

# マーカ認識による位置姿勢推定を用いた 車椅子ナビゲーションシステムの開発

池田 克<sup>\*1</sup> 清田 公保<sup>\*1</sup> 合志 和洋<sup>\*1</sup> 三好 正純<sup>\*1</sup>

## Development of a wheelchair navigation system based on the indoor positioning information by marker detection

Suguru Ikeda<sup>\*1</sup>, Kazuhiro Koshi<sup>\*1</sup>, Kimiyasu Kiyota<sup>\*1</sup> and Masazumi Miyoshi<sup>\*1</sup>

**Abstract** - By popularization of wearable PCs with GPS, it is expected that pedestrian navigation system is going to spread. However the indoor position detection is not sufficiently served in the building. There are many methods to measure indoor positions of users using positioning devices such as RFID or Wireless LAN. Many of those devices are quite expensive and the infrastructure maintenance is necessary. This paper proposes a wheelchair navigation system based on the indoor positioning information by marker detection. Proposed system uses many fiducial markers captured by a camera. A position of a wheelchair is estimated based on adjacent markers in succession. In the experimental results, we confirmed the robustness in the real environment.

**Keywords** : Marker detection, Augmented Reality, ARToolKit, Indoor position information, Wheelchair

### 1. はじめに

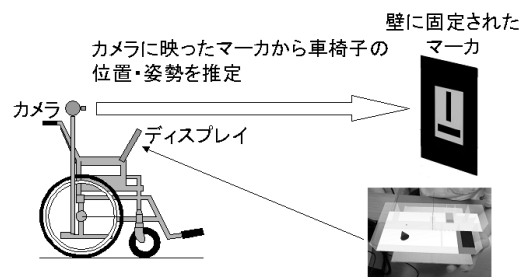
近年、ユビキタス技術の一つとして、人間の位置検出を行う技術が多数提案されており、歩行者ナビゲーションに利用されている。屋外においては、GPSが多く用いられており、携帯電話などに実装されている。屋内においては、GPSを使用できない環境が多いため、屋内における位置検出技術が各種提案されている。その技術の多くは、無線 LAN や RFID を用いたものである。無線 LAN を用いたシステムの例としては、WiPS[1]や日立製作所の無線 LAN 位置検知システム「日立 AirLocation™ II」[2]があり、RFID を用いたシステムには、NaviGeta[3]やActivRFID を用いたシステム[4]などがある。これらは、歩行者ナビゲーションとして開発されている一方で、車椅子使用者のためにスロープやエレベータを設け、バリアフリーを考慮した建物が増えている。しかし、既存の建物にスロープ等を設けても、外部からの利用者にとってはその場所が分かりづらく、車椅子使用者が目的地にたどり着くのに時間がかかり、効率が悪いものとなっている。

本研究では、これを解決する一手段として、車椅子ナビゲーションシステムを提案する。屋内における位置検出は上述したように、無線 LAN や RFID が主に用いられるが、これらは、位置検出環境の構築のコストが高く、維持費も掛かるという問題がある。そこで、コストが比較的低い画像マーカを用いた位置検出の手法が研究されている[5][6]。本研究では、この技術を応用して、拡張現実感システム構築ツールである ARToolKit[7]を用いて、

マーカ検出による屋内における車椅子の位置姿勢推定を行う。さらに拡張現実感を利用した車椅子の位置姿勢表示と目的地への経路提示を行うシステムを開発することを目的とする。本稿では、画像マーカによる位置姿勢推定精度の確認実験を行うことで、車椅子ナビゲーションシステムの可能性を検討する。

### 2. システム概要

今回、提案する車椅子ナビゲーションシステムの全体的なシステム概要を図1に、マーカの配置例を図2に示す。図1に示す様に USB カメラを車椅子に固定し、タッチパネルディスプレイを車椅子のアーム部分に設置する。また、図2の様に位置姿勢推定のためのマーカを屋内の壁に複数配置し、予め位置が確定したマーカからの車椅子の相対的な位置姿勢を推定する。立体地図表示用マーカをカメラの前に提示することにより、ディスプレイ画面にはカメラからの実時間映像と合成された立体地図が表示され、車椅子の位置、付近のエレベータやスロープが強調表示される。図3は、これらのシステムの処理の流れを図示したものである。



立体地図表示用マーカをカメラに映す → 立体地図の表示  
図1 システム概要

Fig.1 System configuration.

\*1: 熊本高等専門学校

\*1: Kumamoto National College of Technology.

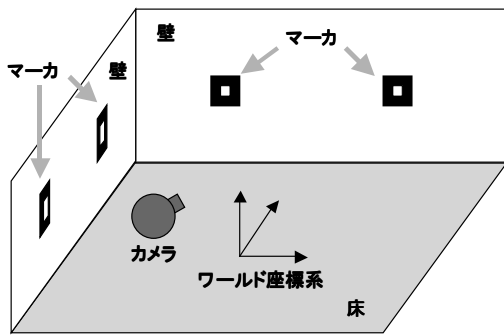


図2 マーカの配置例

Fig.2 Examples of a marker arrangement.

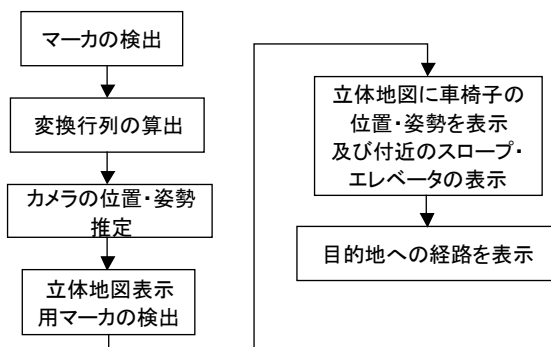


図3 システムの流れ

Fig.3 Flowchart of a proposed system.

### 2.1 カメラの位置姿勢の推定

車椅子の位置姿勢は車椅子に固定したカメラの位置姿勢を推定することで行う。カメラの位置姿勢推定は、ARToolKit を用いて計算する。マーカ座標系を  $[X_m \ Y_m \ Z_m]^T$ 、カメラ座標系を  $[X_c \ Y_c \ Z_c]^T$  とおくと、マーカ座標系とカメラ座標系は図4のようになる。また、座標変換行列  $T_{cm}$  は、式(1)で表される。但し、 $R_{3 \times 3}$  は回転行列、 $T_{3 \times 1}$  は並進ベクトルである

$$\begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \\ 1 \end{bmatrix} = T_{cm} \begin{bmatrix} X_m \\ Y_m \\ Z_m \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_{3 \times 3} & T_{3 \times 1} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_m \\ Y_m \\ Z_m \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$= \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & R_{13} & T_x \\ R_{21} & R_{22} & R_{23} & T_y \\ R_{31} & R_{32} & R_{33} & T_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_m \\ Y_m \\ Z_m \\ 1 \end{bmatrix}$$

屋内位置検出システムにおいては、さらにワールド座標系を設定し、ワールド座標系 - マーカ座標系の変換行列を設定しておくことで、ワールド座標系におけるカメラの位置姿勢が求まり、カメラ及び複数のマーカを同一の座標系で扱うことができる。カメラ座標系からワール

ド座標系の変換は以下の式で求められる。

$$P_w = T_{wm} T_{cm}^{-1} P_c \quad (2)$$

$P_w$  はワールド座標系、 $P_c$  はカメラ座標系、 $T_{cm}$  はマーカ座標系からカメラ座標系への変換行列、 $T_{wm}$  はマーカ座標系からワールド座標系への変換行列である。

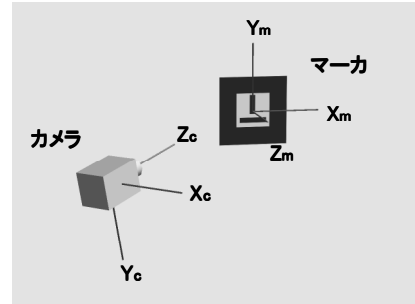


図4 カメラ座標系及びマーカ座標系

Fig.4 Camera coordinate and maker coordinate of a frame of reference.

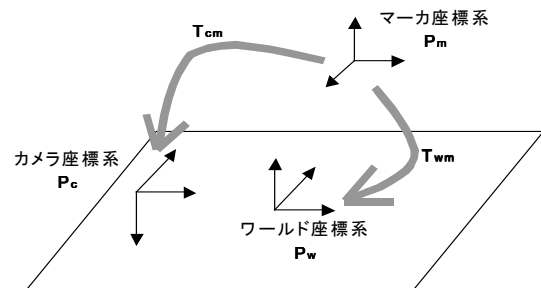


図5 各種座標系の相互関係

Fig.5 Interrelation of a frame of reference.

### 2.2 立体地図上における位置姿勢の提示

実際のシステムでは、一定の領域内に複数の位置姿勢推定用マーカを配置する。これらのマーカ座標系は、それぞれ部屋座標系に対する座標変換行列が既知であり、2.1で示した方法により、部屋座標系とカメラ座標系の変換行列を求める。そして得られた変換行列により、領域内の車椅子の位置姿勢を立体地図上に表示する。立体地図は、立体地図表示用のマーカをカメラに映すことにより表示され、立体地図の座標系は実際のワールド座標系と対応している。ワールド座標系は、システム構築の際に任意に定めることができるため、ワールド座標系 - ローカル（部屋）座標系 - マーカ座標系というように、階層化することも可能である。マーカによる地図表示を行うことにより、マーカを動かすことで任意の向きで地図を見ることができ、また、自分が必要な情報を選択して表示することができる。さらに付近のスロープ、エレベータなどの表示、また目的地を入力することにより、その場所への経路を探索し表示する、表示領域内の部屋の情報を提示するなどの機能の実装を予定している。実際

にディスプレイ表示を行ったときの位置姿勢の表示イメージを図6に示す。

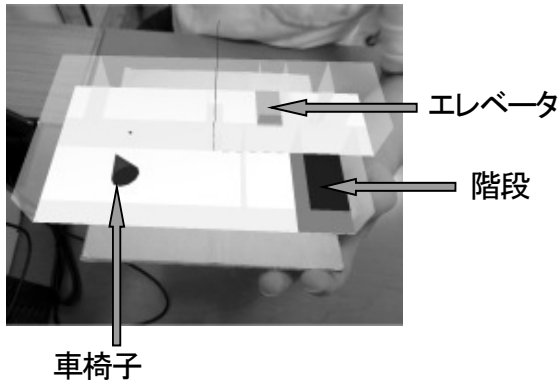


図6 立体地図の実画像への合成  
 Fig.6. Solid map synthesized to actual image.

### 3. 移動時における位置推定精度確認実験

#### 3.1 実験概要

画像マーカによる位置検出が、車椅子ナビゲーションへの応用が可能であることを確認するために、実際の屋内空間における位置推定の精度の調査実験を行う。実験は、マーカ認識の限界を確認するために、広い屋内空間を想定して、体育館を使用した。屋内の壁に複数のマーカを貼り付け、カメラを車椅子に搭載する。車椅子を壁と平行に動かし、マーカによる位置検出によって車椅子の軌跡を記録する。そして、実際に動かした軌跡と、記録した軌跡を比較して、位置検出の精度の確認を行う。図7のようにスタートラインと壁の交点を原点とする基準座標系を設定し、壁に0.3m四方のマーカを6個配置する。マーカの大きさは、0.2m程度では、4、5m離れると認識が困難であり、また、0.4m以上は、景観を乱しやすいと判断し、0.3mとした。基準座標系と各マーカ座標系との変換行列は事前に設定しておく。

マーカは、スタートラインから3.5m離れた地点にマーカ1を置き、マーカ2以降は3.5mごとに配置する。車椅子は壁から1~5m離れて、壁に平行に移動させる。5mまでとしたのは、屋内では、壁から5m以上離れることができるほどの環境はあまり無いと考えたからである。カメラは、床から1mの高さに設置し、図8のように、カメラの視線方向が進行方向と平行(0°)の場合と進行方向に対して水平方向に30°傾けた場合で実験を行った。カメラを傾けるのは、カメラの視線方向に対し、マーカが垂直に近いほうが認識をしやすいためであり、30°としたのは、カメラの画角が60°であることから、進行方向に対し30°までであれば車椅子前方をカメラが捕らえられるからである。使用した6個のマーカは、作るのが容易なように単純な図形で構成するが、マーカの誤認識を防ぐために、区別が付きやすいように作成した。実験は壁と車椅子の距離 $Z_n$ を1mから5mまで1m

ごとに、カメラの傾き0°と30°の場合について、それぞれ2回行った。

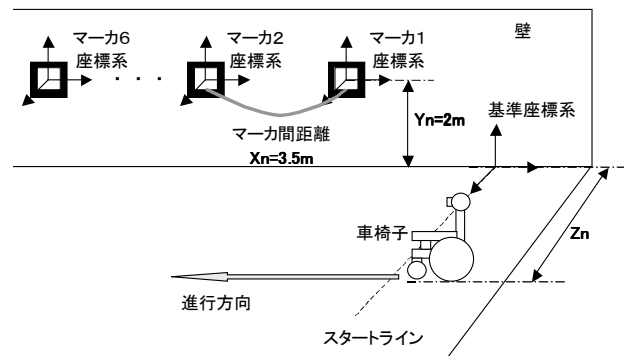


図7 実験環境  
 Fig.7 Experimental conditions.

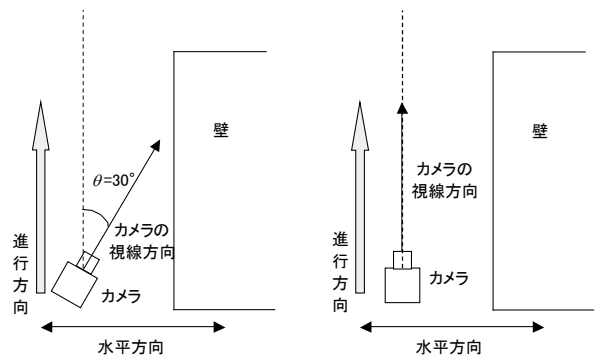


図8 進行方向に対するカメラの向き  
 Fig.8 The direction of a camera in the experiment.

#### 3.2 マーカ配置位置の設計

カメラの視線方向が進行方向と平行な場合において、カメラの横方向の画角が60°であり、また、マーカを認識できる傾きの限界[8]から、図9、図10にある認識可能領域内が、マーカを認識できる範囲であり、配置できる範囲である。よって、図9、図10の $X_{min}$ 、 $X_{max}$ は式(3)のように壁からカメラまでの距離 $Z_n$ に比例し、認識可能領域の長さ $X_n$ は式(4)によって求まる。ここで $Z_n=1m$ とすると、 $X_n=3.94m$ となるので、それよりも短い3.5mをマーカの配置間隔とした。3.5mとすることで、壁とカメラの距離 $Z_n$ が1mより長くなっても、マーカが認識可能領域に常に入っていることになる。配置するマーカの床からの高さは、図10より、カメラの縦方向の画角が約23.4°であるので、式(5)となる。 $Z_n=1m$ とすると、 $Y_{min}=0.75m$ 、 $Y_{max}=2.46m$ となる。実験では、カメラは床から1mの位置に設置するので、床からの高さで考えると、マーカの配置する高さは、図10から、1.75m以下の高さにするのが理想である。しかし、実際の環境では、1.75mでは、人や物によってマーカが隠れる可能性が高いので、2mの高さに配置した。

$$X_{min} = \frac{Z_n}{\tan 30^\circ}, \quad X_{max} = \frac{Z_n}{\tan 10^\circ} \quad (3)$$

$$X_n = X_{\max} - X_{\min} = \left( \frac{1}{\tan 10^\circ} - \frac{1}{\tan 30^\circ} \right) Z_n \cong 3.94 Z_n \quad (4)$$

$$Y_{\min} = X_{\min} \tan 23.4^\circ, \quad Y_{\max} = X_{\max} \tan 23.4^\circ \quad (5)$$

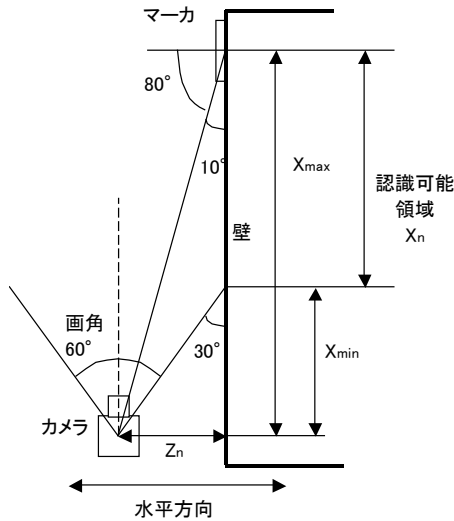


図9 マーカ認識可能領域 (上からの図)  
 Fig.9 Area where marker can be detected. (top view)

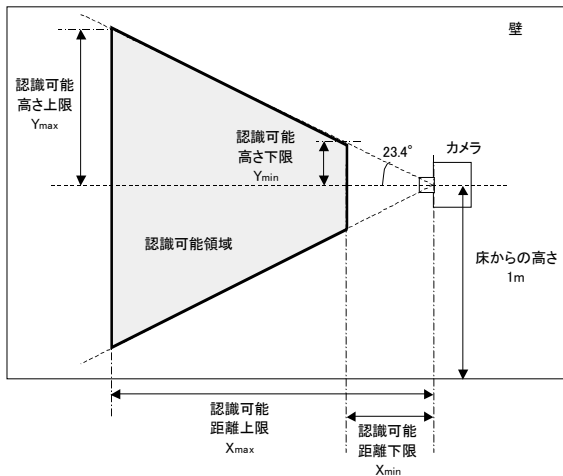


図10 マーカ認識可能領域 (横からの図)  
 Fig.10 Area where marker can be detected. (side view)

表1 実験条件

Table 1 Experimental conditions.

カメラ	Logicool Qcam Pro9000
パソコン	Panasonic レッツノートライト CF-Y7
車椅子の速度	約 0.6m/s
車椅子の走行距離	21m
車椅子(カメラ)の壁からの距離 $Z_n$ [m]	1m から 5m まで, 1m ごとに計測
カメラの進行方向に対する水平方向の傾き $\theta$ [°]	0° 及び 30°
計測回数	2 回
マーカの大きさ	0.3m × 0.3m
マーカの数	6
マーカの間隔 $X_n$ [m]	3.5m
マーカの高さ $Y_n$ [m]	2.0m

### 3.3 実験条件

実験条件をまとめたものを表 1 に示す. Web カメラは, オートフォーカスと露出, ゲインの自動調整をオフの状態で使用し, 手動でマーカが認識できる状態にして実験を行った.

### 3.4 実験結果

実験結果の一例を図 12~図 19 に示す. 図 12~図 14 は, 車椅子の軌跡を示したものであり, 図の見方は, 図 11 に準拠する. 図 15~図 17 は, 経過時間と移動距離の関係を示したグラフの例である. 壁からの距離  $Z_n=1m$  の場合には, 図 12 より, 車椅子の軌道と位置検出の結果がほぼ一致しており, また, 図 15 の様に, 傾き 0.6 程度の直線近似となるが, データが得られていない区間がある. これは, カメラに対してマーカが近いために, カメラの視線方向と, マーカが平行に近くなるためであり, また, マーカが移動に伴い, フレームアウトする際に, 次のマーカが認識できる領域に入っていないためと考えられる.  $Z_n=4m$  及び  $5m$  で,  $\theta=0^\circ$  では, 図 13, 図 16 のように誤差が大きくなっており, マーカの非認識や誤認識が非常に多いという結果になった. これは, カメラ-マーカ間の距離が大きい上にカメラの視線方向とマーカが平行であるために, 画像中に投影されたマーカの大きさが, 認識が困難になる程度に小さくなるからと思われる. その他は, 図 14 より, 位置検出の結果は, ほぼ車椅子の軌道と一致しており, データもほぼ連続して得られている. また, 図 17 のように, 傾き 0.6 程度の直線近似となり, 車椅子の速度が約 0.6m/s なので, 直線近似の傾きとほぼ等しく, 車椅子が移動しながらも, 正確に位置検出ができていくことが分かる.

図 18, 図 19 は壁からの距離  $Z_n$  の計測値の平均, 標準偏差を示している. これらより, 誤差率は 6%程度, 標準偏差を考慮しても最大 10%程度に抑えられている. 誤差率は, マーカ-カメラ間の距離に伴い増加する傾向にあり, 車椅子の軌跡及び経過時間と移動距離の結果と合わせて考えると,  $\theta=0^\circ$  の時は,  $Z_n=3m$  まで,  $\theta=30^\circ$  の時は  $Z_n=5m$  でも実用に耐えうるとと思われる. よってカメラは進行方向に対して  $30^\circ$  程度傾けた方が, 位置検出が可能な領域が大きく, 実用的である. しかし, カメラを傾けると逆の壁のマーカが認識できないので,

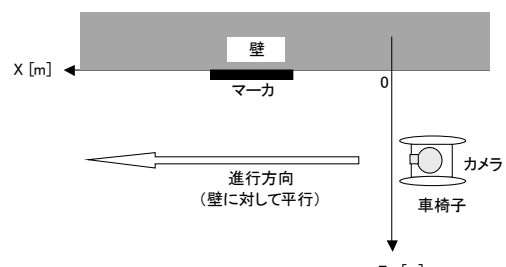


図11 軌道の座標系の定義  
 Fig.11 A definition of orbital coordinate.

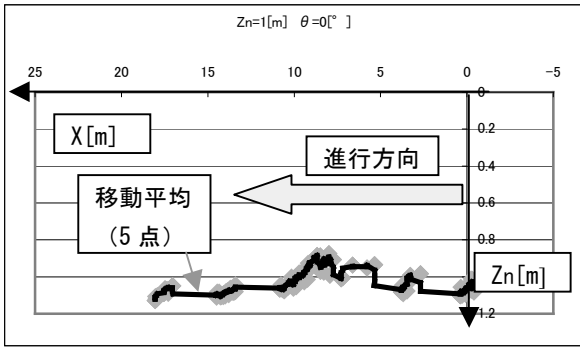


図 1 2 移動軌跡 ( $Z_n=1, \theta=0$ )  
 Fig.12 Movement locus ( $Z_n=1, \theta=0$ ).

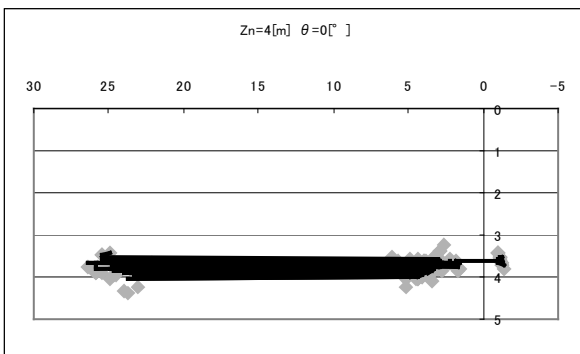


図 1 3 移動軌跡 ( $Z_n=4, \theta=0$ )  
 Fig.13 Movement locus ( $Z_n=4, \theta=0$ ).

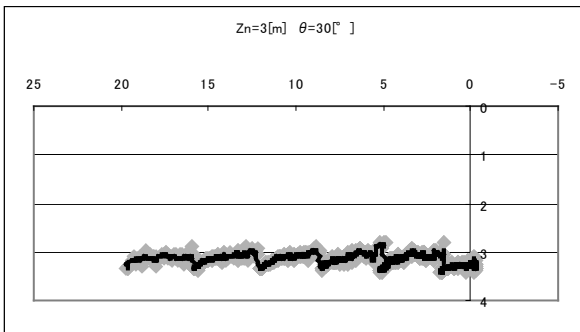


図 1 4 移動軌跡 ( $Z_n=3, \theta=30$ )  
 Fig.14 Movement locus ( $Z_n=3, \theta=30$ ).

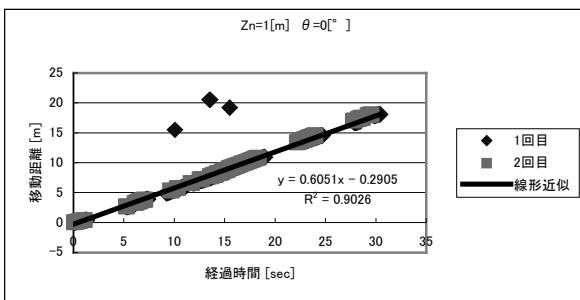


図 1 5 経過時間と移動距離 ( $Z_n=1, \theta=0$ )  
 Fig.15 Passed time and moved distance ( $Z_n=1, \theta=0$ ).

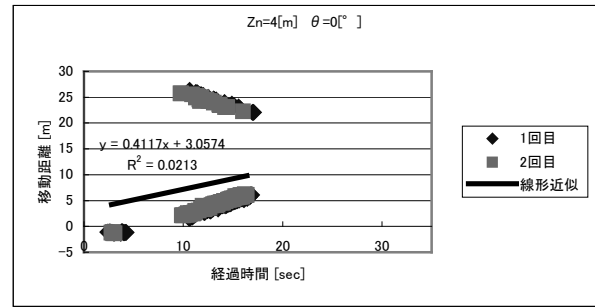


図 1 6 経過時間と移動距離 ( $Z_n=4, \theta=0$ )  
 Fig.16 Passed time and moved distance ( $Z_n=4, \theta=0$ ).

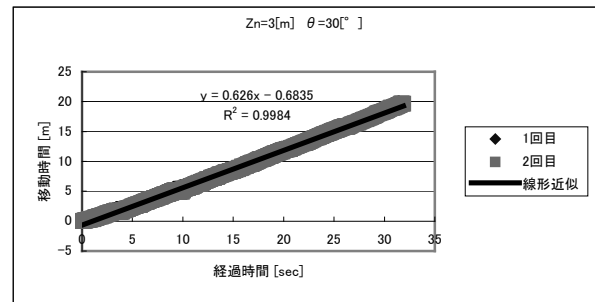


図 1 7 経過時間と移動距離 ( $Z_n=3, \theta=30$ )  
 Fig.17 Passed time and moved distance ( $Z_n=3, \theta=30$ ).

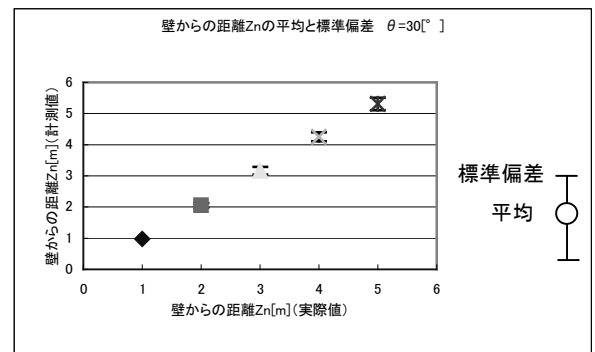


図 1 8 壁からの距離  $Z_n$  の計測値と実際値 ( $\theta=0$ )  
 Fig.18 Measurement value and actual value of distance  $Z_n$  from Wall ( $\theta=0$ ).

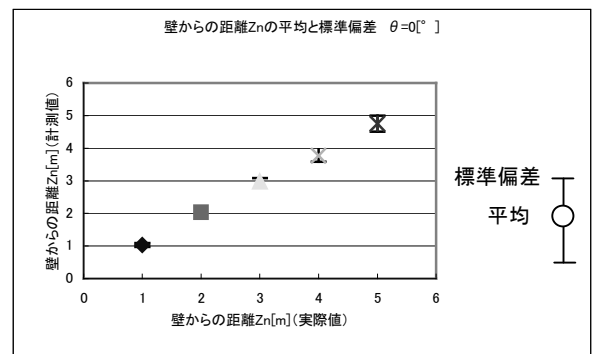


図 1 9 壁からの距離  $Z_n$  の計測値と実際値 ( $\theta=30$ )  
 Fig.19 Measurement value and actual value of distance  $Z_n$  from Wall ( $\theta=30$ ).

搭載するカメラを2つにするなどの対処をする必要がある。マーカの配置に関しては、実験の結果から、さほど問題ないと思われるが、位置検出ができない区間がある。これを解決するには、マーカの数を増やすという対処法が考えられるが、マーカを増やすと、景観が損なわれる。そこで景観を壊さないマーカや自律航法を組み合わせるなどの対処法が適切であると思われる。

#### 4. まとめ

屋内環境における車椅子の利用者が建物内のスロープやエレベータなどのバリアフリー施設を有効に利用するためのナビゲーションシステム実現に向けて、壁に設置したマーカ情報を認識することで相対的な車椅子の位置姿勢を推定する精度の実験を行った。本実験の結果より、車椅子の位置の推定の精度は実用上問題ないことが明らかになった。また、照明の状態及びカメラの移動速度によっては、マーカの検出が出来ないことがあるので、二値化のしきい値を自動選択できるようにする、画像上で移動するマーカの追跡が可能ないようにするなど、安定してマーカを検出出来るようにする必要がある。

マーカの配置方法は、本実験により、3.5m 間隔の配置でも問題は無いと考えられるが、位置を検出できていない区間も存在するためその補間が必要となる。しかし、マーカが多数存在すると、景観を損なうという問題がある。そのため、景観を損なわないマーカを使用するか、自律航法を併用するなどが必要となる。

以上の問題を解決した後に、立体地図上での車椅子の位置姿勢、スロープやエレベータ、目的地への経路などの表示を今後開発する予定である。

#### 参考文献

- [1] 北須賀, 中西, 福田, : 無線 LAN を用いた屋内向けユーザ位置測定方式 WiPS の実装; マルチメディア分散協調とモバイルシンポジウム (DICOMO2003), pp.349-352 (2003).
- [2] 株式会社日立製作所, : 無線 LAN 位置検知システム「日立 AirLocation™ II」;  
<http://www.hitachi.co.jp/wirelessinfo/airlocation/index.html>
- [3] 椎尾 : RFID を利用したユーザ位置検出システム; 情報処理学会研究報告, HI, ヒューマンインタフェース研究会報告, Vol.2000, No.39, pp.45 - 50 (2000).
- [4] 川島, 貝沼, 岩尾, 藤野, : ActiveRFID を用いた位置検出方式及び実証実験; 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.103, No.691, pp.49-54 (2004).
- [5] 庄司, 杉浦 : マーカ検出に基づくカメラの3次元位置推定を用いた歩行者ナビゲーションシステムの検討; 電子情報通信学会技術研究報告, IE, Vol105, No.610, pp157-162 (2005).
- [6] 羽原, 町田, 清川, 竹村, : ウェアラブルPCのための画像マーカを用いた広域屋内位置検出機構; 電子情報通信学会技術研究報告, IE, Vol103, No.643, pp.77-82 (2004).
- [7] 加藤, Mark Billingham, 浅野, 橘 : マーカ追跡に基づく拡張現実感システムとそのキャリブレーション; 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.4, No.4, pp.607-616 (1999).
- [8] 池田, 合志, 清田 : 拡張現実機能を用いたマーカ認識による車椅子ナビゲーションシステムの開発; ヒューマンライフ情報技術研究会報告書, HIT2009-1 (2009).