減を図る．図 22 に示すように現在の視点位置であるフレーム i の画像取得位置からフ

フレーム j の画像取得位置までの経路に沿った距離 s が利用者の移動量 $|v|$ に等しいフレーム j を提示する．ただし，経路選択可能範囲内のようにフレーム j の候補が複数ある場合は，移動後の視点位置と現在の視点位置に対してなす角 θ が最小となるフレームとする．



(a) 分岐可能範囲外

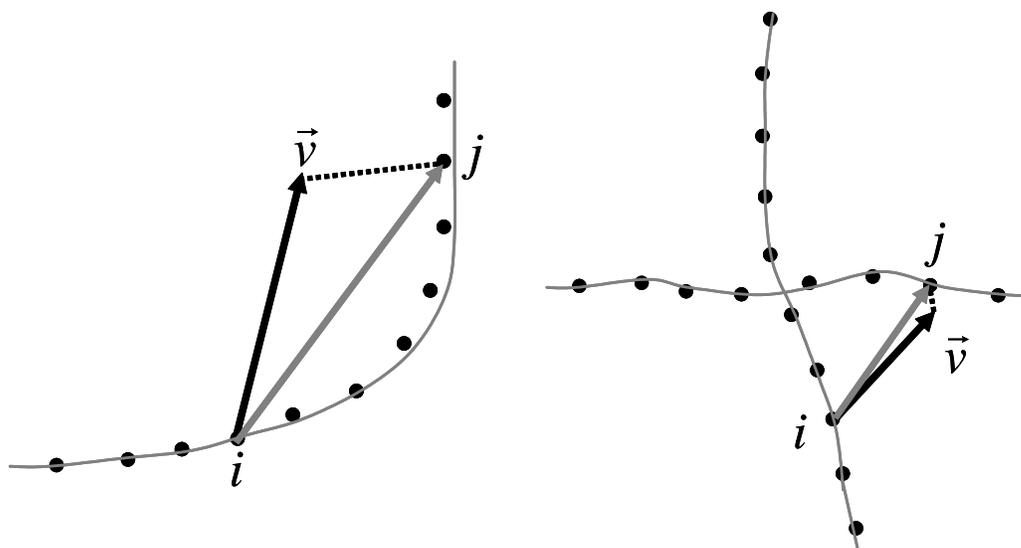
(b) 分岐可能範囲内

- | | |
|-----------|-------------|
| • | : 各フレーム位置 |
| \vec{v} | : 速度ベクトル |
| i | : 現在の視点フレーム |
| j | : 提示するフレーム |

図 22 (i) 移動量の差を最小にするフレーム

(ii) 移動後の視点位置の差を最小にするフレーム

歩行による移動後の視点位置と画像取得位置の差を最小とすることで，違和感の軽減を図る．図 23 に示すように現在の視点位置であるフレーム i の画像取得位置 \vec{P}_i からフレーム j の画像取得位置 \vec{P}_j を指し示すベクトル $(\vec{P}_j - \vec{P}_i)$ と利用者の速度ベクトル \vec{v} のユークリッド距離が最小となるフレーム j を提示する．



(a) 分岐可能範囲外

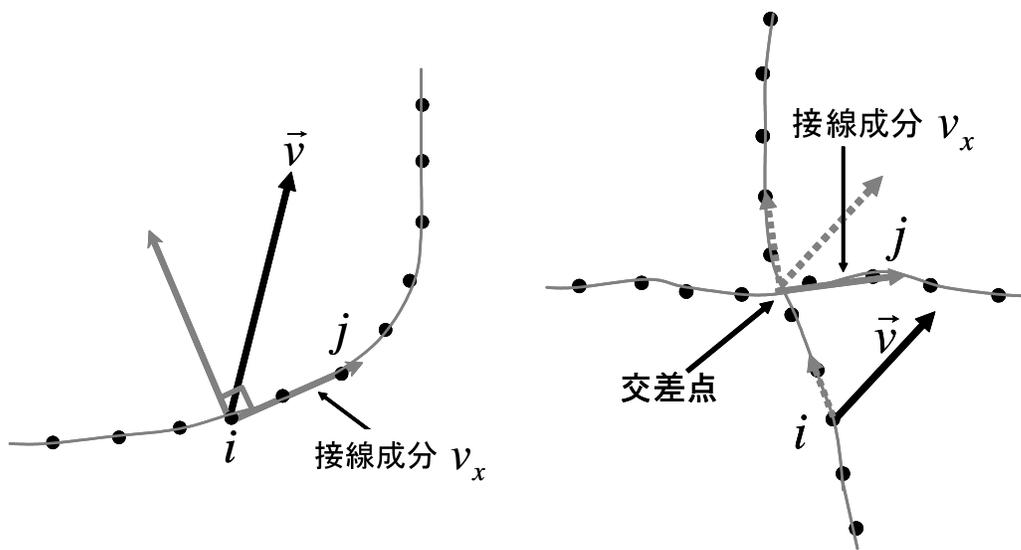
(b) 分岐可能範囲内

- : 各フレーム位置
- \vec{v} : 速度ベクトル
- i : 現在の視点フレーム
- j : 提示するフレーム

図 23 (ii) 移動後の視点位置の差を最小にするフレーム

(iii) 経路の接線方向成分の移動量の差を最小にするフレーム

利用者の速度ベクトルを経路に対する接線成分と法線成分に分け、接線成分と仮想視点の移動量を等しくすることで違和感の軽減を図る。図 24 に示すように視点位置であるフレーム i の画像取得位置 \vec{P}_i からフレーム j の画像取得位置 \vec{P}_j を示すベクトル $(\vec{P}_j - \vec{P}_i)$ と経路に対する利用者の歩行速度ベクトルの接線成分が等しいフレーム j を提示する。ただし、フレーム i が経路選択可能範囲内にある場合は、仮想視点を経路の交差点上を基準と考え、接線成分が最大となるものと $(\vec{P}_j - \vec{P}_i)$ を比較する。



(a) 分岐可能範囲外

(b) 分岐可能範囲内

- | | |
|-----------|-------------|
| • | : 各フレーム位置 |
| \vec{v} | : 速度ベクトル |
| i | : 現在の視点フレーム |
| j | : 提示するフレーム |

図 24 (iii) 経路の接線方向成分の移動量の差を最小にするフレーム

4. 違和感低減手法の評価と考察

本章では提案した違和感の低減手法に関する評価実験について述べる．画像提示手法については 3 つの候補がある．そのため本実験では，まず最も違和感を低減する提示フレームの決定手法を複数の被験者による評価により決定する．次に決定した提示フレームの決定手法を用いて，経路情報の表示の効果について確認する．以下，4.1 節では提示フレーム決定手法の評価について，4.2 節では経路情報の重畳表示手法の評価について述べる．

4.1 提示フレーム決定手法の評価

提案した 3 つの提示フレーム決定手法の中から最も違和感を低減可能な手法を 6 名の被験者による評価実験によって求めた．以下に実験条件および実験結果について述べる．

4.1.1 実験条件

実験では，被験者に試作システム上での歩行移動をタスクとして与え，

- (i) 移動距離の差を最小にするフレーム
- (ii) 移動後の視点位置の差を最小にするフレーム
- (iii) 経路の接線方向成分の移動量の差を最小にするフレーム

の 3 つの提案手法について，被験者の主観評価およびタスクの達成に要する時間 [sec]，経路からの視点位置のずれ量の平均 [rad] を指標として評価を行った．ただし，経路からの視点位置のずれ量は，経路の接線方向と歩行方向の角度の差とした．本実験では，タスクの達成に要する時間および経路からの視点位置のずれ量が小さくなれば，違和感が低減され円滑な歩行移動が行われたものと仮定する．以下に実験条件および実験結果を示す．

被験者は 20 歳代の健常者 6 名である．被験者には実験前に歩行装置の使用方法や注意点について口頭での説明を行った後に，歩行装置の使用に慣れるため数

分間の練習時間を与えた。次に提案した 3 つの手法に対して以下に示すタスク 1 を 1 回ずつ試行させた。ただし、3 つの手法の試行順序はランダムとした。3 回の試行終了後に被験者に対し、アンケートへの回答を求めた。アンケートの設問内容は、3 回の試行の中で違和感が少なかった試行の順を示すというものである。同様の実験をタスク 2 に対しても行った。

タスク 1 図 25 に示す 2 つの撮影経路が交差した経路のスタート位置を出発し交差点で右折し、ゴール位置までの約 25 m の歩行移動。ただし、経路選択可能範囲は $d = 0.5$ m とする。

タスク 2 図 26 に示す分岐点は含まないが複数の曲率を持つ曲がりくねった経路における約 40 m の歩行移動。

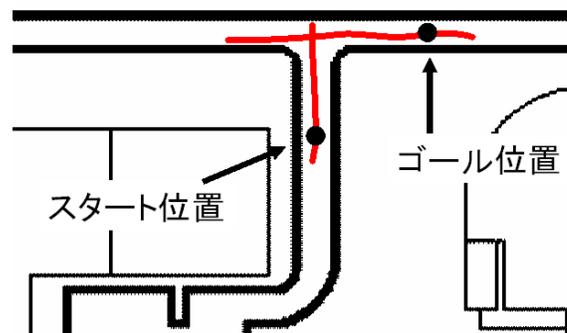


図 25 タスク 1 に用いた経路

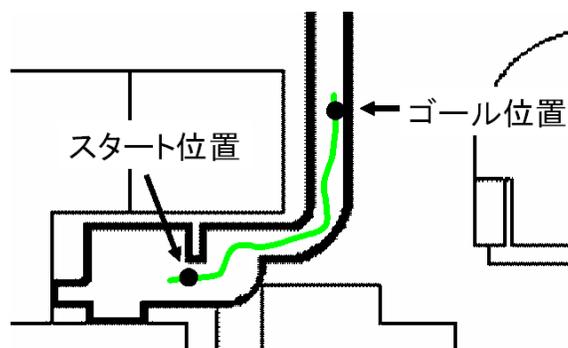


図 26 タスク 2 に用いた経路

4.1.2 実験結果と考察

提示フレーム決定手法の評価結果として、被験者のアンケートの回答結果を図 6 に示す。ただし、結果はアンケートによる評価の高いものから 3 点、2 点、1 点と得点を付け、その得点の平均点とした。経路の歩行移動にかかった時間のタスク 1 に対する結果を表 27 に、タスク 2 に対する結果を表 28 に示す。経路の接線方向と歩行方向の角度の差の平均のタスク 1 に対する結果を表 29 に、タスク 2 に対する結果を表 30 に示す。

図 6 に示すようにアンケートによる主観評価結果からは、手法 (iii) の評価が最も低く、手法 (ii) の評価は手法 (i) の評価と比較し僅かに高いことが分かる。手法 (iii) の評価が低かった原因として、アンケート回答時に被験者から得たコメントのなかに、

“手法 (iii) は歩行移動量に対して仮想視点の移動量が小さく感じた”

“手法 (iii) は時間がかかって歩きにくい”

というものがああり、仮想視点と歩行の移動量の不一致が認識されたと考えられる。

表 6 アンケートによる画像提示手法評価

	手法 (i)	手法 (ii)	手法 (iii)
タスク 1	2.4	2.6	1.0
タスク 2	2.3	2.7	1.0

歩行移動にかかった時間については，表 27 および表 28 に示すように，タスク 1 およびタスク 2 において被験者 6 名全員が手法 (iii) の試行に最も移動時間を費やしていることが確認できる．また手法 (i) と手法 (ii) における実験結果からは，大きな差は見られなかった．

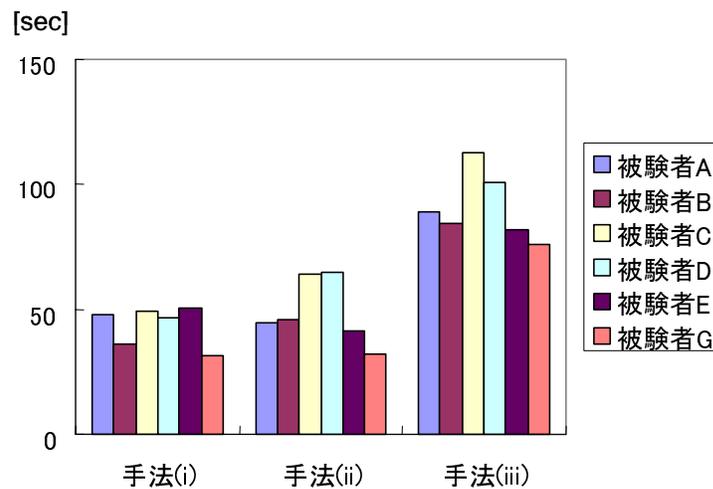


図 27 画像提示手法評価における歩行時間結果 (タスク 1)

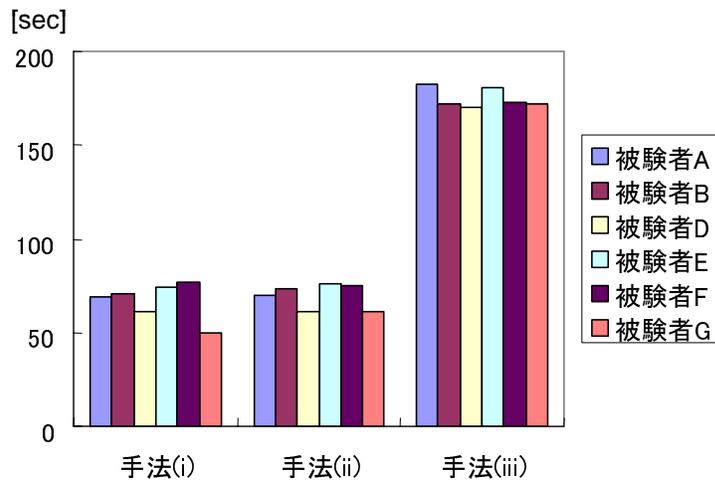


図 28 画像提示手法評価における歩行方位の差の平均 (タスク 2)

経路の接線方向と歩行方向の角度の差の平均結果については、表 29 および表 30 が示すように、3 つの提示フレーム決定手法に大きな差はないが、僅かに手法 (ii) の経路からの視点位置のずれ量が小さいことが分かる。これは、手法 (ii) において被験者が意識することなく歩行方向を経路に沿った方向に修正した結果だと考えられる。

以上のことから、被験者の主観評価による評価が高く、被験者に意識させずに経路に近い位置を歩行させた手法 (ii) を、本研究における提示フレーム決定方法とする。

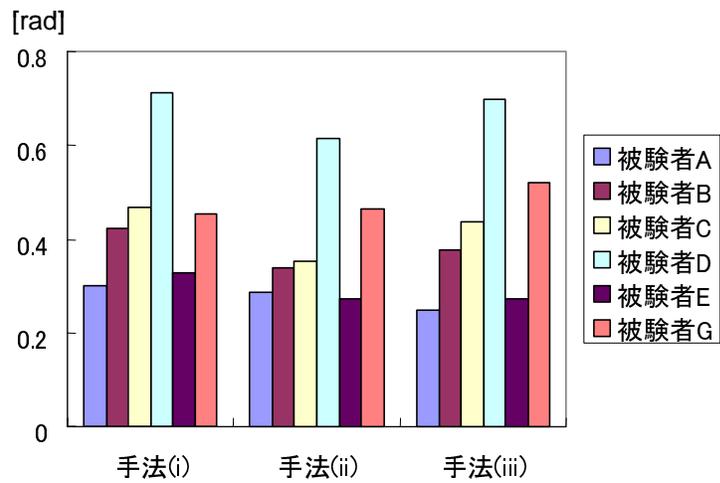


図 29 画像提示手法評価における歩行方位の差の平均 (タスク 1)

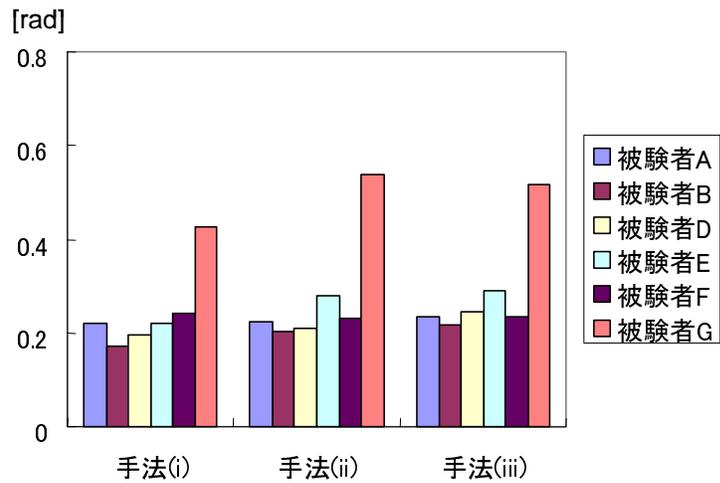


図 30 画像提示手法評価における歩行方位の差の平均 (タスク 2)

4.2 経路情報の重畳表示手法の評価

経路情報の重畳表示手法の効果を確認するため、被験者による評価実験を行った。以下に実験条件および実験結果を示す。

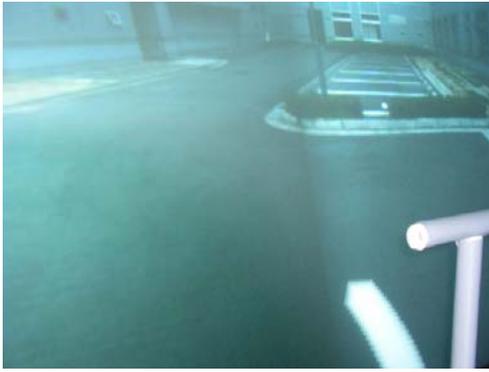
4.2.1 実験条件

前節の結果から手法 (ii) 移動後の視点位置の差を最小にするフレームを利用者に提示するフレームとし、被験者実験により評価を行った。実験では、被験者に前節と同様のタスク 1 およびタスク 2 を与え、

(a) 歩行可能な方位のみ (図 31)

(b) 歩行可能な方位と経路の形状と経路の接続関係 (図 32)

の 2 種類の経路情報を表示した場合における被験者の主観評価およびタスクにかかる時間 [sec]、経路からの視点位置のずれの量 [rad] を指標に用いて評価を行った。ただし、歩行可能な方位 (a) の提示は利用者の位置から 2 m の範囲のみの経路情報を表示することで実現し、歩行可能な方位と経路の形状と経路の接続関係 (b) については、全ての経路を表示した。図 31、図 32 に実験に用いた画像例を示す。また実験手順は前節と同じであるが、被験者に回答を求めたアンケートの設問内容は、(a) 方位を表示 と (b) 全ての経路を表示のうち違和感が少なく歩きやすかったのはどちらかを示すというものである。



左面

右面

図 31 (a) 歩行可能な方位の表示例



左面

右面

図 32 (b) 歩行可能な方位と経路の形状と経路の接続関係の表示例

4.2.2 実験結果と考察

経路情報提示による効果の評価結果として、被験者のアンケートの回答結果を表 7 に示す。経路の歩行移動にかかった時間のタスク 1 に対する結果を表 33 に、タスク 2 に対する結果を表 34 に示す。経路の接線方向と歩行方向の角度の差の

平均のタスク 1 に対する結果を表 35 に，タスク 2 に対する結果を表 36 に示す．

表 7 に示すアンケートの回答結果からは，経路の形状と歩行経路全ての経路情報を提示した場合の評価が高いことが分かる．また，交差点を含むタスク 1 ではその傾向が強く，アンケート回答時に被験者から得られたコメントからも同様の意見が得られた．交差点を含む経路や複数の曲率を持つ経路では，歩行可能な方位と経路の形状と経路の接続関係を提示する提案手法の有用性が確認できたといえる．一方で，アンケート回答時に被験者から得られたコメントからは，歩行経路全てを表示することによる景観の悪化が指摘された．これに対しては，オクルージョンについて考慮した経路情報を表示することが対策として考えられる．

表 7 アンケートによる経路情報の評価

	経路の方位のみを表示	経路全てを表示
タスク 1	1 人	5 人
タスク 2	2 人	4 人

表 33 および表 34 に示すように経路の歩行にかかる時間と表 35 および表 36 に示すように経路からの視点位置のずれ量の平均には，大きな差が見られなかった．

以上のことから，経路情報は被験者の歩行動作を意識させずに変化させることはないが，被験者による主観評価から交差点を含む経路や複数の曲率を持つ経路において，違和感の低減のための提案手法の有用性が確認できたと考えられる．

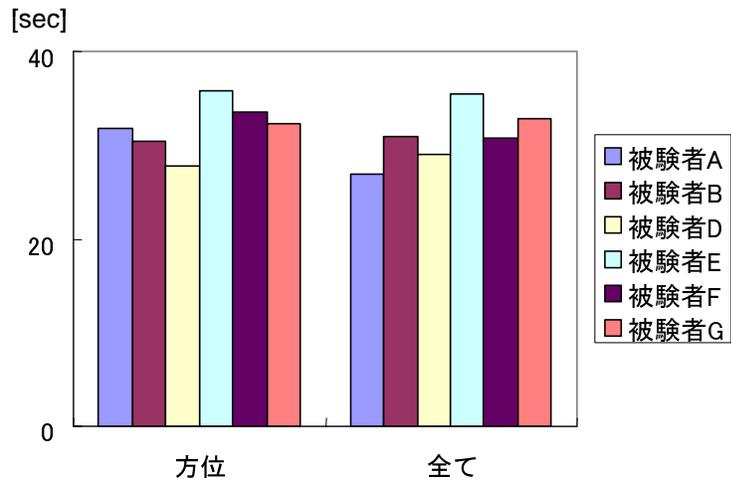


図 33 経路情報評価における歩行時間 (タスク 1)

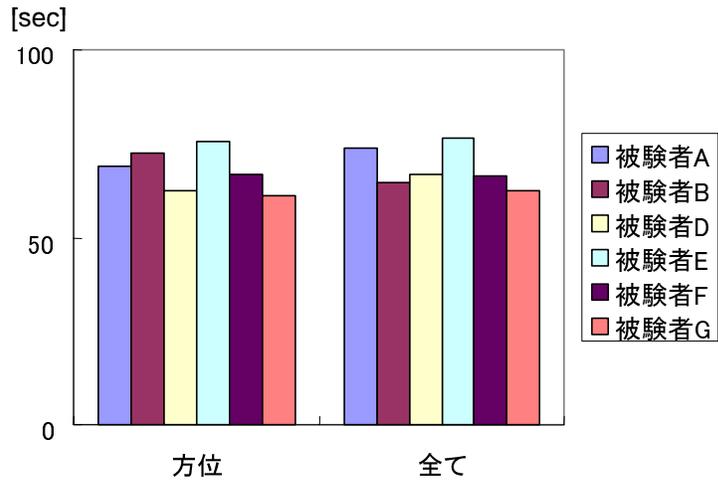


図 34 経路情報評価における歩行時間 (タスク 2)

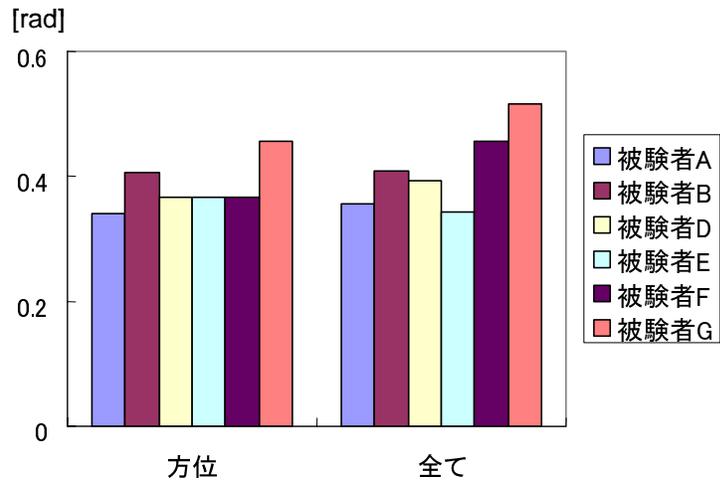


図 35 経路情報評価における歩行方位の差の平均 (タスク 1)

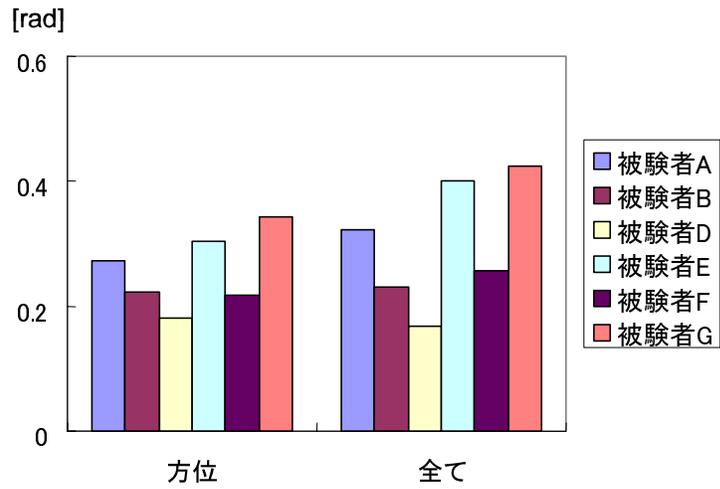


図 36 経路情報評価における歩行方位の差の平均 (タスク 2)

5. 広範囲環境を歩行移動可能な試作テレプレゼンスシステム

提案したテレプレゼンスシステムの応用例として、広範囲環境の歩行移動を可能にした試作システムについて述べる。本研究で用いる没入型ディスプレイは、3面のスクリーンで構成されており、これは利用者が正面のスクリーンに向かっているときは、全視野を覆うことが可能である。しかし、90度以上頭の向きを回転させるとスクリーンが設置されていない面が視認され、仮想環境に対する没入感が低下し、臨場感が損なわれるという問題がある。この問題に対して試作システムでは、利用者の手元のボタンを押すことで任意の場所で90度ずつ視線方向を回転する機能を有する。

試作システムがボタン入力によって視線方向が90度ずつ回転している様子を図37、図38、図39、図40に示す。

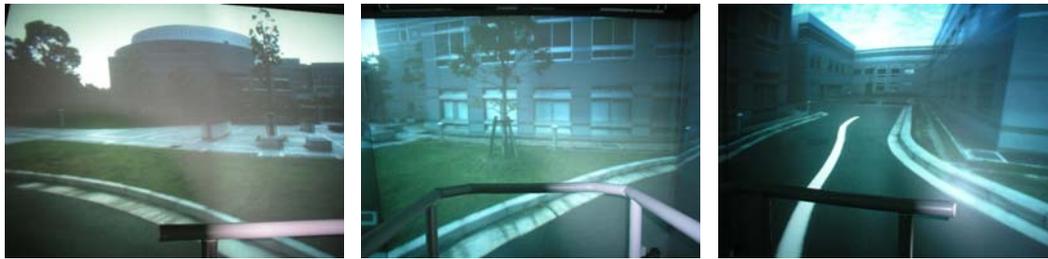


左面

中央面

右面

図37 試作システムの画像提示例(0度回転)



左面

中央面

右面

図 38 試作システムの画像提示例 (90 度回転)



左面

中央面

右面

図 39 試作システムの画像提示例 (180 度回転)



中央面

中央面

右面

図 40 試作システムの画像提示例 (270 度回転)

6. まとめ

遠隔地における複数の経路上を歩行移動する感覚を再現するテレプレゼンスシステムにおいて生じる違和感を低減させる手法を提案し、被験者実験により評価を行った。利用者の仮想視点の移動範囲が動画像の撮影経路上に制限されるため、(1) 仮想環境中の進行可能な方向や異なる経路の交差位置を利用者が把握できずスムーズな移動が困難となる、(2) 利用者の歩行移動量と仮想視点移動量の不一致により臨場感が損なわれる、という問題があった。本論文では、(1) の問題に対しては利用者を視点移動が可能な方向に誘導する、(2) の問題に対しては視点移動が可能な範囲から外れた場合に利用者に提示する画像フレームには違和感が少ないものを選択する、という 2 つの側面から手法を提案した。

被験者実験では、利用者の速度ベクトルと仮想視点の移動ベクトルの差を最小とするフレームを提示し、利用者の位置と仮想視点の位置を近づけることで違和感が最も軽減される可能性を確認した。また道路標示に類似した形と位置の経路情報を表示することで、違和感を抑えながら経路情報を認識させることが確認できた。

今後の展望としては、違和感の軽減のためにオクルージョンを考慮して経路情報の重畳表示を行うこと、画像中に映り込んだ動物体の除去を行うこと、違和感の低減のために歩行装置によるアプローチを用いることが挙げられる。また、仮想観光などのアプリケーションとしての応用のために、観光地と観光地をつなぐようなインターフェースを組み込むことなどが期待される。

謝辞

本研究を行うにあたり，多大なる御指導をいただきました視覚情報メディア講座 横矢直和教授に厚く御礼を申し上げます．本研究の遂行にあたり，御助言，御鞭撻いただいた像情報処理学講座 千原國宏教授に感謝致します．そして，本研究の全過程を通して御指導をしていただいた視覚情報メディア講座 山澤一誠助教授に深く感謝致します．物心両面において御支援をいただいた視覚情報メディア講座 神原誠之助手に深く御礼申し上げます．研究活動の全過程を通して多くの御助言，御指導賜りました視覚情報メディア講座 佐藤智和助手に心より感謝致します．そして本研究のテーマ設定から実験機器の使用法の指導，本論文の執筆，その他多くの発表論文の添削，発表練習に至るまで数々の御助言，援助をしていただきました視覚情報メディア講座 池田聖氏に心より感謝致します．物心両面において常に温かいご支援を頂いた視覚情報メディア講座 守屋知代女史に深く感謝します．評価実験に被験者として協力していただいた皆様に感謝します．最後に，研究活動だけでなく日々の生活においても大変お世話になりました視覚情報メディア講座の諸氏に感謝します．

参考文献

- [1] 遠藤隆明, 片山昭宏, 田村秀行, 広瀬通孝. 写実的な広域仮想空間構築のための画像補間手法. *日本バーチャルリアリティ学会論文誌*, Vol. 7, No. 2, pp. 185–192, 2002.
- [2] H. Kawasaki, K. Ikeuchi, and M. Sakauchi. Light field rendering for large-scale scenes. *Proc. 2001 IEEE Computer Society Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition*, Vol. 2, pp. 64–71, 2001.
- [3] D. G. Aliaga and I. Carlbom. Plenoptic stitching: A scalable method for reconstructing 3d interactive walkthroughs. *Proc. Int. SIGGRAPH 2001*, 2001.
- [4] A. Lippman. Movie-map : An application of the optical videodisc to computer graphics. In *Proc. SIGGRAPH'80*, pp. 39–46, 1980.
- [5] A. J. Woods, D. Offszanka, and G. Martin. A pc-based stereoscopic video walkthrough. In *Proc. SPIE 1999*, Vol. 3639, pp. 306–312, 1999.
- [6] C. J. Taylor. Videoplus: A method for capturing the structure and appearance of immersive environments. *IEEE Trans. Visualization and Computer Graphics*, Vol. 8, No. 2, pp. 171–182, 2002.
- [7] M. Uyttendaele, A. Griminisi, S. Winder SB Kang, R. Szeliski, and R. Hartley. Image-based interactive exploration of real-world environments. *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol. 24, No. 3, pp. 52–63, 2004.
- [8] 亀井克之, 瀬尾和夫. Pace-the-scene movie : ビデオ映像による実環境の情景表現手法. *電子情報通信学会論文誌 (D-II)*, Vol. (D-II), J85-D-II, No. 2, pp. 604–612, 2002.
- [9] S. Ikeda, T. Sato, M. Kanbara, and N. Yokoya. Immersive telepresence system using high-resolution omnidirectional video with locomotion interface.

In *Proc. 14th Int. Conf. on Artificial Reality and Telexistence (ICAT 2004)*, pp. 188–193, 2004.

- [10] K. Kato and H. Ishiguro M. Barth. Town digitizing: Recording of street views by using odvs and gps. *Proc. IEEE Intelligent Vehicles Symp.*, pp. 183–188, 2001.
- [11] M. Hirose. Space recording using augmented virtuality technology. *Proc. 2nd Int. Symp. on Mixed Reality (ISMR2001)*, pp. 105–110, 2001.
- [12] Y. Horry, K. Anjyo, and K. Arai. Tour into the picture: Using a spidery mesh interface to make animation from a single image. *Proc. SIGGRAPH '97*, pp. 225–232, 1997.
- [13] 梶原祐介, 藤村誠, 黒田英夫. 擬似三次元空間におけるウォークスルー. 3次元画像コンファレンス, 2003.
- [14] 大須賀美恵子, 達野陽子, 下野太海, 平澤宏祐, 小山博史, 岡村仁. 病床の患者のメンタルケアをめざしたベッドサイドウエルネスシステムの開発. 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 3, No. 4, pp. 213–221, 1998.
- [15] S. E. Chen. Quicktime vr: an image-based approach to virtual environment navigation. *Int. Proc. SIGGRAPH 95*, pp. 29–38, 1995.
- [16] T. Pintaric, U. Neumann, and A. Rizzo. Immersive panoramic video. *Proc. of the 8th ACM Int. Conf. on Multimedia*, pp. 493–494, 2000.
- [17] Y. Onoe, K. Yamazawa, H. Takemura, and N. Yokoya. Telepresence by real-time view-dependent image generation from omnidirectional video streams. *Computer Vision and Image Understanding*, Vol. 71, No. 2, pp. 154–165, 1998.
- [18] T. Yamamoto and M. Doi. Panovi: Panoramic movie system for real-time network transmission. *Int. IEEE 4th Workshop on Multimedia Signal Processing*, pp. 389–394, 2001.

- [19] I. E. Sutherland. A head-mounted three-dimensional display. *FJCC AFIPS*, Vol. 33-1, pp. 757-764, 1968.
- [20] C. Cruz-Neira, D. J. Sandin, and T. A. DeFanti. Surround-screen projection-based virtual reality: The design and implementation of the cave. *Proc. of SIGGRAPH '93*, 1993.
- [21] 広瀬通孝, 小木哲朗, 石綿昌平, 山田俊郎. 没入型ディスプレイ (cabin) の開発. 日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, Vol. 2, pp. 137-140, 1997.
- [22] 山田俊郎, 棚橋英樹, 小木哲朗, 廣瀬通孝. 完全没入型6面ディスプレイ cosmos の開発と空間ナビゲーションにおける効果. 日本バーチャルリアリティ学会論文集, Vol. 4, No. 3, pp. 531-538, 1999.
- [23] 岩田洋夫. 全方位映像呈示技術. 情報処理学会論文誌, Vol. 42, No. SIG13(CVIM 3), pp. 41-48, 2001.
- [24] 橋本渉, 岩田洋夫. 凸面鏡を用いた全方向球面ディスプレイの光学設計. 日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, Vol. 3, pp. 159-162, 1998.
- [25] 島村潤, 山澤一誠, 竹村治雄, 横矢直和. 全周パノラマステレオ画像とcgモデルの合成による複合現実環境の構築. 情報処理学会論文誌 : コンピュータビジョンとイメージメディア, Vol. 42, No. SIG6(CVIM2), pp. 44-53, 2001.
- [26] 野間春生, 宮里勉, 中津良平. 能動的歩行動作に対応した歩行感覚提示装置の開発. 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 4, No. 2, pp. 407-416, 1999.
- [27] H. Iwata. Walking about virtual environments on an infinite floor. In *Proc. IEEE Virtual Reality '99*, pp. 286-293, 1999.
- [28] R. P. Darken, W. R. Cockayne, and D. Carmein. The omni-directional treadmill: A locomotion device for virtual worlds. *Proc. of UIST '97*, pp. 213-221, 1997.

- [29] H. Iwata, H. Yano, and F. Nakaizumi. Gait master: A versatile locomotion interface for uneven virtual terrain. *Proc. IEEE Virtual Reality 2001*, pp. 131–137, 2001.
- [30] 雨宮慎之介, 八木寿浩, 塩崎佐和子, 藤田欣也, 渡部富士夫. 足踏式空間移動インタフェース (warp) の開発と評価. 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 6, No. 3, pp. 221–228, 2001.
- [31] W. Couvillion, R. Lopez, and J. Ling. The pressure mat: A new device for traversing virtual environments using natural motion. *Proc. of the Interservice / Industry Training Systems and Education Conferences*, pp. 199–211, 2001.
- [32] 江島由規, 長谷川晶一, 小池康晴, 佐藤誠. 等身大仮想環境のためのターンテーブルを用いた移動インタフェースの開発. 日本バーチャルリアリティ学会第6回大会論文集, pp. 87–90, 2001.
- [33] 富岡寛, 矢野博明, 岩田洋夫. パワードシューズ: 電動ローラースケートによる歩行感覚呈示装置. 日本バーチャルリアリティ学会第10回大会, 2005.
- [34] 小鷹研理, 駒谷和範, 尾形哲也, 奥乃博. 簡易的インタフェースを用いた仮想空間移動のための歩行感覚の補償. 情報処理学会第67回全国大会, 2005.
- [35] 和田浩明, 池田聖, 佐藤智和, 横矢直和. 複数経路上を歩行移動可能なテレプレゼンスシステムにおけるユーザ支援手法. 日本バーチャルリアリティ学会第10回大会, 2005.
- [36] 舘日章 (編). バーチャルリアリティの基礎 1 人工現実感の基礎-臨場感・現実感・存在感の本質を探る. 培風館, 2000.
- [37] 大山正, 今井省吾, 和気典二 (編). 新編 感覚・知覚 心理学 ハンドブック. 誠信書房, 1994.
- [38] Point Grey Research, Inc. *Ladybug Omnidirectional Camera System User Guide version 1.0*.

- [39] S. Ikeda, T. Sato, and N. Yokoya. High-resolution panoramic movie generation from video streams acquired by an omnidirectional multi-camera system. *Proc. IEEE Int. Conf. on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent System*, pp. 155–160, 2003.
- [40] 佐藤智和, 池田聖, 横矢直和. 複数動画像からの全方位型マルチカメラシステムの位置・姿勢パラメータの推定. 電子情報通信学会論文誌 (D-II), Vol. J88-D-II, No. 2, pp. 347–357, 2005.