

# 自動操縦車両用制御アルゴリズムについて

## On a control algorithm for autonomous vehicle

日本大学生産工学部  
景山一郎

### 1. まえがき

車両の知能化が議論されて久しいが、近年知的交通システム (ITS) に関する関心が高まり、各国で国家プロジェクト規模での研究が行われるようになり、その将来構想が種々提案されている。

このITSは大きく3段階に分けて考えられており、第一段階が情報提供サービス、第二段階がドライバサポートシステム、第三段階が自動化である。本稿では、特に最後の自動化について取り扱うが、この分野の研究は内外で種々行われている。この自動化に関してシステム構築を行うには、時間的な順番は別として、次の各項目を構築する必要がある。第1として、車両上に構築する操舵、制動、加速等を制御するハード (センサー、アクチュエータ、コントローラ系) の構成と信頼性等、第2として、道路上における車両位置計測システム (画像処理等による白線認識、磁気ネイル等のガイドシステム、GPS等) の構築と信頼性、第3として他車両、人間等の環境認識システム (レーザレーダシステム、ミリ波レーダ、ステレオ画像処理、路車間通信システム、車車間通信システム他) の構築などが考えられる。またこれらのシステムが構築された場合、第4として、これらの情報をいかに有効に使用して、車両を快適に運動させるかという制御アルゴリズム構築が必要となる。この最後の制御アルゴリズムでは、乗車する人間の快適性を考慮する必要があり、また自動化の初期段階で発生するものと考えられる自動操縦車両と人間が操縦する車両の混合交通などにおける他車両のドライバに与える影響等についても考える必要がある。この意味からも人間の操縦動作に非常に近い動作をするシステムが望まれることになる。

他方、近年交通事故等が社会的な問題となってきたが、その中で、ある場所に事故が集中するという現象が観察される。これらの原因解析の一環として人間の情報処理等の面からのアプローチが行われている。これらの結果を解析するに当たり、コンピュータ上でこれらをシミュレートできれば、非常に強力なツールとなるものと考えられる。また上記ITSの分野に於いても、新しいシステムを構築した場合、その適用状況をシミュレートする評価ツールの開発が望まれている。このようなツールをトラフィックシミュレータと呼ぶ。これまで開発が行われているトラフィックシミュレータは、主に交通流を巨視的に捉えるものであり、例えば東京全体の交通流等を解析して、渋滞発生の観点から道路工事の時間帯決定、迂回路等の解析などに用いられている。しかし、上記に取り上げた交通事故解析やITSの評価ツールとしてのトラフィックシミュレータでは、より厳密な記述を必要とする。例えば車両の運動解析のみではなく、各種情報を考慮した最適経路決定や環境認識アルゴリズムを含めたコース決定過程を含んだドライバの制御を表現する必要がある。これらは、前述の自動化の操縦アルゴリズムと同一レベルの特性を要求することになる。

そこで、本稿では構築した自動操縦車両と、これを制御するためのアルゴリズム (ドライバモデル) 構築について検討を行う。

### 2. ドライバが行う基本的な制御動作

まえがきで示したように、本研究で検討する制御アルゴリズムは、ドライバが行っている操縦動作をベースに検討を行うこととする。通常のドライバが行っている操縦は図1のように示される。図に示すように、人間の操縦動作は大きく分けて3つに分類される。第1番目が環境認識、第2番目が環境情報判断、第3番目が自動車そのものの操縦である。そこで、自動操縦車両を構築する場合につい

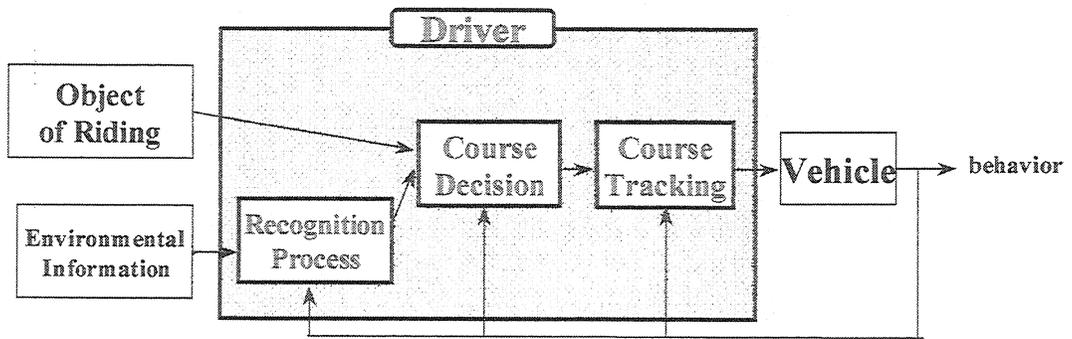


図1 ドライバの動作

て見ると、この最初の環境認識が、前述の第2の位置計測技術および第3の環境認識にあたる。また第2番目の情報判断が上記第4の制御アルゴリズムの部分にあたる。第3番目の操縦に関しては、前述のハードの構築部分が問題となる。そこで、これらの各部分を分けて次ぎに記述する。

### 3. 環境認識アルゴリズム

通常環境認識を行う場合、主に道路認識と障害物認識に分けて考えられる。道路認識では、CD等による白線認識、磁気ネイル等による位置認識、DGPS等による地図情報とのマッチング等が考えられる。また障害物認識としては、ステレオ画像処理、レーザレーダ、ミリ波レーダ、超音波レーダ、地上監視システムなどとの路車間、車-車間通信等が考えられる。本稿では特に完全な自立走行を考

えるため、通常ドライバが得られる情報程度の環境情報を用いて自立走行を行うことを前提とする。また、制御アルゴリズムに焦点を合わせる意味から、環境認識では、原点となる白線認識を考える。

ここでは CCD を用いて、8ビット階調の白線認識を行う場合について示す。前方画像と輝度分布を図2に示す。この図では、輝度と輝度の微分値を示しているが、白線の位置が明確に示されていることがわかり、閾値を設けることにより、白線の位置が明確に読みとれる。しかし、

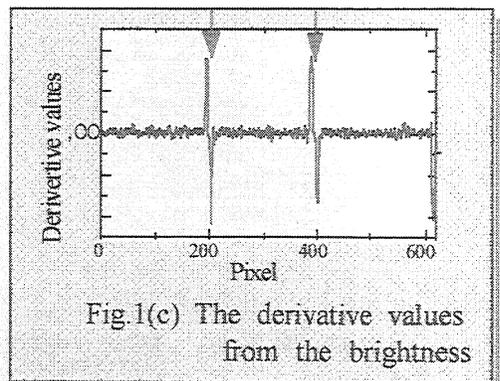
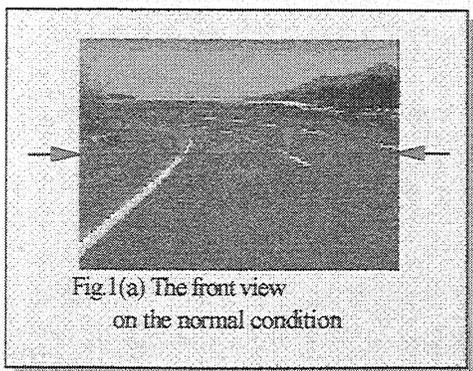
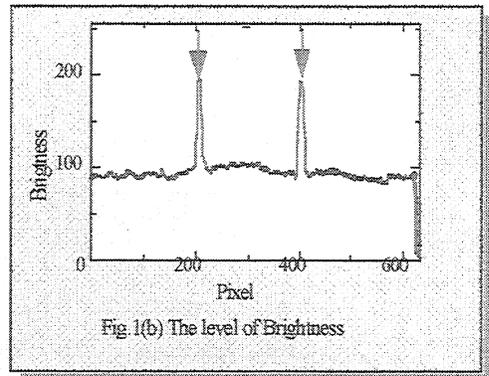


図2 前方画像処理結果

図3に示す画像は橋の影の部分を表しており、この図からは、白線の位置が規定できないことがわかる。そこで、本研究では、白線の存在の可能性に関して重み付けを行い、認識精度を上げることを考える。

ここでは、次の条件によりこの可能性の重み付けを行う。

- ・輝度階調からの可能性
- ・微分値の白線左右の傾きからの可能性
- ・白線の連続性からの可能性

これらの重み付けを図4に示す。このような重み付けを行った結果、図3に示す輝度分布から図5に示す結果を得ることができる。なお、図中の右側白線は破線となっており、影の部分には白線が存在していない。また、白線認識に関して、車両のピッチング、ローリングがそれほど大きく無い範囲においては、車両からの白線認識距離と画面最下位置からの走査ライン位置がほぼ対応する。また1画面すべてについて処理すると膨大な時間がかかるが、決められた走査位置および白線の存在する領域のみの処理を行うことにより、パーソナルコンピュータであってもビデオレート程度の解析が可能となる。

#### 4. 操舵制御アルゴリズム

##### 4.1 前方注視モデル

操舵制御を行う場合、処理速度の観点から、車両位置より前方から情報を獲得する必要がある。これまで提案されている各種ドライバモデルについて、この観点から検討を行うと、前方注視モデルがこの目的に合致する。そこで、本研究では前方注視モデルを採用する。

図6に示すように、前方注視モデルでは時間領域において、T秒前から情報を取るようになる。これはT秒後に車両が到達する位置とその時の希望進路とのずれに応じて操舵を決定するものである。このT秒後の車両の到達位置は図中の式に示されるように、テラ展開から得ることが出来る。しかし一般的には高次の項は微小となるため、1次微分項または2次微分項ま

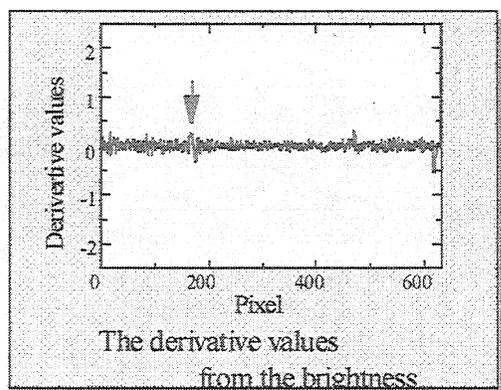
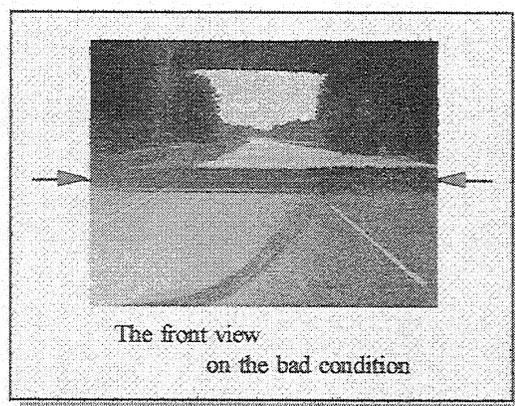
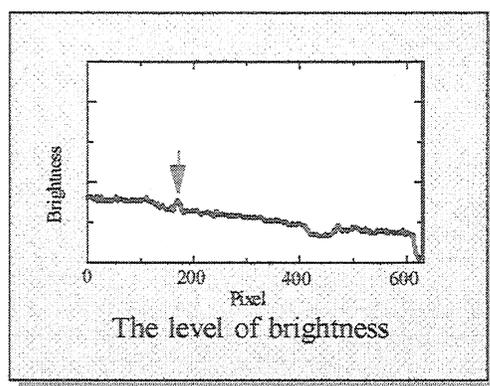


図3 画像処理が困難な画面

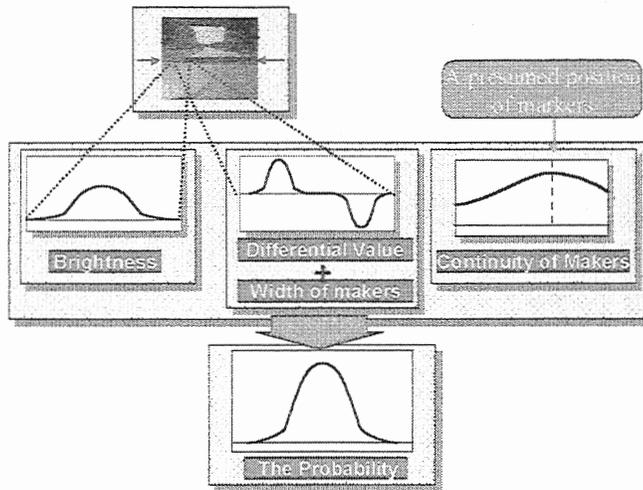


図4 画像処理アルゴリズム

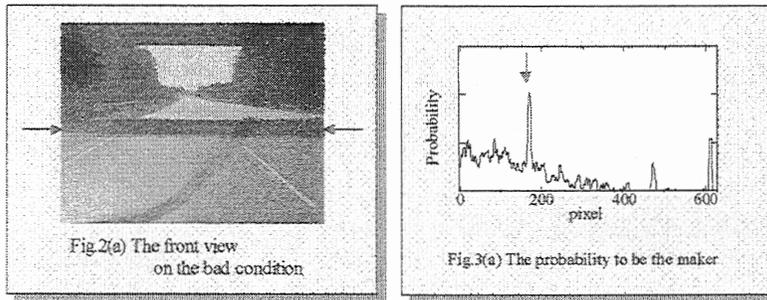


図5 処理アルゴリズムを用いた白線認識結果

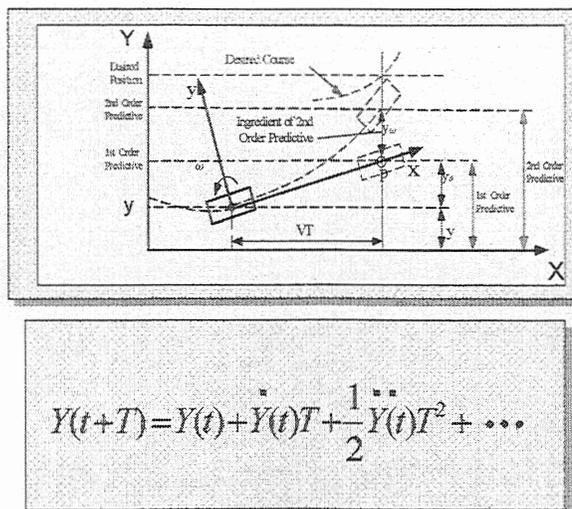


図6 前方注視モデルの概要

での情報で近似することになる。この1次微分項までを用いたモデルを、1次予測モデル、2次微分項までを用いたモデルが2次予測モデルと呼ばれるが、本研究では2次予測モデルを採用する。

#### 4.2 危険感モデル

本研究において、2次予測項までを制御に用いるものとしたが、例えば狭い道路通過時のドライバ動作と広い道を走行中のドライバ動作とは大きく異なる。そこで、ドライバの操舵ゲインを道幅に対して計測してみると、図7に示されるように、指数関数的に変化することが分かる。

同様に、路端に近づいた場合のドライバの応答に注目すると、その瞬時心拍の変動分を計測すると、図8に示されるように、指数関数的な変化をすることが分かる。これにより、危険な要素に近づくと、ドライバは自分の操舵ゲインを上げて素早い修正操舵を行うことがわかる。そこで、本研究では、ドライバの危険感に応じて操舵応答ゲインを調節する非線形ドライバモデルを採用する。このモデルは上記2次予測モデルに非線形性を加味し、またコース決定要素を考えに入れたモデルであり、図9で示される。

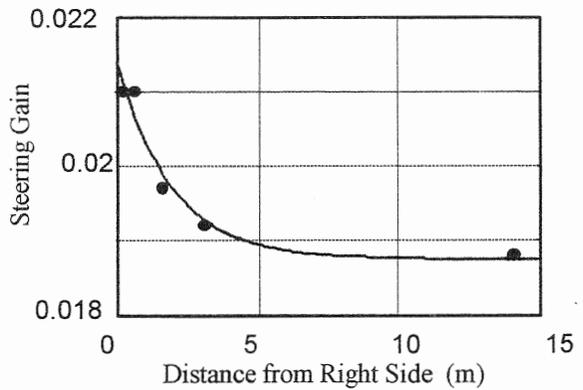


図7 道路幅変化に対する操舵ゲイン

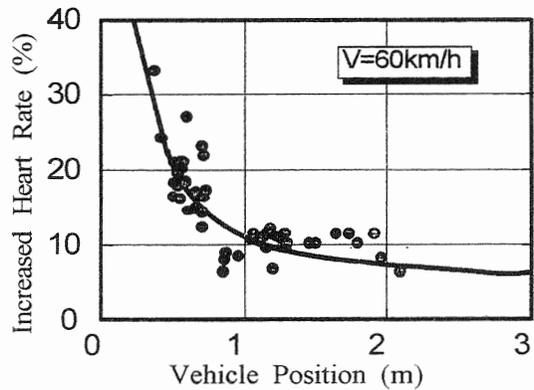


図8 車両位置に対する瞬時心拍変化

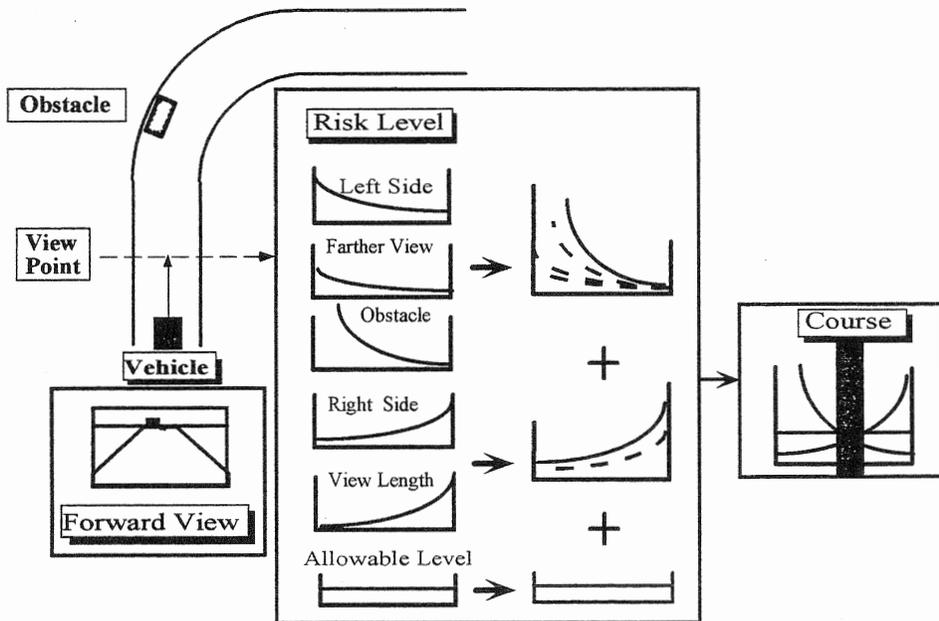


図9 危険感モデルの概要

前方注視モデルでは、通常一定の注視時間（注視距離/速度）を採用している。そこでこれを決定する為にドライバの前方注視位置に注目することにする。実験にはアイマークレコーダを用い、直線から45度ターンを行い、その後直線に復帰するというコースを設定して、その中を被験者に自由に走行してもらい、注視位置を計測した。結果を図10に示す。この図より、ドライバは直進状態で一定であった注視位置（2秒後に到達する位置）を、カーブ手前より徐々に短くとり、カーブ通過後に再び一定値に戻していることが分かる。そこで、図中に車両の中心位置からカーブの接線の位置までの距離を到達時間に換算した値を付加する。これにより、人間のアイポイントの位置は2秒前後で、カーブがきつくなり見通しが悪くなると、カーブ接線までの位置に置き換えて運転していることがわかる。そこで、前述のドライバモデルにおいて、注視位置を可変としてモデル構築を行う。

次に可変注視距離を採用したモデルと、これまでの固定モデルのシミュレーション結果より求めた偏差と操舵ゲインの関係を図11に示す。この結果より、注視位置可変モデルを採用すると、比較的広いゲイン変動にたいしても、誤差が安定している事が分かる。そ

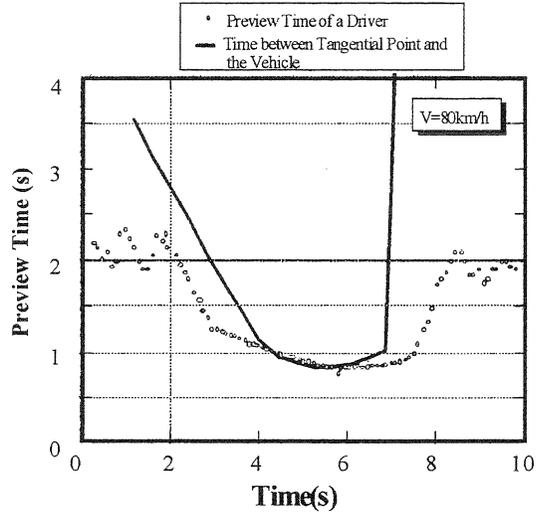


図10 ドライバの注視時間

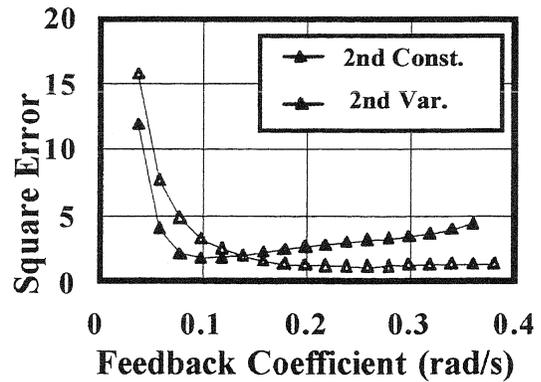


図11 可変注視モデルの効果

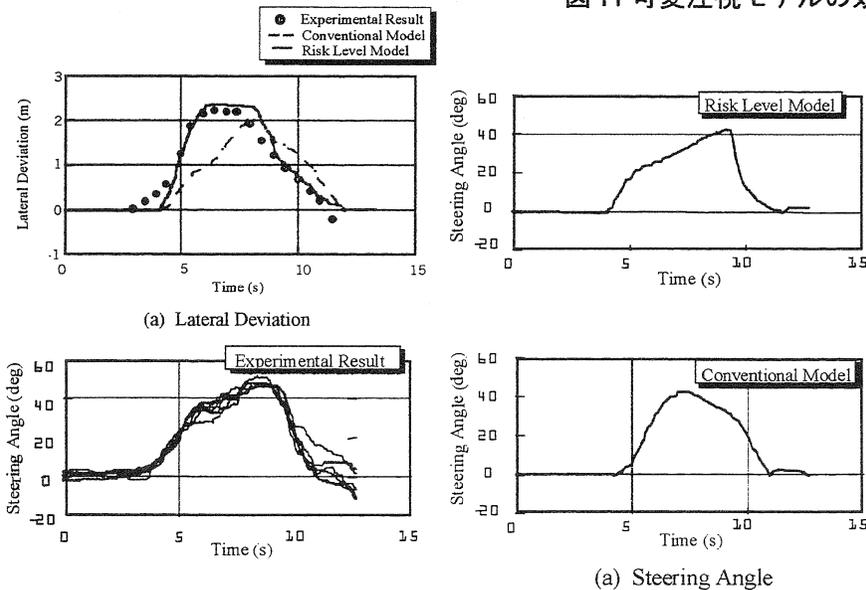


図12 モデル解析結果と実験結果との比較

ここで、本研究で構築する自動操縦車両には、この可変注視距離を採用したモデルを用いることにする。つぎにこれらの解析結果と実験結果の比較を図12に示す。この結果より、通常の2次予測モデルよりも、本研究で採用した可変注視距離危険感モデルが実際のドライバの挙動に近いことが分かる。

## 5. あとがき

本稿では、主に自動操縦車両の操舵制御アルゴリズムについて示した。そこで、このアルゴリズムを用いた自動操縦車両を構築し、走行実験をおこなったところ、通常のドライバの操舵に近いなめらかな走行が実現できた。図13に実験車、操舵系のアクチュエータおよび画像解析結果を示す。

この自動操縦車両は画像処理による白線認識を行い、自車両の進路を危険感要素を用いて規定し、そのコースに追従する構造となっている。

今後は、レーダシステムによる障害物認識、車車間通信、路車間通信等による環境情報の取得等を考慮したシステム構築に発展させ、より安全で実現性の高いシステム構築に発展させる必要がある。

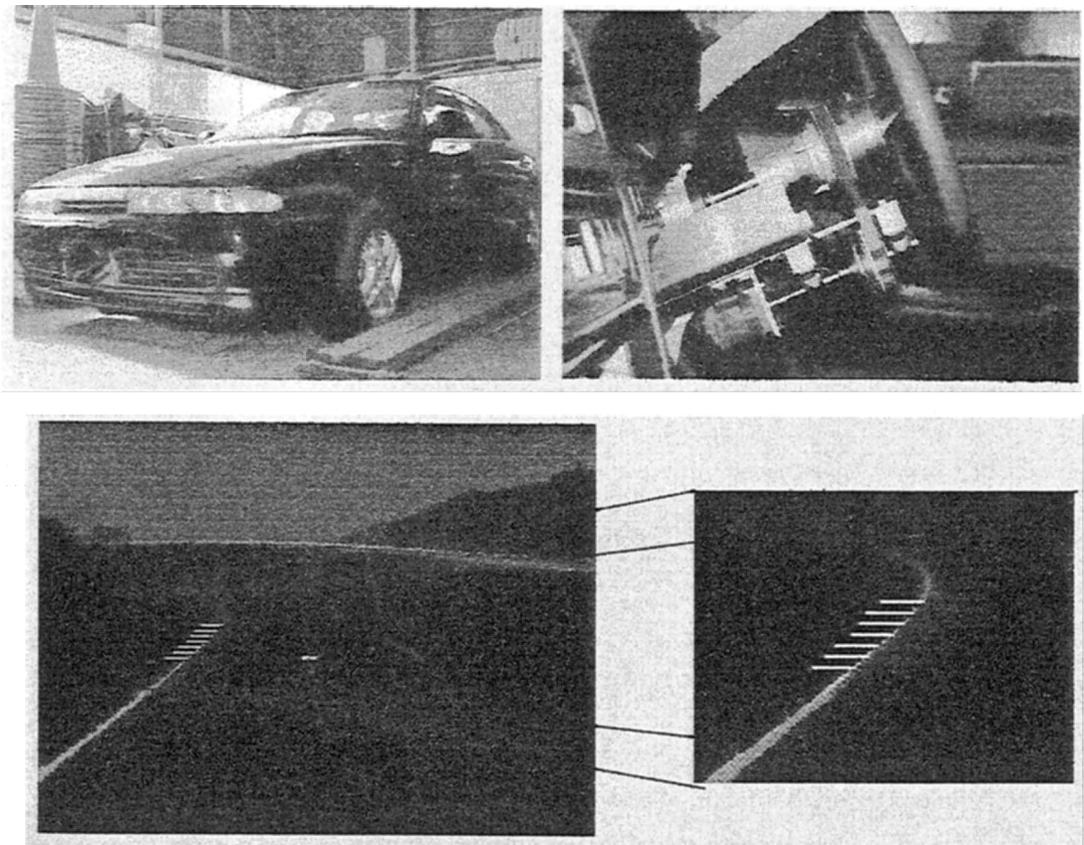


図13 実験車両および白線画像処理結果