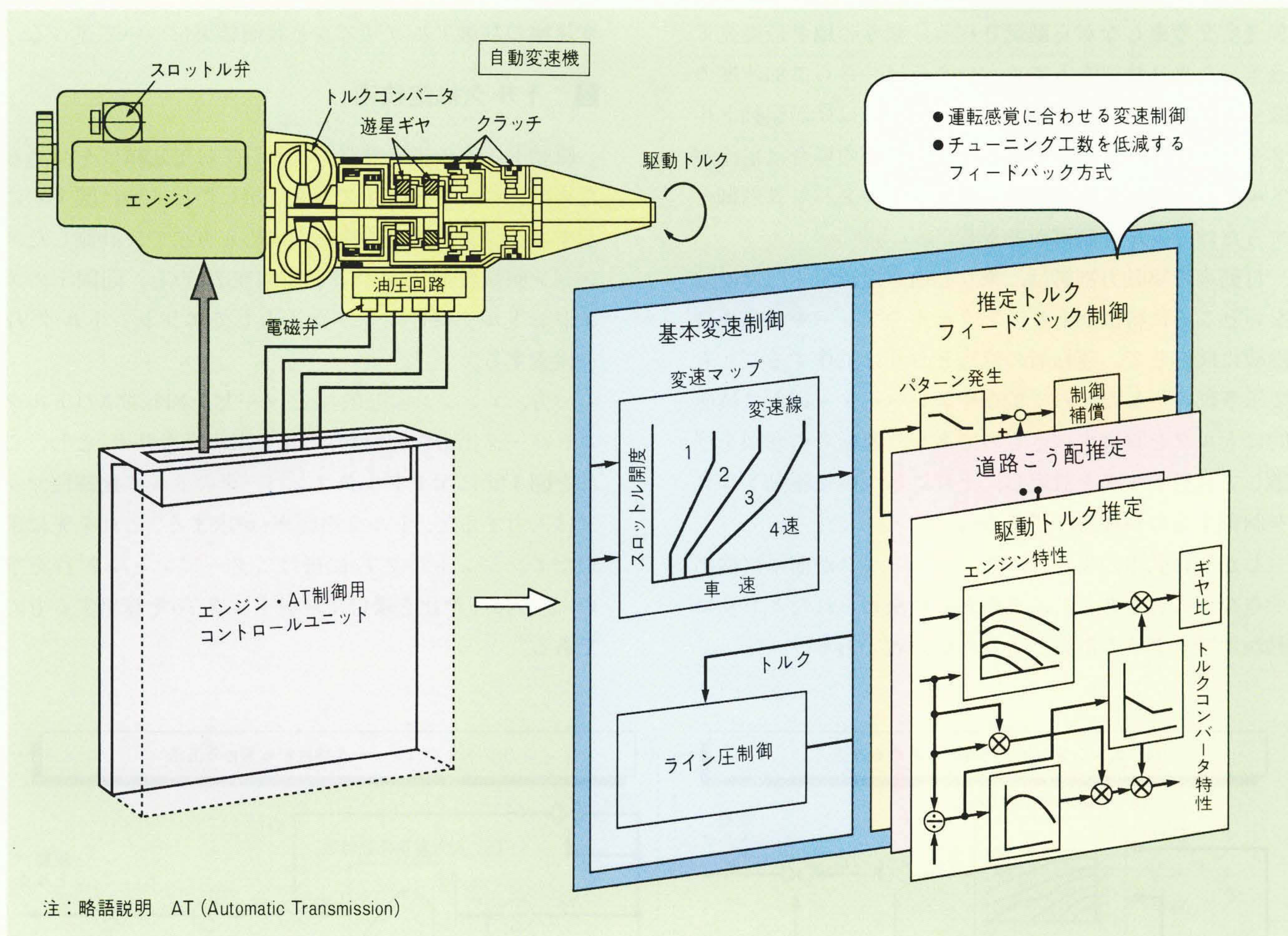


スムーズな走行を指向する変速機制御

—駆動トルク推定法を用いた自動変速機制御技術—

Automatic Transmission Control System Enhanced by Torque Estimation Technology

射場本 正彦* Masahiko Ibamoto 黒岩 弘* Hiroshi Kuroiwa
佐藤 一彦** Kazuhiko Satō 箕輪 利通*** Toshimichi Minowa



注：略語説明 AT (Automatic Transmission)

駆動トルク推定法を用いた制御アルゴリズム

新たなセンサを付加せず、ソフトだけでトルクを推定して、走行条件の変化に対応できるフィードバック系を構成する。

最近の乗用車は8割以上がATを搭載しており、マイコン(マイクロコンピュータ)を用いた電子制御ATも多くなってきている。しかし電子化されても変速マップによるプログラム制御を行っており、メカニカルATの制御方法を継承している。変速マップはギヤ比の使用領域を決めておくもので、その境界を変速線と呼んでおり、車速とスロットル開度の関数として設定される。したがって、上り坂でも下り坂でも一律に制御するので、運転感覚に合わない

ことがある。

そこで日立製作所は、エンジンの駆動力に応じて変速するために、駆動トルクを推定する方法を開発し、変速機制御に応用することとした。新しい方式として駆動トルクに応じて変速線や油圧特性を変化させる制御、チューニング工数を低減するフィードバック制御、道路こう配を推定して変速線を変化させる制御などの応用制御アルゴリズムを開発している。

*日立製作所 自動車機器事業部

**日立オートモティブエンジニアリング株式会社

***日立製作所 日立研究所

1 はじめに

車両の駆動力制御は、速度および加速度をパラメータとして行うのが一般的である。例えば電車の場合、自動運転するときには目標速度曲線に追従し、揺れないように加速度を考慮しながら制御される。乗り心地を最優先で追求した乗り物であるエレベーターは、さらに加速度の微分項まで考慮して制御される。これらは結局駆動トルクを制御しているわけであるが、電動機の場合は電流がトルクに比例しているので、電流フィードバック制御とすることでトルク制御ができる。

自動車の駆動力制御は、乗り心地を追求するだけではないところに特徴があり、アクセルやブレーキの操作に機敏に反応して、運転者の意志どおりに動作することも要求される。したがって電車やエレベーター以上に積極的にトルクを制御すべきものであり、運転者の意図を認識して目標トルクを設定し、それに基づいて駆動トルクを制御するのが理想的である。

しかし自動車の場合は、エンジントルクが簡単に検出できないこともあって、あらかじめ決められたとおりに動かすプログラム制御とするのが普通である。

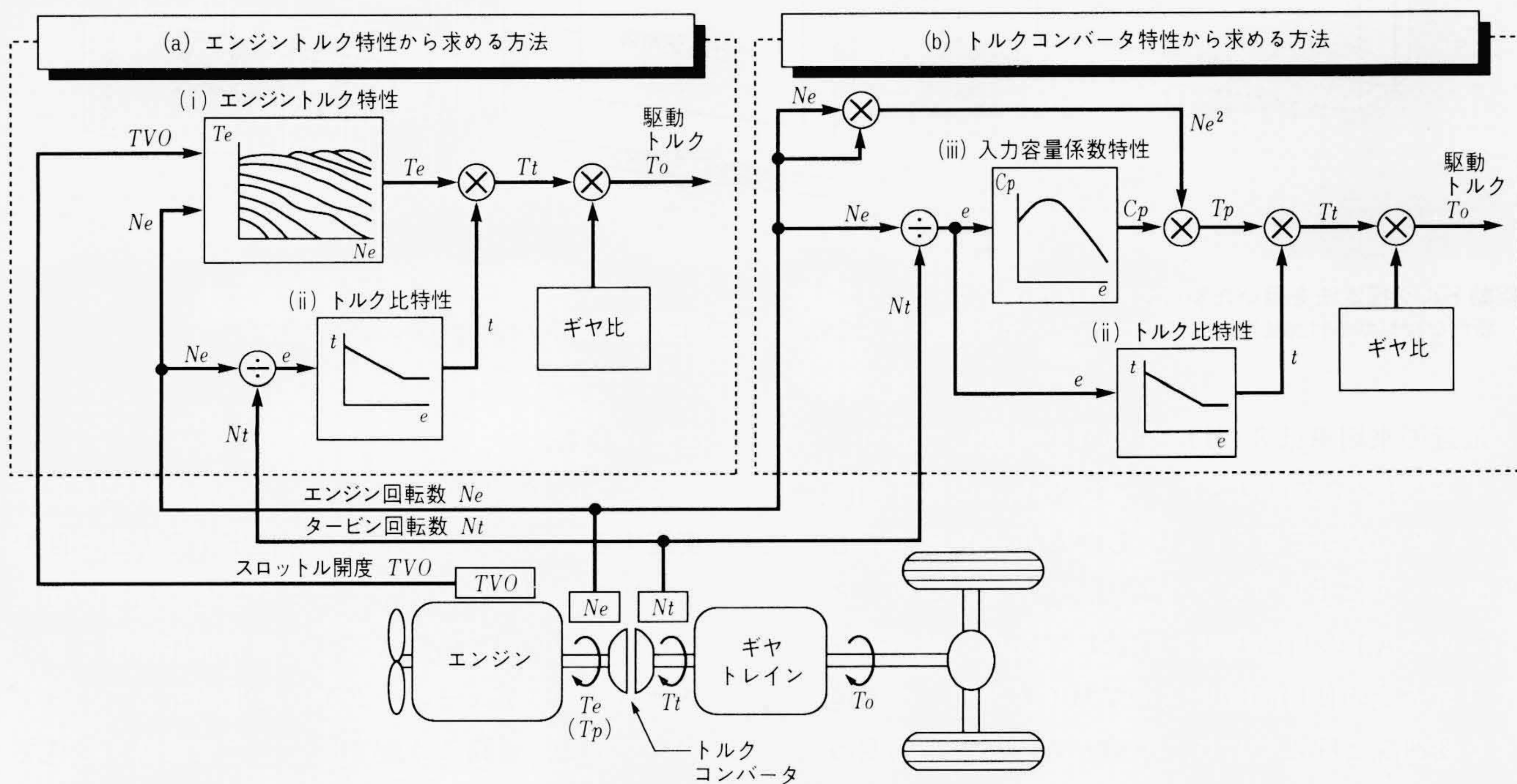
そこで、エンジンやトルクコンバータの特性をメモリに記憶させておけばトルクを推定計算できることに着目し、トルクセンサを用いずに、フィードバック系を構成することを検討した。

ここでは、駆動トルク推定方法およびそれを応用した変速機の制御アルゴリズムと評価結果について述べる。

2 トルク推定技術

駆動トルクの推定計算方法としては推定精度を高めるために二つのアルゴリズムを併用した。一つは図1(a)に示すエンジントルク特性から求める方法で、計測したエンジン回転数 N_e とスロットル開度 TVO を、同図(i)のエンジントルク特性マップに入力してエンジントルク T_e を検索する。

一方、エンジン回転数 N_e とタービン回転数 N_t (トルクコンバータ出力側回転数)の比を求めて滑り率 e とし、これを図1(ii)に示すトルクコンバータのトルク比特性マップに入力すると、トルク増幅率 t が求まる。これを先に求めたエンジントルク T_e に掛けてタービントルク T_t を求め、さらにギヤ比を掛けて駆動トルク T_o を算出するものである。



注：略語説明

T_t (タービントルク), T_p (トルクコンバータ入力トルク), t (トルク増幅率), e (トルクコンバータ滑り率 $= \frac{N_t}{N_e}$), C_p (トルクコンバータ入力容量係数)

図1 駆動トルク推定アルゴリズム

二つのアルゴリズムがあり、トルクの大きさによって使い分ける。

もう一つは、トルクコンバータ特性だけを使って求める方法である[図1(b)参照]。同図(iii)の入力容量係数マップに滑り率 e を与えて入力容量係数 Cp を検索し、これにエンジン回転数の二乗を掛けることでトルクコンバータ入力トルク Tp を算出する。以下同様に同図(ii)のマップから得られたトルク増幅率 t を掛けてタービントルク Tt を求め、さらにギヤ比を掛けて駆動トルク To を算出する。

これらの方法はそれぞれ得意の領域があり、例えばトルクの大きなところは、トルクコンバータ特性を使ったほうが精度が良いので図1(b)の方法を採用し、エンジンプレーキによる負のトルク領域や、トルクコンバータを直結(ロックアップ)したときには同図(a)の方式を採用するなど、使い分けて全体の精度を高めることができた。

定常走行時の駆動トルク推定精度を図2に示す。いずれか適した方法が選択された結果、実測トルクと良く一致しているのがわかる。

3 自動変速機の新しい制御方式

もしトルクが検出できるならば、積載量の変化や道路こう配などに細かく対応して運転しやすい変速制御ができることになる。そこで推定したトルクを用いた変速機制御について検討した。

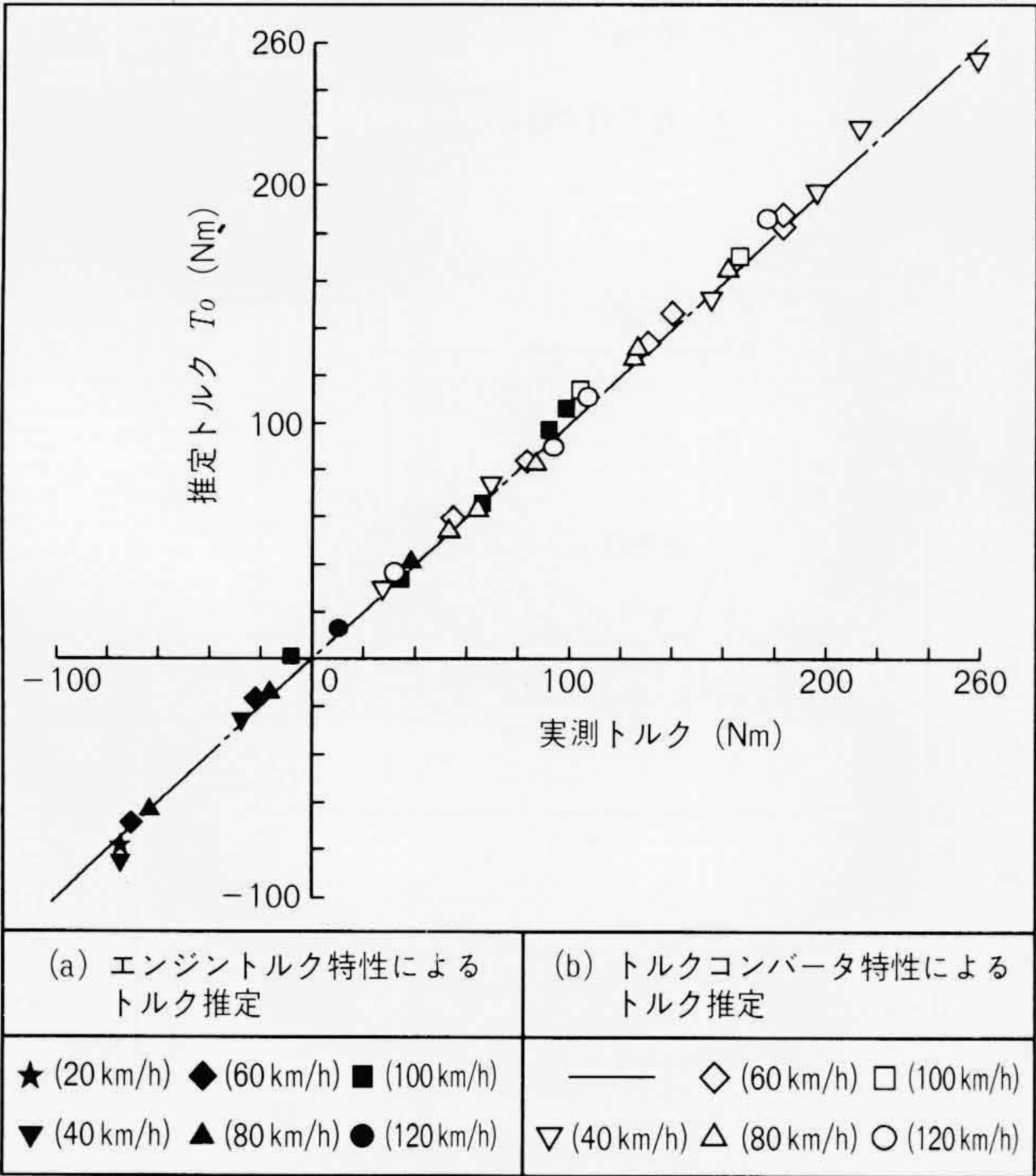


図2 駆動トルクの推定精度
大トルク域はトルクコンバータ特性から、負のトルク域はエンジントルク特性から、中間は両者からそれぞれ推定する。

3.1 変速点可変制御

変速マップは標準走行条件で最適な変速線を設定しているので、運転モードや走行条件によって変更する必要があり、変速マップを切り替えるのが一般的である。今実際に出力している駆動トルクと、もし変速したと仮定した場合にトルクがいくらになるかを常時計算しておき、両者を比較判断して最適な変速比を選択すれば、状況変化にさらに細かく対応できる。

3.2 変速ショック低減制御

変速過渡時のトルク変動を抑えるためには、駆動トルクが検知されているほうが制御しやすい。駆動トルクをフィードバックして、必要なときに必要なだけ自動的にエンジン出力やライン圧(油圧)を変化させ、チューニングの要らない変速ショック低減方式とすることで、開発工数の削減が可能になる。

3.3 油圧制御

自動変速機は動力伝達経路を切り替えるために、締結したいギヤのクラッチに油圧を加える。油圧が高ければクラッチ滑りは生じないが、むだな圧力を掛けることになる。トルクを推定すればそのクラッチの伝達トルクが計算できるので、滑らない範囲で必要最小限のライン圧に抑え、油圧ポンプの損失を減らして燃費向上を図ることができる。

3.4 こう配対応制御

運転状況に大きく影響する要因の一つとして道路こう配があり、これに合わせて変速線を変える必要がある。推定トルクから道路こう配を計算で求め、変速点制御に連動させて坂道に適した変速比を選択する。これにより長い上り坂でのギヤ比のハンチング現象を避けたり、下り坂で自動的にエンジンプレーキを掛ける制御などが実現できる。

以上のようにトルクを検知できれば、運転者の意図にこたえる駆動力制御として、前述の3.1~3.4のような応用制御ができる。これらのうち日立製作所が開発している二つの事例について以下に述べる。

4 変速ショック低減制御

例えば1速ギヤから2速ギヤにシフトアップする場合、ギヤ比は小さくなるのに車速は変わらないので、エンジン回転が急激に低下する。このとき、エンジン部分の慣性モーメントに蓄えられていたエネルギーが放出され、一時的にトルクが増大して変速ショックとなる。その対策として、変速時のライン圧を一時的に下げたり、

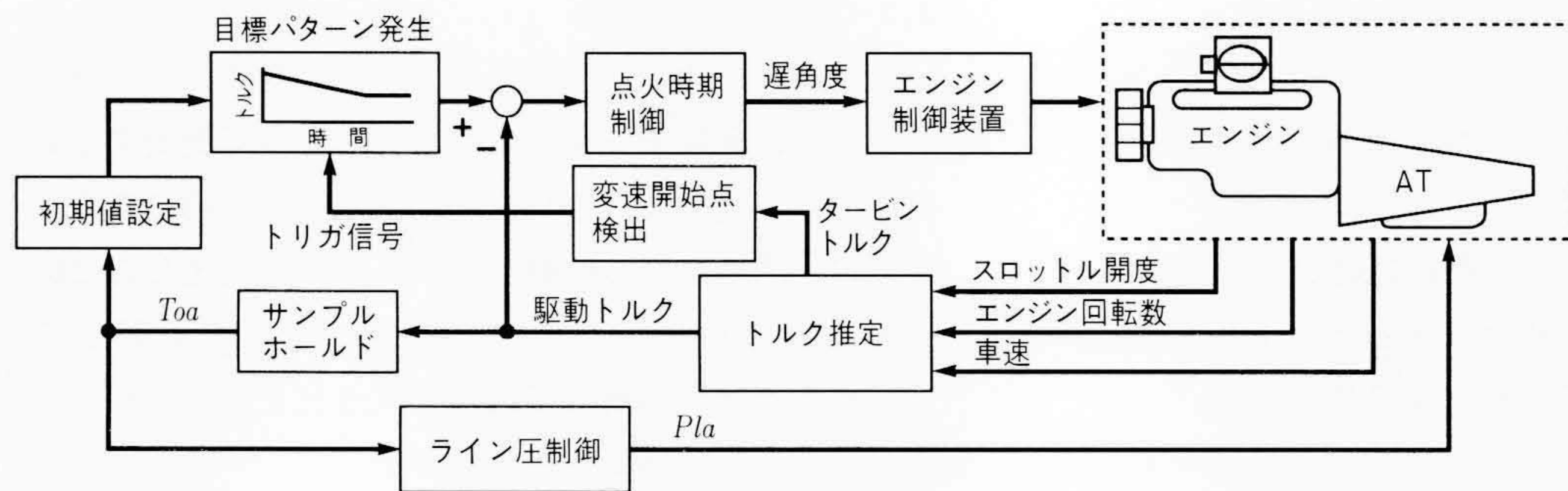


図3 トルク推定による変速ショック低減方式

トルクを推定して目標トルクパターンを発生させるとともに、フィードバックして偏差を求め、偏差に応じた点火時期およびライン圧制御を行う。

トルク増大に合わせてエンジン出力を低減させる方法が一般に行われている。しかし、このときのライン圧の値やエンジン出力低減の開始・終了タイミングは、チューニングによって設定しており、機種ごとに調整しなければならず多大のチューニング工数を要している。

そこでトルク変動を検出してフィードバックすることにより、チューニングの不要な方式を開発した。制御ブロック図を図3に、変速時の波形を図4に示す。トルク推定部は常時、駆動トルクおよびタービントルクを計算している。変速直前の駆動トルクをサンプルホールドし、その値 Toa から必要なライン圧 Pla を設定する。一方、サンプルホールドした駆動トルク Toa に基づく値を初期値として目標トルクパターンを発生させる。その開始時期は、タービントルクの急変を検出することによって決める。このトルクパターンと駆動トルクとの偏差が発生すると、エンジンの点火時期が制御され、その結果自動的に最適タイミングでエンジン出力低減制御が行われ、チューニングが不要になる。

この新方式で変速させた結果を図5に示す。変速中の

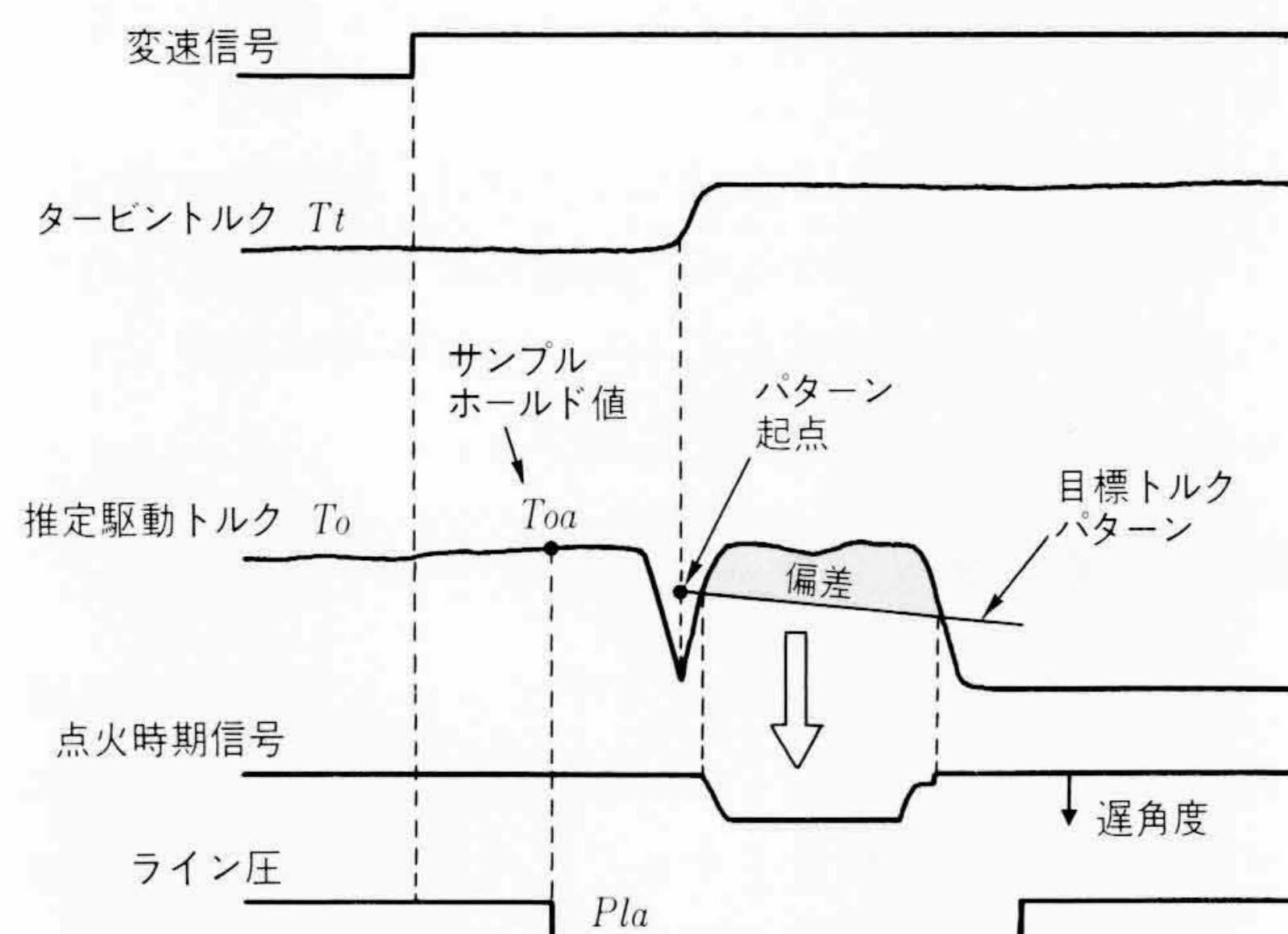
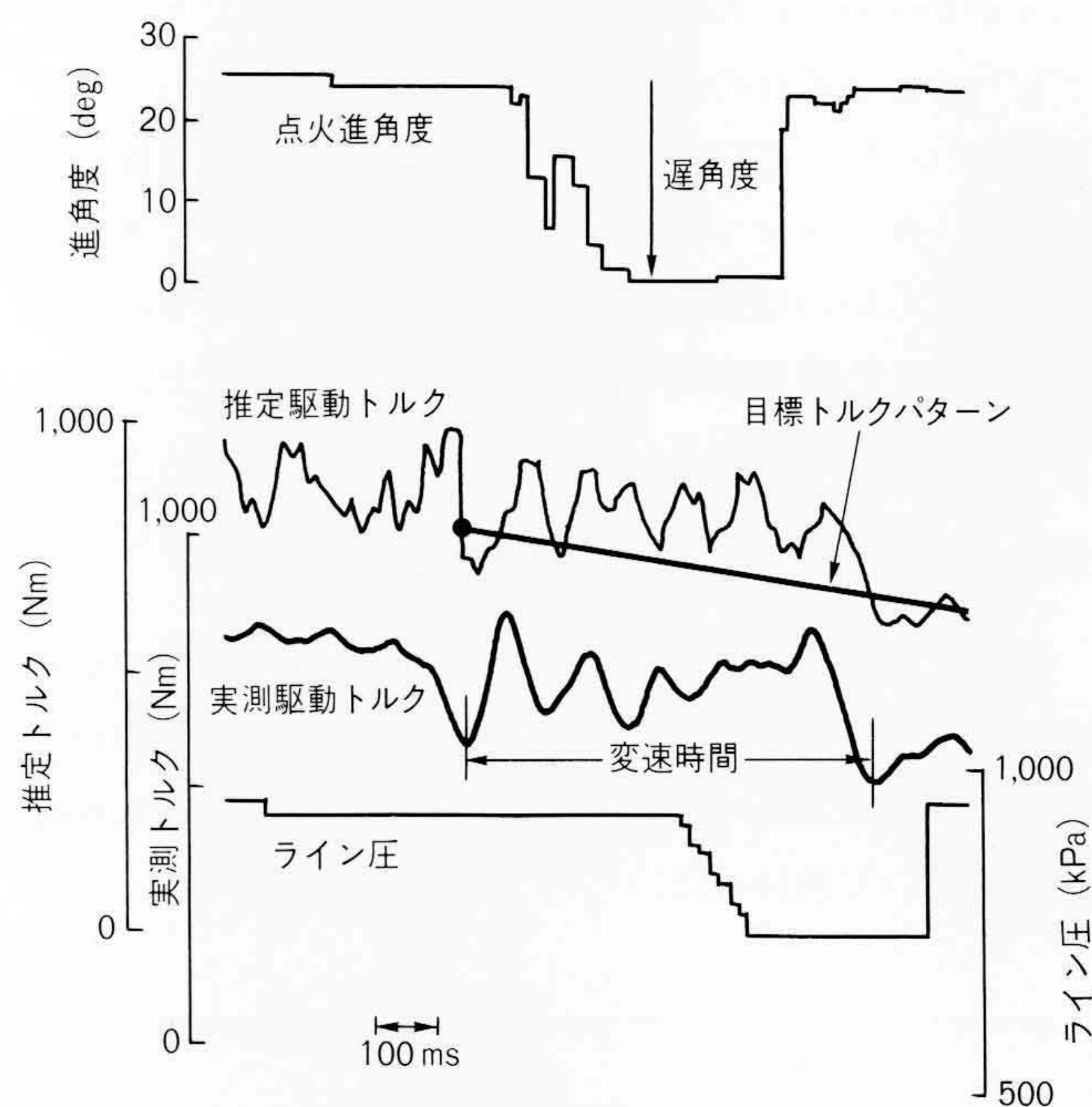
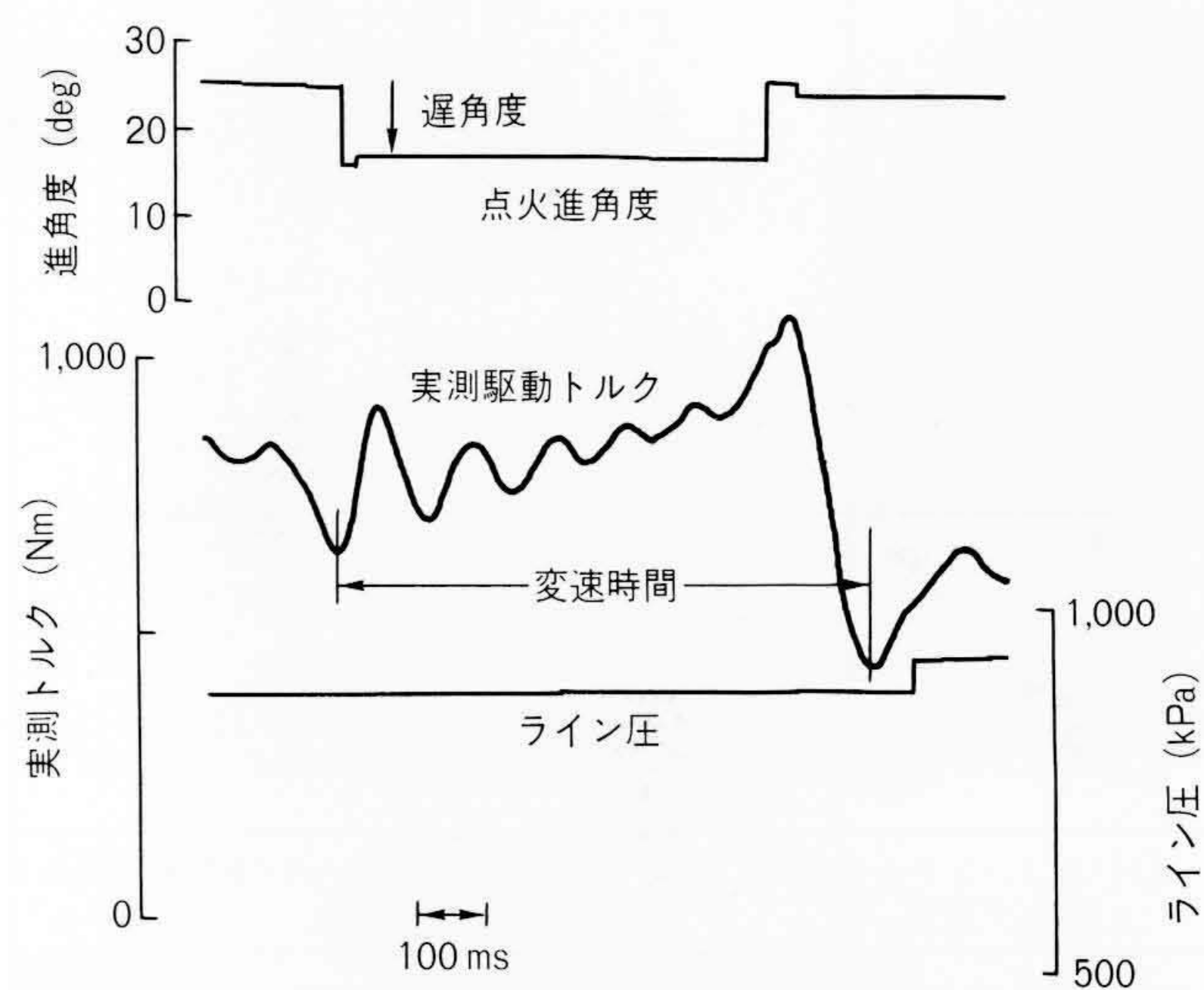


図4 トルクフィードバック方式による変速中の波形

変速信号発生後にトルクをサンプルホールドし、変速開始時にこの値を起点に目標トルクパターンを発生させる。



(a) 新方式の変速時トルク波形



(b) 従来方式の変速時トルク波形

図5 駆動トルク推定法による変速ショック低減制御の評価結果(3,000 cc 4速AT車で、スロットル全開時の1→2変速波形)

トルクパターンと推定トルクの偏差が負になったとき、自動的に最適なタイミングで点火時期制御が行われる。

ライン圧をトルクに応じて最適化することで、トルク変動のピーク値を抑えながら、点火時期制御によって変速時間を従来方式より延ばさないように制御できた。

トルクを検出するのではなくて推定するために、計算誤差やエンジン特性などの経年変化による影響などが心配される。しかしこの方式は、同じ推定値から作られた目標パターンとフィードバック信号を相対比較しているので、誤差の影響はキャンセルされ、問題とはならない。

5 こう配対応制御

駆動トルクから走行抵抗分を除いたトルクが車体の加速に使われる。走行抵抗は、図6に示すように平地走行抵抗と、こう配抵抗に分けられる。したがって、推定された駆動トルクから、平地走行抵抗分と加速成分を除けばこう配抵抗分が得られる。こう配推定アルゴリズムを図7に示す。

平地走行抵抗トルクは、車速の二乗で変化する空力抵抗トルクと、ほぼ一定の転がり抵抗トルクに分けられるが、車種によって決まるのでマップとして記憶しておき、車速を入力して検索する。一方、車速を微分して加速度を求め、車両質量を掛けて加速トルクを計算し、これらを駆動トルク推定値から引いてこう配を算出する。実際には加速度を計算するのは難しく、急加速時、ブレーキを掛けたとき、およびでこぼこ道などで車速が変動するときには、誤ったこう配計算をしないようにマスクするなどのくふうが要る。

各こう配値に設定した試験装置の上を走行したときの

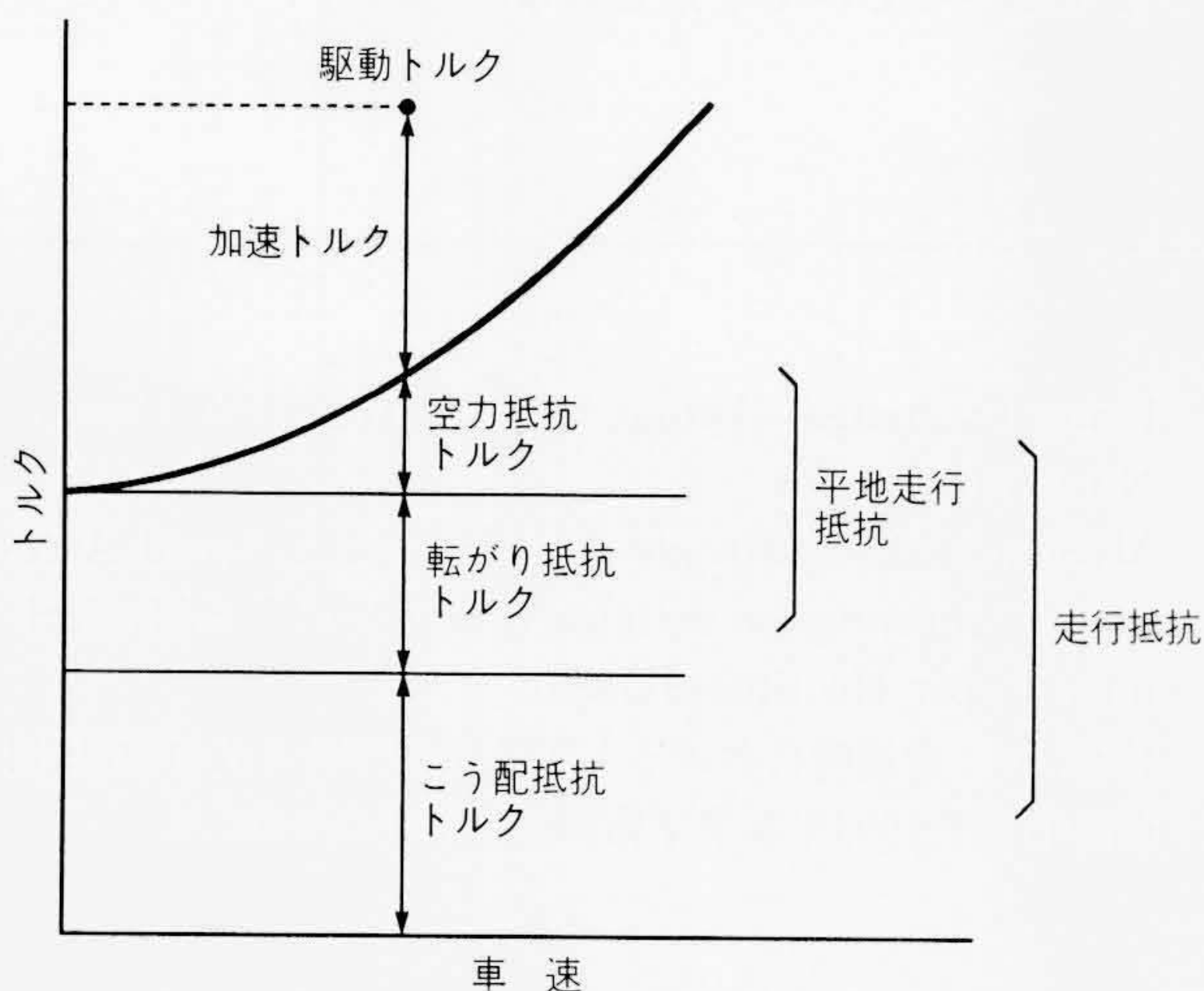


図6 車速と走行抵抗トルクの関係

推定された駆動トルクから、加速トルク成分と平地走行抵抗分を引いてこう配抵抗トルクを求める。

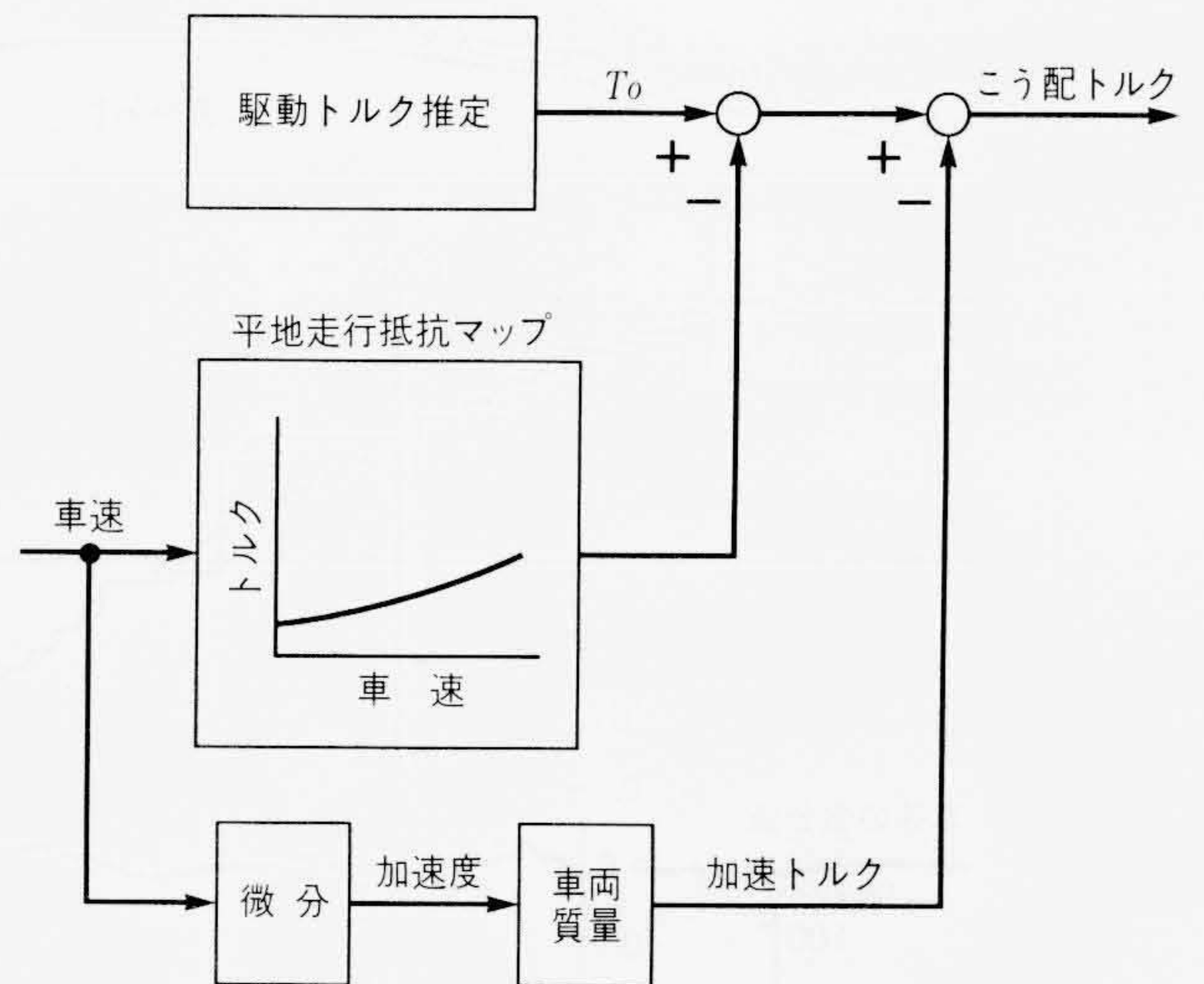
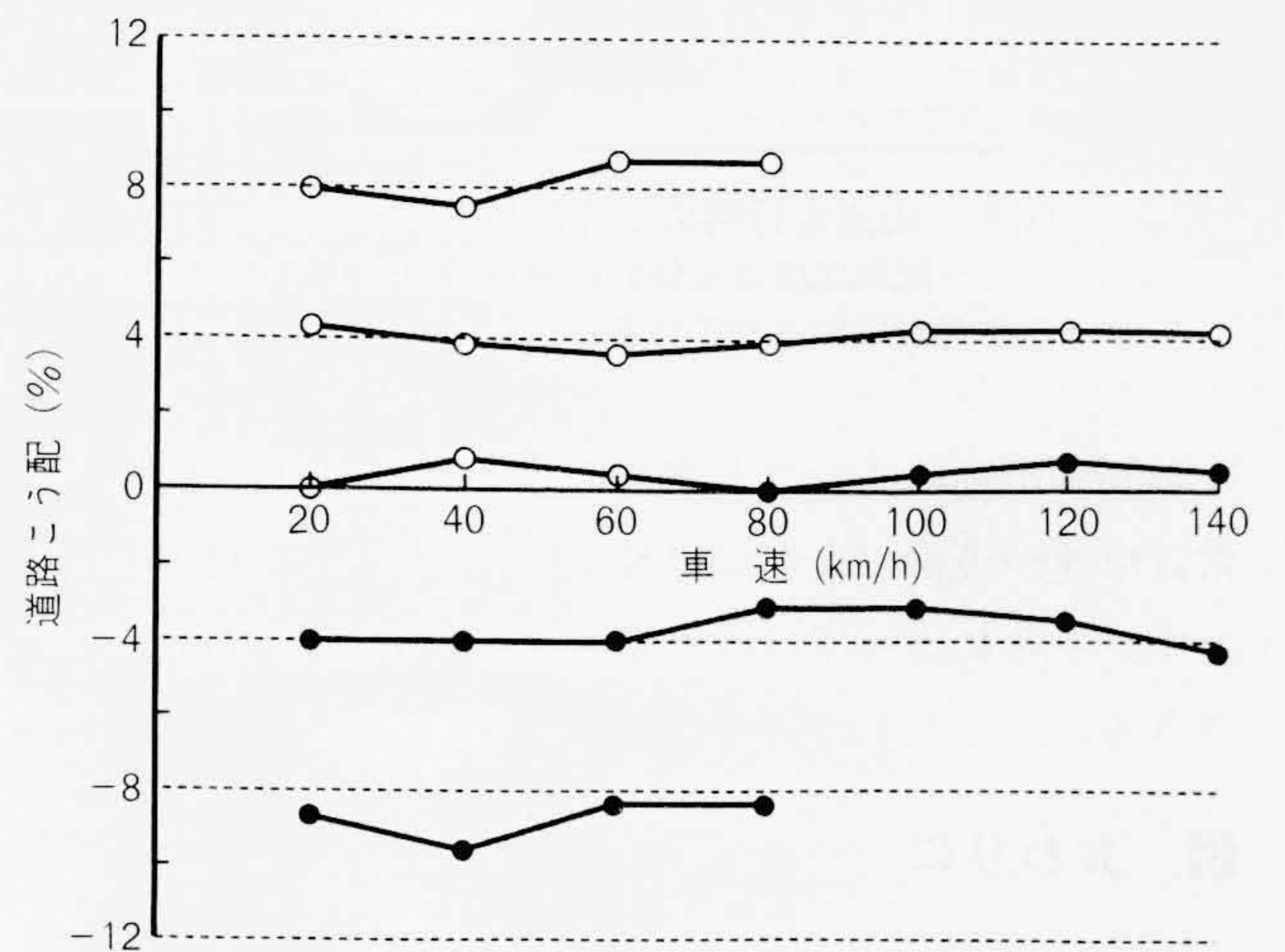


図7 こう配推定アルゴリズム

平地走行抵抗は車種によってほぼ決まるので、マップとして与えておく。



注：●（エンジントルク特性から推定）
○（トルクコンバータ特性から推定）

図8 道路こう配の推定精度

各こう配条件（破線）に設定した試験装置のローラ上を走行させたときの推定値を示す。

推定結果を図8に示す。同図からわかるように設定値との差は±1.5%こう配に収まっている。

このように本方式は傾斜センサなどを用いることなく、道路こう配を認識できるという特長があり、AT制御で望まれている違和感のない変速制御として、上り坂でのビジーシフトの防止や、下り坂でのエンジンブレーキ制御などが可能になる。

実際に山道を走行したときの波形を図9に示す。A点の峠を越えて下り坂になると、B点で自動エンジンブレ

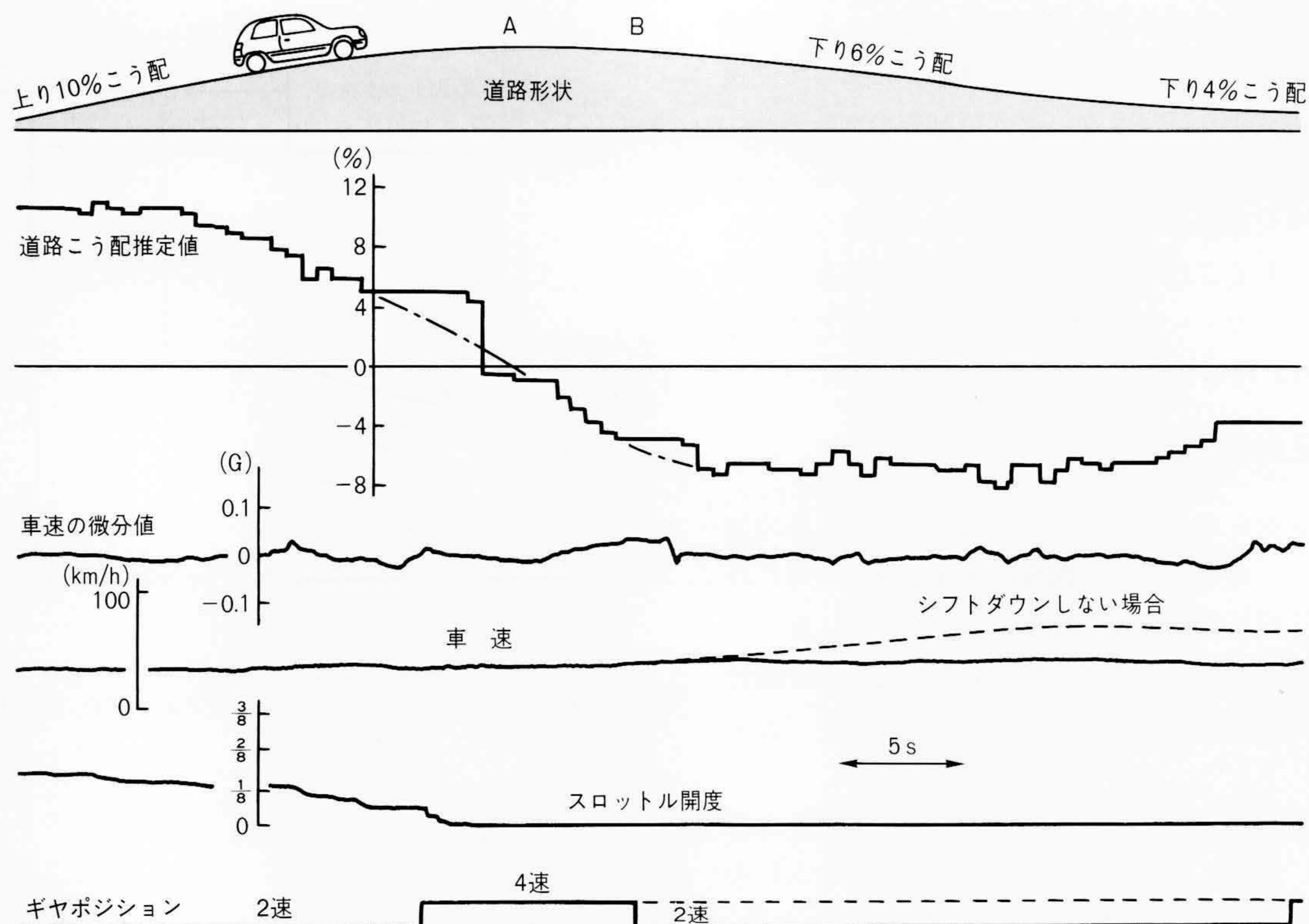


図9 山道走行時のこう配推定値の波形

こう配推定値は全体的に傾斜に追従している。B点で自動のエンジnbrakeが掛かり、通常は破線のように上昇する車速が抑制されている。

ーキ制御が働いてシフトダウンしているのがわかる。通常は車速が破線のように上昇するのに対し、自動エンジnbrakeによってほぼ一定の速度で坂道を下ることができる。

6 おわりに

ここでは、自動車の駆動力制御の自由度を高めるトル

ク推定技術とその応用制御の一例について述べた。

この技術が無段変速機に適用すると、変速比変化によってトルクアクチュエータとしての機能を発揮できるので、有段変速機以上に効果的な応用制御が可能になる。

さらに今後は、電子制御スロットルバルブを用いて積極的にトルクを制御するパワートレイン総合制御システムへと発展させていく考えである。

参考文献

- 1) 射場本, 外: トルクフィードバック方式による変速過渡時制御, 自動車技術会1994年秋季学術講演会前刷集 9436602
- 2) 箕輪, 外: 簡易モデルを用いた駆動トルク制御による自動変速機搭載車の加速性能向上, 自動車技術会論文集, No.9432255
- 3) T. Minowa, et al.: "Smooth Gear Shift Control System Using Estimated Torque," SAE Technical Paper, No.941013(1994)
- 4) M.Schwab: "Electronic Control of a 4-Speed Automatic Transmission with Lock-Up Clutch" SAE Technical Paper No.840448(1984)
- 5) 佐藤, 外: 変速時におけるトルク変動抑制方式の検討, 自動車技術会1993年春季学術講演会前刷集9302772