

平成 24 年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「高度センシング技術とGPSの連携による  
屋内外高精度測位システムの開発」

研究開発成果等報告書

平成 25 年 3 月

委託者 関東経済産業局

委託先 杉原エス・イー・アイ株式会社

## 目次

### 第1章 研究開発の概要

1.1	研究開発の背景・目的及び目標.....	2
	(1) 研究開発の背景	
	(2) 目的及び目標	
1.2	研究体制.....	3
	(1) 研究組織及び管理体制	
	(2) 管理員及び研究員	
	(3) 他からの指導・協力者	
1.3	成果概要.....	7
1.4	当該研究開発の連絡窓口.....	8

### 第2章 本論

2.1	測位精度の向上.....	9
2.2	ソフトウェア技術を用いた高度なセンシングの開発.....	10
2.3	内部測位計算.....	11
2.4	デッドレコニングモジュールの開発.....	12
2.5	無線通信用ソフトウェア・モジュールの開発.....	14
2.6	アプリケーションソフトウェアの開発.....	16
2.7	フィールドテスト.....	20

### 最終章 全体総括

3.1	全体総括.....	22
-----	-----------	----

付録	.....	23
----	-------	----

## 第1章 研究開発の概要

### 1.1 研究開発の背景・目的及び目標

#### (1) 研究開発の背景

携帯電話産業では、GPSで位置を測位する際に衛星と通信を行うため、地下・室内ではGPS機能が使用できず、地下・室内でもリアルタイムな測位に対するニーズが高まっている。本研究開発では、このニーズに対して、費用のかかるGPS用の基地局増設ではなく、センシング技術の高度化及び携帯電話と接続可能な機器開発及び全体を統括する組み込みソフトウェアを開発し、地下・室内での位置の測位とその測位精度の高度化を図る。

本研究開発においては、携帯電話メーカーや通信事業者における次世代のモバイルツールやネットワークサービスへの応用を目標とし、現状における最新の携帯端末をベースに研究開発を行う。

#### (2) 目的及び目標

GPS内蔵型の携帯電話の普及からも明確なように、モバイルツールによる位置情報の取得に対する需要は拡大を続けている。しかしながら、GPSのカバーエリアは衛星からの通信が可能なエリアが前提となっており、地下や室内、ビルの谷間等においてはその機能を発揮することが出来ない。GPSによる位置情報の測位精度は±10m程度であり、より高度な測位精度が求められている。

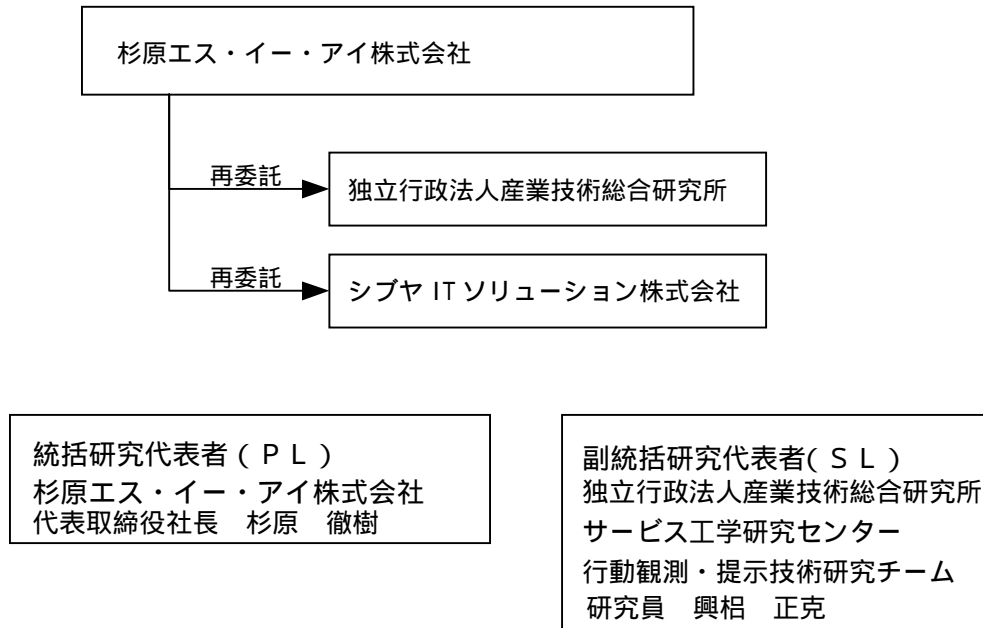
上記の課題に対して、携帯電話メーカーにとっては携帯端末の機能・性能の向上、通信事業者にとってはネットワークサービスの拡充・多様化が求められている。これらの状況を解決するために、高度なセンシング技術を活用し、人の歩幅や移動方位を捕捉し位置情報の測位を行うことで、GPSのカバーエリアでなくても位置情報の測位が可能とする技術を開発する。

この測位システムを携帯電話と接続可能な端末機器に組み込み、専用の組み込みソフトウェアによる高度な演算処理を行うことで、従来のGPS測位精度：±10mに対して±1m以下の高精度な位置情報を計測することが可能となる。本研究開発では、GPSと測位システムを連携させ、それぞれの特徴が活かせる屋外や屋内エリアで活用し、一般ユーザーが多様化されたネットワークサービスと高度な新規機能を利用できるようにすることを目的とする。また、産業分野においても、地下街や複合施設、空港等の巨大施設での屋内外位置情報サービス、病院、介護施設等におけるスタッフ・物品の位置情報管理、障害者・老人などの歩行支援等に利用できるようにする。

## 1.2 研究体制

### (1) 研究組織及び管理体制

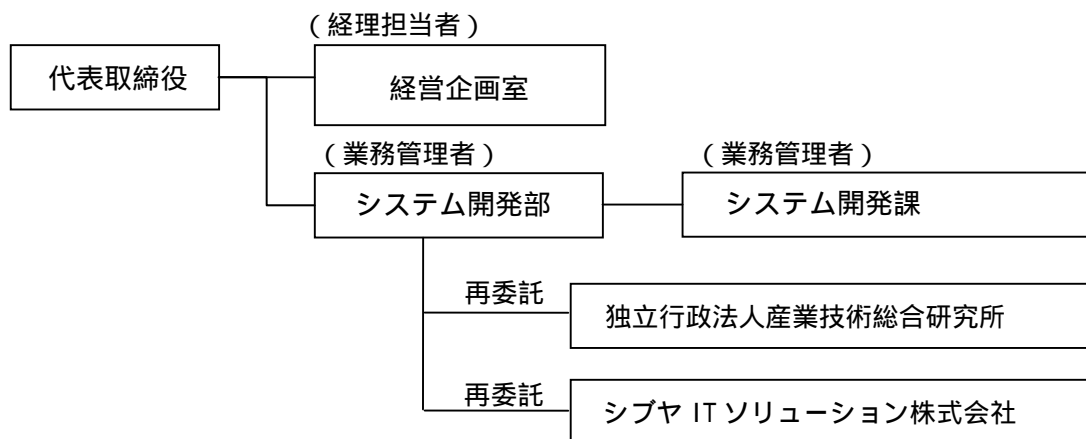
#### 1) 研究組織(全体)



#### 2) 管理体制

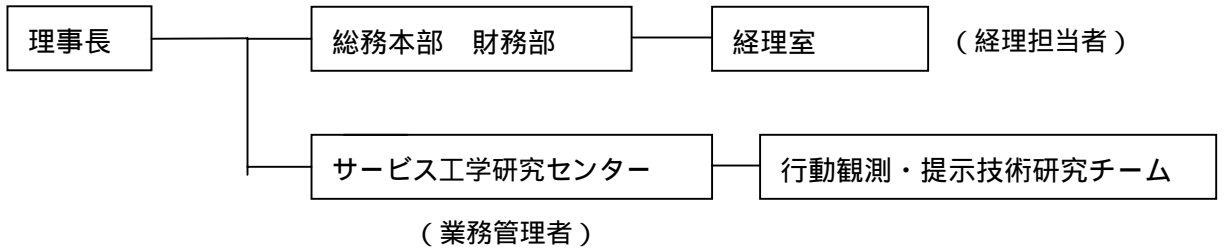
##### 事業管理機関

[ 杉原エス・イー・アイ株式会社 ]

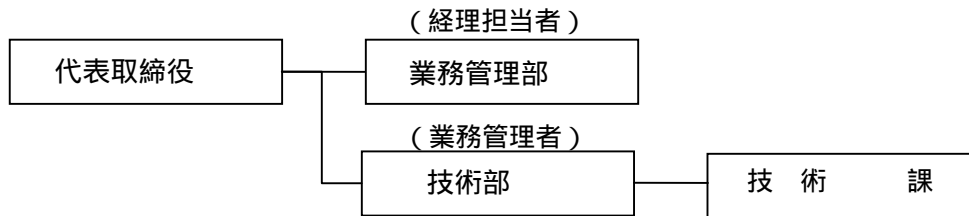


再委託先

[ 独立行政法人産業技術総合研究所 ]



[ シブヤ IT ソリューション株式会社 ]



## (2) 管理員及び研究員

【事業管理機関】杉原エス・イー・アイ株式会社

### 管理員

氏名	所属・役職
熊谷 恒美	システム開発部 次長
小林 英夫	システム開発部 課長
北爪 隆行	システム開発部 課長

### 研究員

氏名	所属・役職
杉原 徹樹	代表取締役社長
小林 英夫(再)	システム開発部 課長
北爪 隆行(再)	システム開発部 システム開発課 課長
田部井 徹	システム開発部 課長
石川 勝彦	システム開発部 課長
根井 一志	システム開発部 リーダー
西村 元輝	システム開発部 リーダー

【再委託先】 研究員のみ

独立行政法人産業技術総合研究所

氏名	所属・役職
蔵田 武志	サービス工学研究センター 行 動観測・提示技術研究チーム 研 究チーム長
興梠 正克	サービス工学研究センター 行 動観測・提示技術研究チーム 研 究員

シブヤ IT ソリューション株式会社

氏名	所属・役職
中野 伸之	技術部 技術 課 主事
内海 弘志	技術部 技術 課 主事
松本 晃典	技術部 技術 課
奥村 東	技術部 技術 課

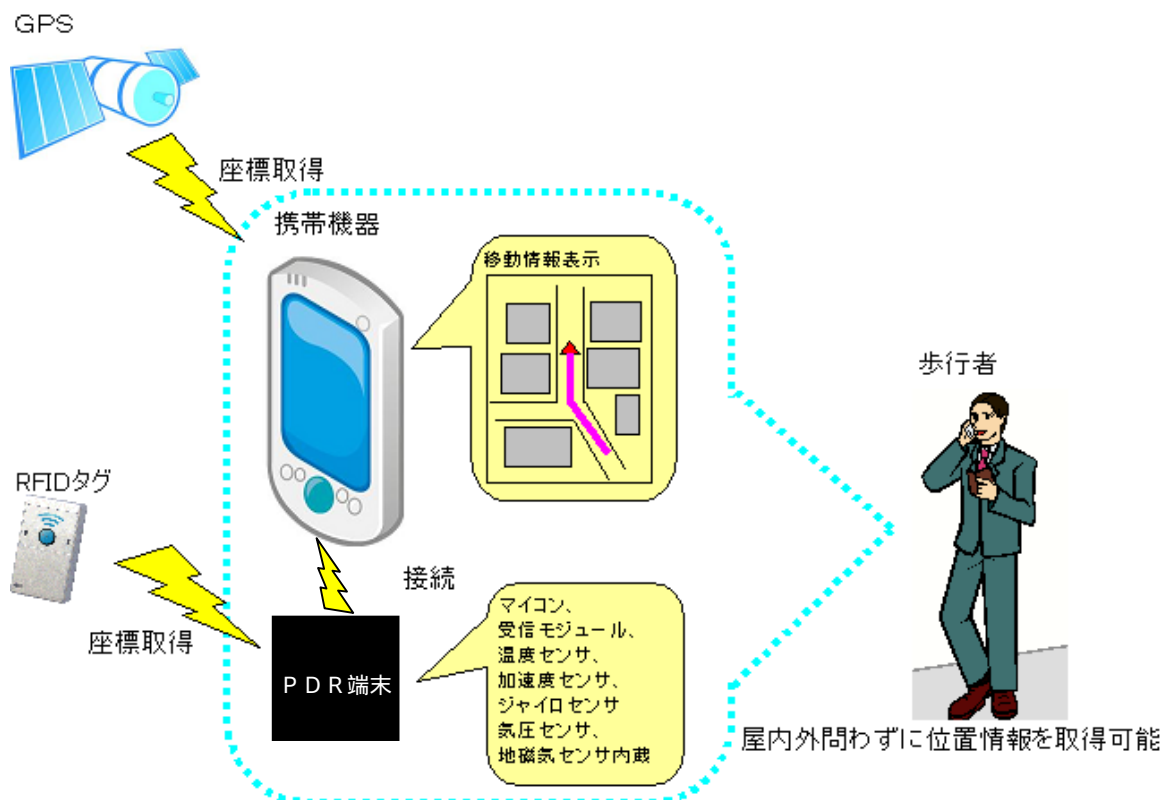
### (3) 他からの指導・協力者

#### 研究開発推進委員会 委員

氏名	所属・役職	備考
杉原 徹樹	杉原エス・イー・アイ株式会社 社長	PL
興梠 正克	独立行政法人産業技術総合研究所 研究員	SL <input type="checkbox"/>
澁谷 信男	株式会社東芝 研究開発センター 機器試作部 主務	アドバイザー
武部 実	澁谷工業株式会社 電子総合技術 部 主管技師	アドバイザー (謝金、旅費あり)
蔵田 武志	独立行政法人産業技術総合研究所 研究チーム長	
村中 志有	シブヤ ITソリューション株式会社 技術部長	
小林 英夫	杉原エス・イー・アイ株式会社 システム開発部 課長	<input type="checkbox"/>
北爪 隆行	杉原エス・イー・アイ株式会社 システム開発部 システム開発課 課長	<input type="checkbox"/>

## 1.3 成果概要

### システムの概要図



#### (1) 測位精度の向上

(実施：杉原エス・イー・アイ株式会社、独立行政法人産業技術総合研究所)

人の動きを計測するセンシング技術（主に角速度・加速度）のセンサ値のキャリブレーションを実施した。

#### (2) ソフトウェア技術を用いた高度なセンシングの開発

(実施：杉原エス・イー・アイ株式会社)

各種センサをデッドレコニング技術に利用する為に必要なスペックを精査した。

温度特性や個体差などをソフトウェアでキャリブレーションを行うことにより、精度が向上することが確認できた。

#### (3) 内部測位計算

(実施：杉原エス・イー・アイ株式会社、独立行政法人産業技術総合研究所)

従来のデッドレコニング技術では、パソコンを用いて複雑な計算を行っていた為、大がかりなシステムが必要であったが、本研究開発においてセンサから得られたデータをもとに、測位計算を端末内部で行う為の組み込みソフトウェアを開発した。



#### (4) デッドレコニングモジュールの開発

(実施：杉原エス・イー・アイ株式会社)

各種センサを搭載し、電池駆動を可能としたデッドレコニング端末を開発した。

#### (5) 無線通信用ソフトウェア・モジュールの開発

(実施：杉原エス・イー・アイ株式会社)

デッドレコニング技術で生じる測位誤差を補正する機器の開発を行った。実運用上で有効となる無線通信及び位置補正技術を検証した。

#### (6) アプリケーションソフトウェアの開発

(実施：杉原エス・イー・アイ株式会社、シブヤ ITソリューション株式会社)

GPS と測位システムを融合した技術を進展させ、ユーザーインターフェースを考慮し、分かり易く実用的なアプリケーションソフトを開発した。

iPhone、Andoroid 携帯端末及びパソコン等各種端末で動作するアプリケーションソフトを開発し、評価を行った。

#### (7) フィールドテスト

(実施：杉原エス・イー・アイ株式会社、独立行政法人産業技術総合研究所、シブヤ ITソリューション株式会社)

社内及び社外において、GPS と測位システムを融合した実験を行った。

#### (8) プロジェクトの管理・運営

(実施：杉原エス・イー・アイ株式会社)

ほぼ毎月、研究開発の打合せを実施し、積極的な意見交換を行った。

再委託先事業者の中間・確定検査及び書類作成の指導・確認を行った。

研究開発推進委員会も、定期的を実施した。

### 1.4 当該研究開発の連絡窓口

所属・役職	杉原エス・イー・アイ株式会社 代表取締役社長
氏名	杉原 徹樹
電話	0270-25-8101
FAX	0270-23-2779
E-mail	tetsuki-sugihara@ssei.co.jp

## 第2章 本論

### 2.1 測位精度の向上

#### 1) 課題・目標

デッドレコニングによる測位誤差は、事前に加速度・磁気・角速度センサの校正作業を適切に実施した場合、全歩行距離の2～5%程度となる。校正作業の自動化を促進し、安定した測位精度の提供を目指す。

また、歩行パターン、速度又は立地条件等の変化により生じる誤認識率を下げるための評価を行い、実環境での測位精度の向上を目指す。

歩行パラメータを事前に設定し、一般的な平地環境をほぼ一定の速度で歩行し、マップマッチングなどの補正手段を用いた場合の精度 エレベーター、エスカレーター等での動力を用いた移動、走る、回転、しゃがむ、ジャンプ等の歩行以外の動作についてはこの誤差範囲を保証しない。

#### 2) 実績

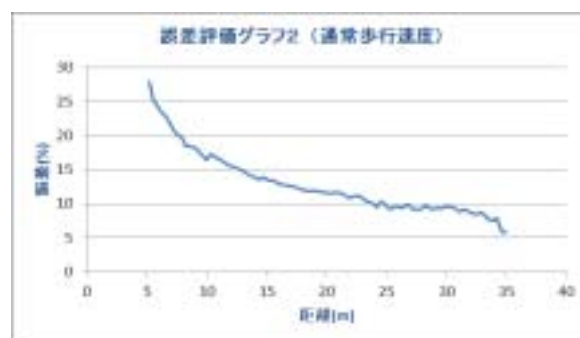
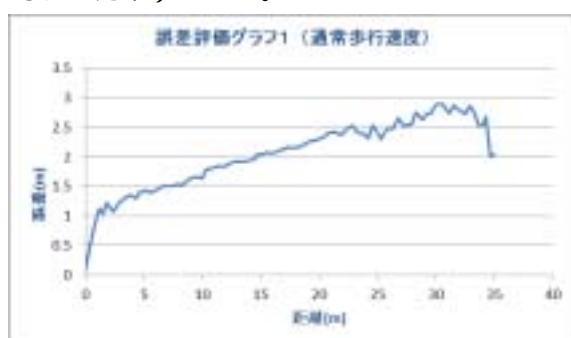
##### 2-1) キャリブレーションソフト

地磁気・加速度・角速度センサのキャリブレーションデータを取得した後、測定データを入力し、キャリブレーションデータを出力するソフトを開発した。

##### 2-2) 測位精度の把握

PDRによる測位精度をマイクロなレベルで調査するため、LRF (Laser Range Finder) を用いて人の歩行軌跡(2次元位置の履歴)の真値を計測し、その特性と精度を評価した。被験者が直線歩行路(35m)を歩行したときのLRFによる計測結果に基づいてその測位誤差を評価した。

グラフ1・2はそれぞれ通常速度、高速、低速で歩行したときの、歩行距離を横軸にとり、その測位誤差(LRFより計測した位置の真値とPDRによる測位結果の誤差)を縦軸にとった誤差評価グラフ(グラフ1は絶対誤差、グラフ2はその誤差の距離に対する比率)である。



## 2.2 ソフトウェア技術を用いた高度なセンシングの開発

### 1) 課題・目標

各種センサにおいて感度や精度等を検証し、ソフトウェア技術を用いて、デッドレコニングに必要な精度が得られるセンシング技術を開発する。

### 2) 実績

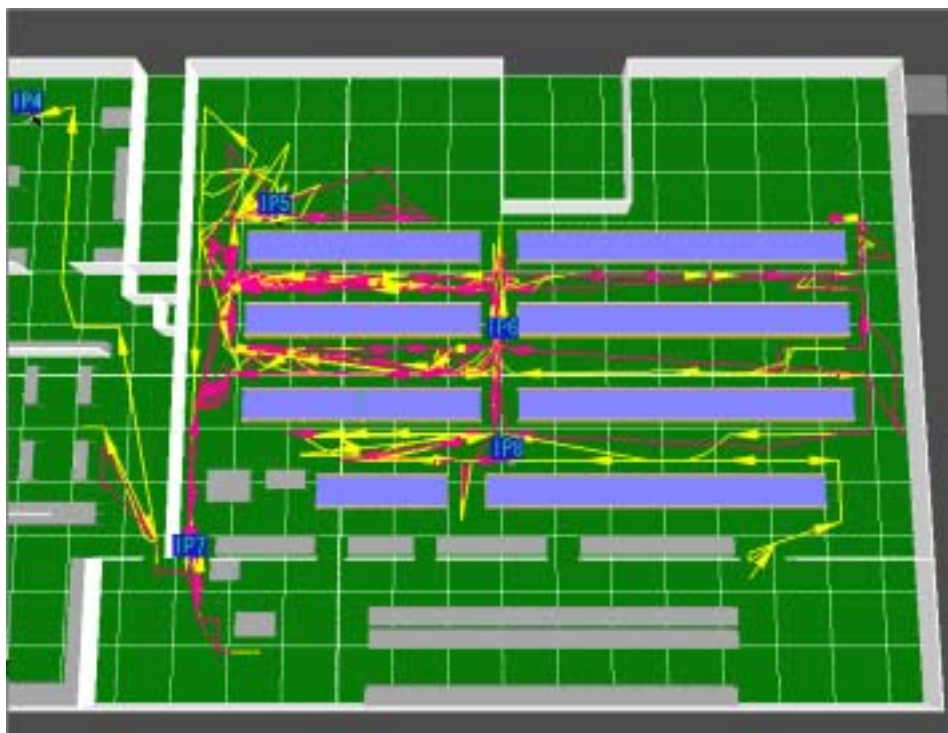
#### 2-2) 装着位置の違いによる位置情報結果

PDR端末の装着位置を、腰のベルトと胸ポケットの2箇所に装着し、同時に計測を行い、装着位置の違いによる出力値の検証を行った。

- ・赤：腰のベルトに装着
- ・黄：胸ポケットに装着

胸ポケットに装着した時には、腰に比べて遅れて動作した。身体との一体感が少なく、認識には難があった。

現状では腰（なるべく身体に密着）した方が良い結果が出る。



### 3) 統括

実験結果より、センサの特性を把握し、適切な補正を加えることにより誤差を減少させることが出来た。

製品化に向けては、性能とコストのバランスもある為に、特性の把握と補正は重要度が高いと思われる。

## 2.3 内部測位計算

### 1) 課題・目標

端末内部のマイコンで測位計算をするためには、高い処理速度と大容量メモリで計算を行う能力が必要だったが、測位計算ライブラリを見直し、負荷率と性能とのバランスを検証し、省電力化にも取り組み、最適なソフトウェア開発を行う。

### 2) 実績

#### 2-1) 測位計算処理の高速化と安定化

PC と比べて非力な計算機資源である組み込みシステム向けのマイコンをターゲットとした場合、PDR の測位計算に要する計算コストとメモリ使用量は、非常に高いレベルである。たとえば、マイコンの中では高性能と分類される FreeScale 社のマイコン MK20DN512Zxxx10 であっても、そのリアルタイム処理（PDR に推奨されるセンサ処理レートは 100Hz）を実現するには、PC 向けに開発・実装された従前の PDR ソフトウェア（ANSI-C 言語に準拠）を単純に移植した場合、その計算コストが高すぎる問題とメモリ使用量が大きい問題があった。

そこで、この問題を解決するために、まず従前の PDR ソフトウェアの計算コストのプロファイリングツール（GNU gprof と Intel VTune Amplifier XE）を用いてそのホットスポット検出を PC 上で実施した。その結果から、行列積算処理の計算コストが最も高く、PDR の計算処理の 70%以上を占めていることが分かった。これは姿勢・方位の推定処理に使われるカルマンフィルタの内部計算に存在する行列積算処理が支配的なためである。

上記の他様々な対策を行い計算コストを 25%削減し、メモリ使用量を 65%削減（約 32Kbyte へと縮減）できた。また、これらの改善結果としてリアルタイム処理の実現に足りる性能を前述のマイコン環境で実現できた。同時に、PDR の測位性能については、まったく影響を与えないことが確認できた。

### 3) 統括

測位に対する認識を、利用者視点に切り替え、実際の運用で必要となる項目を追加していった。

装着位置、横歩き、後ろ歩きに関しては、要望があったものなので、ここを実現できたことはいよいよ製品化に近づいた。

## 2.4 デッドレコニングモジュールの開発

### 1) 課題・目標

アドバイザーからアドバイスを受けながら、ユーザーインターフェースの改善と、ソフトウェアによる調整機能の追加を行う。

### 2) 実績

#### 2-1) ハードウェアに関して

年度を通じて使用者が運用しやすいユーザーインターフェースを考え、設計・デザインを行った。万歩計をイメージとして、全体の大きさ、重さ、使いやすさなどを考慮した。WiFiモジュールを組み込み、リアルタイムでのデータ出力と、無線を利用した設定変更などもサポートした。

以下に筐体画像を示す。



## 2 - 2 ) ソフトウェアに関して

各種調整、WiFi 設定などを USB 経由で変更できる様に開発した。

WiFi から内部の設定を変更出来るようにした。

SD カードの処理をメインマイコンから外に出し、負荷軽減とコア技術の分離を行った。SD カードへの書き込みをスピードとメモリ効率を検討し、高速化を行った。

## 2 - 3 ) 仕様

開発した P D R 端末の仕様を以下の表に示す。

項目	内容
無線部	WiFi(802.11)、2.4GHz 帯無線
インターフェース	miniUSB : 内蔵電池充電用、通信用
内部記録	microSD : 位置情報記録、設定用
動作時間	内蔵電池にて約4時間
測位誤差	補正併用により歩行距離の5%程度
出力データ	相対位置、方位角、歩数等
補正手段	RFID による局地的補正
サイズ、重量	62 × 50 × 21mm、約 58g

## 3 ) 統括

ハードウェア及びソフトウェアの開発が完了した。

コア技術と周辺インターフェースを切り離すことにより、コア技術に注力した開発と問題の切り分けが可能になった。

デッドレコニング技術の組み込みソフトウェア化が完了した。

## 2.5 無線通信のソフトウェア・モジュールの開発

### 1) 課題・目標

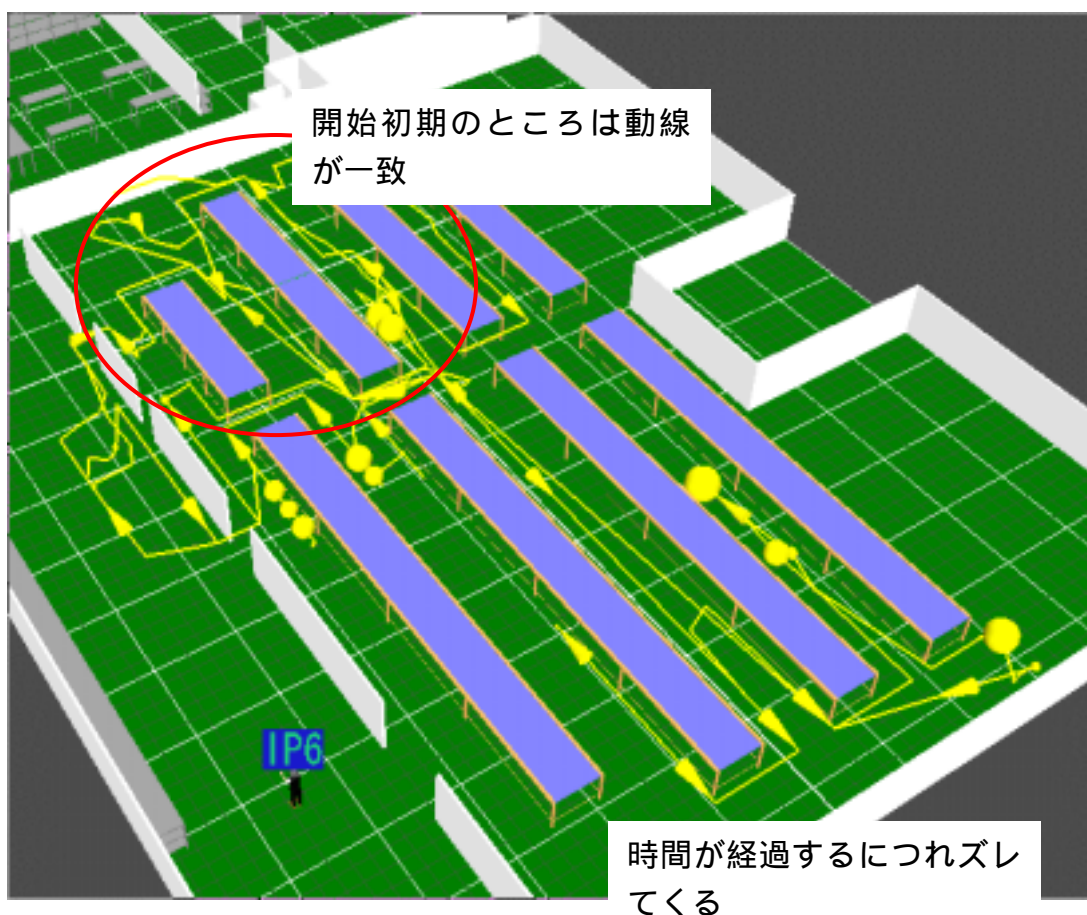
デッドレコニング技術で生じる測位誤差を補正する機器の開発を行う。実運用上で有効となる無線通信及び位置補正技術を検証する。

### 2) 実績

#### 2-1) 位置補正について

デッドレコニング技術は計算で位置を推定する為、移動距離、時間経過と共にわずかながら実際の位置とのズレが生じてくる。

下記に位置補正を行わない例を示す。



図：位置補正を行わない例

## 2 - 2 ) 位置補正機器

市販の樹脂ケースに入れ、シールドはメッキ1層のみのものを制作した。

電波出力強度を最弱の0に設定して至近距離を通過時に位置補正を行うようにした。



## 3 ) 統括

試作に対して実験と検証を行いPDR 端末に組み込んである無線機器との通信方法の検討を行った。

実際の運用としては、補正方法は何パターンか利用出来ると利用者の選択肢が増えることになるので、様々なパターンに対応出来ると思われる。

また、スマートフォンと連携することにより、PDR 端末 + 補正 + スマートフォンの関係で全体的に連携した位置情報ソリューションを提供出来る仕組みが出来た。



## 2.6 アプリケーションソフトウェアの開発

### 1) 課題・目標

GPS と測位システムを融合した技術を発展させ、ユーザーインターフェースを考慮し、分かり易く実用的なアプリケーションソフトを開発する。

iPhone、Android 携帯端末及びパソコン等各種端末で動作するアプリケーションソフトを開発し、評価を行う。

### 2) 実績

#### 2-1) スマートフォン用アプリ

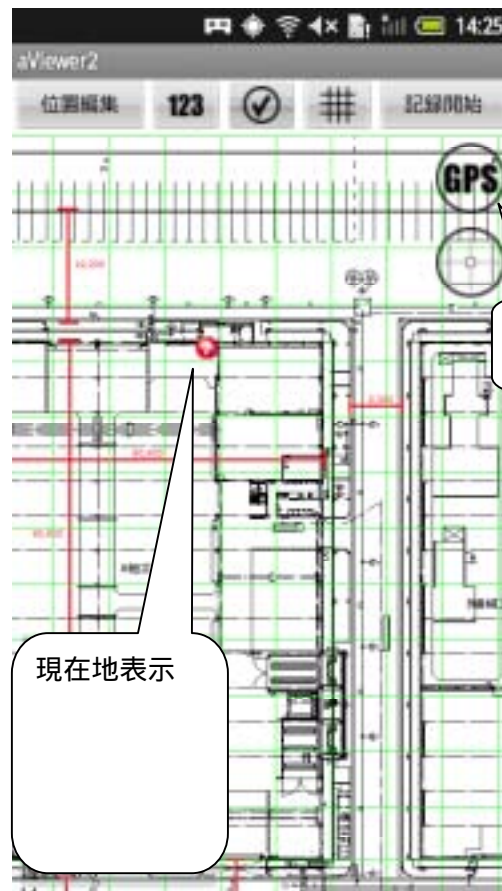
PDR 端末からの位置情報出力を iPhone 及び Android 端末上上にリアルタイムで表示させるアプリケーションの開発を行った。

スマートフォンのGPSと連携させる為のソフトウェアを開発し、画面上に表示できるようにした。

#### ・スマートフォンアプリ画面



歩行軌跡が表示  
GPS 情報も取得し、連携した位置情報を計算し、表示を行う



現在地表示

GPS 利用

### 2 - 3 ) 動線分析ソフトとの連携

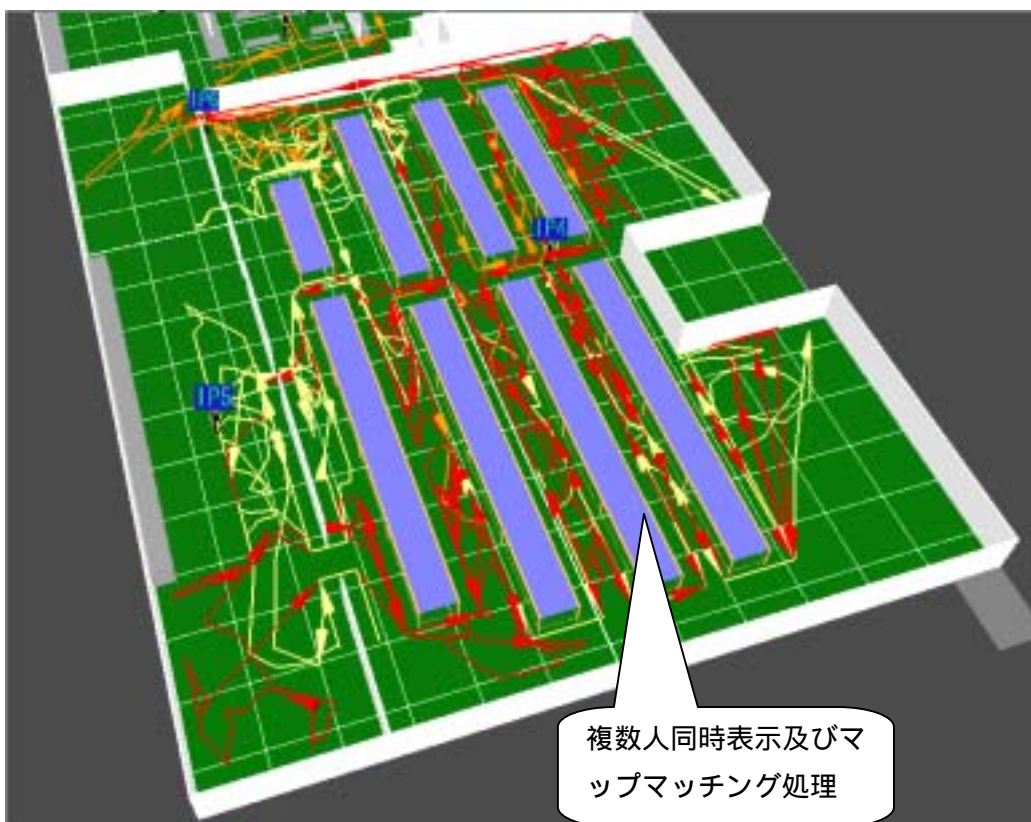
動線分析ソフトを使用することで、より結果を鮮明に表示出来るようになった。

また、分析結果を出すことが出来るので、精度評価や停止時間など、各種評価に利用することが出来た。

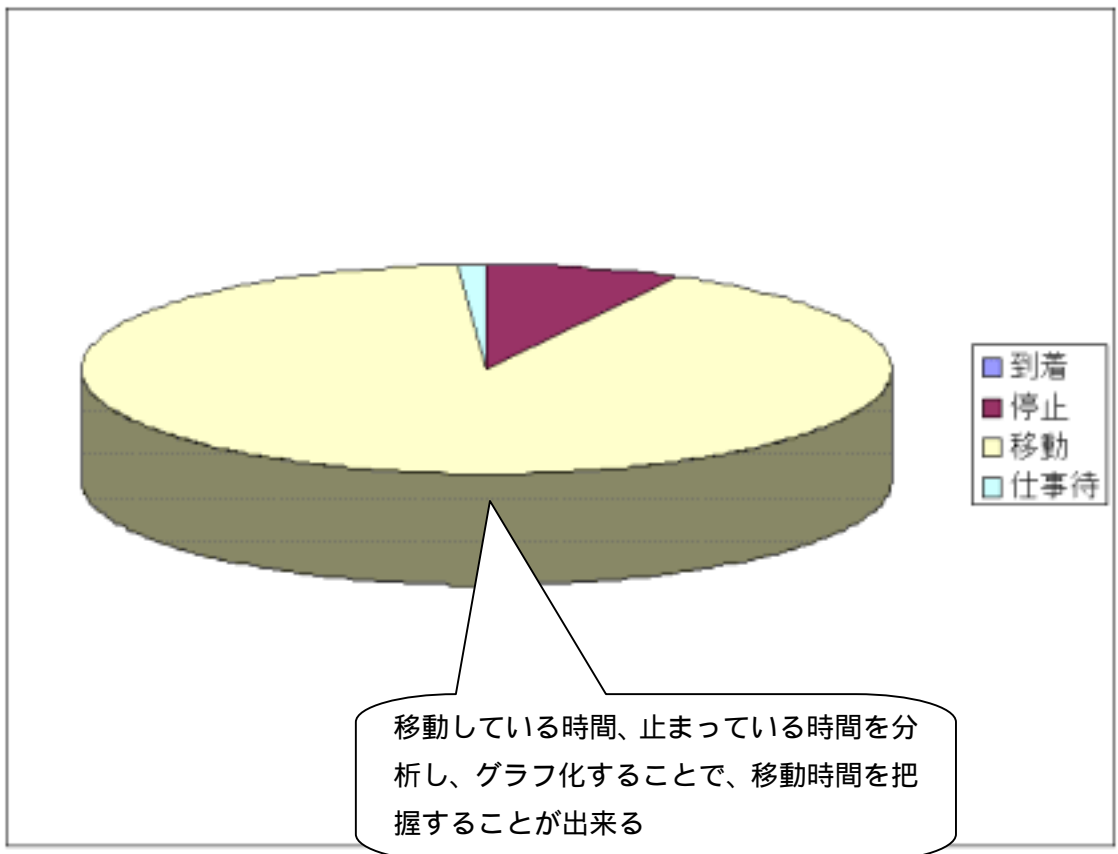
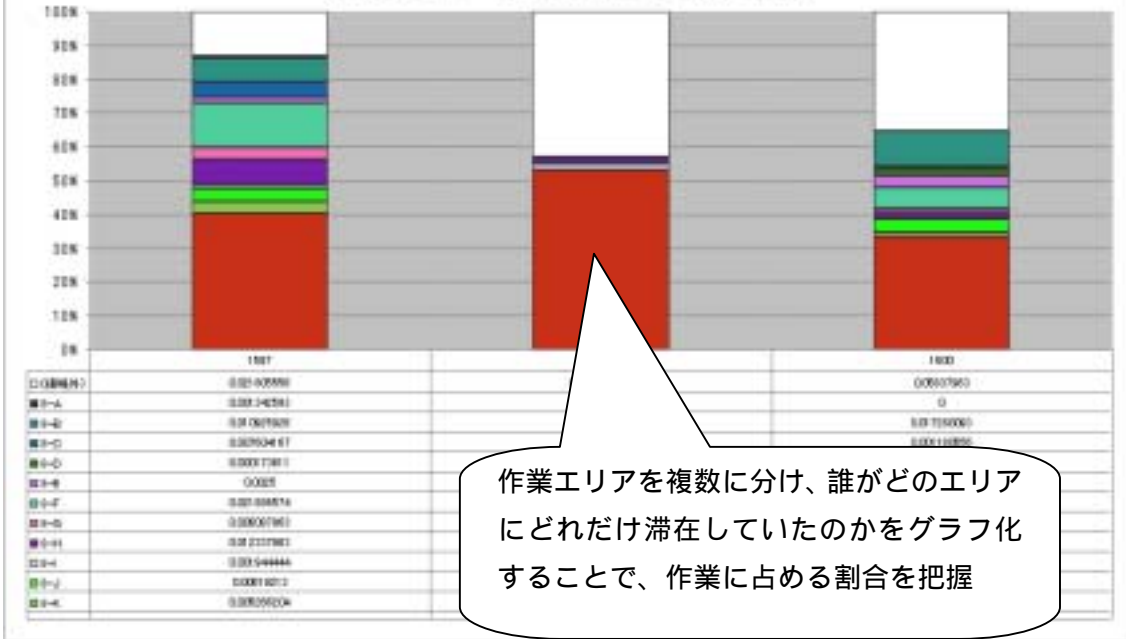
動線を複数人同時表示出来る為、比較がしやすくなっている。

マップとの連携として、マップマッチング処理を併用することが出来る為、壁など障害物で通り抜け出来ない場合においても適切な補正で軌跡を描くことが出来た。

#### ・連携画面 1



作業員毎のエリア別滞在率と滞在時間



### 3) 統括

スマートフォンと連携し、GPS機能を利用することで、PDR端末のみでは相対位置しか分からなかったものが、絶対位置とのリンクが出来てきた。

屋外でGPSを補足し絶対位置とリンクさせ、屋内はPDR端末で測位をするという連携方法が確立出来た。

PCアプリにおいてはスマートフォンでは出来ないような大規模の運用から、分析ソフトを利用することで作業分析を可能とし、生産現場などでの改善活動に展開出来るような仕組みを設けることが出来た。

## 2.7 フィールドテスト

### 1) 課題・目標

GPS と測位システムが連携したフィールドテストを行う。

フィールドテストとして、コンソーシアムであるシブヤITソリューション(株)協力のもとメンテナンス作業を想定したテストを実施する。博物館や寺社等の案内サービス分野での利用調査を行う。

デッドレコニングモジュールは、緯度経度、地磁気及び重力加速度の影響を受けるため、緯度の高低による実験を行い、製品にフィードバックし、全国で運用できるように検証を行う。

### 2) 実績

#### 2-1) 杉原エス・イー・アイ(株)社外でのフィールドテスト

PDR 端末を使用して、コンソーシアムである独立行政法人産業技術研究所とシブヤITソリューションと合同でフィールドテストを行った。歩行精度などの検証を行い、今後の解決すべき課題点の検討を行った。

又、屋外にてGPS機能との連携実験も実施した。

PDR 端末を装着した被験者が、決められた経路を歩き、経路と測位の誤差を調べた。GPS と連携した実験データを取ることが出来た。

PDR 端末の装着場所の評価も同時に行った。

#### ・結果：屋外 工場1周

PDR 端末とGPS を連携しての屋外テストを実施した。

工場周辺を1周し、実際の経路と精度を比較した。

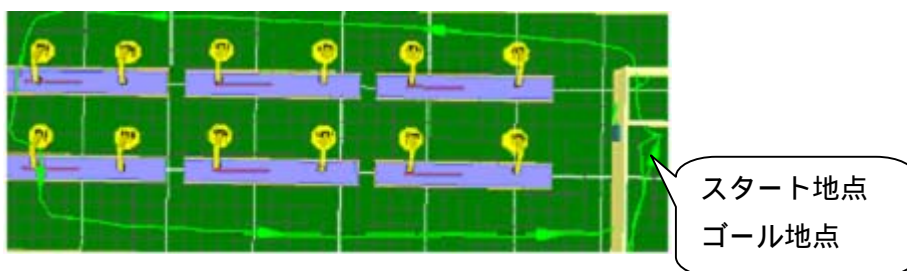
歩行距離約432メートルでスタート地点に戻ってきた時の測位誤差は約5メートルであった。

#### 2-2) 杉原エス・イー・アイ(株)でのフィールドテスト

自社工場内でのテストを実施した。

工場内の作業者の位置情報を取得すると共に、自分達も同時に計測を行い測位テストを実施した。

## ・プロット図



事務エリアからスタートし、工場内を1周して戻るというルートでテストを実施した。

初期方位がわずかに傾いたところはあるが、精度としては申し分ない結果が出た為、若干の補正が入ればより精度が向上すると思われる。

### 3) 統括

フィールドテストの時間を多くとり、杉原エス・イー・アイ株式会社内では毎日のように実験を繰り返した。

また社外でのフィールドテストも実施した。屋内の結果としては良い形で出ており、精度も想定内であった。社内での評価には補正機器を利用していないが、実際の運用を想定した動きでは必要になると思われるので、設置位置などの検討は必要と思われる。今後は社内での運用を繰り返し、安定化を図りたい。

## 最終章 全体総括

### 3.1 全体総括

高度なセンシング技術を活用し、人の動きを位置情報に変換するデッドレコニングを用いて測位を行うことで、屋内外での位置情報の測位が可能とする技術の開発を行った。

この測位システムをPDR端末として小型化に成功し、スマートフォンなどの携帯電話に内蔵されたGPSと連携することにより、絶対位置を出力するGPSと、相対位置を出力するPDR端末との関係は密接となって屋内外でのシームレスな運用が可能となった。

基は高速なコンピュータで計算を行っていたデッドレコニングの計算を、小型装着型の端末が行うことにはハードルが高かったが、精度をなるべく落とさずに計算の簡略化を行う測位ライブラリの開発など、小型・省電力化に特化して実現した。

小型装着型の端末としては、PDR端末と呼称し開発を行った。

コア技術と周辺回路を分離するという一方で、マイコンを2種類搭載し、組込みソフトウェアとしてコア技術の負荷軽減を行い、また転用が行いやすい方式とした。

特に記録媒体であるSDカードにおいては処理負荷が大きい為、これを分離したことは大きく変更することになったが、効果は大きい。

補正機器に関しては数種類開発を行い、用途によって選択出来る様にした。

再委託先である独立行政法人産業技術総合研究所によると、補正機器はピンポイント補正の方が効果が大きいとのことで、短距離通信の補正機器の開発も行った。

再委託先であるシブヤITソリューション株式会社においては、携帯機器アプリケーションの開発を行い、アプリケーションソフトの試作開発まで行った。

GPSと連携したアルゴリズムなどは、合同会議などで議論され、改良、実施していった。

定期的に行われた研究開発推進委員会ではアドバイザーの方々に製品化への意見を頂いたため、真摯に受け止めて川下企業への販売を推進していきたい。

## 付録

### 専門用語等の解説

#### 【Laser Range Finder】

レーザーを照射してその反射波を計測することで、平面上の人の位置を高い精度(誤差: 10cm 以下)で測定する装置。

#### 【加速度センサ】

加速度を計測するセンサ。X、Y、Zの3軸方向の揺れ、震動、傾きなどを検知する。

#### 【角速度センサ】

角度や角速度を計測するセンサ。回転のスピードを測ることができ、ロボットの姿勢制御やカメラの手ぶれ補正等に使われている。

#### 【デッドレコニング】

歩行者に装着されたセンサシステムによって人の歩行動作を計測、解析し、その移動方位と歩幅を装着型計算機システムが推定することにより、その歩行者に対して道案内などのアプリケーションを提供する。