

視覚障がい者のための トイレナビゲーションシステムの実装と評価 Implementation and Evaluation of a Lavatory Navigation System for Visually Impaired Persons

吉田享子[†]
Kyoko YOSHIDA[†]

[†] 専修大学 ネットワーク情報学部
[†] School of Network and Information, Senshu University

要旨:

本研究は、視覚障がい者の外出におけるトイレ使用を支援するために試作したトイレナビゲーションシステムの実装と評価を行うものである。本システムは AR (Augmented Reality : 拡張現実) の位置推定の仕組みを利用しスマートフォンアプリとして作成したもので、利用者にトイレ内の場所までのナビゲーションとトイレの使用法の情報を音声で提供する。作成したシステムを用いながら視覚障がい者にトイレを使用してもらった実験を行いその結果を評価した。

Abstract:

In this paper, we will describe the implementation and evaluation of a prototype “Lavatory Navigation System” made for the purpose of aiding visually impaired persons in lavatories. The system includes a smartphone application and uses Augmented Reality technology to recognize the user's position relative to the position of the toilet facilities inside lavatories. The system directs users and provides information about toilet facilities via voice navigation. We conducted experiments by testing the system with a visually impaired person and evaluated its effectiveness.

1. はじめに

近年、GPS (Global Positioning System) をはじめとする GNSS (Global Navigation Satellite System) を利用したスマートフォンなどによる屋外用のナビゲーションシステムが実用化され、外出を支援するシステムとして普及してきた。しかし、ビルなどの屋内用のナビゲーションシステムについては、屋内測位と屋内ナビゲーションの IPIN (Indoor Positioning and Indoor Navigation) の第 1 回国際会議が 2010 年に開催され、まだ位置測定の実証実験が始まった段階である[1]。屋内での位置測定の方法としては、Wi-Fi の電波強度を用いる方法、RFID タグや QR コードや可視光通信などを用いる方法、加速度センサーやジャイロセンサーなどを用いる方法が研究されている。それぞれの方法には、距離計測精度や設置コストの問題などについて課題がある。国内でも Beacon を使用した屋内案内アプリなどの実験もあるが、屋外でのナビゲーションに利用される GPS のような技術が普及するまでには至っていない。しかし今後は、スマートフォンなどの通信インフラの普及と合わせて、屋内ナビゲーションシステムの研究が進むと期待されている。

屋外と同様に屋内のナビゲーションについては、障がい者の外出を支援するシステムとなることが期待されている。特に障がい者にとって外出は自立的な生活のための重要な部分となるが、現在の調査では、外出時に困ることがあるという人が全体の 41.5% という結果が出ている。特に、本稿で対象とする視覚障がい者については、外出時の電車・バス等の乗り物利用、道路や駅等の公共の場所の利用、トイレ・階段・エレベーター等の設備の利用で不安を感じるという結果とな

っている[2]。特に、介助者や周りの助けを得られにくい場所として、外出時のトイレ利用の不安は切実な問題であるといわれる。

これらの点を考慮し、本研究では視覚障がい者の外出時のトイレ使用を支援するためのトイレナビゲーションシステムを試作した。本システムはスマートフォンのアプリとして作成したもので、利用者にトイレ内の場所までのナビゲーションとトイレの使用法の情報を音声で提供するものである。本稿では、試作したシステムの内容と視覚障がい者がシステムを使用した評価結果について述べる。

2. 視覚障がい者におけるトイレの問題点

日本では、平成 18 年に公共交通機関、建築物等の一体的なバリアフリーを進めるため「高齢者・障害者等の移動等の円滑化の促進に関する法律」が施行された。これにより、公共交通機関ではガイドラインで示されている 5 か所 (地下鉄の地上出入口、改札口、エスカレーター、ホーム上の階段、トイレ入口) でのバリアフリー整備の取り組みが推進されてきた。例えば、鉄道や地下鉄構内のトイレでは、人が近づくと音声でトイレの存在を知らせる設備や、身体に障がいのある人のためのトイレの設置が増加している。

また、デパートなどの商業施設では、目に見えるサービスの一環としてトイレ設備に力を入れている施設が多く、従来のトイレの印象を少しでも快適なものにするために、施設・設備が改良されている。明るくおしゃれであるだけでなく、除菌・消臭効果のあるオゾンを生みだして空気の浄化を図ったり、洗浄などにオゾン水を使用したりするなど衛生面での配

慮も進んでいる。しかし、公共のトイレが晴眼者にとってより快適でおしゃれに進化している一方、障がい者を想定した設計としては十分とは言えないものも多い。

視覚障がいのある人が使いやすい公共トイレについての調査では、使いにくいトイレとして、「和式トイレ（足の置き場所がわかりづらい）」や「狭すぎるトイレ（盲導犬と一緒に入れない）」「広すぎるトイレ（一人では使いにくい）」があげられている。さらに、「水洗ボタン（レバー）の位置がわからない。緊急通報ボタンとの区別がつかない。」との意見があった。また、使いやすいトイレとしては、「音声案内のあるトイレ」を望む人が多く、「便器の位置・向きの一貫性」、「水洗の方法並びに水洗ボタン・センサー等の位置・形式の一貫性」、「緊急通報ボタンの位置・形式の一貫性」の要望が多かった。また音声案内については、「男女別一般トイレ、個室の音声案内、多機能トイレの入口の音声案内を、位置・音量について聞き取りやすいものにする」、「音声を流すスピード・可聴範囲等を考慮した音量・音源の位置」、「放送するタイミング、提供する情報の優先順位」などの要望が出されている[3][4]。

さらに著者が、視覚障がい者に直接インタビューしたところ、「一人ではトイレ内でも目的の所にまでどの方向にいけばいいのかわからない」、「衛生的な問題からあまり触りたくはないが手で壁を触って方向などを確認しながら使っている」、「水洗のボタンの位置がわからないため、どこを押せば水が流れるのか、または自動で水が流れるのかわからなくて困り果てた」、「周りに聞く人がいない場合や、介助者がいても異性の場合にはトイレの中までは助けを得られないので困る」など具体的な問題点が多くあった。また、同じ視覚障がい者の中でも全盲と弱視の人では要望が異なる場合があり、視力の程度によっても求める対応策に考慮が必要となるが、音声で必要な時に必要な情報を得たいとの要望は共通なものであった。

3. 関連研究

このような問題に対して総務省は、ITCを用いた支援システムとして「視覚障がい者のための公共トイレ音声案内システムの実用化と普及手法に関する調査研究会」を設置し、視覚障がい者の社会参加と自立への支援として外出時のトイレの問題について、RFIDタグと携帯電話を活用した公共トイレ音声案内システムを提案した[5][6]。これは、固有のIDを持つRFIDタグと、そのIDを読み取るタグリーダー、IDを送信しそれに対応するガイダンスを受信して音声を再生するための携帯電話で構成されており、オープン基盤システムとして試験的に構築され、フィールド実験が行われた。このシステムは、非常に有効なものと考えられるが、パッシブタグを使用したもので、視覚障がい者にとってはまず設置されているタグの場所を探すことが必要になるという問題があった。

その他、屋内外の区別なく快適なナビゲーションを実現する、視覚障がい者向けの音声による屋内外歩行者ナビゲーション・システムの研究・開発は進んでおり、トイレのナビゲーションも含めた研究もあるが、現在まだ実用化には至っていない[7]。

トイレを案内するシステムは、公共の交通機関や建物だけでなく、デパートなどの商業施設や企業などの施設において

も設置されることが望まれる。このように多くの場所で使われる場合、利用者の使いやすさやアクセスのしやすさと共に、システム導入のしやすさ、情報の更新のしやすさ、設置コストの安さ等を考慮する必要がある。これらの点を考慮して、今回は、AR (Augmented Reality : 拡張現実) 技術を用いたARマーカーとスマートフォンのカメラを利用したシステムを作成することにした。AR技術を使う場合は、これらの利点の一方で、視覚障がい者がスマートフォンを用いながらシステムを利用することは可能かという問題がある。この点については、2013年に視覚障がい者304人を対象とした調査において、携帯電話の利用者数は247人(81.3%)、スマートフォンは81人(26.6%)、タブレットは44人(14.5%)、パソコンは290人(95.4%)であった。特に、音声読み上げなどのアクセシビリティ機能の充実もあり、視覚障がい者のスマートフォン利用率は今後さらに伸びることが予想されている[8]。また一方、トイレ内でスマートフォンのカメラ機能を使用するという点については、盗撮などと混同され社会的には問題となる可能性もある。今回は、視覚障がい者がトイレ内で誰にも助けを求められない場合を想定して、試験的システムとしてスマートフォンのカメラ機能を用いることにした。

4. トイレナビゲーションシステム

本システムは、視覚障がい者を対象としたトイレナビゲーションシステムであり、利用者がスマートフォンを使いながらトイレ利用を不安なく行えるためのものである。トイレ内の目的の場所に行くためのナビゲーションを行い、目的場所についたらトイレの設備情報を利用者に音声で提示する。ナビゲーションに必要な利用者の位置推定や設備情報の検索にはマーカー型ARの仕組みを利用している。

筆者は、視覚障がい者を対象とした買い物支援システムを開発した[9][10][11]。これは、利用者を店舗の入口から目的の商品に誘導し、その商品の情報を提供するシステムである。AR技術を利用して、利用者のスマートフォンのカメラが店舗内のARマーカーを捉えると、利用者の現在場所と目的商品の位置関係を計算し、ナビゲーションを提供する。利用者はスマートフォンを使い、音声での出力、画面のタップ操作によってシステムを利用できる。トイレナビゲーションシステムでも同様の技術を用いることで、利用者の現在位置の推定方法とトイレ内設備情報を提供することを試みた。

4.1. システムの概要

本システムは、スマートフォン側とサーバ側のシステムで構成されている。利用者がスマートフォン側で選択した性別・目的地と、スマートフォンのカメラがとらえたARマーカーがサーバへ送信される。サーバ側システムは送られてきたカメラ画像からARマーカーを読み取り、識別した固有のIDをキーとして設備情報や位置情報をデータベースに問い合わせる。サーバ側はデータベースに問い合わせ得た結果を利用者とトイレ設備の位置関係を考慮したナビゲーションに変換し、ナビゲーションの情報や設備情報としてスマートフォンに送る。送られた情報はスマートフォンから音声で利用者に伝えられる。本システム利用のためには、トイレ施設内に複数の種類のARマーカーを配置し、配置したマーカーの位置情報と設備情報をサーバのデータベースに登録して

おくことが必要となる（図1）。

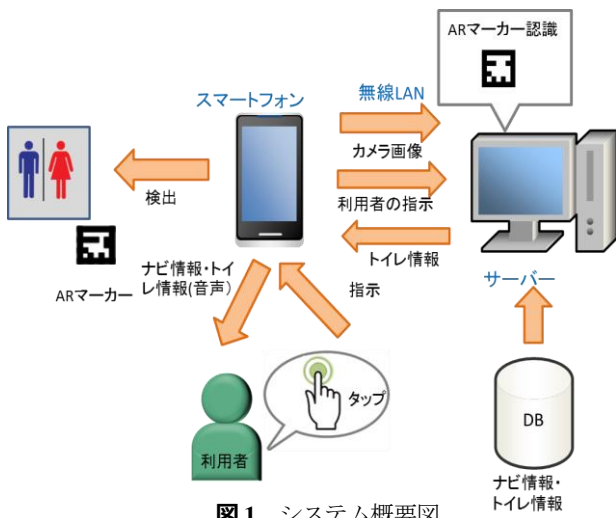


図1 システム概要図

4.2. システム利用の流れ

利用者はトイレに近づいた後、スマートフォンからアプリを起動し、トイレ内の利用設備（小用、個室、手洗い、入口）を選択する。利用者はトイレ内を移動しながらナビゲーションが必要な時、スマートフォンのカメラをトイレ内のARマーカーに向ける。システムがARマーカーを認識すると、スマートフォンのバイブレーション機能が働き振動してARマーカーを捉えたことを利用者に伝える。このときスマートフォンの画面を1回タップすると、目的場所の近くに移動するためのナビゲーションが音声で提示される。例えば「2時の方向に〇mすすんでください。正面に個室があります。」などという。情報マーカーを見ながら2回タップすると、「洋式トイレが右側にあります。トイレの後ろは右奥です。水を流すレバーはトイレの後ろです。ペーパーは正面にあります。」などという。画面を3回タップすると、目的地到着をサーバに通知する。また、画面上で三角形を描くと操作説明、画面に四角形を描くとトイレ概要を聞くことができる。これらの操作が終わると、最後に手洗いから出口までの行き方が案内され終了となる（表2）

画面には、初期画面とナビモード画面、メニューモード画面の3つがある

(1) 初期画面

男性か女性かを選択して接続開始ボタン押下後、ナビモード画面に移行する（図2）



図2 初期画面

(2) メニューモード（目的地選択モード）画面

メニューモード（目的地選択モード）画面では、画面に三角形を描くジェスチャーをすると操作説明を聞くことができる。また、画面の中心の灰色の四角部分にはカメラが捉えた画像が表示される（図3）。

画面1 タップ：目的地（小用、個室、手洗い、入口）を選択する

画面2 タップ：目的地を決定後ナビモードに切替える

画面3 タップ：目的地を決定せずナビモードに切替える

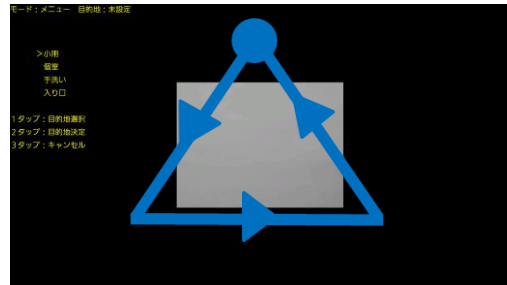


図3 メニューモード画面

(3) ナビモード画面

ナビモード画面では、目的地を決定しナビゲーションを開始できる。画面に三角形を描くジェスチャーをすると操作説明を聞くことができる。画面に四角形を描くジェスチャーをするとトイレ概要を聞くことができる（目的地が決まっていなくても、どこでも聞くことができるが、場所にあわせて概要が変わることはない）。また、画面の中心の灰色の四角部分にはカメラが捉えた画像が表示される（図4）。

画面長押し：メニューモード（目的地選択モード）に切替える

画面1 タップ：（マーカーを認識している状態で）ナビゲーションする

画面2 タップ：（マーカーを認識している状態で）設備情報を案内する

画面3 タップ：設備到着をサーバに通知する

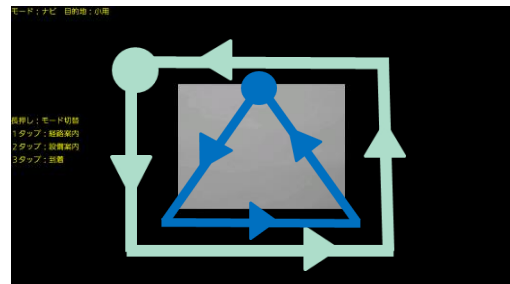


図4 ナビモード画面

4.3. ナビゲーションの方法

前述の買い物支援システムでは、商品棚が平行に置かれ、通路が格子状になっている店舗を想定してシステムを作成した。トイレの場合は、格子状の通路だけを移動するのではなく設備のない場所を自由に移動できなくてはならない。そのため、今回のトイレ内でのナビゲーションのための経路については以下の方法で作成した。

1. トイレのレイアウトをもとにメッシュを作成する
2. 壁や設備などを考慮して、メッシュを通路（移動可能）エリアと通路不可エリアに分ける
3. 各通路エリアに移動できる通路（移動可能）エリアを設定する
4. 3. をもとに「隣接リスト」を作成する
5. 利用者がいる通路エリアに対応したノードから目的地があるノードについて「深さ優先探索」により対象経路をすべて取得する
6. 経路上に設備のある経路は対象から除く
7. できるだけコーナーが少なく距離も短い経路を選択する（ノード同士は、互いに東西南北の接続方向がわかっているため、経路ごとにコーナーをカウントして比較する）

メッシュについては、経路の決定に影響するため、以下の点に注意して作成した。

1. 一つのメッシュには一つの設備を対応させる
2. 設備に対し経路が垂直になるようにメッシュを作成する
3. 仕切りの壁が張り出している部分などは仕切りの壁をまたぐことのないようにメッシュを作成する

AR マーカーについては設備のために使う設備マーカー、情報提供用の情報マーカー、誘導のために使う誘導マーカーを設定した。設備マーカーと情報マーカーとは、同じ働きをするもので区分する必要性はないが、当初につけた名称として使用している。実験に使用するトイレには、図のようにマーカーを設置した（図5, 6）。

4.4. AR の使用方法

AR は、目的場所付近までのナビゲーションと目的場所にあるトイレ情報読み上げのために使用している。目的場所までのナビゲーションには、ワールド座標系とカメラ座標系とマーカー座標系を用いる。ワールド座標系は、トイレの場所を示すための基準として使用する座標系で、トイレの空間内の一点を基準としている。カメラ座標系はカメラが、マーカー座標系はマーカーの座標である。3つの座標系は空間の位置と姿勢をもつ4×4の行列で表わされる。それぞれの座標系の変換には、座標変換行列を用いる。ARtoolkit[12]を用いることで、カメラ座標系からマーカー座標系への変換行列が求まる。この行列の逆行列は逆変換になり、マーカー座標系からカメラ座標系への変換を意味する。今回、それぞれのマーカーに対してワールド座標系からマーカー座標系に変換するための同次変換行列を位置情報として定義している。そのため、マーカー座標系からカメラ座標系への同次変換行列と、ワールド座標系からマーカー座標系への同次変換行列の積を求めるとワールド座標系からカメラ座標系への同次変換行列を得ることができる。これはカメラ（＝利用者）の詳細な位置と姿勢を意味する行列となり、これをナビゲーションに利用している。

目的場所にあるトイレ情報読み上げのためには、カメラから見てトイレがどのような位置にあるかという情報が必要になる。これは、カメラ座標系からマーカー座標系への変換行列を利用できる。その変換行列をXY平面に透視射影変換すると、マーカーが画面のどこに映っているかの座標が得られる。目的場所の情報の取得は、AR マーカーからパターンIDを取得し、それをキーとしてデータベースから情報を得ている。

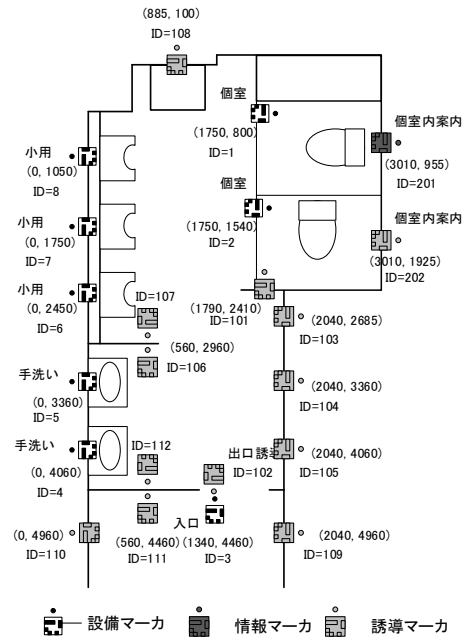


図5 マーカーの配置

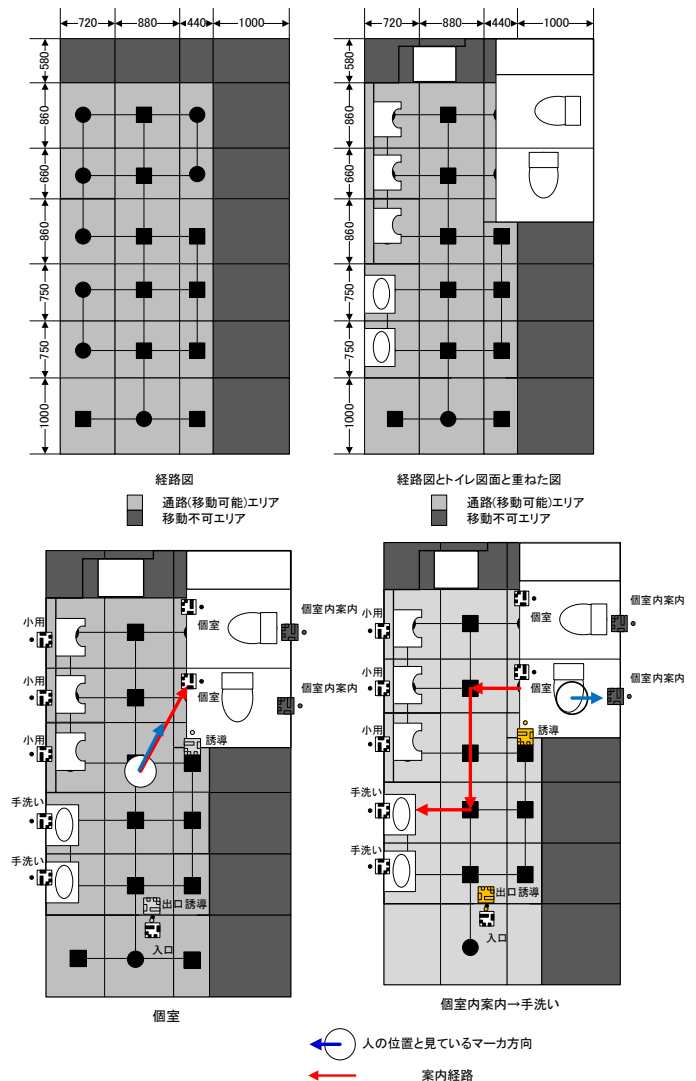


図6 メッシュの配置と案内方法

4.5. システムの構成

本システムは、スマートフォンとサーバを無線 LAN で接続して利用する。スマートフォン側では入出力処理を行い、それ以外の処理はサーバ側で行う。スマートフォンはカメラからの入力画像をグレースケール変換し、UDP (User Datagram Protocol) でサーバに送信する。サーバは、送信された画像から NyARtoolkit で AR マーカーの認識を行い、認識できた場合、データベースから AR マーカーの位置情報を取得する。その情報から利用者の位置計算をし、利用者に提示するナビゲーション情報を決定する。また、設備マーカーの場合は、位置情報に加えて設備情報も取得する。サーバで生成したナビゲーションや設備情報は、スマートフォンに文字列で送信し、スマートフォンは受信した文字列を、N2TTS の音声合成エンジンを用いて音声で利用者に提示する (図 7)。

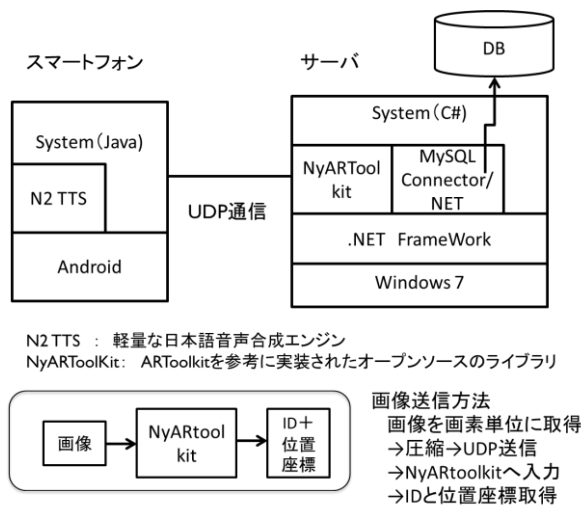


図 7 システムの構成

5. 実験

本システムを評価するために、大学構内のトイレ (10.5×5.7m) を使用した。数回の予備実験の後、視覚障がい者の人 (50 歳代) がトイレを利用する実験を行った。実験は、トイレのレイアウトに合わせて設備マーカーを 8 個、情報マーカーを 2 個、誘導マーカーを 12 個設置した。被験者は、必要な情報を設定してスマートフォンをかざしてトイレの入り口に近づき、システムからのナビゲーションに従ってトイレを利用した (図 8)。

被験者が使用した感想としては、「トイレのナビゲーションとしては使えるものになっている」「ナビゲーションの音声案内については、次にやるべき 2 つまでしか覚えられない 3 つ以上ナビされても混乱する」「使っている途中で別のマーカーをかざした時、改めて初めからナビされると混乱する」「カメラを一定の高さで動かせばいいようにマーカーは同じ位置に設置してほしい」「もっと AR マーカーを感度高く認識できるといい」などがあった。全体としては利用可能なシステムとなっているとの評価であった。今後はさらに多く視覚障がい者に利用してもらうことが必要となる。

今回の実験で最も問題点として指摘されたのは、カメラがマーカーを認識する感度があまりよくないという点であった。被験者が買い物支援システムの実験にもかかわっていた

ため、その時の感度よりも悪いとの指摘があった。これは、買い物支援システムが近くのマーカー (ほぼ 1m 以内) の距離にあるマーカーを連続して認識するシステムであったが、今回のシステムが比較的遠くのマーカーを正面から認識させるものだったためであると考えられる。システム作成の過程でも、遠くのマーカーを認識する場合、マーカー位置から自分の位置 (カメラ位置) を計算すると距離の誤差が大きくなるという問題が生じた。このため、視覚障がいの人に使用してもらう前の予備実験の段階で、スマートフォンのカメラ機能をよりよいものに変更する、遠くのマーカーを無視し近くのマーカーを認識しやすくするような処理を追加する、誘導マーカーを増やす、などの改良を行ったが、この問題は完全にクリアすることができなかった。また、実験場所の光によっても安定性に影響がでるため、トイレの窓からの環境光などに起因してマーカー認識の感度や識別の難しさが変化することがわかった。



図 8 実験の様子

6. AR についての問題点

AR の仕組みを使用する場合は、磁気・赤外線・電磁波などの特殊なセンサーを使用しないで AR マーカーとカメラだけを使用して距離計算を行うことができる。AR マーカーについては、導入の容易さ、画像の位置合わせのしやすさ、アクセスのしやすさ、情報の更新のしやすさ、などのメリットに対して、場所が限定される、隠蔽に弱い、マーカー設置の美観の問題がある、姿勢推定の精度の問題がある、などについてのデメリットが指摘されている [13]。

実験までの過程では、カメラが捉える光の反射などの環境変化によって AR マーカーが認識しづらかったり、マーカーの読みやすさがマーカーの作成方法によって変わったりなどの問題があった。マーカーの認識率はデジタルカメラの性能などによっても影響を受けるといわれる。これはカメラがキャッチする光が不安定であるため微妙な誤差が生じ、それによってマーカーのエッジ検出に誤差が生まれ、最終的に座標変換行列にも誤差が生じることになるジッタ (jitter) の問

題と考えられる。これをなるべく安定化させるために、実験場所のトイレの環境に合うようにシステムの処理を改善したが、すべての場所で調整しないで使えるようにするには問題が残っている。さらに ARToolKit 自体の改良も必要となる可能性がある。

今回の実験で最も問題となった姿勢推定の精度の問題は、平面マーカの計測の原理上不可避の問題であり、根本的な解決は簡単ではないといわれている。筆者は、前回の買い物支援システムで AR マーカーを使用した計測の精度について大きな問題とならなかったため、今回も同じ仕組みを採用し、システム上の工夫で回避することを試みたが、根本的な解決には AR マーカー自体の改良が必要となる。

このような AR マーカーのデメリットを克服するために、新たなマーカの開発が行われており、マーカの一部が隠蔽されても利用できる ARtag や Uniform Marker Fields, 姿勢推定の精度を向上させるランダムドットマーカや LentiMark や ArrayMark などが新しいマーカとして提案されている。今後これらのマーカを利用したシステムに改良することも検討すべき課題であると考えている[14][15][16]。

7. おわりに

本稿では、視覚障がい者の外出におけるトイレ使用を支援するために試作した、トイレナビゲーションシステムの実装と評価について述べた。本システムは AR の位置推定の仕組みを利用しスマートフォンのアプリとして作成したもので、利用者にトイレ内の場所までのナビゲーションとトイレの使用法の情報を音声で提供した。作成したシステムを用いながら視覚障がい者にトイレを使用してもらった実験を行いその結果を評価した。AR マーカーを使用するうえでの問題点がいくつかわかり、システムの改良によって改善されたが、姿勢推定の精度などについての根本的な解決とはならず課題は残った。今後は、これらの点についても研究されている新しいマーカを使用するなどの改良を加えていく予定である。

(謝辞) 本システムの開発と実験にご協力いただいた、小森谷裕之氏 (アライズソフトウェアシステム)、高橋伊久夫氏 (アーク情報システム) に感謝いたします。

(付記) 本研究は、平成 26 年度専修大学研究助成「視覚障害者向け屋内ナビゲーションシステムの開発」の研究成果の一部である。

参考文献

- [1] IPIN(屋内測位と屋内ナビゲーション国際会議), <http://ipin-conference.org/>
- [2] 平成 18 年身体障害児・者実態調査結果厚生労働省社会・援護局障害保健福祉部企画課 (平成 20 年), <http://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/shintai/06/dl/01.pdf>
- [3] 障害のある人が使いやすい公共トイレについての意見募集結果報告書, 千葉県千健康福祉部障害福祉課 (平成 23 年), https://www.pref.chiba.lg.jp/shoufuku/shougai-kurashi/documents/toilet_tyukan.pdf
- [4] 視覚・聴覚障害者の安全性・利便性に関する調査研究報告書, 平成 23 年 3 月発行 国土交通省総合政策局安心生活政策課, http://www.jcsc.or.jp/public_policy/pdf/gov110602.pdf
- [5] 北陸総合通信局, “視覚障がい者のための公共トイレ音声案内システムの実用化と普及手法に関する調査研究会報告書”, 平成 18 年 3 月, <http://www.hokuriku-bt.go.jp/resarch/toilet.html>
- [6] 丹康雄, 細野昭雄, 金平勲, 吉清忍, 携帯電話と電子タグによる視覚障がい者のための公共トイレ音声案内システム, 電子情報通信学会ソサエティ大会, 2006
- [7] 視覚障がい者を屋内外の区別なく快適にナビゲーション, 清水建設ニュースリリース 2015 年 http://www.shimz.co.jp/news_release/2015/2015028.html
- [8] 渡邊哲也, 視覚障害者の携帯電話・スマートフォン・タブレット・パソコン利用状況調査 2013, 電子情報通信学会技術研究報告 IEICE Technical Report WIT2013-34, 59-64, 2013
- [9] Kyoko Yoshida, Ikuo Takahashi, Satoshi Honda, Shopping support system using AR technology for visually impaired persons, Assistive Technology: From Research to Practice P. Encarnação et al. (Eds.) IOS Press, 677-683, 2013
- [10] 本田智史, 高橋伊久夫, 吉田享子, ロービジョンのためのスマートフォンを用いた買い物支援システムの実装と評価, 電子情報通信学会技術研究報告 IEICE Technical Report WIT2013-34, 59-64, 2013
- [11] 本田智史, 高橋伊久夫, 吉田享子, AR の仕組みを利用した店舗内ナビゲーションシステムの実装と評価, 電子情報通信学会技術研究報告, IEICE Technical Report WIT2012-12, 13-18, 2012
- [12] 加藤 博一, 拡張現実感システム構築ツール ARToolKit の開発, 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 101(652), 79-86, 2002-02-14
- [13] (監修) 蔵田武志, 清川清, AR 技術の基礎・発展・実践, 科学情報出版株式会社, 2015
- [14] I. Szentandrási, M. Zacharias, J. Havel, A. Herout, M. Dubska, R. Kajan, “Uniform Marker Fields: Camera localization by orientable De Bruijn tori”, Proceedings of the 2012 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR), Pages 319-320, 2012
- [15] H. Uchiyama and H. Saito, “Random dot markers”, Proceedings of IEEE Virtual Reality, pp.35-38, 2011
- [16] 田中秀幸, 角保志, 松本吉央, “LentiMark: レンチキューレンズを用いた高精度な姿勢推定のための視覚マーカ”, 電子情報通信学会論文誌「情報・システム: D」画像の認識・理解論文特集, Vol. J95-D, No.8, pp.1522-1529, 2012