

## Bluetooth™を用いたタッチレスゲートシステム

中尾 寿朗 谷口 正宏 稲葉 哲男 久保田 益史  
オムロン株式会社

本稿では Bluetooth™通信装置 BTA-Twin とこれを用いたタッチレスゲートシステムの開発について紹介する。近年、鉄道事業においては非接触 IC カードの普及が始まり、切符は磁気券から IC カードへと移行し、記憶されるデータも磁気データから電子データへと移りつつある。またモバイル端末に切符情報を電子化して記録し、モバイル端末を切符としてゲートを通過するという要望も鉄道事業者、鉄道利用者の双方から出てきている。このような背景の中、Bluetooth™機能を搭載したモバイル端末で切符のデータを処理し、この BTA-Twin を利用して切符情報を授受することでモバイル端末を特定の位置にかざすことなく、ゲートを通過するという無線ゲートシステムの原理モデルを開発した。その基本原理と開発内容、実用化に向けた課題について報告する。

## Development of the radio gate system using Bluetooth™

TOSHIRO NAKAO, MASAHIRO TANIGUCHI, TETSUO INABA, MASUNORI KUBOTA  
OMRON Corporation

This paper describes the Development of radio gate system using “BTA-Twin” Bluetooth™ communication Adapter. The automatic fare collection system has started change the form of tickets from magnetic ones to IC cards and prepaid cards. Together with this change, the data recording system is changing from magnetic to digital. Moreover, both railway companies and users are requesting the use of mobile equipments recorded with digital ticket data to pass a ticket gate at a train station.

In view of this demand, we have developed the operating model of a wireless gate system that uses BTA-Twin to receive digital ticket data from the mobile equipment with Bluetooth™ communicator on without requiring the user to hold the mobile equipment at any specified position at the ticket gate. The basic principle and details of the development about this system are described. Moreover, we consider the problem to be solved for practical application of this technology.

### 1. はじめに

モバイルインターネットの普及は携帯電話や PDA (Personal Data Assistant) などの携帯端末 (以下モバイル端末と呼ぶ) を利用したチケットサービスを可能にした。今後もこの傾向は加速すると考えられ、モバイル端末をターゲットとした、より高度なサービスが期待される。中でも切符の機能をモバイル端末で実現するデジタルチケットは、社会的なインパクトが大きく特に注目されている。

デジタルチケットシステム[1]は、モバイル端末のインターネット通信機能を利用して、利用者が列車の座席予約や乗車券の購入を『いつでもどこでも』行うことができる。さらにチケット情報を端末に格納し、IrDA や近距離通信機能を利用して自動改札機 (以下ゲート) とのデー

タ通信を行うことで『そのまま改札を通過することも可能となる。常時携帯されるモバイル端末との親和性が高く、キラーアプリとして期待される分野である。このようなインフラが実現できれば、鉄道利用者の利便性が向上し、鉄道事業者のサービスコストも低減が可能である。

しかし、このようなシステムにあっても、利用者はデータ通信のためにゲート通過時にはモバイル端末を手に持ってゲートの所定位置にかざす等の動作が求められる。理想としては鞆やポケットに入れたままでゲートが通過できれば一層の利便が図れる。『持っているだけで通れる』タッチレスゲートはまさに究極のゲートであろう。

本稿では近距離無線通信技術のひとつである

Bluetooth™ を利用した無線タッチレスゲートシステムの検討と実験システムの構築・評価について報告する。さらに、将来の実用化に向けての課題と対策についても考察を行う。

## 2. 無線によるタッチレスゲートシステム

本システムではモバイル端末への搭載が進んでいる近距離無線である Bluetooth™ を利用することとした。Bluetooth™ は省電力・低コスト・小型といった特徴から規格の提案以来、注目を集めている。その応用としてコンピュータと周辺機器との接続、モバイル機器間でのデータ交換、ホットスポットなど多様なサービスが想定されており、日常での利用シーンを考える上で最も有力な通信手段と判断した。

しかしながら、現在の Bluetooth™ の仕様では、利用者のモバイル端末を発見するのに最大で 10sec 程度の時間を要する[2]ことや、通信エリアが半径で数 m~100m と広く、利用者の位置が特定できない、などの理由によりゲートへの応用は極めて困難と考えられていた。

タッチレスゲートの実現にあたってはモバイル端末とゲート間のデータ通信方式の実現と通過判定処理の性能がポイントとなる。

### 2.1 システムの基本概念

現在、鉄道の切符として実用化が進んでいる非接触 IC カードの通信エリアは十数 cm 以下と短いため、通信相手とゲートを通る人との対応は常に等しく、非所持者を通過させるような利用者の誤認識を発生する可能性は極めて低い。しかしながら、Bluetooth™ はその通信エリアが数 m~100m と広いため、これを利用した無線ゲートシステムでは、複数のモバイル端末の所持者が近くに存在すると非所持者が通過できてしまうという利用者の誤認識が発生する。そこで通信可能な範囲をゲートの通路内に狭める指向性アンテナを開発し解決を図る。

一方、Bluetooth™ は周辺に通信可能な機器が存在するか問い合わせを行うが、機器を発見するのに最大 10sec 近い時間を要するため、ゲートの通路に進入してから処理を開始しては実用的な処理性能が得られない。

この問題を解決するために新たな判定方式を

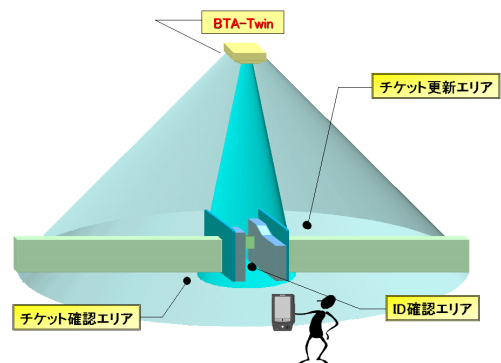


図1 基本概念

考案した。基本概念を図1に示す。本システムでは無指向性アンテナと指向性アンテナの二つのアンテナを用いる。これらを切り替えて利用できる通信装置：BTA-Twinを開発した。(詳細は後述する) これにより無指向性アンテナでゲートの手前位置からモバイル端末を広範囲に問い合わせを行い、あらかじめ発見しておく。そこで時間を必要とする処理を行う。通路に進入した時点で指向性アンテナに切り替え、指向性エリア内に対象のモバイル端末が存在することを確認することで通過処理を行う方式とした。

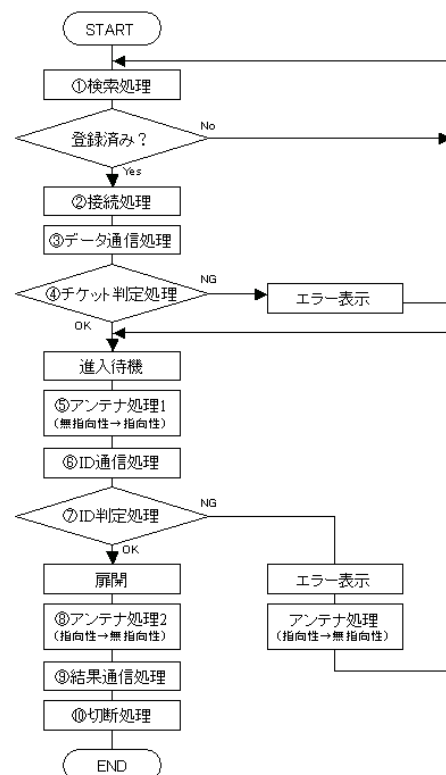


図2 フローチャート

## 2.2 処理フローの実際

処理全体のフローチャートを図2に示す。処理の概要を説明する。

- (1) BTA-Twin の無指向性アンテナ（通信エリア：半径約 10m）を使用し、通信エリア内に存在する利用者（モバイル端末）を検索する。
- (2) モバイル端末が発見されれば認証を行い、通信の接続処理を行う。
- (3) 通信が確立した後、チケット情報（約 2kbytes / 券）を伝送し、利用者が実際にゲートを通過する前に、ゲートの権利を確認しておく。（事前判定と呼ぶ）
- (4) 事前判定で通行の権利が確認されれば、その登録 ID をゲートに記録する。またモバイル端末にも結果を表示させる。
- (5) 利用者がゲートに進入したことを赤外線センサーで検知し、BTA-Twin のアンテナを指向性に切り替える。（通信エリア：半径約 0.8m）
- (6) 指向性アンテナの通信エリア内に存在するモバイル端末と通信し、事前判定で記録された ID かどうかの照合を行う。（約 10bytes）
- (7) 照合で OK であれば扉を開け、NG であればゲートとモバイル端末にエラー表示を行う。
- (8) 利用者がゲートを通過したことを赤外線センサーで検知し、BTA-Twin のアンテナを無指向性に切り替える。
- (9) 利用者が所有するチケット情報を使用済みに更新し、通信処理を終了する。

## 2.3 タッチレス化に伴う課題と対策

Bluetooth™ を利用したタッチレスゲートシステムの最大の特徴は、モバイル端末を特定の位置にかざすことなく、鞆やポケットに入れたまま、「手ぶら」で通過できることである。これにより、従来の磁気式の切符はもちろん、非接触 IC カードに比べても格段に利便性が向上することが期待できる。

しかしながら、利用者がゲートに進入した時に判定異常が発生すると、従来の方式（磁気式や非接触 IC カードの切符）に比べて利用者が異常に気付にくくなるのが懸念される。すなわち従来であれば手元に切符が存在するため、判定に異常があり、ゲートの扉が閉められた時でも切符を確認した後、すぐに切符を入れ直し

たり、かざし直したりすることが可能であり、迅速に対応することができた。ところが、携帯端末を鞆やポケットに入れておくと同様の異常が発生した時に、異常の内容が分かりづらく、結果としてゲート付近での流動を従来以上に長時間阻害する恐れがある。この場合、利用者はその異常内容を確認する必要があるため、従来よりもかえって利便性が損なわれる印象を与えかねない。この問題を解決するため、以下の対策を図った。

### (1) 事前判定時のエラー通知

利用者がゲートを通過する前の事前判定で異常が発見された場合、モバイル端末に対し、その異常内容を通知する。具体的には画面表示、音声案内である。利用者が鞆やポケットなどにモバイル端末を格納している状態ではこれらの案内が十分に伝わらないことも考えられるが、モバイル端末の振動機能を利用したり、将来的にはBluetooth™を経由してヘッドセットや腕時計など様々なデバイスにその状況を伝えたりすることも可能であると考ええる。

### (2) ゲートでの判定異常率を低減させる

従来のゲートでも同様であるが、ゲート進入時に判定異常が発生すると後続の利用者にも影響し、機器全体の稼働率低下にもつながる。そこで利用者の ID やその決済意思が明確である場合には、判定異常であってもそのまま通過させ、その後精算させるという手段をとる。これによりゲートでの判定異常による混雑を低減させる効果があると考ええる。既に非接触 IC カードによる方式では、プリペイドカードの残高不足時に自動積み増しを行うことや、利用実績に応じて契約社は後払い決済を可能とするなどの方式が実現ないしは計画されている。

## 3. Bluetooth™ 通信装置 BTA-Twin

### 3.1 特徴

BTA-Twin は以下の特徴を持つ。

#### (1) 指向性アンテナの搭載

BTA-Twin は KIOSK 端末の前にいる人だけや、ゲートを通過した人だけ、のように特定したエリアにいる人にサービスを提供することが可能である。そのために指向性アンテナを内蔵し通信可能なエリアを狭く設定することができる。

一方、Bluetooth™ は通信可能な機器の存在確認に最大 10sec 近い時間を要するため、指向性エリアが狭すぎると移動中の人と通信することができない。BTA-Twin は無指向性アンテナと指向性アンテナの二つのアンテナを搭載し、それらを切り替えて利用できるようにした。これにより例えば、無指向性アンテナでモバイル端末を広範囲に問い合わせを行い発見し、指向性アンテナに切り替えて、指向性エリア内でそれらの端末に対してのみ通信することが実現できる。

### (2)天井設置を考慮した機器構成

インフラ機器と連動した利用を想定し天井への設置を可能とした。天井への配線や本体の起動/終了方法など工事や操作方法に課題がある。以下の機能を実現している。

- ・ 赤外線リモコンを利用し、リモートから BTA-Twin 本体の起動/終了、動作モードの切り替えができる。
- ・ 大型の LED を搭載し、リモートから BTA-Twin の動作状況（動作モード、アンテナの利用状況など）が確認できる
- ・ 端末機器間とのインターフェースに無線 LAN (IEEE802.11b) を利用し、LAN ケーブルを敷設する必要がなく、配線の手間を省くことができる。Bluetooth™ と無線 LAN は同じ ISM 帯域の 2.4GHz 帯を利用しており、電波干渉により伝送効率が低減する影響を受けるが、これを低減する対策を行った。

### (3)Windows インターフェースの搭載

アプリケーションインターフェースは Windows 上で動作する。これにより、Windows が動作する汎用パソコンから BTA-Twin を制御できる。アプリケーションインターフェース仕様は

Bluetooth™ プロファイルを意識しないインターフェースになっており、Bluetooth™ のプロファイルの仕様を理解することなく、テキストデータや音声などの情報を扱うアプリケーションプログラムを開発することができる。

### 3.2 ハードウェア構成

ハードウェア構成図を図 3 に示す。

指向性アンテナはマイクロストリップ平面パッチアレイアンテナ、無指向性アンテナはチップ誘電体アンテナである。両アンテナを同一筐体内に搭載し、アンテナ切替器で切り替えて利用する。CODEC を搭載し、音声も利用できる。

### 3.3 ソフトウェア構成

ソフトウェア構成図を図 4 に示す。

Bluetooth™ の基本通信部分であるプロトコルスタックは BTA-Twin 側に実装している。制御機器と BTA-Twin とは LAN で接続されており、プロトコルスタックインターフェースを LAN 経由で

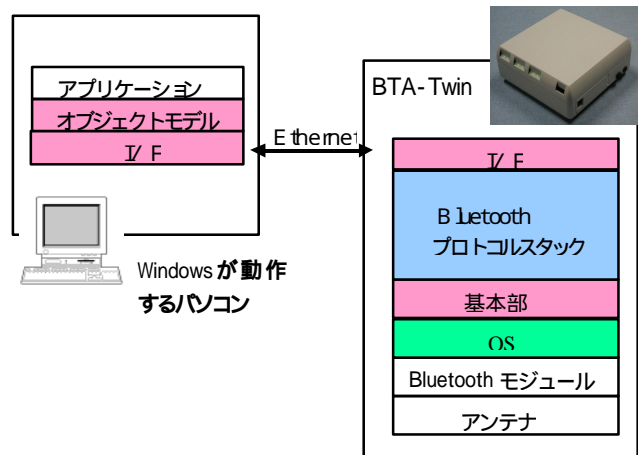


図 4 BTA-Twin のソフトウェア構成

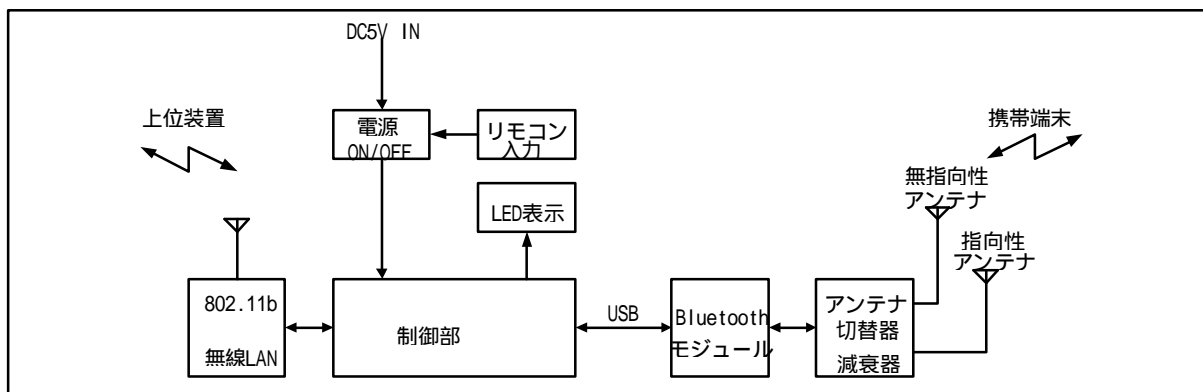


図 3 BTA-Twin のハードウェア構成



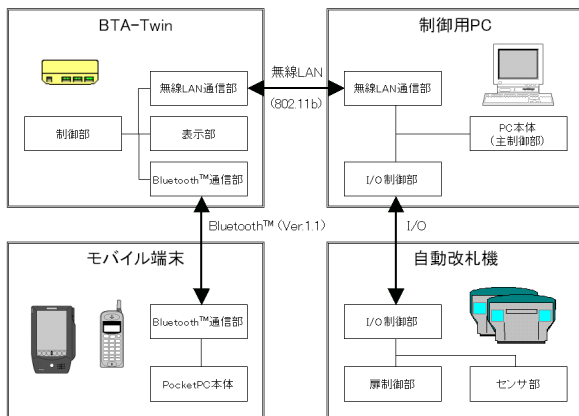


図5 実験システムの構成

利用する。さらに、Windows で利用されているアプリケーションプログラム開発環境である Visual C++、Visual Basic でアプリケーションプログラムを開発可能とするため、ActiveX (COM) オブジェクトモデルを提供している。また、この部分で Bluetooth™ のプロファイルの仕様を吸収しており、プロトコルスタック固有のインターフェースを使わず、簡略化したインターフェースを提供する。

#### 4. 実験システムの構築とその評価

タッチレスゲートの実用性を確認するために実験システムを構築し評価を行った。

##### 4.1 システム構成

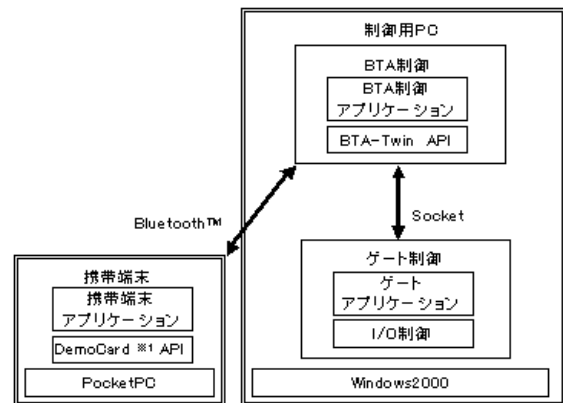
実験システムの構成を図5に示す。ゲート、制御用 PC、BTA-Twin、モバイル端末の4つで構成され、それぞれ以下の機能を持っている。

###### (1) ゲート

切符の非所持者が通過することを阻止するもので、利用者の進入 / 通過の検知と扉の開閉動作を行う。実際には利用者の進入 / 通過の判定や扉の開閉制御は I/O 制御部を介して制御用 PC が行っている。

###### (2) 制御用 PC

制御用 PC は前述の通り、ゲートの制御と BTA-Twin の制御を行う機能を持つ。ゲートの制御では利用者の進入 / 通過の判定とチケット情報の正当性判定、扉の開閉制御を行う。BTA-Twin の制御では指向性アンテナと無指向性アンテナの切り替え、モバイル端末との通信制御を行う。



※1) PocketPC専用のBluetooth™カード

図6 実験システムのソフトウェア構成



図7 実験システム外観

###### (3) BTA-Twin

BTA-Twin は制御用 PC からの命令により、モバイル端末との通信を行う。無指向性アンテナと指向性アンテナの両方を搭載し、ゲートの上方、地上高約 3m の高さに設置する。無指向性アンテナの通信エリアは半径約 10m、指向性アンテナの通信エリアは半径約 0.8m である。制御用 PC との通信には無線 LAN (IEEE802.11b) を使用している。

(4) モバイル端末

本開発におけるモバイル端末には PDA を用いた。BTA-Twin との Bluetooth™ 通信を行う機能の他、切符情報を電子化して記録するデジタルチケットの機能全般を有する。

4.2 ソフトウェア構成

ソフトウェア構成を図 6 に示す。

4.3 実験概要

図 7 に示す実験システムを用い各処理時間の測定を行った。また通信可能領域の考察のため BTA-Twin を天井設置した場合の指向性アンテナの端末受信電力分布を測定した。

4.4 処理性能

表 1 に示した通り、全 20 回の測定値の平均ではチケットの確認処理から更新処理を完了するまでに約 4.4sec の時間を要している。従来の判定方式であれば、利用者がゲートに進入してから判定結果が出るまでに 4.4sec 必要としたということであり、高速処理を要求する鉄道改札への応用は不可能であると考えられる。しかしながら今回の 2 段階判定方式においては、この処理時間の内、利用者が実際にゲートに進入してから判定終了までの処理時間（ID 確認処理に要

する時間）は約 0.23sec と目標の 1.0sec を大きく上回る結果となっており、事前判定方式によって十分に実用可能な速度であるといえる。

またモバイル端末を手に持って通過した場合（0.22sec）と、胸ポケットに入れた場合（0.24sec）とでは若干処理速度に影響しているが、これはアンテナの感度と指向特性に影響を受け通信速度の低下（約 0.02sec）を生じたと思われる。本件に関しても、実用化時の感度のバラつき改善は必要であるが、処理速度としては目標を十分上回っていることから、方式全体への影響はないと判断する。

4.5 通信エリアと利用者の認識

指向性アンテナの通信エリアは図 8、9 に示すように半径約 0.8m であり、このエリアでは 95% 以上の確率で通信ができることを確認した。しかし、実際には通信エリアの境界は明確ではなく、半径約 2.2m のエリア内においても、5 ~ 95% の確率で通信が可能である。これはモバイル端末の向きや角度、持ち方によって受信感度が約 12dB の幅で変化する [3] ことや、周囲の電波状況にも影響されるためと考えられる。このためゲートが複数通路設置される場合には誤認を生じる可能性が高く対策が必要である。

表 1 処理速度の測定結果

単位:ms

	全体	PDAを手に持って通過		PDAを胸ポケットに入れて通過			
	平均値	平均値	最小値	最大値	平均値	最小値	最大値
1. チケット確認処理	2610	2352	1109	3516	2867	1282	5750
1.1 接続処理	1772	1514	516	2406	2030	625	5094
1.2 データ通信処理	500	506	265	859	494	296	938
1.3 判定処理	37	38	31	63	36	31	47
1.4 判定結果通信処理、他	301	294	249	328	308	296	329
2. ID確認処理	232	222	203	282	241	187	360
2.1 ID通信処理	109	97	71	147	120	70	241
2.2 判定処理	8	8	6	9	8	6	14
2.3 判定結果通信処理、他	115	117	94	157	113	93	141
3. チケット更新処理	1590	1647	1563	1735	1533	1500	1625
3.1 結果通信処理	193	192	141	313	194	157	219
3.2 切断処理、他	1398	1455	1390	1516	1340	1280	1469

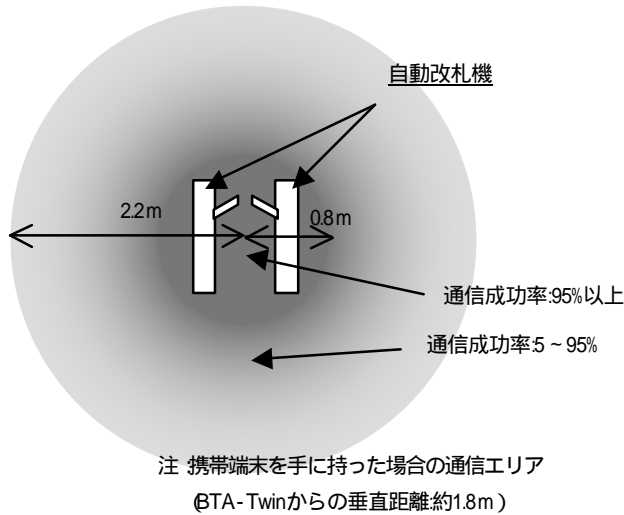


図8 指向性アンテナの通信エリア

### 5. 実用化に向けての課題と考察

今回の実験システム構築を通して、実用化にあたり解決すべき課題と考察を述べる。

#### (1) 同時複数人処理

本開発のモデルではアルゴリズム構築による原理確認を主目的としたため、その機能を単独での通過に限定した。しかし、実際の運用においては同時に複数の方がゲートに接近し、順次通過していくという形が一般的である。Bluetooth™の仕様においては、1台の端末から最大7台まで同時に接続することができ、更に最大255台までその存在を把握、管理することができるため、同時複数人処理は早期に実現できる見込みである。但し、本機能の実現には判定基本アルゴリズムの再構築と事前判定エリアでの高速処理を行う必要がある。

#### (2) 複数通路処理

実際の駅のゲートシステムでは、複数のゲートが併設されている場合が圧倒的に多く、本システムを駅に応用するには、複数通路に対応することが必須条件となる。本開発では、1台のゲートに限定したアルゴリズム、機器構成としており、複数のゲートに対応するためには以下の対策が必要である。

- 複数通路一括管理機能、通路間協調制御
- 複数通路が存在する場合には、事前判定した通路と実際に通過する通路が必ずし

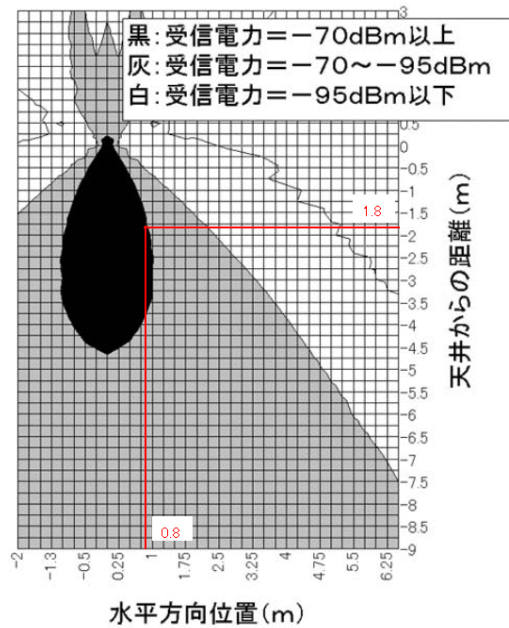


図9 端末受信電力分布図

も一致しない。このため事前判定情報を通路間で共有管理する必要がある。具体的には通路全体を管理するサーバに事前判定に関するテーブルを設け、各ゲートがこのテーブルを参照する構成が考えられる。隣接通路との干渉防止、アンテナ特性改善

4.5項で指摘した課題に対しては電波、機器構造、処理方式に関して多面的に取り組む必要がある。まず電波面ではBTA-Twinのアンテナ指向特性の改善、モバイル端末の受信感度のバラツキ抑制が課題である。機器コスト、サイズの制約から劇的な改善は難しい。

また、機器構造面ではアンテナを天井ではなく床下やゲート側面に設置し通信可能領域をさらに絞り込むことや、隣接するゲートとのシールドを施すなどの改善策が考えられる。

処理方式では、他の特定手段により利用者を識別する対策が考えられる。新技術としては、Bluetooth™の通信対象との距離を推定する手法[4]を用い位置を把握し電波発信者との整合を図る方法や、個人の特徴情報、例えば顔などのデータを利用して個人特定を補完する方式[5]などが有望であろう。

## 6.まとめ

本稿では無線タッチレスゲートシステムとして Bluetooth™ を利用した原理モデルを構築し、実用化検証と課題を抽出した。その結果、提案した新たな判定方式の妥当性と処理速度に関しての実用性を確認した。一方、指向性アンテナの特性を含めた利用者の誤認識、複数人連続処理、複数通路対応など、運用面での課題が残っている。実用化には更なる技術開発が必要であり、駅を中心とした大規模な自動改札システムを目標としつつ、通路数、処理速度が比較的緩やかなホールやイベント会場などへの導入を目指し検討を行う予定である。

またゲート通過時の通信はチケット情報の授受だけでなく利用者への情報提供手段としても有望である。特にゲート通過は利用者の位置を把握できるだけでなく、その個人属性や行動特性をも判断することができる。ともすれば雑多で選択が困難になりがちな提供情報の絞り込みに有効である。具体的な取り組みとして、サイバーレール構想[6]などで提唱されている、Bluetooth™、無線 LAN などを利用したユビキタスネットワークを活用した旅客者情報提供についての検討を行う。

なお本開発では、情報処理振興事業協会様（IPA）の平成 12 年度先端的情報化推進基盤整備事業「携帯端末を利用したデジタルチケットシステムの開発」の成果[7]を利用している。

最後に、本開発の遂行にあたりご協力・ご助言をいただいた関係各位へ謝意を表します。

## 参考文献

- [1]中尾・荒尾・藤本・細野・谷口・石川、モバイル端末を利用したデジタルチケットシステム、情報処理学会研究報告、2001-MBL-18/2001-ITS-6、pp.15-22、(2001)
- [2]町田・片桐・杉村、Bluetooth Beaconsによる歩行者ナビゲーションの一検討、情報処理学会研究報告、2001-MBL-18/2001-ITS-6、pp.69-74、(2001)
- [3]武長・佐藤、Bluetooth 通信装置 BTA-Twin のハードウェア技術、OMRON TECHNICS, Vol.42, No.3, pp299-305 (2000)
- [4]Bluesoft Inc.、Technology of Distance Measurement & Location Finding、<http://www.bluesoft-inc.com/>
- [5]森本・安達・西村：顔認識技術を用いた徘徊者保護支援システム、OMRON TECHNICS, Vol.41, No.1, pp45-49 (2001)
- [6]荻野、サイバーレール構想、情報処理学会研究報告高度交通システム研究会、高度交通システム'2001 シンポジウム論文集 (2001)
- [7]松永・高山・中尾、携帯端末を利用したデジタルチケットシステムの開発、平成 12 年度 IPA 先端的情報化推進基盤整備事業成果論文集 (2001)、<http://www.ipa.go.jp/NBP/ITX2001-2/projects/hightec/008/008.pdf>