

ロードプライシングと関連技術の開発動向

高羽禎雄*

ロードプライシングの方式として、地点課金・車外記録方式のシステムが1960年代に英国で取上げられ、無電源形の車載装置が開発され、香港の実験で用いられた。基本的な要素技術である自動車両識別 (AVI) 技術は、交通流計測・車両運用管理など多岐に亘る応用があり、光・マイクロ波・誘導波・赤外線・画像処理を用いる各種の方式が開発されている。類似した機能を持つ有料道路の自動料金徴収システムの実用化もノルウェーなどで始まっている。路車間通信など高度の機能を活用するシステムの開発が期待される。

Trend on Development of Technologies for Road Pricing and Related Systems

Sadao TAKABA*

As a method of road pricing (RP), a system of point pricing with off-vehicle recording was considered, and an on-vehicle unit without the battery was developed in U.K. in 1960's. The system was tested at the experiment in Hong Kong. Automatic Vehicle Identification (AVI) technology, the basic element for RP, has the other wide applications such as traffic flow measurement and fleet management. Various systems with optical beam, micro wave, induced wave, infrared ray and image processing have been developed for AVI. Automatic toll collection, which has the similar function as RP, has been realized in Norway. Development of the new systems with sophisticated technology of road-vehicle communication is expected.

1. はじめに

道路交通における需給の不均衡によって交通渋滞が発生するときには、1台の車が通行することによって得られる便益より、所要時間の増加などによって他の車が蒙る損失の総和の方が大きくなる。通勤電車における整列乗車や乗客数の調整が運行の正常化を通じて乗客全体に便益をもたらす、結果的には個々の乗客にも利益となるように、道路交通においても過度の交通渋滞を回避するような交通抑制の方策は個々の道路利用者に利益をもたらす。

ロードプライシングは、交通渋滞の著しい地域での道路利用に賦課金を課し、経済のメカニズムによって交通を抑制して混雑の緩和をはかろうとするものである。システムの機能としては、規制対象地域

における個々の車の行動、たとえば地域内への進入や滞留・走行、特定地点の通過などを計測・記録し、それに応じた料金を算出して車の所有者または利用者に請求する機能が不可欠である。料金の支払を納得させ、また交通抑制の効果を挙げるために、課金の状況を利用者に知らせることや、利用者が課金を免れようとする行為への対応策なども必要とされる。

最近の自動車交通における情報通信技術の発達は、ロードプライシングシステムに必要とされる上記の諸機能の実現をより容易・確実かつ経済的なものとなしつつある。なかでも実現が間近にある有料道路の自動料金徴収システムは、技術面からみれば類似する所が極めて大きく、ロードプライシングシステム構築の参考となる。

都市における交通渋滞の激化に伴い、交通抑制の方策が必要とされる我が国において、ロードプライシングシステム、あるいはこれに代る交通抑制のためのシステムを、自動車交通の情報化技術によって構築することを考える必要がある。

* 東京大学生産技術研究所教授 (本学会員)
Professor, Institute of Industrial Science,
University of Tokyo
原稿受理 1989年10月17日

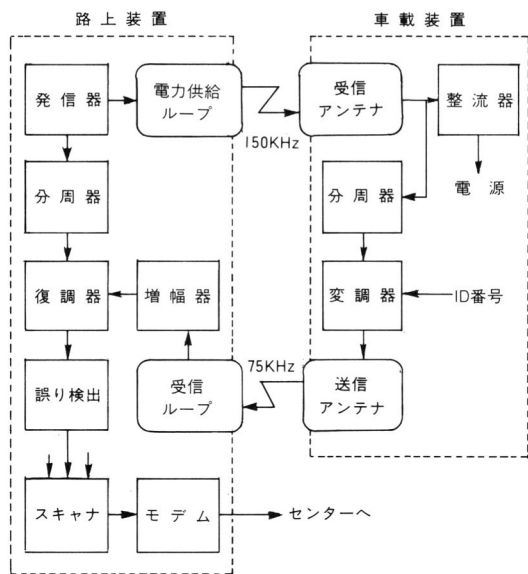


Fig.1 エレクトロニック・ロードプライシングのための通過車両の自動識別装置

2. ロードプライシングの技術

2-1 システムの構成方式

1960年代に英国でロードプライシングのシステムが考案された際に、方式としては次のものが検討された¹⁾。

(1) 地点課金方式 (Point Pricing)

規制地域の入口地点や、地域内の適当な地点を課金地点 (Pricing Point) として、それらの地点を通過した車に対して課金する。料金は地点、車の通過方向、時間帯や車種などによって異なるものとする事も可能である。

(2) 地域課金方式 (Zone Pricing)

車が規制地域内に滞在した時間、規制地域内を走行した距離などを計測し、それらに応じて課金を行う。車が規制地域に進入したときに記録を開始し、規制地域から退出したときに記録を終了する。

課金に必要な記録を路上装置が行う車外記録方式と車載装置が行う車内記録方式とを上記の課金方式と組み合わせて、次のようなシステムが考えられる。

①地点課金・車外記録方式

課金地点には、通過車両の自動識別装置が置かれ、ID番号が計測される。必要に応じて、通過時刻・通過方向などを加えた情報がセンターに送られ、蓄積される。これを基に賦課金が計算され、請求される。

②地点課金・車内記録方式

課金地点には、地点識別番号の送信装置が置かれ

る。通過車両は、車載装置により信号を受信して課金地点の通過回数、または重みづけされた課金度数を積算する。

③地域課金・車内記録方式

規制地域の入口及び出口に、作動の開始及び停止信号の送信装置が置かれる。車両は、この信号を受信して、車載装置により規制地域内での滞在時間や走行距離を積算する。

①あるいは③の方式を手で行うことも考えられる。その場合、①は有料道路の料金ゲート、③はタクシーの料金メータに類似したものとなる。

2-2 英国と香港のERPシステム

1960年代に英国のTRRL (Transport and Road Research Laboratory) で行われたエレクトロニック・ロードプライシング (ERP) システムの研究では、上記の諸方式のうち、①の地点課金・車外記録方式が取り上げられ、通過車両番号の自動識別装置の試作・実験が行われた。装置はFig. 1に示すようなもので、課金地点に埋設された電力供給用のループアンテナから150KHzの誘導波が発信され、これを車載アンテナで受信して75KHzに分周し、さらに車両固有の識別番号で変調して送り返し、同じ地点に埋設された別のループアンテナで受信し、復調する。車載装置に必要な電力を地上からの誘導波で供給し、無電源化をはかったのが特徴であり、これにより低価格で長時間の使用に耐える車両識別装置を車の下面に取り付けられるようにした¹⁾。

1985年に香港でパイロット実験が行われたERPシステムにもこれと同じ方式を用い、電子式ナンバープレート (ENP) と呼ばれるビデオカセット程度の大きさのユニットを約2,600台の車両に装着し、18箇所に設置された路上装置によって、車両ID番号と車種の情報を収集した。データの捕捉もれは、0.3%未満であった。ENPを装着していない車に対しては、テレビカメラを起動し、車の後部を撮影してそのナンバープレートを読取るようにした^{2,3)}。

3. 自動車両識別 (AVI) 技術

3-1 システムと応用

AVI (Automatic Vehicle Identification) は、車両が特定地点を通過したときに、地上側で自動的に識別を行う技術をいう。前述のように、地点課金・車外記録方式のロードプライシングシステムの基本的な要素技術である。

AVIの応用は、ロードプライシングシステムだけ

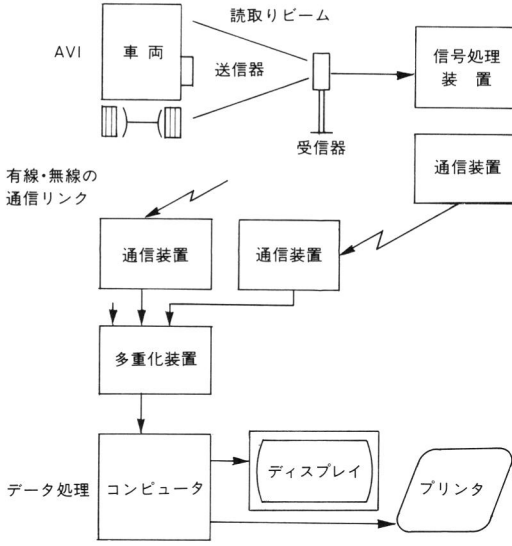


Fig. 2 AVIシステムの構成

でなく、次のようにきわめて多岐に亘る。

- a. 車種別交通量・OD交通量・個別車両の区間旅行時間などの交通流諸量の計測
- b. バス・トラック等の業務用車両の運行管理
- c. 緊急車両の優先通行、バス優先信号制御など特定車種の識別に基づく交通管理
- d. 高速道路・駐車場・ロードプライシングシステムなどに於ける自動料金徴収
- e. 交通違反の取締り、犯罪車両の検出と追跡

AVIシステムの構成をFig. 2に示す。2-2のERPシステムで用いられたものもその一つであるが、用途に応じて、トンネルや橋の出入口、バスの停留所、トラックの営業所、駐車場出入口、有料道路料金所ゲートなど、車両番号の識別が必要な地点に受信器を設け、近傍を通過する車両の送信器から信号を受ける。路上にはインテロゲータ、車にはトランスポンダを用い、路上からの問合せに回答して車から情報を送出するものも多い。

システムの主要な仕様は、一般にTable 1のようである⁴⁾。

3-2 1970年代のAVI技術

AVIは、元来、鉄道車両の自動識別を行って運行管理に役立てるために米国で開発された技術である。1970年代に入って、自動車交通への応用が目されるようになった。

米国では、ニューヨークのマンハッタン島へトンネルなどによって出入する交通への適用を考慮して、the Port Authority of New York and New Jersey

Table 1 AVIシステムの主要な仕様

サービスエリア	一つの地点で5~10m程度
サービス車両数	数万台程度。将来は数百万台以上に拡大される。
データ内容	登録車両番号と数10ビット程度の情報
信頼度	誤り率 10^{-5} ~ 10^{-6} 以下

が1963年からAVI技術の開発を支援し、1970年代前半には、次の諸方式の機器について実験を行った⁵⁾。

(1) 光方式

バーコード等によりID番号を表示したプレート
を車の側面に装着または保持し、路上装置から光のビームで照射してコードを読み取る。その他の車載装置を必要とせず、車両毎の経費が小さい。プレートの汚れによる誤検出、プレートを装着したときの美観の問題などがある。

(2) マイクロ波方式

車載装置として無電源形のマイクロ波トランスポンダを用いる。1.2~6m程度の距離にある路上装置からマイクロ波を照射し、そのエネルギーの一部を車載装置用の電源として用いるとともに、残りを2倍の周波数の信号に変換し、車両のID番号で変調して送り返す。もう一つの例として、車載装置を共振回路の組合せで構成し、路上装置から発射される波の周波数を変化させ、反射波の強度からID番号を識別したものもある。

(3) 誘導波方式

電波が遠くに放射されない低周波の誘導信号を用いるもので、前述のERPシステムで使われた。光方式や、マイクロ波方式のものに比べて車載装置が高価となるが、精度・信頼性・保守性・美観などの点で優れている。

さらに1970年代後半には、光の代りに赤外線を用いるシステム、マイクロ波方式で電源内蔵形のもの2システム、無電源形のもの1システムを取上げ、評価試験が行われた⁶⁾。

赤外線方式のトランスポンダは、電池を内蔵し、バックミラーの後ろに装着される。インテロゲータから赤外線で照射されると、LED素子によってID番号を返送する。マイクロ波方式で電源内蔵形のトランスポンダを用いるものでは、インテロゲータが小形・低価格で、多数の地点に設置が可能となる。無電源形のもの、共振周波数の組合せでID番号を符号化した周波数掃引形のトランスポンダを用い、イ

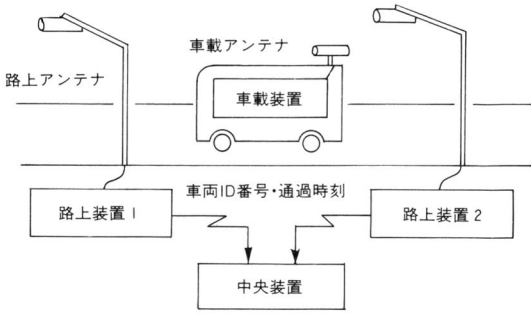


Fig.3 路車間通信によるAVI機能を用いた区間旅行時間の計測

ンテロゲータのアンテナは偏波面が90°異なる送受信波に対応するもので電源内蔵形のものより大きくなる。いずれの方式でも、トランスポンダの寸法はシガレットケースからクレジットカード程度と小形化された。伝送誤りは 10^{-3} 程度であった。

3-3 1980年代のAVI技術

1980年代に入り、自動車交通の情報化の進展とともに、AVI技術についても新しい方式が登場した。

(1) 路車間通信方式

双方向個別通信方式を用いる自動車の経路誘導システムの開発が1970年代に進められ、わが国のCACCS (1978)、西独のALI (1979) など大規模なシステムの実験が行われた。

これらのシステムでは、道路上の特定地点で、地上には1レーンをカバーするループアンテナを埋設し、車は小さなループアンテナかフェライトアンテナを装着して、200KHz程度の誘導波を用いて通信することによって、個々の車と双方向のデータ通信を行う。車からは目的地のコードを、地上からは前方の交差点やインターチェンジでの行動指示のコードを送るが、同時に、車からID番号を送る機能を有している。

Fig. 3に示すように、この路車間通信によるAVI機能を用い、車のID番号を異なる2地点間で照合して区間旅行時間をリアルタイムに計測することもできる。CACCSでは、この機能を用いて、最短旅行時間経路を算出して動的経路誘導を行う実験、東京都心部と成田空港を結ぶ経路の旅行時間の計測実験などを行った。後者はプロジェクト終了後も引続き実用され、京浜地区へも適用が拡大された。

路車間通信を用いるシステムの開発は、その後も国内外で進展がみられ、わが国のつくばシステム(1985)では誘導波方式で9,600b/s、RACS(1989)ではマイクロ波方式で500Kb/s、西独のALI-

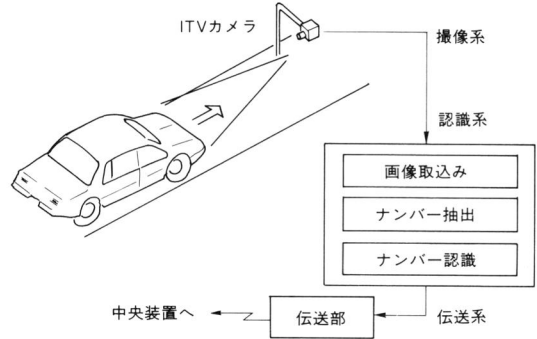


Fig.4 画像認識による車両番号読取りシステム⁷⁾

SCOUTでは赤外線方式で125Kb/sなど、高速データ伝送によるシステム機能の高度化が可能になっている。

(2) 画像処理方式

送信器やトランスポンダなど、車に特別な装置を取り付けることなしにAVIを行うには、車のナンバープレートから車両登録番号を読取るのが、現在の所、唯一の方法である。画像処理による車両番号読取り技術の開発は、諸外国でも行われているが、わが国での進展は著しいものがある。

当初手掛けられたのは、犯罪車両の検出と追跡などへの応用であり、その成果は“Nシステム”として実用された。

次いで、区間旅行時間の計測により交通管制の高度化を図る企てが種々試みられた^{7,8)}。

Fig. 4はこの目的の実験システムの構成を示す。撮像系では、近赤外線照射し、1/1,000秒程度のシャッター速度で水平方向1.5m、垂直方向1.0m程度の範囲を撮像する。認識系では、この画像からナンバープレートの部分を抽出して、その中の4桁の車両番号を読取る。実験では、レーン上の車の走行位置の偏り、他の車による隠ぺいなどにより、ナンバープレートの捕捉率は約50-90%、4桁の数字の認識率は99%以上であった。平均区間旅行時間を求めるという目的からは、ここで得られた車の捕捉率は充分な値であり、異なる車両との間での4桁の数字の誤整合を除去することにより、正確な旅行時間が実測された。このシステムの実用も進みつつある。

4. 有料道路の自動料金徴収システム

都市内または都市間高速道路など通行料を要する道路での料金収受業務の自動化をはかる動きが最近国内外で高まっている。自動料金徴収システムは

a. 料金収受員の削減あるいは無人化などの省力化

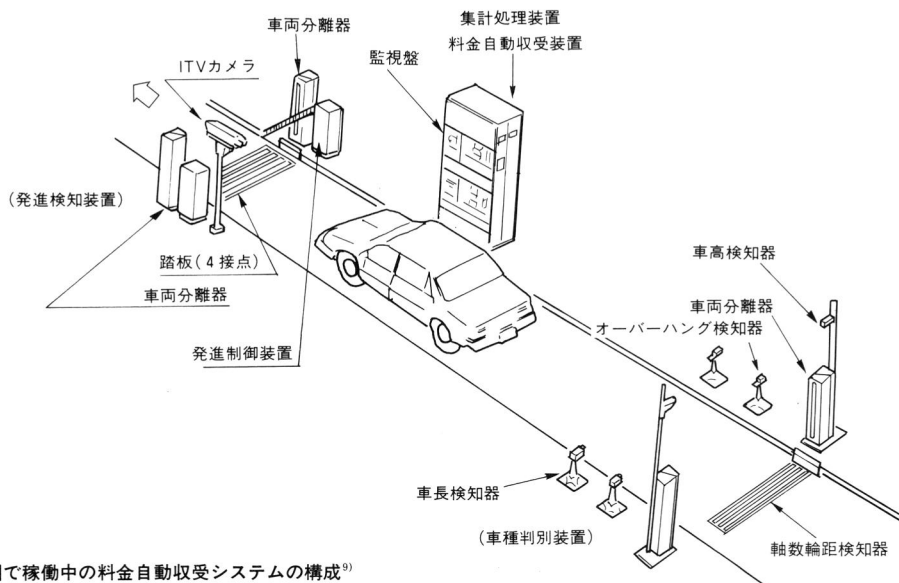


Fig.5 わが国で稼働中の料金自動收受システムの構成⁹⁾

b. 集計・監視などの関連業務の効率化

c. 道路利用者へのサービス向上

などを図ることを狙いとしている。

システムの機能は、通行車両の車種と利用ルート
を判定して、料金を徴収することであり、自動車種
判別装置・現金自動收受装置などを組み合わせたシ
ステムが、国内外で実用されている。

システムの機能をすべて自動化し、車が出入口を
無停止で通過できるシステムは、さらに次のような
利点があり、近い将来、実用が広がるものとみられ
る。

- a. 料金支払の手間がかからず、利用者からみた便
益が大きい。
- b. 料金所ゲートの交通処理能力が大となり、料金
所用地の削減や、料金所手前での待行列の解消
を図りうる。
- c. 車種・通行ルート・地域・時間帯などに基づく
料金の決定をオンラインで可変にできる。
- d. 料金所の設置のための道路構造の制約を減らす
ことができる。

4-1 わが国に於ける実施状況

わが国では、日本道路公団の仕様による料金自動
收受システムが、昭和59年以来同公団及び地方の道
路公社の有料道路に導入され、平成元年3月には12
路線で稼働している⁹⁾。その標準的なシステム構成
をFig. 5に示す。

車種判別装置は、光学センサや軸重センサの組合
せにより車高・車長・車軸数などを検知して、3～5

車種を識別する。精度は98.5%以上を得ている。

料金自動收受装置は、硬貨・紙幣を受け取り、
釣銭や領収書を発行する。発進制御装置は遮断機を
開閉し、発進検知装置により、発進車両を検出する。
不正通行は、ITVカメラにより監視される。

車種の判別は、当初は利用者による自己申告が用
いられ、昭和60年に伊豆中央道で導入されたシス
テムでは、普通車だけを判別させて両端2レーンのみ
を自動化するなど、無人化への段階的な導入が図ら
れた。最近では、判別能力の向上を目指して、画像
処理によりナンバープレートの自動読取りを行う車
種判別装置も開発されつつある。

均一料金でないため入口で発券し、出口で料金収
受を行う方式の有料道路では、入口での通行券の発
行のみを自動化した方式が東名阪自動車道など現在
7路線で実用されている。車種判別装置を用い、磁
気カードに車種をエンコードした通行券を入口で発
行する方式のものもある。

4-2 ノルウェイに於ける実施例¹⁰⁾

ノルウェイでは、近年、道路建設計画に対する予
算を得るため、シンガポールで行われたように、市
中心部に環状の境界線を配置し、市中心部に流入す
る車両に対して通行料を徴収する方法を取ろうとし
ている。これは、交通抑制の手段として採用された
ものではなかったが、そのような観点からの議論も
起こっている。

Bergenでは、1986年に6箇所合計16レーンの料金
所ゲートを設置し、平日の午前6時から午後10時の

間、課金を行うこととし、その際、半数のレーンを定期券による無停止のゲートとした。これは、料金所スペースの節約と交通容量の増加を図ったものであるが、利用者の評判もよく、結果として、平均で60%、ピーク時で75~80%の車が定期券を利用するに至った。

しかし、このような定期券方式に比べて、電子化された自動料金徴収システムを無停止の料金ゲートに用いると、利用者からみれば定期券購入の手間が省かれるばかりでなく、利用回数に応じた支払ができ、運営側からみれば不正通行の監視が容易になると共に、統計処理が容易になるなど、利点が大いことから、いくつかの都市で導入が計画された。

(1) Alesundのシステム

このようなシステムを実用する世界で初めての試みとして、Philips社が開発したPREMIDと呼ばれるマイクロ波方式のAVI装置を用いるシステムが、1987年10月にAlesundトンネルの料金所ゲートに導入された。

PREMID-Tagと呼ばれる車載装置は、クレジットカードのサイズで、小さなアンテナ、電池、8,000字を記憶するICチップなどで構成される。ICチップは、互いに90度偏波面の異なるマイクロ波によって、データの書込み・読出しの双方を行うことが可能である。

PREMIDの路上アンテナは方形で、周波数2,450 MHz、出力25mWのマイクロ波を路側から照射する。アンテナは車載装置の位置の変化を想定して、高さ方向に3組が用いられる。車載装置は、照射を受けると応答して、車両ID番号などの情報を送出する。アンテナ間の距離は6~8mまで取れ、車が時速100km/hの時でも10桁の数字を伝送できる。

Alesundのシステムは、4,000台の車載装置、4レーン分の路上装置などの規模を持ち、料金所ゲートは、料金収受員のいるレーン、コインまたはカードを用いるレーン、PREMIDシステムの設置されたレーンなど各1レーンを組合せて構成された。

システムは市民に容易に受け入れられ、PREMID-Tagを装着した車の通過は、平均60%、ピーク時には80%に達した。読取りの誤りは0.3%以下、その内PREMIDシステムに起因するものは0.1%以下であった。

この成果をふまえて、Osloでは料金所20個所の合計66レーン中29レーンにPREMIDシステムを導入し、利用する車25万台のうち20万台にPREMID-

Tagを装着するシステムの構想がすすめられている。

(2) Trondheimのシステム

Trondheimでは、ノルウェイのMicro Design社が開発したKOFRIと呼ばれるシステムが、1988年に開通した道路の料金所に設置された。

KOFRIの車載装置は受動素子によるマイクロ波トランスポンダで、SAW(表面音響波)技術を用いて固有の番号を示すように作られる。電源や保守の手間が不要で、長寿命・低価格である。路上装置は、最大出力1mWのスペクトル拡散形パルスレーダであり、トランスポンダを照射して、その反射波に対し高度の信号処理を行い、車のID番号を算出する。トランスポンダは車の前面、バックミラーの背後に装着され、路上アンテナはレーンの上方に設置される。車の通過速度は最大200km/h、両装置間の距離は最大15mまで許容できる。

このシステムでは、ビデオカメラを路側または路面上方に設置して、車のナンバープレートから画像処理により番号を読取る機能を備えている。

4-3 米国での実施例¹¹⁾

米国バージニア州のDulles有料道路を対象として、自動料金徴収システムが建設され、1989年中に運用に入る予定である。

このシステムでは、車の識別は、各種のAVI技術を比較検討した結果、HELP(重量車両電子ライセンスプレート)プログラムで開発された半能動形無線周波AVIシステムを、信頼性が高く、他の用途との両立性があるとの理由で採用している。これは、ライセンスプレートに内蔵され、10年間作動するリチウム電池を用い、路面に埋設されたループアンテナからの誘導波信号、または同軸ケーブルアンテナからの無線周波信号によってトリガされる。現段階では、車から路上装置へ固定情報を送出する機能のみを持つものを適当とする一方、双方向にデータ伝送を行う“スマート・トランスポンダ”の魅力にも注目している。

5. 今後の動向

有料道路の自動料金徴収システムは、その種々の利点からみて、今後実用化と普及が進むであろう。

ロードプライシングシステムは、技術面では自動料金徴収システムと極めて類似する点が多く、その実現可能性は高まりつつあるが、

- 新たな課金に対する利用者の反発への対応策
- 料金所ゲートのような道路設備を設けずに高信

頼度の課金を行う方策、また課金を免れようとする行為への対策

などが課題として残されている。

技術的な観点から言えば、小形軽量の装置に高度の情報通信機能を持たせることが容易となった現在、多車線道路を高速走行する車のID番号を計測するAVIシステムの実現は、さほど困難ではなくなりつつある。

また、車載装置の機能上の制約から、従来は省みられることの少なかった車内記録方式のプライシングシステムの実現性も高まっている。

情報処理機能は、今後普及が予想されるICカードによる実現が、また、車と地上との通信機能としては、情報伝送速度の大きいマイクロ波または赤外線を用いるものが有望である。

利用者に装着を義務づけ、また不正を防止する方法としては、これらの装置が持つ高度の情報通信機能により利用者に各種のサービスを提供するシステムとの複合化・一体化を図るのも一案であろう。

自動車情報通信システムの発達は、交通抑制の方策としても、ロードプライシングシステムにおける課金機能の弾力的な適用を可能にするばかりでなく、流入制限、迂回誘導、公共車の優先通行、さらには道路利用予約など、種々の方策の適用の可能性を拡大する。豊富な手段を用いて、有効な対策を実施することが交通管理の望ましい姿であると考えられる。

参考文献

- 1) A.H.Smith, 松永典昭訳『道路賦課金の自動計量システム』1973年
- 2) マイケル J. クランシー「香港におけるエレクトロニック・ロード・プライシングシステム」IATSS Review, 10巻2号, P.128, 1984年6月
- 3) マイケル J. クランシー「香港政府のERP実施テストの成果」Ibid., 11巻4号, P.241, 1985年12月
- 4) 自動車技術会『自動車における電波利用技術に関する報告書』P.102, 1979年3月
- 5) R.A.Hauslen: The Promise of Automatic Vehicle Identification, IEEE Trans. VT-26, 1, P.30, 1977, 2
- 6) R.S.Foote: Automatic Vehicle Identification; Tests and Applications in the Late 1970's, IEEE Trans.VT-29, 2, P.226, 1980, 5
- 7) 首都高速道路技術センター『旅行時間計測装置実用化調査研究』1987年3月
- 8) 日本交通管理技術協会『旅行時間計測・提供システムの研究 (I)』1987年3月、『同 (II)』、1988年3月
- 9) 首都高速道路技術センター『料金収受業務の磁気カードシステム化等に関する調査研究』1989年3月
- 10) K. Waersted, K. Bogen: No Stop Electronic Toll Payment System, 2nd Intl. Conf. on Road Traffic Monitoring, IEE Conf. Publ. 299, P.128, 1989. 2
- 11) P. Davis et al.: Automatic Vehicle Identification for Non-stop Toll Collection—the Virginia Experience, Ibid., P.133