

## 位置情報取得のための統合プラットフォームに関する基礎的研究

小西 勇介<sup>\*1</sup>, 柴崎 亮介<sup>\*2</sup>

論文要旨：近年、位置情報に対するニーズの高まりに伴って様々な位置情報取得技術が登場し普及しつつある。同時に、これら個々の技術を効果的かつ効率的に統合することができるような共通基盤の必要性も高まってきている。そこで本研究では、様々なセンサデバイスや位置取得サービスを統合し、移動する対象の位置軌跡情報を推定することができるような、位置軌跡情報取得のための統合プラットフォームの提案を行った。また JAVA を用いて本プラットフォームの実装を行い、いくつかのセンサデバイスを利用した試作システムを開発した。試作システムを用いた検証実験によって、本研究で提案したプラットフォームの有効性を確かめた。

### A Study on a Positioning Platform Integrating Sensor Devices and Geographic Data

Yusuke KONISHI<sup>\*1</sup>, Ryosuke SHIBASAKI<sup>\*2</sup>

**ABSTRACT** : Recently, the demand for one's positional information has been increasing. In order to meet this demand, many positioning technologies have been proposed. At the same time, the necessities for common platform, which can integrate individual technologies effectively and efficiently, have been also increased. In this study, we proposed a positioning platform, which can estimate one's position and trajectory by integrating different types of sensor devices and geographic data related with one's positional information. The proposed platform is verified by implementing a trial system that can integrate different types of sensor devices. The experimental results of the trial system have confirmed the validity of the platform.

#### 1 研究の背景

近年のモバイルデバイス技術や通信環境の急激な発達により、移動体(者)の位置情報が大きな注目を集めるようになってきている。特に、位置情報サービス、子供や高齢者等のための安全な生活活動支援、マーケティングや行動分析のための人の行動情報収集、モノの位置を利用した物流管理、などの分野における位置情報のニーズは非常に高く、既に位置情報を利用した様々なアプリケーションが実用化

されている。また、近年、人のための位置情報取得技術として、GPS や PHS、携帯電話などを用いたシステムが多く提案され、実用化と普及が進みつつあり、人のための位置情報取得技術に対する期待は非常に高くなってきていると言える。また同時に、位置情報取得のための社会インフラの必要性と重要性も増している。

このように様々な位置情報取得技術が提案され実用化されているが、個々の技術については、特に利用可能な範囲が限られるなどの制約が多く存在し、決定的な技術がまだ存在しないのが現状である。このような中、個別には技術的な限界のある個々のポジショニング技術をうまく組み合わせることによって、シームレス性やより高精度な測位を実現すること、すなわち位置情報取得技術のプラットフォーム

<sup>\*1</sup> 東京大学大学院工学系研究科社会基盤工学専攻  
Department of Civil Engineering, University of Tokyo

<sup>\*2</sup> 東京大学空間情報科学研究センター教授  
Center for Spatial Information Science, University of Tokyo

化が、今後のより一層の位置情報取得技術の普及において重要な課題となっている。

## 2 研究の目的

本研究では、様々なセンサデバイスや位置取得サービスを効果的に統合し、移動する対象の位置軌跡情報を推定することができるような、位置軌跡情報取得のための統合プラットフォームの提案を行う。また、提案するプラットフォームを用いた試作システムの開発を行い、プラットフォームの有効性を検証する。

## 3 位置情報取得のための統合プラットフォームの提案

本研究で提案する位置情報取得のためのプラットフォームをユニバーサルロケータと名づけた。ユニバーサルロケータにおいては、移動オブジェクトに関するあらゆる観測量をモデル化し、それらの観測量を統合して移動オブジェクトの位置および軌跡を推定するための手法を提案する。ユニバーサルロケータの概要を図1に示す。

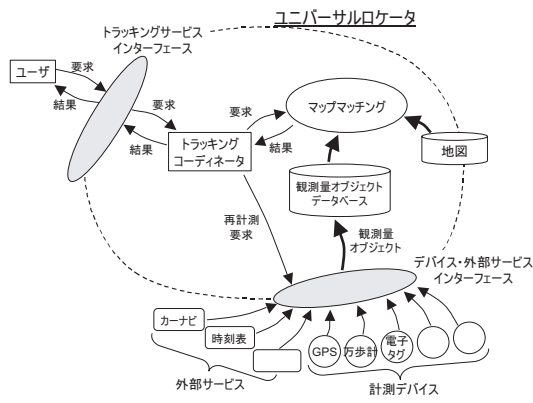


図1 ユニバーサルロケータの概要

ここで、移動する主体を移動オブジェクトと呼び、ユニバーサルロケータはこれら移動オブジェクトの位置軌跡情報を推定するシステムであるとする。また、移動オブジェクトの位置軌跡情報を観測し利用する主体のことを観測オブジェクトと呼ぶ。

ユニバーサルロケータにおいて提案される重要なポイントは以下の二点である。

- 移動オブジェクトの位置および軌跡を推定するために利用可能なあらゆる観測量をモデル

化する

- モデル化された観測量を組み合わせて位置および軌跡を効率的に推定するための手法を提案する

従来、位置情報取得システムの開発のためには、ニーズに応じて様々な位置情報取得のためのデバイスやサービスの組み合わせを個別に検討・開発する必要があった。ユニバーサルロケータによって、デバイスやサービス毎の差異を観測量のモデル化によって吸収することができ、また位置および軌跡の推定に統合的な手法を用いることで効率的な位置軌跡情報推定システムの開発が可能になると考えられる。

### 3.1 トラッキングサービスインターフェース

観測オブジェクトにとって、ユニバーサルロケータは任意の移動オブジェクトの位置および軌跡を追跡するサービスとして捉えることができる。このサービスのインターフェースをトラッキングサービスインターフェースとして定義する。トラッキングサービスインターフェースのクラス設計を図2に示す。

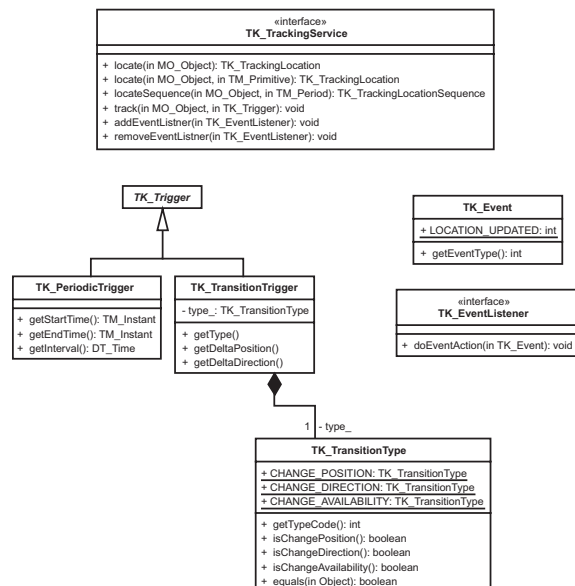


図2 トラッキングサービスインターフェースのクラス設計

### 3.2 移動オブジェクトのモデル化

トラッキングサービスにおいて観測の対象になる移動オブジェクトには、人や車、電車など、様々な主体が考えられる。また、これらがそれぞれの位置

軌跡情報推定に利用するデバイスやサービスは異なり、さらには相互に入れ子関係になることもあり得る。そこで、トラッキングサービスインターフェースにおいては、この移動オブジェクトのモデル化を行い、移動オブジェクトの種別に関わらず統一的に扱えるように配慮している。移動オブジェクトのクラス設計を図3に示す。

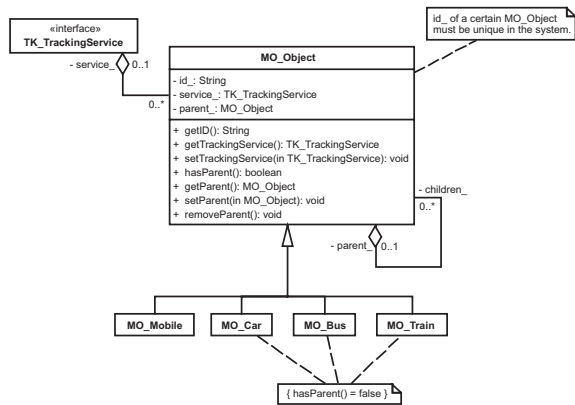


図3 移動オブジェクトのクラス設計

各移動オブジェクトは、システム内で個別に識別可能なIDを持つ。また、「自動車に乗っている人」のような親子関係を表現することができるように設計することにより、「自動車に乗っている人」の位置軌跡情報を推定する際には、「人」に関する観測量だけでなく、「自動車」に関する観測量も利用することが可能になる。

### 3.3 位置軌跡推定結果のモデル化

トラッキングサービスから観測オブジェクトに通知される、ある移動オブジェクトに関する位置軌跡情報の推定結果をモデル化した。位置軌跡推定結果のクラス設計を図4に示す。

ある瞬間における移動オブジェクトの位置推定結果を `TK_TrackingLocation` オブジェクトで表し、ある時間帯における移動オブジェクトの軌跡推定結果を `TK_TrackingLocation` オブジェクトの集合体である `TK_TrackingLocationSequence` オブジェクトで表す。各位置推定結果にはメタデータが含まれており、位置の記述方法や品質などを表現することが可能である。

### 3.4 観測量のモデル化

本研究で提案する位置軌跡情報取得システムのプラットフォーム化における大きな目的の一つは、

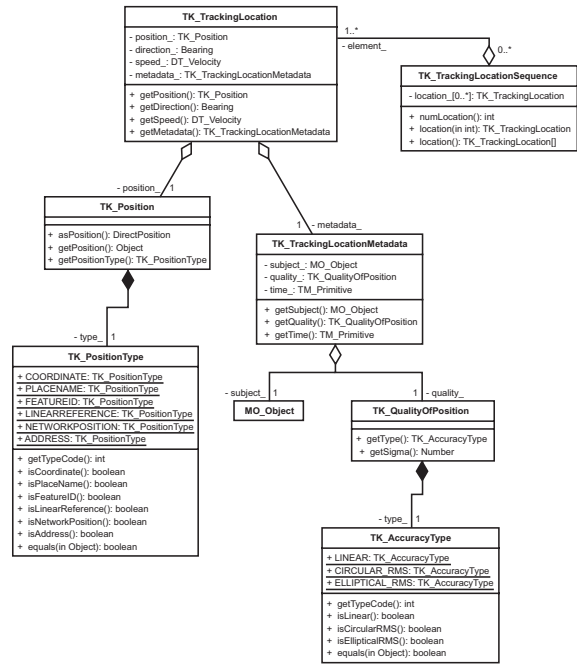


図4 位置軌跡推定結果のクラス設計

様々な位置軌跡情報取得のためのデバイスやサービス毎の差異を観測量を抽象化することによって吸収するところにある。位置軌跡情報を推定するために必要な情報は、様々なデバイスやサービスにおいて得ることが可能であるが、それら全てが必ずしも直接「位置」や「軌跡」の形で取得されるわけではなく、また様々なフォーマットで提供されるはずである。そこで本研究で提案するユニバーサルロケータにおいては、位置軌跡情報を推定するために利用可能であると予想できるあらゆる観測量を抽象化し、それぞれの観測量が備えるべき属性およびメソッドを定義した。

観測量のクラス設計を図5に示す。

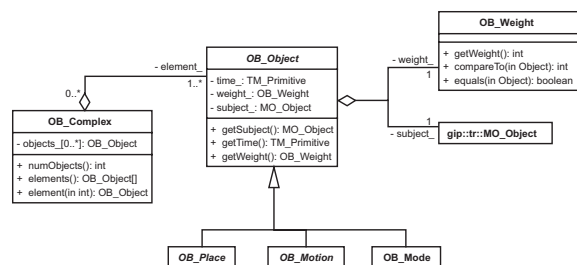


図5 観測量のクラス設計

全ての観測量は共通のスーパークラスである `OB_Object` クラスのサブクラスとして定義される。観測量は大きく分けて、移動オブジェクトがある

空間領域に存在することを示す場所候補 (OB\_Place クラス)、移動オブジェクトの動きを表すモーション (OB\_Motion クラス)、および移動オブジェクトの移動形態を表す移動モード (OB\_Mode クラス) の 3 つに分類される。

### 3.4.1 場所候補観測量

観測量の内、移動オブジェクトがある空間領域に存在することを直接的に示すことができる観測量を、場所候補 (OB\_Place クラス) としてモデル化した。場所候補としては、移動オブジェクトがある領域にいることを示す OB\_Area クラス、移動オブジェクトが既知の点からある距離だけ離れたところにいることを示す OB\_BSRange クラス、および移動オブジェクトが既知の点から見てある方向にいることを示す OB\_BSDirection クラスの 3 つを定義した。場所候補観測量のクラス設計を図 6 に示す。

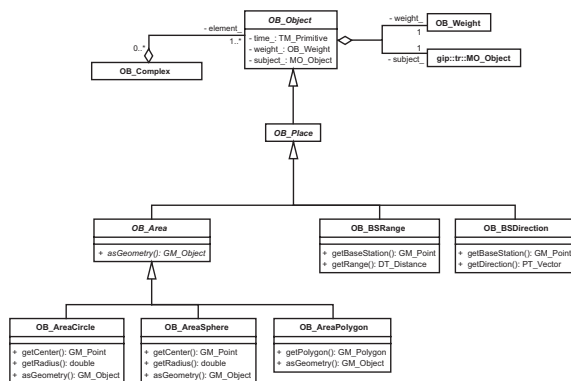


図 6 場所候補観測量のクラス設計

この場所候補観測量を用いて表現することができる具体的な観測量としては以下のようなものが挙げられる。

- GPS の測位結果
- RFID タグの受信 (ある基準点を中心とする領域内にいるとみなす)
- ランドマークや、GPS 衛星、太陽、月などの見える見えない判定：ランドマークなどが見えるか見えないかの条件を記述した地図を事前に用意されている場合、移動オブジェクトが実際に対象物の可視判定を行うことで場所候補が生成可能である。)
- 無線 LAN 基地局の受信信号強度：無線 LAN の受信信号強度マップが事前に用意されている場合、受信信号強度データから移動オブ

ジェクトの場所候補が生成可能である。

- 超音波センサを用いた位置決めデバイス：移動オブジェクトの所有するセンサと環境に固定されたセンサ間の距離を超音波で計測するもの。
- GPS をはじめとする電波測位において観測される擬似距離

### 3.4.2 モーション観測量

観測量の内、移動オブジェクトの移動自体に関する観測量を、モーション (OB\_Motion クラス) としてモデル化した。モーションとしては、大きく分けて、移動オブジェクトの速度に関する観測量、移動オブジェクトの進行方向に関する観測量、および移動オブジェクトの移動距離に関する観測量の定義を行った。モーション観測量のクラス設計を図 7 に示す。

このモーション観測量を用いて表現することができる具体的な観測量としては以下のようなものが挙げられる。

- 速度計で計測される速度
- ウェアラブルセンサ (加速度センサ、磁気センサ、など) で計測される速度や進行方向
- ドップラーレーダーを用いた対象物との相対速度
- 万歩計で推定可能な移動距離

### 3.4.3 移動モード観測量

観測量の内、移動オブジェクトの移動形態に関する観測量を、移動モード (OB\_Mode クラス) としてモデル化した。移動モードは、移動オブジェクトの行動を規定する行動モードおよび移動オブジェクトの移動手段を規定する交通モードから構成される。行動モードにより人の「歩く」、「走る」、「上がる」、「下がる」などの行動を表現し、交通モードにより利用している交通手段を表現する。この移動モードは、主に地図データと組み合わせて位置を絞り込むために利用する。移動モード観測量のクラス設計を図 8 に示す。

### 3.5 位置軌跡情報の推定手法

位置軌跡情報の推定の流れを図 9 に示す。

取得された移動オブジェクトに関する観測量オブジェクト群は、まず一次処理によってユニバーサル

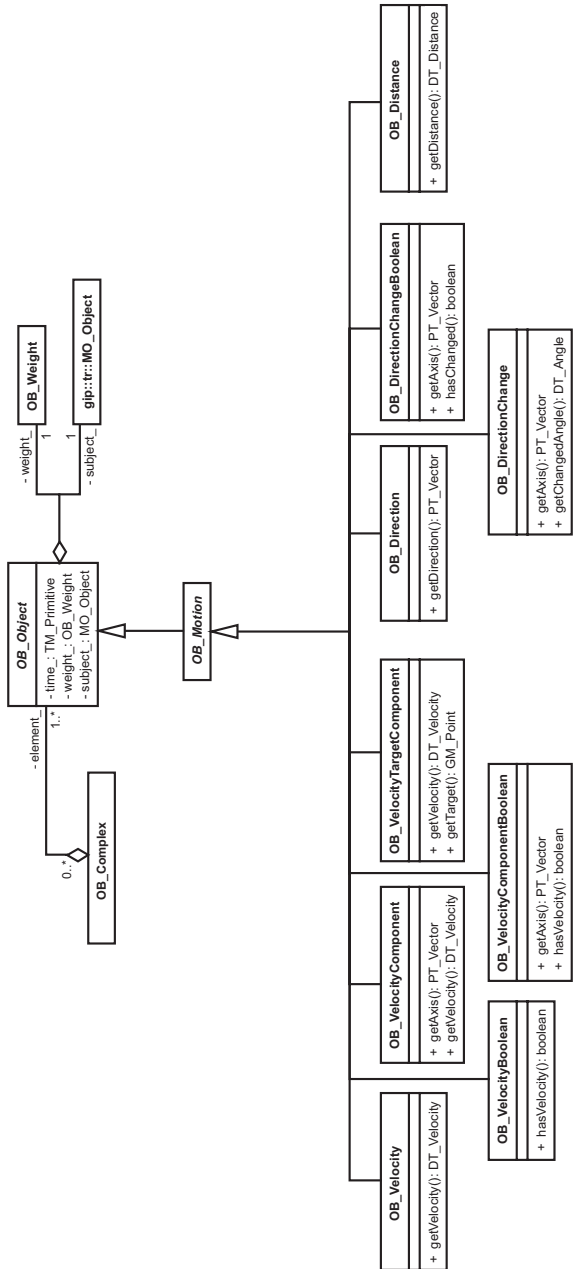


図7 モーション観測量のクラス設計

ロケータのマップマッチング処理に利用しやすいように変換される。観測量の一次処理についてその概要を図10に示す。

観測量の一次処理においては、取得された移動オブジェクトに関する観測量、すなわち、場所候補観測量、移動モード観測量、およびモーション観測量を、ユニバーサルロケータのマップマッチング処理において利用する、移動軌跡、場所候補、およびネットワーク上の移動制約条件に変換する。

位置軌跡情報の推定には、移動軌跡、場所候補

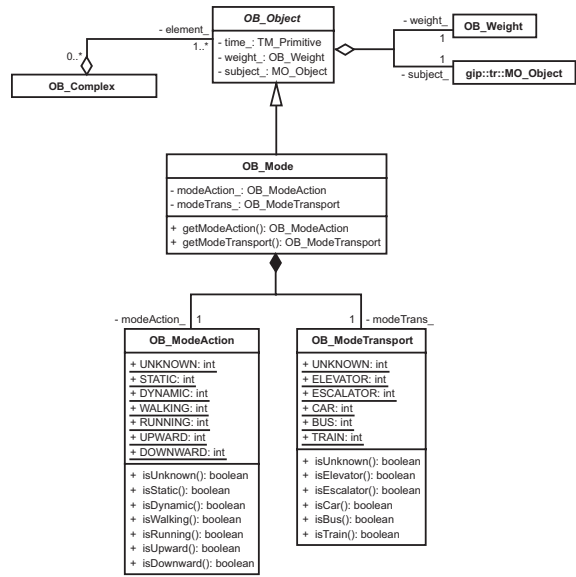


図8 移動モード観測量のクラス設計

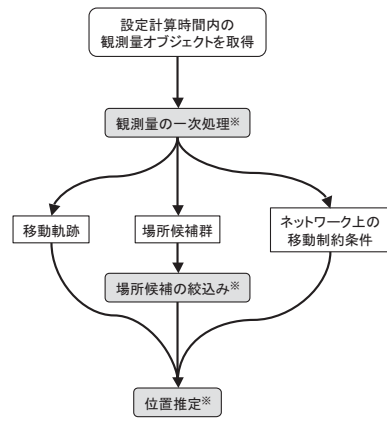


図9 位置軌跡推定の流れ

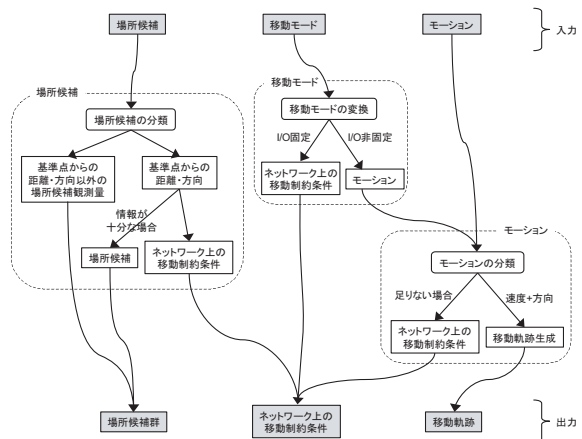


図10 観測量の一次処理



群、およびネットワーク上の移動制約条件を利用する。また、推定結果である位置情報としては、一般的に空間座標で表される空間位置の推定と、ネットワーク上位置の推定の二通りの位置推定を同時に行う。すなわち、各瞬間ごとの位置情報は、空間位置とネットワーク上の位置の二通りについて推定される。マップマッチングを用いた位置軌跡情報の推定について、その概要を図 11 に示す。

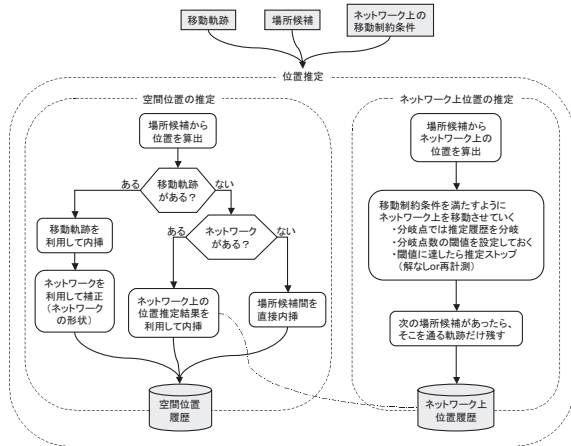


図 11 位置軌跡情報推定の概要

#### 4 試作システムの開発

本研究で提案するユニバーサルロケータの機能検証を行うために、試作システムの開発を行った。試作システムを実装するにあたっては、加速度センサ、ヨーレートセンサ、磁気センサ、気圧計で構成される万歩計システムと、RFID タグシステム、および GPS 受信機をセンサデバイスとして実装し、ユニバーサルロケータのコア部分についても同時に実装を行った。全てのソフトウェアは JAVA を用いて開発を行った。

試作システムのセンサ構成を図 12 に示す。

各センサから得られる計測量は、本研究で提案したユニバーサルロケータにおいて定義されている観測量オブジェクトに変換され、ユニバーサルロケータの位置軌跡情報推定アルゴリズムによって処理される。現時点では、センサおよびユニバーサルロケータを構成する全てのソフトウェアは一台のノートパソコン上で実行されるような形になっている。今後は、あらゆる観測量をネットワーク経由で位置軌跡情報計算用サーバに集め、推定された位置軌跡

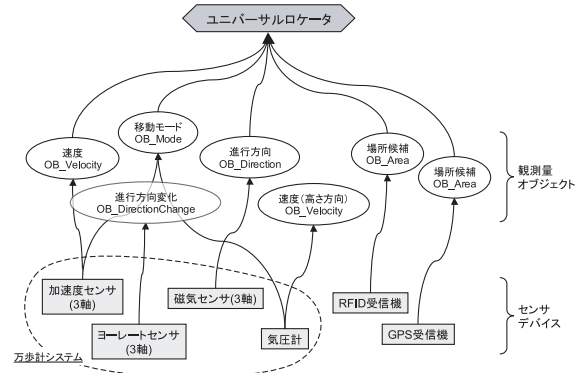


図 12 試作システムのセンサ構成

情報の取得もネットワーク経由で行えるような実装が望ましいと考えられる。試作システムの外観を図 13 に示す。



図 13 試作システムの外観

センサ、およびそれらの駆動のためのバッテリーは全てリュックサックに収まっており、センサの計測量取得とユニバーサルロケータの処理を行うためのノートパソコンをユーザが手に持つような利用形態となる。リュックサックの重量はおよそ 2kg 程度であり、利用者の動きに制約を及ぼすようなものではない。

#### 5 試作システムを用いた検証実験

##### 5.1 実験の概要

実験は、東京大学駒場リサーチキャンパス内にて、東京大学生産技術研究所（以下生研）の C 棟および中庭を用いて行った。東京大学駒場リサーチキャンパスを上空から見た全体図を図 14 に示す。

図 14 においては、灰色で塗られているものが建物を表し、点線で囲まれた領域が実験に使用した領域を示す。実験に使用した領域にも含まれている図中右側の縦長の建物が生研の研究棟であり、特に実線四角で囲んだ領域が C 棟になる。

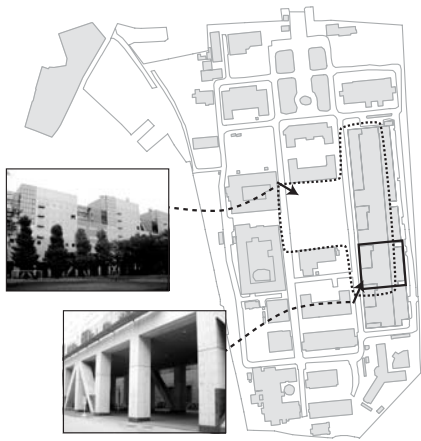


図 14 テストサイトの全体像

実験のために用意した地図ネットワークデータについて、屋外のを図 15 に、屋内のものとして C 棟 5 階のものを図 16 に示す。



図 15 研究棟 1 階から広場にかけての地図ネットワークデータ

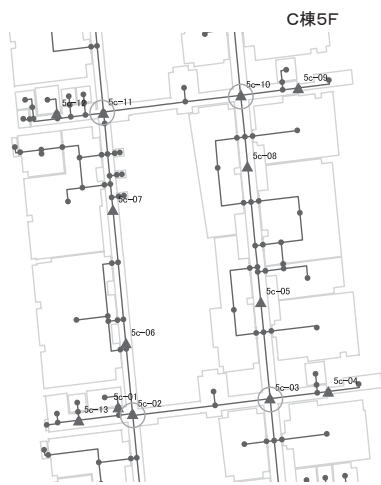


図 16 C 棟 5 階の地図ネットワークデータ

本試作システムにおいては RFID タグシステム

を利用しているが、今回の実験においては、非常時にも電源の確保が保証されている非常灯および非常消火施設に RFID タグを設置した。図 15 および図 16 の地図には、非常灯および非常消火施設の位置を三角印で、その中で RFID タグを設置した位置を丸印で示してある。

## 5.2 実験結果

万歩計システムで推定される速度および進行方向と、RFID タグシステムで取得される場所候補観測量も合わせてマップマッチングによる位置軌跡情報の推定を行った結果を、図 17 に示す。進行方向の推定には、ヨーレートセンサの計測量を利用した。進行方向の推定にヨーレートセンサを用いたのは、特に本実験を行ったような鉄筋コンクリートの建物内や磁場を発生する PC などの多い環境においては、磁場に局所的な乱れが生じ、磁気センサを十分に利用できないためである。地図ネットワークデータにおいて、ネットワークを構成するエッジとノードには、建物内かどうか判定することができるような属性を設定してある。

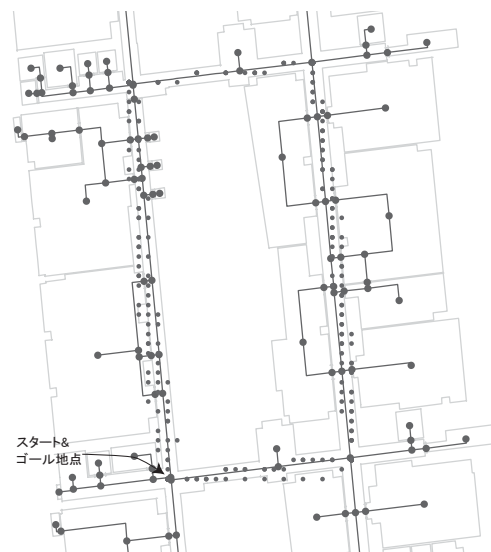


図 17 生研 C 棟 5F の廊下を歩いて 4 周 : マップマッチングによる推定結果

建物内廊下道路ネットワークについては、その属性として道路幅が小さく設定されているため、位置推定結果のネットワークへの整合性が高いことが分かる。また、RFID タグを用いることにより、ヨーレートセンサのドリフトの影響を、長時間にわたって安定的に低減することが可能であることが分

かる。

次に、高さ方向の移動を考慮するために、生研 C 棟 5F から 6F へエレベータを利用して移動する実験を行った。図 18 に位置軌跡情報の推定結果を示す。

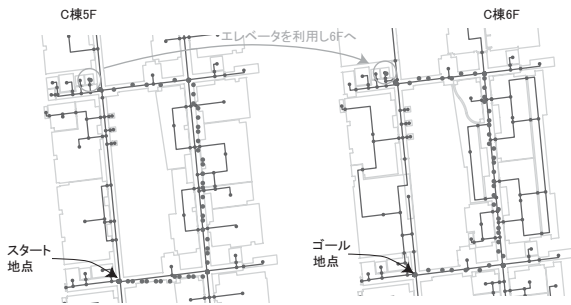


図 18 生研 C 棟 5F から 6F へ：高さ方向の移動

高さ方向の移動は、移動モードの推定とマップマッチングによって推定される。気圧センサの出力から高さ方向の移動が検出され、ネットワークデータ内の高さ方向に移動可能なエッジデータへとマッチングされる。図 18 においても示されているように、エレベータに乗るといった行為によって、位置が正確にマッチングされることが分かる。

建物外における移動については、C 棟 1F エレベータホールから、キャンパス内の中庭を周るコースを用いて実験を行った。建物外においては、進行方向の推定に磁気センサを利用している。図 19 に位置軌跡情報の推定結果を示す。



図 19 生研 C 棟 1F から中庭へ：屋外における移動

キャンパス内のネットワークにおけるエッジの大きさ属性は、大きい値に設定している。これは人の移動がネットワークに制限されず、かなり自由に行えるということを意味している。また、屋外において

は RFID タグの間隔が非常に広がっており、位置軌跡情報の推定には不利な条件であるが、万歩計システムによる速度推定と磁気センサを利用した進行方向の推定により、シームレスな位置情報の取得が可能になっていることが分かる。

これらの実験結果から、ユニバーサルロケータを利用していくつかの観測量を組み合わせることで、様々な利用場面、利用環境に応じて柔軟に位置軌跡情報の推定が可能になることが分かる。また、ユニバーサルロケータのようなプラットフォームが存在することにより、今回の試作システムで実装したいいくつかのセンサデバイスの組み合わせが、非常に簡単に実現できる事が分かった。

## 6 結論

移動オブジェクトに関する観測量を統合し位置軌跡情報を推定するためのプラットフォームであるユニバーサルロケータの提案を行った。本ユニバーサルロケータは、位置情報の取得に関連する様々なデバイスやサービスを効果的に統合して位置軌跡情報を提供するような、位置情報取得システムの開発基盤となることが期待できる。

また、加速度センサ、ヨーレートセンサ、磁気センサおよび気圧センサを組み合わせた万歩計システムと、RFID タグシステム、および GPS 受信機の組み合わせを対象に、ユニバーサルロケータの試作システムを開発した。この試作システムを用いた検証実験において、ユニバーサルロケータにより複数の観測量を効果的に統合し、位置軌跡情報の推定が可能であることが確認できた。

近年、実用化と普及が進みつつある LBS (Location Based Service : 位置情報を利用した情報サービス) に関しては様々なプラットフォームや標準化が提案され、検討が進められてきているところである。しかしながら、LBS を構成する技術の中でも特に重要になる位置情報の取得に関して、技術的に集中した議論がなされていないのが現状である。ユニバーサルロケータのような位置情報取得のためのプラットフォームは、このような標準化動向から見ても非常に有意義なものであると考えられる。