

平城京ウォークスルー – 多様な環境に対応したバーチャル空間散策システム –

井村誠孝^{*1} 浦西友樹^{*2} 池田聖^{*2} 眞鍋佳嗣^{*3}
大城理^{*1} 千原國宏^{*4}

^{*1} 大阪大学 大学院基礎工学研究科

^{*2} 奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科

^{*3} 千葉大学 大学院融合科学研究科

^{*4} 大阪電気通信大学 医療福祉工学部

Heijo-kyo Walk-through – Versatile System for Virtual Space Strolling –

Masataka Imura^{*1} Yuki Uranishi^{*2} Sei Ikeda^{*2}
Yoshitsugu Manabe^{*3} Osamu Oshiro^{*1} Kunihiro Chihara^{*2}

^{*1} Graduate School of Engineering Science, Osaka University

^{*2} Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology

^{*3} Graduate School of Advanced Integration Science, Chiba University

^{*4} Faculty of Biomedical Engineering, Osaka Electro-Communication University

imura@bpe.es.osaka-u.ac.jp

概要

平城京ウォークスルーは、「古の奈良の都」平城京の街並みをコンピュータ・グラフィクスで再現し、その中をバーチャルに散策することを可能とするシステムである。提案システムは、様々な環境での体験展示の実施を考慮し、画像提示および入力インタフェースの両処理において柔軟な機器構成を可能とする分散型の構成を取っている。都市の規模をユーザが感じられるようにするために、各辺が4km強の平城京全域をルールベースの手続き型モデリングによって再現する。映像は没入型ディスプレイにより提示され、ユーザは足踏みなどの動作を行うことで、視点の移動と回転を制御する。ユーザの両踵を単眼カメラで後方から計測し、画像処理により得られる踵の上下運動と接地位置の時系列データを解析することにより、足踏みによる直感的な視点移動を実現する。

Abstract

“Heijo-kyo Walk-through” is a system which enables users to stroll in the virtual “Heijo-kyo”, an old capital of Japan, which is reproduced by computer graphics. The system has distributed structure suitable for exhibition in various environments. A broad area of Heijo-kyo is procedurally modeled based on a couple of arrangement rules. Immersive displays are used for visualizing an old scenery of “Heijo-kyo”. Users can walk virtually inside the scenery by body motion such as stepping. To detect stepping motion, we use a single camera for shooting heels from behind and analyze up-and-down movement and grounding location.

1 はじめに

古代文明の遺跡や遺物は我々現代人のロマンチズムを刺激してやまない。世界遺産に指定された遺跡は過剰なまでの観光客を集め、古墳の発掘がなされれば現地説明会に人々が列を成す。しかし発掘された遺跡が往時の姿を留めていることは稀であり、その文明・文化が栄華を誇った時代の姿は個人の人々の想像にまかせよりほかない。過去の繁栄と現代に残されたものの落差が我々の琴線に触れることは確かであるが、一方で古代の人々がどのような風景を見て、どのような生活を営んでいたのか、その空気感を我々が肌で感じすることは困難であった。

バーチャルリアリティ (VR) 技術の発展は、この困難を打ち破り、過去へのバーチャルな旅を可能としつつある。遺跡・遺物のコンピュータ・グラフィクス (CG) 技術による再現が多数なされており、更には視覚的側面のみに留まらず、いわゆる五感を刺激するディスプレイ技術の研究によって、音や匂い、手ざわりまでもが感じられるようになってきた。これらの技術の主たる適用対象は、復元に値するだけの重要性のある遺跡・遺物であることが多い。しかしながら、それらの遺跡・遺物に対して人々が真に抱いていた感覚は、それらが置かれていた地理的・文化的環境に配してすることで、初めて知ることが可能となると考えられる。

本研究の目的は、かつての都である奈良・平城京の街並みをコンピュータ・グラフィクスで大規模に再現するとともに、街並みを自由に散策できるシステムを構築することである。提案システム「平城京ウォークスルー」は、様々な環境での体験展示の実施を考慮し、画像提示および入力インタフェースの両処理において柔軟な機器構成を可能とする分散型のシステムである。大型没入ディスプレイを用いることで、あたかも奈良時代にタイムスリップしたかのような風景をユーザに提示する。また、都市の規模をユーザが感じられるようにするために、各辺が 4 km 強の平城京全域をルールベースの手続き型モデリングによって再現するとともに、足踏みによってバーチャル空間内のユーザの視点移動を可能とするインタフェースを開発する。

2 関連研究

情報考古学 [1] における遺跡・遺物の再現は、大別すると、現代まで残っている考古遺物を計測することによりデジタルアーカイブ化する研究 (例えば [2]) と、文献や断片的な出土品、遺構等の資料からデザイナーの手により再構築する研究がある。本研究では後者の手法により平城京の往時の街並みを再現する。CG および VR による再構成は、体験者にその場所あるいはその時代の臨場感を与えることを目標において、これまでに数多くの試みがなされている。臨場感を与える方法として、京都の街並みを現代から時代を遡って再現した研究 [3, 4] では、場所を変えずに時代を変えることで現実空間とのつながりを手がかりとして空間感覚を維持している。また、凸版印刷の手による種々の建築物の VR 表現 [5]、スケーラブル VR によるマ

ヤ文明の遺跡 [6] では、主たる遺物・遺跡の精緻な再現により臨場感を与えている。Mixed Reality (MR) 技術を用いたバーチャル飛鳥京 [7, 8] などでは、現実環境に過去の建造物の CG を重ね合わせることで生まれるスケール感を重視している。

本システム「平城京ウォークスルー」では、臨場感の源をバーチャル世界の広さに求める。広大な空間を構築することにより、その中を実際に歩くという身体性のある行為が、往時の建造物の大きさや都市の広さを直接的に感じることにつながる。またその他のインタフェース、例えばジョイスティックによる移動は、さながら奈良時代に飛行機を持ち込んだかのようなバーチャルな体験であるが、そのような手段を用いてもなお (例えば見所である寺院間の) 移動に時間がかかることで、体験者は距離感を実感できる。

街並みのモデリングをルールベースで行っている研究としては、L-system [9] に基づいたシステムである CityBuilder [10] が、地形や人口分布に基づいて整合性の高い街並みを生成することを実現している。以降、建物のモデリング [11, 12] や、画像から建物の特徴を自動的に抽出してのモデリング [13]、生成結果をインタラクティブに制御可能なシステム [14, 15] へと発展してきた。本研究では、基盤の目状に階層化された街路を持つという、平城京の整備された都市構造を反映させて、文献 [16] の手法に従って、複数のプリミティブを配置するシーングラフを自動生成する。

足踏みの認識に関しては、マット型の圧力センサ [17] あるいはスイッチ [18] を用いる手法、加速度センサを膝付近に装着し、その出力を処理する手法 [19] などがある。マットにセンサを埋め込む手法では、足が床に付いていない状態では情報が取得できないため、歩き方の違いを定量的に評価することが難しい。一方、加速度センサを取り付ける手法は運用に手間がかかり、公共性の高い空間での展示に適していない。本研究では、カメラを用いて画像処理により足踏み動作を検出すると共に、踵の接地点に着目することで、体験者の身体の向きも同時に捉える手法を提案する。

3 平城京ウォークスルーシステム

本章では、平城京ウォークスルーシステム [20] を幾つかの要素に分け、解説する。

3.1 モデリング

本節では平城京を再現するためのモデリング手法について述べる。

平城京の京城は東西 4.3 km (外京を含めると 6.3 km)、南北 4.7 km に及ぶ広大なものであり (図 1)、現在でも発掘調査が行われているが、全京城を掘り返すことは事実上不可能である。このように、歴史的・考古的な遺跡・遺物の再現にあたっては、対象物の規模が広大になればなるほど、部分的な情報しか得るこ

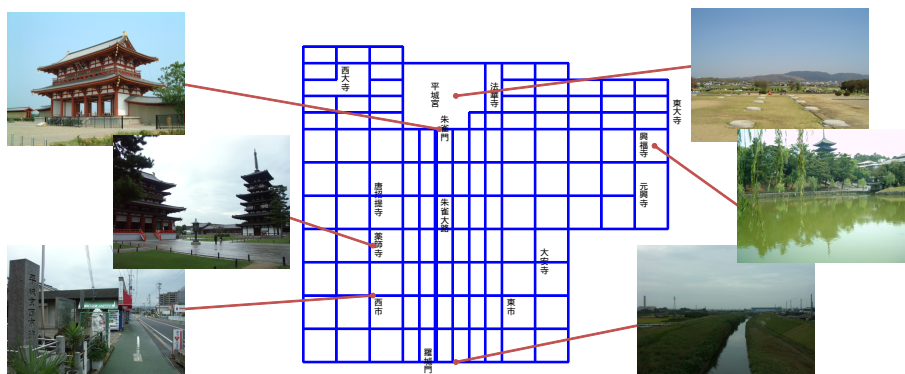


図 1: 平城京の京城と現在の姿

とができない。そのため、部分的な情報に基づいて対象物全体を再現する手法が必要となる。

古代の都城の持つ特徴として、域内は大路によって格子状に区切られ、一部の例外を除いて規則的な繰り返し構造を持つ点がある。発掘調査により得られた情報は、局所的なものではあるが、平城京全体に敷衍できるルールの構築には十分である。例えば塀や屋根の構造や、敷地内の建物の配置の特徴を知ることができれば、その規則をルール化し、全体をルールに従って再構成できる。本研究では、ルールベースの手法に則って、大規模な都市構造を自動生成する。一方で、特徴的な外観を持つ建造物、例えば大極殿や興福寺に関しては別途モデルを作成し、バーチャルなランドマークとして個別に再現する。街並みの生成手順を図 2 に示す。街並みは居住地域と道路の二種類の領域に分けて管理する(図 3)。居住地域は、坊-坪-建築物-3D モデルと階層化される。道路については、居住地域の各層に対応する階層がある(坊に対して大路、坪に対して小路など)。

文献 [16] に沿った具体的な街並み生成手順を以下で説明する。最初に大路と坊を、考古学的な知識に基づいて用手的に配置する(地図作成)。次に、地区ごとの経済水準を建造物の違いに反映するため、これまでの発掘成果(歴史データベース)を元に、その地区が裕福な区画であったか、貧しい区画であったかを示す貧富の分布図を作成する。発掘情報が得られない大半の京城については、大極殿に近い程裕福であるという制約を課して補間を行う。得られた貧富の分布図から、各坊の建造物の平均的な大きさや、大路と坊を隔てる壁の様式や高さを自動的に決定する(建造物分布地図)。

一方、形状モデルマネージャでは、建物(主および副)・草木・井戸・塀などに関して、形状情報・テクスチャ情報の他に、それぞれのプリミティブが対応する経済水準を登録する。

坊内の建造物配置は、小路で区切られた坪単位で、遺伝的アルゴリズムによって自動的に行われる。遺伝子には、建物の種類・位置・向きがコード化され、以下の条件に基づく評価基準で、評価値が高くなるように繰り返し計算によって最適解を探す。

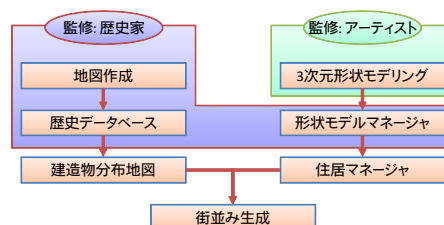


図 2: 街並み生成手順

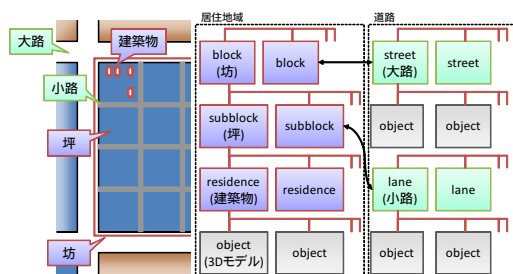


図 3: 街並みの構造化

- 建造物同士が重なっていない。
- 少なくとも一つ以上の主たる建造物が存在する。
- 配置されているプリミティブの持つ経済水準の分散が小さい。

最終的な配置は XML で記述される。

3.2 システム構成

本システムは以下のコンピュータ群によって構成される。

- インタフェイス PC — 1 台

インタフェイス PC は、多様なインタフェイスからの入力を受け、必要であれば適切な信号処理を行い、視点の移動に関する情報を算出する。インタフェイス部と以降の処理を分離するために、異なるインタフェイスからの入力を視点移動量に関する統一フォーマットで表現する。本システムでは、視点移動量をバーチャルなジョイスティックの入力という形式で表現する。表現形式に制約を設けることにより、複数の異なるインタフェイスを実装することが容易となる。

- 統括 PC — 1 台

統括 PC は、インタフェイス PC からの入力に従って、ユーザの運動制御および衝突判定を行い、バーチャル空間内でのユーザの視点位置および向きと、補助機能の On/Off 状態を更新する。補助機能としては地図および現在位置の表示がある。統括 PC からの情報は映像提示 PC 群・音響 PC・モーション PC に送信される。

- 映像提示 PC — ディスプレイごとに 1 台

映像提示 PC では、統括 PC からの視点位置姿勢情報と、あらかじめ設定された各ディスプレイが提示すべき視野の情報に基づいて、平城京の街並みをレンダリングする。ディスプレイと PC を一対一に対応させることにより、様々なディスプレイ環境への柔軟な対応が可能となる。

複数平面で構成されたディスプレイへ提示する場合、平面の継ぎ目における映像の不連続性が問題となる。本システムではユーザの頭部位置は固定であると仮定し、レンダリング時の視体積をユーザが実環境で各ディスプレイを見込む際の視体積と一致させることで、ユーザの視点から見た際に連続した継ぎ目のない広視野映像を提示する。

- 音響 PC — 1 台

イベントの発生に合わせて効果音を発生させる。また BGM の再生も行う。

- モーション PC — 1 台

本システムではモーションベースを導入したシステム構成も可能である。視点の移動に合わせてモーションベースを制御することで、乗用動物へや乗物による移動感覚を再現可能である。

典型的な構成例として、3 枚の大型スクリーンによって没入型ディスプレイを構成した事例を図 4 に示す。

3.3 PC 間の通信

インタフェイス PC と統括 PC 間は TCP により通信する。統括 PC と映像提示 PC などの間は、UDP のブロードキャストにより視点情報を送信する。接続の不要な UDP を用いることにより、統括 PC は情報出力用の PC に関する情報を知る必要がない。

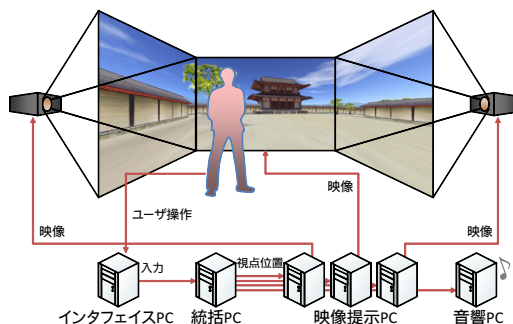


図 4: システム構成

表 1: インタフェイス PC から送信される情報

項目	型
X 軸	float
Y 軸	float
ボタン状態	bool[4]

表 2: 統括 PC から送信される情報

項目	型
シーン番号	unsigned long
状態コード	unsigned long
フレーム番号	unsigned long
衝突音コード	long
視点位置	float[3]
視点姿勢	float[3]
加速度	float[6]
各種情報	long[4]

インタフェイス PC から統括 PC へ送信される情報を表 1 に、統括 PC から各情報出力用の PC へ送信される情報を表 2 にそれぞれ示す。視点の姿勢はオイラー角 (ロール・ピッチ・ヨー) で表される。

3.4 インタフェイスの仮想化

3.2 節で述べたように、あらゆる入力はバーチャルジョイスティックとして仮想化され、インタフェイス PC から統括 PC に送られる際には以下の操作に集約される。

- 前進・後退 (ジョイスティック Y 軸)
- 左右回転 (ジョイスティック X 軸)
- 跳躍 (ボタン 1)
- ブレーキ (ボタン 2)
- 地図表示切り替え (ボタン 3)

括弧内の項目は表 1 に対応している。



図 5: 多様な入力インタフェース

本システムは個人から多人数までを対象とした幅広い規模のデモンストレーションに対応するため、以下の入力方法を提供する (図 5)。

- ジョイスティック
- Wii リモコン
Wii リモコンを用いた操作では、ジェスチャに基づく直感的な操作を一部取り入れ、リモコンを左右に振ることを左右の回転に、上下に振ることを跳躍に対応させる。前進・後退およびブレーキは十字キーおよびボタンの操作により行う。
- 足踏みによる操作 1 (フットパネル)
前進・左右回転・跳躍に相当するパネルを床面に配列し、各パネル上での足踏みを、バーチャルジョイスティックのそれぞれの入力に対応させる。足踏みの検出は、斜め上方に設置したカメラ映像の画像処理により行う。
- 足踏みによる操作 2 (単眼カメラ)
踵後方から単眼カメラにより撮影した画像に基づいて足踏み動作を認識する。
歩行動作を前進に、身体の前を左右に向けての足踏みを回転に、両足を揃えてのジャンプを跳躍に、両足を揃えての静止をブレーキに対応させる。

これらの入力方法のうち、単眼カメラによる足踏み認識方法については、詳細を次節で述べる。

また、ユーザ自身の歩行のみならず、乗用動物に騎乗した状態での散策も実現可能である。本システムでは、乗用動物としては一般的ではないものの奈良という地理的な特殊性を鑑みて鹿にバーチャルに乗ることができる [21]。鹿の歩行、走行および跳躍の様子を前面および側面からカメラで撮影し、後背部の相対的な運動を画像処理により追跡することで、前進時および回転時における、上下動および揺れに関する情報が得られる。モーションベースを制御することにより、乗鹿時の揺れを再現する。

3.5 運動システム

本節では統括 PC における視点移動量の計算方法について説明する。

前進・後退速度 v は、バーチャルジョイスティックの Y 軸方向の入力 a_y から、以下の式に従って計算される。

$$v_{\text{new}} = v(1 - C_{\text{friction}}) + C_{\text{accel}}a_y^3 \quad (1)$$

ここで、

$$a'_y = \text{sgn}(a_y) \cdot (|a_y| - C_{\text{thresh}}) \quad (2)$$

である。 C_{friction} , C_{accel} , C_{thresh} はそれぞれ適当な定数である。入力の遊びを考慮するとともに、低速度領域での微細なコントロールを可能とするために、入力を速度に反映させる際に 3 次関数を用いてマッピングしている。

視点の水平方向のヨー角 φ については、バーチャルジョイスティックの X 軸方向の入力 a_x から、以下の式に従って計算される。

$$\varphi_{\text{new}} = \varphi + C_{\text{yaw}}a_x \quad (3)$$

C_{yaw} は適当な定数である。前進・後退と異なり、慣性の効果はない。

4 単眼カメラによる足踏み検出

本システムでバーチャル空間内を散策するにあたっては、前節で述べたように、前進 (後退)、左右回転、跳躍、停止を基本操作とする。歩行と類似した動作である足踏みを入力とすることにより、より直感的にバーチャル空間の広がりを感じることができる。本節では、踵の後方斜め上にカメラを設置して得られる画像列から、足踏み動作を検出する手法について述べる。

4.1 カメラの配置と検出の指針

単眼カメラを用いることで、足踏み時の両足の昇降を計測し、足踏み動作が継続して行われているかを検出することができる。また、足踏み動作の停止をブレーキに対応付ける。

左右の回転には、ユーザの身体全体の向きの正面からのずれに対応させる。単眼カメラであっても、光軸を斜め下に向けて設置することで、着地時の床面における踵の位置 (床面上の位置) を計測できる。すなわち、奥行き方向と画像内の上下方向に対応付けることができる。左足と右足のいずれが前に出ているのかを推定し、ユーザの身体全体の向きの正面からのずれを定量的に評価する。(図 6)。

更に、両足が地面から離れるタイミングがほぼ同時であるなら、両足を揃えて跳躍したと推定できる。

以上の指針に基づき、後方斜め上からの視点で得られる画像から左右の踵を抽出し、その時間的な変化を解析することにより、無拘束でバーチャル空間内を自由に歩きまわられるシステムを構築する。

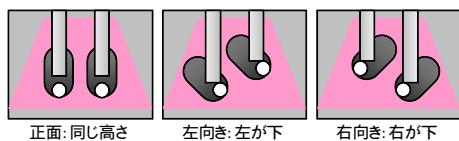


図 6: ユーザの身体の向き検出の原理

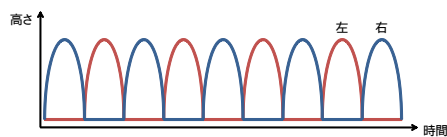


図 7: 踵位置の時系列データ

4.2 処理の流れ

検出システムは、入力された画像列から、ユーザの現在の歩行状態を出力する。ユーザの歩行状態は、

- 前後および上下方向の状態: 前進・跳躍・停止
- 左右方向の状態: 左右回転

によって表される。これらのうち、定量的なパラメータが伴うものは前進と向きの二つである。

検出処理全体は以下の二つの処理に分けられる。

1. カメラからの入力画像を解析することにより、現フレーム内で左右の踵の位置を計測する。
2. 計測された左右の踵位置の時系列データから、歩行状態と附随するパラメータを推定する。

以下ではそれぞれの処理の詳細について述べる。

4.3 踵の計測

画像列における踵の追跡は、マーカレスで行えることが理想であるが、本システムでは安定性を重視しマーカを装着したスリッパを靴の上からユーザに履いてもらうことで頑健な踵検出を行う。

マーカとしては様々なものが使用可能である。卓球大のストローク球や、左右で色の異なる LED などが考えられる。例として、赤色と青色の LED を用いた場合の処理手順は以下の通りである。

1. LED は自ら発光しているため、カメラの露出を LED の輝度が飽和しないように調整する。これにより、LED 以外の領域の輝度値は非常に小さくなり、画像処理による LED の検出が容易となる。
2. カメラは固定されており、斜め下を向いていることからカメラの視野内は床であると考えてよい。したがって背景差分によって LED 領域のみを抽出する。
3. グレースケールへの変換、閾値処理、膨張処理、連結領域抽出により、LED 領域の候補を得る。
4. 一定範囲内の領域サイズを持つ候補に対して、領域サイズの大きい方から順に、(1) 縦横のアスペクト比が一定範囲内にあること、(2) 外接矩形に占める領域の割合が一定範囲内にあること、の二つの条件を満たしているか調べ、領域内の赤成分と青成分の大小関係から左右を区別する。

4.4 歩行推定

足踏み状態における踵位置の時系列データは、静止と上昇-下降を左右交互に繰り返すものとなる(図 7)。歩行状態の推定は、左右それぞれの踵の状態に基づいて行う。本節では最初に踵個別の状態推定について述べ、次にそれらの情報の統合について述べる。

左右それぞれの踵の状態は、接地状態 → 上昇中 → 下降中 → 接地状態を繰り返すものとする。踵の画像内 y 座標の時系列データから、静止中/上昇中/下降中の 3 種類のフラグを設定する。

- 静止中フラグ: 一定時間の間、微分の絶対値が閾値以下なら On
- 上昇中フラグ: 一定時間の間、微分値が常に正なら On
- 下降中フラグ: 一定時間の間、微分値が常に負なら On

これらのフラグを用いて、各状態間の遷移条件は以下のように表される。

- 接地 → 上昇: 静止フラグ Off, 上昇フラグ On
- 上昇 → 下降: 下降フラグ On
- 下降 → 接地: 静止フラグ On

左右の踵の状態に基づいて、歩行状態の場合には以下の条件で状態およびパラメータを更新する。

- 左右踵の最終接地位置の y 座標の差 d_y が絶対値で一定以上あれば、身体を左右に向けて足踏みをしていると考えられるので、バーチャルジョイスティックの X 軸方向の傾きを d_y に比例するように設定する。
- いずれかの足が接地した場合、足踏み状態が継続していると考えられる。両足の接地時刻の差 d_t が小さいほど、速く足踏みしている状態である。歩行速度の目標値 v_{target} を次式で定義する。

$$v_{\text{target}} = \frac{1}{d_t} \quad (4)$$

速度が急激に変化しないように、現在の速度と目標速度の重み付き平均を取ることで移動速度 v を決定する。

$$v_{\text{new}} = (1 - C_{\text{speed}})v + C_{\text{speed}}v_{\text{target}} \quad (5)$$

移動速度に応じてバーチャルジョイスティックの Y 軸方向の傾きを設定する。

- 最後に着地してから現在までの時間が、両足とも閾値を越えた場合、静止しているとみなして、静止状態へと遷移する。

表 3: 実行環境の諸元 (共通項目)

OS	Microsoft Windows
開発環境	Microsoft Visual Studio
グラフィックスライブラリ	DirectX
カメラ解像度	640 × 480
カメラフレームレート	30 fps

表 4: 計算機の代表的なスペック

年	2001 年	2008 年
CPU	Intel Pentium 4	Intel Core 2 Duo
メモリ	512MB	4GB
GPU	GeForce3 Ti 500	GeForce 8600M GT

また、静止状態の場合には以下の条件で状態およびパラメータを更新する。

- 移動速度は指数的に減衰させる。これは、歩行動作が停止した場合に急な制動がかからないようにするためである。
- 左右の足が一定時間内にともに一回ずつ上下に動いた場合、歩行を開始したとみなして、歩行状態へと遷移する。

5 結果

本節では、平城京ウォークスルーを体験している様子と、対外的な展示実績について記す。

なお、本システムは 2000 年から 2009 年にわたって、一時中断を挟みつつ繰り返し拡充されたため、実行環境の諸元を詳細に示すことは困難である。共通した項目を表 3 に、初期 (2001 年) と最近 (2008 年) の展示における計算機の代表的なスペックを表 4 に示す。

5.1 体験の様子

図 8 にバーチャル空間内に再現されている平城京の街並みを示す。図 8(a) および (c) においては、現在残されている歴史的建造物を元に形状モデルを作成し、色彩は当時の色合いを復元することで、可能な限り考古学的に正確な再現がなされている。一方図 8(b) のような庶民的な区画においては、歴史的建造物とは異なり当時の正確な様子を反映した建物などは現存しないが、文献や出土物などから得られる知識に基づいてモデリングした建物や塀を配置することで、場所ごとに少しずつ異なる景観が描出されている。

また、各種入力インタフェースを使用している様子を図 9 に示す。

単眼カメラによる足踏み操作により、左前方に旋回している様子を図 10 に示す。図右下にカメラで撮影



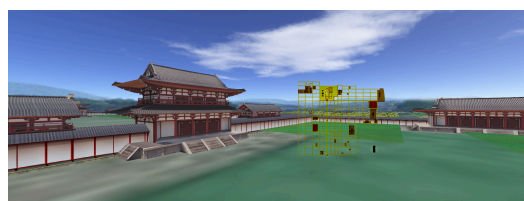
(a) 朱雀大路の北端にある朱雀門



(b) 一般市民の住宅のたたずまい



(c) 現在は世界遺産に登録されている薬師寺



(d) 宮城の様子

図 8: 平城京ウォークスルーの風景

した画像とその認識結果が示されている。赤い円が左踵、緑の円が右踵の位置である。図 11 は正面から左側に身体を向けつつある状況での、踵位置の認識結果のグラフであり、図 10 の右下に示されているものと内容は同一である。横軸が時間、縦軸は画面上の踵の位置の Y 座標 (画面下端が 0) である。赤線が左踵、緑線が右踵の Y 座標の時間的变化を示している。グラフ中の水平な線は、その間足が接地していることを示し、一つの放物線が足踏み 1 回に相当する。本グラフから、踵の接地高さを左右で比較することにより、身体の左右の向きを推定することができ、提案手法が意図通りに動作していることがわかる。

5.2 展示実績

対外的なデモンストレーション事例のうちいくつかを以下に記す。

- 奈良県 代官山 i スタジオ オープニングイベント (2005 年 10 月 15・16 日)



(a) ジョイスティックによる操作



(b) フットパネルによる操作

図 9: 各種入力インタフェースの使用

ディスプレイ: 壁面を使用, 2 画面を横に並べて投影

インタフェース: ジョイスティック

- 国立科学博物館 上野の山発 旬の情報発信シリーズ 第 14 回「バーチャルリアリティ 見て聴いてさわって冒険体験」(2007 年 8 月 25 日～9 月 2 日)

ディスプレイ: 4K ディスプレイ 1 画面

インタフェース: フットパネル

- NHK 教育テレビ サイエンス ZERO 「いにしへの謎に迫れ 情報考古学最前線」(2007 年 12 月 8 日放送)

ディスプレイ: 3 面ディスプレイ (94 インチ × 3)

インタフェース: 単眼カメラ足踏み

- 日本テレビ 世界一受けたい授業「最新技術が暴き出す日本史ミステリー!」(2009 年 6 月 13 日放送)

ディスプレイ: ハイビジョンディスプレイ

インタフェース: 単眼カメラ足踏み

6 考察

「平城京ウォークスルー」のコンテンツは, 全てを計測データから復元したものではないが, 考古学的知見が十分に反映されたものである。体験者からは, 「(朱雀門から) 大極殿までに行くまでに, 実際は多くの建物を超えていかないとはいけなかった」「(過去の人が) どんな服を着ていたのか気になる」「現在と過去が比較できるのがよい」(本コンテンツ体験前に実際に朱

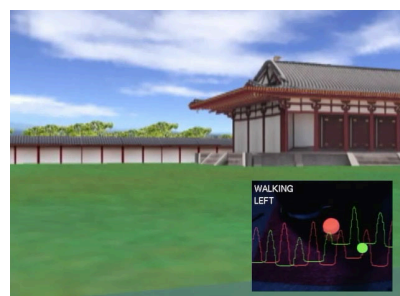
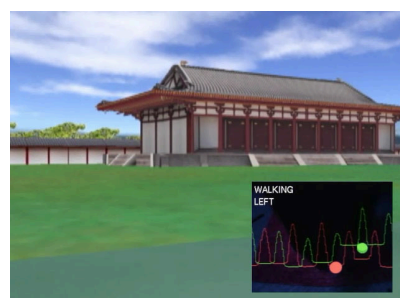
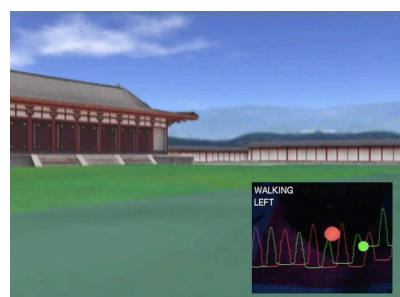


図 10: 足踏みによる移動例: 左旋回

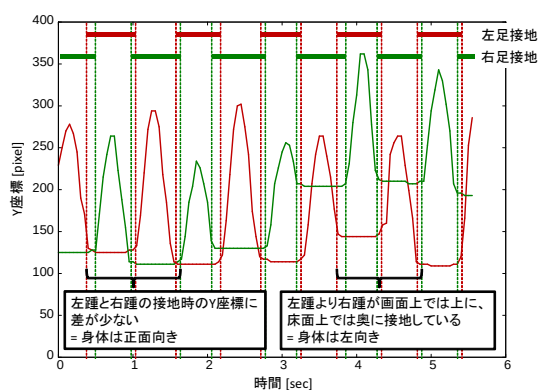


図 11: 左旋回開始時の踵位置認識結果

雀門や興福寺をご覧になってきた方の意見) といった意見があり, 昔の平城京の姿に興味を抱かせることに成功していると考えられる。本システムは, 常に更新可能であるというデジタルデータの特徴を生かし, 最新の学説を盛り込んで行くためのプラットフォーム

としても役立つものと考えている。今後の方向性として、現在のインタラクティブ性は静的に生成されたモデルの中での視点移動に留まっているが、ルールベースでのモデル生成機構を拡充し、そのルールを直感的に変更できるインタフェースを備えることで、考古学者が論戦を繰り広げられるだけの土台となりうるインテリジェントな環境への深化が考えられる。

インタフェースの面では、公共の場での展示に身体を用いた操作を導入したのは国立科学博物館の展示からであるが、ジョイスティックよりも直感的かつ体験の敷居が低くなり、子供から大人まで年齢を問わずに体験していただくことができるようになった。歩行による移動インタフェースを用いた展示の際には、「やっと朱雀門までたどりついた」といった感想もあり、平城京の広さについても実感していただけたものと考えている。古くから百聞は一見に如かずと言われているが、本システムが示しているのは百見は一経験に如かずとも言えようか。上辺だけの知識ではなく身体感を伴った経験を提供することは教育の方法論としても有効であると考えられる。

足踏み操作に関しては、画像処理の失敗により誤った入力となってしまう場合があり、一度動作と視点移動の因果関係が混乱をきたすと操作しにくいという印象を与えてしまっていた。またその場での足踏みをユーザにはお願いしていたが、どうしても前方に向かって進んでしまう傾向がある。これはより広視野のカメラを導入することで解決でき、床にセンサを埋め込む形態の足踏み計測装置よりもユーザの拘束感を減らせる可能性がある。あるいはコンテンツにストーリー性を導入して、最初にチュートリアルを行い本システムにおける歩行感覚を体験者につかんでいただくといった、ソフト面での対応も考えられる。実運用の面ではマーカレスで頑健なトラッキング手法の実装が急務である。

7 おわりに

本稿では、平城京の街並みをバーチャルリアリティ技術を用いて再現し、その中を足踏み動作によって自由に散策できるシステム「平城京ウォークスルー」の構築について述べた。大規模な都市構造をルールベースの手続き型モデリングによって再現し、大型没入ディスプレイおよび身体動作を用いた直感的インタフェースを提供することで、奈良時代へのバーチャルなタイムスリップ体験を実現した。

謝辞

本研究の一部は、通信・放送機構(現 独立行政法人 情報通信研究機構)「没入型仮想融合空間の構築・提示技術に関する研究開発プロジェクト」の一環として、奈良先端科学技術大学院大学と株式会社日立製作所が開発したものである。作成にあたっては奈良文化財研究所のご支援をいただいた。国立科学博物館での

展示にあたっては、日本 SGI 株式会社から機材をご提供いただいた。ここに改めて感謝申し上げる。

参考文献

- [1] 千原國宏. 情報考古学: 情報科学と考古学の融合が創造する世界の収束? 電子情報通信学会技術研究報告. PRMU, パターン認識・メディア理解, Vol. 107, No. 427, pp. 161–168, 2008.
- [2] Marc Levoy, Kari Pulli, Brian Curless, Szymon Rusinkiewicz, David Koller, Lucas Pereira, Matt Ginzton, Sean Anderson, James Davis, Jeremy Ginsberg, Jonathan Shade, and Duane Fulk. The digital michelangelo project: 3D scanning of large statues. In *ACM SIGGRAPH 2000 Papers*, pp. 131–144, 2000.
- [3] 河原大, 磯田弦, 河角龍典, 井上学, 中谷友樹, 矢野桂司, 高瀬裕. バーチャル京都: 歴史都市の景観変遷. 日本バーチャルリアリティ学会第 9 回大会論文集, pp. 179–182, 2004.
- [4] 矢野桂司, 磯田弦, 中谷友樹(編). バーチャル京都 – 過去・現在・未来への旅. ナカニシヤ出版, 2007.
- [5] 加茂竜一. デジタルアーカイブと VR 表現. 情報処理, Vol. 43, No. 10, pp. 1052–1057, 2002.
- [6] 安藤真, 吉田和弘, 谷川智洋, 王燕康, 山下淳, 葛岡英明, 廣瀬通孝. スケーラブル VR システムを用いた教育用コンテンツの試作—マヤ文明コパン遺跡における歴史学習—. 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 8, No. 1, pp. 65–74, 2003.
- [7] 角田哲也, 大石岳史, 小野晋太郎, 池内克史. バーチャル飛鳥京: 複合現実感による遺跡の復元と観光案内システムへの展開. 生産研究, Vol. 59, No. 3-1, pp. 26–29, 2007.
- [8] 角田哲也, 大石岳史, 池内克史. 高速陰影表現手法を用いた飛鳥京 MR コンテンツの開発とその評価. 映像情報メディア学会誌, Vol. 62, No. 9, pp. 1466–1473, 2008.
- [9] Aristid Lindenmayer. Mathematical models for cellular interactions in development ii. simple and branching filaments with two-sided inputs. *Journal of Theoretical Biology*, Vol. 18, No. 3, pp. 300 – 315, 1968.
- [10] Yoav I. H. Parish and Pascal Müller. Procedural modeling of cities. In *ACM SIGGRAPH 2001 Papers*, pp. 301–308, 2001.
- [11] Peter Wonka, Michael Wimmer, François Sillion, and William Ribarsky. Instant architecture. In *ACM SIGGRAPH 2003 Papers*, pp. 669–677, 2003.
- [12] Pascal Müller, Peter Wonka, Simon Haegler, Andreas Ulmer, and Luc Van Gool. Procedural modeling of buildings. In *ACM SIGGRAPH 2006 Papers*, pp. 614–623, 2006.

- [13] Pascal Müller, Gang Zeng, Peter Wonka, and Luc Van Gool. Image-based procedural modeling of facades. In *ACM SIGGRAPH 2007 Papers*, p. 85, 2007.
- [14] Guoning Chen, Gregory Esch, Peter Wonka, Pascal Müller, and Eugene Zhang. Interactive procedural street modeling. In *ACM SIGGRAPH 2008 Papers*, p. 103, 2008.
- [15] Carlos A. Vanegas, Daniel G. Aliaga, Bedřich Beneš, and Paul A. Waddell. Interactive design of urban spaces using geometrical and behavioral modeling. In *ACM SIGGRAPH Asia 2009 Papers*, p. 111, 2009.
- [16] K. Utsugi, T. Moriya, and H. Takeda. Making of a virtual world of heijokyo from historical knowledge. In *Proceedings of Seventh International Conference on Virtual Systems and Multimedia*, pp. 299–308, 2001.
- [17] 岩下克, 外山篤, 橋本直己, 長谷川晶一, 佐藤誠. 足踏み動作を用いた移動インタフェースの開発. 電子情報通信学会論文誌. A, 基礎・境界, Vol. 87, No. 1, pp. 87–95, 2004.
- [18] 中村隆夫, 小西均, 辻博明, 楠原俊昌, 山本尚武. 歩行能力の評価・訓練のための足踏み測定器の開発. 岡山大学医学部保健学科紀要, Vol. 14, No. 2, pp. 135–139, 2004.
- [19] 曹慶雲, 藤田欣也. 前進後退と跳躍および回転が可能な足踏み型仮想空間移動インタフェース. 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 15, No. 1, pp. 53–62, 2010.
- [20] 井村誠孝, 浦西友樹, 池田聖, 眞鍋佳嗣, 大城理, 千原國宏, 平城京ウォークスルー. エンタテインメントコンピューティング 2010, p. 13, 2010.
- [21] Yoshito Tabata, Tomohiro Kuroda, Yoshitsugu Manabe, and Kunihiro Chihara. Virtual deerback riding - walk through virtual ancient nara. In *Proceedings of International Conference on Image and Signal Proceedings*, pp. 178–185, 2001.

井村 誠孝



2001 年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士後期課程修了。同年同研究科助手。2007 年同研究科助教。2009 年大阪大学大学院基礎工学研究科准教授，現在に至る。人工現実感，コンピュータグラフィクス，医用画像処理に関する研究に従事。博士（工学）。

浦西 友樹



2008 年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士後期課程修了。同年日本学術振興会特別研究員 PD。2009 年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科助教，現在に至る。2007 年，2011 年オウル大学研究員。三次元形状計測，拡張現実感に関する研究に従事。博士（工学）。

池田 聖



2006 年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士後期課程修了。同年同研究科特任助手。2007 年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科助教，現在に至る。コンピュータビジョン，複合現実感に関する研究に従事。博士（工学）。

眞鍋 佳嗣



1995 年大阪大学大学院基礎工学研究科博士後期課程修了。同年同大学基礎工学部助手。1999 年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科助教。2007 年同研究科准教授。2010 年千葉大学大学院融合科学研究科教授，現在に至る。2001 年ヨエンスー大学客員研究員。質感計測・表現に関する研究に従事。博士（工学）。

大城 理



1990 年大阪大学大学院基礎工学研究科博士課程修了。同年住友金属工業(株)入社。1993 年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科助手。1994 年同大学先端科学技術研究調査センタ助教授。2003 年大阪大学大学院基礎工学研究科教授、現在に至る。医用画像処理、生体信号処理に関する研究に従事。工学博士。

千原 國宏



1973 年大阪大学大学院基礎工学研究科博士後期課程修了。同年大阪大学基礎工学部助手。1983 年同助教授。1992 年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科教授。同大学理事・副学長を経て、2011 年同大学名誉教授ならびに大阪電気通信大学医療福祉工学部教授、現在に至る。バーチャルリアリティの応用研究に従事。工学博士。