

障害者自立支援機器等研究開発プロジェクト

画像・GPS等のセンサ統合による日常利用可能な  
屋内外視覚障害者歩行支援システムの開発に関する研究

平成21年度 総括・分担研究報告書

研究代表者 静岡県立大学 石川 准

平成 22 (2010) 年 4 月

## 目次

I. 障害者自立支援機器等研究開発プロジェクト総括研究報告書.....	2
画像・GPS等のセンサ統合による日常利用可能な屋内外視覚障害者歩行支援システムの開発に関する研究.....	2
研究代表者 静岡県立大学 石川 准 (資料: 報告書末尾に掲載) 倫理審査委員会提出書類 倫理審査委員会審査判定書 承認に当たっての意見への回答	
II. 障害者自立支援機器等研究開発プロジェクト分担研究報告書.....	6
1. シーン画像認識に関する研究.....	6
研究分担者 筑波大学 亀田能成	
2. ランドマーク画像認識と画像による障害物検知に関する研究.....	18
研究分担者 宇都宮大学 青木恭太	
3. PDRによる相対位置・方位計測とLRF・PDRによる障害物検知に関する研究.....	48
研究分担者 産業技術総合研究所 興梠正克、石川智也、蔵田武志	
4. センサ統合と携帯端末ユーザインタフェースに関する研究.....	61
研究分担者 静岡県立大学 石川准、湯瀬裕昭	
5. 共創的枠組みによる画像データベース整備及び測位誤差評価.....	73
研究分担者 産業技術総合研究所 蔵田武志、興梠正克	
III. 研究成果の刊行に関する一覧表.....	87
IV. 研究成果の刊行物・別刷.....	88

# I. 障害者自立支援機器等研究開発プロジェクト

## 総括研究報告書

### 画像・GPS等のセンサ統合による日常利用可能な屋内外視覚障害者歩行

#### 支援システムの開発に関する研究

研究代表者 静岡県立大学 石川 准

#### 研究要旨

本研究の目的は、視覚障害者の移動の自由と移動の安全を各種センサ技術により支援することである。歩行の自由を支援するためには、位置方位計測の精度向上、及び適用範囲の拡大が必要であり、歩行の安全を支援するためには障害物検知技術の向上が求められる。そのために、画像認識、歩行者デッドレコニング、LRFといった要素技術を視覚障害者歩行支援に適用するための応用技術開発を行う。さらに、画像認識、歩行者デッドレコニング、GPS、プレースエンジン、マップマッチング等を統合する「センサ統合技術」を開発する。また音声点字携帯端末上での歩行ナビゲーション情報と障害物検知情報の効果的提示方法を開発する。統合システム実証実験、統合システムモニタ実験を実施し定量的および定性的な性能評価、操作性評価を行う。

#### 研究分担者

青木恭太・宇都宮大学・准教授  
亀田能成・筑波大学・准教授  
蔵田武志・産業技術総合研究所・主任研究員  
興梠正克・産業技術総合研究所・研究員  
石川智也・産業技術総合研究所・特別研究員  
湯瀬裕昭・静岡県立大学・准教授

#### A. 研究開発目的

本研究の目的は、視覚障害者の移動の自由と移動の安全を各種センサ技術により支援することである。歩行の自由を支援するためには、位置方位計測の精度向上、及び適用範囲の拡大が必要であり、歩行の安全を支援するためには障害物検知技術の向上が求められる。

そこで、GPSでの正確な測位が困難な高マルチパス環境の都市市街地や、GPS測位が不可能な屋内環境を対象として、画像認識に基づく位置方位推定および歩行者デッドレコニング(PDR)とGPSおよびWi-Fi測位の統合による高精度歩行ナビゲーションの実現をめざす。さらに画像認識とレーザレンジファインダによる衝突、転倒、落下等の事故を防ぐための障害物検知技術の開発も行う。また将来的な共有画像データベース(DB)整備を想定した画像登録方法の

開発もめざす。

そのために以下の個別目標を立てた。

- (1) 画像中の看板、横断歩道等を対象とするランドマークベース画像認識と、画像全体を対象とするシーンベース画像認識技術を開発して位置推定や施設検索を行う。
- (2) 歩行者デッドレコニング(PDR)については、小型PDRセンサモジュールを開発し視覚障害者の歩行パターンに合うように改良する。
- (3) 上記の各技術を用いて、GPSやWi-Fi測位を補正するためのセンサ統合技術を開発する。
- (4) 画像中の看板、横断歩道等を対象とするランドマークベース画像認識と、画像全体を対象とするシーンベース画像認識を組み合わせた位置方位推定技術を実現するためには、画像データベースが必要となる。共創の概念に基づき、その整備コストを視覚障害者だけではなく健常者等と分散できるような枠組みを導入するために、画像登録支援ツールを開発する。また、本プロジェクトで開発する視覚障害者歩行支援システムの測位誤差評価を行う
- (5) 画像処理、レーザレンジファインダ(LRF)、PDRを用いた障害物検知技術を開発する。
- (6) カメラ付き音声点字携帯端末のユーザインタフェースを開発し、音声メッセージ、効果

音、点字メッセージ、触覚グラフィックス等を用いた情報提示方法の開発を行う。

- (7) 個別要素技術の実証実験と東京駅周辺の実証コースでの統合モニタ実験を行い、研究結果の性能評価、操作性評価を実証的、定量的に示す。

## B. 研究開発方法

まず要素技術開発を行う。画像認識による位置・方位補正のために、ランドマークベース画像認識モジュールを開発する。屋外定型看板の実画像を昼間および夜間に収集して撮像条件および前処理条件を決定する。それとともにシーンベース画像認識モジュールを開発する。事前に経路に沿って登録しておいた画像データ群の中から、現在の画像に最も適合する画像を探索し、その画像の撮影位置情報をもって現時刻の位置・方位推定を実現する。

また PDR による相対位置・方位計測アルゴリズムの視覚障害者の歩行パターンへの対応を行う。加速度、角速度、磁気、気圧の各センサデータを用いて相対移動距離や体の向きを推定する PDR は、従来健常者向けに開発されているため、視覚障害者の歩行パターンでの検証や改良が必要となる。

これらに基づき、GPS、Wi-Fi 測位、画像認識、PDR のセンサ統合や、それらにマップマッチング情報を組み合わせた最適統合技術を開発する。

画像処理による障害物検知、LRF と PDR による障害物検知のための要素技術を開発する。特に前方下向きの障害物検知については、その精度向上のために、PDR から得られる相対運動に基づく LRF 時系列データのスタビライズ機能を開発する。

さらに、音声メッセージ、効果音、点字メッセージ、触覚グラフィックスや点字ブリンク等を用いたプル型及びプッシュ型の効果的な情報提示方法を、センサ特性を考慮しながら開発する。

また、共創的ナビ情報インフラ整備のために、画像 DB サーバを開発し、画像登録支援ツールを開発する。

次に、これらの機能を統合して音声点字携帯端末上にユーザインタフェースを構築する。

カメラ付き音声点字携帯端末、携帯サーバ、GPS 受信機、PDR、LRF モジュールからなる試作システムを準備し、東京駅八重洲地下街および八重洲屋外での統合実証実験およびモニタ実験を行う。

モニタ実験終了後に被験者によるグループディスカッションを行い、当事者の評価や要望を聴取する。

### (倫理面への配慮)

システム評価のために東京駅八重洲地下街、中央通り、さくら通りにて統合モニタ実験（2 回、のべ 10 人）を行った。この統合モニタ実験を行うために、静岡県立大学内の研究倫理審査委員会に『センサ統合による日常利用可能な屋内外視覚障害者歩行支援システムの実証実験』についての研究倫理審査申請を行い、承認を受けた。

モニタ実験においては研究倫理審査申請書中のモニタ評価の倫理面等に関するすべての事項を厳格に遵守した。

## C. 研究開発結果

研究により得られた成果は以下である。

- (1)-I. ランドマーク認識による位置推定: ランドマーク DB に登録されたランドマークについて、接近した場合に認識可能となった。ランドマークを認識した場合に、方向および距離の推定が可能となった。

- (1)-II. シーン認識による位置推定: 東京駅周辺の実証コース（1km ほど）を想定し、経路上の 200～500 地点程度で過去に撮影された画像群を用いて、現在の入力画像（3 枚使用）から最も尤度が高い画像を参照しその位置を返す機能を実現した。問い合わせから 3～5 秒程度で検索結果を回答する。また、位置推定精度に対する指標化も可能であり、それを信頼度の形で合わせて回答できる。

- (2)PDR: 簡易防水小型 PDR センサモジュールを試作し、実証コースにおいて、おおむね良好な結果を得た。従来は腰部に装着していたセンサを他の装置と共に胸部に装着した場合の検証、さらに、視覚障害者の歩行パターンが PDR アルゴリズムに適用可能かを検証し、歩行動作推定パラメータの変更で対応できる



ことがわかった。

- (3) センサ統合による位置・方位推定精度向上: 画像認識、PDR、GPS、プレースエンジンから位置情報・方位情報を受け取り、一定以上の信頼度の場合に PDR の位置情報・方位情報を補正するという方式で、GPS とマップマッチングより高い推定精度を実現した。
- (4) 画像 DB: 画像 DB に関しては、画像 DB サーバを運用しに画像認識に必要な属性を付加した 5500 枚の画像を収集した。画像登録支援ツールでは、シーン・ランドマーク画像双方の登録、また、登録ユーザ層拡大のために、画像属性の簡易登録と詳細登録を行えるようにした。抽出された画像特徴の可視化も行った。また、各研究分担者やその関係者が試用してそのフィードバックに基づいてユーザビリティを高めた。視覚障害者歩行支援システムの測位誤差評価に関しては、各センサの屋内外での特性の比較を地図上の軌跡、さらには統計的に明確にすることができた。また、センサ統合により各センサ単体よりも優れた測位結果が得られ、屋内外合計約 1 km の実証ルートにおいて、平均 6.7m (標準偏差 5.5) の誤差での測位ができることがわかった。
- (5)-I. 画像による障害物検知: 歩行中に短時間に連続して撮影した画像対を用いて、障害物検知を実現した。検知障害物の方位および距離を推定することが可能となった。
- (5)-II. LRF による障害物検知: PDR による重力方向追跡等に基づく LRF 情報の安定化機能を開発した。
- (6) カメラ付き音声点字携帯端末のユーザインタフェース: ルートガイダンスと障害物検出に関して効果的な情報提示方法を考案した。
- (7) 個別要素技術の実証実験と実証コースでの統合モニタ実験: センサ統合による位置・方位推定の精度向上を定量的に実証した。ガイダンス情報、障害物情報の提示方法についてモニタの多様な意見を収集した。

#### D. 考察

本プロジェクトは先に示したような成果を上げたが、以下のような今後解決すべき問題、課題も明らかになった。問題の明確化は目標の実現にとって重要であり、これもまた本プロジェ

クトの成果の一つともいえる。

- (1)-I. ランドマーク認識による位置推定: ランドマーク認識系の残された課題は、動作の高速化と高精度化である。複数のプロセスが 1 つのハードウェア上で動作する今回の方式では、系の複雑さのために動作速度の向上が困難である。自律分散系の構成により安価に高性能のランドマーク認識を利用した歩行支援システムを構成することが今後の課題である。また、ランドマークデータの WEB 上情報からの自動収集及び、ボランティアによる寄付映像などに基づく自動ランドマークデータ収集システムの構成が今後の課題である。
- (1)-II. シーン認識による位置推定: カメラ撮像機構の小型化と屋内外等の光量変化への対応 (オートアイリスレンズの導入ないし屋内専用・屋外専用の 2 眼化)、メモリ使用量の削減、参照画像集合の拡充 (同一地点で環境を変えて複数撮影) が課題である。
- (2) PDR: ハードウェアについては、さらなる小型軽量化、低コスト化が求められる。また、手法については、PDR センサモジュール内蔵の各センサのキャリブレーションやユーザごとの歩行パラメータのキャリブレーションの簡易化等が課題である。
- (3) センサ統合による位置・方位推定精度向上: GPS の測位データと PDR 等の他のセンサからの情報を照合して GPS 高マルチパスを検出する技術の開発が求められる。
- (4) 画像 DB: 画像の登録方法としては、登録作業負荷のさらなる低減が求められる。運用上の課題としては、サーバ維持コスト、登録協力者が増加した際の登録情報の信頼性の担保、画像を収集する上でのプライバシー保護等をどのように軽減、解決していくかが課題である。
- (5)-I. 画像による障害物検知: 加速度センサ統合による高精度化と自律分散構成による高速化が今後の課題である。
- (5)-II. LRF による障害物検知: 各センサの非同期処理を考慮して PDR による重力方向追跡等に基づく LRF 情報の安定化性能を向上させ、LRF 情報履歴を用いた地形判定能力を高めることが課題の 1 つである。また、LRF を小型軽量のものにしたため、レーザ光の出力

が十分ではなく、日射のある屋外の黒いアスファルト等の路面では S/N 比が極端に悪くなるため、路面が欠落しているのか反射していないのかの判別がつかない。ハードウェア開発以外でのこの課題の解決方法としては、例えば、レーザ光の照射範囲を制限する代わりに 1 箇所辺りの S/N 比を上げるようなレーザ制御法の導入が考えられる。

- (6)・カメラ付き音声点字携帯端末のユーザインタフェース:視覚障害者の状況は様々であり、すべての視覚障害者にとっての最適な単一のインタフェースはない。多様なインタフェースを実現するための統一的枠組みの開発が今後の課題である。

## E. 結論

本プロジェクトは、センサ統合にはマルチパス検出技術が不可欠なことや、画像認識には、処理速度や天候条件依存という解決すべき問題が明らかになったが、センサ統合が高精度の歩行支援を提供できる有望な技術であることを実証した。

モニタ実験のグループディスカッションから視覚障害者の障害物検知への高い期待を知ることができた。障害物検知技術は画像、LRF ともになお技術的課題が残されているが、とくに LRF は、特性上の制約はあるが、処理の速さと情報の精度から、近距離の障害物検知技術として有望といえる。

本プロジェクトは音声点字携帯情報端末へのナビゲーション情報と障害物検知情報を有効に提示する方法を考案できた。とはいえ利用者の特性は多様であり、情報提示は多様な形式に対応する必要がある。

モニタ実験からは多くの知見を得た。とくにグループディスカッションからは多くのことを学んだ。視覚障害者はある決められた場所を安全に歩ければそれでよいと考えているわけではない。自由に歩きたい、楽しく歩きたいと望んでいる。歩行支援技術はそのような希望に応える技術でなければならない。

## F. 研究発表

### 1. 学会発表

- ・ M. Kouroggi, T. Ishikawa, Y., J. Ishikawa, K.

Aoki, and T. Kurata, Pedestrian Dead Reckoning and its applications, In Proc. ISMAR2009 Workshop: Let's Go Out: Research in Outdoor Mixed and Augmented Reality, [http://www.icg.tugraz.at/News/outdoor\\_ar](http://www.icg.tugraz.at/News/outdoor_ar) (2009).

- ・ 査読付き国際会議投稿中 1 件 (採否通知 4 月 7 日予定)

- ・ 電子情報通信学会パターン認識・メディア理解研究会 (2010 年 5 月発表予定)

## Ⅱ. 障害者自立支援機器等研究開発プロジェクト

### 分担研究報告書

#### 1. シーン画像認識に関する研究

研究分担者 筑波大学 亀田能成

##### 研究要旨

カメラで撮影した画像を手がかりに、現在位置を推定する研究を行った。位置推定は、過去に既知の地点から撮影した画像群と比較し、最も類似性が高い画像を検索することで実現する。これは一般画像検索技術を歩行者ナビゲーションに応用したものであり、世界的にもまだ例が少ない研究分野である。歩行案内対象の経路に沿って934枚程度の画像を用意することで、入力画像に対して2秒内で歩行者の位置を求めることに成功した。このとき、撮影状況の異なる画像集合を用意しておくことで、日照状況の変動に対しても対応した。

##### A. 研究開発目的

視覚障害者の歩行支援において、位置推定は重要な情報である。歩行者の位置推定には様々な手法が考えられる。その中でも、歩行者から見える風景(シーン)を撮影し、その画像を手がかりに現在地を求める方法を研究しシステム開発を行うことが本研究計画の目的である。

視覚障害者の外出の一形態として、目的地や歩行する範囲をある程度計画してから外出に臨むことがある。目的地がわかっていたとしても、その途中の経路に関する知識が不確かであったりする場合、歩行支援システムによってナビゲーション情報を正確に提示することは、視覚障害者への有用な支援となる。

このことは、カメラに依る位置推定方法の開発にあたっては、全く未知の経路で位置推定を行うのではなく、ある程度歩行範囲や経路を予め絞り込んでおけることを意味する。

その一方で、一般に目的地や経路選択は多岐に渡ると考えられるので、カメラ位置推定において準備に手間がかかることは避けるべきである。これは、特に多くの人を通るわけではない主要ルートなどが歩行範囲として想定される場合は重要な要因である。

そこで、本研究では、歩行者の胸部前面に搭載したカメラ(歩行者カメラ)で撮影した風景画像を手がかりに、予め規定された歩行範囲内において現在位置を推定する手法を提案し、シ

ステムの開発を行う。

システムの開発に当たっては、現に歩行中の視覚障害者に支援を行う必要があるため、携帯可能なノートパソコン程度の性能でもリアルタイムに位置推定できることが求められる。本研究計画では、問い合わせ実行時から位置推定結果の提示までにかかる時間を数秒内に抑えることを目標に掲げ、1,000地点程度の経路上の登録位置の中からほぼ2秒内に現在位置に最も近いものを示すことに成功した。

##### B. 研究開発方法

外出計画に含まれる歩行経路には様々な経路が考えられるため、事前の準備にかかる作業量は小さいほどよい。そこで、本研究では、カメラで撮影する風景画像全体を手がかりに使うことにする。これによって、予め蓄積しておくべき画像については、経路に沿って単に撮影して回るだけで収集することができるようになるので、画像収集に対する作業量は小さくなる。

こうして集められた画像には、撮影位置と撮影方向の情報を予め付与した上で画像データベースに登録しておく。

外出前には、これから歩行する可能性のある経路上の画像を集めて画像集合を生成する。歩行中は、この画像集合に対して、コンピュータビジョンの一般画像認識において用いられる手法を応用して歩行者カメラで撮影された風景画

像をキーとして検索を行い、最も見かけが近い画像候補を得る。この画像候補が入力風景画像と十分に似ていると判断された場合、その画像候補に付与されていた撮影位置と方向を、現在の歩行者の撮影位置と方向として出力する。

以下、手法の実現に当たって、さらに細部検討を行う。

#### ・カメラの取り付け方向

カメラの取り付けに関しては、視覚障害者歩行支援システムの一部として歩行者カメラが取り付けられるということもあって、一定の制約が課せられた。具体的には、歩行者カメラは胸部前面に配置し、歩行方向にほぼ水平に向けられた。注意すべき点としては、歩行者カメラは被験者の胴体にしっかりと取り付けるわけにはいかないため、歩行の揺動に合わせてカメラの光軸はかなり揺れることが挙げられる。そのため、後述する画像照合手法では、これらの揺れに対処できることが必須である。

#### ・カメラ撮像機構

それほど高速な移動を伴うわけではないものの、歩行に基づく揺動の中で撮影を行うため、グローバルシャッターは正確な像を得るために必要である。シャッタースピードについても情景が明るい限り、高速にしたほうがぶれなく正確な像を得ることができる。解像度に関しては、予備実験を通して、シーン画像ではそれほど解像度が不要であるとの結論が得られていたが、歩行者カメラを用いる他のモジュールとの兼ね合いもあり、高解像度カメラを用意することになった。これらのことから、Imaging Source社のDFK31AU03（水平1024画素、垂直768画素、最高で秒30枚撮影可能）を選定した。

#### ・レンズ

歩行に基づく揺動があることから、カメラの画角は広いほうが好ましい。ただし、歩行者カメラを用いる他のシステムとの関係上、水平画角61.6°、垂直画角48.3°になるFujinon TF4DA-8を最終的に選定した。

なお、屋内から屋外にまで撮影が渡るため、レンズ自体にオートアイリス機能があることが

望まれたが、ハードウェア選定の制約から、本研究計画ではその採用は見送られた。このため、画像の光量制御はカメラ撮像機構のソフトウェア処理とシャッタースピードの変更でのみ行うものとする。

#### ・事前撮影画像

事前撮影画像は、外出計画に含まれる経路上で、その歩行方向を向いて撮影を行い、同時にその撮影地点と撮影方向を記録する。

1枚1枚撮影時に静止して記録をつけてもよいが、何らかの形で撮影位置を比較的正確に自動推定できる場合は、移動しながらの撮影でもよい。実際、本研究計画では、事前撮影に当たっては経路の一定区間を等速歩行し、それによって各撮影画像の位置を自動推定から得ることもしている。

事前撮影に関しては、日照や天候等様々な要因が実際の歩行時までに変化するため、同一地点同一方向であっても異環境下で撮影した複数枚の画像を用意できることが望ましい。

#### ・参照画像集合

事前撮影画像のうち、外出計画に含まれる経路上のものを参照画像、その集合体を参照画像集合と呼ぶ。

本研究では、歩行揺動に対処するため、画像特徴量には位置・回転・大きさに不変なSIFT特徴量を採用する。このため、参照画像についてはすべて予めSIFT特徴量を求めておく。SIFT特徴量は、実際には1枚の画像につき数十～数百のSIFTキーとして得られる。なお、シーンベースの画像認識ではシーン中の非常に細かい部分の情報は利用しないので、SIFT特徴量算出前に、各参照画像は横320画素縦240画素まで縮小するものとする。

#### ・画像照合

歩行時には、歩行者カメラで撮影を随時行い、システム内の参照画像集合と照合する。システムの都合上、歩行者カメラでの撮影は数秒ごとに連続2枚である。実行時間削減のため、このうちの1枚(入力画像)のみを横320画素縦240画素に縮小した上で、SIFT特徴量を求める。入力画像から得られた各SIFTキーについて、

参照画像集合中の最尤 SIFT キーを求めていく。最も多くの最尤 SIFT キーを含む参照画像を参照画像候補と呼び、その最尤 SIFT キー数をペア数と呼ぶ。また、この最尤 SIFT キーを求める時のキー同士の類似度の算出基準を定めるパラメータを類似度係数と呼ぶ。

ペア数が一定基準を超えた場合、参照画像候補は十分に入力画像に類似していると見なして、その参照画像候補に付与されていた撮影位置と撮影方向情報を出力する。

プログラムとしての実行時には、入力画像の各 SIFT キーに最尤 SIFT キーを求める部分がかつとも計算コストが高い。SIFT キーは 128 次元数値ベクトルで表現されるため、本研究では多次元ベクトル検索の高速化手法の一つである K-D tree 探索を用い、この部分の計算時間を大幅に削減することに成功した。

#### (倫理面への配慮)

本研究は、その性質から、歩行者カメラで画像を獲得さえすれば実験と解析が可能であり、画像獲得に際して視覚障害者の被験者を用意する必要はない。そのため、データ収集に際して歩行者役には晴眼者を用い、周囲の安全に注意を払って撮影を行った。

また、撮影に際しては、許可が必要な経路においてはしかるべき了解を経路の管理者から得て行った。

撮影した画像については、用途外利用のないよう、細心の注意を払って管理している。なお、画像照合方法の性質上、事前に撮影した画像は画像の形で保管しておく必要はなく、特徴量ベクトル集合、具体的には SIFT キー集合の形で利用され、SIFT キー自体には元画像の表現能力はない。そのため、将来の運用に当たっては、画像データベース用の撮影を行った直後に SIFT キー集合の算出を行って画像そのものは廃棄してしまうことで、画像内に写る人々に対するプライバシー保護も問題ないと考えられる。

### C. 研究開発結果

本手法は東芝 dynabook SS RX2 (Core 2 Duo SU9400/ 1.4GHz/ 3MB) 上で実行できるように、OpenCV1.1 と SIFT 公開プログラムを

用いて実装された。

検証実験としては、東京駅八重洲地下中央口付近から地下街を 300m ほど歩き、そこで地上に出てほどなく高島屋に到達、そのあと東京駅八重洲北口近辺まで戻る地上経路約 600m の合計約 900m を外出計画における経路として設定した。経路図を図 II.1-1 に示す。上段赤色の矢印が地下経路に相当し、下段青色の矢印が地上経路に相当する。

同経路の参照画像集合については、2010 年 2 月 20 日に収集した 238 枚と 2010 年 3 月 4 日に収集した 696 枚の合計 934 枚を用いた。実験結果について、ここでは 2010 年 3 月 20 日の午後と夕方の 2 回の歩行時の入力画像に対する位置推定結果を示す。なお、参照画像収集時も入力画像収集時も同一経路を同一方向に歩いているが、歩行速度や歩道内での位置は特に指定しない状態で被験者は歩いたため、これらは均一ではないことに注意されたい。

なお、図 II.1-2 に入力画像収集に用いたシステムの様子を示す。撮影地点は地下街から地上に出た地点である。写真の中で、腹部前面に見える水色の直方体上の部分がカメラ本体、そこから左へ伸びている円筒がレンズである。

図 II.1-3、図 II.1-4 に画像照合結果の様子を示す。左が入力画像、右が検索された参照画像候補である。上下は同じ画像であるが、下段の図中の緑円 1 つが画像中から得られた SIFT キー 1 つを示す。見てわかるように、SIFT キーは数十から数百程度検出される。入力画像中の SIFT キーと参照画像候補中の SIFT キーとが合致した場合、その SIFT キーを赤線で結んでいる。

シーンベースの認識において、シーン中のどこを頼って認識するかは SIFT キー同士のマッチングに従って自動的に決定される。図 II.1-3 では路面の模様、図 II.1-4 では路上の店の看板に主に反応していることが分かる。また、日照条件が異なっていることにも注意されたい。なお、より多くの画像照合の様子を末尾(「H. 付録：画像照合結果の解析」)に示す。





図 II.1-1 実証実験経路



図 II.1-2 画像取得に用いたシステム

実際の歩行支援システム稼働時には、他のサブシステムとの負荷バランスの都合もあり、およそ8～10秒に一度、本手法を実行することになっているが、ここでは検証のため、3月20日の歩行時に経路上で得られた全ての画像に対する認識結果を表 II.1-1, II.1-2 に示す。表 II.1-1 は当日昼の歩行、表 II.1-2 は当日夕方の

歩行に対する実験結果である。表では、類似度係数の変更が認識率にどのような結果を及ぼすかを示している。類似度係数を1.0に近づけるほど、ペア数が増加していく。参照画像候補の検定を行うためのペア数閾値を2～7にした場合の、返答数と返答率も併せて示す。問い合わせに対して、表 II.1-1 では平均返答率16.8%、表 II.1-2 では35.9%だった。これは、表 II.1-2 の夕方の状況のほうが、同日昼よりも、2月20日および3月4日の天候状況に近かったためと考えられる。

平均誤答率を0.1%以下にした場合の類似度係数と有効返答率平均値の関係を表 II.1-3 に示す。

表から分かる通り、誤差率0.1%以下のままでも類似度係数を0.9にまで上げれば有効返答率を向上させることができるので、類似度係数については0.9を採用する。その条件下で、ペア数の閾値に対する返答率平均値と誤答率平均値の変化を調べた結果が表 II.1-4 である。ペア数閾値を下げ過ぎると、誤答が増え始めるので、ここではペア数閾値を6とする。

こうして得られた類似度係数0.9、ペア数閾値6をシステムパラメータとして組み込むことで、入力画像から誤認識を避けつつ撮影位置と撮影方向の推定を高い確率で求めることができるようになった。



図 II.1-3 画像照合の様子その1

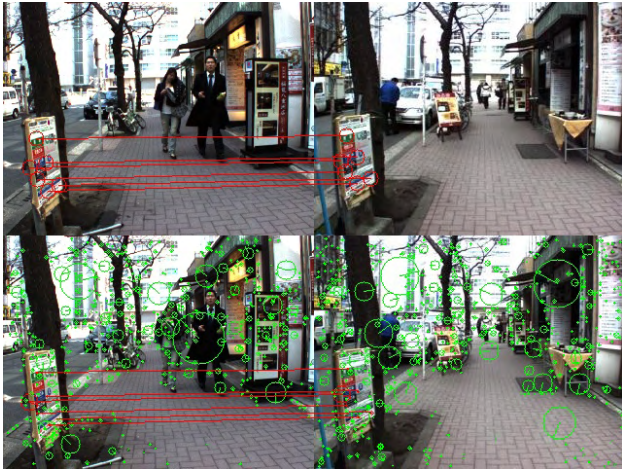


図 II.1-4 画像照合の様子その 2

表 II.1-1 3月20日昼の歩行に対する結果

類似度係数	0.6	0.7	0.8	0.9
ペア数平均値	1.21	2.26	3.85	6.91
ペア数閾値	2	2	4	7
入力画像枚数	1252	1252	1252	1252
有効返答数	126	354	304	277
有効返答率	10.1%	28.3%	24.3%	22.1%
誤答数	1	1	1	0
誤答率	0.08%	0.08%	0.08%	0.00%

表 II.1-2 3月20日夕方の歩行に対する結果

類似度係数	0.6	0.7	0.8	0.9
ペア数平均値	2.79	4.64	7.12	11.01
ペア数閾値	2	4	5	6
入力画像枚数	1269	1269	1269	1269
有効返答数	481	448	575	729
有効返答率	37.9%	35.3%	45.3%	57.4%
誤答数	1	0	0	0
誤答率	0.08%	0.00%	0.00%	0.00%

表 II.1-3 類似度係数に対する有効返答率

類似度係数	0.6	0.7	0.8	0.9
有効返答率平均値	24.0%	22.2%	30.8%	33.8%

表 II.1-4 類似度係数 0.9 時の結果

ペア数 閾値	3/20(昼)		3/20(夕方)	
	返答 率平 均値	誤答 率平 均値	返答 率平 均値	誤答 率平 均値
5	35.7%	0.56%	64.9%	0.16%
6	26.3%	0.12%	57.4%	0.00%
7	22.1%	0.00%	51.4%	0.00%
8	18.7%	0.00%	45.5%	0.00%

本システムをある地上歩行(2月20日午後)時に採取した画像に適用した結果を図 II.1-5 に示す。横軸は画像番号である。撮影は歩行開始から約1秒間隔で2枚ずつ撮影したので、概ね9分程度の歩行に相当する。縦軸は参照画像番号を示している。参照画像集合は図 II.1-1 に示した経路全てを2周回って収集したもので、最初の0~237番が1週目(2月20日撮影)、238番から933番までが2週目(3月4日撮影)に相当する。2週の参照画像取得いずれも普通歩行で実験を行ったが、撮影間隔が2倍程度違うことに注意されたい。入力画像も普通歩行であるので、グラフはほぼ直線状になるのが理想である。ただし、経路には信号等があるため、その部分はグラフはほぼ水平になる。また、歩行者カメラの前に別の歩行者等がいる間は、画像参照にあまり成功しないため、その部分是对応付けができないことになる。その一方で、ご対応があると、この直線状の配列から大きくはずれた点が誤対応としてグラフ上に現れる。グラフからも、誤対応がほぼ存在しないことがわかる。

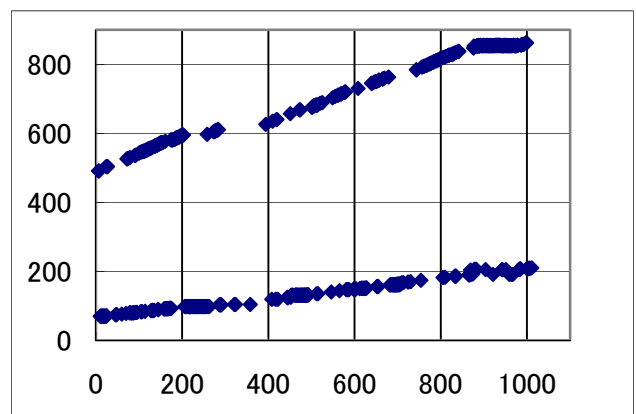


図 II.1-5 2月20日午後歩行に対する実験結果



一方で、表 II.1-4、図 II.1-4 から分かるように、返答率は状況にもよるが問い合わせに対して、1～4割程度であり、残りの9～6割においては、位置推定不能という解がシステムとしては返されることになる。誤認識率を許容すれば返答率を向上させることは可能であるが、視覚障害者歩行支援システム全体としてシーンベース画像認識プログラムに要求されることは返答率の向上ではなく、信頼できる推定値の提供である。そのため、誤答率を最小にするほうをパラメータ決定時には重視している。

参考までに、現行の全体システムでは本プログラムは8～10秒に1回実行されることになっている。仮に10秒に1回だとすると、0.1%の誤等率は10,000秒間（2時間以上）に対して1回程度だけ誤答することに相当する。

#### D. 考察

本研究計画の分担研究では、シーンベース画像認識に基づく撮影位置・方向推定を、視覚障害者支援システムの一部として基本的の実現することができた。

ただし、シーンベース画像認識は、撮影環境に大きく影響を受ける。以下、個別項目について考察をしていく。

##### ・カメラの取り付け方向

本研究計画で想定する歩行経路は、地下街から階段、大通りから細い歩道まで多岐に渡る。カメラの取り付け方向としては、進行方向前方の他に、進行方向に対して水平90°右ないし左方向、進行方向のまま仰角ないし俯角をつけることが検討された。

進行方向前方にカメラを向けた場合、概ね進行方向に沿って歩道が広がっていることになる。特に遠方の風景の見かけは距離に対して概ね反比例の大きさで見えることになり、現在利用している SIFT 特徴量は大きさ不変なので、参照画像候補は正しい撮影位置に対して多少前後する可能性がある。この推定精度を高めるためには、画像間の見えているシーンの大きさの違いを計測し補正することが考えられる。

一方、それ以外の方向にカメラを向けた場合、

いずれも相対的に画像中における近隣物体像が占める割合が増加することになる。例えば道端にある店へ入るドアの位置を確認しやすくなるなど、位置推定精度の向上に寄与する可能性があるが、実際に予備実験をしてみると、被撮影物体が近い場合には画像照合が困難になる傾向が顕著にみられた。これは、画像照合の元となる SIFT キーが、被撮影物体に対する撮影方向の変化が±20°程度を超えると、たとえ同じ物体を撮影していたとしても異なる SIFT キー表現になってしまうことが主たる原因と推察される。そのため、今後も歩行者カメラは進行方向前面に向けるように設置していく予定である。

##### ・カメラ撮像機構

画像解像度はそれほどなくとも画像照合の性能低下が起きないことが予備実験から確認されている。そのため、今後はグローバルシャッターの VGA 程度の解像度のカメラを想定し、レンズと合わせて小型化を目指す。

入力画像に関しては、現行システムはキャプチャ時に縦1024画素横768画素で画像を取り込み、そのあと縦320画素横240画素への縮小をソフトウェアで行っているため、数百ms程度実行時間がかかっている。この部分は画像取込時からサイズを指定することで削減可能である。

##### ・レンズ

屋内屋外の両方に対応するためには、カメラ撮像機構と合わせてオートアイリスが可能であるか、安価で小型なカメラ系を2つ用意して、一方を屋内の光量、もう一方を屋外の光量に調整することが考えられる。現状では、晴天等の場合、地下や屋内との調整がしきれずに画像情報の欠損が見受けられた。

##### ・画像照合

本研究計画では SIFT 特徴量を用いたが、他モジュールが SURF 特徴量を用いていること、予備実験から SIFT と SURF でそれほど性能差がないと見られていること、SURF のほうが必要な計算コストが小さいことから、今後は SURF に移行していくほうがよいと考えられる。

また、現在のシステムの懸案事項として、



1000 枚規模の参照画像集合の読み込み時に 1.5GB 程度のメモリを一時的に使用し、かつ実行時に 500MB 程度のメモリが必要であることが挙げられる。解析により、参照画像集合の中で実際に SIFT キーとして有効なのは実験的には半分以下であろうとの予想が立てられている。起動時の一時的なワークエリアの確保も不要にできるとの技術的検討ができていたので、この部分のメモリ使用量は大幅に削減できることが見込まれている。

その一方で、シーンベースの画像照合の性能向上のためには、同一地点で撮影環境の異なる複数の画像を用意することが有効であるという予備実験結果も得られている。K-D tree 探索は参照画像枚数の増加に対して検索時間の増加率が小さくすむという利点があるため、今後の展開としては、上記のメモリ削減を行った上で、参照画像集合の枚数を増加させることを検討していくべきである。

#### ・参照画像集合

本研究計画実施に当たっては、ローカルに参照画像集合を用意し、予備実験等を行う必要があった。そのために収集した画像群のうち、撮影の位置・方向情報を付与したデータ取得履歴を示す。いずれも東京駅八重洲口から高島屋に至る一帯で撮影したものである。

2009/11/26	519 枚
2010/01/28	1,774 枚
2010/03/04	3,038 枚

また、位置・方向情報を付与していないが、予備実験用のデータとして、2009 年 11 月から 2010 年 4 月に至る 5 ヶ月間で 50 本以上の経路に沿ったビデオ撮影を行った。なお、経路は本報告での「C. 研究開発成果」(図 II.1-1)で述べた東京駅から高島屋を経由して東京駅に戻るものである。

#### E. 結論

本研究計画では、シーンベース画像認識に基づいて、歩行者カメラの撮影位置・方向推定方法を提案し、システムを実現した。現行のノートパソコンレベルのハードウェアパフォーマンスで、画像獲得から位置方向推定までを 2 秒以

下でほぼ実行可能である。

開発期間が短かったこともあり、システムの完成度はまだプロトタイプレベルの部分があるので、今後の展開のためには「D. 考察」で述べたようにプログラムを洗練させていくことが必要である。これらはいずれも予備実験等を通して一定の目処がついているため、いずれも実現に対しては特に問題ないと考える。

#### F. 研究発表

##### 1. 学会発表

- ・査読付き国際会議投稿中 1 件 (採否通知 4 月 7 日予定)
- ・電子情報通信学会パターン認識・メディア理解研究会 (2010 年 5 月発表予定)

## H. 付録：画像照合結果の解析

以下は 3 月 20 日の実験の様子を示す。実験歩行の順に Data set-3 ~ Data set-6 と呼ぶ。この順に時間を空けて撮影したので、左側の入力画像が夕方に向かって徐々に暗くなっていく様子にも注目されたい。なお、図 II.1-3,II-1-4 は Dataset-3 での実行結果である。

### Dataset-3/#1

高島屋後、北西に向かって伸びるさくら通り上。さくら通りは狭くかつビルが高いため、一日を通じてほとんど日が差さない。本結果では左側の街路樹の枝形状も利用している。このような自然物の特徴は、春以降は残念ながらほぼ利用不可能になると考えられるが、この場合は他にも看板等があるので対応可能である。



### Data set-4/#1

同じくさくら通り上。看板が利用されている。すぐ上にあるサンクスの看板は露光の関係で SIFT キーレベルでは同一物体とは判定されていない。



### Data set-4/#2

同じくさくら通り上。自動販売機のパターンが認識に利用されている。画像左側や前方の歩行者にも SIFT キーは数多く発生しているが、同じものがないため照合には寄与していない。



#### Data set-4/#3

さくら通りが終わって、大通り(外堀通)を渡る前の信号待ち地点。路上の塗装パターンが利用されているが、長期的視点で考えると、これらの路上の塗装パターンはそのうちに経年変化を起し利用できなくなると考えられる。



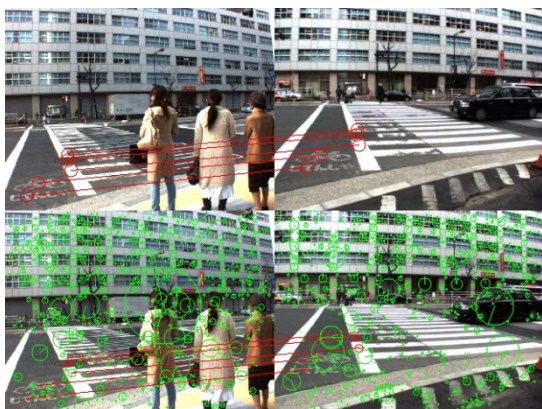
#### Data set-4/#4

外堀通を渡り終えたところ。ポスターのようなコントラストのはっきりした画像領域は SIFT キーとして抽出されやすい。



#### Data set-4/#4

同じく外堀通を渡る前の信号待ち地点。





### Data set-5/#1

中央通り上で、位置は正しいものの、画像照合として厳密には不正解としてもよい例。一見すると右奥の建物の窓の SIFT キー同士正しく対応付けられているようにも見えるが、よく観察すると、入力画像と参照画像候補で異なる窓に対応付けされている。本実験で構成している参照画像集合中にはこのような作りの窓を持つ建物が他に存在しないため位置推定結果はほぼ正しく行えているが、現実空間の同一物同士を対応付けて正しい対応を得るというアルゴリズムから見れば、正解ではない。(位置が正しいため、実験では正答と計上)



### Data set-5/#2

さくら通り上での路面パターンで照合できた



例。

### Data set-5/#3

さくら通り上中央付近での信号待ち地点。



### Data set-6/#1

地下街を出てすぐの中央通り上。特徴的な壁の模様が利用されている。これも厳密には正しい位置に対して多少対応関係がずれているが、このようなパターンの壁が他にないため、推定結果としては正解となる。



### Data set-6/#2

同じく中央通りの歩道上。人間から見ると似たような歩道の石のテクスチャでも、SIFT キーとしては異なる表現になるので、このように歩道部分でも照合が行える。



### Data set-6/#3

さくら通りの、左側の建物で照合が取れた例。入力画像、参照画像候補とも右側に歩行者がいたため、右側の建物や看板が利用できない状況である。このような状況では回答不能と返答することが多いが、この例ではたまたま左側の建物が歩行者カメラの視野に入ったため、照合結果が得られた。



### Data set-6/#4

さくら通り上での照合結果。この時間帯ぐらいになると、入力画像のほうが暗く、夕方に近づきつつあるため光量が減っていることがわかる。



### Data set-6/#5

同じくさくら通り上での照合結果。光量変化があっても、それが一様な変化であれば比較的本手法での照合への影響は限定的である。





### Data set-6/#6

同じくさくら通り上での照合結果。



### Data set-6/#7

同じくさくら通り上での照合結果。Data set-4/#2 と同様に、自動販売機をもとに照合が成立している。



### Data set-6/#8

外堀通を渡り終えた地点。Data set-4/#4 ではポスト部分が参照されたが、歩行者のため、ポスト部分の SIFT キーは参照画像候補の SIFT キーと合致していないと見なされている。その代わりに、このサンプルでは路面のパターンを利用して照合に成功している。



以下は 2 月 20 日の実験における地下街での照合の様子である。地下街では地上と異なり、店のディスプレイ変更や掲示物の変更が頻繁なため、地上より側面付近の情報を利用できることが少ない傾向がある。その代わりに、天井の照明やその他の器具が作るパターンが照合に寄与している例がよく見られた。光量もそれほど変化しないため、天井が特徴的なところでは照合は比較的良好に行わ



れた。

# 障害者自立支援機器等研究開発プロジェクト

## 分担研究報告書

### 2. ランドマーク画像認識と画像による障害物検知に関する研究

研究分担者 宇都宮大学 青木恭太

研究要旨 歩行支援システムにおいて、画像処理・認識に期待される位置確認と障害物検知の2課題に取り組んだ。歩行支援システムのサブシステムとして携帯端末で動作する画像によるランドマーク認識を行った。本研究では、あらかじめ歩行ルート上のランドマークとなりうる画像およびその属性、サーフ特徴量ファイルを用意し、歩行中に撮影したシーン画像中にそのランドマークを検出することにより、位置情報を獲得し補正することを目的とする。実施した実証実験より、ランドマークの作成とその検出、および位置補正を実環境において検証し、画像によるランドマーク認識システムの歩行支援環境における有効性および実用化に向けての問題点を明らかとする。

歩行支援システムのサブシステムとして携帯端末で動作する画像による障害物検知システム開発を行った。本研究では、既存の自動車用の単一カメラによる障害物検知システムを基礎に歩行者向けの画像による障害物検知システムを構成し、その能力を実環境における実験により検証し、画像による障害物検知システムの歩行支援環境における有効性および実用化に向けての問題点を明らかとする。

2つの目的があるが関連性は低い「第一部ランドマーク認識」「第二部障害物検知」の2部構成とする

#### 第一部 ランドマーク認識

##### II. 2-1. A. 研究開発目的

歩行支援を行う際には、測地系の誤差地表の潮汐による変動など GPS の誤差以外に生じる小さな誤差も問題となる。この小さな誤差の影響を避けるためには、歩行目標物による補正が欠かせない。本研究は、あらかじめ用意した「コンビニの看板」などのランドマークとなる「画像」をシーンカメラで撮影した画像中で照合・認識することでランドマークを発見する。ランドマークを発見したとき、その位置とカメラの方角を推定する。これにより、停止状態の時に方位を算定出来ない GPS など位置を検出するために用意された他のセンサの弱点を補うと同時に、座標系自体の誤差を含む各種誤差を補正し、より高い精度で、より広範囲で歩行支援に有効な測位を実現することを目的とする。

##### II. 2-1. B. 研究開発方法

###### II. 2-1. B. 1 歩行パターンの調査

視覚障害者の歩行パターンは、個々に異なる

とされている。したがって有意義なランドマークも異なる可能性がある。したがって、視覚障害者の歩行パターンを調査し、画像によらないランドマークをどのように利用しているかも並行して調査し、画像によるランドマークの有用性をより良いものとする。

調査の結果、同じ白杖利用者であっても、耳からの情報で、壁から等距離を歩くことが可能な場合とそうでない場合があり、両者では歩行時に必要な情報が大きく異なることがわかった。後者の場合、白杖を利用して何かに触っていることで安心感を持つ。したがって、誘導ブロックがない場合、道のどちらかを歩く。屋外の場合、官民境界にある舗装の違いなどを利用するが、地下街の場合、道の端が店舗の入り口であり、歩行の困難があった。シーン画像によるガイドは、後者の様な視覚障害者にとって、高い有益性が期待できる。前者の場合でも、広い地下街の場合、方向を見失った。また、弱視者の場合、ランドマークらしいことがわかるが、確証を得ることが出来ない。画像処理をそのために利用することで良い効果を期待できる。

###### II. 2-1. B. 2 実験ルートの調査



当初東京駅北口から、右折し、東京国際フォーラムまでのルートを実験ルートとして予定した。しかしながら、「ランドマークとなり得る看板が、極端に少ない」「観光バスの発着所があり歩行人が非常に多い」の理由で別のルートで実験することとした。



図 II.2-1.1 当初の実験ルート



図 II.2-1.2 新たな実験ルート(地下)



図 II.2-1.3 新たな実験ルート(地上)

新たな実験ルート候補では、視覚障害者の生

活に合わせた「シナリオ」に対応するするルートとした。実験ルートは、東京駅地下中央口から、八重洲地下街を経由し、中央通りで地上に出て、高島屋デパートで買い物をして、さくら通りを通り、東京駅地上北口までとした。

「地下街を含む」「歩きにくい広い地下街」「白杖で道の両端を確認することがふさわしくない地下街」「看板がすくなく歩道が広いオフィス街」「人通りが多く、歩道が狭いさくら通り」など異なる性格を持つ道路を組み合わせたルートとした。

しかしながら、東京駅は改修中であり、スタート地点の変更の必要があったため、すべての実験で同一のルートを使用することは不可能であった。

### II.2-1.B.3 画像を利用したランドマークの認識のメリット

出発地点で向きと場所の確認が出来る。ランドマークの方向も大まかに求めることが可能である。

GPS は停止中に向きの確認が出来ないがこの手法では可能であり、期待できる。

磁気遮断されている地下などでも利用できるため、他のセンサの弱点を補う可能性を持っている。

弱視者の場合、ランドマークらしい対象の存在を知ることができても、どのようなランドマークかを確認出来ない場合がある。このような場合に、ランドマーク認識により、確認することが出来る。

### II.2-1.B.4 ランドマーク認識の弱点

降雪など看板のイメージが変化する場合には感知できない。シーン撮影用カメラが自動露出機能を持っていない場合など、看板に直射日光が当たり、看板が白つぶれする場合認識できない。シーン画像にブレや大きな傾きがある場合には、感知できない。ランドマークの属性には、昼用と夜用などの属性を用意し、時刻により異なる見え方をするランドマークへは対応している。

### II.2-1.B.5 ランドマークの例





図 II.2-1.4 丸善の丸Mマーク (シーン)



図 II.2-1.5 丸善の丸M (ランドマーク)

高島屋からさくら通りに向かう時に向きと場所の確認が出来る。丸善の丸Mの看板は、立体看板なので向きに対する依存が強く感知できる範囲は狭いが場所を特定する機能には適している例である。



II.2-1.6 駐車場の看板(シーン)



図 II.2-1.7 駐車場の看板 (ランドマーク)

ランドマークは2009年11月に撮影した看板で、シーンは2010年3月に撮影した。値段が変わっているが、上部のパターンで認識できた例。



図 II.2-1.8 駐車場の看板 (シーン)



図 II.2-1.9 駐車場の看板 (ランドマーク)

典型的なコンビニの看板。広く単純なので認識しやすい。



II.2-1.10 宝くじ販売所 (シーン)

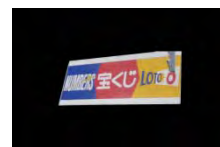


図 II.2-1.11 宝くじ販売所 (ランドマーク)

テントが、上を向いているため、太陽の反射を受けやすい例。

#### II.2-1.B.6 ランドマークの作り方

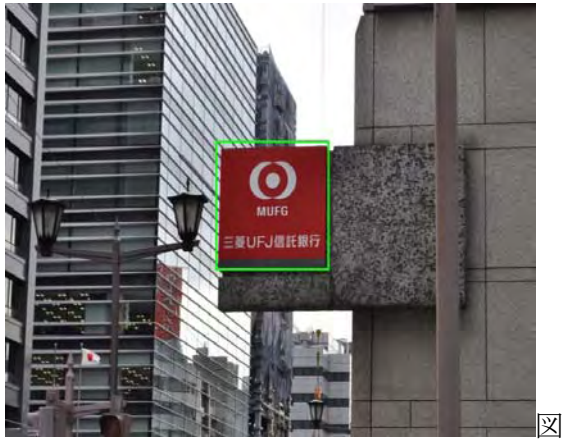
看板の場所と撮影場所を指定する。特に指定しない限り、看板の向きは撮影方向とする。

原則としてランドマークの中心は画像の中心とする。

看板の両面が同じ看板の場合、2個の看板として登録する。



図 II. 2-1. 12 裏表同じ看板



II. 2-1. 13 裏表同じ看板

## II.2-1.B.7 撮影

ランドマーク用画像の撮影と実験ルート検証、  
および実証実験のために実施した撮影は以下の  
とおり。

II.2-1.1 表 撮影関係一覧

番号	日付	場所	撮影枚数	作業内容
1	2009/10/14	宇都宮	710	カメラテスト件, ランドマーク候補調査
2	2009/10/15	宇都宮	153	ランドマーク収集
3	2009/10/21	東京駅 北口から	77	白杖利用者による実験予定ルートの検証 利用者A
4	2009/10/22	東京駅 北口から	207	ルート状況の調査
5	2009/10/22	四ツ谷駅	160	歩行が慣れているルートの歩き方の検証 利用者A
6	2009/10/22	四ツ谷駅	152	歩行が慣れているルートの歩き方の検証 利用者A
7	2009/10/31	東京駅	212	歩行が慣れているルートの歩き方の検証 利用者B
8	2009/11/7	東京駅	272	実験ルートの調査
9	2009/11/12	東京駅	438	ランドマーク収集
10	2009/11/19	宇都宮大学	8	カメラ画角の調査
11	2009/11/20	東京駅	25	ランドマーク収集2回目
12	2009/11/24	宇都宮	122	ランドマークの調査(前回10/15との比較)
13	2009/12/9	札幌	29	降雪地域での道路, 建屋状況
14	2009/12/21	東京	8	会合, ハーネスの写真
15	2010/1/15	八重洲地下街	180	ランドマークと通路の状況
16	2010/1/22	宇都宮周辺	830	チェーン店などどこにでもある看板
17	2010/2/8	地上と八重洲地下街	337	シーン画像用レンズで撮影した画像
18	2010/2/8	地上と八重洲地下街	45	ランドマークの状況
19	2010/2/20	地上と八重洲地下街	64	実証実験の様子
20	2010/2/25	地上と八重洲地下街	動画	SPAN 実験ルート歩行の様子
21	2010/2/25	地上と八重洲地下街	38	SPAN 実験ルート歩行の様子
22	2010/2/26	地上と八重洲地下街	47	SPAN 実験ルート歩行の様子
23	2010/2/27	地上	動画	SPAN 実験ルート歩行の様子
24	2010/2/27	地上	36	SPAN 実験ルート歩行の様子
25	2010/3/5	実験場所下見	5	
26	2010/3/6	実験場所	50	
27	2010/3/8	デモ	5	
28	2010/3/20	実証実験	48	
29	2010/3/20	実証実験	48	
30	2010/3/20	実証実験	動画	
31	2010/4/3	実証実験	1523	

## II.2-1.B.8 照合方法の解説

ランドマークの照合は、OpenCV Ver1.1 のサーフ関数を使用した。下記の方法で距離と角度を求める

### II.2-1.B.8.1 ペアの作成

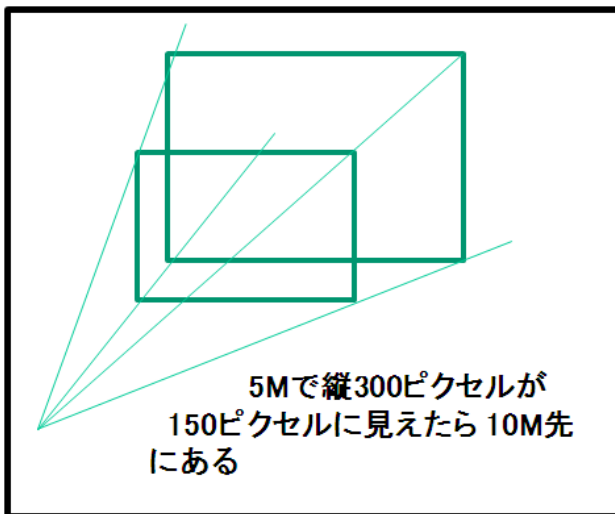
シーン画像とランドマーク画像の特徴点を計算し、ペアとなる特徴点を求める

### II.2-1.B.8.2 誤ペアの削除

シーン画像の特徴点 X 方向の並の順に、ペアとなるランドマークを並べる。その時シーン画像の並びに合致したもっとも長いランドマーク特徴点群を選ぶ。ペアの本数が規定値を超えた場合、検出したとする。規定値は ini ファイルにて変更可能になっている。両端のデータは枠などの特徴点である可能性があるため、両端の X 座標の近くのデータを削除する。

### II.2-1.B.8.3 ランドマークの大きさの比較

特徴点の中心座標から、各特徴点までの距離を積算し、その値の比率を看板の大きさの比率とする。ランドマーク画像を作成した距離とカメラの倍率より、シーン画像とそれを撮影した距離を求める。



## 図 II.2-1.14 距離の計算

### II.2-1.B.8.4 ランドマークの方位

シーン画像中のランドマークの重心位置より、進行方向から見たランドマークの方向を求める。



図 II.2-1.15 方位の計算

### II.2-1.B.8.5 位置の補正

ランドマークの位置、ランドマークまでの距離、ランドマークの方向より、撮影場所の座標を求めて、現在位置の補正を行う。

## II.2-1.B.9 誤ペア情報の削除

### II.2-1.B.9.1 基本構想

シーン画像中のランドマークとランドマークについて特徴点を結ぶ線を引くと交わることは本来ない。その線分を検出し、除くことで誤検出のペアを削除することが可能になる。



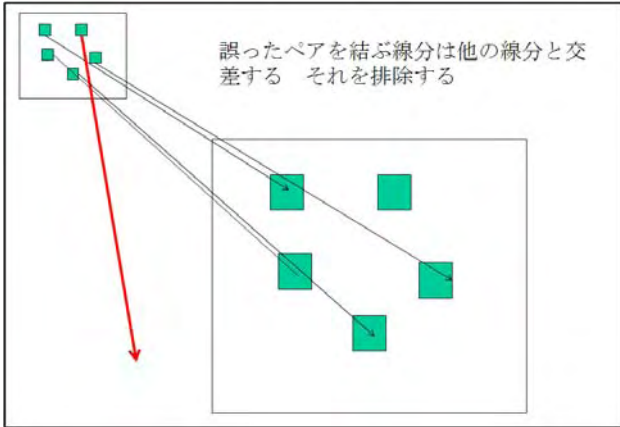


図 II.2-1.16 誤ペアの例



図 II.2-1.17 誤ペア排除前



図 II.2-1.18 誤ペア排除後

### II.2-1.B.10 対象とするランドマークの抽出

上位より知らされた位置が正確であるとは限らないため、進行方向から下がった場所を基準点とした、ホームベース型の領域内にあるランドマークについて、シーン画像との照合を行う。マッチした場合、距離と方向を求め、測位位置を補正する。

ことが出来る。下記はその例  
画像の大きさや、レンズの焦点距離を利用する。

ISO 感度、レンズの絞り、シャッタースピードにより場所の明るさを認識することが出来る。

### II.2-1.B.11 ランドマークデータの作成（一般ユーザ）

一般ユーザは自分で撮影した画像を専用 TOOL により登録する。一般利用者が登録するデータは下記の項目のみで良い。使用したレンズの焦点距離や時刻は撮影画像ファイルにある Exif 情報を利用する。

- (ア) 撮影した画像
- (イ) ランドマーク部分の指定
- (ウ) ランドマークの位置
- (エ) 撮影した場所
- (オ) ランドマークの名称

### II.2-1.B.12 参考 Exif データ

撮影した日時やレンズなどの項目を獲得する

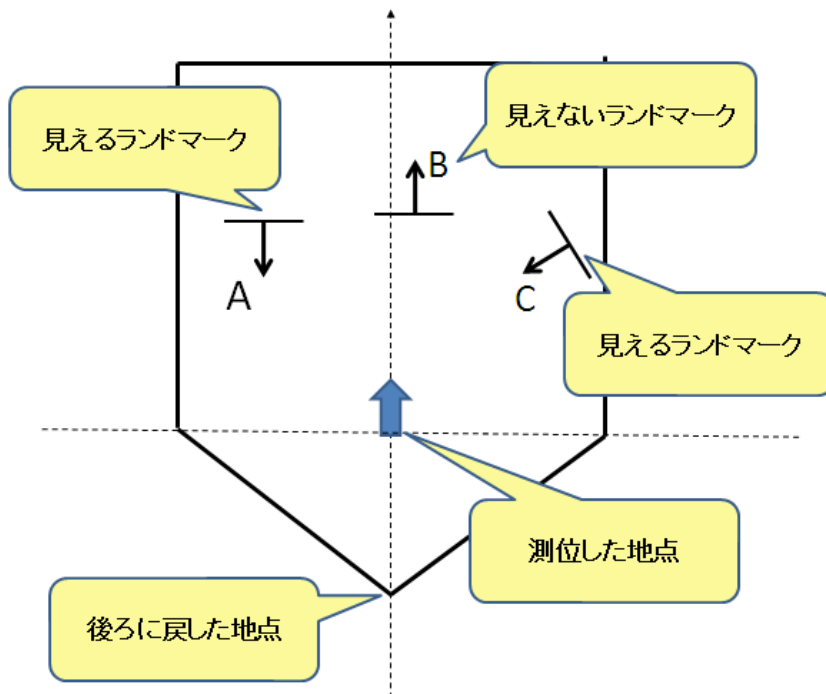


図 II.2-1.19 対象となるランドマーク

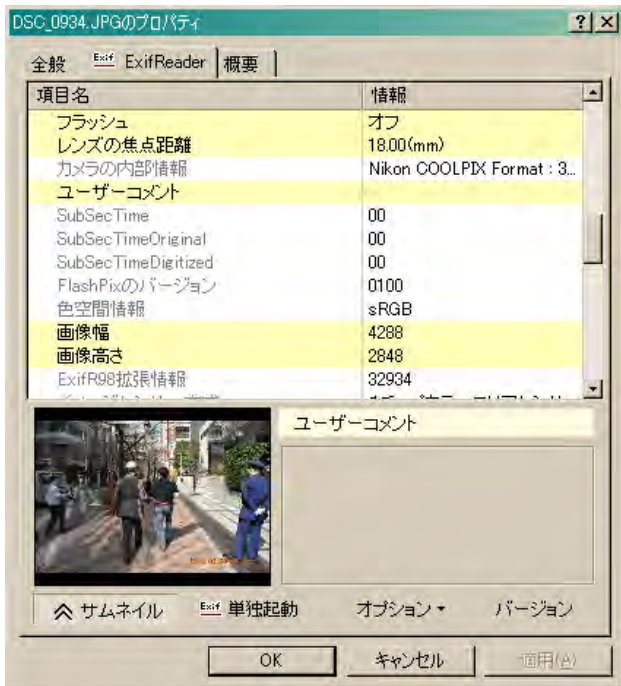


図 II. 2-1. 20 Exif データその 1

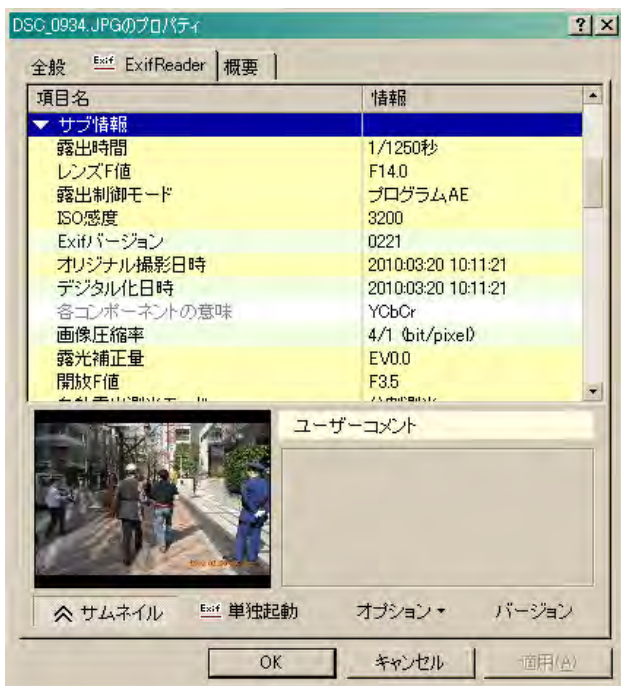


図 II. 2-1. 21 Exif データその 2



図 II.2-1.22 SURF 特徴量のペア (誤検出除去前)

## II.2-1.C.1 研究開発結果

### II.2-1.C.1.1 三菱UFJの場合1



図 II.2-1.23 シーン画像  
(100220-142417\_84.JPG)



図 II.2-1.25 ランドマークの位置

比較 ペアの数 12

距離 5.977168 メートル

実際の距離約 16 メートル

緯度 35.677470 35 度 40 分 38.892 秒

経度 139.775633 139 度 46 分 32.279 秒

実際より 10 m 程度近い距離を判定していると推定できる。カメラの光軸が回転しているため、看板の見かけの縦長さが、距離が実際よりも短く判定されていると推定できる。



図 II.2-1.24 ランドマーク画像



II. 2-1. C1. 2 三菱UFJ の場合 2

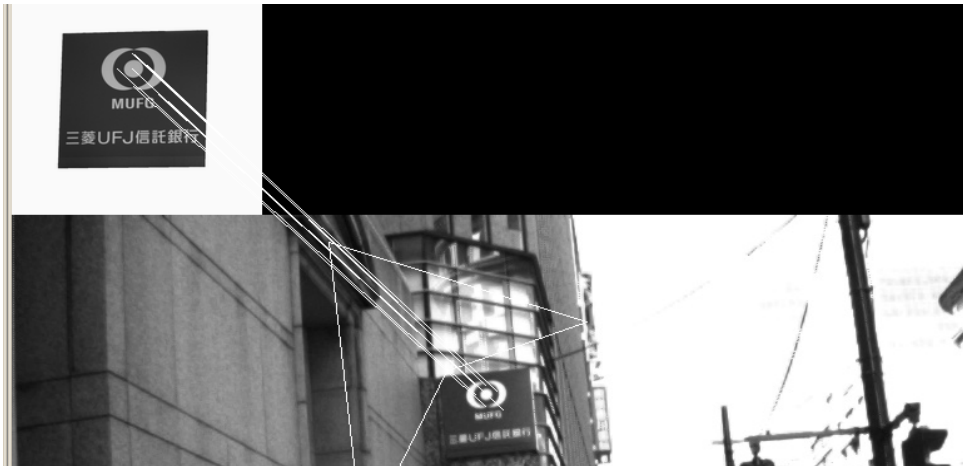


図 II.2-1.26 SURF 特徴量のペア (誤検出除去前)



図 II. 2-1. 27 シーン画像  
(100220-142419\_15. JPG)



図 II. 2-1. 28 ランドマーク画像



図 II. 2-1. 29 ランドマークの位置

比較

ペアの数 12 本

距離 15.727671 メートル

実際の距離 約 13 メートル

緯度 35.677380 35 度 40 分 38.568 秒

経度 139.775655 139 度 46 分 32.358 秒

光軸の回転が前の画像より少ないので、より高い精度になっているが、3 m ほど遠い距離を示している。

下から見上げることにより、看板のゆがみがあり、交差する特徴点を結ぶ線を除去したため、ペアの数が減少し精度が悪化したと推定できる。

II. 2-1. C. 1. 3 サンクスの場合

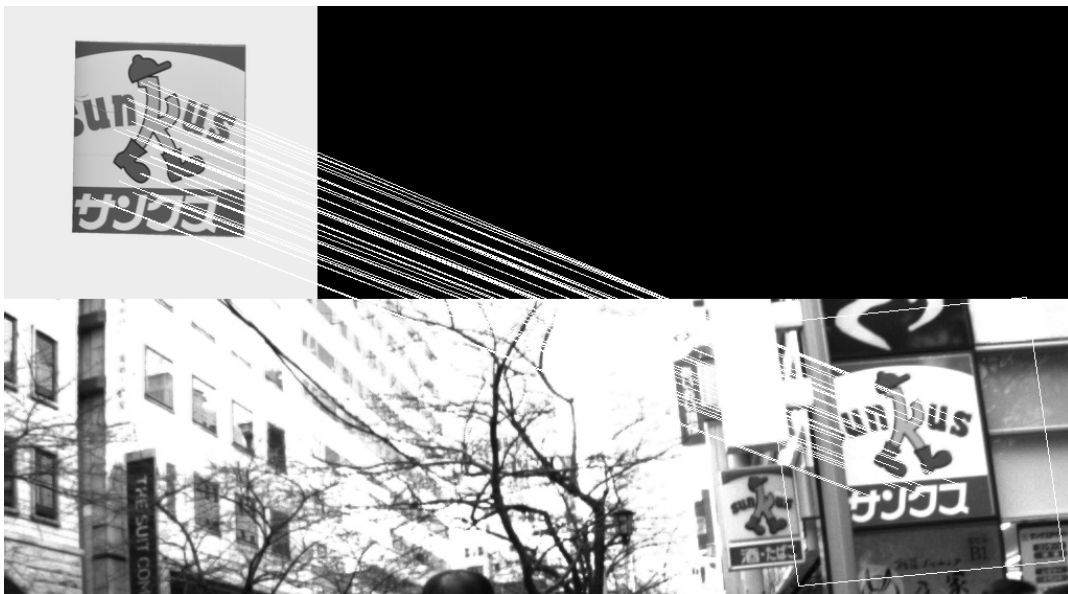


図 II.2-1.30 SURF 特徴量のペア



図 II. 2-1. 31 シーン画像(100220-142834\_79. JPG)

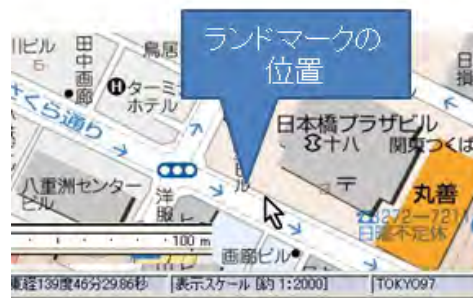


図 II. 2-1. 33



図 II. 2-1. 32 ランドマーク画像

比較  
 ペアの数 32 本  
 距離 5.94m  
 実際の距離 約 11m  
 誤差約 5m  
 緯度 35 度 40 分 40.6236 秒  
 経度 139 度 46 分 29.766 秒  
 おおむね良好な距離を示している

## II. 2-1. D 考察

### II. 2-1. D. 1 ランドマーク画像認識

今回の研究開発を通じて、ランドマーク画像認識は、周辺環境の影響を受けることを確認できた。直射日光が当たる看板では、役に立たなかった例がその一つである。しかし、今回のシーンカメラは自動露出が用意されていないことが、検出率低下の原因であることは容易に想像がつく。また、シーン用カメラの解像度が低いため、高機能のデジタルカメラで撮影した画像にボケを加えることで検出率を上げることが出来た。今後は「シーン用カメラのAFが必要である。

### II. 2-1. D. 2 高速化

今回シーンカメラの画像ファイルの大きさ（横1024）のままSURF特徴量の抽出等を実施したが、解像度は高くない。一方ランドマーク認識は8秒に一回程度の実施であり、処理すれば、検出出来たシーン画像の多くに対して処理を実施していない。画像を縮小するなどシーン画像に対して実施することで処理の高速化が期待できる。

### II. 2-1. D. 3 ランドマーク作成

今回の実験では、ランドマークに多くの属性を用意したが、実際には、20個程度の属性で検出可能であった。ランドマークのマスクは複雑形状を利用しているが、単なる矩形でも認識が可能であることを確認している。

### II. 2-1. D. 4 既存製品例の調査

#### II. 2-1. D. 4. 1 方針

商品化のためには、既存の商品を活用することは、一つの解決策である。そこで、携帯電話とiPhoneをシーンまたはランドマークの撮影に使用できるかを検討した。

#### II. 2-1. D. 4. 2 事例

携帯電話 p704i  $\mu$  (パナソニック、DOCOMO)  
携帯電話 N06A (NEC DOCOMO)  
iPhone についてその画像を調べた



図 II. 2-1. 34 352X288 駐車場看板 携帯電話 p704i  $\mu$  (パナソニック、DOCOMO)



図 II. 2-1. 35 352X288 サンクス 携帯電話 p704i  $\mu$  (パナソニック、DOCOMO)





図 II. 2-1. 36 2048X1536 iPhone



図 II. 2-1. 38 640X480 駐車場の看板  
携帯電話 N-06A(NEC DOCOMO)

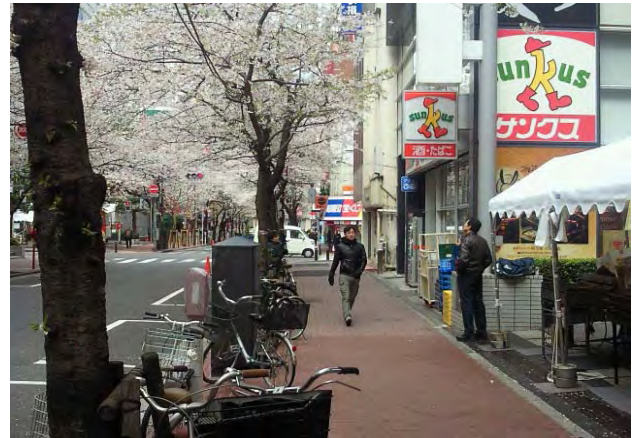


図 II. 2-1. 39 640X480 サンクスの看板 携帯電  
話 N-06A(NEC DOCOMO)



図 II. 2-1. 37 2048X1536 iPhone



図 II. 2-1. 40 640X480 NUMBERS 携帯電話  
N-06A(NEC DOCOMO)





図 II.2-1.41 1920X1080 サンクス 携帯電話  
N-06A (NEC DOCOMO)



図 II.2-1.42 1920X1080 NUMBERS 携帯電話  
N-06A (NEC DOCOMO)

#### II.2-1.D.4.3 評価

いずれの画像を見ても十二分な性能である。しかし、撮影した画像を取り込む速さなどについては、シーン撮影においては問題になることが予想される。

### E. 結論

#### II.2-1.E.1 システムの有用性

本研究で使用したカメラとランドマークの組み合わせにおいて、通常の歩行速度において3秒間程度ランドマークを認識し、位置推定が可能である。

本研究で実現した方式を最新のスマートフォン上に実装し、専用機器として実現することにより、より柔軟に利用可能なランドマーク認識システムが実現可能である。

#### II.2-1.E.2 商品化への取り組み

ランドマーク認識を最新のスマートフォンに実装することで、実用性を高めることが出来る。この構成で実現することにより、弱視向けに概略的にわかるランドマークを確認する簡便な道

具としての実用性もます。また、WEB 上から取



図 II.2-1.43 歩行場所

集可能な汎用看板を使用して、ランドマークデータを整備することにより、安価に日本中で利用可能なランドマーク認識システムが構成可能であり、これらが今後の課題となる。

#### II.2-1.E.3.

#### F. 研究発表

- ・電子情報通信学会画像工学研究会などに発表予定

## 第二部 障害物検知

### II. 2-2. A. 研究開発目的

#### 障害物検知の目的

携帯可能なハードウェアにおいて、人の歩行時に使用可能な画像に基づく障害物検知システムを実現する。

開発目的を詳細化すると、軽量・安価なハードウェアにおいて画像による障害物検知を実現することが目的となる。研究開始時点（2009年8月頃）では、安価なカメラ付き携帯端末で高機能のものは iPhone くらいしかなく、この目的を直接本研究期間において、実現することは困難であった。そこで、本研究では、近未来において販売されるであろうスマートフォンなどの携帯情報処理機器ハードウェアにおいて、なるべく付加的なハードウェアなしに動作することを目標とした

### II. 2-2. B. 研究開発方法

#### II. 2-2. B. 1. ハードウェア構成の選択

研究開発目的で述べたように、極めて近い将来において、各種スマートフォンとして販売されるであろう安価なハードウェア構成において動作することを目的としている。そのとき利用可能なハードウェア資源は、プロセッサ、メモリ、補助記憶装置、及びカメラとなる。極めて近い将来において、スマートフォンに複数のカメラがステレオ画像処理可能な形態で搭載されることは期待できない。

上記の考察から、本研究では単一のカメラを利用するハードウェア構成を行うことを早期に決定した。ステレオ画像処理方式を利用すれば、NEC の開発した LSI などを利用して極めて高性能の障害物検知が可能となる。しかし、車載用に開発されたシステムは、大電力を使用し、専用の処理装置とカメラシステムを利用するもので本研究の目的では利用不能である。また、ハードウェアの進歩により実現可能となっても、専用のハードウェアを準備するシステムは、高価となり、利用者に安価に提供できる可能性は小さく、本研究の目的にそぐわない。

#### 歩行環境観測装置

画像による障害物検知システムの性能を評価するためには、画像取得と同時に障害物の有無を判定する情報を取得する必要がある。

そのために、10Kg 程度の重量で、カメラ、測域センサ、GSP、磁気センサなどを備えた歩行環境計測システムを開発した。この機器は、観測を行うのみであり、観測情報はそのまま処理することなく記録する。記録された情報は、本研究の画像による障害物検知サブシステムの試験用画像となるとともに、障害物の有無を判定する資料となる。開発した、観測システムのシステム構成図を下記に示す。

#### II. 2-2. B. 2. 画像による障害物検知アルゴリズム

単一のカメラによる障害物検知方式として、路面の移動を推定し路面移動量と一致しないものを障害物として検知する自動車用に開発された方式がある<sup>1</sup>。本研究では、研究期間の短さも考慮して、上記自動車用に開発された障害物検知方式を改良した方式を選択した。

路面上の障害物の検知は、自動車用に開発された方式をほぼそのまま踏襲して実装した。

<sup>1</sup> 楊 長輝, 本郷 仁志, 谷本 伸一, “単眼車載カメラを用いた路面動き補正による障害物検知”, 精密工学会誌, Vol.75, No.2, pp278-283, 2009

本研究のシステムにおいては、カメラ位置



図 II.2-2.1 原画像



図 II.2-2.2 鳥瞰画像



図 II.2-2.3 上方鳥瞰画像

は、人の目の位置よりもはるかに低い位置となるので、カメラよりも上方の障害物を検知することが必要となる。本研究では、頭上に仮想的に路面が存在し、実路面と仮想路面の間に存在する物体を障害物として検知することとした。

上方の仮想路面は、実路面とは異なり、その仮想路面よりも遠方まで見え、遠方のオブジェクトが障害物として検知される。そこで、仮想路面移動量の平行移動成分がより小さいものはすべて仮想路面よりも遠方に存在するとみなして除去することとした。

システムのインターフェースの部分などは、外注して歩行支援システムの一部として完成させた。

### II.2-2.B.3 障害物検知システム開発の詳細

#### II.2-2.B.3-1 路面の動き推定

原画像の特徴点抽出および特徴点のオプティカルフローを精度よく計算し、鳥瞰画像の画像情報に基づく路面運動解析によって、路面の特徴点を抽出し、路面の動きを推定する。路面の動き推定の過程は以下ようになる。

1. 原画像における特徴点の抽出
2. オプティカルフローの計算
3. 鳥瞰画像の生成
4. 特徴点およびオプティカルフロー情報の鳥瞰画像へのマッピング
5. 鳥瞰画像中の路面特徴点の抽出と路面移動量の推定

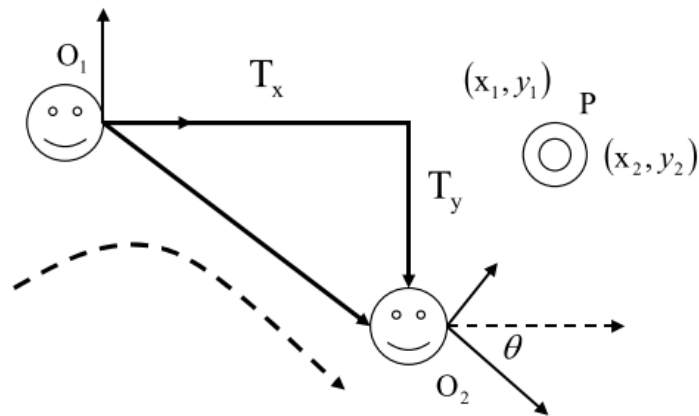


図 II.2-2.4 路面移動の表現

以下に各項目について詳細に述べる。

#### II.2-2.B.3.1.1 特徴点の抽出

本研究においては、特徴点は画像において角のことを示す。特徴点の抽出は、コーナーを検出することである。本研究では、処理能力と勘案して、特徴点の個数を 100 個に限定した。

#### II.2-2.B.3.1.2 オプティカルフローの計算

オプティカルフローとは、時間連続な画像列を利用して、画像の速度場（物体の速度+カメラの速度）を求め、それをベクトル集合で表現したものである。オプティカルフローを得る方式としては、大別して、勾配法、ブロックマッチング法が存在する。

本研究では、勾配法を用いオプティカルフローを求めることとした。

勾配法では、「オプティカルフロー拘束方程式」と呼ばれる、輝度の時間/空間的微分(輝度勾配)の拘束方程式を用いて、これに制約条件を付加することでフローを求める。比較的高速に全画素についての速度場を計算できるが、前提条件に合わない箇所(急激な輝度変化、ノイズ)では、著しい誤差が発生することがある。

勾配法のアルゴリズムは、Horn & Schunck アルゴリズムと Lucas & Kanade アルゴリズムが

存在するが、今回は Lucas & Kanade アルゴリズムを用いた。

#### II.2-2.B.3.1.3 鳥瞰画像の生成

鳥瞰画像は原画像からホモグラフィ行列を用いて、透視変換を行うことによって生成する。鳥瞰変換はカメラからの入力画像をあたかも真上の仮想カメラによって撮影された画像に変換する。

本研究では、鳥瞰画像の生成において上下ともに原画像の光軸近傍の部分を除いている。鳥瞰画像生成の例を図 II.2-2.1、図 II.2-2.2、図 II.2-2.3 に示す。

#### II.2-2.B.3.1.4 特徴点およびオプティカルフロー情報を鳥瞰画像へのマッピング

原画像においては、路面特徴点の動きベクトルは、カメラ近傍とカメラ遠方で異なり、カメラ近傍では大きくなる。一方、鳥瞰画像における路面特徴点の動きベクトルは、路面特徴点の位置に関係なく同一の動きベクトルが得られる。原画像の特徴点と特徴点で得られる動きベクトルを鳥瞰画像にマッピングすることにより、鳥瞰画像において路面特徴点の動きベクトルは、すべて同一となる。鳥瞰画像における最多特徴



点動きベクトルから路面移動量の推定が可能となる。

原画像の特徴点と動きベクトル情報を鳥瞰画像にマッピングする方法は、鳥瞰画像を生成したときと同様だが、画像ではなく、座標点に対してホモグラフィ行列を用いて透視変換をおこなうこととなる。

### II. 2-2. B. 3. 1. 5 鳥瞰画像中の路面特徴点の抽出と路面移動量の推定

鳥瞰画像を用いて、路面移動量を推定するために鳥瞰画像の路面特徴点を抽出することが必要である。鳥瞰画像における路面特徴点の抽出方法および路面移動量の推定方法について述べる。異なる位置  $0_1$  と  $0_2$  で撮影したカメラ入力画像から得た鳥瞰画像で、対応路面特徴点  $P$  の座標をそれぞれ  $(x_1, y_1)^T$ 、 $(x_2, y_2)^T$  と表すと(図 II. 2-2. 4)、特徴点フローは式(1)となる。

$$\begin{pmatrix} f_x \\ f_y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_2 \\ y_2 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \end{pmatrix} \quad (\text{II. 2-2. 1})$$

フレーム間の路面移動量を図 II. 2-2. 4 の仮に真上に設置する仮想カメラによる鳥瞰画像座標で表現すると、フレーム間の路面对応点  $P$  の関係として、式(II. 2-2. 2)が得られる。

$$\begin{pmatrix} x_2 \\ y_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} T_x \\ T_y \end{pmatrix} \quad (\text{II. 2-2. 2})$$

ここで、 $\theta$  は車両回転角、 $(T_x, T_y)^T$  は並進移動量である。ここで、 $\theta$  が微小(歩行速度が十分小さい場合、または画像の撮影間隔が小さい場合)のとき、 $\cos \theta = 1$ 、 $\sin \theta = \theta$  と近似できるため、式(II. 2-2. 2)から式(II. 2-2. 3)が得られる。

$$\begin{pmatrix} x_2 \\ y_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & -\theta \\ \theta & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} T_x \\ T_y \end{pmatrix} \quad (\text{II. 2-2. 3})$$

式(II. 2-2. 1)を式(II. 2-2. 3)に代入して、整理すると式(II. 2-2. 4)になる。

$$\theta \begin{pmatrix} y_1 \\ -x_1 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} T_x \\ T_y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} f_x \\ f_y \end{pmatrix} = \mathbf{0} \quad (\text{II. 2-2. 4})$$

ここで、 $(f_x, f_y)^T$  と  $(y_1, -x_1)^T$  が特徴点の動きベクトルより得られる。 $(T_x, T_y)^T$  と  $\theta$  は未知数である。

式(II. 2-2. 4)から、路面特徴点の位置情報  $(x_1, y_1)^T$  と動きベクトル情報  $(f_x, f_y)^T$  が得られれば、未知数の計算が可能となる。

そこで、カメラ位置  $0_1$  における鳥瞰画像の任意の2個の特徴点画像座標を  $(x_{12}, y_{12})^T$  と  $(x_{11}, y_{11})^T$  とし、対応する動きベクトル情報を  $(f_{x2}, f_{y2})^T$  とすると、式(II. 2-2. 4)から、

$$\theta \begin{pmatrix} y_{11} \\ -x_{11} \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} T_x \\ T_y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} f_{x1} \\ f_{y1} \end{pmatrix} = \mathbf{0} \quad (\text{II. 2-2. 5})$$

$$\theta \begin{pmatrix} y_{12} \\ -x_{12} \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} T_x \\ T_y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} f_{x2} \\ f_{y2} \end{pmatrix} = \mathbf{0} \quad (\text{II. 2-2. 6})$$

が得られ、上記の2式の差をとると、

$$\theta \begin{pmatrix} y_{11} - y_{12} \\ x_{12} - x_{11} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} f_{x1} - f_{x2} \\ f_{y1} - f_{y2} \end{pmatrix} = \mathbf{0}$$

が得られる。そこで  $\theta$  の計算式

$$\theta = (f_{x2} - f_{x1}) / (y_{11} - y_{12}) \quad (\text{II. 2-2. 7})$$

$$\theta = (f_{y2} - f_{y1}) / (x_{12} - x_{11}) \quad (\text{II. 2-2. 8})$$

の2式が得られる。

以上のように、路面特徴点の位置と動きベクトル情報から路面移動量を推定することが可能となる。しかし、一般的には、画像中の特徴点は、路面およびその他のオブジェクトの特徴点よりなるため、画像から抽出されたすべての特徴点を用いて、上記路面移動量の推定を行うことはできない。

#### 路面特徴点推定法

画像中で得られる特徴点には、路面特徴点とそれ以外のオブジェクトに属する特徴点がある。ある程度路面が見えていることを前提とすれば、路面特徴点は、鳥瞰画像ではすべて同一の動きを示すので多数の同一の動きを示す特徴点集合として路面特徴点を定義することが可能となる。この仮定のもとに下記の手順に従って、抽出した画像特徴点を路面に属する特徴点とそれ以外の特徴点に分け、路面特徴点を抽出する。

##### 路面特徴点推定法

1. 抽出された特徴点集合から特徴点の鳥瞰画像座標上の距離が予め設定されていた閾値以上離れている任意の 2 つの特徴点を無作為に抽出する。
2. 両特徴点の動きベクトルの差がある閾値以上であれば、1. に戻る。
3. 特徴点の位置とフロー情報を式(Ⅱ. 2-2. 7)と式(Ⅱ. 2-2. 8) に代入し結果を  $\theta_1$  と  $\theta_2$  とする。  
 $\Delta\theta = |\theta_1 - \theta_2|$  が予め設定された閾値より大きい場合、1. に戻る。
4. 3. で計算した  $\theta$  と  $\theta$  をそれぞれ式(Ⅱ. 2-2. 5)と(Ⅱ. 2-2. 6)に代入し、結果を  $(T_{x1}, T_{y1})^T$  と  $(T_{x2}, T_{y2})^T$  とする。  
 $(T_{x1}-T_{x2})^2 + (T_{y1}-T_{y2})^2$  が予め設定された閾値より大きい場合、1. に戻る。
5. 抽出された 2 つの特徴点を路面特徴点とし、各特徴点の情報で計算した回転角と並進移動量の平均値は路面移動量とする。

6. 1. ~5. の処理を n 回繰り返す、その n 組の路面移動量候補が得る。
7. 路面特徴点抽出エラーによる路面移動量の誤推定をなくすため、n 組の路面移動量候補の中間値を取り出し、最終的な路面移動量とする。

以上の手順に従って路面移動量推定を行う。

#### Ⅱ. 2-2. B. 3. 2 路面の動き量を用いた画像補正と障害物検出

ここでは、路面の動き量を用いた画像補正と、その補正画像を用いた差分による障害物検出について述べる。

本研究の画像補正は、回転補正と並進補正を前述の推定し路面移動量( $\theta$ ,  $T_x$ ,  $T_y$ )を用いてカメラから取得した 1 枚目の画像に関して行う。補正を行うことによって、路面領域においては、2 画像において同一の画像位置に同一の路面位置が対応する。これにより路面においては 2 画像間の差が小さくなる。一方、路面に属さない位置では 2 画像間で同一の位置のオブジェクトが対応しないため、2 画像間の差が大きくなることを期待される。これにより、鳥瞰画像での路面領域と障害物領域の分離が可能である。ちなみに、画像補正を行わずに直接、取得した 2 枚の画像のフレーム間差分をとると、路面移動量が補正されないために路面のテクスチャが検出される。その結果、路面領域と障害物領域の分離が困難となる。補正した画像を用いて差分を行い、補正画像を 2 値化することで、路面以外の領域を検出する。

##### Ⅱ. 2-2. B. 3. 2-2 画像補正

画像の回転(並進)補正は、補正後の画像の各画素値を元画像のどの位置からサンプリングして決めるかという問題に帰着するので、ピクセルサンプリングをし、路面の動きを補正する。

路面に対するカメラ光軸下方鳥瞰画像では路面という可視限界がある。一方、路面より上の空間における鳥瞰画像では仮想路面は存在するが実路面という可視限界が存在しないので、無限遠のところまで見えてしまうという問題がある。

仮想路面よりも遠距離にある物体は、仮想路面とは異なる動きを示すので、2 画像間で同一オブジェクトが同一位置に対応しないため、2 画像間の差により障害物を検知すると、検知体対象となる。

### II. 2-2. B. 3. 2-2. 1 回転補正

指定した回転行列を用いて元画像を回転させる。非整数値座標のピクセル値は、バイリニア補間により得る。また画像境界の外側に存在するピクセルの値を得るために、複製境界モード（画像の最も外側のピクセル値が外側無限遠まで伸びていると仮定）を使う。

回転補正においては、路面に対する鳥瞰画像では上記のようにそのまま指定した回転行列を用いて補正する。路面より上の空間における鳥瞰画像では前記の仮想路面よりも遠距離に存在するオブジェクトまで見えているという問題があるが、近くの障害物でも、遠くの障害物でも回転に関する変化は同一なので路面に対する鳥瞰画像と同様に補正する。

### II. 2-2. B. 3. 2-2. 2 並進補正

指定した座標が画像中心になるように元画像を並進させる。非整数値座標のピクセル値は、バイリニア補間により得る。また画像境界の外側に存在するピクセルの値を得るために、複製境界モード（画像の最も外側のピクセル値が外側無限遠まで伸びていると仮定）を使用する。

並進補正においては、路面に対する鳥瞰画像では上記のように指定した座標が画像中心になるよう補正するが、光軸よりも上の空間における鳥瞰画像では前記の仮想路面より遠方の物体も見えているという問題がある。このとき、近くの物体では変化が大きく、遠くの物体では変化が小さいという特性がある。仮想路面よりも遠方の物体を検出しないように並進移動距離を 0 から仮想路面

移動量まで複数の区間に分けて補正し、すべての区間で検出される物体のみを仮想路面よりも近距離に存在する物体とみなして、障害物として検出する。

### II. 2-2. B. 3. 2. 2 障害物検出

カメラから取得した 1 枚目の画像（画像 1）を前項で記したように路面の動き量で補正し、その補正した画像と 1 枚目の画像から少し後に取得した 2 枚目の画像（画像 2）を用いてフレーム間差分を行い、差分画像を 2 値化することにより得られる差分画像の変動の大きい領域を障害物として検出する。

カメラ光軸より上の空間に対する障害物検出では前項で記したように、無限遠のところまで見え、遠方にある物体も障害物と検出してしまう問題がある。そのことを解決するため、回転補正した後の画像（画像 3）において、並進移動距離 ( $T_x$ 、 $T_y$ ) を  $m+1$  個（移動距離 0、移動距離  $1/m$ 、移動距離  $2/m$ 、移動距離  $3/m$  … 移動距離 1）に分割し補正を行い、それぞれについて差分を行い、それぞれの差分画像を 2 値化した画像より得られる白領域の共通領域を最終的な障害物として検出した。それぞれに対する障害物検出の流れを図 II. 2-2.5 と図 II. 2-2.6 に示す。

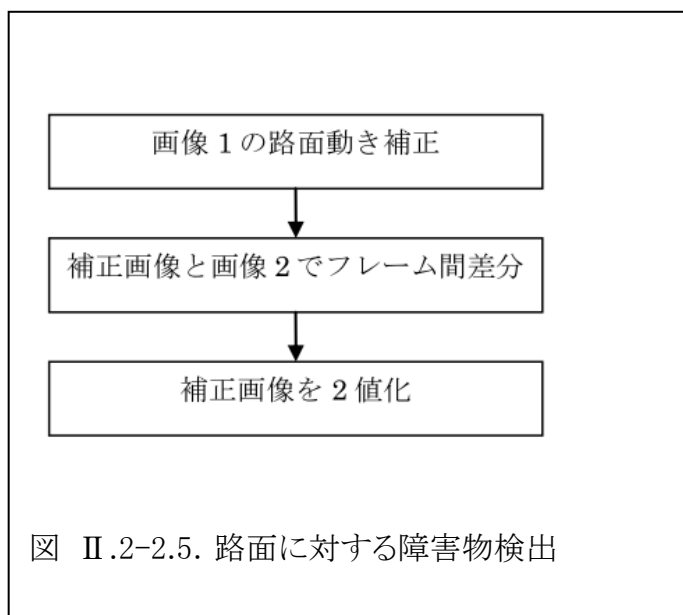
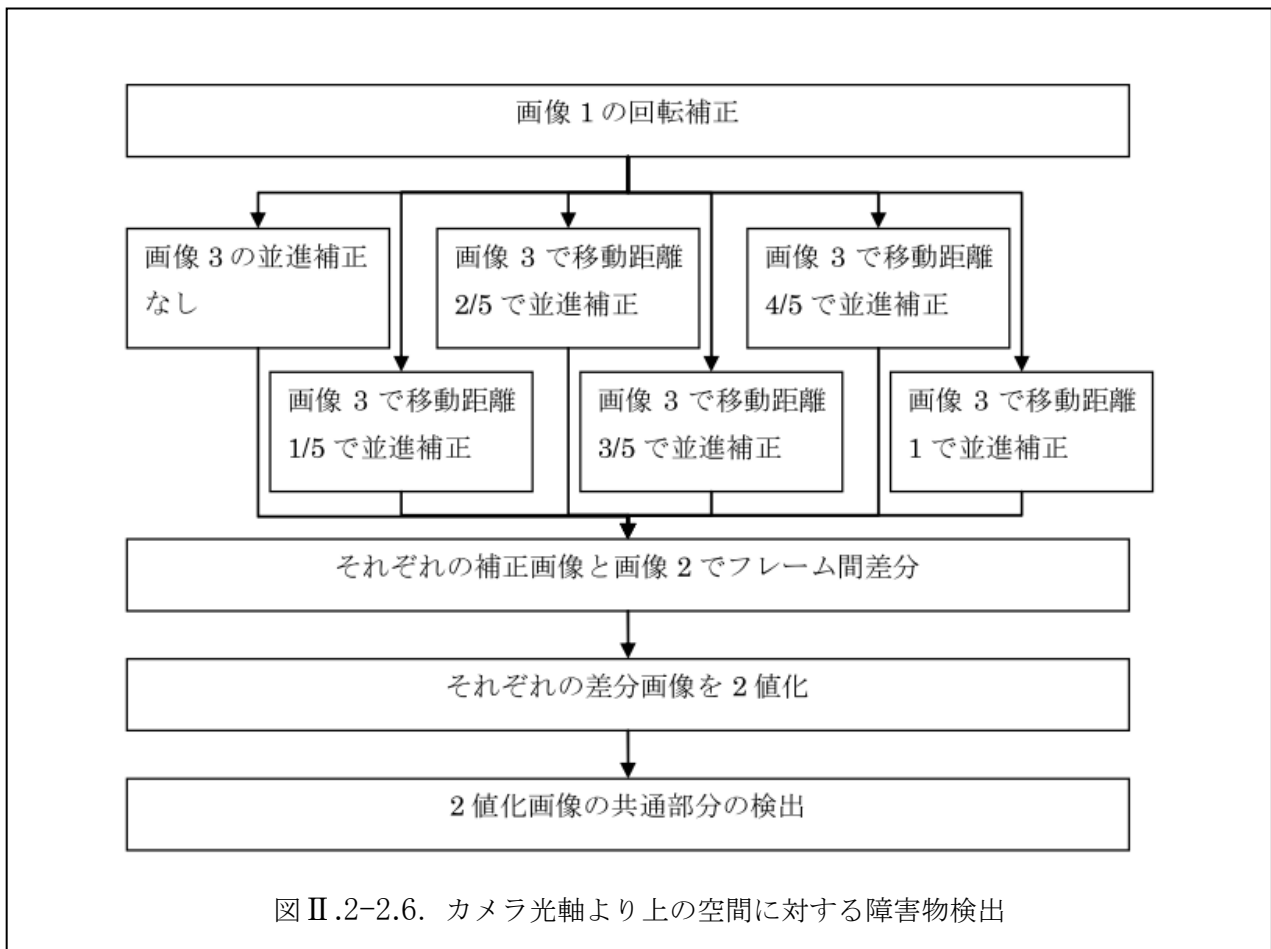


図 II. 2-2.5. 路面に対する障害物検出

## II.2-2.B.4 基礎実験と評価

本章では、複数の環境において障害物検出実験を行い、結果およびその評価を示す。





#### II. 2-2. B. 4. 1 実験方法

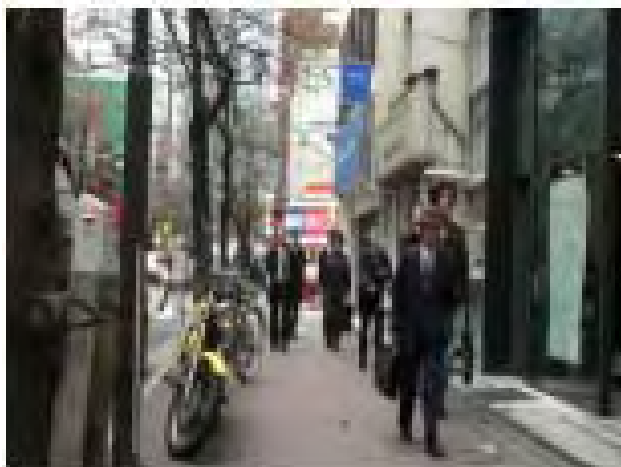
実験は、路面が移動している動画からフレームとして取り出した画像を用いた。1台のカメラで移動しつつ撮影した画像から、1枚目の画像と、その画像から1枚後の画像の2枚1組を用いる。

#### II. 2-2. B. 4. 2 実験対象

実験を行うにあたり対象とする状況を3種選んだ。状況1は一般道路(図II. 2-2. 7)、状況2は地下街などの天井がある通路(図II. 2-2. 8)、状況3はグラウンド(図II. 2-2. 8)である。



図II. 2-2. 9. グラウンド



図II. 2-2. 7. 一般道路



図II. 2-2. 8. 天井のある通路

#### II. 2-2. B. 2. 4. 3 実験結果

実験結果として、前項で示した3つの状況における障害物検知結果を示す。

それぞれの状況から各100枚ずつの画像を抽出し、障害物検出が正しく行われているかどうか目視で判断した。障害物検出の結果の一例を図II. 2-2. 10～図II. 2-2. 15に示し、検出結果を表II. 2-2. 1

～表II. 2-2. 3に示す。



図II. 2-2. 10. 状況1の障害物検出(下)



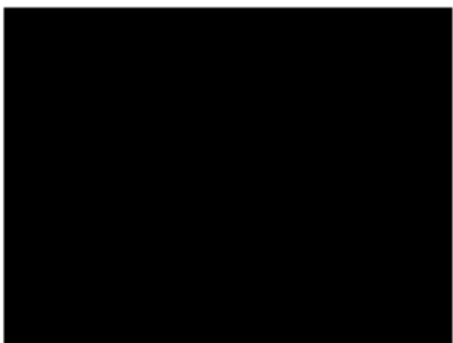
図Ⅱ.2-2.11. 状況 1 の障害物検出(上)



図Ⅱ.2-2.12. 状況 2 の障害物検出(下)



図Ⅱ.2-2.13. 状況 2 の障害物検出(上)



図Ⅱ.2-2.14. 状況 3 の障害物検出(下)



図Ⅱ.2-2.15. 状況 3 の障害物検出(上)

状況 1 においては、表Ⅱ.2-2.1 より、路面上に関する障害物検出は、ほぼ正しく実行された。また、表Ⅱ.2-2.1 より、路面より上の空間に関する障害物検出に関してもほぼ正しく実行されたが、未検出の部分が幾分かあった。

状況 2 においては、表Ⅱ.2-2.2 より、路面上に関する障害物検出では、ほぼ正しく実行された。また、表Ⅱ.2-2.2 より、路面より上の空間に関する障害物検出では、誤検出として照明が検出される場合が 50%ほどあり、未検出の部分が幾分かあった。

状況 3 においては、表Ⅱ.2-2.3 より、路面上に関する障害物検出は、誤検出なく正しく実行された。また、表Ⅱ.2-2.3 より、路面より上の空間に関する障害物検出に関してもほぼ正しく実行された。

3 つの状況における実験全体の誤検出および未検出の状況をまとめる。

誤検出に関しては、路面の様子が検出される場合があった。

未検出に関しては、カメラの進行方向と同じ向きでカメラと等速に移動する物体が未検出となった。

表Ⅱ.2-2.3 の地下街の上方を対象とする場合以外では、誤検出率は、48/2249 で 2%である。未検出率は 168/2369 で 7%である。

未検出障害物の多くは、同一方向に移動する歩行者であり、検出できないことに不都合はない。

表Ⅱ.2-2.1. 状況 1 の検出結果

	検出	誤検出	未検出
状況 1 下	735	27	12
状況 1 上	558	4	94

表Ⅱ.2-2.2. 状況 2 の検出結果

	検出	誤検出	未検出
状況 1 下	673	12	30
状況 1 上	605	65	104

表Ⅱ.2-2.3. 状況 3 の検出結果

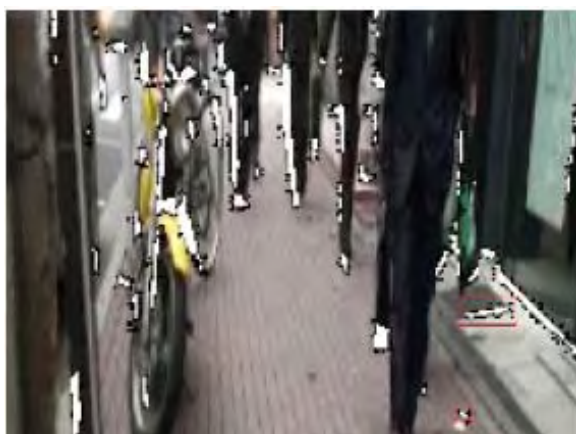
	検出	誤検出	未検出
状況 1 下	0	0	0

状況 1 上	283	5	32
--------	-----	---	----

誤検出の例を図Ⅱ.2-2.16～20 に示す  
 図Ⅱ.2-2.16～18 における赤枠で囲まれた部分は、路面の様子が検出されたものである。図Ⅱ.2-2.19 における赤枠で囲まれた部分は、照明が検出されたものである。図Ⅱ.2-2.20 における赤枠で囲まれた部分は、光の反射している部分が検出されたものである。



図Ⅱ.2-2.18. 誤検出例 3



図Ⅱ.2-2.16. 誤検出例 1



図Ⅱ.2-2.19. 誤検出例 4



図Ⅱ.2-2.17. 誤検出例 2



図Ⅱ.2-2.20. 誤検出例 5

未検出の例を図Ⅱ.2-2.21～25 に示す。  
 図Ⅱ.2-2.20、21 における赤枠で囲まれた部分は、検出されるべき領域である。図Ⅱ.2-2.22～25 における赤枠で囲まれた部分は、同一方向に移動する歩行者であり、検出できないことに不都合はない。



図 II.2-2.21. 未検出例 1



図 II.2-2.24. 未検出例 4



図 II.2-2.22. 未検出例 2

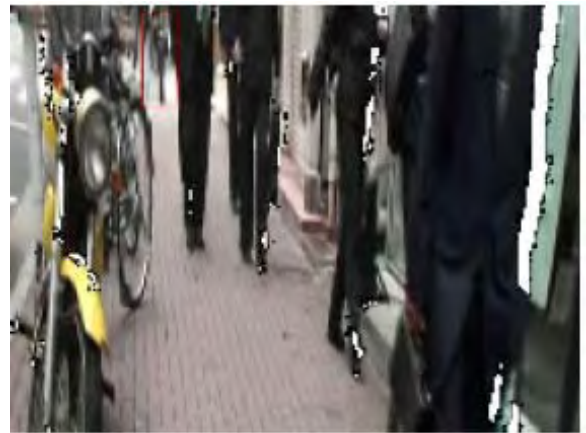


図 II.2-2.25. 未検出例 5



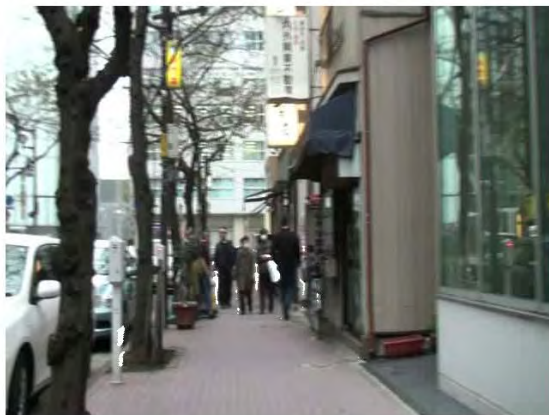
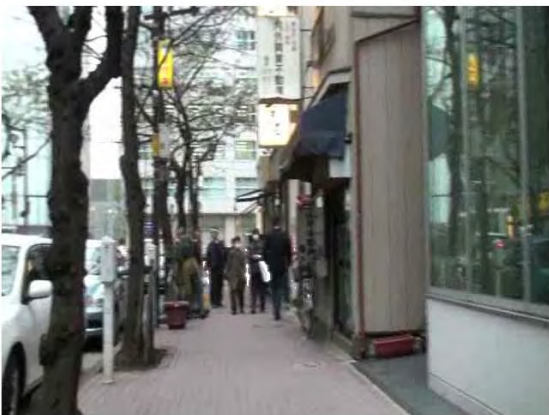
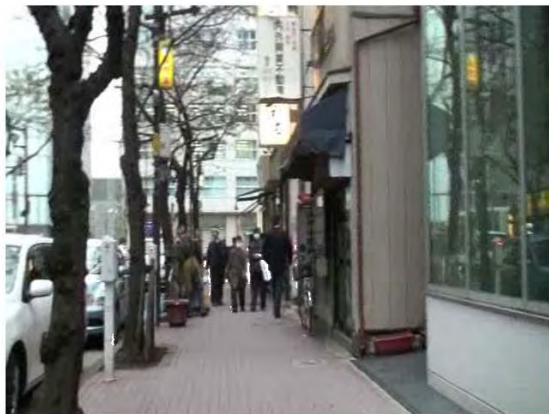
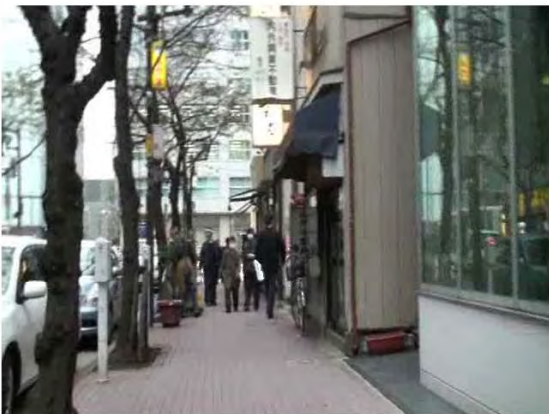
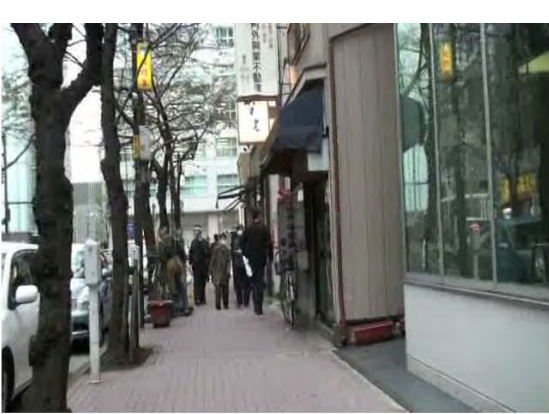
図 II.2-2.23. 未検出例 3



#### II. 2-2. B. 2. 4. 4 実用試験

東京駅周辺のモニタ実験環境において画像による障害物検知実験を行った結果画像を次頁以降に連続画像として掲載する。これらの画像では、障害物として検出された部分を白色で表示している。

これらを見ると、実障害物の周辺部において検出が行われていることが確認できる。大きな同色の障害物内部は、変化が存在しないので障害物として検出されない。



## II. 2-2. B. 2-5 評価

本研究では、路面の移動量を推定することにより画像に路面動き補正を行い、補正画像を用い差分を行うことで、人間の視点において見えるほぼ全ての領域で障害物の検出を目指した。多くの場合良好な結果を得たが、誤検出が多数出現することもあった。

本研究では、差分を行うことによって得られる白い領域を障害物としたが、さらに、この差分画像に領域グルーピング処理を施し、予め設定した閾値を超える差分領域を障害物と判断することで、より精度が向上した障害物検出が実行できると考えられる。また、障害物との距離についても考えることで、遠くにある物は検出せず、近くにある物のみを検出するという方法も考えられる。

## II. 2-2. B. 2-6 検出結果報告方式

差分画像を複数の領域に分割し、各領域において検出された領域面積が閾値を越えたときに、その領域に障害物が存在すると報告する。

領域ごとに、方位・距離を設定し、設定された方位・距離を報告する。

本研究で採用した障害物検出方式では、障害物までの正確な距離を得ることはできないので、この方式を用いる。また、利用者に障害物情報を提示する際に、きわめて正確な方位を提示することは、提示情報の爆発を導く可能性があり、領域ごとに離散化された報告形式が望ましい。

## II. 2-2. C. 研究開発結果

本研究で実装した方式を各種の状況において試験した。試験環境は、本研究で試験サイトとして選定した東京駅周辺、研究者根拠地である宇都宮大学構内である。

宇都宮大学工学部グラウンドの障害物の存在しない状況では、100%の精度で障害物がないことを検出した。

実験サイトにおける状況のように多数の障害物が存在する状況では、障害物の検出確率は、50%程度であった。3秒間の検出結果を統合して利用することにより87%の確率で障害物を検出する。

検出もれの原因の最大のものは、カメラの振動・回転に付随する検出失敗である。方式の詳細で述べたように、本研究で採用した単一カメラを利用した障害物検知方式では、連続して撮影された2画像において、カメラが路面と等距離を維持しつつ移動することを前提としている。カメラの光軸が路面となす角が大きく変動した場合やカメラ光軸周りの回転が生じた場合には、路面移動量補正を正しく行うことは不能である。その際には、画像による障害物検知モジュールは、検出失敗となり、障害物を検知しない。

次の検知失敗の例としては、障害物とその周辺でコントラストの差が存在しない場合がある。この場合には、画像による障害物検知方式では基本的に障害物を検知困難である。

誤検出が発生した状況を以下に列挙する。

- 地下街の床面において、反射が存在する場合。このとき、見えは反射光に支配されており、路面と同一の移動を行わないため、障害物として検知される。
- カメラが光軸の周りの回転運動を行った場合。本研究で実装した方式では、カメラの光軸周りの回転は生起しないと仮定している。このため、光軸周り回転に対する補正を行っていない。このとき、検出失敗とならない場合には、誤検出となる。
- 地下街などの天井が存在する場合。このとき、輝度変動の大きい照明器具が路面移動指定誤差がある時、上方障害物検知において誤検出が生起する。

本研究で実装した画像による障害物検知方式は、大空間において障害物が散在する環境においてもっとも有効に動作する。そのような環境において、ある程度の速度で歩行する利用者に障害物の情報を提示し、警告することが可能である。画像による障害物検知方式のみが大電力を用いずに遠距離から障害物を検知する可能性のある方式であり、障害物が多くない環境では、利用者に障害物を十分な時間的余裕を持って警告することができる。

また、本研究で実装した方式では、路面（歩行平面）と異なる運動を示すものを障害物として検出する方式であり、路面よりも低い障害物も高い障害物も同様に検出する。

本研究における実装では、処理時間は0.5S程度必要としており、近接障害物を検知するには、応答時間が遅い。また、障害物の距離推定精度は低く形状を把握することは困難である。また、多数障害物を検知した場合の情報提示方式は最善解が得られていない。

モニタ試験における利用者からの聞き取りでは、近接障害物を検知するには、0.1秒の遅れでも実用上は問題であり、本研究で達成した0.5秒の遅れでは、近接障害物を検知するには遅れが多すぎる。

#### II.2-2.D 考察

本研究で実装した画像による障害物検知方式は、最新のスマートフォンにも実装可能である。その際には、スマートフォンに実装されている加速度センサを利用してカメラ向きの変動を推定する方式を利用することにより、より高い精度で障害物の検知を実現することが可能である。利用者の肩などの位置に固定したスマートフォンにより画像による継続的障害物検知が可能となる。また、1個のスマートフォンを画像による障害物検知専用割り当てることにより、システムの構成が容易となり利用者にも分かりやすい機器となる。

本研究では、単一のハードウェア上で複数のソフトウェアが協調して動作する形態を採用したが、複数のハードウェア（スマートフォン）上で機能を分散した構成を利用することにより、より安価で柔軟・強力なシステムが構成できる。現時点で本研究と同一の目的を持って開発研究を行うのであれば、複数ハードウェアによる機能分散構成が最適と考えられる。

複数ハードウェアによる機能分散構成においては、本研究において開発した各種技術の一部利用や一部改良も容易であり、より急速な進歩を実現することが可能となる。また、利用者にとっても単一の箱が単一の機能を担う形式は理解しやすく、分かりやすい。

#### II.2-2.E 結論

本研究で開発した、画像による障害物検知サブシステムは、単独で現時点のスマートフォンに移植し、動作させた場合には、近接障害物を含

めた画像により把握可能な障害物の検知を実現する。

実験環境において、明らかになったように、反射のある床面やきわめて混雑した環境（路面が見えない）においては、本研究で開発した画像による障害物検知サブシステムは、適切に動作することは理論的にも不可能である。

本研究の別部分で開発したLRFによる障害物検知システムは、近接障害物（5m以下）においては、良好な性能を示す。

画像による障害物検知は、考察でも述べたように遠距離障害物を検知可能な唯一の方式であり、実用システムでは多様な方式を組み合わせ、信頼度の高い安価なシステムを構成することが必要である。

#### II.2-2.F. 研究発表

- ・電子情報通信学会画像工学会などに発表予定



# 障害者自立支援機器等研究開発プロジェクト

## 分担研究報告書

### 3. PDR による相対位置・方位計測と LRF・PDR による障害物検知に関する研究

研究分担者 産業技術総合研究所 興梠正克、石川智也、蔵田武志

研究要旨 歩行者デッドレコニング (PDR) 及び前方下向きの障害物検知のために、まず、加速度、角速度、磁気、気圧の各センサを組み合わせた簡易防水小型 PDR センサモジュールを試作する。次に、従来、健常者向けに開発されていた PDR を視覚障害者の歩行パターンへ対応させる。前方下向きの障害物検知については、その精度向上のために、PDR から得られる相対運動に基づく LRF の時系列データの安定化機能を開発する。

#### A. 研究開発目的

歩行者デッドレコニング (PDR) 及び前方下向きの障害物検知のために、まず、加速度、角速度、磁気、気圧の各センサを組み合わせた簡易防水小型 PDR センサモジュールを設計、試作する。

加速度、角速度、磁気、気圧の各センサデータを用いて相対移動距離や進行方向を推定する PDR は従来健常者向けに開発されているため、視覚障害者の歩行パターン (例: 白杖や足先等によって前方を確認しつつ歩行) での検証や改良を行う。

前方下向きの障害物検知については、その精度向上のために、PDR から得られる相対運動に基づく LRF の時系列データの安定化機能を開発する。

#### B. 研究開発方法

1. PDR については、まず、簡易防水小型 PDR センサモジュールを設計、試作する。従来は、バッテリーを含むサイズや防水性、消費電力などの点で改善すべき点があった。そこで、本案件ではこれらの要素をかんがみ、新たなセンサモジュールの開発と改良に取り組む。仕様は下記のとおりである。

##### 【センサ】

- ・ 1 軸ジャイロセンサ : XV-3500CB (エプソントヨコム) x 3 軸
- ・ 3 軸加速度センサ : LIS3LV02DQ (ST マイクロ社)
- ・ 3 軸磁気センサ : AK8975 (旭化成エレクトロニクス)
- ・ 気圧センサ : BMP085 (Bosch 社)

- ・ 温度センサ : TMP36 (Analog Devices 社) x 3 個

##### 【RTC】

- ・ RTC モジュール : RX-8564LC (エプソントヨコム)

##### 【省電力通信モジュール】

- ・ RFID リーダ / 通信兼用モジュール : SUC-M100 (杉原 SEI)、IEEE802.15.4 に準拠

##### 【CPU】

- ・ AT91SAM7S256 (Atmel 社) x 2 個

##### 【データ記録】

- ・ MicroSD カード : SPI 通信によってマイコンからのアクセス可能

##### 【電源・電池】

- ・ USB によって給電動作及び内蔵電池充電
- ・ 内蔵電池による 8 時間前後の動作

##### 【その他】

- ・ 簡易防水ケース設計

PDR の視覚障害者の歩行への対応の検証については、実際にいくつかの状況において歩行データを計測して共通性や相違に関して検証する。また、実証実験においてはその相違を、測位結果を用いて確認する。

2. LPDR による障害物検知については、まず、

装着型の視覚障害者歩行支援システムに組み込まれた LRF で装着者前方路面をスキャンし、その凹凸データ及び歩行の妨げとなる障害物検出結果を、視覚障害者歩行支援システムのセンサ統合モジュールに通知するためのソフトウェアを開発する。

LRF は歩行とともに並進したり回転したりするため、それらの運動を打ち消す安定化機能も有する必要がある。安定化機能は、視覚障害者歩行支援システムの PDR のデータを入力として行う。LRF と PDR を用いた障害物検知のデータフローを図 II.3-1 に示す。また、LRF によるレーザの照射イメージを図 II.3-2 に示す。

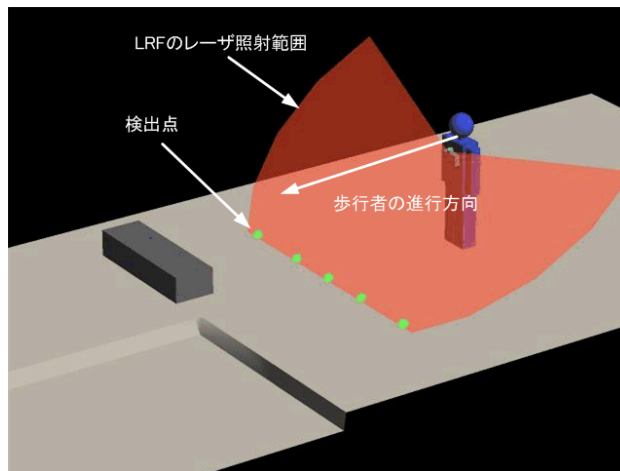


図 II.3-2 LRF によるレーザの照射イメージ

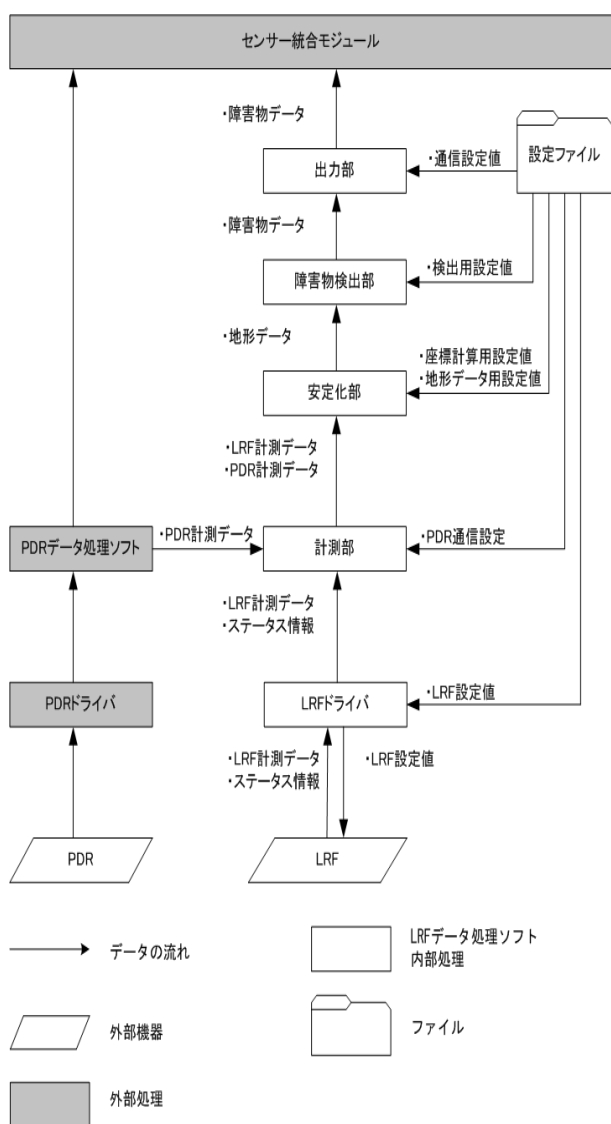


図 II.3-1 LRF と PDR を用いた障害物検知のデータフロー

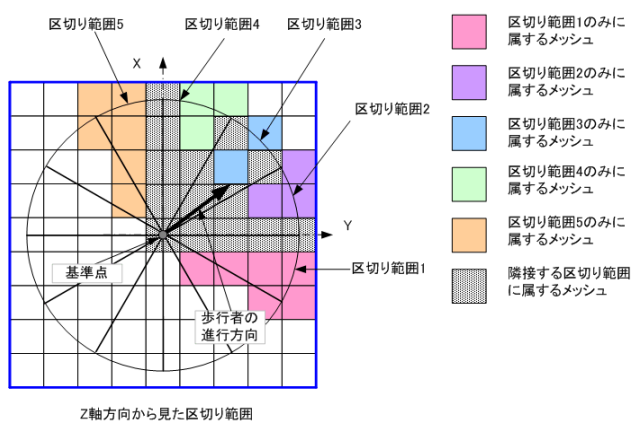


図 II.3-3 円筒座標系での区切り範囲

LRF により得られた検出点は、図 II.3-3 に示すように（実際には 3 次元なので直方体であるが）メッシュ状に離散化して表現し、ユーザを中心とする円筒座標系で扇形の区切り範囲ごとに障害物判定をして、その結果をセンサ統合モジュールに出力する。

安定化部では、PDR から得られる重力方向（鉛直下方向）ベクトルの追跡結果、ジャイロと磁気センサを統合して得られる方位ベクトル、ならびに各軸の加速度情報を用いて、LRF の計測データの安定化処理を行う。ここでは、一度の計測のみの安定化を行う「安定化モード」と、継続して安定化を行い結果を蓄積する「蓄積モード」の 2 種類のモードを開発する。

### C. 研究開発結果

1. PDR については、まず、簡易防水小型 PDR センサモジュールを試作した。図 II.3-4 に示すよ

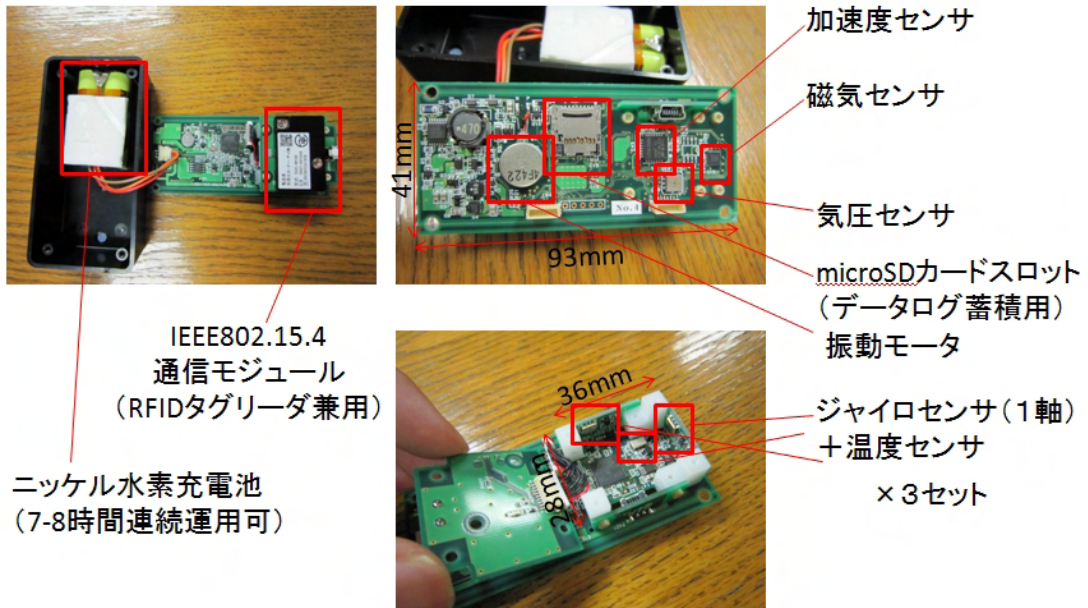


図 II.3-4 簡易防水小型 PDR センサモジュール

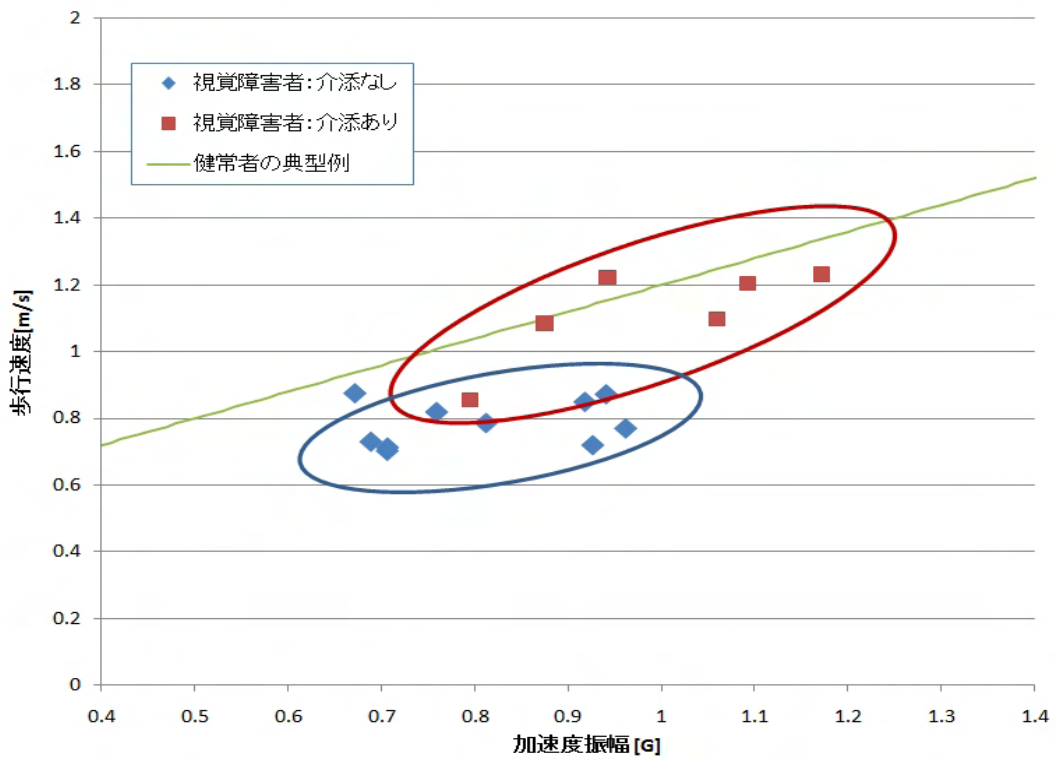


図 II.3-5 歩行速度パラメータの違い



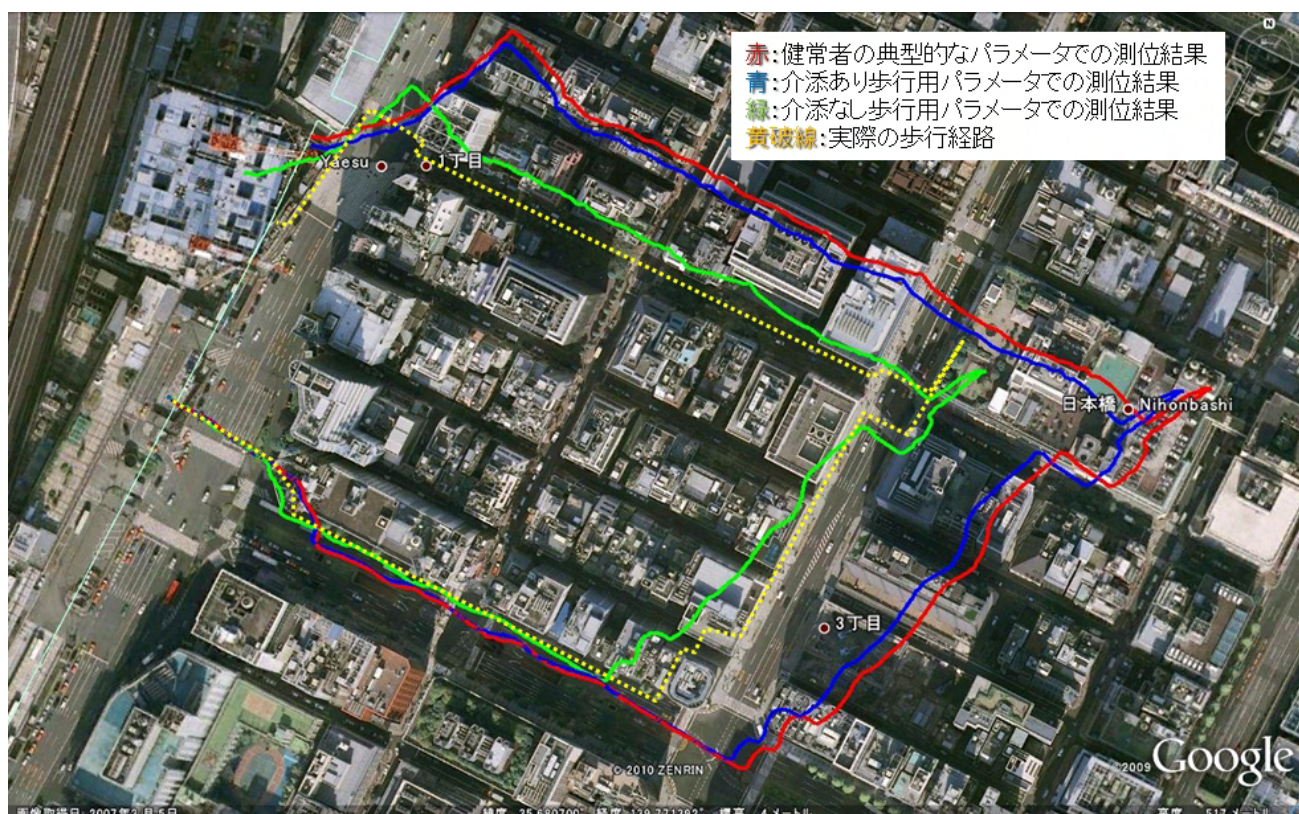


図 II.3-6 歩行速度パラメータと測位結果

うに、ジャイロと温度センサを一対一で配置して、温度補償性能を高める、最低限の出力インターフェースとして振動モータを搭載しているなどの工夫もしている。従来は腰部に装着していた PDR センサを他の装置と共に胸部に装着した場合の検証を行い支障がないことを確認した。

視覚障害者の歩行への対応の検証については、静岡県立大学において、視覚障害者（全盲）の被験者に白杖を使った自立歩行と階段昇降、介添ありの歩行をしていただき、そのデータを解析した。その結果、歩行動作および階段昇降動作の検出アルゴリズムは正しく動作してそれぞれの動作を検出できた。しかしながら、自立歩行についての加速度振幅に基づく歩行速度推定過程においては、健常者向けのパラメータを用いると速度が本来のものより大きく出る傾向が見いだされた。なお、介添ありの歩行については、そのような傾向は見られなかった。

そこで、同じ視覚障害者の被験者に対して、自立歩行時と介添ありの歩行時の速度と加速度振幅をそれぞれ同時に記録して、その二つの変数の関係を詳細に調べた。図 II.3-5 にその結果

を示す。この結果より、まず介添なしの自立歩行については、健常者向けの典型的なパラメータが示す直線と比べて、加速度振幅と速度の分布が下側に大きく逸れていることが分かる。これによって、介添なしの自立歩行時には、健常者向けのパラメータを用いると、速度が本来よりも大きく推定される現象を説明できる。一方で、介添ありの歩行時には、加速度振幅と速度の分布が健常者向けのパラメータによる直線と若干のずれがみられるが概ね近接しており、介添ありの歩行については歩行速度が適切に推定されることを裏付けている。

ここで、介添なしと介添ありのデータ分布に基づいて得られた直線回帰パラメータ、健常者向けの典型的なパラメータを用いて、オフラインで取得したセンサデータ（加速度・ジャイロ・磁気センサのデータ）により PDR による測位計算をそれぞれ行った。その結果を図 II.3-6 に示す。図中で、赤色の軌跡は健常者向けのパラメータを適用して得られた測位結果であり、緑色の軌跡は介添なしの歩行データ分布の直線回帰パラメータを適用して得られた結果、青色の軌



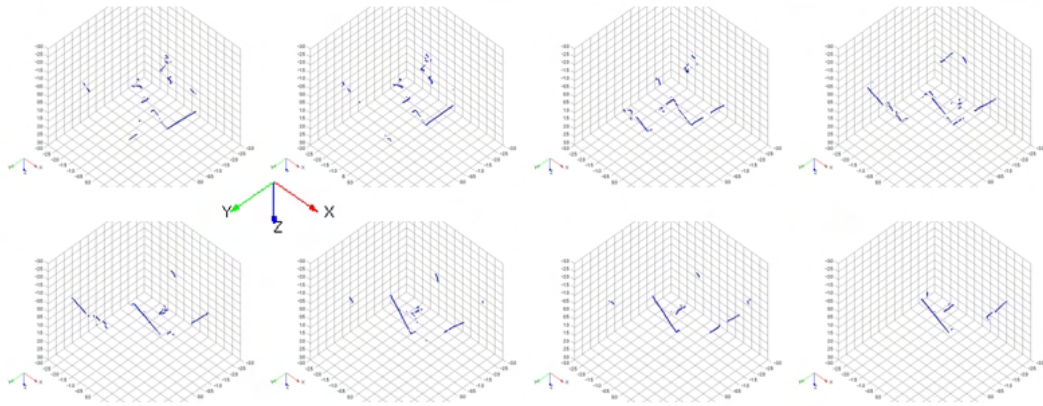
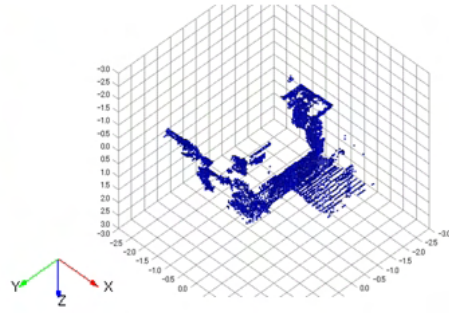


図 II.3-7 平地（左右は障害物）の場合の地形計測結果

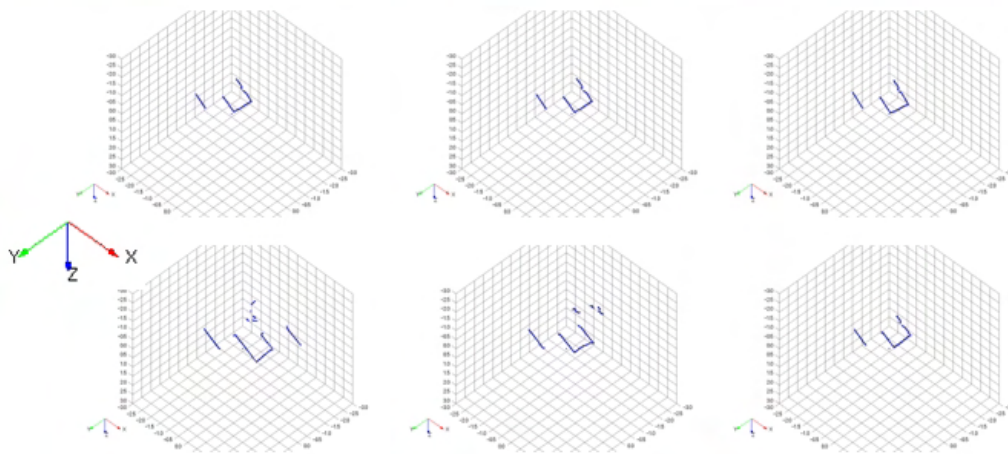
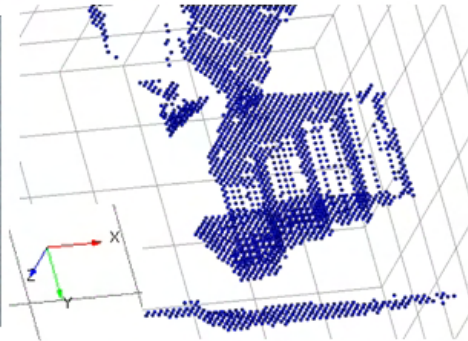


図 II.3-8 上り階段の場合の地形計測検出結果

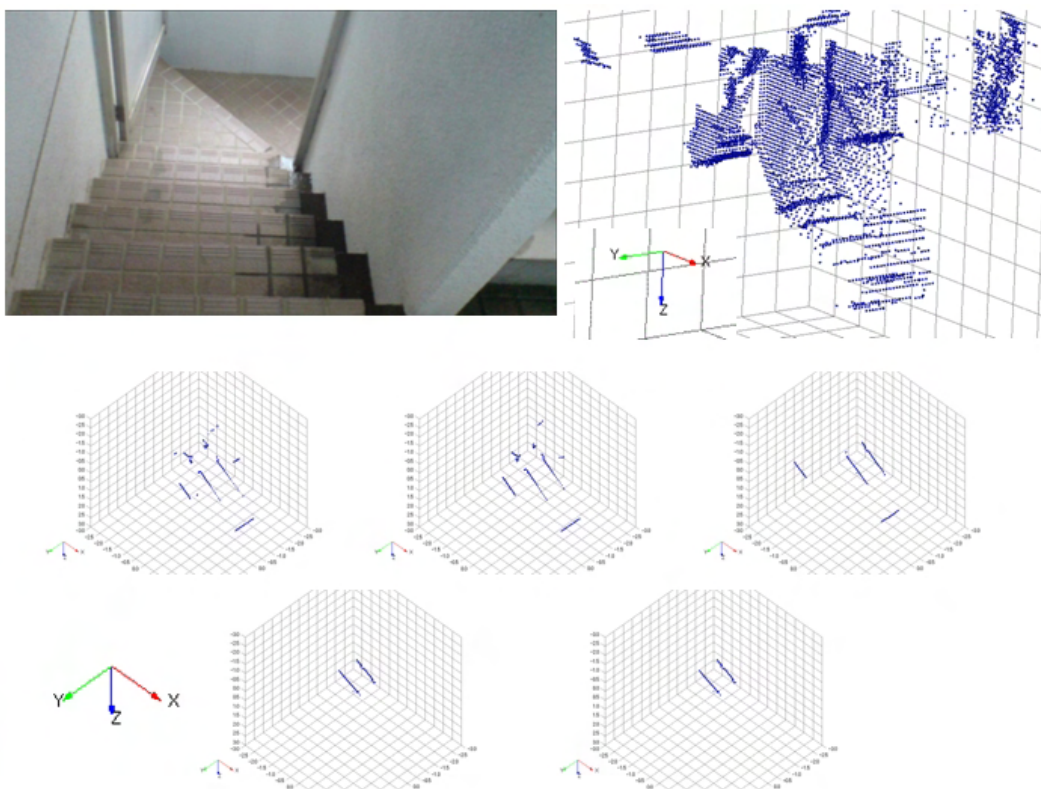


図 II.3-9 下り階段の場合の地形計測結果

跡は介添ありの歩行データ分布の直線回帰パラメータを適用して得られた結果である。このように視覚障害者の介添あり／なし（白杖による自立歩行）の状況を事前を知ることで、健常者だけでなく視覚障害者に対しても同様に PDR は十分に高い測位性能を出せることが示された。また、このような状況によらず、歩行動作・階段昇降動作と姿勢（方位角）推定についても適切に認識・推定できることも分かった。

2. LRF と PDR による障害物検知については、まず、下記の試験条件で予備動作検証を行った。

【試験条件概要】

■試験を行う地形

「平地」（平面の脇に壁あり）、「上り階段」、「下り階段」

■各地形での試験条件

[蓄積モード]

障害物検出角度：60°

歩行者の動作：地形写真に示される地形で

上体を振る

[安定化モード]

障害物検出角度：60°

歩行者の動作：地形写真に示される地形で前進

障害物検出頻度：1秒間に1回

図 II.3-7～9 は、それぞれ、平地、上り階段、下り階段の場合の障害物検出結果を示している。各図の左上部は計測対象環境の写真、右上部は、蓄積モードでの障害物検出結果、下部は安定化モードにおける1秒おきの障害物検出結果である。このように、ユーザの2～3m先の地形を計測できることが確認できた。

このような計測結果に基づいて、ユーザ位置の路面とおおむね同じ高さの路面があるか、凹凸のある可能性があるかを検出することができるかの性能評価を実証コースにおいて実施した。

図 II.3-10～15 は、実証コースやその周囲において障害物検知を行い、その結果を触覚ディスプレイ（音声点字携帯端末の点字ディスプレイ）及び音声によって提示した結果を列挙した

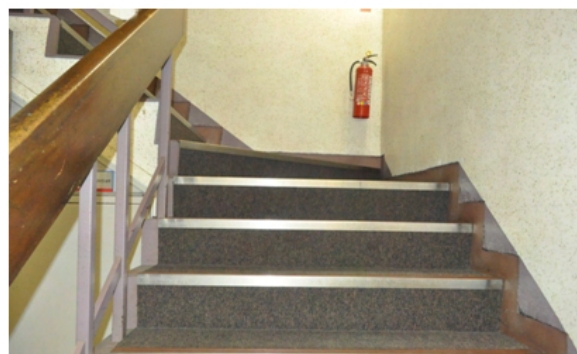


ものである。音声点字携帯端末での提示方法については II.4 を参照されたい。各図の上部は計測対象環境の写真、中央部は触覚ディスプレイでの提示結果、下部は左から、障害物の種類、陥没検知状態の ON/OFF、障害物検知の成功 (○)・一部成功 (△)・失敗 (×)、音声での提示結果を示している。

図に示されるように屋内外での様々な対象に対して検出実験を行い、29 箇所中 24 箇所 (83% の精度) で障害物を検出し、触覚及び音声で結果を提示し、ユーザが認知することができた。

障害物の種類	陥没検知状態	障害物検知	ガイダンス内容
屋内椅子	OFF	○	0.6メートル先 右25度前方に幅0.2メートルの突起があります

障害物の種類	陥没検知状態	障害物検知	ガイダンス内容
屋内下り階段	ON	○	0.0メートル先 正面の方向に幅0.0メートルは転落に注意



障害物の種類	陥没検知状態	障害物検知	ガイダンス内容
屋内上り階段	OFF	○	0.9メートル先 正面の方向に幅0.7メートルの突起があります



障害物の種類	陥没検知状態	障害物検知	ガイダンス内容
歩道段差	OFF	×	(障害物として検知できない)



障害物の種類	陥没検知状態	障害物検知	ガイダンス内容
自転車	OFF	○	0.4メートル先 左20度前方に幅0.1メートルの突起があります

図 II.3-10 実証コースでの障害物検知結果 1





障害物の種類	陥没検知状態	障害物検知	ガイダンス内容
地下鉄入り口	OFF	○	0.9メートル先 左25度前方に幅0.2メートルの突起があります



障害物の種類	陥没検知状態	障害物検知	ガイダンス内容
地下外下り階段	ON	○	0.0メートル先 正面の方向に幅0.0メートルは転落に注意



障害物の種類	陥没検知状態	障害物検知	ガイダンス内容
自転車	OFF	○	0.4メートル先 右20度前方に幅0.1メートルの突起があります



障害物の種類	陥没検知状態	障害物検知	ガイダンス内容
変電機	OFF	○	0.7メートル先 正面の方向に幅0.6メートルの突起があります



障害物の種類	陥没検知状態	障害物検知	ガイダンス内容
吉野屋看板	OFF	○	1.2メートル先 正面の方向に幅0.4メートルの突起があります

図 II.3-11 実証コースでの障害物検知結果 2





障害物の種類	陥没検知状態	障害物検知	ガイダンス内容
ポスト	OFF	○	1.0メートル先 左5度前方に幅0.7メートルの突起があります



障害物の種類	陥没検知状態	障害物検知	ガイダンス内容
信号の柱	OFF	○	0.6メートル先 正面の方向に幅0.2メートルの突起があります



障害物の種類	陥没検知状態	障害物検知	ガイダンス内容
石壁(反射あり)	OFF	×	0.9メートル先 正面の方向に幅0.4メートルの突起があります

壁に映った自分自身を検知？



障害物の種類	陥没検知状態	障害物検知	ガイダンス内容
標識	OFF	○	0.5メートル先 正面の方向に幅0.1メートルの突起があります



障害物の種類	陥没検知状態	障害物検知	ガイダンス内容
街灯の柱	OFF	○	0.5メートル先 正面の方向に幅0.1メートルの突起があります

図 II.3-12 実証コースでの障害物検知結果 3





障害物の種類	陥没検知状態	障害物検知	ガイダンス内容
車(黒光沢)	OFF	×	0.6メートル先正面の方向に幅0.2メートルの突起があります

検知された幅が小さすぎる



障害物の種類	陥没検知状態	障害物検知	ガイダンス内容
ポラード	OFF	○	0.5メートル先正面の方向に幅0.1メートルの突起があります



障害物の種類	陥没検知状態	障害物検知	ガイダンス内容
赤御影石の壁	OFF	○	0.6メートル先正面の方向に幅0.6メートルの突起があります



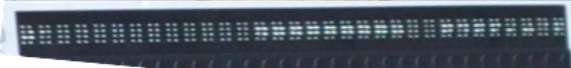
障害物の種類	陥没検知状態	障害物検知	ガイダンス内容
コーンポスト	OFF	○	0.6メートル先正面の方向に幅0.1メートルの突起があります



障害物の種類	陥没検知状態	障害物検知	ガイダンス内容
浅い茂み	OFF	○	1.3メートル先左5度前方に幅0.9メートルの突起があります

図 II.3-13 実証コースでの障害物検知結果 4

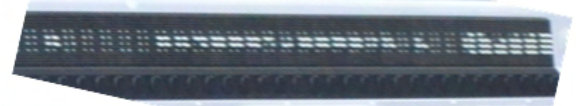




障害物の種類	陥没検知状態	障害物検知	ガイダンス内容
木	OFF	○	0.5メートル先 正面の方向に幅0.1メートルの突起があります

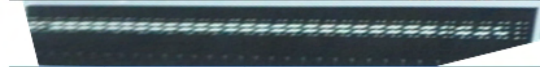


障害物の種類	陥没検知状態	障害物検知	ガイダンス内容
エンタンス柱	OFF	○	0.7メートル先 正面の方向に幅0.7メートルの突起があります



障害物の種類	陥没検知状態	障害物検知	ガイダンス内容
電話ボックス	OFF	△	0.6メートル先 右5度前方に幅0.1メートルの突起があります

ガラス面の幅は検知されず



障害物の種類	陥没検知状態	障害物検知	ガイダンス内容
曇りガラス壁	OFF	△	0.5メートル先 左5度前方に幅0.5メートルの突起があります

ガラスに映った自分自身を検知



障害物の種類	陥没検知状態	障害物検知	ガイダンス内容
透明ガラス壁	OFF	×	(障害物として検知できない)

図 II.3-14 実証コースでの障害物検知結果 5



障害物の種類	陥没検知状態	障害物検知	ガイダンス内容
チェーン用柱	OFF	○	0.6メートル先 正面の方向に幅0.1メートルの突起があります 1.5メートル先 左20度前方に幅0.2メートルの突起があります

2箇所の障害物を同時に検知



障害物の種類	陥没検知状態	障害物検知	ガイダンス内容
街灯の柱	OFF	○	0.5メートル先 正面の方向に幅0.2メートルの突起があります

図 II.3-15 実証コースでの障害物検知結果 6

#### D. 考察

1. PDR についてはおおむね良好な結果を得ることができたが、PDR のハードウェアについては、さらなる小型軽量化、低コスト化が求められる。また、手法については、PDR センサモジュール内蔵の各センサのキャリブレーションやユーザごとの歩行パラメータのキャリブレーションの簡易化等が課題である。

PDR の視覚障害者対応に関しては、視覚障害者が置かれている状況を適宜取得する仕組み（たとえば機械学習による状況把握や利用者によるインタラクションなど）を導入することによって、視覚障害者にとってより広範囲な状況下で利用可能な自立歩行支援システムが構築できると期待される。

2. LRF による障害物検知についても主観評価を含め比較的よい結果が得られたが、各センサの非同期処理を考慮して PDR による重力方向追跡等に基づく LRF 情報の安定化性能を向上させ、LRF 情報履歴を用いた地形判定能力を高めることが課題の1つである。

また、LRF を小型軽量のものにしたため、レーザー光の出力が十分ではなく、日射のある屋外の黒いアスファルト等の路面では S/N 比が極端に悪くなるため、路面が欠落しているのか反射していないのかの判別がつかない。ハードウェア開発以外でのこの課題の解決方法としては、例えば、レーザー光の照射範囲を制限する代わりに1箇所辺りの S/N 比を上げるようなレーザー制御法の導入が考えられる。

#### E. 結論

PDR については、まず、簡易防水小型 PDR センサモジュールを試作し、実証コースにおいて、おおむね良好な結果を得た。従来は腰部に装着していたセンサを他の装置と共に胸部に装着した場合の検証、さらに、視覚障害者の歩行パターンが PDR アルゴリズムに適用可能かを石川代表を被験者として検証し、歩行動作推定パラメータの変更で対応できることがわかった。

LRF による障害物検知に関しては、PDR による重力方向追跡等に基づく LRF 情報の安定化機能を開発した。2~3m 前方の路面の障害物検知を行い、ユーザ位置の路面とおおむね同じ



高さの路面があるか、凹凸している可能性があるかを検出することができるかの性能評価を行い、83% (29箇所中 24 箇所) で障害物を検出し、端末に提示し、ユーザが認知) の精度が得られた。

## F. 研究発表

### 1. 学会発表

・ M. Kourogi, T. Ishikawa, Y., J. Ishikawa, K. Aoki, and T. Kurata, Pedestrian Dead Reckoning and its applications, In Proc. ISMAR2009 Workshop: Let's Go Out: Research in Outdoor Mixed and Augmented Reality,  
[http://www.icg.tugraz.at/News/outdoor\\_ar](http://www.icg.tugraz.at/News/outdoor_ar)  
(2009).

# 障害者自立支援機器等研究開発プロジェクト

## 分担研究報告書

### 4. センサ統合と携帯端末ユーザインタフェースに関する研究

研究分担者 静岡県立大学 石川准、湯瀬裕昭

#### 研究要旨

画像認識、歩行者デッドレコニング、GPS、プレースエンジン、マップマッチング等を統合する「センサ統合技術」を開発した。また音声点字携帯端末上での歩行ナビゲーション情報と障害物検知情報の効果的提示方法を開発した。統合システム実証実験、統合システムモニタ実験を実施し定量的および定性的な性能評価、操作性評価を行った。

#### A. 研究開発目的

高マルチパス環境及び地下街で高精度の視覚障害者歩行支援を実現するために、画像認識、歩行者デッドレコニング、GPS、プレースエンジン、マップマッチング等を統合する「センサ統合技術」を開発する。

また音声点字携帯端末上での歩行ナビゲーション情報と障害物検知情報の効果的提示方法を開発する。

#### B. 研究開発方法

##### ■ 対象センサ

以下の各センサを統合の対象とした。

- ・GPS センサ
- ・プレースエンジンセンサ
- ・デッドレコニングセンサ
- ・シーンベース画像センサ
- ・ランドマークベース画像センサ
- ・RFID センサ
- ・画像障害物検知センサ
- ・LRF 障害物検知センサ
- ・仮想センサ

##### ■ 各センサの特性

各センサの特性は以下の通りである。

##### ◆ GPS センサ

人工衛星を用いる位置情報の測位が可能。地下街や屋内などの人工衛星の電波が届かない場所では利用できない。測位可能な情報は次の通

り。

- ・経度・緯度情報
- ・高度情報
- ・移動速度情報
- ・方位情報
- ・PDOP, HDOP 等の誤差情報
- ・衛星数, 各衛星電波の SN 比, 各衛星の仰角
- ・時刻情報
- ・測定できたかどうかの有無

##### ◆ プレースエンジンセンサ

無線 LAN(WiFi)の電波を受信し位置推定を行う。測位可能な情報は次の通り。

- ・経度・緯度情報
- ・測定できたかどうかの有無

##### ◆ デッドレコニングセンサ

PDR には磁気センサ、加速度センサ、ジャイロセンサ、気圧センサが内蔵されており、PDR からの情報を取得する。

緯度・経度の位置情報の取得には、外部からの現在位置情報の付与(キャリブレーション)が必須である。測位可能な情報は次の通り。

- ・経度・緯度情報
- ・方位情報
- ・気圧情報
- ・誤差情報
- ・測定できたかどうかの有無

#### ◆ シーンベース画像センサ

シーン画像データベースと撮影画像とマッチングし、撮影位置情報を取得する。測位可能な情報は次の通り。

- ・経度・緯度情報
- ・方位情報
- ・測定できたかどうかの有無

#### ◆ ランドマーク画像センサ

ランドマークとして登録されている画像情報と撮影画像をマッチングし、撮影位置情報を取得する。測位可能な情報は次の通り。

- ・経度・緯度情報
- ・方位情報
- ・ランドマークまでの距離,角度
- ・ランドマークの名称
- ・測定できたかどうかの有無

#### ◆ RFID センサ

PDR に内蔵されているアクティブタグセンサの情報を取得する。PDR からは次の情報が取得できる。

- ・タグ ID
- ・タグまでの推定距離
- ・タグの信号強度
- ・測定できたかどうかの有無

タグ ID 情報を元に統合センサの内部に持つタグデータベースを検索し、検出されたタグの地点情報(経度・緯度)を取得する。

#### ◆ 画像障害物検知センサ

2 枚の連続する撮影画像を元に障害物検知を行う。画像障害物検知センサより取得できる情報は次の通り。

- ・障害物までの距離
- ・障害物の方向、角度
- ・障害物の横方向、縦方向の大きさ
- ・測定できたかどうかの有無

#### ◆ LRF 障害物検知センサ

レーザーを用いて、下方向の障害物を検知する。障害物は地面からの突起および地面の消失の 2 種類の検知を行う。LRF 障害物検知センサより取得できる情報は次の通り。

- ・障害物までの距離
- ・障害物の角度
- ・障害物の形式(突起, 窪み)
- ・測定できたかどうかの有無

#### ◆ 仮想センサ

手動による位置情報の付与機能を仮想センサという形で実現している。仮想センサより取得できる情報は次の通り。

- ・経度・緯度情報
- ・方位情報
- ・移動速度
- ・各誤差情報
- ・測定できたかどうかの有無

#### ■ センサ統合処理のロジック

センサ統合処理は以下のように組み立てた。

センサ統合処理は複数のセンサ情報を集約し、最も正確と考えられる位置情報を取得する処理である。

センサ統合処理は 1 秒おきにくりかえし実行され、利用者の現在位置の提示に用いられる。センサ統合処理は大きく次の 3 つの処理を行う。

- ・センサ情報の集計
- ・マップマッチング
- ・デッドレコニングセンサに対する位置補正

また、画像センサに対する参照位置の提示もセンサ統合処理の 1 つとして行っている。

#### ◆ センサ情報の集計

位置情報を扱う各センサからは次の情報が取得できる。

- ・経度・緯度情報
- ・高度情報
- ・方位情報

- ・移動速度情報
- ・各誤差情報
- ・各測定値が得られたかどうかの有無

なお特性上、誤差情報が得られないセンサについては固定値を与える。

センサ統合処理では、経度・緯度情報、高度情報、方位情報、移動速度情報の4つの計測要素について、その計測要素を取得できるセンサの測定結果を集計し、この中から測定結果が得られかつ最も誤差情報が少ない結果を統合センサの統合結果とする。

#### ◆ マップマッチング

統合センサの位置情報に関する統合結果は、その後マップマッチング処理を行い、現在位置を推定する。歩行中と道案内中ではマップマッチングは異なる次のようなロジックで動作する。

##### ・歩行中

歩行中は単純な道路のメッシュデータに対するマッチング処理を行う。

##### ・道案内中

道案内中は道案内の経路を優先する方法でマップマッチングを行う。道案内ルートに対する優先度は優先範囲の距離を指定する。

実験の結果 20～30メートルを道案内ルート優先とするのが最も良いマップマッチング結果が得られている。

#### ◆ デッドレコニングセンサに対する位置・方位補正

デッドレコニングセンサは、基準位置情報を与えない限り、緯度・経度の情報が得られない。センサ統合処理ではデッドレコニングセンサに対して、自動的に基準位置情報の付与を行う。

さらにデッドレコニングセンサで計測された誤差情報よりも誤差の小さい計測結果がセンサ統合処理によって得られた場合には、新たな緯度・経度、方位を統合センサ側からデッドレコニングセンサに伝え、新たなデッドレコニングセンサの基準位置として動作させる。

なお、実験の結果、デッドレコニングセンサに対する位置補正はマップマッチング前の値を使用する方が良い結果が得られることが判っている。

#### ◆ 画像センサに対する参照位置の提示

ランドマークベースおよびシーンベース画像センサは、それぞれ画像データベースから、撮影画像に最も近い画像を検索する。この際、検索範囲をあらかじめ絞り込むことで計算処理の軽減が行える。

センサ統合モジュールから、ランドマークベース画像センサおよびシーンベース画像センサを呼び出す際には、直前のセンサ統合処理で得られた位置および方位情報を画像センサに渡し、画像センサ側はこの位置情報を元にして検索範囲の絞り込みを行う。

#### ■ 開発モジュール、サーバ、クライアント

##### ◆ ナビゲーション用モジュール

Windows PC と WinCE で動作する以下のナビゲーション用モジュールを開発した。

- ・ルート検索モジュール
- ・ルート案内モジュール
- ・仮想歩行モジュール
- ・マップマッチングモジュール
- ・住所検索モジュール
- ・施設検索モジュール
- ・電話番号検索モジュール

##### ◆ 統合サーバアプリケーション

PC で動作する以下の統合サーバアプリケーションを開発した。

- ・センサ情報集計機能
- ・マップマッチング機能
- ・デッドレコニングセンサに対する位置補正機能
- ・ルート検索、ルート案内、施設検索、方位確認、仮想歩行等のユーザインタフェース
- ・音声点字携帯端末との通信機能
- ・カスタマイズ機能
- ・ログ作成機能



◆ クライアントアプリケーション

音声点字携帯端末上で動作する以下のクライアントアプリケーションを開発した。

- ・ルート検索操作と検索情報提示
- ・ルート案内操作と案内情報提示
- ・施設検索操作と検索情報提示
- ・方位確認操作と情報提示
- ・障害物検知操作と検知情報提示
- ・仮想歩行操作と情報提示

■ 音声点字端末での情報提示方法

◆ ルート検索

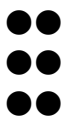
- ・出発地から目的地まで分岐点単位でリスト表示する。
- ・現在位置からルート上のスタート地点までの方位と距離を提示する。
- ・ルート上のゴール地点から指定された目的地までの方位と距離を提示する。

◆ 歩行中のルートガイダンス

- ・次分岐点の絶対方位、次分岐点までの距離、次分岐点の種類、次分岐方向、道路の傾斜の順に提示する。  
例：北東方向60メートル先、4叉路の分岐点を右折します。道は上りです。
- ・分岐点は、4叉路、T字路、Y字路、左3叉路、右3叉路のように区別する。
- ・ルート登場、分岐点接近、分岐点通過、目的地到着、ルートからの離脱、ルート逆送を示す効果オンを提示する。
- ・アルファベット1文字のホットキーにより付近の施設、方向、目的地の方向と距離、次分岐点の方向と距離、住所、補足衛星数、測位の信頼度等提示する。

◆ 障害物情報の点字ディスプレイ上の表示方法

点字は計6個の点を使って1文字を表現する。



障害物情報は点字ディスプレイ上に次のように提示する。

・ LRF 突起物



・ LRF 陥没



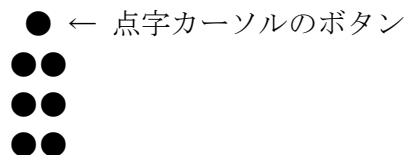
・ 画像障害物



点字 PDA (ブレイルセンスプラス) は 32 マス分の点字セルがある。これを、前方 60 度の範囲角の検出結果に対応させる。たとえば、正面 -10 度 ~ +10 度の範囲に障害物が検知されると、20 度の範囲なので、点字セルの中央の 10 セル分に、障害物を示す点字が表示される。

障害物が見つかり、効果音の後に「障害物が見つかりました」という音声とともに点字による障害物情報が表示される。

各点字セルの真上には、押しボタンが用意されており、これを点字カーソルと呼ぶ。



障害物が検知された際に、各障害物(複数の障害物が見つかることもある)を示している点字の真上の点字カーソルのボタンを押すと、その障害物に関する詳しい情報が音声でレポートされる。

突起物検知の例

1.3 メートル先 左 5 度前方に幅 0.9 メートルの突起があります

障害物情報は、音声点字端末のスペースキーを押すことで、通常のガイダンス内容の情報提

示に切り替わる。

#### ◆ 音声合成の情報提示方法

研究に利用した音声点字端末にはスピーカが内蔵されている。しかしボリュームを最大にしても、今回実験に利用した場所では環境雑音にかき消され端末音声の聞き取りが不可能であった。

一方、イヤホンや骨伝導イヤホンによる利用は、利用者が他の周辺の音情報が聞き取りにくくなり安全面で問題がある。エコーロケーションを利用して歩行する視覚障害者にとっては周囲の音情報の聞こえ方が変わってしまう問題は、非常に深刻である。

そこで、肩に取り付けたスピーカを通じて、音声点字端末からの音声情報を流す工夫をおこなった。モニタ被験者からは、この方法が一番負担が少ない旨のコメントが得られた。

#### ■ 実証実験、モニタ実験

##### ◆ 実験機の試作

- 筑波大学と共同で音声点字端末、カメラ、LRF、PDR を装着するハーネスを試作した。各種機器を装着した状態のハーネスを図Ⅱ.4-1 に示す。
- 音声点字端末な計算処理能力が非力であるため画像認識等の計算負荷に耐えられないため、PC 上に統合サーバを構築し、各センサの計算処理はすべて PC で行い、音声点字端末にはユーザインタフェースのみ実装した。
- PC は背中に背負うリュックに格納する形式とした。
- PC と端末の ad hoc 通信機能等音声点字携帯端末のファームウェアの改良を行った。



図Ⅱ.4-1 ハーネス

#### ◆ 地図データの整備

各社よりライセンスされるカーナビ等で利用されている車用地図データは、情報のきめ細かさの点で歩行支援には向かない。

一方、歩行者用地図データは現在整備が進行中である。

今回、本システムのために、八重洲地下街地下1階および東京駅構内地下1階、2階、3階の歩行者用の地図データの整備を行った。

駅構内の歩行者用地図データは改札内も含み、通路、階段、エスカレーター、エレベーター、男性トイレ、女性トイレ、男女トイレ、バリアフリー対応トイレ、ロッカー、券売機、みどりの窓口、改札口、コンビニ、キオスク等の情報も整備した。また、従来の地図形式では地下の階数の区別を行うことができなかつたため、新たに地下や地上の階数を区別する地図データ形式の拡張を行い、階数の区別を経路検索に反映させる拡張も行った。

さらに、昭文社およびゼンリンの地図データのライセンス提供を受け、2つの歩行者用地図情報の違いについても実験コースを中心に調査をおこない、歩行支援システムの基礎データとしての妥当性についての評価を行った。また画像データベース入力支援システムで用いる地下街背景図も整備した。

#### ◆ 実験コース

本研究では GPS が使えない地下街や、GPS

の測位結果に大きな誤差が生じる高マルチパス環境でも利用できる視覚障害者向け歩行支援システムを開発するのが目的である。

実証実験コースについては、両方の要素を合わせ持つ歩行コースを選定し、実際に実証実験、モニタ実験で利用した。図II.4-2に実験コースの概要を示す。

実験コースは、東京駅近くの八重洲地下街の地下1階を出発地点とし約250m地下街を歩く。地下街は音響反射が混合し全体に拡散するため、視覚障害者には道路と店舗と壁の区別すら難しい最も歩きづらい場所である。

次に、中央通りの付近で地下街から地上に出て、高島屋日本橋店まで約250mのビル街を歩く。中央通りとさくら通りの交差点付近から高島屋日本橋店付近にかけては激しいマルチパスが発生し、GPSの測位結果が非常に悪い。また看板は少なく、街並はこれといった特徴の少ないオフィス街であり画像認識の難しい区間である。

最後に、高島屋日本橋店からさくら通りを通り、東京駅八重洲北口までの約300mを歩く。さくら通りは雑居ビルが多く建ち並び、店舗が密集した地域で、車道は一方通行で、歩道も歩きづらい。また、東京駅寄りにグラントウキューウノースタワーや丸の内トラストタワーのような高層ビルが立ち並ぶため、さくら通りはGPSの測位結果が大きくずれることが多い。



図II.4-2 実験コースの概要



実験コースの測位環境の劣悪さは、図Ⅱ.4-3、  
 図Ⅱ.4-4、図Ⅱ.4-5の2月20日実証実験のログに  
 示されている。図中の赤線はGPSの測位データ、

青線はPlaceEngineの測位データ、黄緑線はRFID  
 受信データである。



図Ⅱ.4-3 測位データログ 1



図Ⅱ.4-4 測位データログ 2





図Ⅱ.4-5 測位データログ 3

以上のように実験コースは特性の異なる3つのコースを含んでおり、それぞれGPSを用いた歩行支援システムとしては最難関の条件となる。本研究では、あえてこの最難関コースを実験コースとして選び、複数のセンサによる統合処理でいかに最難関コースを克服できるかを研究課題とした。

#### ◆ 実験方法

##### ● 実証実験

- ・研究者が被験者となり実験コースを試作器を装着して歩く。
- ・同時に端末の挙動と案内情報をモニタする。
- ・別の研究者がサーバと各センサの挙動をモニタする。
- ・ビデオカメラで歩行の様子を撮影する。
- ・ICレコーダで被験者のコメントを録音する。
- ・すべてのセンサ情報をログに保存する。

##### ● モニタ実験

- ・コースの説明等必要な手順を踏んで、視覚障害者の被験者に実験コースを試作器を装着して歩いてもらう。
- ・実験ごとに実験責任者が実験を監督し、実験

に同行する。

- ・安全確認のための補助員を2名配置する。
- ・ビデオカメラで歩行の様子を撮影する。
- ・ICレコーダで被験者のコメントを録音する。
- ・すべてのセンサ情報をログに保存する。

#### ◆ 実験の日程と目的

センサ統合とユーザインタフェースの性能評価のための実証実験と統合モニタ実験を下記のように実施した。

- 2月20日(土) 実証実験1回目 実験コース3回歩行 目的:各センサの結合テスト
- 2月26日(金) 実証実験2回目 実験コース2回歩行 目的:各センサの結合テスト
- 3月6日(土) 統合モニタ実験1回目 実験コース3回歩行 目的:被験者によるモニタ実験
- 3月12日(金) プレ実験 実験コース1回歩行 目的:マップマッチングのテスト
- 3月19日(金) プレ実験 実験コース3回歩行 目的:各センサ精度向上確認
- 3月20日(土) 実証実験3回目 実験コース6回歩行 目的:各センサ精度向上確認
- 3月30日(火) プレ実験 駒込周辺 目的:LRF

の障害物検知動作の確認

- 4月1日(木) プレ実験 実験コース5回歩行 目的:各センサ、マップマッチングの精度向上確認
- 4月2日(金) プレ実験 実験コース3回歩行 目的:各センサ、マップマッチングの精度向上確認
- 4月3日(土) 統合モニタ実験2回目 実験コース5回歩行 目的:被験者によるモニタ実験

(倫理面への配慮)

システム評価のために東京駅八重洲地下街、中央通り、さくら通りにて統合モニタ実験(2回、のべ10人)を行った。統合モニタ実験の様子を図II.4-6と図II.4-7に示す。この統合モニタ実験を行うために、静岡県立大学内の研究倫理審査委員会に『センサ統合による日常利用可能な屋内外視覚障害者歩行支援システムの実証実験』についての研究倫理審査申請を行い、承認を受けた。



図II.4-6 地下街での統合モニタ実験の様子



図II.4-7 地上での統合モニタ実験の様子



モニタ実験においては研究倫理審査申請書中のモニタ評価の倫理面等に関するすべての事項を厳格に遵守した。

研究倫理審査申請書中のモニタ評価の倫理面等に関する事項は下記である。

(1)研究等の対象となる個人の人権の擁護、プライバシーの保全及び福祉の向上

- ・研究参加前に十分なインフォームドコンセントを行い、文書による同意を得てから実証実験を行う。
- ・実証実験の際に撮影したビデオや音声の記録データについては、厳重に管理し、個人情報外部に漏れないようにし、プライバシー確保に細心の注意を払う。
- ・個人情報の保護に関する法律（平成 17 年 3 月）に基づき、厳重に個人情報を取り扱う。

(2)対象者への研究の目的、内容、方法、起りうる危険ならびに必然的に伴う不快な状態への十分な説明、ならびにその理解と同意

- ・被験者に対しては、実証実験の実施前に、本研究の説明文書及び同意書を渡す。
- ・被験者に対して十分な説明を行い、被験者からの質問に対して被験者が納得できるよう返答を行う。
- ・被験者本人が実証実験の内容をよく理解したことを確認した上で、実証実験への参加について自由意志による同意を文書で得る。

(3)研究等によって生ずる当該個人への不利益及び危険性の予測

- ・実証実験の際には、被験者に必ず実験補助者が同行し、歩行している被験者の安全確保に努める。
- ・実験補助者に対して、事前に被験者の安全確保についての講習会を行う。
- ・実証実験前に実験リハーサルを行う。実証実験に関しては、歩行訓練士の専門的助言を得る。
- ・被験者が怪我をした場合には、速やかに医療機関での手当を行うなどの対処を行う。

### C. 研究開発結果

GPS とマップマッチングだけでは正しいナビゲーションがほぼ不可能な激しい高マルチパス環境でも、本プロジェクトのセンサ統合システムは、実証実験を重ねていって改良した結果、ほぼ正しいナビゲーションを提供できるようになった。開発したセンサ統合システムの構成図を図 II.4-8 に示す。

本統合システムは多くの障害物を検知できるようになったが、処理速度の面に課題が残った。また音声点字携帯情報端末の操作方法とナビゲーションと障害物検知情報の提示方法については大方の被験者に支持された。

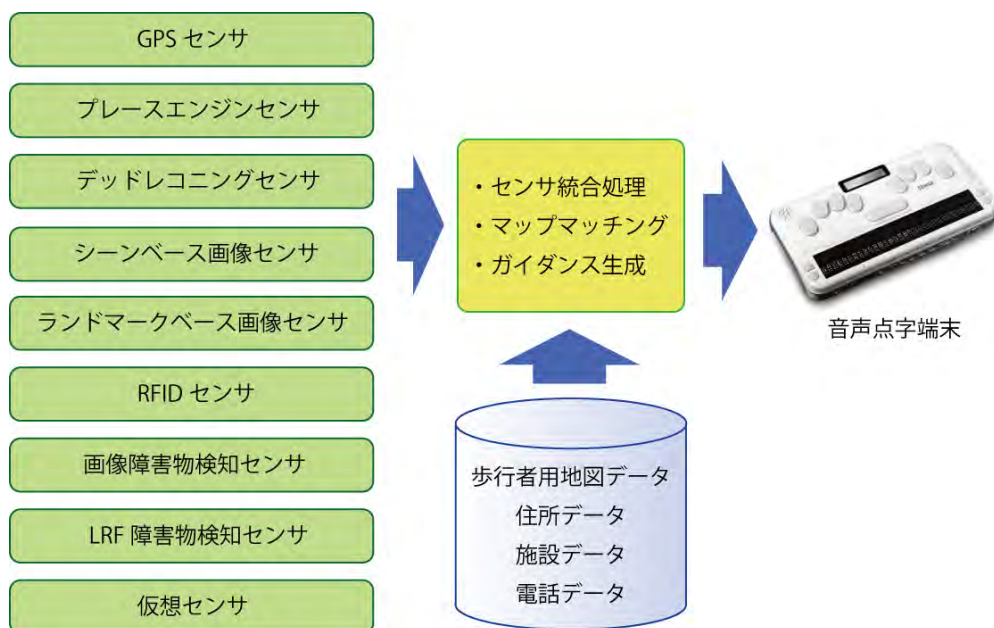


図 II.4-8 システム構成図

モニタ実験のグループディスカッションから次のコメントを得た。

- ・GPS ナビで生活が変わった。やっと欲しい道具が手に入った。
- ・ナビゲーション情報は市販のGPS ナビより充実している。
- ・信号機があるかどうかかわかるとよい。
- ・人に道を尋ねることへの抵抗感是人により異なる。
- ・障害物検知の最終目的は、白杖に変わるもの。
- ・物よりも人にぶつかりたくない。
- ・市販の障害物検知用具には不満がある。
- ・エコーロケーション能力の個人差は大きい。
- ・エコーロケーションができない人は歩数をカウントする。
- ・ナビゲーション情報の提示方法や仮想歩行を改良すればもっと楽しくなる。便利になる。
- ・だれにでも使えるようにしようとしてだれにも使えないものを作るのでなく、利用者のターゲットを絞り込むという開発思想を指示する。

#### D. 考察

画像データが未整備で画像センサが利用できない場所では、ある程度はGPSを使わなければならない。センサ統合の最大の問題は、GPSセンサの測位情報の信頼度が不明なことである。これが解決しなければ、GPSの情報とPDRの情報のどちらを採用すべきかの判断を誤る危険は軽減されない。GPS情報とPDR情報の照合によるGPS高マルチパス推定技術を開発する必要がある。

現状では画像処理は計算機への負荷が大きいため、断続的にしか実行できないという課題がある。実証実験とモニタ実験で用いた計算機では、他タスクへの負荷を配慮して、シーンベースとランドマークベースの画像認識は10秒に一度実行する設定とした。そのため実証実験、モニタ実験におけるランドマーク検出は本来の性能を下回った。画像系の2つのセンサのさらなる最適化や処理内容の軽減が課題である。

障害物検知に関しては、LRFセンサは1秒おき、画像障害物センサは4秒おきに検知を行う設定とした。このため音声点字端末に障害物の検出結果が報告されるのは最短でも1秒後となる。

画像障害物センサは処理に時間がかかるため5mから10m先の障害物検出に向いている。いかにすれば至近距離の障害物検出には使えない。LRFは取り付け角度にもよるが、おおむね約1.5m先までの障害物の検出が可能である。利用者の歩く速度を秒速1mとすると、障害物の発見から、検出結果の報告まで1秒かかるということは、残りの0.5秒の間に障害物を回避しなければならないことになる。しかし1秒に1回というのはLRFセンサの処理能力の限界ではなく試作器の設計による制約であり、LRFセンサは障害物検知には有望な技術であるので、システムの改良により検出結果報告の遅延を最小に抑えるのが1つの課題である。また試作機で用いたLRFセンサの陥没検知は、黒いアスファルトの道などを陥没と誤認する。現在は、陥没検知のオン・オフを利用者が手動で切り替えられるようにし、誤認の多い場所ではオフにして利用する方法で対処している。この課題の解決方法としては、例えば、1箇所辺りのS/N比を上げるようなレーザ制御法の導入などが考えられる。

#### E. 結論

実証実験とモニタ実験ではセンサ統合システムはほぼ正しいナビゲーションを提供できた。しかしGPSセンサの測位情報の信頼度を推定できなければ、センサ統合によりつねにより正しい測位情報を提示できる保証はない。センサ統合の精度向上にはマルチパス検出技術が不可欠である。

モニタ実験のグループディスカッションから視覚障害者の障害物検知への高い期待を知ることができた。障害物検知技術は画像、LRFともになお課題が残されているが、とくにLRFは、特性上の制約はあるが、処理の速さと情報の精度から、近距離の障害物検知技術として有望といえる。

音声点字携帯情報端末へのナビゲーション情報と障害物検知情報を有効に提示する方法を考案できた。とはいえ利用者の特性は多様であり、情報提示は多様な形式に対応する必要がある。モニタ実験から多くの知見を得た。とくにグループディスカッションからは多くのことを学んだ。視覚障害者はある決められた場所を安全に



歩ければそれでよいと考えているわけではない。  
自由に歩きたい、楽しく歩きたいと望んでいる。  
歩行支援技術はそのような希望に応える技術で  
なければならない。

# 障害者自立支援機器等研究開発プロジェクト

## 分担研究報告書

### 5. 共創的枠組みによる画像データベース整備及び測位誤差評価

研究分担者 産業技術総合研究所 蔵田武志、興梠正克

**研究要旨** 画像データベース整備コストを、共創の概念に基づいて視覚障害者だけではなく健常者等と分散できるような枠組みを導入するために、画像登録支援ツールを開発する。また、本プロジェクトで開発する視覚障害者歩行支援システムの測位誤差評価を行う。

#### A. 研究開発目的

画像中の看板、横断歩道等を対象とするランドマークベース画像認識と、画像全体を対象とするシーンベース画像認識を組み合わせた位置方位推定技術を実現するためには、画像データベース(DB)が必要となる。共創の概念に基づき、その整備コストを視覚障害者だけではなく健常者等と分散できるような枠組みを導入するために、画像登録支援ツールを開発する。

また、本プロジェクトで開発する視覚障害者歩行支援システムの測位誤差評価を、屋内外を含む実証ルートで行う。

#### B. 研究開発方法

1. 画像 DB 整備については、まず、図 II.5-1 に示すように、サーバ側の画像 DB とクライアント PC 側の画像登録支援ツールからなる画像 DB 整備のための枠組みを開発し、その運用を通じて、本プロジェクト内で画像 DB を整備する。画像登録支援ツールは、画像(デジタルカメラで撮影、インターネット上から入手等)に、その撮影位置や方位などの属性を付加してデータベースに登録する作業を支援する。図 II.5-2 に、画像 DB への画像登録時の処理フローを示す。

GUI は図 II.5-3 のように、ログイン画面でユーザ ID とパスワードを入力するとスタートメニュー画面が表示され、新規登録画面、編集画面、地点名登録画面、ユーザ管理画面へと遷移する。

スタートメニュー画面にて「新規登録」ボタンを選択すると、図 II.5-4 の①のように新規登録画面に遷移する。新規登録画面では、フォルダ選択にて画像、ATT ファイルを取り込むと②のよ

うに登録画像一覧、ATT ファイルの反映、写真読込みを行う。次に、図 II.5-5 の③のように地点名を選択し、フォーカスを移動すると、地点名登録にて事前に登録した地点の位置の地図が表示される。

画像のポイント位置(撮影位置)や方向を変更する場合は、④のように「変更」ボタンを選択し、地図内位置を選択後、地図内をドラッグすることで、矢印にて画像ポイント位置、方向の変更表示を行うことができる。また、変更された緯度経度や方位は、属性情報へ反映される。

図 II.5-6 の⑤のように「ランドマーク 1」タブを選択するとランドマークを簡易に登録したい場合の属性の入力ができ、⑥のように「ランドマーク 2」タブを選択するとより詳細なランドマークの属性を登録することができる。

図 II.5-7 の⑦のように「マスク」ボタンを選択すると、マスキング処理画面が表示される。マスキング処理画面にてマスク点列位置を指示し、サーバにてマスク画面を作成するためのマスク点列ファイルを作成する。

⑧のように「送信」ボタンを選択すると、画像データ DB サーバへ ATT ファイル用属性情報、マスク点列ファイル(ランドマークのみ)を送信し、ネットワークにて連結している PC 内シーン特徴データ登録ソフトウェア、ランドマーク特徴データ登録ソフトウェアにて、特徴点確認画像を作成する。

図 II.5-8 は、シーン画像登録のための属性入力部の拡大図、図 II.5-9 は、ランドマーク画像登録のための属性入力部を示している。また、図 II.5-10 の 1 段目は、画像のポイント位置(撮影位置)や方向を地図上に示している様子、2

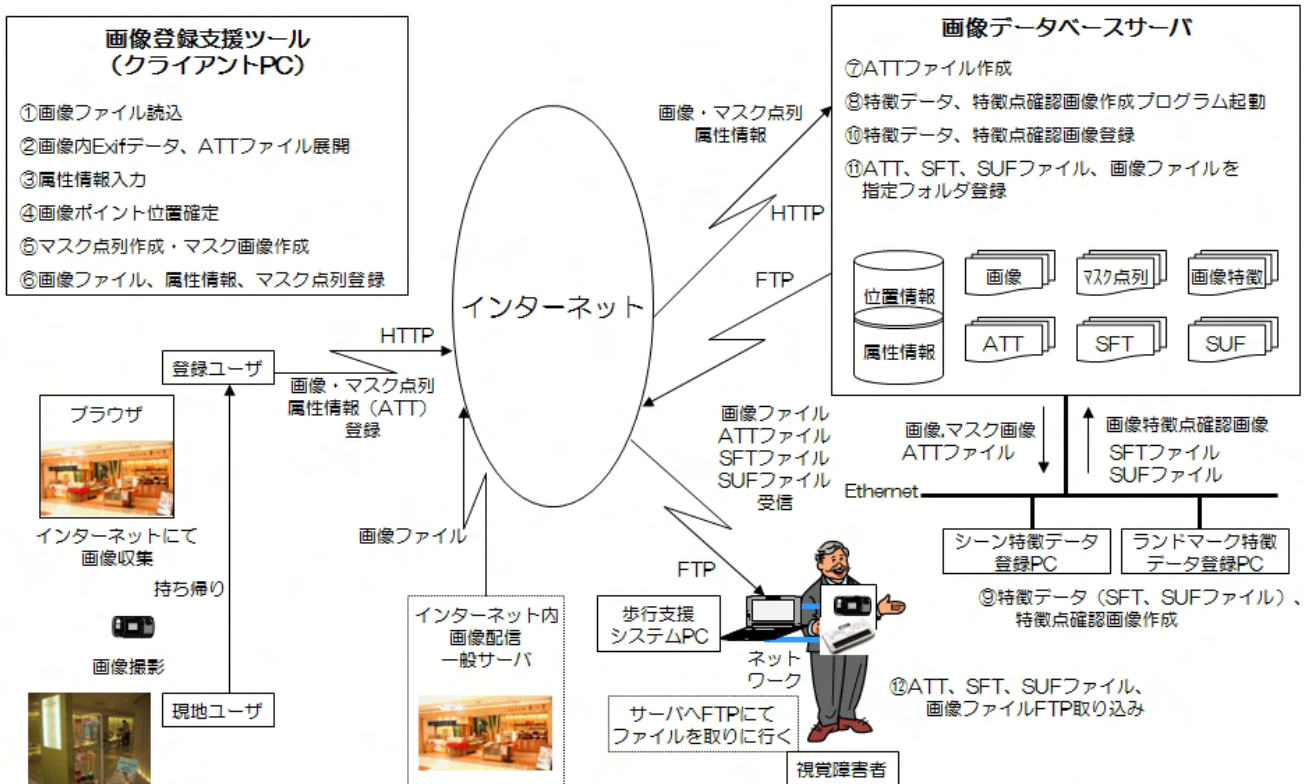


図 II.5-1 画像 DB サーバと画像登録支援ツール (クライアント PC) を用いた画像 DB 整備



図 II.5-2 画像 DB への画像登録時の処理フロー



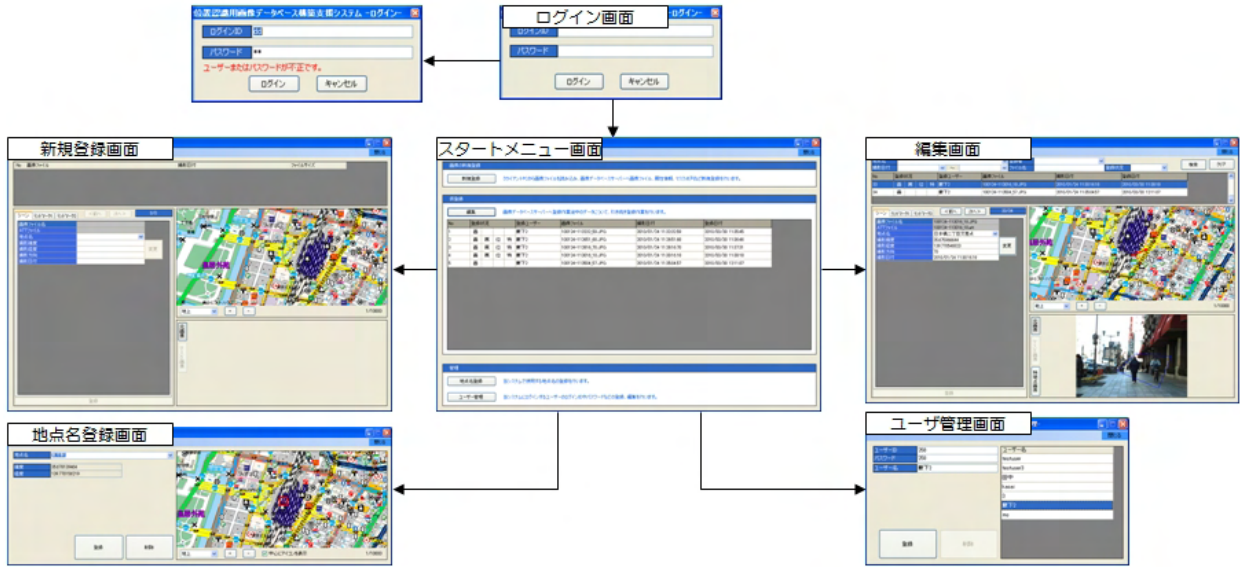


図 II.5-3 画像登録支援ツールの GUI の状態遷移

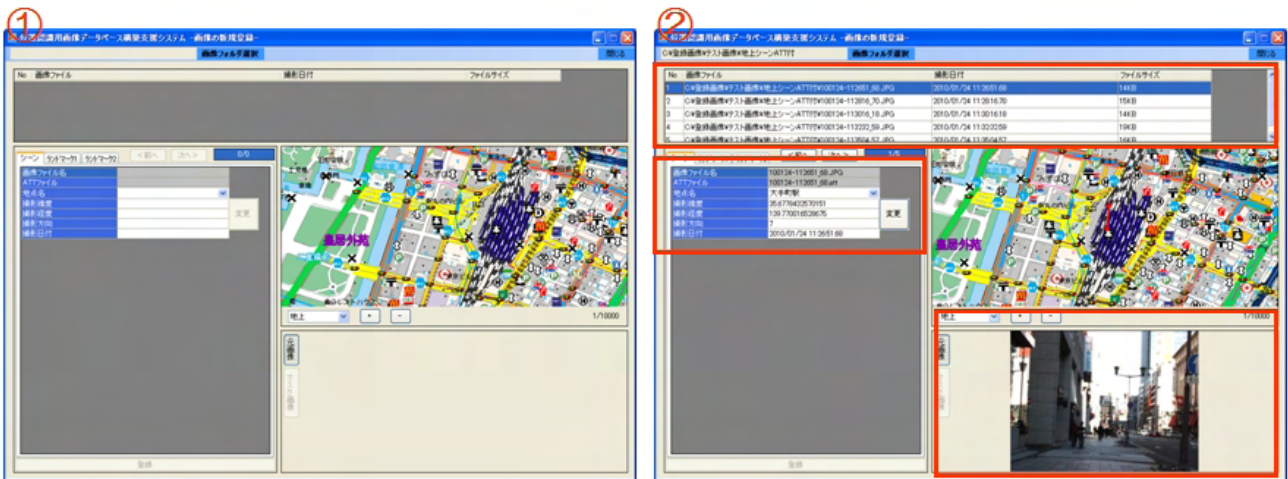


図 II.5-4 新規登録画面その 1

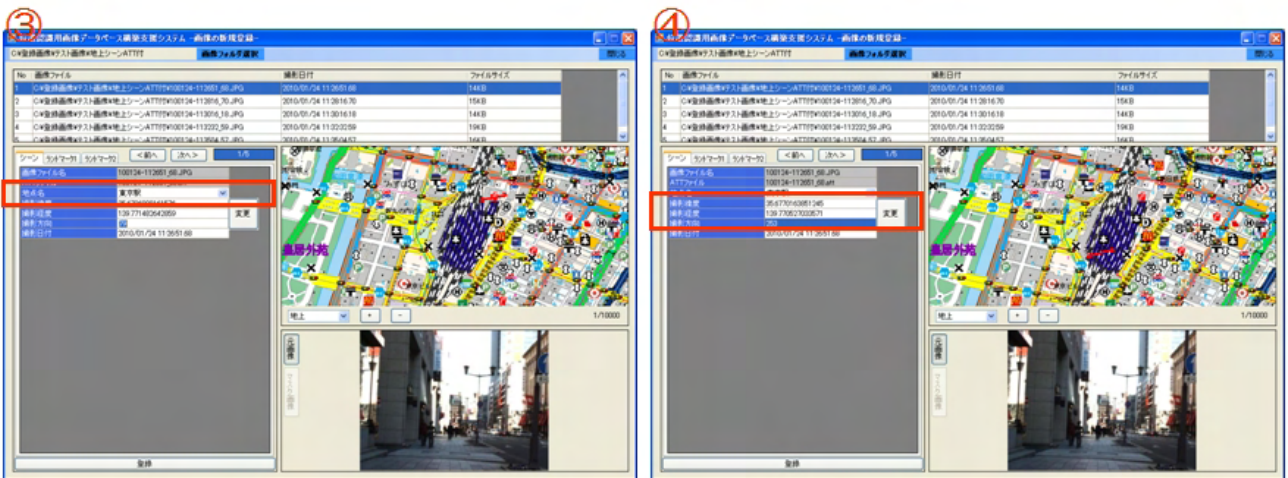


図 II.5-5 新規登録画面その 2

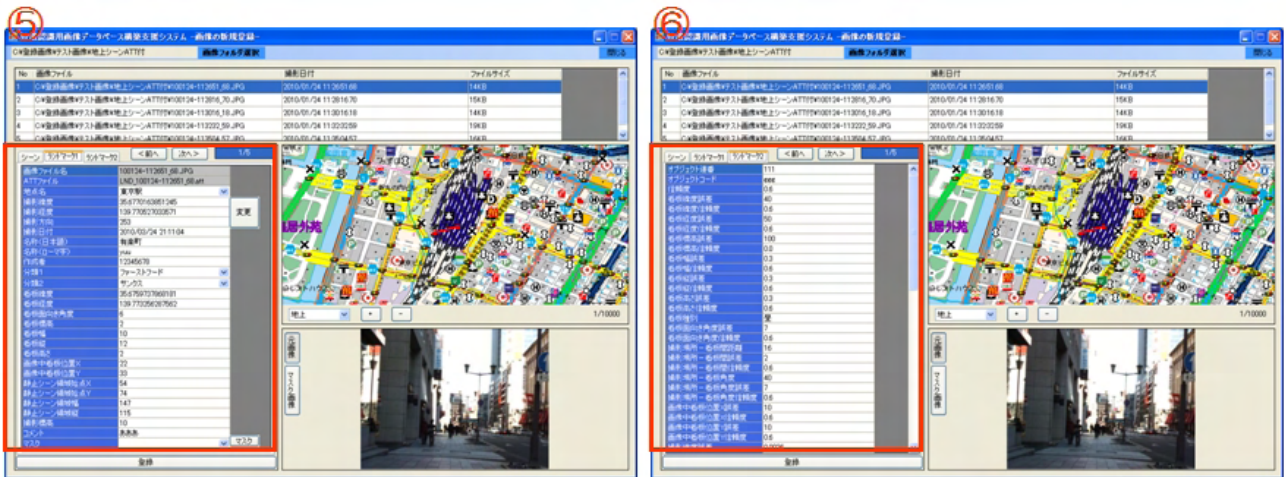


図 II.5-6 新規登録画面その 3



図 II.5-7 新規登録画面その 4

段目は、登録画像（左）とシーン画像認識のために抽出した特徴点画像を確認している様子（右）、3段目は、マスク画像の作成例（左）とランドマーク画像認識のために抽出した特徴点画像を確認している様子（右）を示している。

画像登録支援ツールの使用感については、各研究分担者やその関係者からフィードバックを得てプロジェクト期間中に改良を行う。

2. 測位誤差評価では、図 II.5-11 に示すような東京駅八重洲近辺の屋内外を含む約 1km の実証ルートにおいて、本プロジェクトで開発する視覚障害者歩行支援システムの測位誤差調査を行う。GPS、Wi-Fi 測位、ランドマークベース画像認識、シーンベース画像認識、RFID、PDR のそれぞれ単

独の測位結果及びそれらのデータを統合した場合の測位結果、さらにはそれを用いてルートマッチングまでした場合の結果を、実験中のシステムのユーザをビデオや写真等で記録してその位置を地図に転記するなどして得られる参照値（Ground Truth）と比較して、それぞれの測位結果の誤差を算出するとともに地図上に可視化する。

図 II.5-12 は、八重洲地下街に設置した RFID タグの配置図を示している。ここで配置される RFID タグはアクティブ型で IEEE802.15.4 に準拠するものである。PDR センサモジュールでこの RFID の電波を受信し測位をすることができる。



### C. 研究開発結果

1. 画像 DB 整備に関しては、画像 DB サーバを運用し、画像認識に必要な属性を付加した約 5500 枚の画像を収集した。画像登録支援ツールでは、シーン・ランドマーク画像双方の登録、また、登録ユーザ層拡大のために、画像属性の簡易登録と詳細登録を行えるようにした。抽出された画像特徴の可視化も行った。

また、各研究分担者やその関係者が試用してそのフィードバックに基づいてユーザビリティを高めた。具体的なフィードバックの例を、表 II.5.1~2 に示す。フィードバックは主に、画面表示と操作性に関するものであり、表の右端に

○印が付記されている項目については、プロジェクト期間内に改良を行った。

2. 視覚障害者歩行支援システムの測位誤差評価に関しては、各センサの屋内外での特性の比較を地図上の軌跡、さらには統計的に明確にすることができた。また、センサ統合により各センサ単体よりも優れた測位結果が得られ、実証ルートにおいて平均 6.7m (標準偏差 5.5) の誤差での測位ができることがわかった。

誤差評価結果の詳細についてもう少し詳しく述べる。

シーン	ランドマーク1	ランドマーク2	<前へ	次へ>
画像ファイル名	DSC02192.jpg			
ATTファイル	DSC02192.att			
地点名	東京駅			
撮影緯度	35.6775632492072			
撮影経度	139.771874823641			
撮影方向	10			
撮影日付	2010/04/01 12:00:02			

図 II.5-8 シーン画像の属性

シーン	ランドマーク1	ランドマーク2	<前へ	次へ>
画像ファイル名	DSC02192.jpg			
ATTファイル	LND_DSC02192.att			
地点名	東京駅			
撮影緯度	35.6775632492072			
撮影経度	139.771874823641			
撮影方向	10			
撮影日付	2010/04/01 12:00:02			
名称(日本語)	八重洲地下街案内所			
名称(ローマ字)	yaesutikagaiannaijo			
作成者	tanaka			
分類1	構造物			
分類2	その他			
看板緯度	35.6775632492072			
看板経度	139.771874823641			
看板面向き角度	50			
看板標高	10			
看板幅	30			
看板縦	50			
看板高さ	50			
画像中看板位置X	100			
画像中看板位置Y	100			
静止シーン領域始点X	43			
静止シーン領域始点Y	1			
静止シーン領域幅	170			
静止シーン領域縦	260			
撮影標高	0			
コメント	八重洲地下街			
マスク	43226			

シーン	ランドマーク1	ランドマーク2	<前へ	次へ>
オブジェクト連番	111			
オブジェクトコード	eee			
信頼度	0.6			
看板緯度誤差	40			
看板緯度信頼度	0.6			
看板経度誤差	50			
看板経度信頼度	0.6			
看板標高誤差	100			
看板標高信頼度	0.0			
看板幅誤差	0.3			
看板幅信頼度	0.6			
看板縦誤差	0.3			
看板縦信頼度	0.6			
看板高さ誤差	0.3			
看板高さ信頼度	0.6			
看板種別	屋			
看板面向き角度誤差	7			
看板面向き角度信頼度	0.6			
撮影場所 - 看板間距離	16			
撮影場所 - 看板間誤差	2			
撮影場所 - 看板間信頼度	0.6			
撮影場所 - 看板角度	40			
撮影場所 - 看板角度誤差	7			
撮影場所 - 看板角度信頼度	0.6			
画像中看板位置X誤差	10			
画像中看板位置X信頼度	0.6			
画像中看板位置Y誤差	10			
画像中看板位置Y信頼度	0.6			
撮影緯度誤差	0.0036			

図 II.5-9 ランドマーク画像の属性



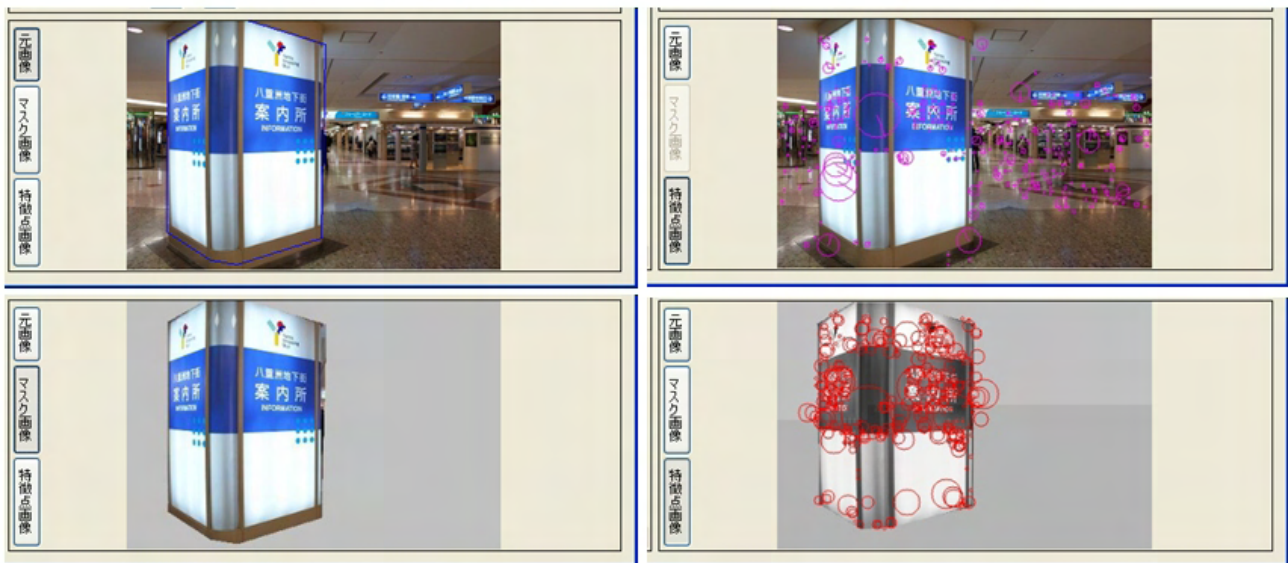


図 II.5-10 1 段目：画像のポイント位置（撮影位置）や方向を地図上に示している様子、  
 2 段目：登録画像（左）とシーン画像認識のために抽出した特徴点画像を確認している様子（右）  
 3 段目：マスク画像の作成例（左）とランドマーク画像認識のために抽出した特徴点画像を確認している様子（右）

表 II.5.-3, 4 はそれぞれ実証ルートでの歩行における各センサの歩行距離換算でのカバー率と歩行時間換算でのカバー率を示している。なお、実証ルートの屋内外比率は、距離換算で、屋内 33%、屋外 67%、時間換算で、屋内 28%、屋外 72%であった。

図 II.5.-13 は、各センサの測位結果を軌跡として地図上に示したものの一覧である（赤：計測値、緑：参照値）。また、表 II.5.-5 は、各センサの測位誤差の平均値、最大・最小値、及び標準偏差を示している。さらに、図 II.5.-14～21 は、図 II.5.-13 で示した各軌跡を拡大したものである。

#### D. 考察

1. 画像の登録方法としては、登録作業負荷のさらなる低減が求められる。運用上の課題としては、サーバ維持コスト、登録協力者が増加した際の登録情報の信頼性の担保、画像を収集する上でのプライバシー保護等をどのように軽減、解決していくかが課題である。

2. 誤差評価を受けての各センサの考察を下記に述べる。



図 II.5.-11 東京駅八重洲近辺の屋内外を含む実証ルート



図 II.5.-12 RFID タグの配置図 (八重洲地下街)

表 II.5-1 主に画面表示に関する要望

機能分類	要望分類	ヒアリング内容	対応
地図表示	画面表示変更要望	・座標表示は度としているが、度分秒にできないか。	
	機能追加要望	・地図へスケールを出して欲しい。 ・地図と図面のヘディングアップの機能が欲しい。	
メイン画面	画面表示変更要望	・登録途中状況は、「画」、「属」、「位」、「特」となっているが、画像は一括登録され、属性情報登録時、位置は登録し、属性情報の登録が完了した際に特徴点画像が出力されるため(実際には画像のみで特徴点画像、特徴点ファイルは作成可能)、登録途中のステータス1つで良いのではないか。	
		・登録日付と最終変更日付の2つの登録日付があると解り易い。	
		・登録状況は、編集画面で検索できるため、メイン画面には不要ではないか。	
新規登録画面	画面表示変更要望	・「新規登録」だけでは解り辛いので、「画像の新規登録」の方が良いのではないか。	○
		・編集中は画面内に「編集中」という表示を行っているが、「仮登録」の方が良い。	○
		・事前に登録した地点名を表示し、緯度経度を表示しているが、地図内にて位置を指定した場合、その地点名を出せないか。	

表 II.5-2 主に操作性に関する要望

機能分類	要望分類	ヒアリング内容	対応
全般	ユニバーサルデザインへの意識	・極力、マウス操作無しでも使えるシステムとして欲しい。	○
		・「新規登録」→「新規登録(N)」等ショートカットキーの対応を行って欲しい。	
	操作性の向上	・地図の移動に関して、画面内移動以外に地図画面枠に方向ボタンを付け、ボタンで移動できるようにして欲しい。	
地図表示	追加機能要望	・入力では無く選択で良い属性項目は選択として欲しい。	○
メイン画面	操作性の向上	・地図内で計測する機能(地図内で線を書いた際に、線の長さが何m等)が欲しい。	
新規登録画面	操作性の向上	・「新規登録」ボタンを選択した後、「新規登録画面」へ遷移するのではなく、「フォルダ選択画面」へ遷移した方が良いのではないか。	
		・シーンとランドマークで使用する撮影緯度経度、撮影方向は共通のはずなので、統一し、同一値が入る方が良いと思われる。	○
		・シーンとランドマークで使用する撮影緯度経度、撮影方向は共通で良い。	○
		・フォルダ内の画像を全て送るのではなく、ファイル選択(複数選択可)の方が良いのでは無いかな。	
		・フォルダ内の画像を全て送るのではなく、ファイル選択(複数選択可)の方が良いのでは無いかな。	
		・フォルダ内の画像を全て送る方が使い易い。ただ、読み込んだ後直ぐに登録画像の削除(間違っupすることもある)、ファイル選択(複数選択可)も欲しい。	
	・ファイル送信時、「ファイルを送って宜しいでしょうか」「はい」、「いいえ」のダイアログ表示が欲しい。	○	
	追加機能要望	・新規登録の場合のみだが、1回づつ「登録」ボタンを選択するのは面倒なので、「次へ>」ボタンでも登録と見なして欲しい。	
		・フォルダ内の画像を送信する場合、市販の画像認識プログラムと連携し、人の顔が多い画像を自動的に削除する等(自動的な画像選別機能)便利機能を付加した画像登録が良いのではないかな。	
		・一定の方向で写した動画を画像として登録するため、撮影角度、地点名の一括登録はできないか。	



表 II.5.-3 実証ルートにおける各センサのカバー率（距離）

各センサカバー率(距離)		
	%	距離(m)
GrandTruth	100.00%	951.37
GPS	49.49%	470.82
PlaceEngine	100.00%	951.37
RFID	29.07%	276.59
PDR	100.00%	951.37
シーン認識	100.00%	951.37
ランドマーク認識	11.06%	105.24
センサ統合	100.00%	951.37
マップマッチング	100.00%	951.37

表 II.5.-4 実証ルートにおける各センサのカバー率（時間）

各センサカバー率(時間)	
	%
GrandTruth	00:17:57.00
GPS	56.02%
PlaceEngine	98.85%
RFID	22.28%
PDR	99.45%
シーン認識	99.46%
ランドマーク認識	8.98%
センサ統合	99.44%
マップマッチング	99.44%

GPS：屋外のみをカバーしているが、その屋外でもマルチパス等の影響により測位結果のブレが非常に大きい場所があった。

PlaceEngine: Wi-Fi の利用により屋内外での測位が実現されている。ただし、屋内は本プロジェクト関係者が重点的に登録したデータが多いため精度が高く、屋外は、Wi-Fi 基地局が少ないためか、基地局がありそうな他の場所に引っ張られてしまうことが頻繁に起こっている。

RFID：図 II.5.-12 に示した場所においては、比較的安定して測位ができていた。ただし、このような環境を広域で実現するには、その社会実装性を高める必要がある。

PDR：本実証では実用的な精度で軌跡を推定することができている。ただし、本実証ルートは地磁気が乱されている場所が比較的少なかったため、ジャイロのドリフトが問題にならなかった

たとえることもできる。

シーン画像認識：実証ルート上の画像 DB のみを用いたため、高精度な測位を実現できている。ただし、自由なルートを歩く場合の精度について引き続き検討する必要がある。

ランドマーク画像認識：画像登録のためのパラメータ数が多いため、今回の誤差評価のデータ取得までに画像 DB を十分に整備できなかったこともあり、カバー率が低くなった。画像 DB の整備コストについて引き続き検討する必要がある。

## E. 結論

画像 DB 整備に関しては、画像 DB サーバを運用しに画像認識に必要な属性を付加した約 5500 枚の画像を収集した。画像登録支援ツールでは、シーン・ランドマーク画像双方の登録、また、登録ユーザ層拡大のために、画像属性の簡易登録と詳細登録を行えるようにした。抽出された画像特徴の可視化も行った。また、各研究分担者やその関係者が試用してそのフィードバックに基づいてユーザビリティを高めた。

視覚障害者歩行支援システムの測位誤差評価に関しては、各センサの屋内外での特性の比較を地図上の軌跡、さらには統計的に明確にすることができた。また、センサ統合により各センサ単体よりも優れた測位結果が得られ、屋内外合計約 1 km の実証ルートにおいて、平均 6.7m（標準偏差 5.5）の誤差での測位ができることがわかった。



図 II.5-13 各センサの測位結果一覧 (赤：計測値、緑：参照値)

表 II.5-5 各センサの測位誤差

	GPS	PDR	Place Engine	RFID	シーン画像	ランドマーク画像	センサ統合	マップマッチング
平均誤差 (m)	31.6	10.8	44.1	6.9	3.3	13.9	6.7	9.3
最大誤差	148.8	24.7	139.1	18.8	77.5	27.9	27.7	45.5
最小誤差	1.6	1.4	2.8	0.3	0.0	0.8	0.0	0.3
標準偏差	18.6	4.5	33.7	4.3	12.9	7.5	5.5	7.5





図 II.5.-14 GPS による測位結果 (赤：計測値、緑：参照値)



図 II.5.-15 PDR による測位結果 (赤：計測値、緑：参照値)





図 II.5.-16 PlaceEngine による測位結果 (赤：計測値、緑：参照値)



図 II.5.-17 RFID による測位結果 (赤：計測値、緑：参照値)





図 II.5.-18 シーン画像認識による測位結果（赤：計測値、緑：参照値）



図 II.5.-19 ランドマーク画像認識による測位結果（赤：計測値、緑：参照値）





図 II.5.-20 センサ統合による測位結果（赤：計測値、緑：参照値）



図 II.5.-21 マップマッチングによる測位結果（赤：計測値、緑：参照値）



### Ⅲ. 研究成果の刊行に関する一覧表

雑誌

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年
M. Kouroggi, T. Ishikawa, Y., J. Ishikawa, K. Aoki, and T. Kurata	Pedestrian Dead Reckoning and its applications	ISMAR2009 Workshop: Let's Go Out: Research in Outdoor Mixed and Augmented Reality	<a href="http://www.icg.tugraz.at/News/outdoor_ar">http://www.icg.tugraz.at/News/outdoor_ar</a>	<a href="https://www.icg.tugraz.at/~reitmayr/lgo/kouroggi_pedestrian.pdf">https://www.icg.tugraz.at/~reitmayr/lgo/kouroggi_pedestrian.pdf</a>	2009

#### IV. 研究成果の刊行物・別刷

# Pedestrian Dead Reckoning and its applications

Masakatsu Kourogi\*, Tomoya Ishikawa\*, Yoshinari Kameda\*\*, Jun Ishikawa\*\*\*, Kyota Aoki\*\*\*\*, Takeshi Kurata\*

\* Center for Service Research, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, AIST Tsukuba, Japan

\*\* University of Tsukuba, Tsukuba, Japan

\*\*\* University of Shizuoka, Shizuoka, Japan

\*\*\*\* Utsunomiya University, Utsunomiya, Japan

## ABSTRACT

First, we briefly introduce the technologies of PDR (Pedestrian Dead Reckoning) that can be used to track the location and orientation of a pedestrian. Secondly, we show some enhancement of the PDR to improve its performance on accuracy. Finally, we describe the applications of the PDR.

**KEYWORDS:** Pedestrian Dead Reckoning, Pedestrian navigation system

**INDEX TERMS:** K.5.1 [Information Interfaces and Presentation]: Multimedia Information Systems—Artificial, augmented, and virtual realities; I.4.8 [Image Processing and Computer Vision]: Scene Analysis—Sensor fusion.

## 1 INTRODUCTION

Recently, the PDR technologies draw strong attention from many fields of industries since by using the self-contained sensors (ex. accelerometers, gyrosensors, magnetometers and barometers) the PDR can be utilized to track location and orientation of pedestrians indoors where the GPS signal is blocked and becomes unavailable. Compared to the INS (inertial navigation system), the PDR has several advantages on cost, weight and energy consumption of the system thanks to the recent rapid advancement of the MEMS (microelectromechanical system) sensing components. The PDR is classified into two categories by the equipped position of the self-contained sensors on the pedestrian: (a) waist-mounted and (b) shoe-mounted [3]. We took the former approach on PDR since the equipped position allows the system to gather information about the user's action such as walking, going-up/down stairs, standing-up and sitting-down on chair.

## 2 BASICS OF PEDESTRIAN DEAD RECKONING

The PDR is composed of the three key technologies: (a) tracking of the sensor's attitude, (b) detection of walking locomotion and (c) estimation of the walking velocity. In this section, we briefly describe the key technologies.

### 2.1 Tracking of the sensor's attitude

The attitude consists of the gravitational and the horizontal reference (north) components. They are estimated and updated by the Kalman filtering framework [1][2]. The gravitation can be directly observed by accelerometers and the north direction can be observed by the magnetometers. As the magnetic field measured by the sensors is often distorted by local structures of the environment, we use a selective mechanism to filter out the disturbance for the observation on the north direction [1]. The state vector of the Kalman filter is predicted by the angular velocity vector from the gyrosensors.

### 2.2 Detection of walking locomotion

Since human walking locomotion is highly coordinated, the pattern of motion repeatedly appears in acceleration and angular

velocity. If the sensors are placed on the waist which is near the center of gravity of human body, the pattern can be easily recognized by detecting the pair of down-peak and up-peak of the components.

### 2.3 Estimation of the walking velocity

The walking velocity of pedestrians is empirically known to have strong linear correlation with the acceleration amplitude in the vertical direction within a walking cycle. By using linear regression, the equation to estimate the velocity from the accelerometers can be obtained. However, the linear regression parameters differ in person and thus a calibration procedure is required beforehand for more precise estimation of walking velocity.

## 3 ENHANCEMENT OF THE PDR

We introduce two enhancements of the PDR to improve its performance, by map matching and dynamic estimation of walking parameters from surveillance cameras.

Since the PDR is an incremental method of estimating location, its error is accumulated to significant amount over time. Therefore the accumulated error needs to be somehow reduced and corrected. We introduce the constraints of the environment (namely 2.5D map) to the PDR and mechanism to fuse the PDR results and the constraints by using particle filter.

As described in Section 2.3, the walking parameters are slightly different from person to person. Then, we use surveillance cameras to measure walking velocity in order to recalibrate the parameters. The camera can also be used to correct the estimated position by the PDR.



Figure 1. Map matching using a map converted from 3D environment model (Left-column presents probability distributions of locations of the user shown in right-column. Bottom-row presents the state one second before top-row).



### 3.1 Map matching and particle filter

The user's location and orientation are updated by fusing the measurements from the PDR estimation and 2.5D maps [4] generated from 3D environment models [6] and we use the particle filter framework for probabilistically fusing the data [5]. The particle filter which is kind of Bayesian filter efficiently estimates state of a system under the Markov assumption and Monte-Carlo approximation of probability distribution.

The state space of the particle filter is represented by the 4D vector whose components are 2D position, a polygon identification number of the 2.5D map, and an absolute orientation. In this state space, the probability distribution of the user's location is predicted from the estimated position, orientation, and its uncertainties. Note that, in the prediction process of the current probability distribution based on measurement from the PDR, a sample in those representing the probability distribution is eliminated when the displacement vector of the sample intersects with lines of walls or outgoes to outside of floors in the 2.5D map. This map matching improves the performance by utilizing knowledge of the environments. The implementation of the map matching on a typical PC runs in real-time.

### 3.2 Dynamic estimation of walking parameters from surveillance video camera

We aim at improving localization performance by utilizing surveillance cameras used for surveillance service as existing infrastructure. The surveillance camera must be clearly placed in important areas of human traffic, so the feature is absolutely suitable for localization. The surveillance cameras are used for realizing the following two functions.

- Correction of localization error of the PDR
- Dynamic estimation of walking parameter

Camera has high-spatial resolution, and so its measurements are effective for estimating precise location of the pedestrian. In addition, the cameras can also be used to estimate the walking velocity of the pedestrian from the time-series measurements.

In order to realize above functions, our system needs to recognize the user wearing the self-contained sensor module from persons on the surveillance videos. Our system recognizes the user by matching and identifying two kinds of 2.5 D trajectories that are fusion-based trajectory and video-based trajectory. Here, the camera parameters to be used for converting 2D video-based trajectories into 2.5D video-based trajectories can be estimated by 3D environment models as contents and the 3D modeler described above from a photo without any special devices.

When the system successfully matches and identifies trajectories, the identified video-based trajectory is sent to the fusion unit for correction of localization errors. Moreover, the system estimates the walking velocity from the video-based trajectory and sends it to the part of walking parameter estimation in PDR. From the velocity and the acceleration amplitude, the system can estimate walking parameters by the method in [1][2].

## 4 APPLICATIONS OF THE PDR

We have developed two types of applications of the PDR technologies mentioned above. These applications are described in this section.

### 4.1 The PDR Evaluation Kit

We have commercialized the PDR technologies into an evaluation kit, which allows developers to test the accuracy and availability of localization. The kit includes the PDR software and a self-contained sensor module. It can be used to develop indoor

and outdoor localization system such as a pedestrian navigation system and locating (and tracking) system of factory personnel. The evaluation kit can be purchased from SHIBUYA KOGYO at around 5,000 USD.

### 4.2 Application toward visually impaired people navigation

We are currently working on a national project that aims to develop an advanced mobile device which supports visually impaired people to work out streets safely and comfortably. Figure 2 shows a schematic outlook of the device.

One of the problems of visually impaired people navigation is the inaccuracy and unavailability of the positioning of the GPS-based navigation system. Our new device will navigate the visually impaired people more accurately by the help of new sensors including the PDR system described in this paper. The device exploits the GPS for rough position estimation and its bootstrapping, and then the PDR system estimates the position in a map. Additional vision system also gives position correction information by checking landmarks and pre-recorded images in a scene. It also has a voice navigation interface and a refreshable braille display so that we can inform navigation instruction flexibly. The device is planned to be released next spring.

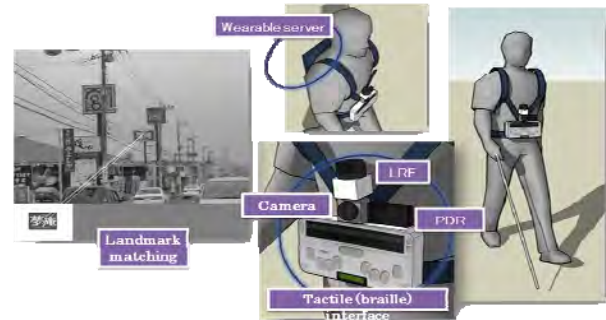


Figure 2. The navigation system for visually impaired people.

## REFERENCES


- [1] M. Kourogi, N. Sakata, T. Okuma, and T. Kurata: "Indoor/Outdoor Pedestrian Navigation with an Embedded GPS/RFID/Self-contained Sensor System", In Proc. 16th International Conference on Artificial Reality and Telexistence (ICAT2006), pp.1310-1321 (2006).
- [2] M. Kourogi, and T. Kurata, "Personal Positioning Based on Walking Locomotion Analysis with Self-Contained Sensors and a Wearable Camera", In Proc. 2nd IEEE and ACM Int. Symp. on Mixed and Augmented Reality (ISMAR2003), pp. 103-112, 2003.
- [3] E. Foxlin: "Pedestrian Tracking with Shoe-Mounted Inertial Sensors", IEEE Computer Graphics and Applications, No. 6, Vol. 25, pp. 38-46, 2005.
- [4] O. Woodman and R. Harle, "Pedestrian Localisation for Indoor Environments", In Proc. 10th Int. Conf. on Ubiquitous Computing (UbiComp2008), pp. 114-123, 2008.
- [5] T. Ishikawa, M. Kourogi, T. Okuma, and T. Kurata, "Economic and Synergistic Pedestrian Tracking System for Indoor Environments", International Conference on Soft Computing and Pattern Recognition (SoCPaR2009), Dec., 2009 (To appear).
- [6] T. Ishikawa, T. Kalaivani, M. Kourogi, A. P. Gee, W. Mayol, K. Jung, T. Kurata: "In-Situ 3D Indoor Modeler with a Camera and Self-Contained Sensors", In Proc. 13th International Conference on Human-Computer Interaction (HCI2009) in San Diego, CA, USA, LNCS 5622, pp. 454-464 (2009)

様式1-1 (第9条第1項関係)


研究倫理審査申請書

平成 21年 11月 30日提出

静岡県立大学長 様

申請者 所属・職名 国際関係学部・教授  
氏名 石川 准   
電話 054-264-5325

所属責任者の承認

所属・職名 国際関係学部・教授  
氏名 富沢 寿勇 

\* 受付番号 \_\_\_\_\_

1 審査対象	実施計画
2 研究課題名	センサ統合による日常利用可能な屋内外視覚障害者歩行支援システムの実証実験
3 研究代表者の氏名・所属・職名	石川准・国際関係学部・教授
4 研究分担者の氏名・所属・職名	湯瀬裕昭・経営情報学部・准教授
5 研究等の目的	視覚障害者歩行支援システムの位置方位計測の精度向上、及び適用範囲の拡大を目指して、画像・GPS等のセンサ統合による日常利用可能な屋内外視覚障害者歩行支援システムを開発している。本実証実験の目的は、開発した屋内外視覚障害者歩行支援システムの評価を行うことである。
6 研究予定期間	承認日～平成22年3月31日
7 研究等の概要	申請者らが開発した画像・GPS等のセンサ統合による日常利用可能な屋内外視覚障害者歩行支援システムを、視覚障害者の被験者に屋内外で実際に使用してもらい、システムの評価を行う。システムの評価は、被験者の発話記録や行動のビデオ記録などの解析や、被験者へのヒアリング結果などの分析から行う。
8 研究等の対象及び実施場所	開発したシステムの被験者として視覚障害者を対象とする。また、実証実験の実施場所は、東京駅近郊の地下街及び八重洲エリアの歩道である。

- 注意事項
1. 審査対象欄は、非該当部分を消してください。
  2. 審査対象となる研究等の実施計画書又は公表予定の原稿の写し等を添付してください。
  3. \*欄は記入しないこと。

9 研究等における倫理的・社会的観点の配慮について

(1) 動物実験の結果に基づく研究等の安全性の確保  
該当しない

(2) 研究等の対象となる個人の人権の擁護、プライバシーの保全及び福祉の向上  
研究参加前に十分なインフォームドコンセントを行い、文書による同意を得てから実証実験を行う。実証実験の際に撮影したビデオや音声の記録データについては、厳重に管理し、個人情報外部に漏れないようにし、プライバシー確保に細心の注意を払う。また、被験者の個人情報については、個人情報の保護に関する法律（平成 17 年 3 月）に基づき、厳重に取り扱う。

(3) 対象者への研究の目的、内容、方法、起りうる危険ならびに必然的に伴う不快な状態への十分な説明、ならびにその理解と同意

被験者に対しては、実証実験の実施前に、本研究の説明文書及び同意書を渡す。さらに、被験者に対して十分な説明を行い、被験者からの質問に対して被験者が納得できるよう返答を行う。被験者本人が実証実験の内容をよく理解したことを確認した上で、実証実験への参加について自由意志による同意を文書で得る。

(4) 研究等によって生ずる当該個人への不利益及び危険性の予測

実証実験の際には、被験者に必ず実験補助者が同行し、歩行している被験者の安全確保に努める。そのため、実験補助者に対して、事前に被験者の安全確保についての講習会を行う。また、実証実験前に実験リハーサルを行う。実証実験に関しては、歩行訓練士の専門的助言を得る。

万が一、被験者が歩行中に障害物などに接触するなどして、怪我をした場合には、速やかに医療機関での手当を行うなどの対処を行う。

(5) 研究の教育、学術、社会への貢献度

視覚障害者は、自由かつ安全に移動するためのインフラ整備、歩行支援機器、ガイドヘルパの充実等を切望している。本研究は、これらのうち ICT 技術による歩行支援の可能性と安全性を高めることに寄与する。

(6) 研究等が自然環境に及ぼす影響と安全性の確保

今回の実証実験は、地下街や路上で行うが、周辺の施設などに手を加えることがないため、特に自然環境に及ぼす影響は全くないといえる。

10 本研究計画の危険性等について

(該当する項目に○を記入すること)



- ① 研究対象者に対して最小限の危険（日常生活や日常的な医学検査で被る身体的、心理的、社会的危害の可能性の限界を超えない危険であって、社会的に許容される種類のをいう）を超える危険を含まない研究計画
- ② ①以外の研究計画
- ③ ヒトゲノム・遺伝子解析に関する研究

# 研究計画書

## 1. 研究課題

センサ統合による日常利用可能な屋内外視覚障害者歩行支援システムの実証実験

## 2. 研究の全体計画と目的

研究申請者らは、視覚障害者歩行支援システムの位置方位計測の精度向上、及び適用範囲の拡大を目指して、画像・GPS等のセンサ統合による日常利用可能な屋内外視覚障害者歩行支援システムを開発している。申請者らが開発した画像・GPS等のセンサ統合による日常利用可能な屋内外視覚障害者歩行支援システムを、視覚障害者の被験者に実際の歩行で使用してもらい、システムの評価を行う。そのため、実証実験の実施場所の調査、実験補助者への講習、関係機関への連絡、視覚障害の被験者の確保、被験者による実証実験、実験データの分析などを行う。

本研究の目的は、研究申請者らが開発した屋内外視覚障害者歩行支援システムの有用性などを実証実験によって明らかにすることである。

## 3. 研究の背景

視覚障害者は、自由かつ安全に移動するためのインフラ整備、歩行支援機器、ガイドヘルパの充実等を切望している。これまで視覚障害者歩行支援システムでは、RFIDタグ等のローカルインフラを用いる方式とGPSを用いる方式が試みられてきた。前者には新たにインフラを整備する必要があるという問題があり、限定的な環境における実験にとどまっている。後者は、新たにインフラを整備する必要はないが、市街地で頻発するマルチパス等に起因する大きな誤差に対処できないという問題がある。それらに対して、研究申請者らは、GPS、画像処理、PDRの統合により、GPS測位誤差補正に正面から取り組み、センサ統合による屋内外視覚障害者歩行支援システムの開発を行ってきた。

## 4. 期間内の達成目標

研究申請者らが開発した屋内外視覚障害者歩行支援システムの実証実験を行い、開発システムの有用性や改良点などを明らかにする。

## 5. 研究方法

### 5.1 実証実験の概要

実証実験の概要は次のとおりである。最初に視覚障害者の被験者に屋内外視覚障害者歩行支援システムの仮想歩行機能を使ってもらい、歩行経路の把握を行ってもらう。その後、実験者が指定したスタート地点からゴール地点まで被験者に屋内外視覚障害者歩行支援シ

システムを使いながら歩行してもらおう。その際に、被験者の発話や行動を記録する。実証実験終了後に、被験者への個別ヒアリングを行う。その後、他の被験者と一緒に開発システム使用についてのグループディスカッションを行ってもらおう。

システムの評価は、被験者の発話記録や行動のビデオ記録などの解析や、被験者へのヒアリングなどの結果の分析から行う。

## 5.2 実証実験の対象者

### (1) 実験対象者の選定条件

選定条件	年齢層	性別	人数
視覚障害者（点字が読める人）	18歳以上	不問	5名以上

### (2) 実験対象者の同意を得るための手続きと方法

実験対象者（あるいは代諾者）に対して実験内容を書面および口頭で説明し、文書等による同意を得る。

### (3) パワーハラスメント（威圧）への配慮等

実験対象者には、一度実験の参加に同意した後でも、自分の意思で、実験の途中であっても同意を撤回できることを予め十分説明しておく。

## 5.3 実証実験の手順

### (1) 実証実験についての説明

- ①実験者が実証実験全体の流れについて説明し、被験者からの質問を受ける。
- ②実験者が実証実験で使用する装置やその使用法について説明し、被験者からの質問を受ける。
- ③実験者が実証実験の際の安全の確保や注意事項について説明し、被験者からの質問を受ける。

### (2) 実験準備

- ①実験者が、歩行などの実験に必要な動作を被験者が可能かどうかについて確認する。
- ②実験者が、センサ装置と点字端末を被験者の体に装着する。また、制御用コンピュータを背負わせる。
- ③被験者に説明会場の中を歩行してもらい、実験者が装置の装着状態を調整する。
- ④実験者が実験装置の使用法についての説明を再度行い、被験者が装置使用の練習を行う。
- ⑤被験者に屋内外視覚障害者歩行支援システムの仮想歩行機能を使ってもらい、実



証実験を行う場所の地理的イメージを把握してもらう。

⑥実験者が、被験者に装着したICレコーダなどの装置の動作を確認する。

### (3) 実証実験

①実験者が被験者を実証実験のスタート地点まで誘導する。

②実験開始前に、被験者のコンディションを確認する。

③被験者に屋内外視覚障害者歩行支援システムを使ってもらい、スタート地点からゴール地点まで歩行により移動してもらう。その際、システムから提供される情報を点字や音声で把握してもらう。

④実証実験中は、被験者の発話をICレコーダに記録する。また、装置を使っている様子や歩行している様子をビデオカメラで記録する。被験者には、実験補助者が同行し、被験者の安全確保に努める。

⑤実験者が被験者を実証実験のゴール地点から説明会場まで誘導していきます。

### (4) 実験後のヒアリング

①被験者の体に装着した装置を取り外す。また、背中に背負った制御用コンピュータを降ろさせる。

②被験者に屋内外視覚障害者歩行支援システムを使った感想などについてのインタビューを行う。

③他の被験者と一緒に、本実験で使用した屋内外視覚障害者歩行支援システムについてのグループディスカッションを行う。

## 5.4 実証実験での計測項目

(1) 被験者に与えた刺激や負荷等  
特になし。

(2) 刺激や負荷を与える際に使用した装置又は方法等  
特になし。

(3) 計測に使用する装置又は方法等

受動センサ（加速度・磁気センサなど）、GPS、カメラ、能動センサ（レーザレンジセンサ）、点字端末、制御用コンピュータを被験者の身体に装着する。

(4) 計測する内容

センサデータ、ビデオ映像、音声、主観申告（アンケート等）、インタビュー、グループディスカッション

## 5.5 予測される実験対象者への不利益、苦痛、危険性とその予防・安全確保の方法

実験補助者が実験中の被験者に同行して安全確保に努めるが、被験者はデバイスを複

数装着しており、装着しない場合と同じ感覚で行動すると、思わぬ事故を起こす可能性があるため、十分に気をつけるよう被験者に注意を促す。

集中して実験を遂行することにより、肉体的な疲労を伴うことはありえるため、被験者自身の判断で適宜休憩や水分補給の時間を挟むことができるようにする。

#### 5.6 被験者からの質問、苦情等の受付先

〒422-8526 静岡市駿河区谷田52-1

静岡県立大学経営情報学部

湯瀬 裕昭 (ゆぜ ひろあき)

電話：054-264-5448 ファックス：054-264-5446

電子メール：yuze@u-shizuoka-ken.ac.jp

#### 6. 研究体制及び実施場所

##### (1) 研究体制

- ・研究代表者 石川 准 (国際関係学部・教授)
- ・分担研究者 湯瀬裕昭 (経営情報学部・准教授)

##### (2) 実施場所

実証実験の実施場所は、東京駅近郊の地下街及び八重洲エリアの歩道である。

センサ統合による日常利用可能な屋内外視覚障害者歩行支援システムの実証実験  
写真及びビデオ公表についての承諾書(案)

実験担当者

湯瀬裕昭 殿

私は「センサ統合による日常利用可能な屋内外視覚障害者歩行支援システムの実証実験」について、実験の様子を記録したビデオを下記の場にて公表することに同意いたします。

記録ビデオ、写真の公表を承諾する場<sup>※</sup>

1. 学会等、研究発表の場で公表することを  
( 承諾します ・ 承諾しません )
2. メディア等、一般の場で公表することを  
( 承諾します ・ 承諾しません )

平成 年 月 日

署名

(本人または保護者)

※ 上記 ( ) 内の「承諾します・承諾しません」いずれかを○で囲んでください。



センサ統合による日常利用可能な屋内外視覚障害者  
歩行支援システムの実証実験 被験者同意書 (案)

私は、「センサ統合による日常利用可能な屋内外視覚障害者歩行支援システムの実証実験」および上記文書について事前に送付された文書および口頭にて湯瀬裕昭から十分な説明を受け、理解した上で実験に協力することに同意します。

年 月 日

氏名

年齢 才

住所

電話番号

緊急時の連絡先電話番号

署名 (本人または保護者)

## インフォームド・コンセントのための説明文書(案)

### 1. 説明及び同意の必要性並びにいつでも不利益を受けることなくインフォームド・コンセントを撤回することができること

これから行う実験の内容と方法について、この説明書を口頭で説明します。この説明内容をご理解いただいた上で、被験者として本実験に参加されるあなたの意思を客観的な記録とするために同意書を作成します。この説明と同意はあなたが本研究の被験者となる根拠となるものです。さらに、別紙の承諾書にて、本実験風景を撮影した写真や映像・音声を学会および技術発表などの研究広報上必要なメディアに掲載されることに同意していただいた場合は、本実験風景を撮影した写真や映像・音声を公開させていただくことがあります。

本実験への協力は、被験者の自由な意思に基づく参加が原則となりますので、いただいた同意はいつでも撤回することができ、同意の撤回によりいかなる不利益を生じることもありません。

### 2. 実験担当者の氏名、所属、職名及び連絡先

湯瀬 裕昭（静岡県立大学経営情報学部） 連絡先電話番号 054-264-5448

### 3. 実験の意義、目的、具体的な実施方法及び期間

この実験は、視覚障害者の屋内外の歩行を支援するシステムを開発することを目標としています。そのために、私達が開発しているセンサ統合による日常利用可能な屋内外視覚障害者歩行支援システムを屋内外で被験者に実際に使用してもらう実証実験を実施します。実験時間は、実証実験についての説明、実験準備、実証実験、実験後のヒアリングなどを含めて3時間程度を想定しています。途中、適宜休憩を入れます。

なお、大学に持ち帰って解析するために、実証実験の様子をビデオやカメラで撮影することがありますので、ご了承ください。

実証実験の具体的な実施方法は以下の通りです。

#### (A) 実証実験についての説明

(A-1) 実験者が実証実験全体の流れについて説明し、被験者からの質問を受けます。

(A-2) 実験者が実証実験で使用する装置やその使用法について説明し、被験者からの質問を受けます。

(A-3) 実験者が実証実験の際の安全の確保や注意事項について説明し、被験者か

らの質問を受けます。

(B) 実験準備

(B-1) 歩行など、実験に必要な動作が可能かどうかについて確認いたします。

(B-2) 実験者が、センサ装置と点字端末を被験者の体に装着します。また、制御用コンピュータを背負ってもらいます。

(B-3) 説明会場の中を歩行してもらい、装置の装着状態を調整します。

(B-4) 実験装置の使用法についての説明を再度受けていただき、装置使用の練習を行います。

(B-5) 屋内外視覚障害者歩行支援システムの仮想歩行機能を使ってもらい、実証実験を行う場所の地理的イメージを把握してもらいます。

(B-6) 実験者が、被験者に装着したICレコーダなどの装置の動作を確認します。

(C) 実証実験

(C-1) 実験者が被験者を実証実験のスタート地点まで誘導していきます。

(C-2) 実験開始前に、被験者のコンディションを確認いたします。

(C-3) 被験者に屋内外視覚障害者歩行支援システムを使ってもらい、スタート地点からゴール地点まで歩行により移動してもらいます。その際、システムから提供される情報を点字や音声で把握してもらいます。なお、移動に階段、エスカレータの利用を伴うことがあります。

(C-4) 実証実験中は、被験者の発話をICレコーダに記録します。また、装置を使っている様子や歩行している様子をビデオカメラで記録します。被験者には、実験補助者が同行し、被験者の安全確保に努めます。

(C-5) 実験者が被験者を実証実験のゴール地点から説明会場まで誘導していきま

す。

(D) 実験後のヒアリング

(D-1) 被験者の体に装着した装置を取り外します。また、背中に背負った制御用コンピュータを降ろしてもらいます。

(D-2) 被験者に屋内外視覚障害者歩行支援システムを使った感想などについてのインタビューを受けてもらいます。

(D-3) 他の被験者と一緒に、本実験で使用した屋内外視覚障害者歩行支援システムについてのグループディスカッションを行ってもらいます。

4. 実験に使用する装置の説明

・センサ装置（デバイス）：歩行動作により発生する物理的な加速度・角速度と地磁



気方位の変化を検出する受動センサ（加速度・磁気センサなど）、衛星からの電波を受信して位置を把握するGPS、外部の景色などを撮影するカメラ、障害物を検知する能動センサ（レーザレンジセンサ）のことで、これらの装置を被験者の体に装着してもらいます。

- ・点字端末：点字により文字情報を伝えるための装置です。被験者の体に装着してもらいます。
- ・制御用コンピュータ：センサ装置から得た情報を処理したり、点字端末への情報を出力したり、音声出力したりするために用いられます。制御用コンピュータには通信機能を備えたノートパソコンを使用し、ノートパソコンが入ったバックを被験者の背中に背負ってもらいます。
- ・ICレコーダ：実験終了後に被験者の発話を分析するため、実証実験中の発話などを録音するために用いられます。ICレコーダを、被験者の音声拾いやすい部位に装着してもらいます。
- ・実験風景撮影用のビデオカメラ及びスチルカメラ：実験終了後に実験経過の詳細を検証するため、また、学会やメディアで実験風景を公開するための映像を取得するために用いられます。

## 5. 予測される研究への貢献並びに被験者の受ける不利益及び危険性

本実験を通して、視覚障害者の屋内外の歩行支援に有用なシステムの開発が促進されるとともに、その評価に統計的な裏づけがなされることが期待されます。被験者の受ける不利益並びに危険性についてですが、「7. 実験の安全上の注意事項」に記載されている安全面、及び「11. 実験により得られたデータの取扱い及び公表の方法」に記載されている実験データ、映像、音声データに関する取扱いに関してご了承いただきますようお願いいたします。実験中は被験者に実験補助者が同行し被験者の歩行中の安全確保に努めます。集中して実験を遂行することにより、肉体的な疲労を伴うことはありえますので、ご了承ください。

## 6. 被験者のコンディションに関する条件及びその理由

主観データ、客観データの統計解析により屋内外視覚障害者歩行支援システム評価するために、各被験者は上記実験に含まれる行為（呈示される情報を聴覚、触覚で把握、両手による簡単な作業、歩行、着座など）を無理なく遂行することが可能でなければなりません。

## 7. 実験の安全上の注意事項

実験補助者が実験中の安全確保に努めますが、被験者はデバイスを複数装着しており、装着しない場合と同じ感覚で行動すると、思わぬ事故を起こす可能性がある

ので、十分に気をつけて行動してください。特に、歩行時、階段昇降時に転倒や躓かないように気をつけてください。頭部や胴体に各種デバイスを装着する際にぶつかって怪我をしないように気をつけてください。もし何か気になることがあれば、何でも実験者にお伝え下さい。

#### 8. 実験の中止要求の権利及びその要求方法

被験者は、いついかなる場合でも実験を中止することができます。その旨を発話もしくは手振りにてお伝えください。

#### 9. 被験者の権利及び人権擁護への配慮

個人情報の実験従事者以外に開示されることはありません。計測・記録した実験データは、別途被験者の了解を得た場合を除き、実験目的である屋内外視覚障害者歩行支援システムを評価するため、または、視覚障害者歩行支援システムを開発するため、または、統計的に処理した実験データの研究論文等への掲載以外には使用しません。さらに、別途被験者の了解を得た場合を除き、各被験者のデータは個人特定がされない形態（符号や数字などで識別される）での公表となります。被験者は、担当者に実験データの内容及び取り扱い状況について問い合わせることができます。

#### 10. 個人情報の取扱い

住所、氏名、性別、年齢などの個人情報は論文やメディアでは公表しません。顔写真などは承諾が得られた場合においてのみ公表する場合があります。個人情報と実験データは分離して保存します。これにより実験データが紛失したとしても、実験データがどの被験者から取得されたものであるかの特定が困難となります。個人情報を記入した同意書等の紙媒体は施錠して保存します。

#### 11. 実験により得られたデータの取扱い及び公表の方法

計測により取得した実験データは、「9. 被験者の権利及び人権擁護への配慮」でも述べましたように、別途被験者の了解を得た場合を除き、実験目的である屋内外視覚障害者歩行支援システムを評価するため、または、視覚障害者歩行支援システムを開発するため、または、統計的に処理した実験データの研究論文等への掲載以外には使用しません。なお、別途被験者の了解を得た場合は、本実験風景を撮影した写真や映像・音声を含め、公開させていただくことがあります。

#### 12. 被験者からの苦情を受け付ける担当部署及び連絡方法

〒422-8526 静岡市駿河区谷田52-1

静岡県立大学経営情報学部

湯瀬 裕昭 (ゆぜ ひろあき)

電話：054-264-5448 ファックス：054-264-5446

電子メール：[yuze@u-shizuoka-ken.ac.jp](mailto:yuze@u-shizuoka-ken.ac.jp)

第10条第2項関係

静岡県立大学研究倫理審査部会審査判定書

平成22年1月7日

申請者  
国際関係学部 教授  
石川 准 様

静岡県立大学  
学長 木苗 直秀



受付番号 21-42

研究課題名: センサ統合による日常利用可能な屋内外視覚障害者歩行支援システムの実証実験

申請者名 石川 准  
(研究代表者名)

さきに諮問のあった上記課題に係る研究倫理審査申請書を平成21年12月24日の研究倫理審査部会で審査し、別紙のとおり判定されましたので通知します。





別紙

判定	<table border="0"><tr><td style="text-align: center;">承認</td><td style="text-align: center;">条件付承認</td><td style="text-align: center;">変更の勧告</td></tr><tr><td style="text-align: center;">不承認</td><td style="text-align: center;">非該当</td><td></td></tr></table>	承認	条件付承認	変更の勧告	不承認	非該当	
承認	条件付承認	変更の勧告					
不承認	非該当						
理由又は勧告	<p>承認に当たって下記の意見に対して、静岡県立大学研究倫理審査部会長に（事務局経由）文書で回答すること。</p> <p style="text-align: center;">記</p> <p>承認に当たっての意見</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1 メディア掲載同意書以外の IC レコーダの会話はデータ処理及び評価後消去することは行いますか？被験者に不利益が生じないようにして下さい。</li><li>2 すばらしい開発なのでぜひとも成功していただきたい。エビデンスとして構築していただきたい。</li><li>3 かなりストレスを被験者に与えると思います。安全性の面で実験前のバイタルチェック等を含む健康アセスメントをして下さい。</li><li>4 被験者は必ず保険証と障害者手帳を持参しておくことは大切です。</li><li>5 緊急事態の対応を明示して下さい。（医療連携として八重洲クリニックやその他の病院への搬送または受診体制、災害時の対応フローなど）</li><li>6 システム自体に汎用性があるので、目的、対象を限定した利用が望まれます。</li><li>7 成果を的確に発表して視覚障害者の朗報にしてほしい。</li></ol>						

静岡県立大学研究倫理審査部会長 様

国際関係学部 石川 准

承認に当たっての意見への回答について

下記の研究課題の承認に当たっての意見に対して以下のとおり回答いたします。

・研究課題名： センサ統合による日常利用可能な屋内外視覚障害者歩行支援システムの実証実験

・承認に当たっての意見への回答

1 メディア掲載同意書以外の IC レコーダの会話はデータ処理及び評価後消去することは行いますか？被験者に不利益が生じないようにして下さい。

<回答>

研究プロジェクトの成果発表終了後に、メディア掲載同意書以外の IC レコーダで録音した会話音声データを消去し、被験者のプライバシー確保に努めます。

2 すばらしい開発なのでぜひとも成功していただきたい。エビデンスとして構築していただきたい。

<回答>

励ましのコメント、ありがとうございます。本研究が成功するよう頑張ります。

3 かなりストレスを被験者に与えると思います。安全性の面で実験前のバイタルチェック等を含む健康アセスメントをして下さい。

<回答>

実証実験開始前に被験者から各自の健康や体調の状態を聞き、健康や体調面で問題の無い被験者のみで実証実験を行うようにします。また、被験者に実証実験についての説明を充分行い、被験者が安心して実証実験に参加できるよう努力します。

4 被験者は必ず保険証と障害者手帳を持参しておくことは大切です。

<回答>

怪我などの不測の事態に備えて、被験者に保険証を持参するよう連絡いたします。

5 緊急事態の対応を明示して下さい。(医療連携として八重洲クリニックやその他の病院への搬送または受診体制、災害時の対応フローなど)

<回答>

実証実験を行う前に、実験者、実験補助者間の緊急連絡の手順を文書化し、関係者に配布するなどして緊急連絡の体制を強化します。また、病院等の連絡先なども緊急連絡の手順書に記載するようにします。

6 システム自体に汎用性があるので、目的、対象を限定した利用が望まれます。

<回答>

今回は視覚障害者の歩行者支援に限定して、実証実験を行うようにいたします。

7 成果を的確に発表して視覚障害者の朗報にしてほしい。

<回答>

研究成果を学会などで積極的に発表するとともに、実用化をめざします。