

大規模複合施設における屋内測位技術に関する研究 ターミナル鉄道駅のサインに着目して

○清水 智弘*¹ 吉川 眞*²

キーワード：鉄道サイン 屋内測位 画像処理 GIS

1 はじめに

準天頂衛星の打ち上げにくわえスマートフォンやタブレット端末の普及にともない、新しい位置情報サービス（以下、LBS: Location Based Services）が出現してきており、その位置情報の活用方法がより多様化してきている。位置情報の重要性はますます高まってきており、社会インフラとして欠くことのできないものになってきている。このような状況のもとで、次のステップとして、衛星測位の利用が困難な屋内における位置情報の取得が重要視されている。2012年に策定された新たな「地理空間情報活用推進基本計画」の中でも、地理空間情報高度活用社会(G空間社会)の実現に向けて、屋内測位技術を充実させ、屋外・屋内を区別せず測位できるシームレスな測位基盤の整備を重要視している。また、屋内環境での位置情報サービスの展開に向けた取組みを推進すべきとしている¹⁾。屋外ではGPSや準天頂衛星などの衛星測位がデファクトスタンダードになっているのに対し、屋内ではスタンダードとなる測位手法が未だ確立されていない。屋内における測位手法としては、無線通信技術を利用した測位手法²⁾やGPSと互換性のある信号を使って位置情報を送信するIMES(Indoor Messaging System)を利用した測位手法などがある³⁾。その他にも可視光通信⁴⁾、赤外線通信⁵⁾などの光通信技術や超音波通信技術⁶⁾などさまざまな屋内測位手法が提案されており、一部では実証実験や実用化が進んできている。しかしながら、現状では、専用端末(受信機や送信機)、配線設備などの大規模なインフラ整備にかかる初期コストやメンテナンスコストが必要になる、または、精度が高くないあるいは不安定である、さらには、連続的な測位ができないなど各手法とも解決すべき課題が残されており、社会インフラと呼べるシステムは未だ実現していない。

また、屋内・屋外の地理空間情報を3次的に把握するためのデータベース(3次元地理空間情報データベース)の構築等の環境整備が必要であることが指摘されている⁷⁾。これは3D形状と属性情報(意味情報)を持たせたBIM(Building Information Modeling)と類似している。言い換えれば、これまで設計や維持管理での利用が主流となっているBIMモデルであるが、屋内の位置情報を取得するといったこれまでとは違った活用が期待できる。

2 研究の目的

近年、とくに大都市圏の鉄道駅において、商業施設や業務施設などの複合的な機能を備えたターミナルビル(駅ビル)の開発が進められ、その空間構造は複雑なものへと変化してきている。

すなわち鉄道駅は、単なる交通結節「点」としてではなく、都市の顔として多様な利用者からより日常的かつ多彩で複雑な「空間」へと変わってきたといえる。そのような複雑な「空間」の中で、平常時はもちろん災害等の非常時において、利用者が自分の位置を適切に把握し、適切な場所へ誘導を進めることは、極めて重要となる。このような複雑さを増しているだけでなく、公共性の高い鉄道駅という屋内環境において位置情報を正確に推定することは、利用者にとって安全でやさしい空間を創出していくために重要であり、利用者にも与える効果は大きいと考える。そこで本研究では、大規模複合施設の中でも鉄道駅に着目した屋内測位技術手法について検討する。

3 研究の方法

鉄道の駅空間の中で「空間上の位置関係」を示す重要な情報伝達手段として「サインシステム(以下、サイン)」がある。サインは、動線に沿って適所に配置され、移動する利用者への誘導・案内といった情報提供を視覚的に行っている。駅空間内での位置を推定するためには、これらサインを活用することが有効ではないかと考えた。そこで本研究では、サインを活用した屋内位置推定手法について検討する。とくに、直感的な情報伝達に優れている「ピクトグラム」に着目した。

屋内測位に関して、測位の簡便さや測位精度などの技術面はもちろんのことインフラ整備などの設置面・メンテナンス面を考慮すると、手ごろで使いやすい手法が必要である。また、すでに多様な測位手法が出現してきている中で、それら手法と併用できる汎用的な手法も必要となってくると考えられる。近年、スマートフォンなど高機能モバイル端末が急速に普及してきている。さらに、スマートフォンユーザの70%以上が位置情報サービスを利用している⁸⁾ことから、LBSや屋内測位技術の普及において高機能モバイル端末が重要な役割を担っていくと期待されている。本研究においても、簡便かつ汎用的な屋内測位を目指すためには高機能モバイル端末(とくに

スマートフォン)の使用を想定した測位方法が有効な手法と考えた。そこで、高性能モバイル端末の標準機能となっているカメラ機能で撮影された写真画像に着目した測位手法について検討する。あわせて屋内空間の3次元地理空間情報については BIM モデルを活用した測位手法についても検討していく。

4 対象サインの選定

サインシステムの機能種別については、以下に分類される⁹⁾。

案内サイン：

乗降条件や位置関係等を案内するのに必要なサイン

誘導サイン：

施設等の方向を指示するのに必要なサイン

位置サイン：

施設等の位置を告知するのに必要なサイン

規制サイン：

利用者の行動を規制するのに必要なサイン

サイン種別の中で、行動とサインの役割について整理すると空間的な要素（位置あるいはサイン同士の関係性）が強いサイン種別は「誘導サイン」、「位置サイン」、「案内サイン」であるといえる（「規制サイン」は補助的な役割が強い）。そこで本研究では、この3つの種別サインを対象とする(図1)。

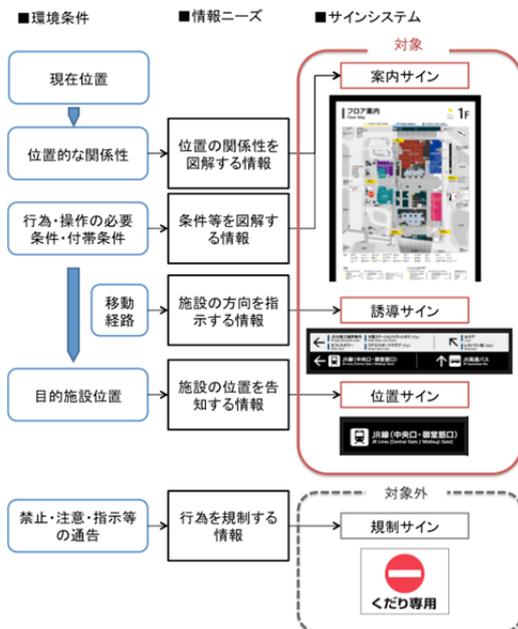


図1 サインの機能種別

5 ケーススタディ

ケーススタディとして JR 大阪駅を選定した。JR 大阪駅は、1日の平均乗車人数が約40万人を超える西日本最

大級の駅であり¹⁰⁾、国内でも有数の巨大ターミナルである。2011年に大阪ステーションシティとして再開発が行われ、巨大化・立体化が進んだ。また、他私鉄や地下鉄、バスなどの公共交通機関との乗り換えも多数存在している。さらに、2015年春には新しい商業施設としてリニューアルが計画されており、今もなお変化しつづけている空間である。このように大阪駅は「複雑さを増す鉄道駅」の典型例といえる。

本研究では、屋内位置推定のために必要となる JR 大阪駅のフロアマップを構築した。さらに対象サインの3次元データベースの構築を行った。具体的にはサインの平面位置(x,y)や掲出高さ(z)といった3次元座標位置やサインのサイズ(幅×高さ)、向き、ピクトグラムの種類と数量などサインの内容を現地調査にて撮影した写真を元に抽出し、データベースとして構築している。

6 屋内測位手法の検討

6.1 画像処理を用いたサイン(ピクトグラム)の抽出

まず、撮影された写真から屋内位置を推定するためには、写真画像内からサインを抽出する必要がある。本研究では、OpenCV (Open Source Computer Vision Library) と呼ばれる画像処理・認識ライブラリを用いたパターンマッチング法を採用した。具体的には、画像特徴量として Haar-Like 特徴量、学習アルゴリズムとして Adaboost と呼ばれるアルゴリズムを使用したオブジェクト検出を行っている。

「JRのりば」のピクトグラムに対する検出結果を図2に示す。検出したいオブジェクト(ピクトグラム)が検出されているものの、それ以外にノイズを多く検出してしまっていることがわかる。そこで画像処理を用いて下記のノイズ除去を行った。

- a) 表色系を RGB から HSV に変換し特定色のみを抽出
- b) オブジェクト検出の閾値を設定

上記の処理によってサインのみに抽出されていることがわかる(図3)。この処理をピクトグラム単位で繰り返し行うことによって撮影されたサインの内容(ピクトグラムの種類と数量)が把握可能となる。撮影写真から抽出されたピクトグラムの種類と数量をどのようにして屋内測位のために利用するかについては後述する。



図2 検出結果

6. 2 エリア選定

前節によって抽出されたサインに対して「フロアマップ上のどのサインなのか」と「そのサインのどの辺りに位置しているのか」といった「空間上のおおよその位置」を把握するためには、抽出されたサインに対してエリア範囲を設定しておく必要がある。本研究では、高機能携帯端末によって撮影された写真を利用することを想定している。そこで、エリア範囲を設定するうえで「歩行中にサインの形状が視認できる、あるいはサイン内に記載されている内容が視認できる時に写真を撮影する」と仮定し、サインの形状ならびに内容（ピクトグラム）の有効視認範囲をエリア範囲として設定した。

サイン形状の視認範囲については、サインの掲出高さを計画・設計する際に採用されている視認範囲の指標を用いて算出した¹¹⁾。なお、掲出高さについては、現地調査にて撮影した写真を元に抽出している。歩行している場合、一定の高さ以上にあるものは視野に入りにくい。一般には仰角（水平から見上げの角度） 10° より下が有効視野に入る範囲といわれている。また、旅客施設では、視認者の前方に視界を遮る他の歩行者がいると考えるべきで、その歩行者より上が遮断するものがなく見やすい範囲である。本研究では、混雑時に前方5mの位置に他の歩行者がいると想定している¹¹⁾。

つぎに、サインの内容（ピクトグラム）の視認範囲については、ピクトグラムの大きさと視認距離の関係性から式1を導きだし、対象サインごとの視距離を算出した。

$$\text{視距離}(D)=250/3 \times \text{ピクトグラム高さ}(ph) \text{ ----- (式 1)}$$

$$ph > 60(\text{mm})$$

算出したサイン形状ならびに内容（ピクトグラム）の視認距離を組み合わせ、歩行中にサインの内容は視認できるものの仰角が 10° 以上になってしまうためサイン形状を視認しにくい範囲→サインの形状が視認でき、かつ内容（ピクトグラム）も視認できる範囲→サインまでの距離が遠すぎて内容が視認しにくいものの形状は視認できる範囲に分類した視距離をエリア範囲として設定した（図4）。

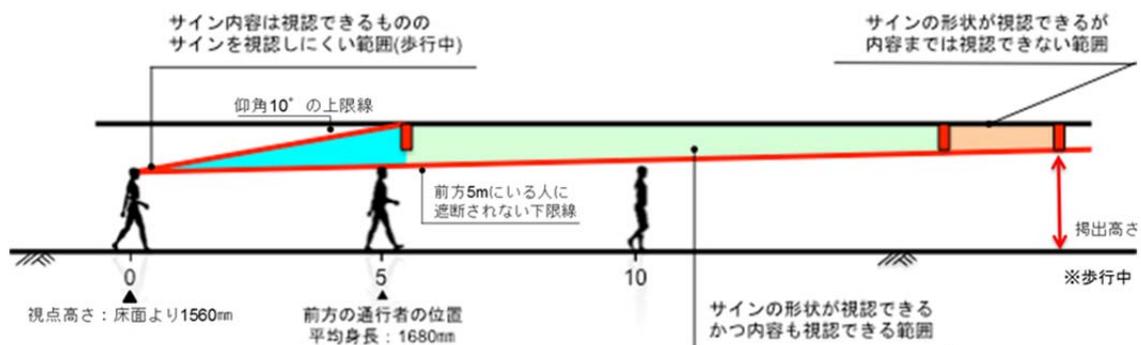


図4 条件別視距離範囲



図3 ノイズ除去

つぎに、対象サインごとのエリア範囲をGIS上に表現した(図5)。また、視認角度については構築したデータベースの属性情報である「サインの向き」を考慮し、サインの中心から 60° 以下の範囲とした¹²⁾。この図形情報を各サインで算出し、サインデータベースに格納しておく。

前節で抽出したピクトグラムの種類や数量と構築したサインデータベース内に格納されている属性情報(サイン盤面に記載のあるピクトグラムの種類と数量)とマッチングさせることにより、どのサインが撮影されたかが判定可能となる。さらに、図形情報としてデータベース化された視距離範囲といったエリアが各サインで登録されているため、判定されたサイン付近のどの辺りに存在しているのかといったおおまかな位置を特定することができる(図5)。



図5 マッチング手法

6. 3 写真測量技術を活用した位置特定

1) 立体写真測量

立体写真測量は、人間の両眼視と同じ原理で、視点の異なる2枚の写真を用いて被写体内の同じ位置を対応点として捉え3次元計測を行う技術のことをいう。この技術を用いることによって撮影された写真の座標より、カメラの位置や姿勢を求めることもできる¹³⁾。具体的には、2つの異なる位置から見た画像から3次元の奥行情報や画像間の位置関係など3次元空間を求める際に使用するステレオビジョンに関する幾何手法である「エピポラ幾何」を用いることでカメラの位置や姿勢を求めることができる¹⁴⁾。立体写真測量は、基本的には、被写体(対象)側のモデル生成や測定・解析等に用いられている¹³⁾。本研究では、撮影(視点)側の位置を推定する手法として立体写真測量を適用させた(図6)。

まず、異なる視点(カメラ①とカメラ②)から撮影した2枚の写真から同一位置となる点を設定することで撮影位置座標(それぞれのカメラ位置)の抽出を行い、フロアマップ上にプロットした。理論上は8点の対応点があれば計算可能となるが、実際には10点から12点程度の対応点があれば計算が安定する。本研究においても10点(既知点含む)の対応点を用いて2枚の写真画像間の相対的な位置関係を導いたのちに、既知点3点を用いて絶対座標(実際の3次元空間上の座標)を算出した。本手法を適用させるためには、3点の既知座標が必要であるが、サインデータベースに格納されたサイン躯体4隅の3次元座標を活用することで位置推定を行った(図7)。

2) 単写真標定測量

立体写真測量は、3点のみの少ない既知座標であれば位置推定が可能であるものの、2枚以上の複数枚の写真が必要であること、さらにはそれら複数の写真で既知座標以外にも対応点(7~9点)が必要であるなどの課題があり、位置推定に適用させるには労力を要する。簡便かつ汎用的な屋内測位を目指していくうえでさらなる省力化が必要となる。

そこで、1枚の写真でかつ対応させる点も少なくすむ単写真標定測量の後方交会法を用いた位置特定を検討した。後方交会法とは、撮影画像の座標(x,y)と被写体の座標(X,Y,Z)の同一点となる箇所を最低4点对応づけることで撮影箇所の位置と姿勢が決定される(図8)¹³⁾。

立体写真測量による位置特定では2枚、単写真標定測量による位置特定では3枚(内、2枚は立体写真測量と同じ写真画像)の撮影画像を用いて計5個所の位置推定の有用性を検証した。その結果、前節で設定した視距離のエリア内に撮影位置がプロットされていることから詳細な位置を推定することができたと考えている(図9)。

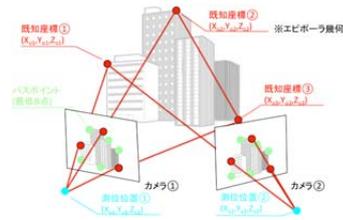


図6 立体写真測量を用いた自己位置測位



図7 立体写真測量

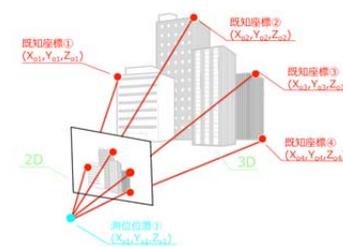


図8 単写真測量を用いた自己位置測位

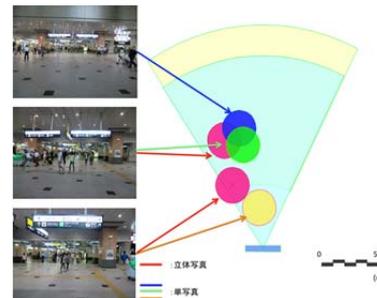


図9 屋内測位結果

7. おわりに

本研究では、屋内位置の推定手法として高機能携帯端末、とくにスマートフォンから撮影された写真画像に着目して「撮影画像からのサイン(ピクトグラム)抽出」として撮影画像から「JRのりば」のピクトグラム抽出、その抽出したピクトグラムを用いて「エリア範囲(おおまかな位置)の推定」として視距離を考慮したエリアがデータベースを活用することで特定できること、また、その特定したエリアが「写真測量技術を活用したポイント位置(詳細な位置)の推定」することによって詳細な位置が推定できるといった屋内位置推定のための一連の流れが確認できた。画像処理を用いたオブジェクト(ピクトグラム)検出についてはノイズ除去処理によって高い精度での抽出を可能としたが、引き続き精度向上を進めていく必要がある。これについては、「JRのりば」以外のピクトグラムについても一定の精度で抽出可能であること、また、正解画像(ピクトグラムが写った画像)あ

るいは非正解画像（ピクトグラムとは全く関係のない画像）をそれぞれ増やすことによって精度が向上することを確認している。また、写真測量技術を活用した位置推定では、既知座標あるいは写真同士で対応する点（被写体の同一な点）を必要としているが、その指示が現在は手動で行っているため自動化が必要であると考えている。また、立体写真測量、単写真標定測量ともに屋内位置を特定するために効果的な手法であることがわかった。デフォルトでは単写真標定測量による位置特定とし、サイン躯体4隅のいずれかの点が撮影写真から確認できない（3点しかわからない）場合には、立体写真測量による位置特定を行うなど、撮影状況に応じて使い分ける等の工夫が必要であると考えている。

本研究では、先述した各節の個別検討までにとどまっている。一連の流れで屋内測位が可能となることは確認できたものの引き続き各手法の精度向上と自動化を進めていくと同時に各手法を統合させたシステムの構築を進めていくことで本手法による屋内測位技術を深度化・高度化していく必要がある。とくにICT技術を活用した汎用性の高いシステム化を目指していきたいと考えている。

本研究によってあらかじめデータベースを構築しておくことが屋内位置を推定するうえで有効であることが確認できた。具体的には、エリア範囲の推定では、「掲出高さ」、「ピクトグラムの種類、数量、寸法」を用いており、ポイント位置推定では「サイン躯体4隅の3次元座標」を現地調査で撮影された写真を用いてデータベースに格納し、位置推定に用いている。したがって、撮影画像から必要な情報を効率的に抽出する方法や抽出された情報をデータベースとして効率的に保存していく方法などデータベース化の効率化についても検討を進める必要がある。

その中で、3次元地理空間情報データベースひいてはBIMモデルが屋内での位置を推定するうえで有効であることが確認できた。たとえば、おおまかな位置を推定するためのエリアの設定としてサインの可視範囲を設定しているが現状では2次元の表現のみにとどまっている。BIMモデルを活用することによって3次元的な把握が可能となりさらに詳細なエリア設定ができるものと考えている。さらに、詳細な位置を推定するための写真測量技術を活用するうえでもサイン以外の柱や壁、他の設備なども3次元座標として扱えるようになれば自動化を進めていくうえでも効果的であると考えている。現状の構築したデータベースでは、属性情報として3次元の情報を与えているにすぎない。今後は、BIMモデルを構築し、フロアマップそのものを3次元化あるいはVR(仮想現実: Virtual Reality)を活用するなどさらなるデータベース化の拡充を目指していきたい。

【参考文献】

- 1) 国土地理院,「地理空間情報活用推進基本計画」,
<http://www.gsi.go.jp/common/000065943.pdf>, 2012年3月
- 2) 梶克彦・河口信夫(2010年),「indoor.Locky:屋内位置推定のための無線LAN情報プラットフォーム」,情報処理学会研究会報告,Vol.2010-MBL-56 No.1, pp.1-6
- 3) 村田正秋・瀬川爾朗・鳥本秀幸(2012年),「IMESの技術動向 - シームレス三次元測位・航法の新技术-」,電子情報通信学会誌, Vol.95 No.2, pp.119-124
- 4) 吉野昌樹・春山真一郎・中川昇正雄(2007年),「可視光LEDとイメージセンサを用いた高精度測位システム」,電子情報通信学会技術研究報告,WBS,ワイドバンドシステム,107(256), pp.23-26
- 5) 浪江宏宗・中川雅史(2013年),「赤外線データ通信タグを使用した歩行者ナビゲーションのための屋内測位システムの開発」,電気学会論文誌C,vol.133 No.4,pp.713-721
- 6) 秋山征己・須永光・五百蔵重典・田中博,「超音波センサを用いた広域屋内測位システムの構成と実証実験」
- 7) G空間×ICT推進会議,「G空間×ICT推進会議報告書」,
http://www.soumu.go.jp/main_content/000235205.pdf, 2013年6月
- 8) 総務省,「平成25年版情報通信白書ICT白書」,
<http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h25/pdf/25honpen.pdf>, 2013年7月
- 9) 国土交通省,「公共交通機関の旅客施設に関する移動等円滑化整備ガイドライン-バリアフリー整備ガイドライン(旅客施設編)-」,
<http://www.mlit.go.jp/barrierfree/public-transport-bf/guideline/guidelineshisetsu.pdf>, 2007年7月
- 10) 西日本旅客鉄道株式会社,「データでみるJR西日本2013」,
http://pamph.jr-odekake.net/view_pamph20.php?ci=jrwest&pi=jrdata2013, 2013年9月
- 11) 交通エコロジー・モビリティ財団(2007年),「公共交通機関旅客施設のサインシステムガイドブック」, pp.54-89, 株式会社大成出版社
- 12) 清水智弘・吉川眞・田中一成(2007年),「屋外広告物による視覚的影響の分析」,地理情報システム学会講演論文集, 16, pp.371-374
- 13) 社団法人日本写真測量学会(1983年),「写真による三次元測定-応用写真測量-」, pp.1-11, pp.171-178, 共立出版株式会社
- 14) 佐藤淳(1999年),「コンピュータビジョン-視覚の幾何学-」, コロナ社

*1 大阪工業大学大学院工学研究科 博士後期課程 修(工)

*2 大阪工業大学工学部 教授 工博

Investigation on Indoor Positioning Technology in the Large-scale Complex Building Focus on the Signboards in the Railway Station

○Tomohiro SHIMIZU*¹ Shin YOSHIKAWA*²

Keywords : Railway Signboards, Indoor Positioning , Image Processing, GIS

The acquisition of the outdoor location information has become convenient and precise by the appearance and development of the satellite positioning technology. Recently, it has been more high precise positioning on a centimeter level by the launch of the quasi-zenith satellite in 2010. So, the various services utilizing the location information have been produced. In this way, the location information has become more important and essential as a kind of social infrastructures. Under such circumstances, the acquisition of location information in the indoor environment where the satellite radio wave cannot reach has been regarded important as a next step.

In this study, the authors are going to investigate an indoor positioning estimation technology focused on the railway station. In the railway station, the various needs, such as the advancement of amenities, the facilitation of pedestrian movement, the universal design associated with an aging society, the creation of a compact space appropriate for the population decline society and so on, have been required. In particular, the development of the railway station with multiple functions like business has been recently promoted in the metropolitan areas. So, the spatial structure of the railway station has been complicate because it has been required to play various daily roles for urban residents. And the precise acquisition of location information is more important in the indoor environment like the railway station which has much complexity in recent years. Therefore, the authors are going to investigate an indoor positioning estimation technology in the railway station space. Especially, the authors pay their attention to the signboards of important information indicating "positional relations of the space" in the railway station.

First of all, the authors built the database of the sign system and the floor maps to estimate the indoor location. The authors built it with three-dimensional information including the display height in addition to the plane information by extracting the signboard from the photograph. Also, they built the attribute information like the size and direction of sign boards, and the type and number of pictograms in the database. So, they tried to estimate an indoor location by using the photograph. Actually, they extracted signboards in the photograph by using the image processing technology. After that, the rough location where the signboards were taken in photos can be grasped by matching the attribute information. It is necessary to set an area in each sign board. In this study, the authors set up " the effective visual field range " of signboard , because they assumed to take a photograph when the signboard is confirmed. Finally, they are going to estimate a detailed indoor location by using photogrammetry technology. For the purpose, it is necessary to orient the already known three points with coordinates. Therefore, in this study, the detailed location is estimated by using three-dimensional coordinates on four corners of the signboard in the database. This study would obtain certain results as an indoor positioning technology through the investigation of "the extraction of a signboard from the photograph ", "the estimation of the area from effective visual field range" and "the estimation of the point location by photogrammetry technology".

In future, it is necessary to make an effort for the improvement of accuracy related to the technology used in this study. In addition, the authors have to build the system that can automatically estimate an indoor position from the photograph.

*1 Graduate Student, Graduate School of Engineering, Osaka Institute of Technology, M. Eng.

*2 Professor, Faculty of Engineering, Osaka Institute of Technology, D. Eng.