

# 地上と地下街を含むパノラマビューでの階層関係把握手法の評価

安部 陽平<sup>†</sup> 新井 イスマイル<sup>††</sup> 西尾 信彦<sup>†</sup>

階層のある場所においてユーザに階層間の位置関係を容易に把握させることを目的とし、各階層のパノラマ写真をシステムが保持していることを前提として、その異なる階層のパノラマビューを容易に切り替えて閲覧可能とする Worm Hole View を提案する。この提案インターフェースは、パノラマビューウィンドウ内で2つの階層を同時に自由な割合で切り替えて見ることができる。また、階層間を繋ぐ施設(階段、エスカレータ、エレベータ等)同士を結び付けるため、その場所にアイコン(階段等)を表示して対応関係を示す。これにより、ユーザは異なる階層の情報を得ながら、階層間を繋ぐ施設とその対応について容易に認識できるため、階層間の位置関係を理解することができる。この提案手法を評価実験で比較した結果、ユーザに階層間の位置関係を容易に把握させることができることがわかった。

## Evaluation of a Presentation Method of Multilevel Urban Structures using Panorama Views

YOHEI ABE,<sup>†</sup> ISMAIL ARAI<sup>††</sup> and NOBUHIKO NISHIO<sup>†</sup>

In the place with the multilevel structures, our purpose is to make users easily understand the position between the hierarchical levels. Therefore, we propose Worm Hole View that easily switches the panorama view of the different hierarchy on the assumption that the system has whole panorama shots of each level. The proposed interface enables users to see flexible multilevel panoramic views in a window, freely changing the visible ratio between a ground view and an underground view of the same place. Moreover, it effectively shows the icons which represent architectures like stairs or elevators that physically connect between the adjacent levels. Such icons can help users easily recognize the places from which to which they connect between levels. The easiness in understanding the positions between levels is evaluated by conducting the assessment experiment comparing our method and others.

### 1. はじめに

近年、都市部を中心に地下街が発達し、また高層建築物が増加してきており、それに伴って階層的な構造を持つ、複雑に入り組んだ場所が増えてきている。このような場所は、訪れたことがない人に限らず、何回か訪れたことがある人にとっても、その場所がどのような階層構造になっているかを理解することは困難である。その場所の階層構造を地図を用いて理解する場合、一般的には異なる階層の地図同士を見比べて対応関係を把握する。しかし、この地図同士を見比べる作業は、ある建築物のフロアマップのようにほぼ同様

のレイアウト・規模のものであれば理解し易いが、地上の地図とその地下に広がる地下街の地図のようにレイアウト・規模が同様でない場合は理解することは困難である。そこで、本研究では、階層構造のある場所においてユーザに階層間の位置関係を容易に把握させることを目的とし、各階層のパノラマ写真をシステムが保持していることを前提として、その異なる階層のパノラマビューを容易に切り替えて閲覧可能とする Worm Hole View を提案する。この提案インターフェースは、パノラマビューウィンドウ内で2つの階層を同時に自由な割合で切り替えて見ることができる。これにより、ユーザはその割合に応じて、異なる2つの階層の映像を同時に見ることができる。また、物理的な移動により2つの空間を横切ることができる階層間を繋ぐ施設(階段、エスカレータ、エレベータ等)にアイコン(階段等)を表示して対応関係を示す。これにより、ユーザは階層間を繋ぐ施設とその対応を容易に認識できるため、階層をまたがっても位置関係を見

<sup>†</sup> 立命館大学情報理工学部

Department of Computer Science and Engineering,  
Ritsumeikan University

<sup>††</sup> 立命館大学総合理工学研究機構

The Research Organization of Science and Engineering,  
Ritsumeikan University

失わず移動することができる。

本論文では、2章で関連研究を述べ、3章で提案する Worm Hole View の概要を述べ、4章で評価実験の方法・結果について述べる。5章で考察を述べ、最後に6章で本論文をまとめる。

## 2. 関連研究

複数の地図を見易くする研究として、中村ら<sup>1)</sup>は Google maps や Mapion などの地図をベースとし、フロアマップや駅構内図などの他の地図や情報をシームレスに連携できるようにリンクさせている。これにより、複数の地図を見比べ易くなったが、地図同士を繋ぐ施設と位置関係については提示されておらず、ユーザがそれらを容易に認識することは困難である。

また、遮蔽物によって見えない死角領域の視覚化を行なう研究は数多くなされている。ワイヤーフレームを重畳することで建築物の構造を提示する A. Webster らのシステム<sup>2)</sup> や、X 線画像を重畳表示することにより物体の内部を提示する N. Navab らのシステム<sup>3)</sup> などが挙げられる。こうした直接見ることのできない死角領域の透視は、仮想環境においても有用である。壁を半透明にすることでその壁に遮蔽されていた部分を透視できる機能が、仮想環境のナビゲーションにおいて役立つことが示されている<sup>4)</sup>。津田ら<sup>5)</sup>は、死角領域の透視表示手法を6種類挙げ、実際にどのような表示方法がユーザにとって直感的に理解し易いかを検討している。しかし、このような研究は本研究において階層間の遮蔽物(天井)を透視するという点においては類似しているが、遮蔽物の向こう側の映像を矛盾なく合成するためには大量の地点・角度における写真を撮影する必要があり、その撮影コストは街レベルのナビゲーションにおいては非現実的である。

全方位カメラにより撮影されたパノラマ写真を用いてウォークスルーを行なう研究として、石黒ら<sup>6)</sup>は ODVS と呼ばれる全方位視覚センサを用いて撮影されたパノラマ画像と位置情報から、移動に沿ってユーザに画像を滑らかに提示する3つのモデリング手法を提案し、それぞれ精度やコストの比較を行っている。富手ら<sup>7)</sup>は、パノラマ画像とセンサ位置から任意視点の全方位画像を生成し、平面透視投影画像に変換してユーザに提示する。これらの研究は、パノラマ画像から変換した画像を用いて、あたかも滑らかに歩いているようにユーザに見せることができるが、遮蔽物が



図 1 Gooraffiti  
Fig. 1 Gooraffiti

あった場合において提示される画像は、カメラの撮影範囲内でその遮蔽物を迂回するように画像を提示しなければならず、遮蔽物の向こうがどのような位置関係であるかを把握することは容易ではない。

## 3. パノラマビューの階層的視覚化の提案

本研究は提案手法を用いることで階層同士の位置関係把握を容易にすることと、仮想世界における視点位置の移動を容易にすることの2つを目的としており、本論文では、まず前者の目的を達成することに注目している。

複数の地図を見易くする既存研究では、2次元地図がベースとなっており、直感性に欠けるという問題がある。そこで、まず本研究では、ユーザに直感的に情報を与える方法として、Google Street View などに利用されているパノラマビューを用いる。パノラマビューは全方位カメラによって撮影されたパノラマ写真を、3次元空間に形成された球の内面に貼り付け、球の中心からそのパノラマ写真を見ることで実現されており、実際にその場所にいるかのようなビューを提供できる。

このパノラマビューを用いた研究として、我々は既に Gooraffiti<sup>8)</sup> を提案している。Gooraffiti はパノラマ写真の撮影箇所付近の店舗や場所に関するコンテンツへリンクさせるアイコンを、パノラマ写真に重畳表示している(図1)。我々のビューアは Google とは別に独自に開発しており、任意のパノラマ写真を利用することができる。図1は我々のビューアで Google Street View のパノラマ写真を利用した例であるが、図2のように我々が撮影した大阪梅田周辺地下街の

<http://maps.google.co.jp/>  
<http://www.mapion.co.jp/>

<http://maps.google.com/intl/ja/help/maps/streetview/>

地上と地下街を含むパノラマビューでの階層関係把握手法の評価



図 2 Gooraffiti Umechika  
Fig. 2 Gooraffiti Umechika

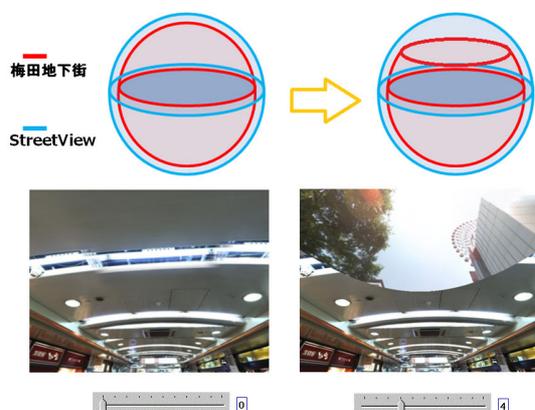


図 3 提案手法による階層表現  
Fig. 3 Proposed multilevel panorama view

パノラマ写真を利用することもできる<sup>9)</sup>。我々は、関連研究で述べたようなシースルービジョンの研究とは異なり、あらかじめ複数のカメラを設置したり、正確なカメラの角度を計算したりせず、全方位カメラを取り付けた台車を用いて巡回撮影を行なっている。またパノラマ写真は、一度の撮影で周囲 360 度を撮影できるため、撮影コストが低い。既に撮影済みの Google Street View の地上パノラマ写真と、我々が撮影した地下街パノラマ写真を組み合わせることにより、現実的なコストでシースルービジョンの実現が可能であると考えられる。

しかし一方で、階層性のある場所にて階層同士を見比べて読み取り、理解しなければならない。その問題を解決するために、本研究では階層の異なるパノラマビューを容易に切り替えて閲覧可能とする Worm Hole View を提案する。提案手法の概要を図 3 に示す。実装方法としては、このパノラマビューの球を内包する



マウスオーバー前      マウスオーバー後  
図 4 視野角内に繋がりがある場合  
Fig. 4 The case both ends are visible



マウスオーバー前      マウスオーバー後  
図 5 視野角内に繋がりが無い場合  
Fig. 5 The case the odd end is not visible

別の階層のパノラマビューの球をもう一つ形成し、内包された球に貼り付けられているパノラマ写真(地下)を指定された部分だけ透過させることにより、外側の球に貼り付けられたパノラマ写真(地上)が見えるようにして、階層性を擬似的に表現する。地下のパノラマ写真の天頂からどの程度を透過させるかはユーザがスライダーを用いて指定でき、スライダーを右に動かすほど地上のパノラマビューが足元まで降りてくるようになる。

また、階層間を繋ぐ施設にアイコンを表示し、アイコンにマウスオーバーすると、もう一方の階層の対応する場所にアイコンを表示する(図 4)。この対となるアイコンとは、例えば上の階層に通じる階段の場合、下の階層から階段に入る入口アイコンの対として、階段から上の階層に出る出口アイコンに相当する。このような入口と出口の関係を対と表現する。対となるアイコンが水平視野角内に存在しない場合、画面の上部の端に矢印を表示し、その方向にビューを向けると対となるアイコンが存在することをユーザに提示する(図 5)。

Google Street View と Gooraffiti のパノラマ写真を撮影した緯度・経度は厳密には一致しないが、階層の繋がりを示すアイコンを提示することによってユーザは階層間を繋ぐ施設とその対応についての確に認識することができる。詳細情報はパノラマビューを用いて、また周辺の大局的な情報は Google maps を用い



図 6 提案手法のインターフェース  
Fig. 6 The proposed interface

ることを想定した提案手法のインターフェースを図 6 に示す。

#### 4. 評価実験

本提案の有効性を従来 2 手法との比較によって評価した。従来 2 手法の詳細は以下の通りである。

##### 従来手法 1 2 次元地図

一般的によく使用される 2 次元地図として、Google maps と yahoo!地図 が挙げられる。Google maps は地上の詳細な地図を持ち、yahoo!地図は大阪梅田周辺地下街の詳細な地図を持つため、これらを併用する。

##### 従来手法 2 パノラマビューア

前章に述べたように Gooraffiti はアイコンにより様々な情報を得ることができ、地上版と地下街版とも閲覧することができるため、これらを併用する。

この 2 次元地図、パノラマビューア、そして本研究の提案手法の 3 つを用いて評価実験を行なう。

##### 4.1 実験環境

3D レンダリング速度は PC の性能に依存する。そのため、本実験では全ての被験者に同一 PC を利用してもらった。ノート PC (lenovo 社の ThinkPadX200, CPU:Core 2 Duo P8800 2.66GHz, メモリ:3GB, OS:Windows7(32bit), 解像度:1280 × 800) に外部モニター (サイズ: 17 インチ, MITSUBISHI 社, 解像度:1280 × 1024) を接続した拡張画面の状態で行った。ノート PC の画面にはブラウザを開き、外部モニターの画面では問題となる画像や回答用選択肢の画像を見もらう形式で行った。また、ブ



ヨドバシカメラ 問題となる階段



新阪急ホテル

図 7 問題例

Fig. 7 Sample question

ブラウザは FireFox (バージョン 3.6.12) とし、"Yahoo! 地図", "Google maps", "地上版 Gooraffiti", "地下街版 Gooraffiti", "Worm Hole View" の各々をタブで開いた状態で実験を行なった。

##### 4.2 被験者

被験者は研究室の男性 12 人で、平均 22.1 歳の大学生または大学院生である。

##### 4.3 実験手順

実験対象の大阪梅田周辺の理解度によって、タスクの正答率・完了時間に差があると考えられるため、まず実験前に各被験者に大阪梅田周辺の理解度について 5 段階評価してもらった。実験は以下の手順で行なった。まず、被験者に 3 つの手法ごとにタスクを行なってもらう前に、インターフェースの操作に慣れてもらうため、被験者に操作方法を説明して練習する時間を各インターフェースごとに約 2 分設けた。

次に、タスクを行なってもらった。同じ被験者が一度回答した問題を再度回答することがないものとし、被験者ごとに問題の順序も変更した。タスクとして、まず各手法ごとに Google Street View のとある撮影地点から見える階段の画像と、同一地点から見えるランドマークの画像 2 つの計 3 つの画像をそれぞれ提示した (図 7)。問題内容は、その地点から見える階段を下りた場所がどのような風景なのか答えるというものである。その後、被験者は問題となる場所を探索し、与えられたランダムに選ばれた不正解画像 4 つと正解画像 1 つの計 5 つの階段画像を見て、その画像の記号を 1 つ回答する。実際に用いられた画像群を図 8 に

地上と地下街を含むパノラマビューでの階層関係把握手法の評価



図 8 回答用の選択肢  
Fig.8 Choices for answer



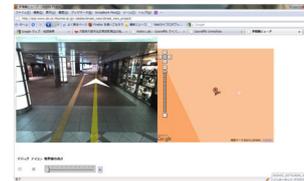
google maps

yahoo!地図



地上版 Goorafiti

地下街版 Goorafiti



提案手法

図 9 タスク開始画面  
Fig.9 start point of the tasks

示す。

タスクはできるだけ速く行なうことを求め、各手法ごとのタスクの正答率及び完了時間を計測した。また、全てのタスクにおいて、タスク開始時は縮尺は全て最大ズームとし、ズームした画面の中心が「阪急百貨店大阪うめだ本店」の南側にある道路になるように設定した(図 9)。「阪急百貨店大阪うめだ本店」を選んだ理由は、それ自体が大阪梅田周辺において有名なランドマークであり、問題とした 3 つのランドマークとの距離が 500m 以内と離れ過ぎていないためである。全てのタスクが終了した後、主観的な評価を行なうため、以下の質問に対しての 5 段階評価と自由記述によるアンケートを行なった。

質問 1 提案手法において、階層同士の位置関係を理解できたか

質問 2 提案手法において、階層間が繋ぐ施設を正確に理解できたか

さらに後日、ユーザの利用状況を知るための質問が不足していたこと、質問 1 と質問 2 の「理解できたか」という文言が漠然としており曖昧であったことをふまえて、以下の質問によるアンケートを行なった。質問 3 と質問 4 は YES か NO の 2 択を、質問 5 と質問 6 は (ア) 提案手法と (イ) 2 次元地図と (ウ) パノラマビューの 3 つの並び替えた記号列を回答してもらった。

質問 3 提案手法において、スライダーを触って階層間の境界線を動かしたか

質問 4 提案手法において、階層間を繋ぐ施設(階段、

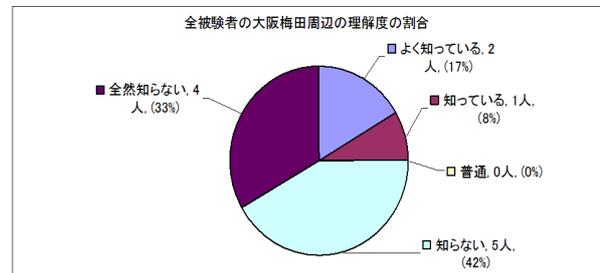


図 10 大阪梅田周辺の理解度  
Fig.10 Familiarity of Osaka Umeda

エレベータ等) に表示していたアイコンを利用したか

質問 5 自分の今いる階層がどこであり、その上または下の階層がどのような様子が把握し易かった順に提案手法と従来手法の計 3 つを全て並び替えよ

質問 6 現在いる階層と、違う階層の位置との結びつき(階層間を繋ぐ施設)を把握し易かった順に提案手法と従来手法の計 3 つを全て並び替えよ

4.4 実験結果

図 10, 図 11, 図 12 に全被験者の大阪梅田周辺の理解度の割合、各手法ごとの正答率と平均タスク完了時間をそれぞれ示す。正答率は 2 次元地図, パノラマビュー, 提案手法はそれぞれ 66.6%, 83.3%, 91.7% であり、平均タスク完了時間はそれぞれ約 305

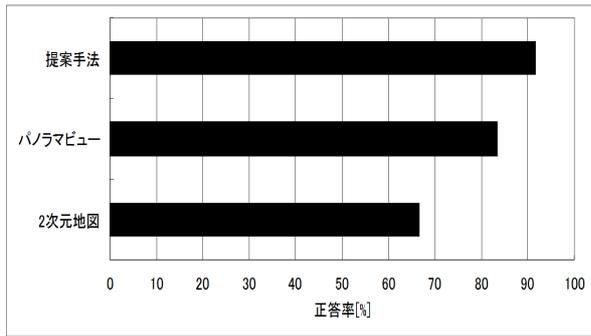


図 11 各手法ごとの正答率  
Fig. 11 The accuracy of each method

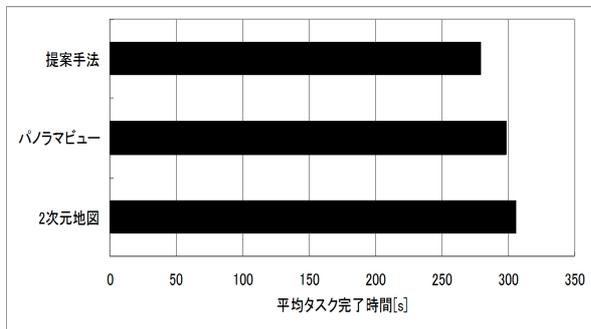


図 12 各手法ごとの平均タスク完了時間  
Fig. 12 The average task completion time of each method

表 1 質問 5, 質問 6 によるアンケートの結果  
Table 1 The result of question 5, 6 in work sheet

回答パターン	質問 5	質問 6
ア>イ>ウ	4 人	3 人
ア>ウ>イ	8 人	8 人
イ>ア>ウ	0 人	1 人
イ>ウ>ア	0 人	0 人
ウ>ア>イ	0 人	0 人
ウ>イ>ア	0 人	0 人

秒, 約 298 秒, 約 279 秒であった。しかし, 提案手法と比較手法ごとの t 検定により分析した結果, 正答率と平均タスク完了時間ともに大阪梅田周辺の理解度に関係なく, 有意水準 5% で有意差は見られなかった。次に, 質問によるアンケートの結果を図 13, 図 14 に示す。質問 1, 質問 2 とともに「4:理解できた」, 「5:よく理解できた」という回答が多く, その 2 つの項目の人を合わせた割合は質問 1 では 66.7%, 質問 2 では 83.3%であった。また, 質問 3 と質問 4 では 12 人全員が YES と回答した。質問 5, 質問 6 はともに提案手法>パノラマビュー>2次元地図という回答が一番多く, 次に提案手法>2次元地図>パノラマビューという回答が多かった。

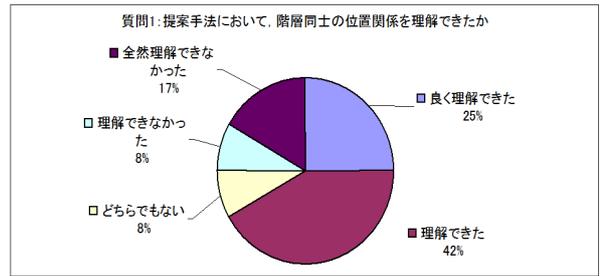


図 13 質問 1 によるアンケートの結果  
Fig. 13 The result of question 1 in work sheet

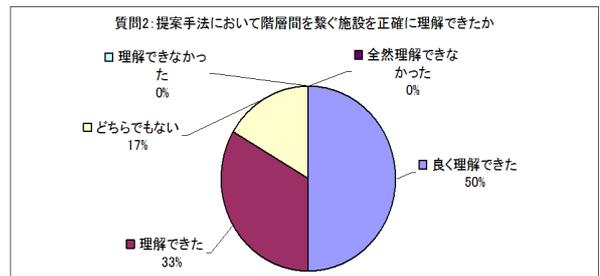


図 14 質問 2 によるアンケートの結果  
Fig. 14 The result of question 2 in work sheet

## 5. 考 察

評価実験により, 提案手法を 2 次元地図とパノラマビューと比較した結果, 正答率, 平均タスク完了時間ともに一番良い結果となった。しかし, t 検定を行なった結果, 提案手法と比較手法の間に有意差は見られなかった。このことから, 数値評価で目的を達成したというためには, 更なる改良が必要であるといえる。

アンケートによる自由記述では「(提案手法は) 比較手法に比べて移動する時間が遅い」や「(画像の) ロードに時間がかかる」などの意見があったが, これは比較対象のパノラマビューと比べてパノラマ写真のテキスト画像の分割数が多く, Web サーバにアクセスする回数が多いため, その分のオーバーヘッドが発生しているものと思われる。そのため, テキスチャへのアクセス回数を減らしてパノラマビュー間の移動の処理時間を改善する必要があることがわかった。

図 13 の質問 1 で階層同士の位置関係を「理解できた」という回答が多かった。これにより, 階層毎に厳密に同じ緯度・経度のパノラマビューを用意したり, 天井などの遮蔽物を透過したときに見える風景を正確な方向や角度での見え方を計算しなくても, およその方向と角度が合っていれば, ユーザにとって実利用上問題ないことが明らかになった。ただ, ある地上の道路の下には地下街の通路がない, またはその逆であるといった場所では, Google Street View と地下街の

パノラマ写真の撮影地点の距離が大きく離れてしまう場合があり、それらの写真を提案手法によって繋げて表示した際、ユーザは視覚情報に惑わされて錯覚を起こしてしまう可能性がある。そのため、もし階層間の位置に大きくずれが生じるのであれば、ユーザにそれを効果的に伝える必要があると考えられる。

また、図 14 の質問 2 で”全然理解できなかった”という回答が出たのは、階層間を繋ぐ施設に表示しているアイコンがずれていることが大きな要因であると考えられる。これは、今回我々は階層間を繋ぐ施設に対して地下側の緯度・経度を保持し、対となる入口アイコンと出口アイコンの表示に同一の緯度・経度を用いてしまったことに起因する。例えば地下から地上に出る階段では、直線的に真直ぐ上がる階段もあれば、螺旋状に曲がりながら上がる階段も存在し、対となるアイコンが同一の緯度・経度に存在するとは限らない。そのため、入口と出口の正しい位置にそれらのアイコンを表示する必要がある。

後日行なったアンケート結果として、質問 3、質問 4 から、すべての被験者が従来手法の持つ操作方法だけを用いて提案手法の評価実験を行なったのではなく、提案手法のアプローチを用いて行なっていることがわかった。これにより、提案手法の評価を正しく行なえていることを確認することができた。表 1 の質問 5、6 からは、提案手法が他の 2 つの従来手法と比較して、ユーザにとって今の階層がどこに位置し、その上または下の階層のどこにあたるのかを一番把握し易いということがわかった。また、提案手法が 2 つの従来手法と比較して、階層同士がどのように結びついているかが把握し易いということがわかった。

その他には、”ヨドバシカメラ”をランドマークの対象とした問題の正答率が一番高かったのは、被験者が全員理系の大学生または大学院生であったため、高確率でそこが彼らにとってなじみがあり、このような結果になった可能性がある。被験者の年齢や性別によってランドマークによる正答率は変わると考えられるので、今後はより多様な被験者による評価を行なう必要がある。

## 6. おわりに

本研究では、ユーザに階層間の位置関係を容易に把握させることができるインタフェースを提案した。被験者実験によってこれを評価した結果、提案手法は比較手法よりも正答率が高く、平均タスク完了時間も速いという結果が得られたが、実装に不十分な点があり、有意差が見出せるほどの差が出なかった。不十分な点

を実装し、改良を行なうことで提案手法に有意差を確認することを今後目指す。

今後は、階層間を繋ぐ施設を指し示すアイコン対のより正確な位置への修正やそれらのアイコンの効果的な見せ方、またパノラマビューアの組み合わせ方や 2 次元地図など他のビューとの連携方法を考慮し有意差のある性能の実現を目指していく。また、本研究のもう一つの目的である仮想世界における視点位置の移動を容易にするため、より効果的な移動方法とその見せ方について模索していく。

## 参考文献

- 1) 中村友一：複数地図サービスを用いた地図連携プラットフォームに関する研究，慶應義塾大学，環境情報学部，卒業論文（2005）。
- 2) A.Webster, S.Feiner, B.MacIntyre, W.Massie and T.Krueger: Augmented reality in architectural construction, Inspection, and Renovation, *Proceedings of ASCE Third Congress on Computing in Civil Engineering*, p.913-919 (1996).
- 3) N.Navab, A.Bani-Hashemi and M.Mitschke: Merging Visible and Invisible:Two Camera-Augmented Mobile C-arm (CAMC) Applications, *IWAR1999*, p913-919 (1999).
- 4) S.Zhai, W.Buxton and P.Milgram: The Partial Occlusion Effect: Utilizing Semi-transparency in 3D Human Computer Interaction, *ACM Transactions on Computer-Human Interaction* 3(3), p254-284 (1999).
- 5) 津田崇博, 山本治由, 亀田能成, 大田友一: 死角を透視表示する屋外型複合現実感システムにおける提示手法の比較検討, *Technical report of IEICE. Multimedia and virtual environment* 105(256), p41-47 (2005).
- 6) Ishiguro, H., C.Ng, K., Capella, R. and M.Trivedi, M.: Omnidirectional image-based modeling: three approaches to approximated plenoptic representations, *Machine Vision and Applications* 14(2), 94-102, *Digital Object Identifier (DOI) 10.1007/s00138-002-0103-0* (2003).
- 7) 冨手 要, 山澤一誠, 横矢直和: 複数の全方位画像を用いた広範囲な任意視点画像の生成, 電子情報通信学会技術研究報告. ITS 101(625), p65-70 (2002).
- 8) 西尾信彦, 坂本憲昭, 新井スマイル: Google Street View とマッシュアップした実世界指向 CMS, 情報処理学会, インタラクシオン 2009 論文集, p.77-78 (2009).
- 9) 新井スマイル, 堀磨伊也, 河合紀彦, 安部陽平, 市川昌宏, 里中祐輔, 新田竜規, 新田知之, 藤井陽光, 向井政貴, 堀見宗一郎, 牧田孝嗣, 神原

誠之, 西尾信彦, 横矢直和: 人が消える地下街パ  
ノラマビューアの開発, 情報処理学会, マルチメ  
ディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2010)  
シンポジウム論文集, p1183-1189 (2010).