

# 携帯電話と狭域無線通信を融合した道路課金システム

## Electronic Road Pricing System Using the Mobile Phone

村 越 英 之      前 田 孝 士      下 田 智 一  
森 下 慶 一      田 中 将 憲



近年、交通渋滞問題を抱える世界各都市で、交通量制限の有効な手段として、道路課金（ロードプライシング）システムの導入が検討されている。“携帯電話と狭域無線通信を融合した道路課金システム”は、モバイル通信のインフラとして確立した携帯電話を利用し、低コストの車載器をユーザに提供するもので、道路課金システムの都市部導入の実現性を高めるものである。今回試作システムの実車走行試験により、通信性能及び運用上の問題を検証し、システムの実用化へのめど付けができたので報告する。

### 1. は じ め に

道路課金システムは、都市部の交通量制限の有効手段として、交通渋滞問題を抱える世界各都市で導入が検討されている。シンガポールでは、当社が1998年に納入した電子式道路課金（ERP：Electronic Road Pricing）システムが運用されている。また、昨年はロンドンでERPシステムの運用がスタートする等、具体的な導入実績も報告されている。

この道路課金システムは、課金方法として、課金対象区域へ流入する車両の車載器と路側設置アンテナとの無線通信による方法、同区域へ流入する車両のナンバープレートを読み取り車両を特定する方法、同区域への進入を車両のGPS（Global Positioning System）により判断し課金する方法等、様々な方式が検討されているが、各都市の事情により方式選択が行われているのが実態である。

本開発は、既にモバイル通信のインフラとして確立した携帯電話を利用し、低コスト車載器を提供するもので、道路課

金システムの都市部導入の実現性を高めるものである。

### 2. システム概要

#### 2.1 システム構成

システム構成を図1に示す。本システムでは、車載器と管理センタ（上位系）との通信には電話の通信回線を用いる。これにより、車載器から路側アンテナへのアップリンク通信機能と車載器の表示機能等を省く（携帯電話の表示を利用）ことが可能となり、車載器の低コスト化と小型化が実現できる。

本システムの主要な機器を以下に、仕様を表1に示す。

- (1) 路側アンテナ：車載器に向けて、入口情報を送信。
- (2) 制御装置：路側アンテナ等を制御。
- (3) 簡易型車載器：路側アンテナからのデータを受信。
- (4) 携帯電話：車載器からのデータを管理センタに送信。
- (5) 管理センタコンピュータ：車載器からのデータを受信し、課金処理を実施。さらに当該携帯電話に向けて確認（応答）メールを送信。

本システムでは、携帯電話を所有しているユーザは簡易型車載器（低コスト）を購入するだけで、通行料金や特定領域への進入料金の自動料金収受のサービスを受けることが可能となる。

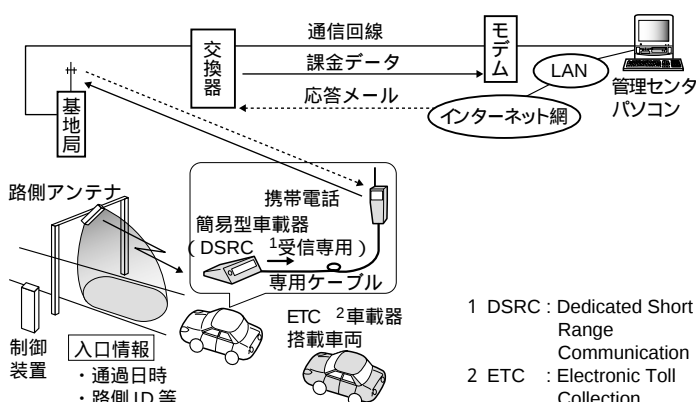


図1 システム構成 路側アンテナ、簡易型車載器、携帯電話、管理センタのデータの流れを図示

表1 システム仕様

| 項 目                 | 仕 様                | 備 考           |
|---------------------|--------------------|---------------|
| 通信対象車線数             | 2車線                | 1アンテナ当たり      |
| 最高車速                | 90km/h以上           |               |
| 対応車載器               | 簡易型車載器<br>現行ETC車載器 | 同一路側アンテナで処理可能 |
| データ送信時間<br>(管理センター) | 30秒以下              | リトライ無しの場合     |
| DSRC通信              | 単方向                | 路側アンテナ車載器     |

## 2.2 システム動作概要

システムの動作概要及び通信データの内容を図2に示す。また、以下に主な処理内容について説明する。

- (1) 制御装置は路側アンテナに日時や路側ID等を設定し、路側アンテナはDSRC (Dedicated Short Range Communication: 専用狭域通信) データを送信。
- (2) 車両(車載器)が路側アンテナの通信領域内に入ると、DSRC通信データを車載器が受信。
- (3) 車載器は、携帯電話を介して車両情報や入口情報を管理センタに送信。
- (4) 管理センタは、車載器から受け取った車両情報や入口情報を基に課金処理を実施し、当該車載器に課金通知。

## 3. 技術の特徴

今回開発したシステムの特徴を以下に示す。

- 車載器が低コスト・簡易型。
- 既存インフラである携帯電話網を有効活用。
- ETC車載器と併用可能。
- フリーフロー走行(車線をまたいだ走行)への対応。

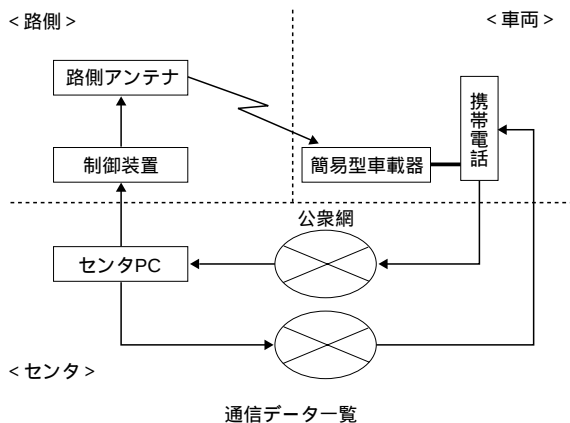
### 3.1 低コスト・簡易型車載器

車載器の主要諸元を表2に示す。

#### (1) 車載器の低コスト化

本システムでは、携帯電話を利用して上位系への通信を実施するため、車載器を受信専用にすることができ、無線送信系が不要となる。このため、発振回路、送信回路及び変調回路が削除されコストの低減が可能となる。また、受信系を簡素化することで、さらにコスト低減が可能である。

開発した簡易型車載器は、回路の簡素化により、低コスト化と同時に小型化・低消費電力化も実現した。



| 通信データ一覧 |                                        |                                  |
|---------|----------------------------------------|----------------------------------|
| 番号      | 項目                                     | 内容                               |
|         | 路側の設定                                  | 日時, 路側 ID, センタ電話番号               |
|         | 路車間通信 (DSRC)<br>路側→車両<br>(一方向ブロードキャスト) | 日時, 路側 ID, センタ電話番号               |
|         | 携帯電話を利用して<br>センタへデータ送信                 | 日時, 路側 ID, 車載器番号<br>(ナンバープレート番号) |
|         | 応答メール                                  | 課金情報                             |

図2 システムデータフロー データの流れとその内容について説明。

#### (2) 受信系簡素化による感度低下対策

上記のとおり、ユーザの負担低減のために低コスト化を実現したが、受信系の簡素化により、受信感度の低下が発生する。この対策として、路側アンテナの送信出力を増大させる方法を採用した。

路側アンテナの出力増加により、車載器の感度低下を補償し、所要の通信領域が確保可能である。

### 3.2 携帯電話通信プロトコル

PDC (Personal Digital Cellular) 方式携帯電話機に簡易型車載器を接続した場合の、携帯電話と車載器とのインターフェース概要を図3に示す。

PDC方式携帯電話の外部インターフェースには2つのシリアル通信があり、1つは主に携帯電話の制御に用いるPDCシリアル通信(非同期式)、もう1つは音声信号やデータ通信に用いるTCH (Traffic CHannel) シリアル通信(同期式)である。車載器はこれら2つのシリアル通信を用いて携帯電話との高速データ通信を行う。

車載器が携帯電話を利用してセンタとの高速データ通信を開始するまでの車載器-携帯電話間の通信シーケンスを図4に示す。車載器は、始めにPDCシリアル通信によって携帯電話に対し、接続先へのダイヤルアップを要求し、さらに、高速データ通信の開始を要求する。この要求が受け入れられ、ダイヤルアップが確立すると、TCHシリアル通信が始まる。TCHシリアル通信では、車載器は携帯電話と同期をとり、センタとのリンクを形成する。車載器は、センタとのリンクが確立すると初めて高速データ通信が可能となる<sup>(1)</sup>。

### 3.3 ETC (Electronic Toll Collection) 車載器との併用

本システムはETCと同じ5.8 GHzのDSRCを利用するため、同一のインフラシステムで本簡易車載器と従来のETC車載器の両方に対応することが可能である。

ETCにおけるDSRCの通信スロット構成を図5に示す。FCMS (Frame Control Message Slot) にはフレーム構成等の通信制御情報が付加されており、サポートするアプリケーションの種類もこのスロットで定義される。MDS (Message Data Slot) はデータ転送用のスロットであり、ACTS (Activation Slot) はリンク接続のために用いられるスロットである。

表2 簡易型車載器の仕様

| 項目    | 仕様              | 備考         |
|-------|-----------------|------------|
| 寸法    | 現行ETCの2/3以下     |            |
| 消費電流  | 現行ETC車載器の1/10以下 | RF部のみ(動作時) |
| コスト概算 | ETC車載器の1/2以下    |            |



図3 車載器-携帯電話インターフェース概要 車載器と携帯電話間のデータのやり取りを図示。

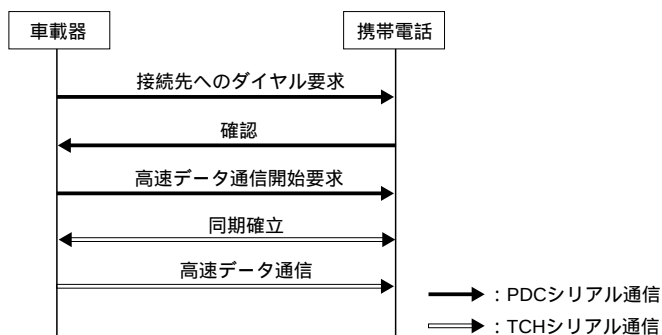


図4 データ通信開始までの車載器-携帯電話通信シーケンス  
データ通信開始までの車載器と携帯電話の通信シーケンスを図示。→の順に処理が進む。

簡易車載器が必要とするデータは、1つのダウンリンク用MDS（今回はMDS(1)）に格納し、FCMSとMDS(1)の2つのスロットを受信することで、路車間通信は完了する。したがって、残りのMDSはETC車載器用として使用することができる。

ただし、実際の運用に当たっては、DSRCの一斉同報に関する詳細規格が未確定である等の問題があるため、FCMS内のアプリケーションの種類でETCとERPとを分け、ETC用通信とERP用通信とをTDMA（Time Division Multiple Access）制御する必要が生じる可能性がある。

### 3.4 異常時の車載器の処理

#### (1) 携帯電話の通信のリトライ

携帯電話による通信は電波状況などにより、1回の通信で100%成功するわけではない。そのため、車載器は通信失敗でリトライし、信頼性を高めている。リトライが発生する原因として以下の3とおりが挙げられる。

携帯電話の電波不安定領域での通信。

携帯電話が話中状態。

車載器と携帯電話機が未接続（接続不良）状態。

携帯電話機の電源がOFFの場合は、車載器が強制的に携帯電話機の電源をONにして通信する。

なお、上記の携帯電話が話中の場合も強制的に切断し、通信を開始することは可能であるが、ユーザの利用形態を考慮し、本機能は組み込まないこととした。

#### (2) リトライオーバ

携帯電話が圏外の領域に出た場合等、長時間携帯電話が



図6 車載器外観 試作した車載器の概観写真。



図7 車載器及び携帯電話設置例 実際の車両に車載器及び携帯電話を設置した状態の一例。

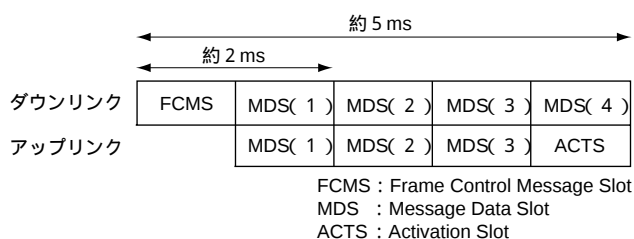


図5 ETCにおけるDSRC通信スロット構成 ETCシステムにおけるDSRC通信のスロット構成について図示。

使えない場合がある。その場合、成功するまでリトライし続けるというのは現実的ではない。

今回開発した簡易型車載器は30秒間隔でリトライを実行し、5回リトライに失敗した場合、リトライオーバとして、携帯電話によるデータ送信を中止する。

そして、送信を中止したデータは車載器内の不揮発性メモリへ保存する。

#### (3) 不揮発性メモリ内データの送信

不揮発性メモリ内のデータは、次の車載器電源ONのタイミングでチェックされ、未送信データが存在すれば優先的に送信される。

## 4. 成 果

### 4.1 車載器開発

図6に開発した簡易型車載器の外観を示す。寸法は70×50×30mmと従来の当社車載器と比較し、50%の小型化を達成した。

図7には携帯電話と車載器を設置した様子を示しているが、運転者の視認性確保、操作性の検討が今後の課題である。

### 4.2 通信領域

今回開発したシステムでは、2車線のフリーフロー走行に対応させるため、図8に示すような通信領域を形成した。

DSRCの通信時間は最短で約2msであり、DSRC通信リトライを考慮しても最大25ms以下で通信を完了する。複数台の車両が進入してきた場合でも、受信専用であるため同等の時間で通信が完了する。よって、車速90km/hで走行時、進行方向で1.0m以上あれば、誤り率1/100,000以下を確保

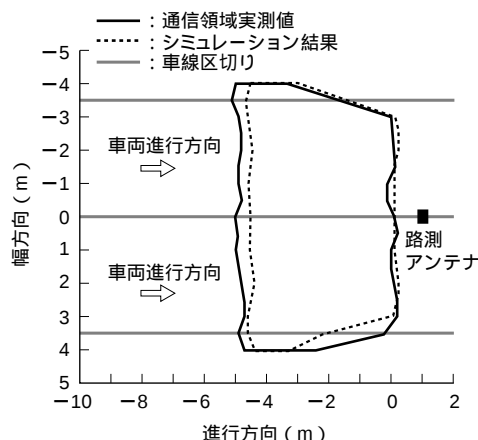


図8 通信領域（実測とシミュレーション）  
通信領域の実測値とシミュレーション結果の比較。

表3 走行試験結果

車載器がDSRCで受信したデータを管理センタ(模擬)へ正しく送信した確率

| 走行パターン |      | 走行回数<br>(回) | 成功回数<br>(回) | 成功率<br>(%) | 携帯電話リトライ発生回数 |    |    |    |    |
|--------|------|-------------|-------------|------------|--------------|----|----|----|----|
|        |      |             |             |            | 1回           | 2回 | 3回 | 4回 | 5回 |
| 車載器 1台 |      | 30          | 30          | 100        | 4            | 1  | 0  | 0  | 0  |
| 車載器 2台 | 車両 1 | 15          | 15          | 100        | 5            | 2  | 2  | 1  | 0  |
|        | 車両 2 | 15          | 15          | 100        | 8            | 0  | 2  | 2  | 0  |

走行スピードは40 km/h

表4 通信時間計測結果

車載器がDSRCで受信したデータを管理センタ(模擬)が受けるまでの時間

| 走行パターン |      | 走行回数<br>(回) | 平均送信時間<br>(分:秒) | 最短送信時間<br>(分:秒) | 最長送信時間<br>(分:秒) |
|--------|------|-------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 車載器 1台 |      | 30          | 0:28            | 0:09            | 3:10            |
| 車載器 2台 | 車両 1 | 15          | 2:04            | 0:10            | 6:12            |
|        | 車両 2 | 15          | 2:23            | 0:10            | 6:10            |

本試験当時、携帯電話送信リトライ間隔は90秒、走行スピードは40 km/h

することができる。

通信領域は、進行方向に確実な通信が可能な1.0 m以上の領域を、幅方向で2車線分の7 m(アンテナ直下から±3.5m)以上確保している。通信領域の実測値は、図8に示すようにシミュレーション結果と非常によく一致しており、設計どおりの通信領域が形成されている。

したがって、本システムはアンテナがカバーする2車線を走行する車両と確実に通信することが可能である。

#### 4.3 走行試験結果

走行テストを実施した結果を表3に、管理センタとの通信時間を表4に示す。表中の各条件で車両を走行させ、通信状況を確認した。

各試験条件で、複数回走行を重ねた結果、DSRC通信、携帯電話通信共に100%成功することを確認した。また、斜め走行や通信領域を通過中にレーン変更した場合にも、通信できることを確認した。

通信時間に関しては、車両1台の場合平均28秒、車両2台を並走させ2台の車載器と通信する場合、平均2分23秒で管理センタへのデータの送信が完了した。この結果は、試験当時携帯電話の送信リトライ間隔を90秒としていたためであり、リトライ間隔を30秒に設定すると通信時間は約1/3に短縮できる。

通信信頼性の評価に関しては、試験条件及び試験回数が不足しているため、今後さらに試験を重ねて検証していく予定である。

#### 4.4 異常時の車載器の動作

携帯電話が電源OFFの場合や、ケーブル接続が不良の場合の通信確認試験を実施した。結果を表5に示す。

現開発システムで、設計した異常時の車載器の処理と実際の車載器の動作は一致しており、設計どおり確実な通信がで

表5 携帯電話異常時の車載器の動作

| 異常状態      | 車載器動作設計仕様                  | 実際の車載器動作                                        |
|-----------|----------------------------|-------------------------------------------------|
| 携帯電話電源OFF | 強制的に携帯電話の電源をONにして通信する      | 携帯電話の電源をONにして通信                                 |
| 携帯電話話中    | 通信しない<br>(30秒後リトライ)        | 30秒後にリトライ<br>リトライオーバーになるまでリトライ継続<br>(通話中は通信しない) |
| 携帯電話圏外    | 携帯電話の通信失敗を認識<br>(30秒後リトライ) | 30秒後にリトライ<br>リトライオーバーになるまでリトライ継続                |
| 携帯電話未接続   | 30秒おきにリトライ                 | 30秒後にリトライ<br>リトライオーバーになるまでリトライ継続                |
| リトライオーバー  | 内蔵不揮発性メモリに記録<br>次回電源ON時に送信 | 内蔵不揮発性メモリにデータを記録<br>次回電源ON時に送信                  |

きることを確認した。

## 5. ま と め

本開発にて、携帯電話を利用した簡易型車載器を開発した。この車載器は、路側システムからの一斉同報通信の受信機能(ETCシステムでは使用されていない機能) 携帯電話機とのインターフェース機能を持ち、これにより、道路課金に必要な路車間通信とマンマシンインターフェースの低コスト化を立証することができた。

本開発により、車載器を低コスト化することが可能となり、道路課金システムの都市部導入へ大きく前進することができたと確信する。

また、本システムは携帯電話を利用することから、他応用分野への適用と、将来の携帯電話のモバイル決済機能利用による利便性向上が期待される。

## 参 考 文 献

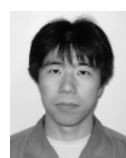
- (1) デジタル方式自動車電話システム標準規格、社団法人電波産業会、RCR STD-27 J版 第1分冊、第2分冊、第3分冊(2002-5)



村越英之  
神戸造船所  
ITS部  
ITS設計課長



前田孝士  
神戸造船所  
ITS部  
ITS設計課



下田智一  
神戸造船所  
ITS部  
ITS設計課



森下慶一  
技術本部  
高砂研究所  
電子技術研究室長



田中将憲  
技術本部  
高砂研究所  
電子技術研究室