

歩行者ナビゲーションにおける位置特定基盤としての電波 タグシステムの提案

岡本 篤樹^{*1} 内田 敬^{*2} 大藤 武彦^{*4} 川端 莊平^{*5}
(株)都市交通計画研究所^{*1}
大阪市立大学大学院工学研究科^{*2}
株式会社 交通システム研究所^{*3}
(株)アイ・ティ・リサーチ^{*4}

歩行者ナビゲーションシステムの技術的課題の一つとして、歩行者の位置・進行方向の特定がある。本研究では、位置特定基盤としての電波タグの仕様・配置指針を提案する。提案する電波タグシステムは、高密度市街地において交信距離約 20m の電波タグを交差点部などに配置するものである。交信距離は、設置環境、交通状況等によって変化・変動するので、その影響を軽減するためのソフトウェア的対応なども併せて検討する。具体的な検討のために、電波タグ、受信機、PDA からなるナビゲーション・プロトタイプシステムを作製して、実証実験を行った。実験エリアは都市施設が集積した大阪市中心部、被験者数は 60 人である。実験結果として、位置特定基盤としての提案システムの有用性を確認するとともに、実用展開へ向けて、更に高いサービス水準を達成するための課題を明らかにする。

A System of RFID Tag as an Infrastructure for Pedestrian Navigation Applications

Okamoto Atsuki^{*1} Uchida Takashi^{*2} Daito Takehiko^{*4} Kawabata Souhei^{*5}
Institute of Urban Transport Planning Co. Ltd.^{*1}
Department of Civil Engineering, Osaka City University.^{*2}
Transportation System Studies Laboratory Co.,Ltd^{*3}
Instruments Technology Research Co.,Ltd^{*4}

This study proposes a specification and a configuration policy of RFID tag system which is to be an infrastructure for pedestrian navigation applications. The RFID tag system proposed arranges the RFID tags in the crossing part of a central city, and the communication distance of a RFID tag is about 20m. Since communication distance varies according to installation environment and a traffic situation, we consider the correspondence that reduces its influence. In order to explore concretely, we produced the navigation prototype system consists of RFID tags, receivers, and PDA, and experimented in the real environment. As experiment area, it is the Osaka central part which the city institution accumulated, and the number of monitors is 60 persons. From the result, we describe the subject for attaining a high service level towards practical use deployment and the available of the RFID tag as infrastructure for pedestrian navigation.

Keyword: *RFID, Pedestrian Navigation System*

1. はじめに

ITSの開発分野の1つとして、歩行者ITSは本格的な実用化を目指し、さまざまな研究開発や実験が行われている。例えば、大阪市地下街の「バリアフリー経路案内などの歩行者支援に関するITS実験」¹⁾では、地下街通路の交差部等に設置された電波タグ(Bluetooth)によって現在位置を特定し、音声誘導するシステムが試されている。実験の結果、地下街のように構造物が多く、複雑な空間における位置特定精度の確保が、技術的課題として指摘されている。

一般に、歩行者ナビゲーションの技術的課題は、大きくは 所在位置・進行方向の特定、ユーザイ

ンタフェース・携行機器デザイン、データベースに分けることができる。本研究はこのうちの について取り組む。

上述 の基礎技術である位置特定技術としてはGPS(Global Positioning System)やCellular Phoneの応用が代表的である。GPS はカーナビゲーションで利用されている。しかし、都市内での人の動きを対象とした場合、衛星からの受信波を高層ビルが遮断する可能性やマルチパスの影響により、その位置特定精度は不十分である。さらに、地下街や建物内では衛星アンテナを捕捉できないため位置特定が不可能となる。また、Cellular Phone の位置特定機

能をベースとしたものについても、その位置特定誤差は都市内において 50~100mあり、人の複雑な回遊行動に対応することは不可能である。以上のように GPS・Cellular Phone では、地下街や建物が集積し、入り組んだ街路で構成される地区において歩行者を対象としたナビゲーションを行うことは不可能である。

そこで、本研究では都市内において歩行者の位置と進行方向を高精度に特定するために、RFIDタグ(以下RFIDとする)を高密度に配置することを提案する。RFIDは、主に物流で利用されており、商品管理や移動物の監視などで利用されている。しかし、RFIDの活用領域は物流のみに限定されるものではなく、RFIDを用いて歩行者の位置特定を行う手法も提案されている。²⁾本稿では歩行者ナビゲーションにおけるRFIDを用いた位置特定の方法とタグ配置のあり方を提案する。そして実環境での実証実験結果から、ナビゲーションにおける位置特定基盤としてのRFIDの有用性を示すとともに、実用展開へ向けての課題を述べる。

2. ナビゲーションシステムの構成と位置特定方法

本研究は、都心商業地などの高密度市街地において、健常者を対象とした案内・誘導を目的とする歩行者ナビゲーションを実現するための位置特定基盤のあり方を検討・提案するものである。本章ではその前提として、本研究で想定する歩行者ナビゲーションシステムの概略を述べる。

2.1 ナビゲーションシステム機器構成

ナビゲーションシステムの機器構成を図 2.1 に示す。ナビゲーション対象エリアに位置特定基盤としての RFID が配置され、利用者は RFID からの電波を受信する受信機と PDA を携帯する。RFID から発信される情報はタグ ID のみであり、利用者が携帯する PDA は地理情報データベースを保持している。PDA はまた、受信されたタグ ID と地理情報データベースを参照することで位置特定や誘導経路の決定を行うとともに、誘導指示(ユーザインタフェース)を行う。

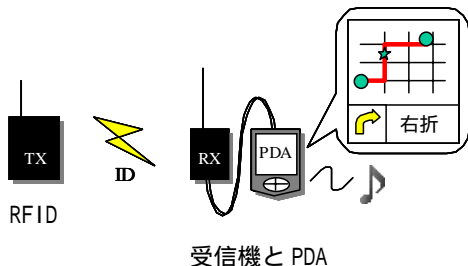


図 2.1 ナビゲーションシステム機器構成

2.2 基本的な位置・方向特定の考え方

タグ ID をキーとして RFID の所在地を格納する地理情報データベースを用意すれば、受信されたタグ ID から所在位置を特定することができる。具体的な方法として、RFID の配置が疎である場合、複数の RFID からの受信電波の強度情報を活用し 3 点測量の原理で位置を特定できる。他の方法として、RFID を密に配置する場合には、受信機との発信範囲(電波の到達距離)を狭くすることで、1 つのタグ ID を受信することが直ちに位置の特定につながる。例えば、電波の発信範囲が半径 10m である RFID を 20m 間隔で設置すれば、受信したタグ ID が表す地点(タグ設置地点)から 10m 以内の場所に存在することが分かる。本研究では後者、すなわち高密度に RFID を配置する方法を前提とする。

高密度に RFID を配置するならば、利用者の進行方向(進行してきた方向)を知ることは容易である。時間的に連続して受信した 2 つのタグ ID をキーとして用いて地理情報データベース上で移動ベクトルを求めればよい。

2.3 歩行者ナビゲーションプロトタイプシステム

上述の考え方に基づき歩行者ナビゲーションの実用性を検証するためにプロトタイプシステムを作成した。ナビゲーションは図 2.2 に示すフローに従う。

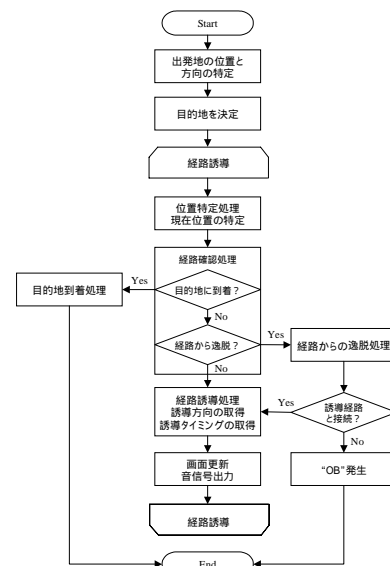


図 2.2 ナビゲーションフロー

まず、出発地(現在地)の位置と進行方向を取得し、目的地を利用者に設定してもらう。その後、誘導が開始されると歩行者の進行に伴ってタグ ID を受信機から逐次取得し、地理情報データベースを参照して現在位置を特定する。そして、経路データと照合することで、誘導方向、誘導のタイミングを取

得し、画面情報・音信号によりナビゲーションを行う。これを、目的地に到着するか経路を逸脱してナビゲーションが中断される(「0B」となる)まで繰り返す。図 2.2 のナビゲーションフローにおける「出発の位置と方向の特定」、「現在位置の特定」が本論文の主なテーマとなる。

タグ ID を受信してからの処理フローは図 2.3 に示すとおりである。この処理フローでは、X0 (1 つ前のタグ ID) X1 (現在地のタグ ID) 2 つの変数を用いる。基本的な処理は、歩行者が移動することにより新たなタグ ID を受信するたびに、これを X1 とし、その直前に受信し記憶していた ID で X0 を更新するという処理である。これにより、現在地とともに進行してきた方向を特定する (X0-X1 を地理情報データベース上でマッピングする)。付随的な処理として、X1 の正当性チェックも行う。これは電波の伝播状況によっては遠方の (誘導経路外の) タグ電波を受信し、誤った方向特定をしてしまうことを避けるためであり、トポロジカルな隣接関係によってチェックする。なお、ナビゲーションシステムを起動した直後は、X0 が空白状態にあるから、まず 1 つめに受信した ID を X0 に格納し、引き続いて受信した ID を X1 に格納する。つまり、起動直後には、2 つの異なる ID を受信するまで方向特定はできない。

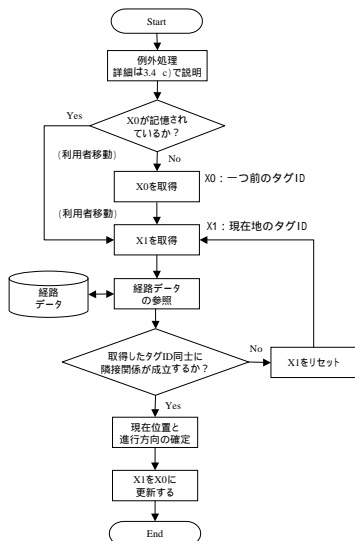


図 2.3 基本的な位置特定処理フロー

本章では、利用者側の機器・データ処理を述べてきた。3 章では、位置特定基盤としての RFID システムのあり方、すなわち 2.2 に述べた要求を実現するための RFID 仕様や配置について述べる。

3. 位置特定基盤としての電波タグ

2.2 において、1 つのタグ ID 受信から直ちに位置

を特定するために RFID を高密度に配置する方法を採用することを述べた。しかし、基盤整備に要する費用・時間を考慮すればむやみに高密度に RFID を配置すべきでないことは明らかである。そのため、歩行者ナビゲーションのサービス水準に応じた位置特定精度に見合う適切な RFID の密度と配置を考えなければならない。本章では具体的な RFID の仕様を規定 (提案) し、その条件の下での RFID 配置のあり方を提示する。

3.1 RFID と携帯端末の仕様

基盤整備の費用を小さくする観点からは、受信範囲をできるだけ大きくすること、個々の RFID を安価に作製することが必要である。また、複雑な街路で複数の RFID を密集設置しなければならない場合であっても最も近いタグの ID 信号のみを選択できなければならない。さらに、電磁波公害に対して配慮することも必要である。以上の事項を勘案し、本研究では以下の仕様のアクティブタグを採用する。(表 3.1 参照)

表 3.1 RFID仕様

(1) 送信データ	: タグID
(2) 送信周波数	: 315MHz
発信出力	: 微弱無線の規定に準拠
(3) 変調方式	: FM変調
(4) 送信間隔	: 100msec
	: (受信機からのトリガーを受信したときのみ作動)
(5) 受信周波数	: 438MHz
発信出力	: 微弱無線の規定に準拠

まず、RFID を安価に作製するために、送信データは最小限度のタグ ID のみとし、汎用部品を利用できるように周波数は IR バンドを採用した【表中 (1, 2, 5)】。これらのバンドは IR バンドの中でも実環境において比較的ノイズが少ない。変調方式は、複数の RFID を受信するエリアでも受信強度が最大の RFID のみを受信できること (マスキング効果) を期待して FM 変調とした【表中 (3)】。さらに、電波公害を緩和するため、受信機が近傍に存在するときのみ間欠発信することとした【表中 (4, 5)】。

(2), (5) に示すように出力を微弱無線の規定内とすると、都市内の実環境での受信可能範囲は最大で約 20m 程度となる。この値は、都市内街路において全ての場所を受信可能範囲で覆うならば、道路延長方向に関しては、40m 間隔で設置することが必要であることを意味する。一方、道路横断方向に関しては、アーケード商店街などであっても幅員は 20m 未満の場合が大部分であるから、RFID を 1 機のみ設置すればよい。

3.2 RFID 配置の考え方

3.1 で述べたような最大受信範囲 20m の電波タグ

で、ナビゲーション対象エリアを全て受信可能範囲で覆うことは過大設備であろう。そこで、ナビゲーションのサービス水準の観点から必ずしもナビゲーションが必要でない場所では、RFID を設置しないという姿勢で RFID 配置の指針を定める。ここでは、RFID を必ず設置する場所、必ずしも設置する必要がない場所に分けて考える。

の具体的な配置場所は 1) 交差点や曲がり角、2) 目的地施設、3) 地下街・地上部の連結部、がある。これらの場所は、目的地までの誘導の際に分岐点となり得る場所であることから、次に起こすべき行動を指示するために必ず RFID を設置する場所となる。さらに、3) については、歩行者を地下街から地上(その逆も)へ誘導する際に、どのエスカレータ・階段を利用すべきか指示しなければならないため、連結部に RFID を設置する必要がある。

は 4) 直線街路の中間付近、が該当する。この場所では、新たに誘導情報を与える必要はない。直線街路では前に出された誘導情報に従い移動すれば良いからである。しかし、長時間にわたって誘導情報が与えられない状態が続くと歩行者に不安を与えかねない。そこで、高いサービス水準を達成するには、直線街路の適当な場所(中間付近)に RFID を配置することを考える。つまり、直線街路の中間付近のタグ配置に関しては、受感区間と不感区間が混在することになり、その設置間隔はナビゲーションのサービス水準の観点から検討しなければならない。

3.3 実環境で発生し得る諸問題

上述の RFID 配置の考え方を実環境に適用した場合、以下に示す条件で発生し得る問題がある。

a) 位置特定のためのタグ配置条件

都市施設が集積した場所では、案内誘導のための RFID を密に配置することになる。例えば、交差点や地下街・地上の連結部が近接した場所では、受信範囲に複数の RFID が存在し、同時に複数のタグ ID を受信する可能性がある。このような場合、RFID の発信出力を弱めるだけでは対応できない。なぜなら、発信出力を弱め過ぎた場合には、誘導上必要なタグの受信範囲が狭くなりすぎてしまい、交差点間近まで誘導信号が出ないなどの問題が生じるからである。

b) 案内誘導のためのタグ配置条件

交差点や地下街・地上の連結部が複雑な形状となっていて、ポイント的な誘導情報だけでは対応できず、一連の誘導指示を与えることが必要となる場合がある。例えば、地下街と地上部の連結部では、連結部が地上部の道路に対して平行に接続されている

ことがある。このような形状の場合、歩行者が地下街から地上に上がってきたときに、知覚する進行方向が歩行者によって異なるといった問題が生じる。

c) タグの物理的設置環境条件

実環境では、管理者から付される条件により設置する場所が限定されるため、金属などの電波遮断物に囲まれた場所に設置しなければならないことがある。例えば、地下街などの天井裏に設置する場合、排気口や配水管は金属のため電波を遮断する可能性がある。このような場所では、マルチパスの影響や受信範囲を確保するように設置しなければならない。

d) 交通条件

RFID から発信される電波は人体効果による吸収や自動車による乱反射の影響を受けるため、時々刻々と変化する交通状態の変化に伴い受信機との受信範囲は変動する。このことは不感による誘導ミスや誘導信号の遅れが生じる原因となる。例えば、交差点などの分岐点において、設置したタグの受信範囲が狭くなり間近に来るまで電波を受信できない場合、誘導信号の出されるタイミングが遅くなり、交差点での誤進入などの誘導ミスが生じることになる。

3.4 発生し得る諸問題への対応策

a) タグ設置方法における対応

複数の RFID が隣接し、受信範囲の重なりによる問題が生じるような場所では、RFID の出力を調整し受信範囲を小さくするだけでなく、電波の指向性を確認することで対応する。例えば、RFID を金属柱(電波遮断物)の後ろに設置することで電波の放射方向を変化させ、電波受信距離を短くする。

b) 地理情報データベース上の対応

複雑な分岐点については一連の繋がりとしてデータベースを構築することであらかじめ誘導する内容を決定する。つまり、RFID の密集した場所では受信範囲の重なりから経路誘導の順に正しくタグ ID を受信できないことがある。そこで、一連の動作(屈曲など)を誘導指示できるように、複数のタグ ID とそれぞれに対応する誘導情報をブロック化し、当該ブロックに属するいずれの ID であっても、それをトリガーとして一連の誘導情報を提供できるようにする。

c) 受信側ソフトウェアでの対応

2.2 で示した基本的な位置特定処理(図 2.3 参照)の例外処理として、最近傍の RFID 以外のタグ ID を受信した場合でも正しく最寄りの RFID を特定することを考える。正しくないタグ ID を受信する状況には、経路誘導上でないタグ ID を受信する場合、

現在位置のタグ ID を受信した後、既に通過した地点のタグ ID を受信する場合、の 2 ケースがある。は本来受信するはずのないタグ ID が異常に電搬され、希に電波を受信する状態にある。は RFID が近接配置された場所で常に交信範囲が重なっている状態のことである。については t 秒間蓄積したタグ ID データから、受信回数が極端に少ないものは破棄する。は t 秒間蓄積した中で受信回数が最大となるものを現在位置 ID とする。

4. 実証実験

4.1 実証実験の目的と枠組み

実証実験は、提案した RFID とその配置指針について、位置特定基盤としての位置と方向の特定精度を検証してその有用性を確認することと、実用展開に向け、より高いサービス水準を達成するための課題を明確にすることを目的として実施した。

実証実験の枠組みを表 4.1 に示す。実験対象エリアには、アーケード商店街・地下街があり、都市活動が活発に行われていて人の交通量が多い。また、交差点間隔がきわめて短い箇所や、自動車と人が混在している街路もある。これらの特徴から GPS などの既存の位置特定技術では、その位置特定精度の問題から歩行者をナビゲーションすることが不可能なエリアである。このエリアに RFID を 157 台配置した。健常者を対象とし、前期・後期実験の 10 日間で 60 名を被験者とした。

表 4.1 実証実験の枠組み

実験対象エリア: 心斎橋を中心とした半径500m範囲のエリア
実験期間: 2002/11(前期実験・後期実験)
実験使用機器: RFIDタグ(157台), PDA(2台)
実験規模: 実験期間中に60名の被験者を対象とする。

4.2 被験者タスク

被験者は PDA と受信機を携帯し、1) 出発地点において、任意の目的地を設定、2) 誘導信号に従い目的地まで歩行、3) 目的地到着時にヒアリング調査に回答、という一連のタスク(トリップ)を、複数回繰り返した。実験時間は 1 人あたり約 1.5 時間とした。被験者 1 人当たりの平均トリップ数は 8.7 回であった。なお、被験者の移動状況を客観的に捉えるため、ストーキング調査を行い交差点における誤進入の状況などを観察・記録した。さらに、PDA にはログ保存機能を実装し、被験者の歩行中に受信した全てのタグ ID を記録した。

4.3 評価指標

本研究ではナビゲーションのサービス水準として、

1) 目的地に到着できる、2) ナビゲーション中に誘導ミスが生じない、3) ナビゲーションに対し不快・不安を感じることなく目的地まで到着できる。という 3 つの水準を考える。

評価指標として、1) についてはトリップの成功率から判断する。トリップ成功率は被験者が目的地まで到着した割合とする。成功率が低い場合、RFID の交信範囲が確保されていないために、位置と方向の特定が確実に行われていないことが原因として考えられる。

2) は交差点における誤進入の発生状況から判断する。まず、ストーキング調査の結果を集計したものをみる。しかし、誤進入の観察ではシステム自体の誘導ミスか被験者の勘違いかを区別することは不可能である。そこで、ログファイルを参照して誘導ミスの原因となるタグ ID の受信回数でも評価する。ログファイルは被験者の歩行中に受信した全てのタグ ID を記録しているが、受信されたタグ ID がすべて誘導信号に関係するわけではない。(3.4 c) 参照) このことから、ログファイルに記録されているタグ ID の受信回数で誘導ミスを判断することは、より厳しい評価を行うことになる。

3) はヒアリング調査結果の不安・不快に関する意見から判断する。歩行者ナビゲーションにおける最高レベルのサービス水準とは、不安・不快のない快適なナビゲーションと考える。そこで被験者の意見を参考にして、今後の歩行者ナビゲーションの実用化に向けた課題を明らかにする。

5. 実証実験結果

実証実験を前期・後期の 2 回に分けて行い、前期は機器の初期調整と伝搬状況把握を行った。後期では機器をチューニングして実験を行った。本論文では、後期実験(被験者数 30 名)の結果を示す。

5.1 トリップ成功率とトリップ成功時の誘導ミス

表 5.1 はトリップ成功率を示したものである。トリップ成功率が 8~9 割であることから最低限度のサービス水準はほぼクリアしている。

表 5.1 被験者のトリップ数とトリップ成功率

月日	トリップ数	トリップ成功数	OB数	トリップ成功率
11/26	32	26	6	81.3%
11/27	31	26	5	83.9%
11/28	40	37	3	92.5%
11/29	52	43	9	82.7%
11/30	46	41	5	89.1%
合計	201	173	28	86.1%

さらに高いサービス水準を指向して、交差点における誤進入発生状況をまとめると、トリップ成功時においても誤進入が 2 割程度生じている。(図 5.1 参照)なお、誤進入した際には、「戻れ」の誘導信号が出され、2 つ連続して経路データ以外のタグ ID を受信した場合、ナビゲーションは中断される。(「OB」となる。)

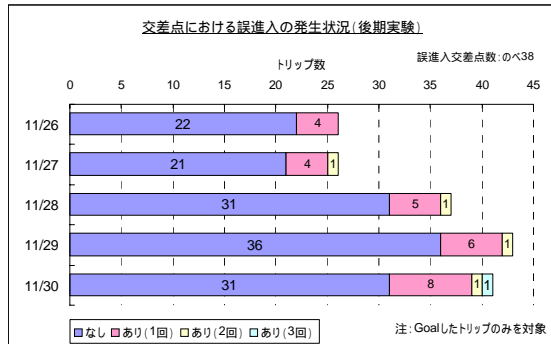


図 5.1 トリップ成功時誤進入発生状況

5.2 誘導ミスの原因となるタグ ID 受信回数

5.1 の結果から、トリップ成功時にも誘導ミスが生じていることが分かった。そこで、タグの配置(設置間隔)と電波状況の関係を見る。誘導ミスの原因となるタグ ID 受信状況は 3.4 c) で述べたように以下の 2 つのタイプに分けられる。

- a) 誘導経路上にないタグ ID を受信した場合
- b) 現在位置のタグ ID を受信した後、既に通過した地点のタグ ID を受信した場合

誘導ミスの原因となるタグ ID 受信回数に関しては、設置間隔が 40m 以内のものが約 89%になっている。(表 5.2 参照)本研究で提案した RFID の基本的仕様は発信範囲を半径約 20m とした。実環境では設置状況や交通状態から発信範囲が変動するが、平均的には仕様どおりであったことが示されている。

表 5.2 誘導ミスの原因となるタグ ID 受信回数

タグ設置 区間 (m)	頻度			累積 %
	a)	b)	合計	
0~10	0	0	0	.0%
10~20	6	35	41	38.3%
20~30	3	23	26	62.6%
30~40	8	20	28	88.8%
40~50	3	3	6	94.4%
50~60	1	0	1	95.3%
60~70	1	0	1	96.3%
70~80	4	0	4	100.0%
合計	26	81	107	

- a) 経路誘導上にないタグ ID を受信した場合
- b) 現在位置のタグ ID を受信した後、既に通過したタグ ID を受信した場合

5.3 不快・不安に関わるヒアリング調査結果

実験終了後ヒアリング調査を行った結果、少数意見ながら

「分岐点で誘導信号が出ない。」、「曲がった後にそれが正しいかどうか不安になる。」などの具体的な不満意見があった。

は交通状態の影響で受信機との発信範囲が狭くなり、誘導信号が出ない場合である。これらについては、交差点などの分岐点では一定の発信範囲を確保し、確実に電波を受信する必要がある。は分岐点でタグ ID を受信した場合、その発信範囲(半径約 20m)を抜けるまで次のタグ ID を受信できない、つまり、新たな誘導信号が出ないために、正しく行動できたかどうかの判断ができないことによって生じる不安である。この解消には、分岐後に正しい行動の確認ができるようなタグの設置が必要となる。

6. まとめ

本研究では、トリップ成功率が 8~9 割であったことから歩行者ナビゲーションにおける位置特定基盤としての電波タグの有用性を確認できた。また、トリップ成功時の交差点における誤進入が 2 割程度であることやヒアリング結果より「不安・不快」と感じた被験者が少数であったことから、4.3 で述べたサービス水準についても概ね達成できたと考える。

今後の課題としては、より高いレベルでのサービス水準へ向けて、5.3 で述べたような課題を解決していかなければならない。具体的な解決策と今後の展開を、分岐点(交差点等)、直線街路(単路部)、の 2 つに分けて述べる。については、発信距離の短い RFID を交差点枝部すべてに配置することで、分岐後の誘導の正誤を素早く判断することが可能となり、被験者に対して「不安・不快」を生じさせないことを目指す。ただし、RFID 設置(基盤整備費用)をできるだけ少なくするといった目的とは矛盾することになるため、交差点に RFID を高密度に配置する必要性については今後議論しなければならない。については、発信範囲が重ならないように十分な設置間隔を確保することが基本となるが、利用者に不安を生じさせない適切になタグ設置間隔について、引き続き検討を進めねばならない。

参考文献

- 1) 大阪市計画調整局, ITS(高度道路交通システム)社会実験調査 - 梅田ターミナル地区移動支援実験 - 報告書, 2002.
- 2) 円谷太輔, 佐々木淳, 船生豊, “RFID を用いたバスの運行情報提供システムの検討,” 2002 情報科学技術フォーラム, O-31, pp.387-388, 2002.