

ETC システム用無線通信技術の開発

Development of Wireless Communication Technology for ETC System

技術本部 森下 慶一^{*1}

神戸造船所 前田 孝士^{*2} 泰井 真之^{*2}

現在、自動料金収受（ETC）システム稼働に向け、全国的高速道路料金所で工事が施工されている。ETC では課金情報を取扱うため、高信頼性の確保が最も重要である。特に、無線通信には誤り率 10^{-6} の信頼性が要求されている。無線通信では、回線の高品質化と共に通信プロトコルの強化が信頼性向上に極めて有効である。当社では、小型・低コストに適したマイクロ波ハイブリッドモジュール（MHM）を開発した。この MHM は ETC システムで必須となるチャンネル切替回路を内蔵しており、世界トップクラスの最短切替時間 $100\mu\text{s}$ を達成した。これより、通信プロトコル強化に要する十分な時間が確保され、高信頼性実現が可能となる。

Electronic toll collection (ETC) is under construction at expressway tollgates in Japan. It is important that ETC be highly reliable because it deals with electronic money information. Reliability of a communication error rate 10^{-6} is required by wireless communication. Communication protocol redundancy is very effective in the achievement of high reliability with wireless communication and the high margin budget of the air link. A microwave hybrid module (MHM) suitable for downsizing and cost reduction was developed. This MHM uses a channel switching circuit indispensable to ETC and having the world's shortest switching time, $100\mu\text{s}$. Highly reliable wireless communication is realized by enhancing the communication protocol because of sufficient time due to high-speed switching.

1. はじめに

自動料金収受（ETC：Electronic Toll Collection）システムは、料金所における料金収受業務を無線通信により実現するもので、通行車両は料金所で一時停止の必要がなくなり、排気ガス及び発進加速騒音の低減など周囲環境の改善や燃料節約、走行時間の短縮といった経済効果が見込まれるものである。

当社は、既にマレーシア南北道に ETC システムを、シンガポールに市内への交通流入制限を行う道路課金（ERP：Electronic Road Pricing）システムを納入して好評を博している⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾。特に、シンガポール ERP システムは完全なフリーフローを実現した世界初のシステムであり、延べ 480 万台の車両を使用した実走行試験で通信誤り率 10^{-6} という他に類のない高信頼性を実証した。さらに、100 万台を超える車載器を納入し、世界第 3 位の実績を築いている。

これらの無線通信方式は、路側アンテナからの電波を車載器が反射するパッシブ型で、路側機器と車載器は同じ周波数を使用している。しかし、日本の ETC は、車載器が電波を自発的に発射するアクティブ型と電波法で規定されている。したがって、通信プロトコルが全く異なるため、ETC に適した方式を開発してシステムの根幹を成す無線通信の高信頼性を確保する必要がある。

2. ETC システムの概要

ETC システムは、料金所に設置された路側アンテナと車両に搭載された無線機器間の無線通信により料金を徴収することで、車両がノンストップ・キャッシュレスで通行可能とな

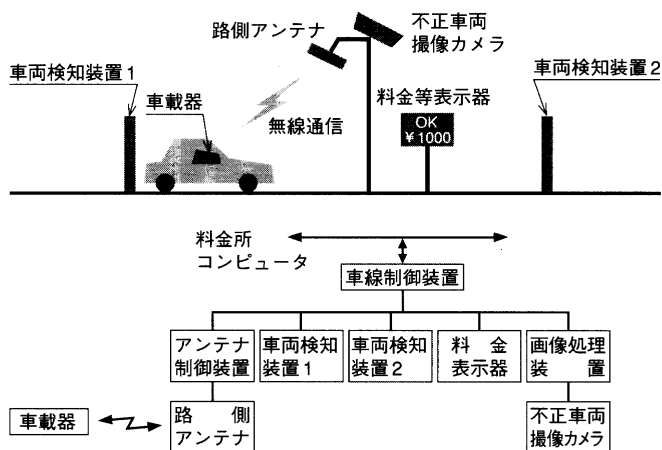


図1 ETC システム構成例 料金所における ETC システムの構成例を示す。

Example of single lane ETC system configuration

る。図1に示すように、路側機器は、無線通信用のアンテナ及びアンテナ制御器、車線での車両の存在検知を行う車両検知装置、不正車両等の通行阻止や撮影を実施する装置及びこれらの機器を統合制御する車線制御装置等から構成される。一方、車両は、無線機能を備えた車載器と、車載器に挿入して料金決算を行う IC カードから成る。

システムに要求される基本機能を以下に示す。

- 車両の進入検知及び無線通信の開始
- 車載器との無線通信による料金収受
(入口料金所番号、時刻等の読み書き及び料金収受)
- 収受した金額の表示
- 車両の通過検知

*1 高砂研究所電子技術研究室

*2 ITS部ITS設計課

- ETC 車両と非 ETC 車両の識別
- 不正車両のナンバープレート撮像

3. ETC システムの通信方式と高速周波数切換の必要性

平成 11 年 2 月，社団法人電波産業会は ETC システムの無線通信に関する標準規格を発行した⁽⁴⁾。この規格では，前述のアクティブトランシーバ型の通信方式のほか，上り／下りでの 2 対波の使用等を規定している（表 1 参照）。

料金所に設置された路側アンテナは，干渉防止のために隣接するレーンで異なる周波数チャンネルが固定的に割当てられる（図 2 の f_1 及び f_2 ）。このため，車両がどのレーンを走行しても通信できるように車載器には複数のチャンネルを受信する機能が要求される。

複数チャンネルの受信は，車載器の受信周波数を周期的に切換えることで可能となる。これは，車載器の受信周波数を交互に切換えると，対応した路側機器の送信周波数と一致したときに正常なデータを受信できるからである。

ETC では電子マネー情報を取扱うため，通信信頼性が極めて重要である。無線通信の信頼性は，回線マージンと通信プロトコルで決定される。ETC の通信方式は無線機に発振器を内蔵して自発的（アクティブ）に電波を発射するトランシーバ型であるため，回線マージンは十分に確保されている。一方，通信プロトコルは誤り訂正・検出による再送処理等，情

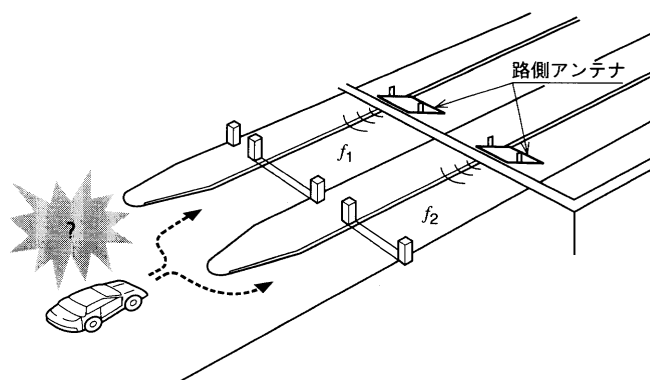


図2 料金所でのチャンネル割当 隣接するレーンでは干渉防止のために異なる周波数チャンネルが割当てられる。
Channel allocation at toll plaza

報に冗長性を持たせるため，通信時間が重要な要因となる。このため，周波数切換に時間を要すると通信に許容される時間が圧迫される。表 1 に示すように料金所での通信領域は大型車で 3 m であり，最高車速 80 km/h で領域を通過すると領域を通過する最小時間は 135 ms となる。

図 3 に ETC で使用される通信フレーム構成と車載器の周波数切換えとの関係を示す。通信フレームは，FCMS，MDS，ACTS の複数スロットから構成されている。FCMS（Frame Control Message Slot）はフレーム全体を制御する下り（路側アンテナ→車載器）のスロットで，路側アンテナに割当てられた周波数（図では f_1 ）で送信される。MDS（Message Data Slot）は路側アンテナと車載器間で ETC 情報を交換するメッセージスロットで，直前の通信状態で下りのスロットにも上りのスロットにもなる。ACTS（Activation Slot）は車載器の応答情報から成る上り（車載器→路側アンテナ）のスロットとして割当てられる。

一方，車載器は通信領域に侵入して自車線の路側アンテナの周波数を検出するまで，路側アンテナとは非同期に受信周波数（図中の f_1 ， f_2 ）を周期的に切換える。周波数の検出は，路側アンテナが下りスロットを送信しているときに車載器が対応する周波数（図では f_1 ）に切換えた場合にのみ可能となる。

周波数切換えが遅い場合，路側アンテナの周波数と合致する確率が低くなり，当該車線の周波数を検出するのに複数のフレームが必要となる。図では 2 フレームで検出した場合を示しているが，路側アンテナのフレーム送出タイミングと車載器の周波数切換えタイミングによっては検出に数フレームを要する可能性がある。このため，135 ms の通信時間のうち 20 ms 程度が検出処理に費やされ，通信に許容される時間が 15 % 低下することになる。

これに対し，高速で周波数を切換えると，路側アンテナのフレーム送出タイミングによらず，必ず第 1 フレームの FCMS を検出することが可能となる。したがって，後続の第 2 フレームから通信が可能となり，ETC の限られた通信領域でも再送の機会が増大して高い通信信頼性が実現される。

したがって，十分な通信時間を確保して信頼性を高めるためには，車載器側で高速に周波数を切換える機能が必要とな

表 1 無線通信の主要諸元

Specification of wireless communication for ETC system

項 目	仕 様	
	国内 ETC システム	
	路側機	車載器
送信周波数	5 795 & 5 805 MHz	5 835 & 5 845 MHz
放射電力 (EIRP)	10 mW (クラス 1) 300 mW (クラス 2)	10 mW
受信感度 (BER=10 ⁻⁵)	-65 dBm (クラス 1) -75 dBm (クラス 1)	-60 dBm
ビーム幅 (水平面／垂直面)	12~32°以上 ／ 32°以上	60°以上
アンテナゲイン	20 dBi 以	10 dBi 以下
通信方式	トランシーバ式 (アクティブ)	
設定最大車速	80 km/h (料金所レーン) 180 km/h (本線)	
通信エラー率	10 ⁻⁶	
通信領域	普通車：4 m，大型車：3 m (料金所レーン) 普通車：10 m，大型車：8 m (本線) 20~30 m (予告)	
変調信号速度	1 Mbps	
変調方式 (アップ／ダウン)	振幅変調／振幅変調	
チャンネル数	2 ch	
偏波面	円偏波	
誤り検出方式	CRC-16	
誤り制御方式	プロトコルによる再送	
アクセス方式	TDMA-スロットアロハ	

(注) クラス 1：料金所レーン及び本線用，クラス 2：予告用

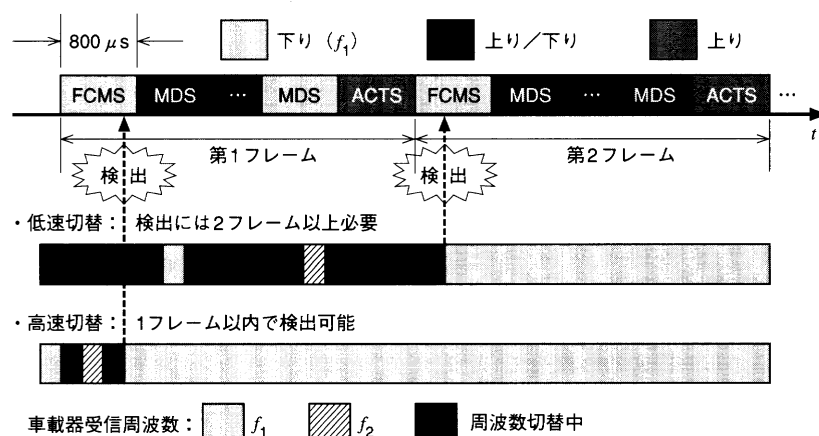


図3 高速スキャンの効果 高速スキャンの場合1フレーム以内で自己車線の周波数が検出可能である。
Effect of high speed scanning

る。

4. 高速切替え回路を内蔵したマイクロ波ハイブリッドモジュール

当社では、ETC 車載器用に特化したマイクロ波ハイブリッドモジュール (MHM) を開発した⁽⁵⁾⁽⁶⁾。MHM は発振器、増幅器、変調器及び周波数変換器を内蔵しており、アクティブ型の無線機に必要なすべての高周波回路が1つのパッケージに納められている。図4にモジュールの外観を、図5に内部ブロックを示す。

発振器は PLL (Phase Locked Loop) シンセサイザ方式となっており、シンセサイザ内部の分周比を制御することで発振周波数の切替えが可能である。特に、通信時間を確保するためにループフィルタの応答速度を最適化し、切替えの高速性を図っている。一般に、フィルタの応答速度を高めると位相雑音の増加による信号純度の劣化が問題となるが、本回路では VCO に誘電体共振器を使用し、位相雑音の劣化を抑え

ている。

図6に周波数切替時間の測定結果を示す。同図(a)はチャンネル2 (5 845 MHz) からチャンネル1 (5 835 MHz) に、(b)はチャンネル1からチャンネル2に切替えた場合の結果である。横軸はシンセサイザの分周比を制御してから経過時間を、縦軸は発振周波数を表している。両者で若干の違いが見られるが、いずれも約 100 μ s と世界トップクラスの極めて高速の切替速度が実現されている。

また、表2に示すように、高速切替え以外にも開発した MHM は送信出力 10 mW、感度 -60.5 dB (ビット誤り率が 10^{-5} で定義) と ETC 通信規格に完全準拠したものとなっている。さらに、従来型の個別素子による回路構成に比べて約 1/3 に小型化されており (当社比)、取扱いの難しいマイクロ波回路群のハイブリッド化で素子間偏差の小さい安定した特性が実現される等、ETC 車載器に最適である⁽⁶⁾。

5. む す び

高速道路でのスムーズな交通流を目指した ETC システムに特化したマイクロ波ハイブリッドモジュールを開発した。このモジュールは、100 μ s と世界トップクラスの高速周波数切替えが可能であり、料金所での限られた通信領域でも十分な

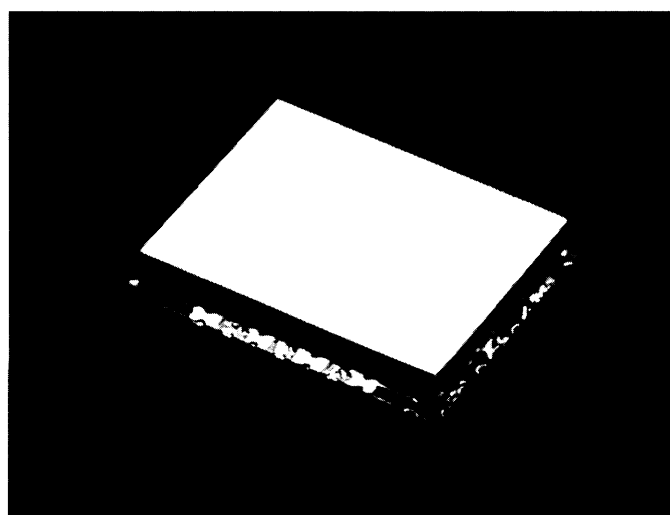


図4 試作ハイブリッドモジュール 試作したハイブリッドモジュールの外観を示す。30×25×5 mm の小型化を実現。
Top view of microwave hybrid module

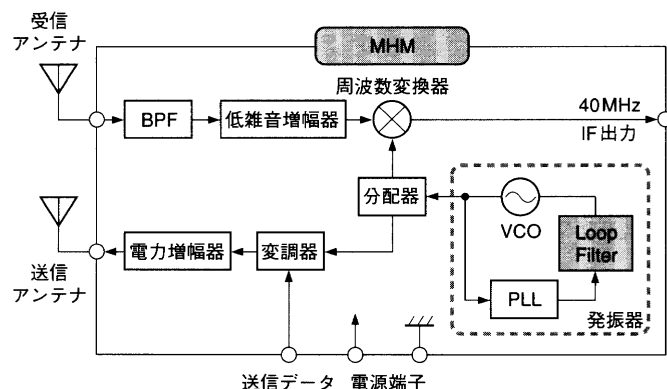
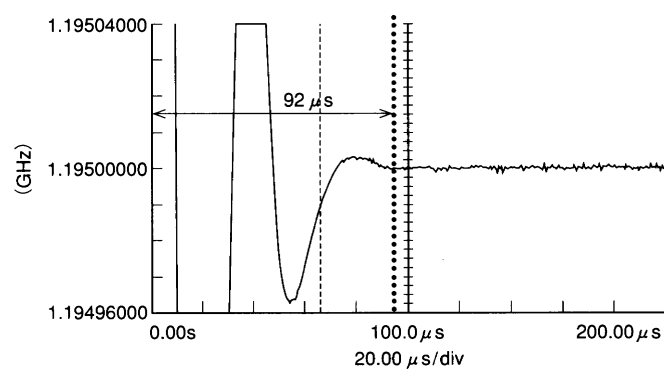
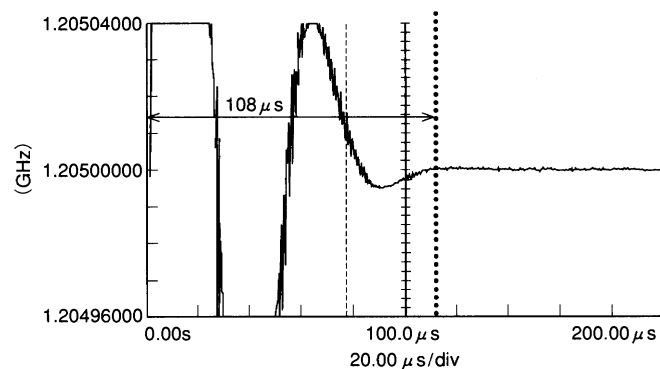


図5 ハイブリッドモジュールのブロック図 試作したハイブリッドモジュールの内部構成を示す。
Block diagram of microwave hybrid module



(a) 5845MHz→5835MHz



(b) 5835MHz→5845MHz

図6 周波数切替特性 CH1→CH2, CH2→CH1 いずれも100 μs で切替えが終了している。
Result of frequency switching time

通信時間を確保することができる。したがって、開発したモジュールは、電子マネー情報を取扱うために高い通信信頼性が要求される ETC システムに非常に適している。

現在、ETC システムは各料金所で工事が行われており、平成13年度の運用に向けて着々と準備が進められている。また、ETC システムの展開として高速道路でのフリーフロー走行や大都市での渋滞緩和・環境改善を目指した ERP システムが検討されている。さらに、駐車場、ガソリンスタンド、ドライブスルー等、生活の利便性向上に向けた検討も並行して行われており、ETC システムの拡張性が期待される。当社は、料金機械の専門メーカーとして築いた技術を基に、環境問題を支える総合 ITS 企業として、安全・快適な社会生活の実現に貢献する所存である。

表2 ハイブリッドモジュールの主要諸元
Specification of microwave hybrid module

項目	性能	備考
送信周波数	5 835 MHz & 5 845 MHz	
受信周波数	5 795 MHz & 5 805 MHz	
送信出力	10 mW	
受信感度	-60.5 dBm 以下	BER=10 ⁻⁵
周波数切替時間	100 μs	±10 kHz 収束
消費電流	150 mA	
寸法	30×25×5 mm	
動作温度・湿度	-20～85℃, 50～95 % RH	

参 考 文 献

- (1) 村越ほか, ノンストップ料金収受システムの開発, 三菱重工技報 Vol.34 No.6 (1997) p.410
- (2) 橋本ほか, シンガポールにおけるマルチレーン電子式道路課金システム, 三菱重工技報 Vol.36 No.1 (1999) p.50
- (3) 森下ほか, ETC システムと通信技術, 平10 電気学会電子・情報・システム部門大会 A-17-5 (1998) p.363
- (4) 有料道路自動料金収受システム標準規格, (社)電波産業会 ARIB STD-T 55,10 (1997)
- (5) 森下ほか, ETC 車載器に適用する周波数高速切替え回路の開発, 電気学会 Vol.120-D NO.10 (2000) p.1235
- (6) Maeda et al., Development of 5.8GHz band active wireless communication equipment for ETC System, 6th world congress on ITS, proceed/00092 (1999)