

定速走行装置へのマイコン応用

Application of Microprocessor to Cruise-Control System

落 合 毅⁽¹⁾ 中 村 和 正⁽²⁾ 谷 川 光 有⁽³⁾
Takeshi Ochiai Kazumasa Nakamura Kou Tanigawa

要 旨

マイコンを利用した、新しい定速走行装置を開発した。この装置は、プリセット機能を持ち、ダイヤルでプリセット車速を設定できる。また、トランスミッション制御機能、および異常発生時のフェールセーフ機能を備えている。

本装置の制御ループ内には、アクセルリンクのヒステリシスを含むので、安定性解析には非線形手法を用いる必要がある。記述関数を用いた最適設計と、シミュレーションおよび実車試験によりパラメータの最適値を選び、マイコンのアルゴリズムにより実現した。

従来ディスクリート部品で製造していた制御器（ECU）をマイコン化する事により、機能向上と同時に、部品点数を半数以下として、信頼性向上、小型軽量化、製造容易化を図った。本装置は、トヨタ自動車[㊦]と当社が共同開発したものであり、1981年からコロナ等に装着されている。

A new cruise-control system incorporating a microprocessor has been developed. This system provides a preset speed function to preset a driving speed with a dial. Functions such as transmission control and fail-safe-against-abnormality have been realized.

A large hysteresis exists between the force on the accelerator link and the movement of the throttle valve. We analysed the cruise control system stability during development by using the non-linear method. All variations were selected optimum values by describing function, computer simulation and driving tests. Electronic control unit (ECU) algorithms have been developed by software of microprocessor.

(1), (2) トヨタ自動車株式会社

(3) 富士通テン[㊦]モトロニクス技術部

1. ま え が き

著者は1981年に定速走行装置にマイクロプロセッサを初めて用い、1982年にはプリセット機能を持つ装置を開発した。

新しい定速走行装置はプリセット、トランスミッション制御およびフェイル・セーフの諸機能を実現させたものであって、それらは従来のアナログシステムでは実現されていないものであった。システムの安定性を得るために、車両特性の劣化、アクセルリンク系のヒステリシスによる非線形性の補償をも、マイクロプロセッサで実現するものである。

この論文は新しい定速走行装置の構成と機能について述べ、シミュレーションにもとづく制御の安定性と実車試験結果について論ずる。

2. 定 速 走 行 装 置

定速走行装置の構成図を図-1に示す。運転者は、操作パネルと解除スイッチを操作して電子制御装置（ECU）へ制御用信号を送る。

ECUは、操作パネルと解除スイッチおよび速度センサからの信号を用いて、アクチュエータと4段自動トランスミッションのオーバドライブ機構を制御する。アクチュエータはアクセルリンクを介して、エンジンのスロットル開度を調整する。速度信号は、スピードメータのケーブルを介して、速度計に取付けられた速度センサによって検知され、ECUに送られる。

3. ECU

定速走行装置用ECUの構成を図-2に示す。ECUはMB8842（4ビット1チップのマイクロコンピュータ）とカスタムのバイポーラICを使用している。

MB8842は2048×8ビットのROM、128×4

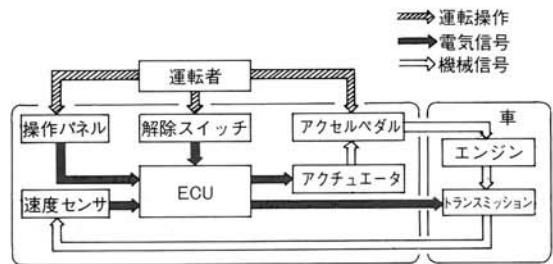


図-1 定速走行装置の構成図

Fig. 1 Cruise control system.

ビットのRAM、23個のI/Oポート、8ビットのカウンタ、および発振器を内蔵しておりその最小作動時間は、2 MHzの発振に対して3 μ sである。

カスタムのバイポーラICは入力/出力バッファ回路、定電圧供給回路およびアクチュエータの電磁弁に高電圧や短絡が発生した場合の保護回路を内蔵している。

図-3はECUの写真である。この図で中央にある28ピンのICがMB8842で、16ピンのICはカスタムバイポーラICである。

入力スイッチ信号処理部、アクチュエータ制御部、およびトランスミッション制御部から成るECUの処理フローチャートを図-4に示す。

3. 1 スイッチ信号の処理

ECUは、キャンセル、セットコースト、リジューム、アクセルおよびプリセットのスイッチ入

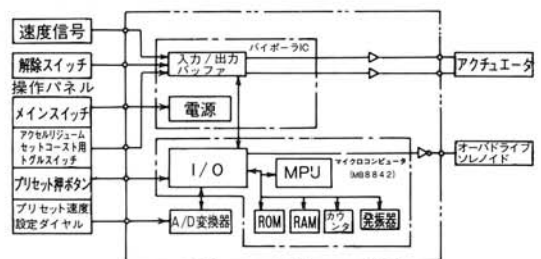


図-2 ECUの構成

Fig. 2 ECU configuration.

力信号の優先順位に従って信号の処理を行う。2つ以上のスイッチ入力信号が同時に加えられる場合は、異常な状態と判定して記憶していた速度を消去し、定速走行をキャンセルする。

キャンセルスイッチの一つが操作されれば、定速走行制御は解除される。

トグルスイッチをセットコーストにたおすと、コントロールバルブはオフのままになり、走行速度が記憶されてリリースバルブが作動し、減速する。

セットコーストの状態が解除されると、最後に記憶された速度が有効になって、定速走行制御が始まる。

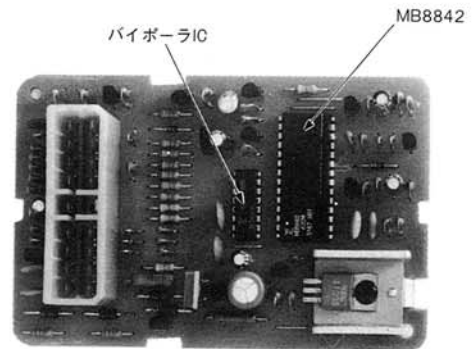


図-3 ECU
Fig. 3 ECU.

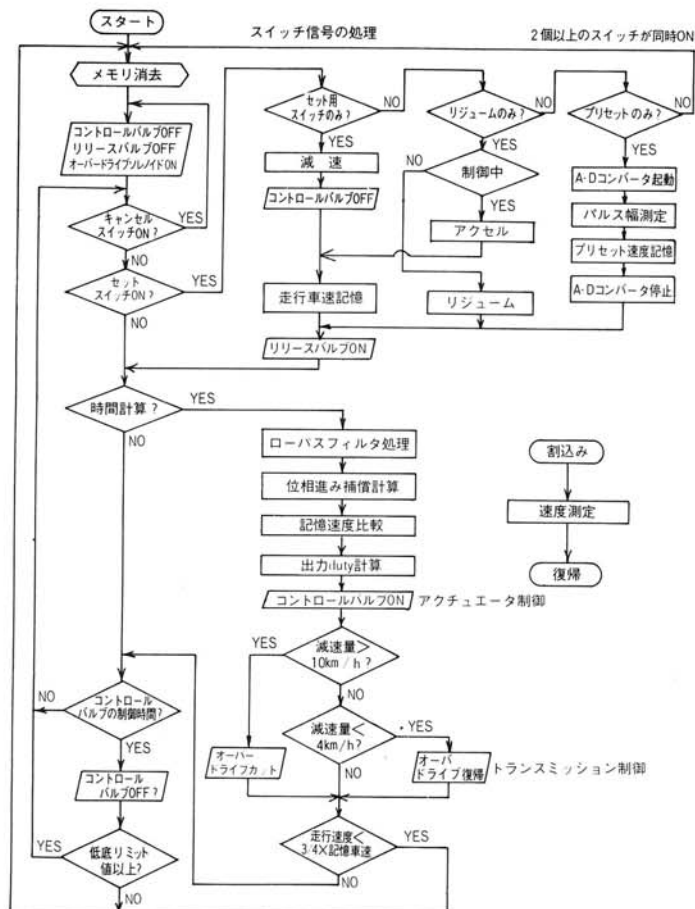


図-4 ECUの信号処理フローチャート
Fig. 4 ECU signal processing flowchart.

リジュームとアクセルスイッチは同一スイッチを走行モードによって使いわけている。

車がこの装置の制御によって走行している時、リジュームスイッチが閉じて、アクセル信号が発せられると、コントロールバルブは全開となって加速する。運転者がスイッチから指を離すと、速度は記憶されて、車は一定速度で走行する。

プリセットの押ボタンだけが押されたときは、マイクロプロセッサがECU内のアナログ—デジタル(A—D)変換器を作動させる。

A—D変換器は速度設定用ポテンシオメータの電圧をパルス幅に変換する。このA—D変換器は、放電現象を利用したトランジスタ回路から成る。マイクロプロセッサはパルス幅を測定することによって、ポテンシオメータの値により設定された速度を読み取り、記憶し、定速走行運転を開始させる。このA—D変換器の作動速度は20msである。

3.2 アクチュエータの制御

マイクロプロセッサは走行速度を計測し、フィルタ処理を行って位相進みの補償を行い、その結果を、記憶された速度と比較して、アクチュエータ駆動信号を発生する。

制御特性は位相進みの補償パラメータによって変わる。

3.3 トランスミッション制御

次の場合にはダウンシフトが必要である。

- 1) トグルスイッチをアクセルにたおすことによって加速するとき。
- 2) プリセット押ボタンが操作されるか、トグルスイッチがリジュームにセットされて、車が記憶された速度から10km/h以上の低下した速度から加速するとき。
- 3) 急坂路上で速度が記憶された速度より10km/h以上低下しているとき。

以上の3つの場合であっても、速度が135km/h

以上のときは、オーバードライブカット動作は行わない。1)と2)の場合には、加速量が前以て定められた値よりも大きい場合に限ってオーバードライブ走行に入る。

3.4 フェイルセイフ

次の場合には定速走行は解除される。

- 1) スwitchの誤操作：設定用スイッチが主(電源)押ボタンが押される前に押されるか、または、2つ以上の設定用スイッチが同時に操作される場合。
- 2) 速度信号の誤操作：速度信号が、定速走行中に0.22秒以上停止した場合。
- 3) 速度の誤記憶：記憶された速度が上限と下限の範囲外にある場合。
- 4) 速度の低下：速度が記憶値の3/4以下に低下した場合。
- 5) プリセット速度の誤検出：プリセットポテンシオメータが断線するか、短絡した場合。

3.5 アクチュエータ

アクチュエータの断面図を図-5に示す。

コントロールバルブソレノイドとリリースバルブソレノイドが励起されると、アーマチュアが傾き、空気孔が閉じて真空孔弁が開いて、エンジンの負圧がアクチュエータ内に導入され、ダイヤフラムに作動力が発生する。

このアクチュエータはコントロールバルブ以外にリリースバルブを持っている。そのリリースバルブはアクチュエータ内に空気を強制的に導入する。

3.6 操作パネル

トグルスイッチ(1個)、回転ダイヤル(1個)および押ボタンスイッチ(2組)から成る定速走行操作パネルを図-6に示す。“MAIN”ボタンは電源スイッチである。

左にあるトグルスイッチは、アクセルリジューム(ACCEL RESUME)とセットコースト(SET

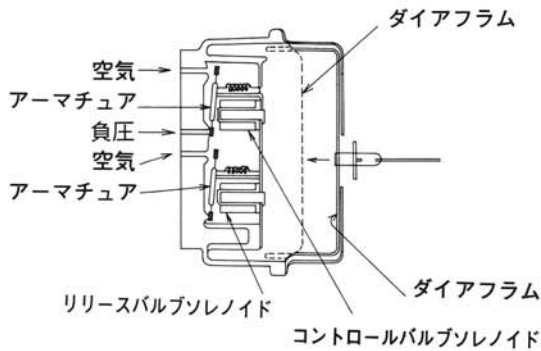


図-5 アクチュエータの断面

Fig. 5 Actuator cross sectional view.

COAST) をセットするために用いられる。中央にある速度設定用の回転ダイヤルは、内部のポテンショメータに接続されている。プリセット用押ボタン (PRESET) は右下隅にある。

運転者はプリセット装置で速度を次のようにして設定する。速度設定用回転ダイヤルを希望する速度にセットし、PRESET ボタンを押すと、走行速度はプリセット速度に保持される。

車を従来型の設定操作で運転するには、運転者はただ左側のトグルスイッチを操作するのみで良い。

4. 定速走行装置の安定性

定速走行装置は非線形制御系であって、そのアクチュエータの接がるスロットルリンクはヒステ

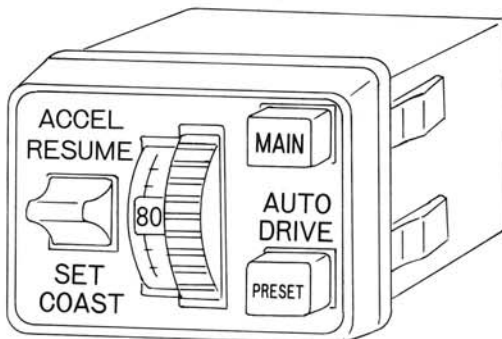


図-6 操作パネル

Fig. 6 Control box.

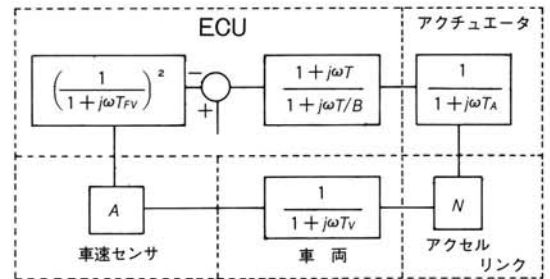


図-7 非線形制御装置

Fig. 7 Nonlinear control system.

リシス特性を持つ。図-1に示す定速走行装置は、制御系の各エレメントを伝達関数で表すと図-7に示すものに置き換えられる。装置の総ゲインは、速度センサによって求められる値 A と置いていることに留意されたい。

表-1は、式(1)に示す伝達関数 $G(j\omega)$ のリニヤパラメータと標準値を示すものである。

$$G(j\omega) = A \cdot \frac{1}{1+j\omega T_V} \cdot \frac{1}{1+j\omega T_A} \cdot \frac{1+j\omega T}{1+j\omega T/B} \cdot \left(\frac{1}{1+j\omega T_{FV}} \right)^2 \quad (1)$$

定速走行の制御中の車の走行速度が、定期的に変動するものとし、その角周波数を ω とする。

4.1 ECUの特性

ECUの作動図を図-8に示す。作動タイミング

表-1 リニヤパラメータ

符 号	意 味	標準値
ω	速度変動の角周波数	—
A	ループゲイン	—
T_V	車の速度応答時定数	20 s
T_A	アクチュエータの応答時定数	0.85 s
T	ECUの位相進み補償時定数	1.4 s
B	ECUの位相進み補償	10
T_{FV}	ECUのローパスフィルタ時定数	0.1 s

を制御するために107 μ s毎に値がインクリメントする8ビットのカウンタが用いられる。

MB8842は4ビットのマイクロコンピュータであるが、そのソフトウェアは12ビット単位でデータを処理する。

2次バターワースフィルタの設計は、式(2)に基づくもので、ローパスフィルタとして用いられる。

$$Y_n = \frac{1}{B_0} \{ (A_0 X_n + A_1 X_{n-1} + A_2 X_{n-2}) - (B_1 Y_{n-1} + B_2 Y_{n-2}) \} \quad (2)$$

ここで、 X_i と Y_i は、それぞれ一連の入力と出力の車速データ項である。

車速の計算に対しては、 $A_0=1/4$ 、 $A_1=1/2$ 、 $A_2=1/4$ 、 $B_0=2$ 、 $B_1=-3/2$ 、 $B_2=1/2$ が用いられる。

位相進み補償は、サンプリング時間 Δt を用いて、式(3)から計算される。

$$V_i = (T + \Delta t) \frac{1/Y_n - 1/Y_{n-1}}{\Delta t} + 1/Y_{n-1} \quad (3)$$

サンプリング時間によって、位相の補償値 B は、式(4)のように求められる。

$$B = \pi T / \Delta t. \quad (4)$$

コントロールバルブのDUTYは、式(5)によって計算される。

$$\text{Duty ratio} = K_1 (V_o - V_i) + K_o \quad (5)$$

ここで、 V_o は記憶された速度で、 V_i は、式(3)

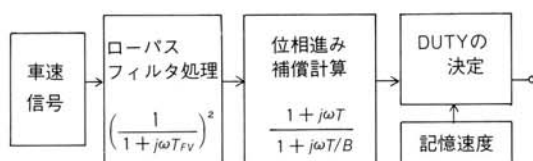


図-8 ECUの作動図
Fig. 8 ECU operation.

から求められる速度である。

4.2 アクチュエータの特性

図-5に示すアクチュエータの特性を図-9に示す。このアクチュエータは、次のように表されるリニア遅延特性を持つ。

$$\frac{1}{1+j\omega T_A} \quad (6)$$

4.3 スロットルの特性

アクチュエータの発生力とスロットル開度との間には、図-10に示すようにヒステリシス特性がある。

記述関数にもとづく非線形パラメータ N の入力と出力の間の関係を次に述べる。ゲインは入力振幅に対する応答において変化し、入力振幅が1のとき、ゲインは最大になる。点Qは最大のゲインを示す。

位相の遅れは振幅によって変わる。

図-11は入力振幅に対するゲインと位相の関係を示すものである。

4.4 車両特性

図-12に、走行速度抵抗、スロットル開度、吸気マニホールドの負圧、および駆動力の関係を示す。

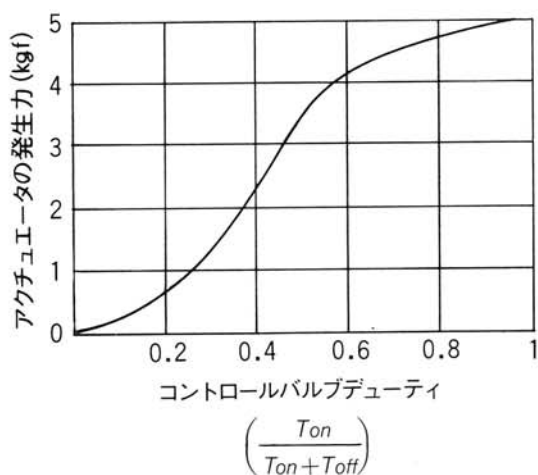


図-9 アクチュエータの特性
Fig. 9 Actuator characteristics.

示す。走行速度は、車が定速走行装置の制御によって走行している間は、ほとんど一定であるから、加速度 α と走行速度 V は、式(7)、(8)で表すことができる。

$$\alpha = \frac{F-R}{W/g} \quad (7)$$

$$V = V_0 + \alpha \Delta t \quad (8)$$

ここで、 F ＝駆動力 (kgf)

R ＝走行抵抗 (kgf)

W ＝車の重量 (kg)

g ＝重力加速 (kg・m²) である。

したがって、車両特性は次のように表される。

$$\frac{1}{1+j\omega T_v} \quad (9)$$

4.5 安定性の分析

図-13は、制御装置全体の伝達関数を示すもの N である。スロットルリンク系の非線形パラメータと、リニアパラメータ $G(j\omega)$ によってループが形成されている。

図-14は、 $-1/N$ と $G(j\omega)$ の関係をガウス平面上にプロットしたものである。 $G(j\omega)$ と $-1/N$ が一つの接点を持つとき、システムは一つの振動解を持つ。このことは $G(j\omega)$ と $-1/N$ の距離、即ち $G(j\omega)$ と点Q間の距離が大きいたとき、システムは

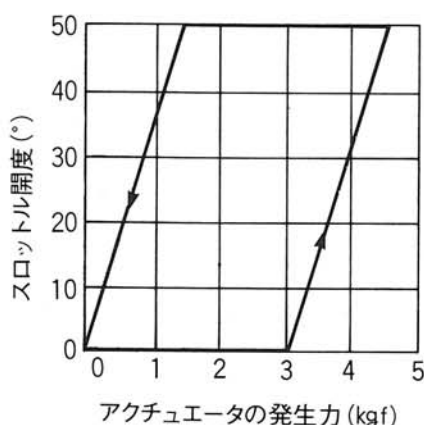


図-10 スロットルの特性

Fig. 10 Throttle-valve characteristics.

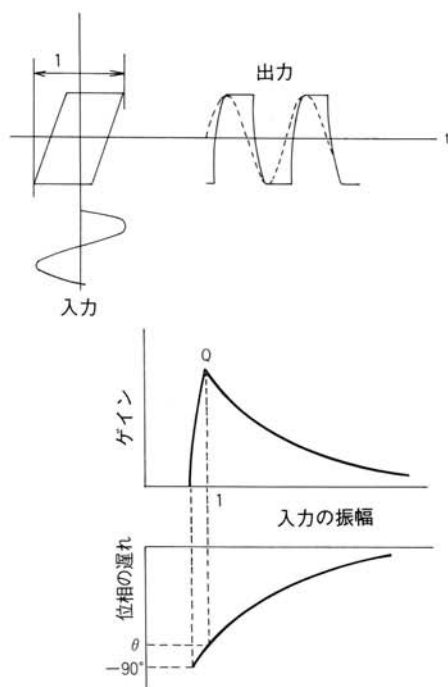


図-11 アクセルリンクのゲインと位相

Fig. 11 Gain and phase characteristics of accelerator link.

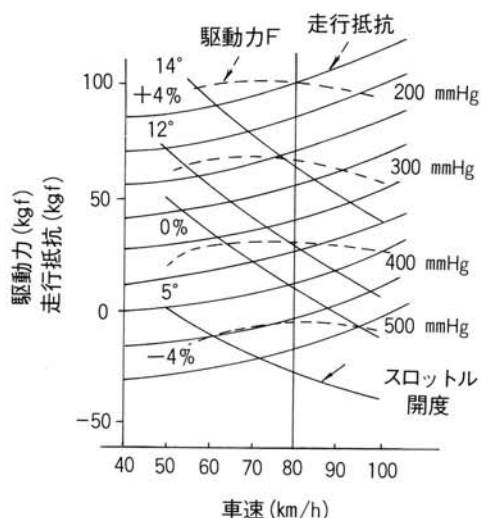


図-12 車両特性

Fig. 12 Vehicle characteristics.

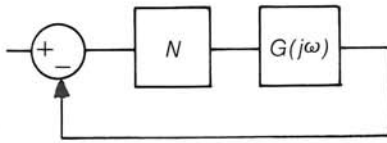


図-13 非線形制御装置

Fig. 13 Nonlinear control system.

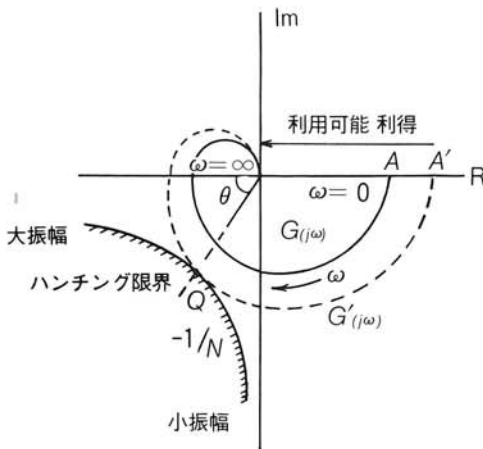


図-14 ガウス平面上の安定性解析

Fig. 14 Stability analysis on complex plane.

安定していることを意味する。

$\omega=0$ で $G(j\omega)=A'$ の時に得られる $G(j\omega)$ の軌跡が、 $-1/N$ の軌跡と接するとすれば、 A' はシステムのゲインの上限、すなわち利用可能な最大ゲインを表す。もし、車が傾斜面を走行しているなどのように外部の要因によって、システムのゲイン A が小さい値に設定されているならば、速度の変動は大きくなる。もし、 A が大きい値に設定されていると、車は急速に目的の速度に達して良好な応答が得られる。しかし、 A が A' に接近したときは、オーバシュート、またはアンダシュートが大きくなって最後にハンチングが発生する。

4.6 パラメータの最適化

パラメータを最適化するためには、フィードバックシステムが安定しなければならず、そのためには車速信号の変動を考慮しなければならない。

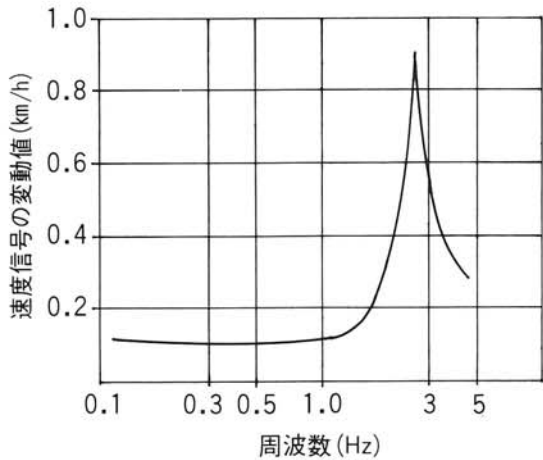


図-15 車速信号の変動スペクトル

Fig. 15 Speed-signal fluctuation spectrum.

車速信号は、スピードメータケーブルによって伝達されるので、もしケーブルのねじり、共振によって生じる角速度の変動がECUのリニア演算限界値を超えると、一定の速度制御は不可能になる。

また、速度信号の変動振幅は車によって相違する。

図-15は、速度信号の最大変動スペクトルを示す。

速度信号変動周波数のスペクトルは、ほぼ3Hzで最大の振幅を持つ。振幅を小さくするために、3 Hzに対するECUのゲインが、8 dB以下にセットされる必要がある。

ECUのパラメータの最適化の条件は、

- 1) 3 Hzに対するECUのゲインを8 dB以下とする。
- 2) 利用可能なゲイン A' をできるだけ大きくする。

ことである。

表-2に列記されたパラメータの組合せを用いて、112種類の場合について、最適の値が求められた(表-3参照)。 θ の値は、アクチュエータの位相遅れである。(図-11参照)

表-2 数値計算に用いるパラメータ値

パラメータ	範 囲	事 象
T_V	20 s	1
T_A	0.85 s	1
T	0-16 s	102
B	10,316	2
T_{FV}	0.044-0.506 s	8
θ	0-90°	7

表-3 最適パラメータ値

パラメータ	最 適 値
T	1.4 s
B	10
T_{FV}	0.1 s

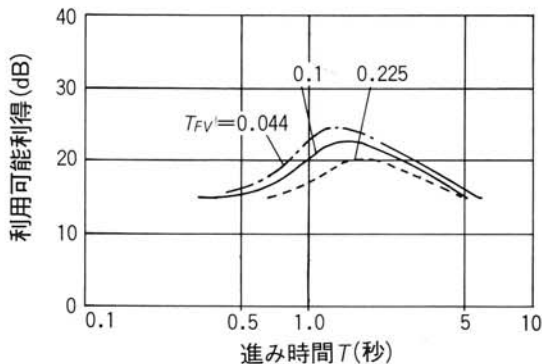
図-16 利用可能利得対進み時間 T Fig. 16 Available gain versus lead time T .

図-16に、進み時間 T と利用可能なゲインの関係を示す。ここで、 $\beta=10$ 、 T は時定数で、 T_{FV} はパラメータである。

最大ゲインは、 $T_{FV}=0.1$ の場合 $T=1.4$ のとき得られる。

図-17は、 T が1.4の一定値にされたときのECUの周波数特性を示す。 $T_{FV}=0.1$ の場合は、ECUのゲインは3 Hzの速度信号の変動周波数で、

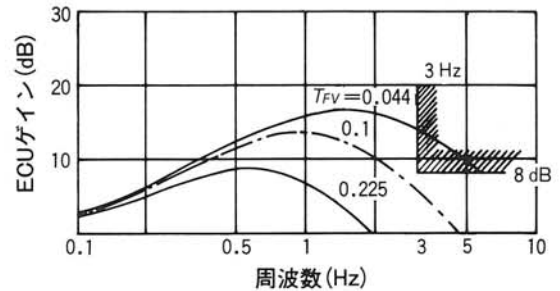


図-17 ECU周波数特性

Fig. 17 ECU frequency characteristics.

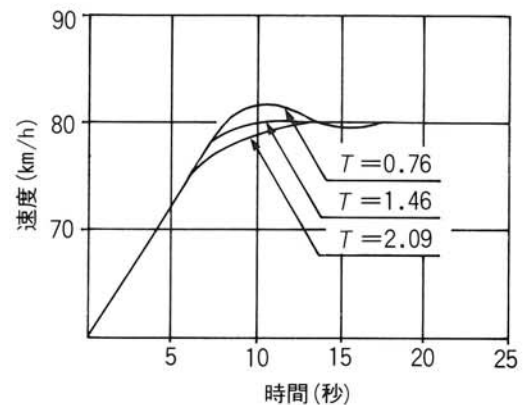


図-18 車速応答

Fig. 18 Speed response.

8 dB以下にセットすることができる。表-3の各値は、前記のECU用パラメータの最適化の条件を満足させるものである。

5. 実車試験結果

図-18は回転ダイヤルのプリセットによって、車が80km/hまで増速されている間に、求められた速度応答を示す。テストは、 $T=0.76$ 、1.46および2.09の場合について $\beta=10$ 、および $T_{FV}=0.1$ で行った。 $T=2.09$ については、目的の速度に急速には到達しなかった。 $T=1.46$ については、目的の速度に行き過ぎることなく急速に到達した。

これが最適値である。

更に、全般の走行テストでは、何ら問題なく満

足な運転性能が得られた。

6. 結 論

以上、定速走行装置の構造、作動、シミュレーションおよび非線形システムの安定性について述べた。

マイクロプロセッサは高度に精密な制御を行い、複雑な論理的操作を可能にする。

著者は、プリセット、トランスミッション制御、フェイルセーフの諸機能のような新しい特徴を備えるマイクロプロセッサ化定速走行装置を開発した。現在、自動車用として使用がより容易で、更に精密なマイクロプロセッサ制御装置の生産を目ざして開発を継続している。

なお、本論文は、参考文献 3) の邦文全訳である。

参 考 文 献

- 1) 谷川著：『定速走行装置(オートドライブ)』、FUJITSU, 第30巻 №5 (1979).
- 2) 落合著：『定速走行装置』、制御学会、第24巻 №5 (1980).
- 3) K. Nakamura etc: Application of Micro-processor to Cruise-Control System, IEEE Trans on INDUSTRIAL ELECTRONICS, Vol. IE-30, No. 2 (1983).
- 4) J. E. Gibson: Nonlinear Automatic Control, New York, McgrawHill (1968).