

人間-自動車系の研究のための自動操縦

—サンプル値, 多位置制御による自動車の自動操縦—

Automatic Tracking Control for the Research of Man-Automobile System
—Sampled Data Multi-position Control for Vehicle. Course Tracking—

平 尾 収*

Osamu HIRAO

自動車は工場の生産ラインから出たままの状態では単なる機械あるいは家具であります。これに人間が乗って道路を走っている状態では、それぞれ意志と感情を持った生物と考えなければなりません、この生物を人間+自動車 (Anthropos+Automobile) ということとで人動車 (Anthro-mobile) と呼ぶことにしています。これは 20 世紀に発生した新しい生物で、この生物の諸特性を明らかにすることが今後の課題であると考えています。

1. 緒言

自動車の自動操縦を研究する場合のねらいには次の四つがある。

- i) 人間-自動車系の特性の研究。
- ii) 危険を伴う限界状態の実験手段の開発。
- iii) 自動車試験コースにおける実用耐久試験手段の開発。
- iv) 将来の高速道路における安全性向上のための自動操縦技術の開発。

これらはいずれも自動車の進歩のために重要なものであるが筆者の研究室では取りあえず、i) に目標をおいた自動操縦の研究をしている。その内容についての解説に入るまえに、これらの研究が将来の自動車への進歩にどのようにつながっていると考えているのか、ということにふれておきたいと思う。

自動車の進歩とはどういうことであろうか？ まずこの問いの答を用意することから始める必要があろう。ここでは自動車の将来の姿を予想し、現在の自動車から将来の自動車への歩みを進歩と称することにしよう。このように考えると、将来の自動車の姿を把握することが必要になるが、そのためには(1)自動車に対する社会的要求がどのようなものになるかということ、(2)自動車を使用される場としての環境がどのようなことになるかということの2点から検討を加えることが必要である。ここではこれらの点についてどのような検討を行なったかという内容については省略するが、結論は、本誌の論説「現代の文明社会と自動車」で説いたように、①安全化、②高速化、③家具化の三つの要素を推進することが将来の自動車への方向、したがって自動車の進歩の方向であろうということになる。

このようにして安全化、高速化および家具化をめざして進歩する自動車にどのような方面からの研究開発が必要かということ、体系的に図示したものが論説の p. 3 の図3である。この図は、安全化に直結する因子としては人間工学、自動化および人間-自動車系に関する研究が必要であることを示している。また高速化のためには人

間-自動車系、主要機構特にタイヤの信頼性および原動機に関する研究が必要であり、最後に家具化のためには原動機の無害化、(排出ガス、振動騒音、熱の防除) 主要各部の耐久性、整備点検の不用化および人間工学の研究が必要であることを示しているが、もちろんこの図に示した九つの要素のどの二つをとっても相互に関連のあるものばかりであって、たとえば自動化は家具化にとって重要な役割をするし、タイヤの信頼性は安全化にとっても重要な因子である。しかしその関連が不可分かつ第一義的である要素同志を近くに配列するということで考えると、同図のような配列になるかと考える次第である。この場合自動化と人間工学の位置を取りかえた方がよいという考え方もあるかとも思われ、筆者自身もその方がすっきりするようにも考えたこともあるが、人間工学と家具化とは非常に強いつながりがあるし、人間-自動車系の研究として取り扱われる人間は、制御系の中で検出・処理・操作を行なう1要素として、入力から出力までの動特性が主として問題にされるもので、人間工学の学問分野ではきわめて新しい分野であるので、心理学の認知と感情の問題、生理学の代謝と疲労の問題、人間の寸法、強度、生存の限界の問題、あるいは快適さなどを扱う医学的な分野をこの図の人間工学に入れて、これらの現象を外乱の一種として考えて入力から出力までの動特性の問題を取り扱う生体機能学的な部分は人間-自動車系(これは人動車学と名づけてもよいと思っている)の研究分野にふくませるように考えたこと、自動化ということは完全自動化に到達する道程においては運転者の負担軽減ということをねらいとして進められるものと考えられるし、また運転者の制御能力の限界を補償する目的で進められることも多いので、このような観点に立てば自動化を人間-自動車系と、人間工学の両方に密接な関連があるものとして配列するのがよいということになるので、図のような配列とした。

このように考えることによって始めにかかげた四つのねらいが自動車の進歩という立場からみた場合、いかに重要であるかということを理解していただけるものと思う。そして上述したように自動化の目標は運転者の環境などの改善による心理的あるいは生理的・肉体的負担軽減

* 東京大学生産技術研究所第2部

と、制御特性の補償による負担軽減の過程を経て、高速専用道路上での完全自動化すなわち自動操縦へとつながるのである。

2. 研究の経過並びに現状

自動操縦の方式には工業技術院機械試験所で開発して来たものがある。これでは自動車の横変位と姿勢角の変化を連続的にフィードバックする方式をとってきたが、このような制御方式による場合の自動車の運動の様子は、人間が操縦した場合のそれとかなり異なった点があることがわかって来た。そこで人間-自動車系の特性の研究の一面として、人間が何をどのように検出しそれをどのようにフィードバックして操縦しているかということを検討する必要があるが、これは実際にはかなり複雑な内容になるものと思われる。しかし種々の観察と検討の結果直線の道路をまっすぐ走る場合、次のような基本的な性質があるものと仮定した。

- イ) 横変位 y については、ある範囲の不感帯がある。
- ロ) 横変位が不感帯の幅を超えると一定の修正操舵が行なわれる。
- ハ) 普通は修正の時の操舵角にはほぼ決まった最小の単位がある。

このような仮定にはまだ種々異論もあることと思うが、それは今後の検討にまつことにしたいと考える。

そこでこのような制御をやった場合の特性がどのようなものになるかということについて、理論的な検討と実験的な研究を進めて来た。その概要はまず図1に示すよ

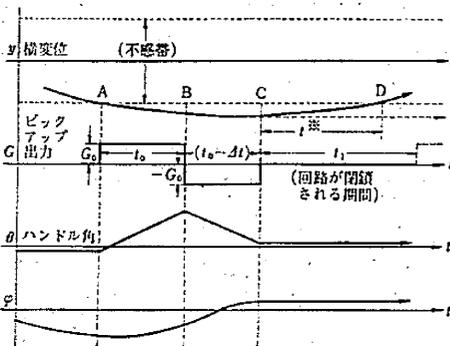


図1 計画中の新しい制御法

うに一定速度 v m/s で走行中、A 点で横方向の変位 y が不感帯をたとえば右方にこえたかすると、ここで自動車側のピックアップには一定のゲイン G_0 が現われる。そしてこの出力は t_0 秒だけ持続し、ここで (B 点で) その符号が反転して出力は $-G_0$ となり、これはさらに $(t_0 - \Delta t)$ 秒持続し (C 点で) 出力は再びゼロになる。この A → B → C のゲインの変化は A 点以後の自動車の動きには無関係に予め定められた $G_0, t_0, \Delta t$ の値をもって発生するようになっている。ハンドル操作はこの G_0 の時間積分に比例して行なわれるようになっているので、たとえば同図の θ に示すような操舵が行なわれることになる。自動車の姿勢角 ϕ はこの θ の時間積分にほぼ比

例するからその変化は、たとえば同図の ϕ に示すようになる。このまた積分がほぼ横変位 y に比例することになるから、A 点以後の自動車の変位は図1の一番上に示した y の曲線のようなになる。この場合図に示すように D 点で再び不感帯に入るわけであるが、これが点線で示すように不感帯にもどらない場合や、たとえもどってもそれまでの時間 t^* が検出装置の閉鎖される時間 t_1 より長いときは A' 点で再び同一の修正操作がくり返されることになるわけである。この最後に述べた場合のようなことが起こると実際には修正の必要がないのに大きな舵を切ってしまうことになって進路が発散してしまうおそれがある。このようなことを防ぐには横変位はまだ不感帯の中にもどってはいないが、中心に向ってもどりつつあるときは操舵を行なわないようにする必要がある。このような機能を持たせるためには検出装置をリヤバンパにも取り付けてフロントバンパの検出量との差によって自動車の姿勢角を検出して横変位が大きくても姿勢角が中心に向いていれば操舵指令がでないようにすればよいわけであるが、第一段階の研究としてはサンプリング制御の方式が成功するかどうかということをもまず確かめることが必要と考え、姿勢角の検出は行なわないで、フロントバンパにおける横変位の検出だけで実験を行なう方針をたてた。この場合 $G_0, t_0, \Delta t, t_1$ をどのように設定するか、たとえば定数でよいのか、走行速度 v の関数にするのか、さらに A 点における ϕ の値、 ϕ_A の値によっても変える必要があるのかなどが問題となる。このようなことを電子計算機やアナコンで検討するにしても非線型の性質が強いのでなかなか困難である。そこでこの非線型の部分の検出装置を試作して、これを用いてアナコンでまず検討を加え、谷田部のコース上で実車による試験を行なった。

そこでまず図2にその回路を示すようなアナコンを用いて種々検討を加えた結果、このようなフロントバンパにおける検出だけでは安定な制御は期待できず、40 km/h 程度の速度でもわずかの外乱で進路が発散してしまうことがわかった。またこの場合前述の $G_0, \Delta t, t_0, t_1$ のえらび方による制御の性質の変化の様子もほぼ把握することができた。この実験で明らかになったことは t_0, t_1 の精度またこれに関連して Δt の精度がかなり重要であるということである。さらに前に述べたような姿勢角の検出が必要欠くべからざるものであることが明らかになった。この結果から谷田部の高速試験場における実車試験において安定に走らせることはちょっと望めないことがわかったが、アナコンの回路は自動車系を非常に単純な系におきかえたものであるので、実車試験の結果がアナコンの結果とどの程度一致するかということも確かめておかなければならないことであるので、この点に重点において実車試験を実施することにした。

3. 谷田部高速試験場における実車試験

試験車をコース上で誘導するための方式は、工業技術院の機械試験所で開発してきた方式、すなわち走路の中央に埋設した誘導ケーブルに 1.5 kc の交流電流を供給

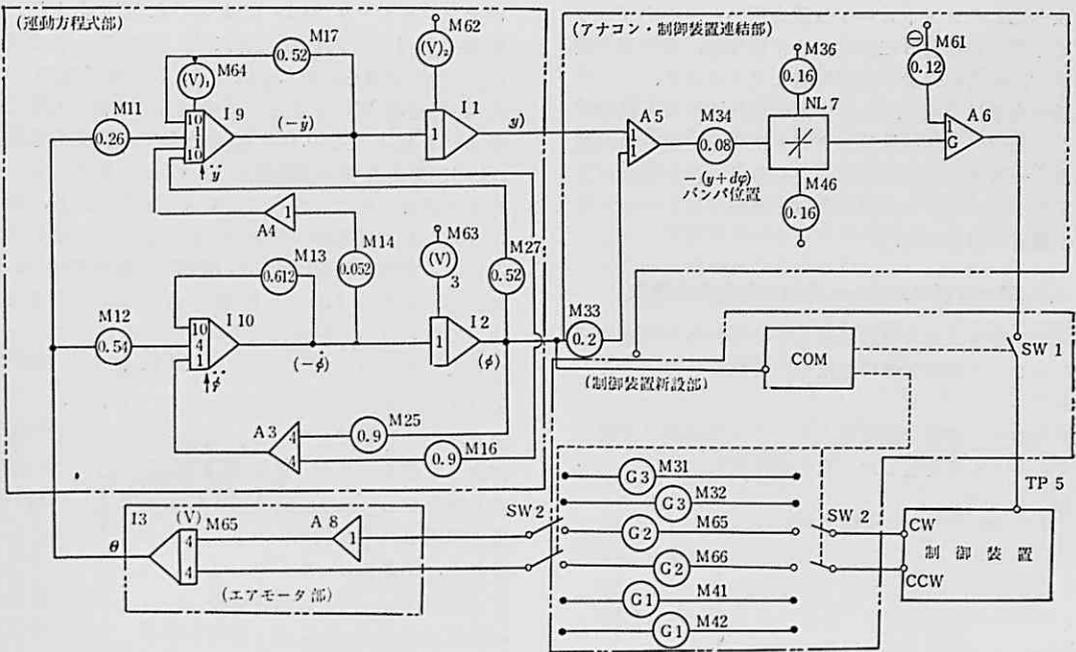


図 2 無人自動車制御装置アナコン回路図

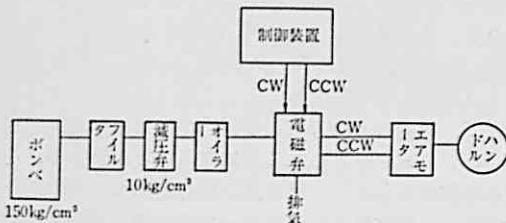


図 3 機構部ブロック線図



写真 2

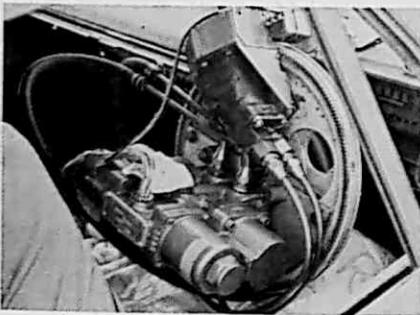


写真 1

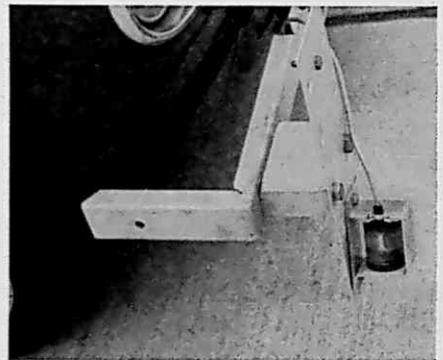


写真 3

して、このケーブルに沿った方向 (x 方向) にはほぼ電界が一樣となるようにし、自動車のパンパの両端に設けた感応コイルの出力の差 V_y が、誘導ケーブルの位置からの横方向の変位 (y) に比例するように配置して、この V_y を検出して誘導する方式である。今度の方式では、これを前節で説明したようなパルス化の処理を経た上で、これを電磁弁の操作に変えて、室室ポンベの圧力によって作動する空気モータの回転に変えて操舵を行なわ

せるようにしたコントロール装置を用いた。そのブロックダイヤグラムを図3に示す。また操作部、動力源の空素ポンペ、検出部をおのおの写真1, 2, 3に示す。

実験の結果は予想のとおり安定に走行することはわずかしかったが、制御特性はアナコンによって得られた結果とよく一致することが明らかとなり、今後の検討は主としてアナコンによる実験によって進めて差しつかえないとの確信が得られた。

4. アナログコンピュータおよびその使用法

アナコンを用いての実験に際していろいろの問題に遭遇したので、具体的な使用法について概略をのべることにする。

まず自動車の運動方程式は、ローリングの項は省略した次式を用いることとした。重心の座標について

$$\left. \begin{aligned} \frac{W}{g}\ddot{y} &= -c_1 \left\{ \frac{\dot{y} + l_1 \dot{\psi}}{V} - (n\theta + \varphi) \right\} \\ &\quad - c_2 \left\{ \frac{\dot{y} - l_1 \dot{\phi}}{V} - \varphi \right\} \\ \frac{J}{g}\ddot{\phi} &= -c_1 l_1 \left\{ \frac{\dot{y} + l_1 \dot{\phi}}{V} - (n\theta + \varphi) \right\} \\ &\quad + c_2 l_1 \left\{ \frac{\dot{y} - l_2 \dot{\phi}}{V} - \varphi \right\} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

実験に使用する自動車の諸元として (記号の定義は図4参照)

$$W=1360 \text{ (kg)}, J=1960 \text{ (kg-m}^2), n=\frac{1}{20}$$

$$l_1=1.2 \text{ m}, l_2=1.4 \text{ m}, d=2 \text{ (m)}$$

$$c_1=c_2=3600 \text{ (kg/rad)}$$

を用いることにすると

$$\left. \begin{aligned} \ddot{y} &= -26.0 \left\{ \frac{2}{V}\dot{y} - \frac{0.2}{V}\dot{\phi} - \frac{\theta}{20} \right\} \\ \ddot{\phi} &= -18.0 \left\{ \frac{-0.2}{V}\dot{y} + \frac{3.4}{V}\dot{\phi} + 0.2\theta - \frac{1.2\theta}{20} \right\} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

となる。ここでさらに $V=10 \text{ (m/s)}$ の場合を考えると

$$\left. \begin{aligned} \ddot{y} &= -5.2\dot{y} + 0.52\dot{\phi} + 52\theta + 1.3\theta \\ \ddot{\phi} &= 0.36\dot{y} - 6.12\dot{\phi} - 3.6\theta + 1.08\theta \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

となる。これをアナコンにかける場合に演算精度の点から (3) 式中の係数は 10 以内に納めなければならず、できれば 1 付近、さらに欲をいえば 1 より小さくなるようにしたいわけである。そこでまず (3) 式中の一番大きな係数 [52] を 10 以下の値にするために $10\varphi = \theta$ とおいて係数変換を行なうと (3) 式は

$$\left. \begin{aligned} \ddot{y} &= -5.2\dot{y} + 0.052\dot{\phi} + 5.2\theta + 1.3\theta \\ \ddot{\phi} &= 3.6\dot{y} - 6.12\dot{\phi} - 3.6\theta + 10.8\theta \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

となる。この (4) 式で θ の係数に [10.8] というのができてしまったのでこれをまた 10 以下にするために $5\theta = \theta$ とおいてふたたび係数変換を行なうと

$$\left. \begin{aligned} \ddot{y} &= -5.2\dot{y} + 0.052\dot{\phi} + 5.2\theta + 0.26\theta \\ \ddot{\phi} &= 3.6\dot{y} - 6.12\dot{\phi} - 3.6\theta + 2.16\theta \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

この (5) 式をアナコンに組み立てたのが図2の運動方程式部である。すなわち図2中の積分器 I9 によって \dot{y} が積分されて $-y$ に相当する出力がでてくる。これを

ポテンショメータ M17 によって 0.52 におとし、これを積分器 I9 に入れるときに 10 倍することによって $[-5.2\dot{y}]$ が得られたことになる。次に第2項の $[0.052\dot{\phi}]$ は、積分器 I10 によって $\dot{\phi}$ を積分して得られる $[-\dot{\phi}]$ を M14 によって 0.052 におとし、精度を考慮して A4 の加算器を符号変換器に用いて正の値にして、これをそのまま I9 に入れることによって作られる。第3項の $[5.2\theta]$ は前記の $[-\dot{\phi}]$ を積分器 I2 で積分することによって得られる $[\phi]$ を M27 によって 0.52ϕ におとし、これを I9 に入れるときに 10 倍することによって作られる。最後に $[0.26\theta]$ の項はエアモータ部からでてくるハンドル角 θ を M11 にて 0.26θ にして I9 に入れてやることによってつくられる。

まったく同様にして (5) 式中の $\dot{\phi}$ の式は積分器 I10 によって作られるが、その第1項 $[3.6\dot{y}]$ は積分器 I9 から得られる $[-\dot{y}]$ を M16 によって $[-0.9\dot{y}]$ にして加算器 (符号変換器) A3 に入れるときに 4 倍して得られる。第2項 $[-6.12\dot{\phi}]$ は I10 から得られる $[-\dot{\phi}]$ を M13 によって $[-0.612\dot{\phi}]$ とし、これを 10 倍して I10 に入れることによって作られる。つぎに第3項の $[-3.6\dot{\phi}]$ は前記の $[-\dot{\phi}]$ を積分器 I2 によって $[\phi]$ とし、これを M25 で $[0.9\phi]$ に換え、符号変換器として使用した加算器 A3 に 4 倍して入れることによって得られる。また最後の $[2.16\theta]$ の項はエアモータ部からの θ を M12 によって $[0.54\theta]$ に換え、これを 4 倍して I10 に入れることによって作られる。このようなことで、図2の運動方程式の回路が自動車の運動方程式 (5) をシミュレートしたことになることがわかる。そしてこの部分からの出力は車体の重心点のコース中心からのずれ y と姿勢角すなわちコース中心線と車体中心線のなす角 φ に相当するものである。ところがハンドルを制御するための検出量は、今回はこの y でも、 ϕ でもなく、自動車の前バンパの位置における横方向の変位 y_1 なのである。

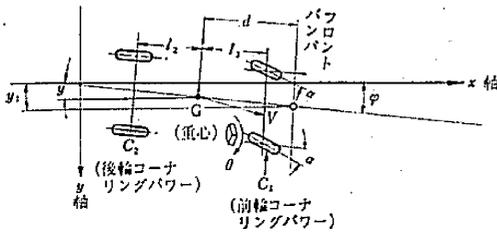
しかして図4から

$$y_1 = y + d\varphi \text{ なる関係があるから } d=2 \text{ (m)}$$

$$10\varphi = \phi \text{ として}$$

$$y_1 = y + 0.2\phi$$

が検出すべき値となる。そこで再び図2にもどってアナコン制御装置連結部でこの y_1 を作るために運動方程式部からでてきた $[\phi]$ を M33 によって $[0.2\phi]$ にして A5 にて y と加算して $[-(y+0.2\phi)]$ すなわち $[-y_1]$ を作る。ここで 41 年度に試作した「制御装置」の入力に演算レベルを合わせるために M34 で電圧をおとして $[-0.08y_1]$ とし、かつ制御装置を保護する目的で NL7 で $[0.08y_1]$ の電圧が過大にならないように絶対値が 8 Volt を超えないようにリミッタを設け、これを A6 にて符号変換して正になおして、SW1 を経て制御装置の T.P.S. に連結するようになっている。この場合アナコンの方はゼロ Volt 基準の $\pm 100 \text{ V}$ で演算を行なうようになっているのに対し、制御装置の方は $+12 \text{ V}$ 基準の $0 \sim 24 \text{ V}$ で演算を行なうようになっているので、この両者を結合するに当たって、M34 でゲイ



$W = \text{総重量}, J = \text{重心まわりの慣性モーメント}, n = \frac{\theta}{\alpha}$

図 4

ン調整, M61 で基準レベルの調整をして両者の演算レベルを合致させるようになっている。演算を始めるときの初期値の与え方としては、たとえば、自動車は始め中心線上にあって ϕ_0 の姿勢角を有し、速度は V であるとする、時間 $t=0$ においては

$\phi = \phi_0, y = 0, \dot{y} = V\phi_0$ として計算することになる。

これをアナコン上に設定するには M64 で \dot{y} , M63 で ϕ を与えればよいことになる。ここで実際の自動車で起こる現象とアナコンで与える数値との対応は次のようになる。実際のテストコース上の自動車の前パンパの中心が中心線から 0.2 m 右へずれたときにピックアップの出力が +3V になるようになっているから、M34 のゲイン部を逆行して y のそれに対応する電圧を M62 で測定すればよいことになる (M62 のポテンシヨの目盛の 100 倍が求める電圧である)。この回路ではこのようにして y_1 の 1 m 当たりの電圧を求めると 40 Volt となる。このことから ϕ, θ も 1 rad が 40 Volt に対応することになる。しかして始めに係数変換で

$10\phi = \phi$
 $5\theta = \theta$ とおいたから

始めの姿勢角と速度を $\phi_0 = 2.5^\circ = \frac{2.5}{57.3} \text{ rad}, V_0 = 10 \text{ m/s}$

とする場合は

$\phi_0 = 10 \times \frac{2.5}{57.3} \times 40 \approx 17.5 \text{ V}$

$\dot{y}_0 = V\phi_0 = 10 \times \frac{7.5}{10} = 17.5 \text{ V}$

の電圧をそれぞれ M63, M64 のポテンシヨメータで与えればよいことになる。制御装置の出力を SW2 を通じてそのままエアモータ部に入れたのが前述の 41 年度の実験である。

5. 今後の計画

以上述べたようにこれまでの制御では、検出は自動車の前パンパの位置における横変位 y_1 であって、この値があらかじめ設定された不感帯 D を越えると操舵が行なわれて、自動車姿勢を基準線に向けるように制御する方式であるが、速度が速くなると、上述のような操作によって自動車の姿勢角が変わり、基準線側に向いていてもそのときの y_1 が D を越えていると、さらに内側へ向う操舵が行なわれて進路が発散していくことが起こるといことが実験の結果明らかになったので、検出用ピック

アップを後部パンパにも取り付けて、これまでの y_1 の外に自動車の姿勢角 ϕ をも検出した場合の制御について検討することにした。すなわち走行中に前部パンパにおける横変位 y_1 が不感帯の幅 D を超えていても姿勢角 ϕ が道路中心線方向に向いているときには操舵を行わず、姿勢角 ϕ が y_1 をますます大きくする外側に向いているときだけ操舵が行なわれるようにして、さらにこのときの操舵の量は ϕ の大きさによって適当な値を選択する方式を試みることにした。

このような制御を行なったときの走行性能をアナコンにて検討するために図 2 に新設部として記した回路を用いて次のような操作を行なって実験した。

① y_1 と ϕ の符号が異なるとき、すなわち $y_1 \times \phi \leq 0$ のときは SW1 を OFF にする。

この操作は自動車の前パンパの横変位 y_1 がたとえば (+)、すなわち右側の方で、かつその時の車の姿勢角が (-) すなわち左向きで走路の中心線の方に向いているときは操舵を行なわないようにすることである。

② y_1 と ϕ が同符号であるときは、さらに次の操作を行なう。すなわちそのときの自動車の姿勢角 ϕ があらかじめ定められた値 ϕ_1, ϕ_2 に対して $|\phi| < \phi_1, \phi_1 \leq |\phi| \leq \phi_2$, あるいは $\phi_2 < |\phi|$ のいずれであるかを判定し、操舵量を G1, G2 あるいは G3 のいずれにするかを選定して制御する方式である。図 2 の回路図の I2 の出力 (ϕ) をオシロスコープで測定し、 ϕ の値を求め、その値の ϕ_1, ϕ_2 との大小関係によって G1, G2, G3 のいずれを選ぶかをきめて切換スイッチ SW1 を設定した上で SW1 を ON にして実験を行なった。

実験に当たってまず問題になるのは G1, G2, G3 すなわちハンドルゲインをきめる図 2 の M31, 32, M65, 66 および M41, 42 のポテンシヨメータの目盛 G_i をどのように設定するかということである。1 回の操舵によって変化する姿勢角はこの G_i と操舵に要する時間と速度とできまるが、この実験では操舵時間は一定にしたので G_i と 1 回の操舵による姿勢角の変化と走行速度との関係は次表のようになる。

表 1 図 4 の操舵による姿勢角 ϕ (deg) の変化 $\Delta\phi$ に及ぼす走行速度 V (m/s) および出力ゲイン調節用ポテンシヨメータの目盛 G_i の影響

$V \backslash G_i$	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
10 (m/s)	0	1.1	2.2	3.3	4.4	5.5
20 (m/s)	0	1.6	3.3	5.0	6.6	8.2

まず一番小さいゲイン G1 の値は外乱のきわめて小さい直線道路を走るときに蛇行の振幅をきめるものとなる。いま $V=20$ (m/s) で走行する場合、姿勢角が道路中心線の方向に対して 1° 変化したとすると、横方向の移動速度 $\dot{y} \approx 0.36$ (m/s) となる。許容振幅を左右それぞれ 1 m とし、たとえば道路の中央から 1 m 左側で中心に向って 1° の姿勢角をもったとすると中心線を通り過ぎて右側 1 m に達するまでに約 6 秒かかり、ここで姿勢角

を 2° だけ修正して道路の中心方向に向って 1° の姿勢角にしたとすると再び左側 1 m のところに達するまでにさらに約 6 秒を要することになる。このように左右 1 m に達する毎に姿勢角を 2° ずつ修正して、交互に中心線に向って 1° の姿勢角で走るとすると周期約 12 秒で振幅左右それぞれ 1 m の蛇行をしながら走ることになる。この場合姿勢角の修正量 $\Delta\varphi=2^\circ$ としたが、 $\Delta\varphi=1^\circ$ とすると、修正後の姿勢角は丁度ゼロとなり、中心線と平行に走ることになる。しかし自動車の積分性のために時間の経過とともに姿勢角が変化してやがて $\Delta\varphi$ だけ修正操舵が行なわれて再び 1° の姿勢角で中心に向うことになるはずである。この場合さらに $\Delta\varphi=2/3^\circ$ とすると 1° の姿勢角が $2/3^\circ$ だけ修正されると姿勢角は $1/3^\circ$ となり、さらにもう一度修正されて $-1/3^\circ$ となり、次の修正で $+1/3^\circ$ となり、これで定常的な蛇行に入ることになる。そしていかなる角度で入射しても $2/3^\circ \sim 1/3^\circ$ の間の姿勢角で中心線の左右に蛇行することになるはずである。この蛇行動、すなわち G1 の値はできるだけ小さく、とりたいては 0.4° であるが、そうすると後に述べるように G2, G3 の値も小さくならなければならないことになって大きな外乱が作用した場合に振幅が非常に大きくなって路外に転落することにもなる。

6. サンプル値、多位置制御の切換え点と修正量の選定について

そこで G1, G2, G3 および φ_1, φ_2 のきめ方については G1, G2, G3 のゲインの時の 1 回の操舵による姿勢角の変化をそれぞれ $\Delta\varphi_1, \Delta\varphi_2$ および $\Delta\varphi_3$ とすれば当然 $\Delta\varphi_1 > \Delta\varphi_2 > \Delta\varphi_3$ となる。そしていま自動車の始めの姿勢角 φ_0 が $|\varphi_0| \leq \varphi_1$ (G1 領域), $\varphi_1 < |\varphi_0| \leq \varphi_2$ (G2 領域) または $\varphi_2 < |\varphi_0|$ (G3 領域) のいずれかの領域に属しているとき操舵が行なわれたとき、姿勢角がゲインの大きい方の領域に移ることがないためには

$$\Delta\varphi_1 < \varphi_1 < \Delta\varphi_2 < \varphi_2 < \Delta\varphi_3$$

であることが必要である。

次に G1 領域の限界すなわち $\varphi_0 = \varphi_1$ のときには $\Delta\varphi_1$ だけの姿勢角修正が左右交互に行なわれるわけであるからこのときに左右の蛇行が対称になるためには

$$\varphi_1 - \Delta\varphi_1 = 2\Delta\varphi_1 - \varphi_1$$

すなわち

$$\varphi_1 = \frac{3}{2}\Delta\varphi_1$$

となる。

次に φ_0 が G2 領域にある場合には、必ず 1 回の修正操作によって G1 領域に移行するためには

$$(|\varphi_0| - \Delta\varphi_2) \leq \varphi_1$$

でなければならない、いま極限の値として

$$|\varphi_0| = \varphi_2, \quad |\varphi_0| = \varphi_1 \quad \text{とすると}$$

$$\varphi_2 - \Delta\varphi_2 = \varphi_1 \quad \text{および}$$

$$\Delta\varphi_2 - \varphi_1 = \varphi_1$$

を得る。すなわち

$$\left. \begin{aligned} \Delta\varphi_2 &= 2\varphi_1 \\ \varphi_2 &= 3\varphi_1 \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

(7) 式と (6) 式から

$$\left. \begin{aligned} \varphi_1 &= \frac{3}{2}\Delta\varphi_1 \\ \varphi_2 &= \frac{9}{2}\Delta\varphi_1 \\ \Delta\varphi_2 &= 3\Delta\varphi_1 \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

を得る。同様にして G3 領域の上限 φ_3 をきめるならば

$$\left. \begin{aligned} \varphi_3 &= \frac{27}{2}\Delta\varphi_1 \\ \Delta\varphi_3 &= 9\Delta\varphi_1 \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

を得る。今回の計画では

$$\Delta\varphi_1 = 0.4 \text{ (deg)} \quad \text{としたから}$$

$$\varphi_1 = 0.6 \text{ (deg)}, \quad \varphi_2 = 1.8 \text{ (deg)}, \quad \varphi_3 = 5.4 \text{ (deg)}$$

$$\Delta\varphi_2 = 1.2 \text{ (deg)}, \quad \Delta\varphi_3 = 3.6 \text{ (deg)} \quad \text{となる。}$$

このように選べば $\varphi_2 \geq \varphi > \varphi_1$ の任意の姿勢角のとき 1 回の修正操舵で姿勢角は φ_1 以下になり $0.6 \sim 0.2^\circ$ の蛇行動に移行することになる。同様に $\varphi_3 = 3\varphi_2 = 5.4^\circ$, $\Delta\varphi_3 = 3\Delta\varphi_2 = 3.6^\circ$ とすれば外乱による 5.4° までの姿勢角変化に対して姿勢角 φ は 1 回の操舵で $\varphi_2 \geq |\varphi|$ となり、少なくとも 2 回目の操舵によって $\varphi_1 \geq |\varphi|$ となり、その後 2 回以内の操舵で $0.4^\circ \sim 0.2^\circ$ の定常的蛇行に入らる。

7. む す び

このような制御をアナコンで実験することを目下準備中である。また実車走行試験のための操作部は現在のものはゲインが大きすぎたことは始めにも述べたが、種々検討の結果、エアモータのギヤ比をさらに約 1/14 に減速することにして、これも目下準備中である。

(1967 年 10 月 26 日受理)

