

## 「多様化するヒューマンインタフェースと高次インタラクション総合特集号」

解説

## 体感を伝えるインタフェース

野間 春生\*

## 1. はじめに

デジタル革命により情報のグローバル化が進み、地球規模で情報の発信と共有が可能となった。そして今や世代や地域、職業、文化、社会の枠を越えた多様性を認めあうコミュニケーションを実現するメディアが求められている。これに対して我々はWebのような蓄積型の非同期コミュニケーション方式で互いの体験共有をする“体験Web”を提案している[1]。ここでは誰かが感じた体験を電子メールやWebのように手軽に、他者にフィードバックすることで両者に技能を伝え、感動を伝え、経験を伝え、そして新たな体験や創造が生まれてくる可能性を期待している。

我々のグループでは、この体験Webでの体験の入出力部となるヒューマンインタフェースとして、VR技術を活用した五感メディアの研究を進めている。我々の想定する五感メディアとは、ある人の体験を記録し、これを相手のメディアや相手自身の経験や知識、履歴に合わせて再生して、追体験させる機能の実現を想定している。

本稿ではこの五感メディアの中でも、特に従来のインタフェース装置とは趣を大きく異にする移動感覚に対応した歩行感覚提示装置について述べる。

まず、現状で提案されている多くの歩行感覚提示装置の実例からその要素についてまとめ、ついでATRで開発を進めている歩行感覚提示装置ATLASとそれらを次世代の通信システムへと応用した手段について解説する。

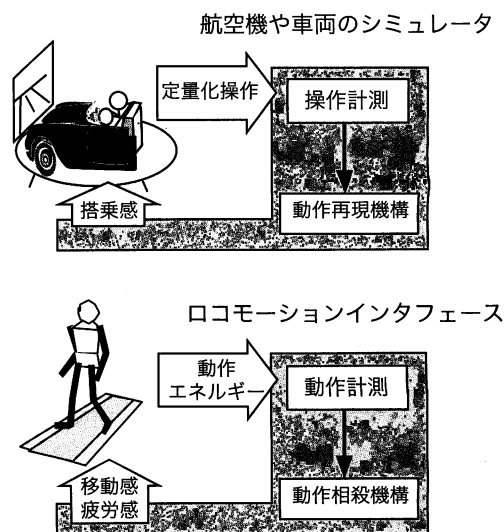
## 2. 歩行環境提示システムとは

VR研究において歩行環境提示装置（ロコモーションインタフェース：Locomotion Interface：以下LIと表記する）とは“ユーザが自身の歩行動作によって仮想空間の移動感覚を得る装置”，あるいは“歩行移動可能な地面をレンダリング<sup>1</sup>する装置”を意味する。具体的には、ユーザがごく普通の歩行、あるいは走行動作を行った際に、その動作を相殺してユーザを定点に保持し、遠隔地や仮想空間内を実際に歩行しているかのような感覚を提示する装置である。

\* (株) 国際電気通信基礎技術研究所 ATRメディア情報科学研究所

**Key Words:** multi modal interface, locomotion interface, virtual reality, tele-robotics.

情報の流れにのみ着目するならば、既存の航空機や車両のシミュレータでも同様の機能が実現されるとも考えられる。これらの技術とLIが最も異なる点は、第1図に示すようにシミュレータでは単にハンドルやペダルへの定量的な操作入力の結果として車両全体への運動がフィードバックされ、操縦者がそれを感じるのみであるが、LIではこれに加えてユーザと移動対象環境との間で動力学的な運動エネルギーの入出力をも再現される点である。これはつまり、従来のキーボードやマウスのように操作を記号的に入力するだけのインタフェースと異なり、LIは疲労感や移動感といった体感そのものを入出力可能なインタフェースであることを意味している。



第1図 ロコモーションインタフェースとシミュレータ

## 3. 歩行感覚提示システムの特徴と分類

LIの技術的なポイントはユーザの歩行動作を計測する手段、そしてその結果を用いて歩行動作を相殺する手段をいかに実現するかにある。動作計測については、多くの場合、機械的な手段や画像的な手段等の既出の動作検出手法が流用されている。一方で、動作相殺手法は実

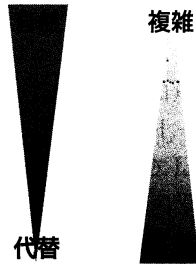
<sup>1</sup>レンダリング：狭義にはコンピュータグラフィックスにおいて表示物体の形状や素材を示す数値情報を元に、表示される画像情報を生成する処理を示す。ここでは、これを拡張し移動している地面の形状や属性を示す数値情報から仮想移動面を生成する処理を意味する。

際の運動の入出力を行うインタフェース部分であり、LIの技術的特徴が最も反映される。そこで、これまでに提案されている多くのLIの実現例をこれらの動作相殺機構に着目して第2図のように分類した。ここではより自然な歩行動作が期待される順に分類しているが、その自然さとトレードオフに上位カテゴリーほどインタフェース装置として高い技術的ハードルが求められる傾向がある。以下では既存の報告例を交えて各カテゴリーの特徴をより詳しく述べる。

### 特徴

歩行動作 装置の構造

- フットパッド型
- トレッドミル型
- スライディングサフェース型
- 定点歩行動作型
- ペダル型
- その他



第2図 ロコモーションインタフェースの分類

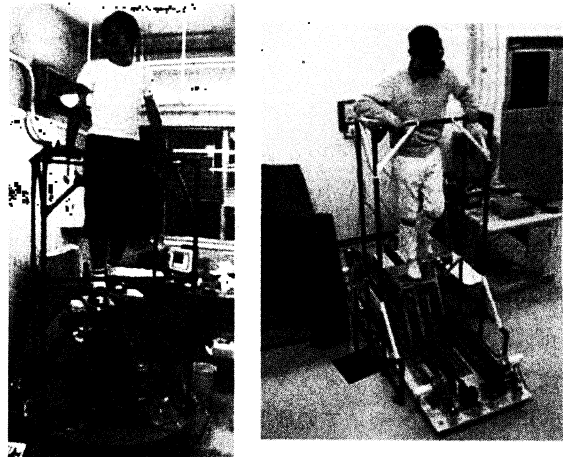
#### 3.1 フットパッド型

フットパッド型LIはユーザの足先動作に追従する複数の可動板を用い、ユーザを支えると同時に歩行運動を相殺する手法である。単純な前進歩行だけでなく、旋回や進路変更動作への対応はもちろん、可動板の上下の動きを再現する地形に連動させて、階段や不整地などの複雑な歩行面の地形形状のレンダリングも可能となる。しかもユーザはごく普通に歩行動作を行うだけあり、既存の提案方式の中で最も自然な歩行動作への対応が可能である。反面、このカテゴリーの装置を実現するには、人間の複雑かつ敏しょうな足の動きに追従するために、可動板を駆動する機構には十分な自由度と可動範囲、高い周波数応答性と、接地時の加速度を支えるだけの高剛性が同時に要求される。

Sarcos社のBiport [2] (第3図)は、ユーザの後方にある二基のロボットアームがユーザの両足を支える構造を取っている。岩田らのGaitMasterシリーズ [3]ではユーザの下に、ロボットアーム機構を設置している(第4図)。一号機では2基の4自由度平行機構を用い、二号機では機構の軽量化を狙って平行リンク機構により可動板の駆動を実現している。機構の応答速度を確保するために、足先の動作計測には可動板の先端にリンク機構からなるゴニオメータを実装して計測している。塩澤らのGaitSimulator [4]では水平方向に3軸の平行リンクを組んだ機構を提案している(第5図)。これは足先の水平面内への動きに対して高剛性と速度応答性を重視したものである。また階段などの地形レンダリングのために鉛直方向には可動板を駆動させる油圧装置を機構先端部に設けている。足先の動きの計測は赤外LEDと



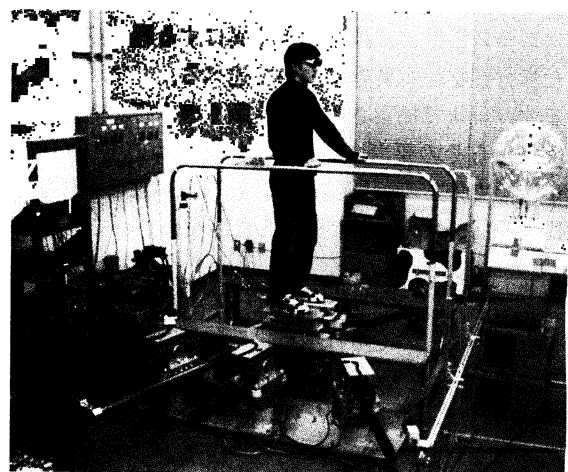
第3図 Biport (Sarcos Inc. 提供)



GaitMaster 1-全方位型

GaitMaster 2-前進型

第4図 GaitMaster (筑波大学提供)



第5図 GaitSimulator (立命館大学提供)

PSDカメラによるトラッキング技術を用いている。このほかにも、円盤状の機構を用いたLathamのOmniTrek [5]、Robotic Graphicsの手法を取り入れたRostonらのWhole Body Display [6]などが提案されている。

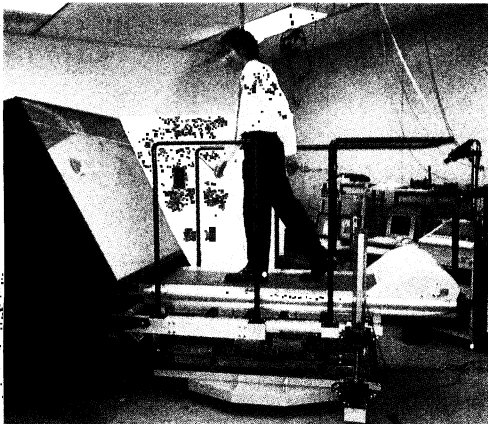
#### 3.2 トレッドミル型

トレッドミル型はトレーニングジムなどによく設置さ

れているベルト機構を応用してユーザの歩行動作を相殺する手法である。他方式に比べ、ユーザに取り付ける特別なセンサや機構が少なく、ベルト上でのユーザの素早い自然な歩行動作に対応しつつ、機構的には簡素な構成が可能となる。

このトレッドミル型はまずベルトの駆動方式により、ユーザの体重の重力方向分力でベルトを駆動するパッシブ方式と、アクチュエータでベルトの動きを制御するアクティブ方式に細分できる。パッシブ方式では Brooks らのシステム [7] が早い段階から提案されている。これは典型的で簡易な歩行器にベルト速度センサをつけたものであり、ベルトの駆動速度で移動速度を、歩行器の前方に取り付けた自転車のハンドル状の装置で移動方向の入力を行った。廣瀬らも同様の装置を提案している [8]。いずれのケースでも、動作計測系と相殺系が機械的に連動するシンプルな構成となるが、対象となる世界が常に上り斜面に限定されるなど、歩行感覚の面、および、地形のレンダリングの面では効果が低い。

アクティブ方式の場合は、動作計測手段によってベルト上のユーザの位置を計測し、これを中央に保持するようにアクチュエータによってベルト速度を制御するため、パッシブ型に比べて平地上を実際に歩行している感覚が高まる。我々の開発した ATLAS [9] (第 6 図) では、Computer Vision 手法を用いてベルト上でのユーザ位置と歩行速度を計測し、これらの情報を用いてユーザの歩行位置を目標値としたベルト速度制御を組み込んでいる。トレッドミル全体は 3 軸のベルト面の姿勢制御機構上に組み込まれており、平地だけでなく任意の斜面などがレンダリング可能である。ATLAS の詳細については 4. で述べる。

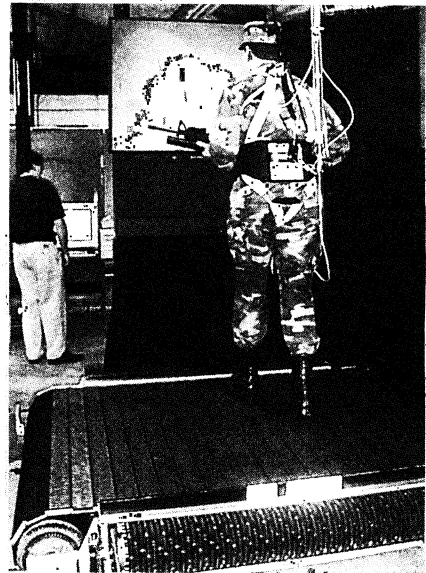


第 6 図 ATLAS

トレッドミル型の問題点として、歩行方向がベルトの運転方向に限定される点が挙げられる。つまり、ベルトの上でごく普通に進路変更をしようとするならば、ユーザは直ちにベルトの外に足を着かざるを得ず、転倒することになる。そこで、普通の一自由度ベルト機構によるトレッドミルでは純粋な進路変更動作の代わりに、先の



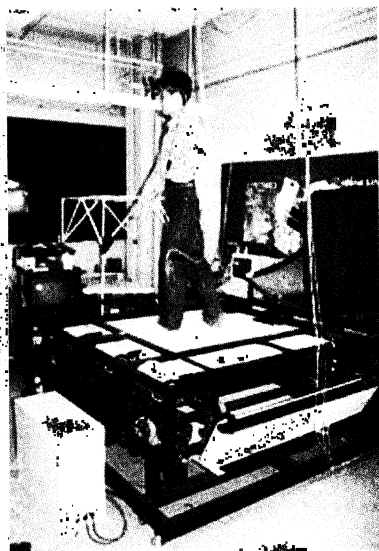
第 7 図 The Second Generation Treadport  
(Utah Univ. 提供)



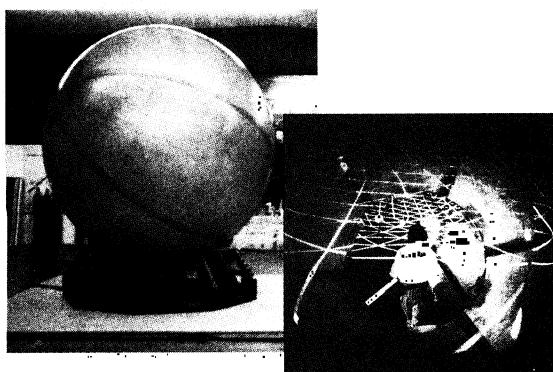
第 8 図 Omni Directional Treadmill  
(Virtual Space Devices, Inc. 提供)

Brooks らのシステムのハンドルによる方法、あるいは、後述する Hollerbach らの Treadport [10] (第 7 図) で採用された体の方向とベルト上の横方向への移動量からステアリング角度を決める疑似的方法が主流である。

この進路変更動作問題を解決する方法として、多自由度ベルト機構を導入した手法が提案されている。モータ駆動のアクティブ方式として、第 8 図に示す Darken らの Omni Directional Treadmill [11] では多数の小さなパイプを数珠状につなげた機構でベルトを構成し、これを直交する二機のトレッドミルで二次元方向に駆動する方式を実現した。岩田らの Torus Treadmill [12] (第 9 図) では幅の短いトレッドミルを横方向に複数輪状に連結し、このトレッドミル群を横方向に駆動することでトラス状のベルト駆動機構を実現した。また、ユーザの自重によってベルトを駆動するパッシブ方式の発展では、Time's Up 社が SPIN [13] を提案している。これは第 10 図に示すように FRP 製の巨大な半透明球殻内壁を歩行面とし、この中をユーザが歩くことで二次元平面



第9図 Torus Treadmill (筑波大学提供)



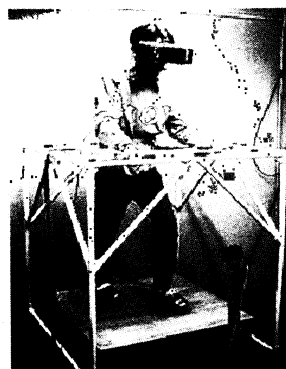
第10図 SPIN (Time's Up Inc. 提供)

の任意方向への移動を実現している。球殻は歩行面のレンダリングだけでなく歩行空間の映像提示のためのスクリーンの役割も果たしている。いずれのケースでも、ベルトの多自由度化に伴う機構の複雑化と巨大化、さらにトレードオフとなる応答性とのバランスが問題となる。

また、LI 共通の課題であるが、歩行速度の加減速の際に生じる慣性力の有無が、特に応答の良いベルト機構においては実歩行との違和感の原因となる。高橋らは平衡感覚の知覚限界以下でベルト速度を制御するための知覚実験を行い、厳密には50m以上のベルトが実現できればユーザに知覚されない加減速制御が可能であることを示した[14]。また、擬似的にこの慣性力による加減速感と傾斜歩行時の重力感覚を生成する方法として、ChristensenらはTreadport(第7図)でTheterとよばれるモータ制御の押し棒によってユーザの腰部へ擬似的な慣性力を提示する手法[15]を提案した。

### 3.3 スライディングサフェース型

トレッドミルとは逆に、歩行面を固定しユーザ側に相殺機能を持たせる方式として、岩田らのVirtual Perambulator[16]の提案がある(第11図)。ここではユーザの足の裏に車輪、あるいは、摩擦係数の低い素材を取り



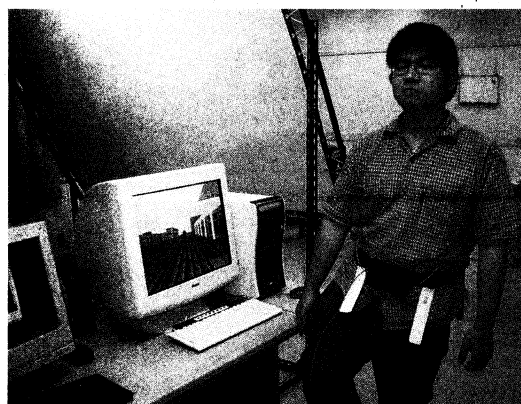
第11図 Virtual Perambulator (筑波大学提供)

付けた特殊な靴によって蹴り出し時と踏み込み時の摩擦感を提示している。もちろんこれだけでは氷の上にいるのと同じく不安定状態であり、ユーザの上体の固定のために特殊ハーネスや円形の手摺状の保持機構を併用せねばならない。また、磁気位置姿勢センサなどで歩行動作を計測して移動結果に反映させる。基本的にはパッシブ型となり歩行の自然さはやや低下するが、システムが非常に簡略化できる。

### 3.4 定点歩行動作(Walk in place)型

定点での足踏み動作によって仮想空間内の移動操作を行う方式も数多く提案されている。センサをユーザに装着する方式では、Choiらが靴底に配置した四個の圧力センサの出力値から足踏み動作を検出するCyberBoot[17]を提案した。雨宮らのWARP[18]では、ひずみゲージを用いたゴニオメータによって大腿部の運動を計測し、足踏み運動から擬似的に進行速度と進路変更動作を検出する手法を提案している(第12図)。

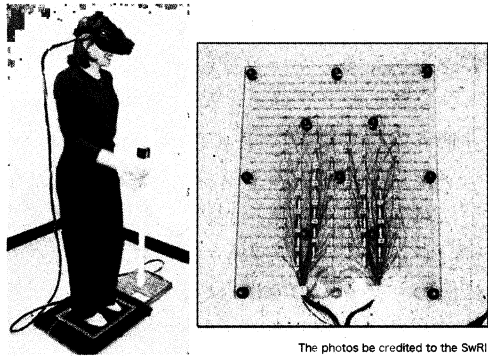
一方、ユーザへの負担が少ない非装着型では、江島らがセンサを組み込んだターンテーブル[19]の上で足踏み動作を行うLIを提案した(第13図)。円盤内には四個のフィルム状圧力センサを組み込み、重心の変動情報から歩行動作を検出する。同時に赤外線カメラで体の向きを検出して進行方向を決め、旋回時にはターンテーブルで旋回動作を相殺する。CouvillionらのPressure Mat



第12図 WARP (東京農工大学提供)



第 13 図 ターンテーブル式 LI (東京工業大学提供)

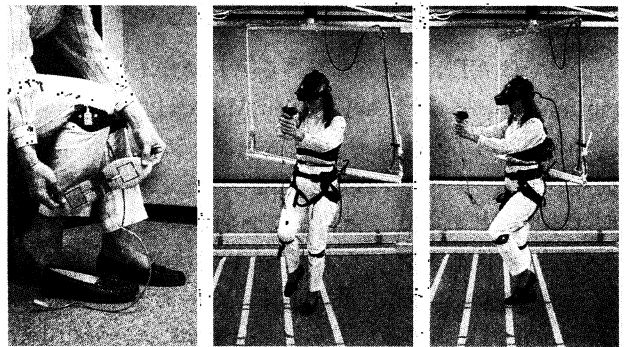
第 14 図 The Pressure Mat  
(Southwest Research Institute 提供)

[20] では 64 個の力センサを埋め込んだマット上での足踏み動作から、前進、後進、左右旋回動作を検出するパターンマッチング手法を提案している (第 14 図)。

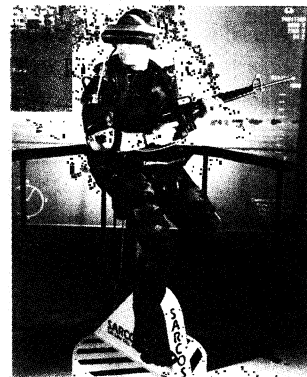
非装着型 Walk in place での問題点は、足踏み動作を繰り返すうちに、ユーザの位置が徐々にセンサ範囲から外れていくことにある。江島らのターンテーブル方式ではテーブルの周囲にわずかな段差を設けてユーザにターンテーブル内での位置を知覚させている。一方、積極的にユーザを所定位置に確保するために、Templeman と Kaufman らのシステムでは天井からつるしたリンク機構によってユーザの足踏み位置を保持する Gaiter [21,22] を提案している (第 15 図)。Gaiter ではユーザの動作を靴底の圧力センサと膝の磁気センサから計測し、歩行結果に反映させている。

### 3.5 ペダル型

動作計測を単純化するために歩行動作の自由度を下げ、歩行に近い動作によって移動感覚を実現する手法として、ペダルを用いる手法がある。Darken らは軍事訓練のために UniPort とよばれる固定された一輪車形状装置を提案した (第 16 図)。ここではペダルの回転速度で移動速度を入力し、頭の方で移動方向を入力している。Brogan らは自転車そのものにセンサをとりつけ、インタフェースとして用いる例 [23] も提案している (第 17 図)。ペダルへの負荷調整と基部の動きで若干の地形情報の提示



第 15 図 The Gaiter system (Naval Research Lab. 提供)

第 16 図 UniPort  
(Sarcos Inc. 提供)第 17 図 自転車型デバイス  
(Georgia Institute of Tech. 提供)

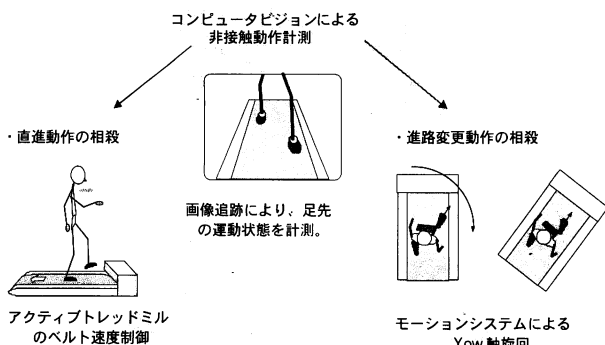
機能が実現される。

### 3.6 その他の方式

さらに単純化して、ユーザ位置と移動動作を単にマッピングすることで移動感を提示する方式も提案されている。門林らの VISTA Walk [24] では画像処理により得られるユーザの位置情報を、小林らの Tilting Disc [25] ではユーザの重心位置を、ジョイスティックの入力であるかのように移動方向と移動速度に対応させて仮想空間移動を行う装置を提案した。いずれも映像フィードバックが中心で体感的なフィードバックは乏しくなる。

#### 4. 歩行感覚提示装置 ATLAS

ここでは ATR で開発を進める ATLAS (ATR Locomotion Interface for Active Self Motion) [26] について述べる。ATLAS は第 6 図に示すように 1 自由度のアクティブトレッドミル機構を利用し、任意速度での前進歩行は当然として、さらに左右へ曲がる進路変更動作を相殺する機能を有している。ATLAS の動作原理は、第 18 図に示すように、まず画像処理によって、ユーザの足先の動作を計測する。この解析結果からユーザの歩行動作を推定し、前進動作についてはトレッドミルのベルト速度を制御することで対応し、進路変更動作についてはベルト機構全体を回転させる手法を採用した。これによって従来のトレッドミルタイプ LI の問題点を解消しており、ユーザは単に足先に反射マークを取り付けて装置上に乗り、不自然な意識的歩行動作によって機構を操作するのではなく、通常の自由歩行動作を行うだけでこれを利用できる点を特徴としている。



第 18 図 ATLAS の動作原理

試作 ATLAS は速度制御可能なトレッドミルとそれを三軸で回転させる姿勢保持装置、さらに、トレッドミル先端に固定された二台の CCD カメラから構成される。ATLAS での動作計測処理は、まず画像処理によってユーザの両足先のトレッドミル上での位置と速度を計測し、この結果とベルト速度を比較することで足の遊・立脚の状態判定を行う。画像処理系によって計測される立脚時間から歩行速度を推定する。事前の計測により、歩行速度と立脚時間がほぼ反比例関係にあることが確かめられており、この関係式をユーザごとにユーザプロファイルとして事前に組み込んでおく。ATLAS ではこの速度推定結果によるフィードフォワード制御と、推定結果誤差を補償するために画像処理から得られるベルト上でのユーザ位置に基づく PI フィードバック制御を組み合わせ、ベルト速度を制御し、1.5m ほどのベルト長でありながら、ユーザが日常で行う程度に歩行速度を変えても直ちにベルト速度を連動させて常にベルト上の定点に保持する。

一方、左右への進路変更動作に対しては、歩行時の遊脚の軌道の違いに着目して動作検出をしている。直進歩行の際は遊脚はほぼ正面に弓なりの軌道を描きながら着

地するのにに対し、進路変更時には遊脚が斜前方に大きく振り出される。ATLAS ではこの動作を速度計測系と同じ画像処理系によって計測している。そして進路変更動作が計測されると、ベルト面自体を姿勢保持装置によって水平方向に回転させる。これによって、旋回のために横方向に振り出された足を常に相対的にベルトの中央に着地させて進路変更動作を相殺する手法を実現した。

試作環境では画像処理装置は QuickMug-IV (OKK 製) を使用し、60Hz での両足先位置追跡処理を行っている。また、動作解析および機構制御系は PC 上に実装され、画像追跡に連動して 60Hz で実行されている。

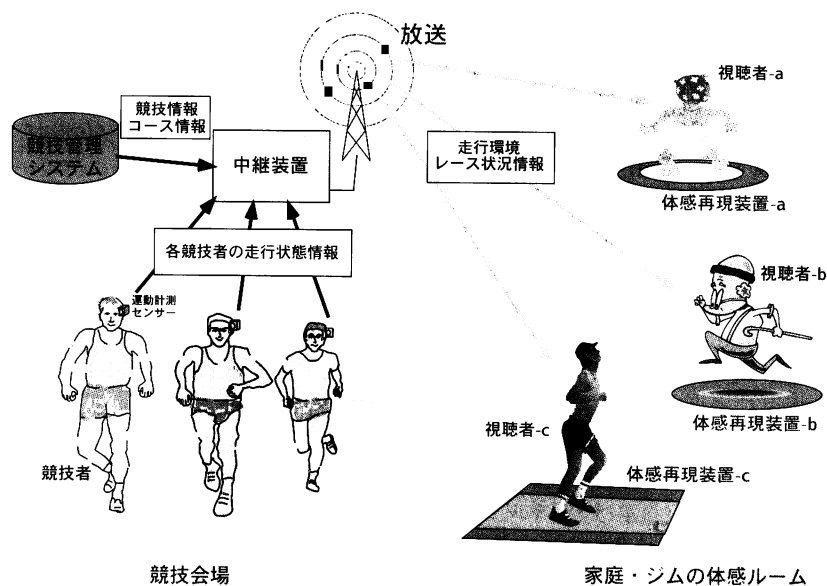
#### 5. 体感型スポーツ中継

五感メディアの概念を放送に応用した例として、LI を用いて体感を伝えるスポーツ中継手段を提案した。従来のスポーツを楽しむアプローチとして「自分で競技する」方法と「他人の行う競技を観戦する」方法がある。後者のスポーツを見て応援するアプローチでは、視聴者の立場は選手に対して完全に第三者的な立場になってしまうため、視聴者には選手自身の運動の感覚や競技の楽しさが十分に伝わりにくいのではないかと我々は考えた。そこで、見るだけでは伝わりにくい“するスポーツの楽しさ”をも伝える放送方式として体感型スポーツ中継を提案した [26]。究極的には、第 19 図に示すように、選手の見聞きしている映像に選手の走行位置や走行速度などの情報を付加して家庭に放送する中継環境と、家庭側として ATLAS と大型スクリーンからなる再生環境を実現した。ここで行った印象評価実験結果から、被験者が従来の中継に比してより積極的にレースを体感した印象を得ていたことがわかった [27]。

また、ここでは体感のパーソナライズ化手法も実装している。選手の走行速度に連動して ATLAS のベルトを動かして視聴者を受動的に走行させた場合、選手と視聴者の運動能力が異なれば、同じ走行速度であってもおのおのが感じる苦しさや辛さも異なる。そこで、私たちは選手の走行速度に一致して視聴者が走るのではなく、選手の競技中における疲労感や辛さを正規化して一致させる手法を提案した。ここでは、安静時と運動時の脈拍値から算出される個人ごとの指標である運動負荷と走行速度による運動強度の制御方式を用い、選手が感じている辛さを日常的に運動をしている視聴者とそうでない視聴者の間で同程度の辛さの感覚として再現可能なことを実験により確認した [26]。

以上の成果は従来の一対多の単一方向放送の概念を拡張したものであるが、次世代放送方式である双方向放送として応用することも計画している。ここでは、視聴者の動作に連動する走行ロボットを競技会場側に送り込んで競技コースを走行させることで、ATLAS 上で走行体験をしている世界中のファンと共にあこがれの選手と一緒に競技に参加する体験が実現可能となる。





第 19 図 体感マラソン中継システム

## 6. おわりに

電信から始まったコミュニケーションのための装置は、音声の電話、映像を加えたTV電話を経て一般的になり、現在では携帯電話の爆発的普及に伴う個人化とそして携帯メールによる非同期化が進んでいる。ここに至って、ある意図を伝えるためのコミュニケーション手段はほぼ完成に至ったと考えられる。

我々は次世代のコミュニケーションの目的、あるいは、その動機は、積極的に誰かと話をするだけでなく、冒頭で提案した体験Webのような、非同期的に他者の存在や体験・経験を伝えることであり、これを実現するために五感メディアが不可欠であると考えている。

本稿ではその五感メディアの一部を構成する歩行感覚提示装置について多くの実現例を交えてその特徴と応用方法についてまとめた。単に仮想空間内の移動のコマンドを発するだけならば、このような装置を駆使して体で指示入力をする必要性は全くない。むしろ、音声で“あっちへ進め”、“こっちへ行け”程度のことで事足りるであろう。それでもなお、苦労して疲れてまで仮想空間を自分で歩くことが本当に必要であろうか。我々は、そのような体験をし、その体験を他者と交わすことこそが重要なコミュニケーションであると考えている。

## 謝 辞

本研究は通信・放送機構の研究委託“超高速ネットワーク社会に向けた新しいインタラクションメディアの研究開発”により実施したものである。

(2002年12月6日受付)

## 参考文献

- [1] 鉄谷, 野間, 柳田ほか: 体験Webと五感メディア; 情報処理学会研究報告, 2000-HI-98, pp. 19-24 (2002)
- [2] <http://www.sarcos.com/>
- [3] H. Iwata, H. Yano and F. Nakaizumi: GaitMaster: A versatile locomotion interface for uneven virtual terrain; *Proceedings of IEEE Virtual Reality 2001*, pp. 131-137 (2001)
- [4] 塩澤, 米澤, 岸場, 牧川: 様々な歩行動作と歩行面を再現する仮想空間内歩行システム; 第17回生体・生理工学シンポジウム論文集, pp. 123-126 (2002)
- [5] R. Latham: Device for Three Dimensional Walking in Virtual Space; <http://www.cgsd.com/OmniTrek.html>
- [6] G. P. Roston and T. Peurach: A whole body kinesthetic display device for virtual reality applications; *Proc. of IEEE Int'l Conf. on Robotics and Automation*, pp. 3006-3011 (1997)
- [7] F. P. Brooks Jr.: Walk through — a dynamic graphics system for simulating virtual buildings; *Proc. of 1986 Workshop on Interactive 3D Graphics*, pp. 9-21 (1986)
- [8] M. Hirose and K. Yokoyama: Synthesis and transmission of realistic sensation using virtual reality technology; *Transactions of the Society of Instrument and Control Engineers*, Vol. 33, No. 7, pp. 716-722 (1997)
- [9] 野間, 宮里, 中津: 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VR学会論文誌, Vol. 4, No. 2, pp. 407-416 (1999)
- [10] J. M. Hollerbach: Locomotion interfaces; *Handbook of Virtual Environments Technology*, Lawrence Erlbaum Associates, Inc., pp. 239-254 (2002)
- [11] R. P. Darken, W. R. Cockayne and D. Carmein: The Omni-Directional Treadmill: A locomotion device for virtual worlds; *Proc. of ACM UIST'97*, pp. 213-221 (1997)
- [12] 岩田, 吉田: 無限平面を用いた仮想歩行装置; 日本VR学会第2回大会論文集, pp. 254-257 (1997)
- [13] <http://www.timesup.org/Spin/index.html>

- [14] 高橋, 稲見, 柳田, 前田, 館: 人工現実環境における歩行感覚提示に関する研究; ヒューマンインタフェース学会研究報告集, Vol. 1, No. 2, pp. 25-28 (1999)
- [15] R. Christensen, J. M. Hollerbach, Y. Xu and S. Meek: Inertial force feedback for the Treadport locomotion interface; *Presence*, Vol. 9, No. 1, pp. 1-14 (2000)
- [16] H. Iwata and T. Fujii: Virtual perambulator: A novel interface device for locomotion in virtual environment; *Proc. of IEEE VRAIS'96*, pp. 60-65 (1996)
- [17] I. Choi and C. Ricci: Foot-mounted gesture detection and its application in a virtual reality environment; *Proc. of IEEE Int'l Conf. on System, Man and Cybernetics*, pp. 4248-4253, Vol. 5 (1997)
- [18] 雨宮, 八木, 塩崎, 藤田, 渡部: 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)
- [19] 江島, 長谷川, 小池, 佐藤: 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VR学会第6回大会, pp. 87-90 (2001)
- [20] W. Couvillion, R. Lopez and J. Ling: The Pressure Mat: A new device for traversing virtual environments using natural motion; *Proc of the Inter-service/Industry Training Simulation and Education Conference*, pp. 199-211 (2001)
- [21] <http://www.seas.gwu.edu/~kaufman1/NRL/Gaiter.html>
- [22] J. Templeman, P. Denbrook and L. Sibert: Virtual locomotion: Walking in place through virtual environments; *Presence*, Vol. 8, No. 6, pp. 598-617 (1999)
- [23] D. C. Brogan, R. A. Metoyer and J. K. Hodgins: Dynamically simulated characters in virtual environments; *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol. 18, No. 5, pp. 85-68 (1998)
- [24] R. Kadobayashi, K. Nishimoto and K. Mase: Design and evaluation of gesture interface for an immersive virtual walk-through application for exploring cyberspace; *Proc. of Third IEEE Int'l Conf. on Automatic Face and Gesture Recognition*, pp. 534-539 (1998)
- [25] M. Kobayashi, S. Shiwa, A. Kitagawa and T. Ichikawa: Tilting Disc: A real scale interface for cyberspace; *Proc. of SID 98*, pp. 333-336 (1998)
- [26] 野間, 宮里: 体感型スポーツ中継システムにおける疲労の感覚伝達のための運動負荷制御; 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 6, No. 4, pp. 249-257 (2001)
- [27] 杉原, 野間, 宮里, 中津, 岸野: 仮想マラソンの評価: 主観評価による仮想空間内での体感評価; 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 6, No. 4, pp. 265-276 (2001)

## 著者略歴

野間 春生



1966年5月1日生。1989年筑波大学第3学群基礎工学類卒業, 1994年筑波大学博士課程工学研究科修了。同年ATR通信システム研究所入所, 1996年ATR知能映像通信研究所研究員, 2001年ATRメディア情報科学研究所主任研究員に着任。人工現実感, 臨場感通信, 力覚インタフェース, 体性感覚インタフェースなどの研究に従事。博士(工学)。1998年電子情報通信学会学術奨励賞, 1999年日本バーチャルリアリティ学会学術奨励賞, 2000年日本バーチャルリアリティ学会論文賞, 2001年電気通信普及財団第16回電気通信普及財団賞テレコムシステム技術賞, 各受賞。日本VR学会, 計測自動制御学会, 電子情報通信学会, 日本ロボット学会, IEEE各会員。