



インドア測位とは何か

ーインドア測位の現状ー

2011.3.9 延期→ 2011.5.14 JFS講演会

岡本 修 (日本測量者連盟 第6分科会委員長, 茨城工業高等専門学校)

内 容

- ロボット, センサ, 測量. . . 測位への研究背景
 - 私の研究経緯から. . .
- 屋外測位 (衛星測位)
 - 悪環境における高精度GPSの実力
 - 高感度GPSの実力
 - 衛星測位の現状の実力 (GPS/GLONASS)
- **屋内測位**
 - 屋内測位の基本
 - 慣性航法 (ジャイロ, 加速度計)
 - 電波灯台 (無線LAN, RF-ID, 赤外線, IMES)
 - 屋内測位の現状 (IPIN2010の発表研究の紹介を中心に. . .)

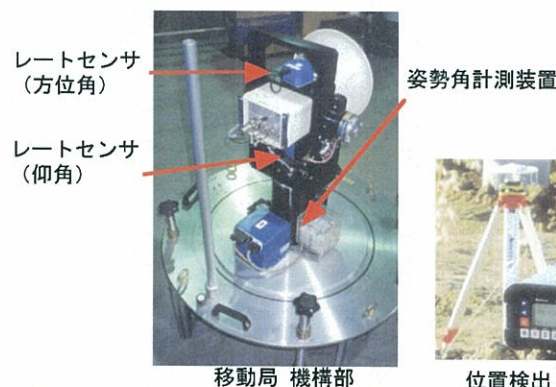
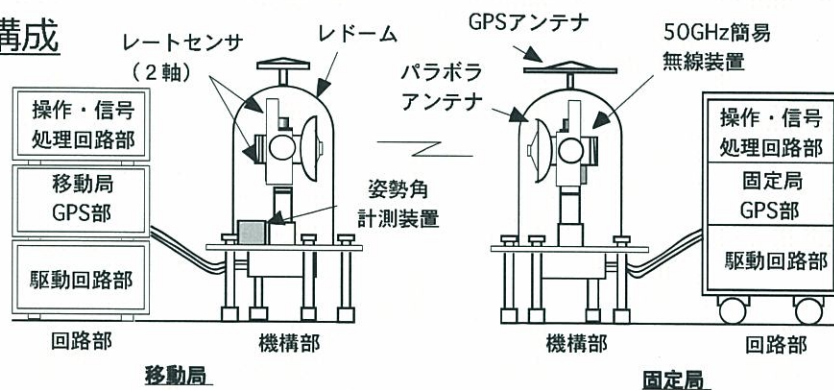
ロボット, センサ, 測量. . . 測位への研究背景

- 学生時代 . . . 電総研ロボットグループにおける実習生時代
 - センサフュージョンの研究
 - 複数センサ情報からしか得られない情報でロボット制御
 - センサ情報をどのように料理して利用するか . . .
 - センサ情報はそのまま使えない. . . 個々のセンサの癖 (泥くさい世界)
- ゼネコン時代 . . . 現場向けシステムの開発
 - 建設ロボット
 - 壁面作業ロボット, 雲仙普賢岳無人化施工向け通信装置
 - 測量機器の取りまとめがスタート
 - RTK-GPSとの出会い (Trimble4000SSEリバーズRTK1号機導入)
 - ケーソン沈設工事支援システムへのGPSの利用
- 現在の研究の基軸
 - 測位 (計測・制御), センサ応用した様々なシステム開発
 - センサを如何に精度良く使うか

(紹介) 雲仙普賢岳無人化施工向け通信装置の研究

※前職での成果

装置の構成



(紹介) ケーソン沈設工事支援システムへのGPSの利用

※前職での成果

RTK-GPS測位システム



基準局の設置状況



370m



ケーソンへのGPSアンテナ設置状況

FC船のブームや吊りワイヤ、吊りワイヤを固定する配置枠の影響が懸念

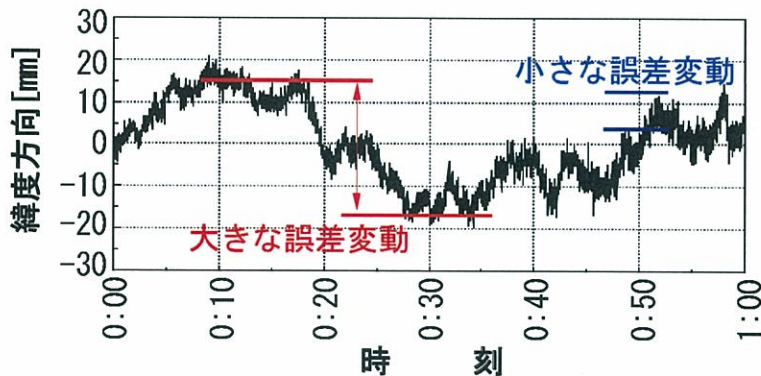
屋外測位 (衛星測位)

- 「屋内測位への流れ」の理解
 - 屋外測位 (衛星測位) の現状把握が理解の助けとなる

- これまでの衛星測位の方向性
 - 測位精度の維持・改善
 - 悪環境におけるGPSの測位精度
 - 測位可能な範囲の拡大
 - 高感度GPSの実力

- 衛星測位の現状の実力
 - GPS/GLONASSの測位精度, 測位可能範囲の拡大の現状

測位精度の維持・改善 →悪環境におけるGPSの測位精度



実験状況

壁際におけるRTK-GPSの固定点測位結果

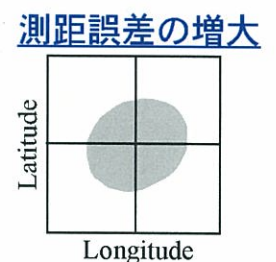
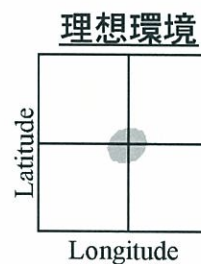
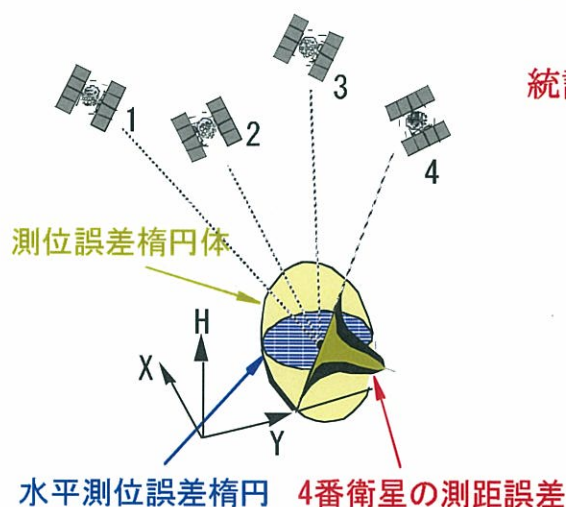
- ・変動幅は、最大最小範囲40mm程度
- ・誤差には、大きな誤差変動と小さな誤差変動の2種類
- ・小さな誤差変動は常に測位値に生じる
- ・大きな誤差変動は時間をかけてゆっくり変化しており、周期の違うものが重なっている

測位精度の改善 →悪環境におけるGPSの測位精度

誤差要因 1：測距誤差の増大

- 衛星-測点間の測距に生じる誤差
- 小さな誤差変動の要因
- 衛星の幾何学的配置より測位誤差分布を算出可能

統計処理によって精度向上

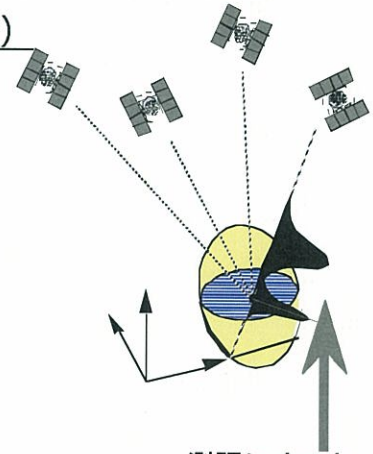


測位精度の改善

→悪環境におけるGPSの測位精度

誤差要因2：測距のオフセット誤差（マルチパス誤差）

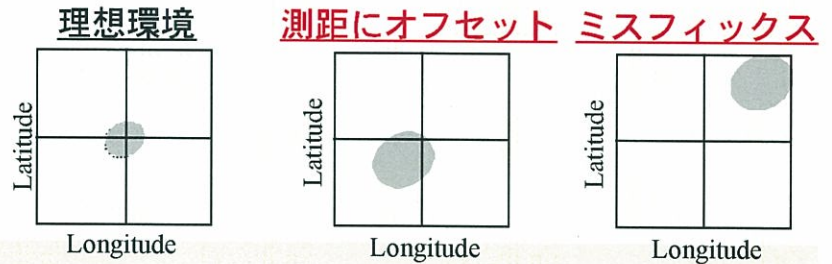
- 大きな誤差変動の要因
- マルチパス（反射波と直接波が干渉）がその要因
- 固定点測位で周囲の反射面に変化がない場合でも、時々刻々と変化する衛星配置により変化
- 個々の衛星との測距にオフセット量が変化する誤差が生じるため、測位誤差の変化は複雑



測距にオフセット

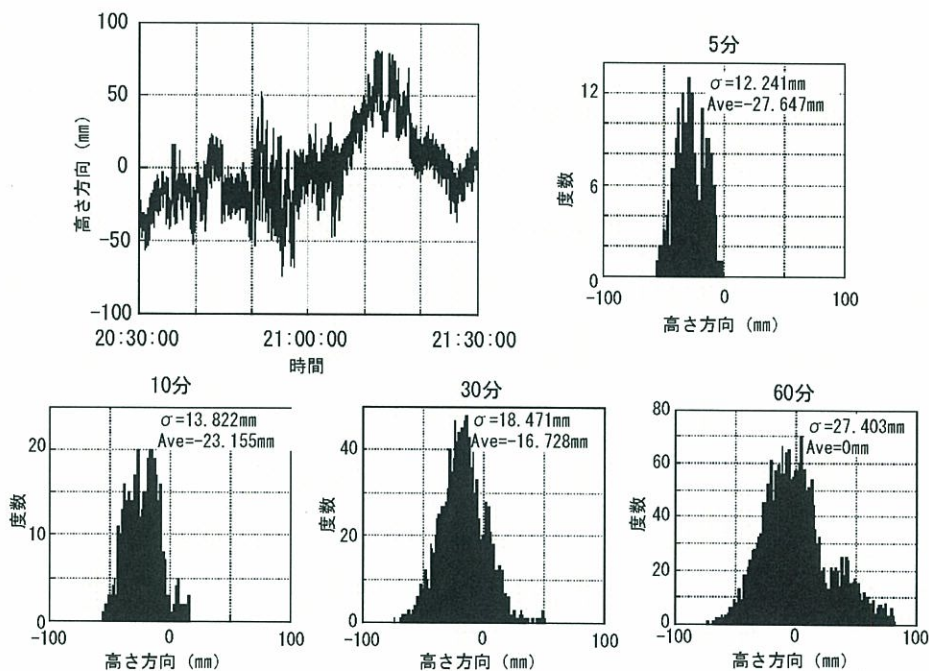
※上図はパスが短くなっているが
実際にはマルチパスでパスは長くなる

誤差分布は正規分布をとらないため統計処理による誤差補正は困難



測位精度の改善

→悪環境におけるGPSの測位精度



単純な平均化による精度改善は不可能

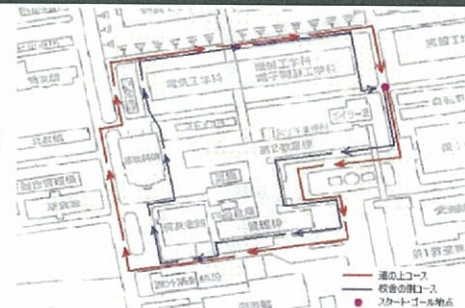
→高精度GPSの誤差はマルチパスが主要因

測位精度の改善 →悪環境におけるGPSの測位精度

- 支配的な誤差—マルチパス誤差の除去手法
 - アンテナによる低減
 - グランドプレーンによる下方向からの反射波の抑制
 - 右旋回円偏波受信アンテナによる反射波の受信感度抑制
 - 受信機内部
 - 搬送波を利用したコードのキャリアスモーキング (DGPSのみ)
 - コリレータ (ナローコリレータ, ストロボコリレータ)
 - マルチパス波の推定
 - 高精度GPSにおいて劇的な改善は困難
- マルチパスの影響が少ない衛星の選択
 - 測位計算に必要な衛星数が確保できず困難

測位可能な範囲の拡大(高感度GPSの実力)

- 屋内でも測位可能
- 測位可能な範囲の拡大→マルチパスの積極的な利用で実現
- 「測位可能範囲の拡大」と「測位精度」はトレードオフ



GPS vs 高感度GPS (歩行ルート)



図10. 3月5日15時 道の上コース



図11. 3月5日15時 校舎の側コース

衛星測位の現状の実力

GPS/GLONASSの測位精度・測位可能範囲の拡大の現状

- 衛星数増加による測位精度・測位可能範囲の拡大
 - ここ数年でGLONASS衛星が増加（23機（2011/5/13現在））
 - GPS/GLONASS受信機のメリットが増大
 - 有力受信機メーカーで高精度で安価な1周波GPS/GLONASS受信機がラインナップ
- 衛星の選択→測位精度悪化なしに測位可能範囲を拡大
 - 1周波の安価な受信機でRTK-GPS測位，数cmの精度
 - RTKでも構造物の際に近づける
 - 2周波GPS・・・5mより近づくと測位困難
 - 1周波GPS/GLONASS・・・壁際でも測位可能
 - 準天頂衛星，Galileo計画に期待
- この精度で屋内もシームレスに測位したい
→屋内測位への一つの流れ

実験機器

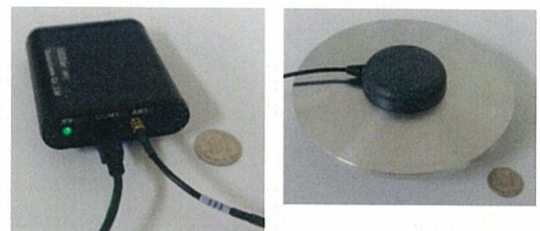
□ GPS/GLONASS受信機

センサコム社 GGStar_ev1（NovAtel OEM-Star相当）

14ch（GPS L1に8ch，GLONASS L1に6chを割当）

インターフェース：USB（USBより本体給電）

寸法 81x70x20 [mm]，重量 106 [g]



□ GPS/GLONASSアンテナ

Tallysman Wireless社 GPS L1 / GLONASS L1 Antenna TW2400

グラウンドプレーン15cm（アルミ製，削りだし）

寸法：直径150mm，高さ45mm，重量：425[g]



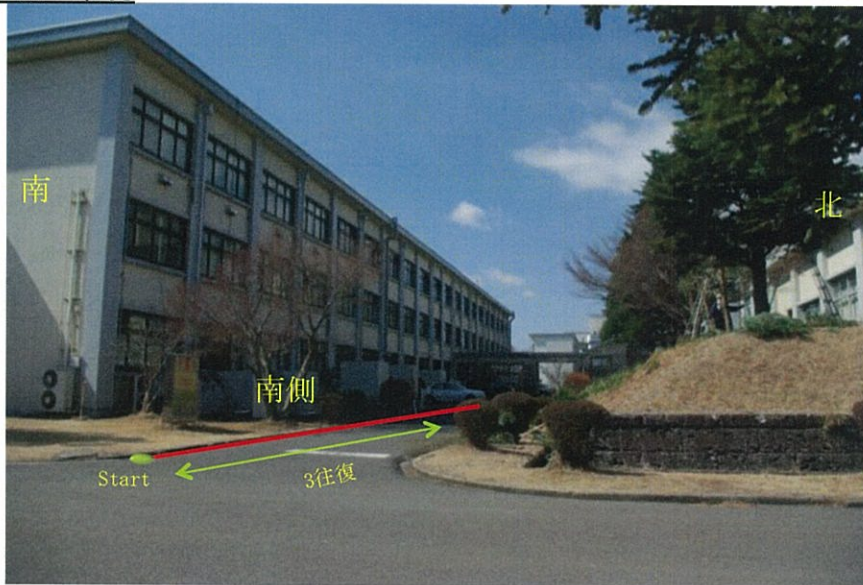
□ 測位アルゴリズム

オープンソースプログラムRTKLIB

キネマティック測位（Fixあり）

移動局—MES棟脇道路 南側3往復

測位環境



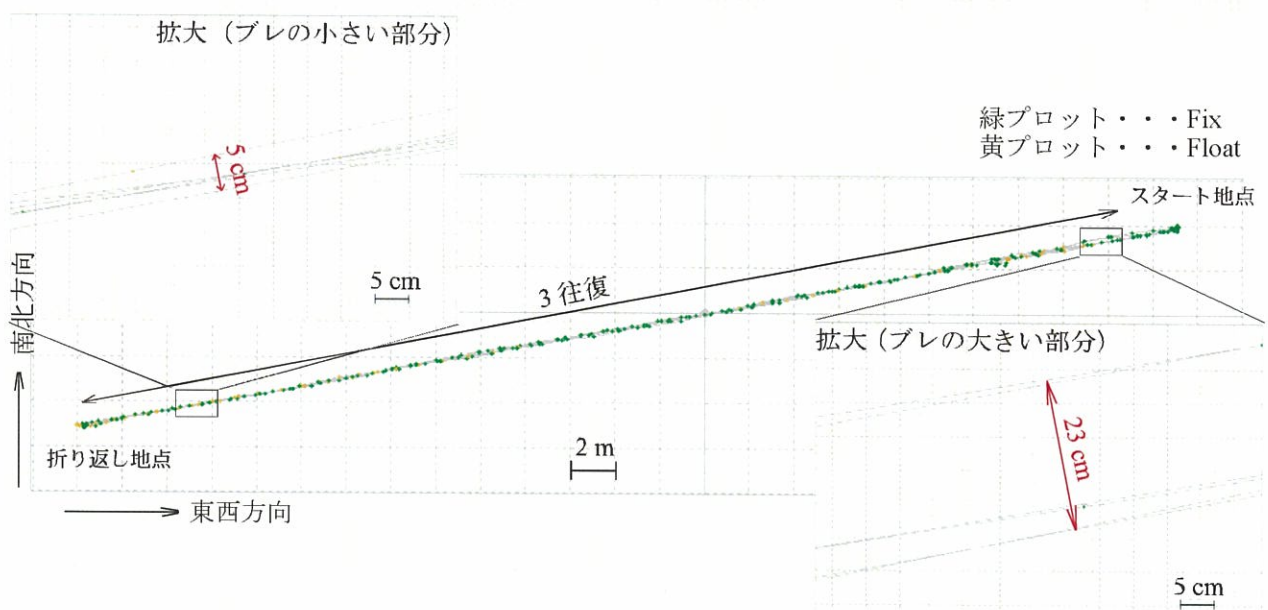
道路北側

MES棟脇の道路

- 南北を構造物，林があり，途中木の下を通る
- RTK測位には非常に厳しい環境

衛星測位の現状の実力

GPS/GLONASSの測位精度・測位可能範囲の拡大の現状



- GPSのみでは測位計算に必要な5個受信がギリギリの環境で10個以上受信
- 瞬間的にFloatに落ちるが測位結果の飛びは見られない
- 壁際まで寄れてFixを維持，GPSのみでは不可能

屋内測位

□ 屋内測位の基本

□ 慣性航法

□ 加速度, 方位角等 (ジャイロ, 加速度計)

□ 足の動き (加速度計)

□ 電波灯台

□ 無線LAN (電波強度, 伝搬時間)

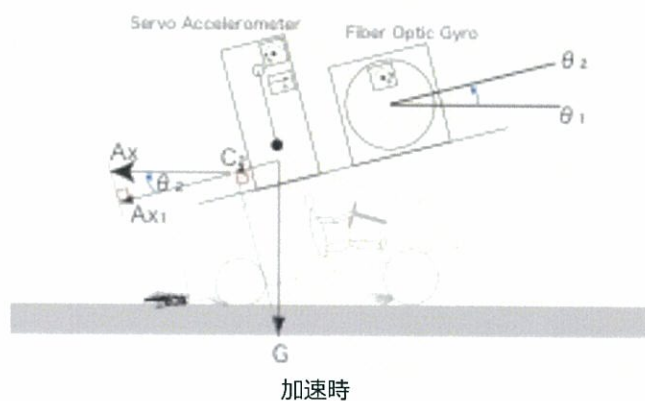
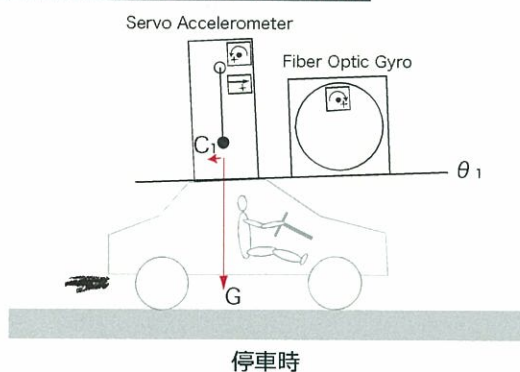
□ RF-IDタグ, 赤外線タグ

□ IMES (屋内GPS)

□ 屋内測位の現状 (IPIN2010の発表研究の紹介を中心に. . .)

慣性航法 加速度, 方位角等 (ジャイロ, 加速度計)

慣性航法による移動距離・方向の計算



XSENS社 Mti
(3軸の方向, 加速度, 角速度, 磁気方位)

- ジャイロによるストラップダウンにより姿勢変化をキャンセルした車の加速度のみを計測
- 時間とともに誤差が積算 (積算誤差) . ごく短時間しか精度を保てない
- 地球の自転運動 (15°/h) の影響
- 慣性航法単独での測位は精度, コスト面で困難

慣性航法 足の動き



Evaluation of Zero-Velocity Detectors for Foot-Mounted Inertial Navigation Systems
Isaac Skog, etc, (IPIN2010論文集より引用)

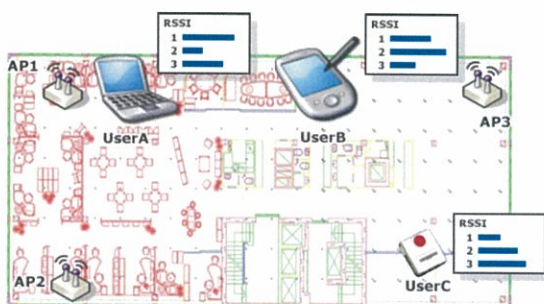
- 歩く動作は足が地面に着き必ず動きが止まるということを利用するZero Velocity Updates (ZUPT)処理
- 他の方法との併用で積算誤差をキャンセル



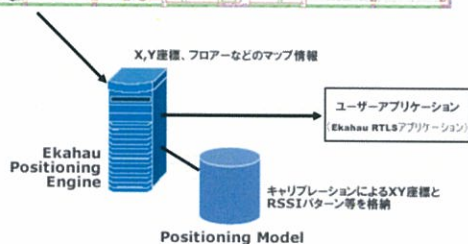
Pedestrian Indoor Navigation by aiding a Foot-mounted IMU with RFID Signal Strength Measurements
Antonio R. Jimenez Ruiz, etc
(IPIN2010論文集より引用)

電波灯台 無線LAN(電波強度, 伝搬時間)

RSSI (受信信号強度) から測位, TOF (飛来時間) やTDOA (到着時間差) で測位する方式もあり



- 複数の無線LANアクセスポイントからの受信電波強度から三角法で位置を特定
- 各地点における受信強度をデータベースに蓄え, 障害物による反射等の影響を除去



Ekahau社日本代理店HPより抜粋

電波灯台 RF-IDタグ, 赤外線通信

RF-IDタグ

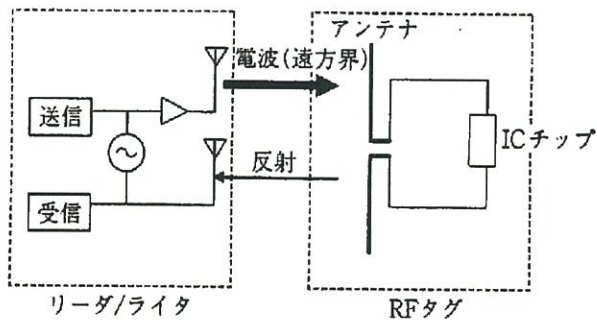
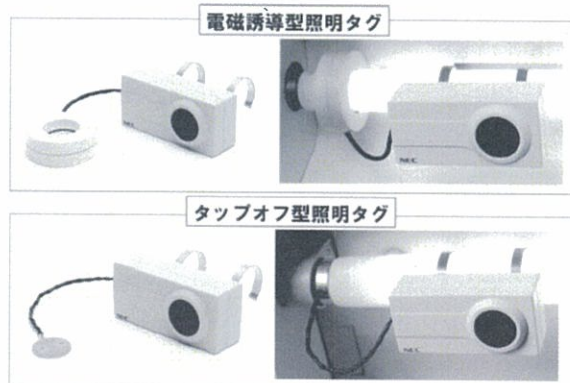


図2 電波方式によるRFIDの基本構成

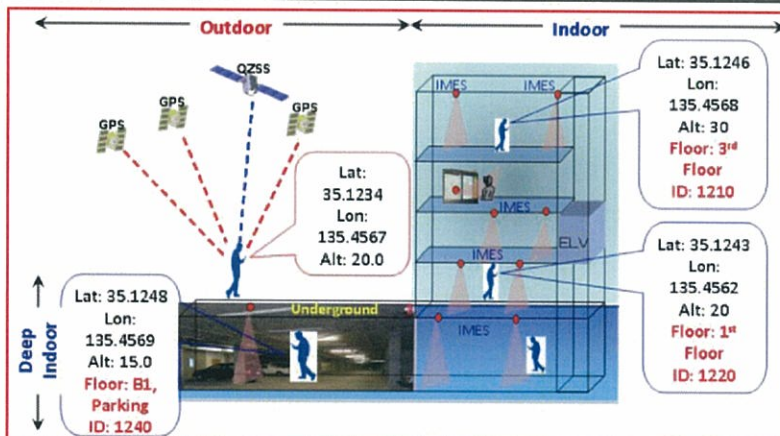
赤外線タグ



NEC技報HPより抜粋

- タグの新設, 維持管理, 更新
- 方式に対応した端末への受信センサの実装
- 照明器具やドア等への埋め込み

電波灯台 IMES(屋内GPS)



- GPS受信機のハードウェア変更の必要なし
- PRN番号10個を日本限定で割当
- 緯度、経度、高度、フロア階数などを情報を乗せて送信
- 1個のIMESから最大10~15mの半径円内へ送信

2007	2008	2010	2011
IMES 3rd Generation	IMES 4th Generation	LSI Chip Design	Commercial Production
Size: 150x120x70mm	Size: 115x75x40mm	LSI Core Size: 3mm square Package Size: 10mm square Available from Q2/2010	

GNSSシンポジウム2010発表資料より抜粋

屋内測位の研究の現状

IPIN2010 (第一回開催) の概要

- 日 時 : 2010.9.15 - 17
- 開催地 : スイス チューリッヒ
チューリッヒ工科大学サイエンスシティ
- 参加者数 : 430名 (47カ国)
- 発表数 : 215件 (24セッション) デモンストレーション, ポスターセッションを含む
- テクニカルスポンサー
 - DGON : Deutsche Gesellschaft für Ortung und Navigation e.V.
 - FIG : International Federation of Surveyors
 - IAG : International Association of Geodesy
 - ION-CH : The Swiss Institute of Navigation
 - IEEE : The world's leading professional association for the advancement of technology
 - IEEE Swiss Chapter on Antennas & Propagation
 - IEEE Swiss Chapter on Digital Communication Systems
 - IEEE Geoscience and Remote Sensing Society

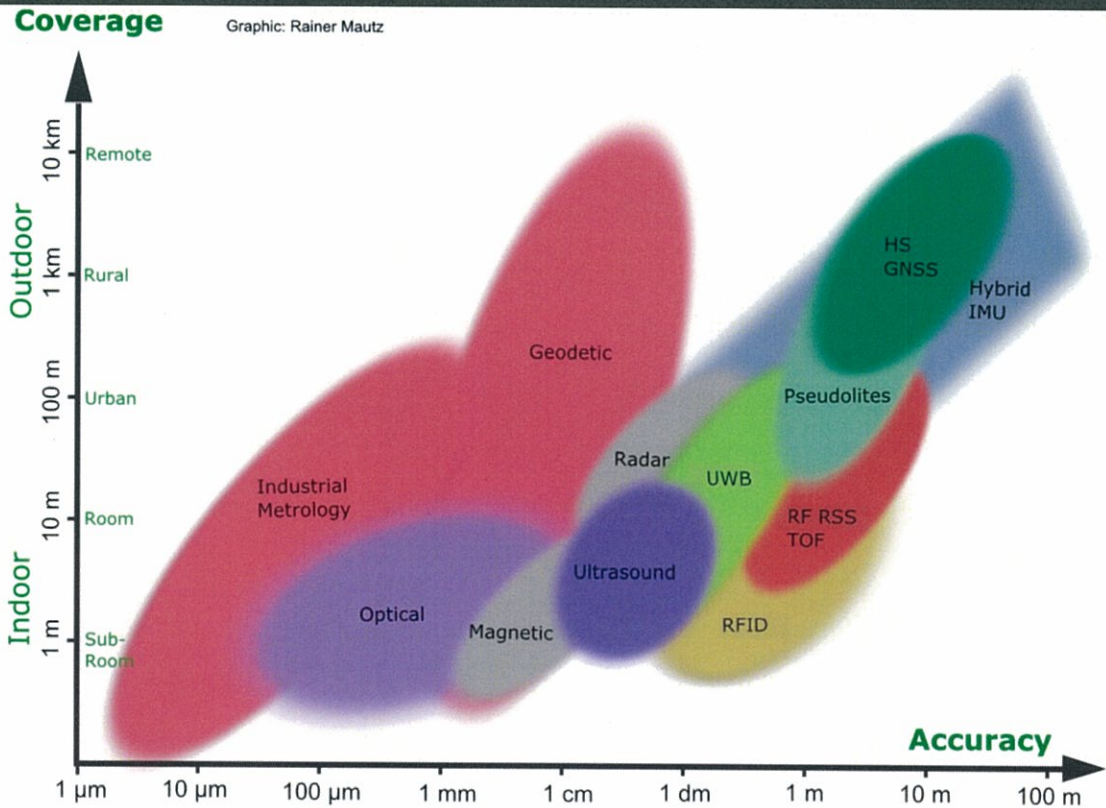


本調査は日本測量者連盟の経費によるものです

IPIN2010 の開催意義

- IPINシステムの必要性
 - 屋外は衛星測位がカバー
 - 衛星測位がカバーできないエリアはどうする？
- IPINシステムへの要求
 - IPINシステムにはどんな性能が求められるのか？
信頼性, 高速性, 安全性, 正確性, 実時間性, 安価, ユビキタス,
既存システムとの親和性, . . .
- 国際会議IPINの開催意義
 - エレクトロニクス, 情報科学, ロボティクス, 測地学, . . .
共同でインドア測位に取り組む
 - 研究, 開発, 応用を寄せ集める
 - 議論の場を作る

IPINシステムの分類 利用技術からみたインドア測位の分類



WLAN RSS, RF RSS, Fingerprinting, TOF TDOA

略号	分類	件数
Opt	Optical Systems	7
US	Ultra Sound Systems	10
WLAN	WLAN RSS, Fingerprinting	17
RF	RF RSS, Fingerprinting	10
TOF	TOF, TDOA Localization	3
UWB	Ultra Wide Band	14
Geo	Geodetic Systems, iGPS	7
Rad	Radar Systems	4
SLAM	Mapping, SLAM	5
HS	High Sensitive GNSS	8
GNSS	GNSS Indoor, Pseudolites	5
Inno	Innovative Systems	5
WSN	Localization, Algorithms	8
Fra	Frameworks for Hybrid Pos.	5
Aw	Location Awareness	4
RFID	Passive, Active, General RFID	9
Con	Context Detection	8
Req	User Requirements	3
Mag	Magnetic Localization	2
IMU	Hybrid Pedestrian Nav.1, 2	17
Foot	Foot Mounted Navigation	9
Demo	Demonstrations	20
Poster	Poster Session	35
Total		215

WLAN RSS (Signal Strength Based Methods), Fingerprinting

- Localization based on WLAN (Wireless Local Area Networks, IEEE 802.11 standard)
- RSS (Received Signal Strength) based methods
- Fingerprinting

RF RSS (ZigBee, FM, General RF), Fingerprinting

- Indoor localization based on ZigBee, FM radio and other
- RF signals RSS (Received Signal Strength) based methods
- Fingerprinting

TOF, TDOA based Localization

- Localization based on TOF (Time Of Flight) distances
- Localization based on TDOA (Time Difference Of Arrival)
- Position estimation and algorithms

UWB

略号	分類	件数
Opt	Optical Systems	7
US	Ultra Sound Systems	10
WLAN	WLAN RSS, Fingerprinting	17
RF	RF RSS, Fingerprinting	10
TOF	TOF, TDOA Localization	3
UWB	Ultra Wide Band	14
Geo	Geodetic Systems, iGPS	7
Rad	Radar Systems	4
SLAM	Mapping, SLAM	5
HS	High Sensitive GNSS	8
GNSS	GNSS Indoor, Pseudolites	5
Inno	Innovative Systems	5
WSN	Localization, Algorithms	8
Fra	Frameworks for Hybrid Pos.	5
Aw	Location Awareness	4
RFID	Passive, Active, General RFID	9
Con	Context Detection	8
Req	User Requirements	3
Mag	Magnetic Localization	2
IMU	Hybrid Pedestrian Nav.1, 2	17
Foot	Foot Mounted Navigation	9
Demo	Demonstrations	20
Poster	Poster Session	35
Total		215

UWB (Ultra Wide Band)

- UWB (Ultra Wide Band) based position determination
- UWB TOA (Time Of Arrival) & Fingerprinting
- Applications of UWB

return

Hybrid IMU Pedestrian Navigation

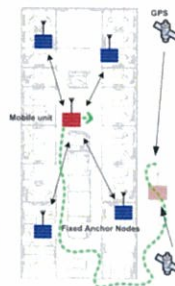
略号	分類	件数
Opt	Optical Systems	7
US	Ultra Sound Systems	10
WLAN	WLAN RSS, Fingerprinting	17
RF	RF RSS, Fingerprinting	10
TOF	TOF, TDOA Localization	3
UWB	Ultra Wide Band	14
Geo	Geodetic Systems, iGPS	7
Rad	Radar Systems	4
SLAM	Mapping, SLAM	5
HS	High Sensitive GNSS	8
GNSS	GNSS Indoor, Pseudolites	5
Inno	Innovative Systems	5
WSN	Localization, Algorithms	8
Fra	Frameworks for Hybrid Pos.	5
Aw	Location Awareness	4
RFID	Passive, Active, General RFID	9
Con	Context Detection	8
Req	User Requirements	3
Mag	Magnetic Localization	2
IMU	Hybrid Pedestrian Nav.1, 2	17
Foot	Foot Mounted Navigation	9
Demo	Demonstrations	20
Poster	Poster Session	35
Total		215

Hybrid IMU Pedestrian Navigation 1

- Systems integrating Inertial Measurement Units (IMU)
- Hybrid technologies
- Pedestrian navigation

Title : A Modular and Mobile System for Indoor Localization

Author : Lasse Klingbeil, etc., Hahn-Schickard-Gesellschaft (Germany)



ハードウェアと屋内外のセットアップ



パス推定結果

Hybrid IMU Pedestrian Navigation 2

- Multi sensor systems integrating Inertial Measurement Units (IMU)
- Hybrid sensor fusion
- Pedestrian navigation & tracking

NEXT

Foot Mounted Pedestrian Navigation

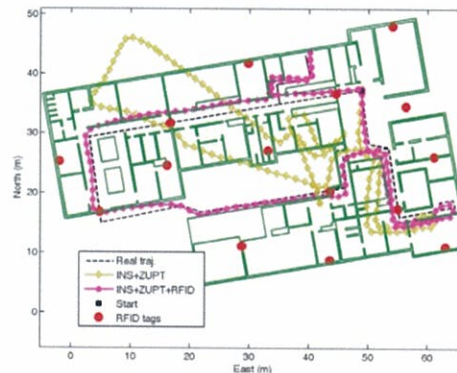
略号	分類	件数
Opt	Optical Systems	7
US	Ultra Sound Systems	10
WLAN	WLAN RSS, Fingerprinting	17
RF	RF RSS, Fingerprinting	10
TOF	TOF, TDOA Localization	3
UWB	Ultra Wide Band	14
Geo	Geodetic Systems, iGPS	7
Rad	Radar Systems	4
SLAM	Mapping, SLAM	5
HS	High Sensitive GNSS	8
GNSS	GNSS Indoor, Pseudolites	5
Inno	Innovative Systems	5
WSN	Localization, Algorithms	8
Fra	Frameworks for Hybrid Pos.	5
Aw	Location Awareness	4
RFID	Passive, Active, General RFID	9
Con	Context Detection	8
Req	User Requirements	3
Mag	Magnetic Localization	2
IMU	Hybrid Pedestrian Nav.1, 2	17
Foot	Foot Mounted Navigation	9
Demo	Demonstrations	20
Poster	Poster Session	35
Total		215

Foot Mounted Pedestrian Navigation

- Systems using inertial sensors
- Systems using zero-velocity updates
- Step length estimation

Title : Pedestrian Indoor Navigation by aiding a Foot-mounted IMU with RFID Signal Strength Measurements

Author : Antonio R. Jiménez, etc., CAR (Centre of Automation and Robotics) CSIC-UPM (Spain)



歩行者ナビの測位結果

return

High Sensitive GNSS, GNSS Indoor, Pseudolites

略号	分類	件数
Opt	Optical Systems	7
US	Ultra Sound Systems	10
WLAN	WLAN RSS, Fingerprinting	17
RF	RF RSS, Fingerprinting	10
TOF	TOF, TDOA Localization	3
UWB	Ultra Wide Band	14
Geo	Geodetic Systems, iGPS	7
Rad	Radar Systems	4
SLAM	Mapping, SLAM	5
HS	High Sensitive GNSS	8
GNSS	GNSS Indoor, Pseudolites	5
Inno	Innovative Systems	5
WSN	Localization, Algorithms	8
Fra	Frameworks for Hybrid Pos.	5
Aw	Location Awareness	4
RFID	Passive, Active, General RFID	9
Con	Context Detection	8
Req	User Requirements	3
Mag	Magnetic Localization	2
IMU	Hybrid Pedestrian Nav.1, 2	17
Foot	Foot Mounted Navigation	9
Demo	Demonstrations	20
Poster	Poster Session	35
Total		215

High Sensitive GNSS

- HS (High Sensitive) GNSS (Global Navigation Satellite Systems)
- Acquisition of weak GNSS signals
- GNSS in indoor environments

GNSS Indoor, Pseudolites

- Multipath modeling
- Pseudolite indoor localization
- GNSS repeaters

return

Passive RFID, Active & General RFID

略号	分類	件数
Opt	Optical Systems	7
US	Ultra Sound Systems	10
WLAN	WLAN RSS, Fingerprinting	17
RF	RF RSS, Fingerprinting	10
TOF	TOF, TDOA Localization	3
UWB	Ultra Wide Band	14
Geo	Geodetic Systems, iGPS	7
Rad	Radar Systems	4
SLAM	Mapping, SLAM	5
HS	High Sensitive GNSS	8
GNSS	GNSS Indoor, Pseudolites	5
Inno	Innovative Systems	5
WSN	Localization, Algorithms	8
Fra	Frameworks for Hybrid Pos.	5
Aw	Location Awareness	4
RFID	Passive, Active, General RFID	9
Con	Context Detection	8
Req	User Requirements	3
Mag	Magnetic Localization	2
IMU	Hybrid Pedestrian Nav.1, 2	17
Foot	Foot Mounted Navigation	9
Demo	Demonstrations	20
Poster	Poster Session	35
Total		215

Passive RFID

- Use of passive RFID (Radio Frequency IDentification) tags
- RFID localization
- RFID waypoint guidance

Active & General RFID

- Use of active RFID (Radio Frequency IDentification) tags
- RFID positioning algorithms
- RFID applications

Next

Innovative Systems

略号	分類	件数
Opt	Optical Systems	7
US	Ultra Sound Systems	10
WLAN	WLAN RSS, Fingerprinting	17
RF	RF RSS, Fingerprinting	10
TOF	TOF, TDOA Localization	3
UWB	Ultra Wide Band	14
Geo	Geodetic Systems, iGPS	7
Rad	Radar Systems	4
SLAM	Mapping, SLAM	5
HS	High Sensitive GNSS	8
GNSS	GNSS Indoor, Pseudolites	5
Inno	Innovative Systems	5
WSN	Localization, Algorithms	8
Fra	Frameworks for Hybrid Pos.	5
Aw	Location Awareness	4
RFID	Passive, Active, General RFID	9
Con	Context Detection	8
Req	User Requirements	3
Mag	Magnetic Localization	2
IMU	Hybrid Pedestrian Nav.1, 2	17
Foot	Foot Mounted Navigation	9
Demo	Demonstrations	20
Poster	Poster Session	35
Total		215

Innovative Systems

- Systems based on sounds
- Systems based on fluorescent light
- Systems for mobile phones

Title : Wireless Acoustic Tracking for Extended Range Telepresence

Author : Ferdinand Packi, etc., Karlsruhe Institute of Technology (KIT)
(Germany)



テレプレゼンスシステムの外観



マイクロフォンアレイの外観

おわりに

- 屋外測位から屋内測位の流れ
 - 屋内, 屋外問わずにシームレスに測位したい
 - 測位可能範囲の拡大
 - 測位精度の維持
- 屋内測位の用途 (要求精度)
 - エリア情報・・・マンナビ, 広告コンテンツ配信, etc. . . .
 - 座 標 値・・・ロボットの位置制御, 測量
 - 用途としてエリア情報で十分というものも多い
- 屋内測位の解決技術
 - 決定的なセンサはなく複合が不可欠
 - エリア情報であれば実現に目処