

フリーフローETCシステムの開発と今後の展開

Development of Free-Flow ETC System and The Future

花 畑 武 早 川 祥 史
菱 川 繁 博 田 中 将 憲



今回開発したフリーフローETCシステムは、都市高速道路が持つ次の課題、都市中心部での渋滞緩和、沿道環境の問題改善、料金所新設時の用地確保、料金体系の多様化への対応などを目的として開発した料金収受システムである。平成14年7月から、阪神高速道路公団向け乗り継ぎETCシステムとして供用を開始しており、平成14年度末には特定区間課金ETCシステム、そして神戸市道路公社のETCを経由した乗り継ぎETCシステムを順次展開する。またロードプライシング制度などにも対応容易なシステム構成としており、無人化対応システムとして、都市高速だけでなく、他の道路公団・公社向けにも適用可能なシステムである。

1. はじめに

フリーフローETCシステムとは、本線をノンストップで走行する車両に対し、料金収受を行うETCシステムである。また、類似システムとして平成10年から稼働しているシンガポール向けERPシステムがある。

今回のフリーフローETCシステムは、阪神高速道路公団向け乗り継ぎETCシステムとして開発したものである。

ETC乗り継ぎとは、接続されていない路線間をあたかも一本の連続した道路のように扱う制度であり、定められた乗

り継ぎ区間を規定時間内に通行したETC車両のみ有効と認められるものである。

これまで阪神高速道路公団では、乗り継ぎ対象路線を走行する際に一般道を経由するため、乗り継ぎ出口で乗継券を受け取り、乗り継ぎ入口にて乗継券を提出することにより、料金収受を行わない人的システムを採用していた。

平成14年7月に全入口料金所にETCシステムが導入されるとともに、3号神戸線と5号湾岸線間にある乗り継ぎ出口の4箇所（京橋、摩耶、六甲アイランド北、住吉浜）に、フリーフローETCシステムを設置した。図1に路線概略を示

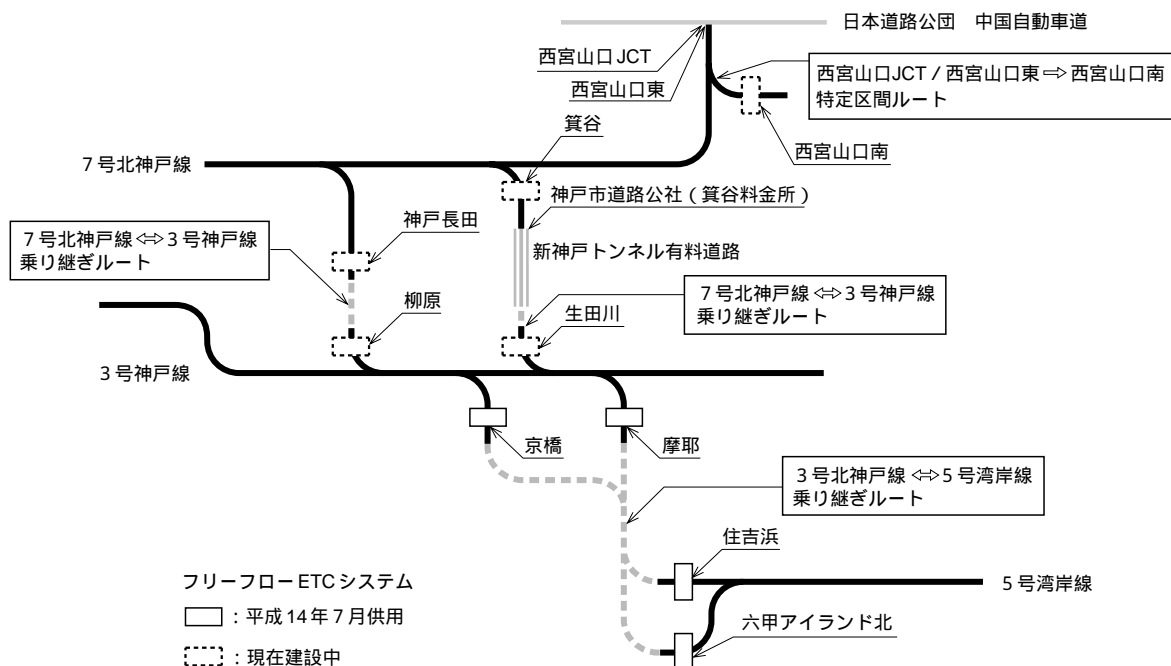


図1 路線概略

す。このシステムは、設置箇所が料金所に設置されたETCシステム（以下、“従来型ETCシステム”という）と異なり、車線ごとにアイランドと呼ばれる車線分離帯が設けられていない料金所、また従来型ETCシステムが設置困難な車線向けに開発したシステムである。

2. フリーフローETCシステムとは

フリーフローETCシステムは、従来型ETCシステムと機器構成が大きく異なり、出口ランプ上、もしくは本線上に車線をまたいで設置した門型柱（以下、“ガントリ”という）に路側機器を配置している。そのため、ETC利用者は既存料金所に進入する時のように車両の減速、もしくは一旦停止を行う必要がなく、ガントリ下を通過するだけで車両に搭載した車載器と路側機器間で通信を行うことができ、通過情報（通行履歴、利用明細など）の読み書きを可能とするシステムである。

3. 都市高速システムとその課題

今回開発したフリーフローETCシステムが、都市高速の持つ次の課題にいかに対応できるかを簡単に記す。

- (1) 都市中心部での渋滞緩和
- (2) 沿道環境の問題改善
- (3) 料金所新設時の用地確保
- (4) 料金体系の多様化

フリーフローETCシステムは、従来型ETCシステムに比べ、高速自在走行する車両向けに開発したシステムである。しかし、都市高速における渋滞は、同一路線においても曜日、時間帯などに起因するものもある。これらを解決するには、車線拡幅や料金所増設などの方案もあるが、ロードプライシング制度などを導入することにより、流入する交通量を分散することも可能である。

既に阪神高速道路公団では住宅地などを通行する交通量を抑制するため、一部路線（3号神戸線から5号湾岸線間）で環境ロードプライシングを実施しているが、きめ細かく交通量を調整するためには、フリーフローETCシステムを適宜配備することで、他路線への乗り継ぎだけでなく、ロードプライシング（経路割引、時間帯別割引）、特定区間課金など多様な料金体系への対応が可能となる。

3.1 従来型ETCシステムとの相違点

今回開発したシステムは、先にも述べたとおり、4出口とも2車線幅の出口ランプに設置している。このため車両は、車線間（走行/追越車線）を自在に走行でき、従来型ETCシステムのような車線ごとに進入する車両を1台ずつ逐次処理する形態とは、異なる方式を採る必要が生じた。

3.2 都市高速システムとしての特徴

都市高速特有の道路構造により、周囲の道路が隣接、また高架下に存在する場合があるが、この場合でも道路外に電波漏洩することなく通信を行うとともに、走行車両の並進/斜進、また高速走行/渋滞走行のいずれの場合でも、確実に車両を識別し通信することが必要となる。

従来型ETCシステムの場合、機器が保守や故障などで停

止する際、対象車線のみ閉鎖することで対応できるが、フリーフローETC車線は、対象が出口ランプの車線幅であり、“車線閉鎖” = “通行止”となるため、装置を二重化することで、一方が保守や故障で停止しても運用を継続可能な構造としなければならない。

また、24時間連続無人運転を行うため、中央処理装置に設置された遠隔監視装置にて、システムの稼動状況を監視でき、かつ遠隔操作（運用の開始/停止）を行う機能を有している必要がある。

これらの課題を解決するため、次の事項をシステム要件とし、開発を行った。

4. システム仕様について

今回開発したシステム構成を図2に示す。なお、撮像装置はオプション機能としている。

4.1 システム要件

- (1) 24時間連続運転可能で、中央処理装置からの遠隔起動、停止が行えること。
- (2) ガントリ上にすべての路側機器を配置できること。
- (3) 道路幅内を自在走行する複数車両と同時無線通信が可能であること。また、オプション機能としてナンバープレート認識ができること。
- (4) 無線通信は、2アンテナ方式とし、道路幅5.5m（1車線+路側帯）～7.0m（2車線）まで対応できること。また、片方が故障しても運用が可能なように、1アンテナで2車線を包括する通信領域を持つこと。
- (5) 路側アンテナは、路外への電波漏洩を抑止するとともに、電波吸収壁を極力要しないこと。
- (6) 車線制御装置は、路側機器から数km以上離れた場所に設置できること。
- (7) 車線制御装置は、中央処理装置間との回線異常が発生しても、引き続き路側システムのみでの運用が可能であり、利用明細データを蓄積可能とし、回線復旧後、本データを自動で中央処理装置へ送信できること。

4.2 システム仕様

- (1) 路側無線部は、路側アンテナを常時起動方式とする。

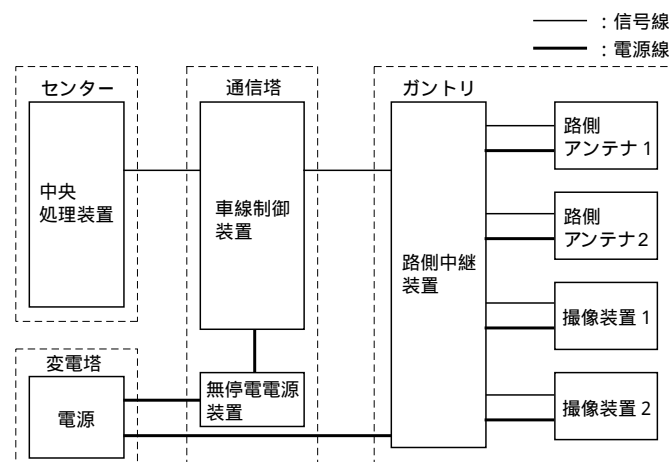


図2 システム構成

- (2) 通信スロットは、全二重4スロット構成とする。
- (3) 路側アンテナは、路側無線部ごとに設置され、無線通信は、2アンテナ方式周波数分割マルチプルアクセス制御を採用する。
通信領域は、車両進行方向4.5mとし、車線外への電波漏洩を極力抑制する。
- (4) 車線制御装置は、制御部が一部故障しても運用可能なよう、各制御部ごと（伝送制御部、路側無線部）に独立した電源の入り切りができる構造を有し、バックアップメモリを持つ。
- (5) オプション機能としてナンバープレート認識部は、撮像装置が撮影する車両前面部からナンバープレート情報（サイズ、色、陸支コード、車種コード、用途コード、一連番号）を認識し、画像データと併せ中央処理装置へ伝送する。

4.3 乗り継ぎ仕様

阪神高速道路公団では、乗り継ぎ対象区間を走行する際、一般道を経由して乗り継ぎを行う。

乗り継ぎを利用する際、ETCを利用してない車両は、乗り継ぎ出口で乗継券を受け取り、乗り継ぎ入口にて乗継券を提出することにより、通行料金を徴収しない運用である。

しかし、ETCを利用した車両は、乗り継ぎ入口を通過すると、通常の通行料金が自動課金されてしまう。

また、乗継券を提出し、かつETCを使用している車両には、課金された通行料金を返却する必要があるため、逆に通行時の処理が煩雑になる。

よって、乗り継ぎ出口で車載器へ装てんしたICカードに乗り継ぎ出口情報を記録し、乗り継ぎ入口で読み出すことで、乗り継ぎ処理を自動的に行う処理が必要となる。

(1) 乗り継ぎ出口処理

ETC乗り継ぎシステム概要を図3に示す。

車線制御装置は、中央処理装置から“乗継出口用テーブル”を受信。

路側無線部は、車載器及びICカードから“車載器・ICカード情報”を読み取る。

路側無線部は、車載器及びICカードの有効性チェックを行う。

チェック正常であれば、無線通信により、車載器及びICカードへ“乗継出口情報”を書き込む。

伝送制御部は、利用明細情報を作成、またオプション機能としてナンバープレート認識部の認識結果より、通過車両の台数を累計し、中央処理装置へ伝送する。なお、これらのデータはバックアップメモリにて保持する。オプション機能としてナンバープレート認識部は、利用者から利用状況の確認など問い合わせに対し、通過車両のナンバープレート認識データと画像データを併せ中央処理装置へ伝送する。

(2) 乗り継ぎ入口処理

車線制御装置は、中央処理装置から“乗継入口用テーブル”を受信。

路側無線部は、車両進入信号により、路側アンテナを起動し、車載器及びICカードから“車載器・ICカード情報”及び“乗継出口情報”を読み取る。

路側無線部は、車載器及びICカードの有効性チェックを行う。

チェック正常であれば、無線通信により、車載器及びICカードへ乗り継ぎ車両として“利用明細情報”を書き込む。

伝送制御部は、利用明細情報を作成し、中央処理装置へ伝送する。

5. 技術の特徴と成果

5.1 無線通信技術

(1) アンテナ設計理念

フリーフローETCシステム（現状、2車線）用のアン

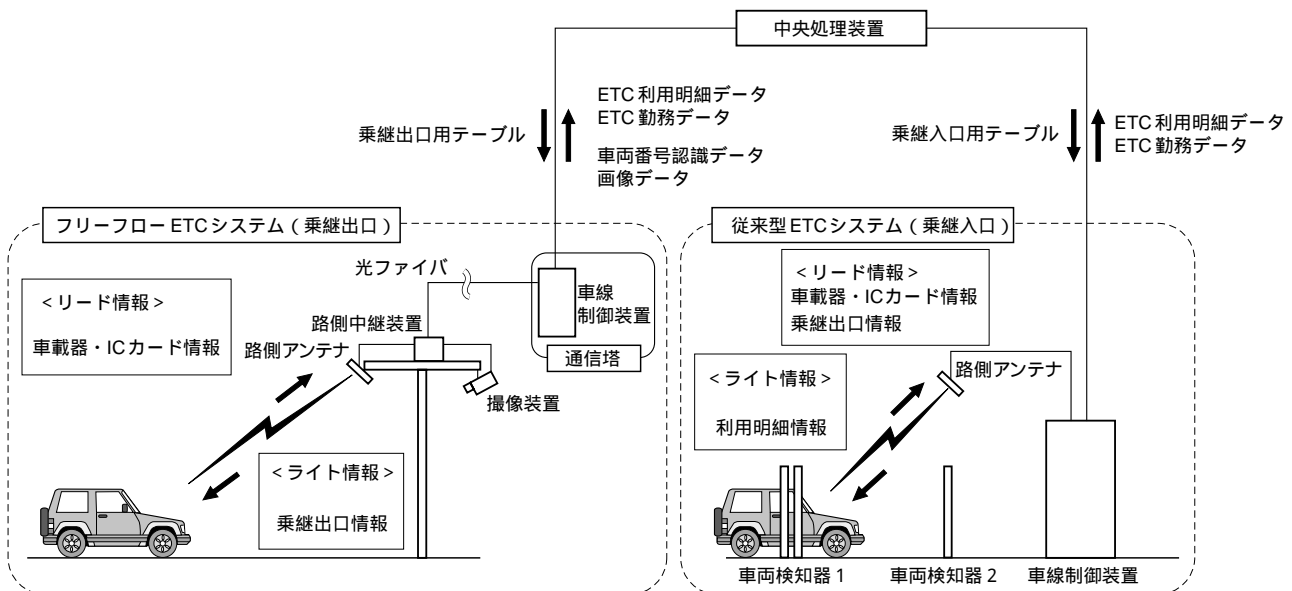


図3 ETC乗り継ぎシステム概要

テナとして、以下を主眼に設計を進めた。

高信頼性通信の確立：車線幅6.6m×長さ4.5mの通信領域形成

不要通信の低減：隣接車線への漏れ電波の最小限化

上記2点を満足する方式としては、アンテナのビームパターンを広げて1つのアンテナで2車線を包括する1アンテナ方式と複数アンテナを用いて複数車線を包括する複数アンテナ方式がある。

(2) 通信方式選定

フリーフローETCに適用される可能性のある通信方式は、1アンテナ方式、2アンテナ方式の周波数分割多重方式、時分割多重方式、3アンテナ方式の送受信アンテナ分離方式である。～の各方式について表1に方式概要を示す。

(3) ラボテスト結果

(2)で述べた～の方式の中で、どの方式が最適であるか、車載器の動作も含めて試験により確認した。表2にラボテストの概要を示す。

表1 通信方法概要

方式名称	概要	説明図	
1アンテナ方式	1つのアンテナで2車線の通信領域を確保する方式。現行ETCアンテナの素子数を変更し、通信領域の最適化を検討する必要がある。ただし、通信領域を拡大する場合、隣接する通信対象外の車線への漏れ電波をいかに少なくするかが課題。		
2アンテナ方式	周波数分割多重方式	現行ETCアンテナをそのまま適用する方式。周波数の異なる2つのアンテナを用いて2つの車線を走行する車両と通信する。1車線を1つのアンテナでカバーするため、通信領域の最適化は必要ないが、隣接チャンネルの妨害について検証が必要。	
	時分割多重方式	現行ETCアンテナをそのまま適用する方式。同一周波数の2つのアンテナで送受信のタイミングを時間的に切り替えて通信する。図に示すように隣接アンテナもしくは隣接車載器の電波の干渉が発生しないか検証が必要。	
3アンテナ方式	送受信アンテナ分離方式	本方式は、図に示すように送信アンテナと受信アンテナを分離し、送信アンテナ1つで複数車線のダウンリンク領域を包括し、車線ごとに受信アンテナを設置してアップリンク領域を包括する方式。本方式のメリットは、アップリンク領域を小さくすることで全体の通信領域を制限することが可能となることである。	

表2 各方式の評価結果

方式名称	試験結果	評価	
1アンテナ方式	通信領域：幅6.6m×長さ4.5m以上の通信領域を確保可能 漏れ電波：最小限に設計したが、漏れは多い		
2アンテナ方式	周波数分割多重方式	通信領域：幅6.6m×長さ4.5m以上の通信領域を確保可能 漏れ電波：最小限に設計し、漏れは少ない その他：周波数の異なる隣接アンテナの影響により通信領域が変化しないことを確認	
	時分割多重方式	通信領域：幅6.6m×長さ4.5m以上の通信領域を確保可能 漏れ電波：最小限に設計し、漏れは少ない その他：アップリンク干渉なし、ダウンリンク干渉も実用上問題なし。ただし、通信時間は約2倍必要。	
3アンテナ方式	通信領域：幅6.6m×長さ4.5m以上の通信領域を確保可能 漏れ電波：漏れは多いが、アップリンクで通信領域を制限しているため、隣接車線の車両と通信する可能性は少ない その他：2台の受信アンテナ間でデータを結合する場合、干渉が発生する。このため干渉回避の回路が必要となる。	x	



図4 フィールドテスト風景 当社二見工場ITSテストコースで実施したフリーフローETCシステム用アンテナの通信領域測定風景。

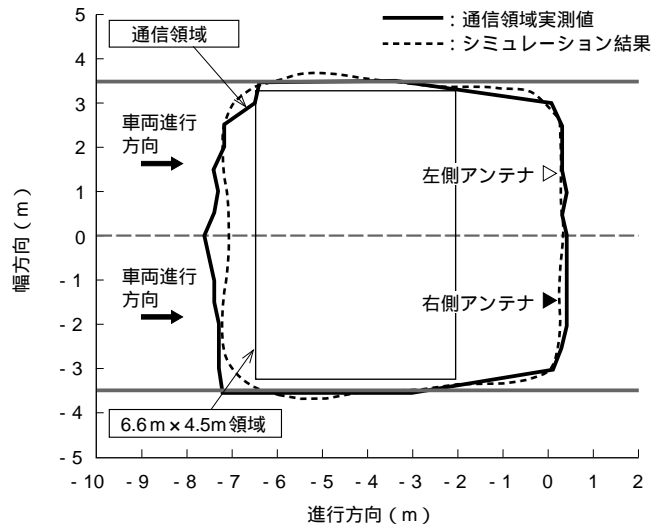


図5 2アンテナ合成通信領域シミュレーション及び実測結果 シミュレーションにより求めたフリーフローETCシステム用アンテナの通信領域と実測結果の比較 (車載機高さ: 1 m)。

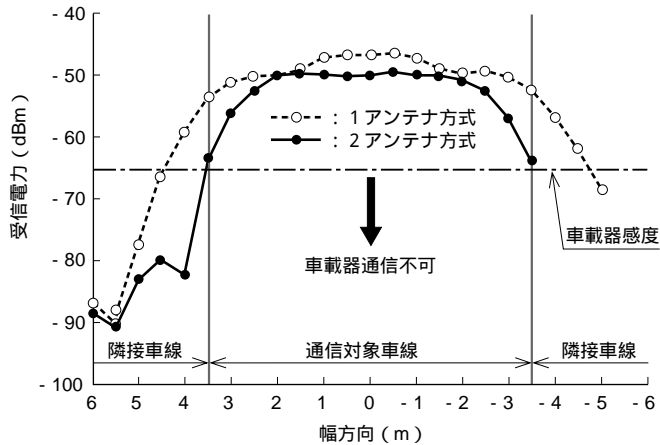


図6 隣接車線への漏れ電波 1アンテナ方式と2アンテナ方式の車線幅方向の電界強度分布測定結果 (進行方向位置: 3 m)

表3 開発成果

項目	目標値	成果	備考
通信信頼性 (誤り率)	10^{-6} 以下 (無線回線上: 10^{-5} 以下)	10^{-6} 以下を達成 (無線回線上: 10^{-5} 以下)	
通信領域	幅6.6m x 長さ4.5m	幅6.6m x 長さ4.5mの通信領域を確保	2アンテナ構成 車載器高さ: 1.0m
最高車速	90 km/h	90 km/h以上	車線中央において
隣接車線への漏れ電波	隣接車線 (幅方向左右3.5m以上) を走行する車両と通信しない	隣接車線において、車載器受信電力は -64 dBm 以下を達成 (隣接車線の車載器と通信する可能性は極めて低い)	

(4) 通信方式評価・考察

ラボテストより ~ の方式は適用可能であることを確認した。これらの方式のうち、コスト、保守性、信頼性の観点から、2アンテナ方式の周波数分割多重方式が最適であると結論付けた。

フィールドテスト風景を図4に、周波数分割多重方式でのフィールドテスト結果を図5に示す。アンテナの通信領域は図に示すように、シミュレーション結果と実測値とで良く一致しており、ねらいどおりの通信領域が得られていることが分かる。

図6に車線幅方向の電界強度分布測定結果を示す。1アンテナ方式と2アンテナ方式を比較すると、2アンテナ方式の方が隣接車線への漏れ電波が車線端で約10 dB少なく、隣接車線を走行する車両との不要な通信 (誤通信) を低減できることを確認した。

(5) 開発成果

表3に示すように目標どおりの成果を得た。無線通信部は、2アンテナの周波数分割多重方式を採用することにより、以下の特徴を持つシステムを構築した。

現行ETCアンテナを設置条件の変更のみで適用できるので、コストパフォーマンスが高い。

周波数分割多重方式は1アンテナの場合と同等の通信時間が確保されるため、高速走行でも高い信頼性が得られる。

1アンテナの場合と比較して隣接車線への電波の漏洩が少なく、当該車両以外への誤通信が極めて低い。

5.2 高信頼性技術

(1) 二重化システム構成

従来型ETCシステムとは異なり、フリーフローETCシステムは、24時間連続無人運転を行う必要がある。これらを実現するためにフリーフローETCシステムを図7に示す機器構成とし、信頼性を確保した。

また、車線制御装置は、各機器の状態を監視しており、異常が発生した際、速やかに中央処理装置に設置された遠隔監視装置へ通知を行っている。

表4に、発生する異常項目と信頼性についてまとめた。システム内において、上位装置に異常がある場合でも、下位装置にてバックアップメモリを保有し、データを保存、

表4 異常発生時と信頼性の確保

異常項目	信頼性について
中央処理装置 ～車線制御装置(伝送制御部)の 回線異常	・車線制御装置は通常どおり運用可能である。 ETC勤務データ、ETC利用明細データ及びナンパプレート認識データを車線制御装置(伝送制御部)にて蓄積し、回線復旧後、本データを中央処理装置へ送信する。
車線制御装置内の回線異常 (伝送制御部 ～ナンパプレート認識部)	・路側無線部は路側アンテナを常時起動し、無線通信データを伝送制御部へ送信する。 よって、ETC勤務データとETC利用明細データは、通常どおり中央処理装置へ送信される。 ・ナンパプレート認識部は認識データを蓄積し、回線復旧後、本データを伝送制御部へ送信する。
車線制御装置内の回線異常 (伝送制御部～路側無線部)	・路側無線部は無線通信データを蓄積し、回線復旧後、本データを伝送制御部へ送信する。 ・ナンパプレート認識部は、認識データを車線制御装置(伝送制御部)へ送信する。 よって、ナンパプレート認識データは通常どおり中央処理装置へ送信される。
車線制御装置(ナンパプレート認識部)異常、 撮像装置異常	・路側無線部は、無線通信データを車線制御装置(伝送制御部)へ送信する。 よって、ETC勤務データとETC利用明細データは、通常どおり中央処理装置へ送信される。 ナンパプレート認識データは機器異常のため生成されない。
車線制御装置(路側無線部)異常、 路側アンテナ異常	・一方の路側無線部、または路側アンテナの異常は引き続き運用可能であるが、路側アンテナの特性上、側端車線で通信領域外となる。 ・双方の路側無線部、路側アンテナ異常は路側システムの運用不可となる。
各機器のメンテナンス	・路側無線部、または路側アンテナのメンテナンスは、片方ずつ行うことで運用可能であるが、路側アンテナの特性上側端車線で通信領域外となる。

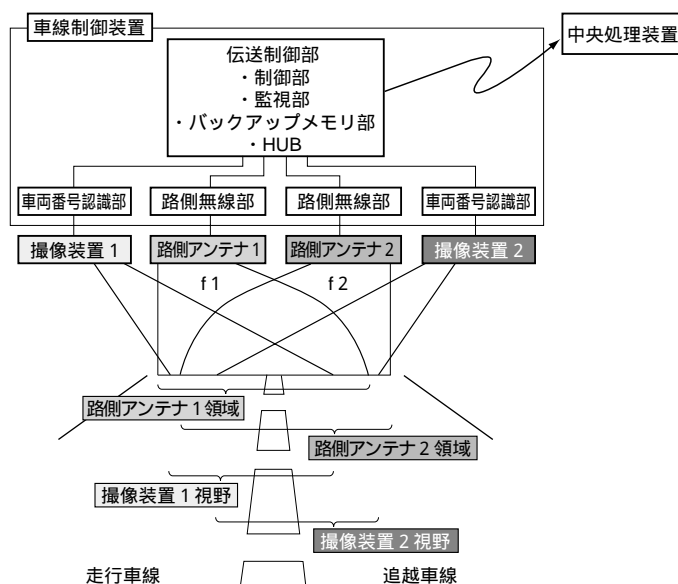


図7 機器構成概略

かつ運用を継続可能なものとしている。このように装置を二重化し、さらに階層ごとにバックアップを持つことで、料金收受システムの信頼性を向上させた。

(2) 二重課金防止機能

フリーフローETCシステムは、システムの二重化により、路側アンテナがそれぞれ2車線を包括する通信領域を有している。そのため、走行車両の車載器が、一方の路側アンテナと通信を完了した後、他方のアンテナと再び通信を行い、二度課金されるおそれがあった。そこで、車線制御装置にて読み取ったデータをチェックすることにより、二重課金の防止を行った。

6.まとめ

今回開発したフリーフローETCシステムは、阪神高速道路公団向け乗り継ぎETCシステムとして、平成14年7月から4出口で供用を開始している。

平成14年度末には新たに画像システムを導入した特定区間課金ETCシステムを導入する。また、現行の乗り継ぎ機能を向上させ、7号北神戸線から3号神戸線への乗り継ぎ途路に存在する神戸市道路公社ETCを経由したETC乗り継ぎを可能とするシステムを展開する予定である。

またこのシステムは都市高速の出口ランプだけでなく、本線上、新設の入口/出口、そして無人化対応システムとして他の道路公団・公社向けにも適用可能なシステムである。

最後に、今後このフリーフローETCシステムを適宜配備することで、ロードプライシング制度の導入だけでなく、現在の均一料金制から対距離制など多様な料金体系への移行も対応可能となる。



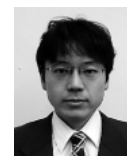
花畑武
神戸造船所
ITS部
ITS設計課



早川祥史
神戸造船所
ITS部
ITS設計課



菱川繁博
神戸造船所
ITS部
ITS設計課



田中将憲
技術本部
高砂研究所
電子技術研究室