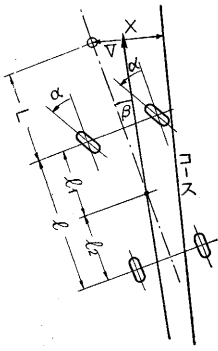


自動車 の 自動 操 縦

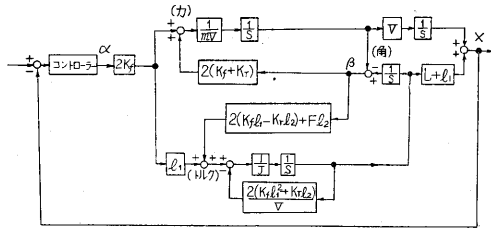
菊 池 英 一

軌道によらない航行体のうち、自動操縦の実現していないのは自動車だけである。自動操縦といってもエンジンの回転数の制御とか遠隔操縦はすでにある技術を応用すれば解決は困難ではない。大空や海上を一定方向に航行できる航空機や船舶と違って道路に拘束される自動車の場合の問題点はコースを何によって与え、コースからの偏差をいかにして検出するか、制御装置(コントローラ)をどのような方式で実現するかにある。



第 1 図

自動車の制御対象としての性質を調べるために、人間が運転手席に坐って遠く前方をみて操縦する場合を真似て象の鼻のように車体から前方に棒を出し、その先になんらかの限の働きをするものをつけてコースからの偏差を測る場合を考えてみる(第1図)。こうして測った偏差に基いて前輪の舵角を決めるものとして微分方程式^{1),2),3)}を立て、それをブロック線図に書いてみ



第 2 図 自動車の運動を示すブロック線図。矢印は信号の進む方向を示す。2k_f から分岐して、上は速度に直角方向の直進運動、下は重心廻りの回転運動を示すが、相互干渉のあることがわかる。

ると第2図のようになる。ブロック線図は信号の流れを表わすがこれからアナログコンピューターを組立てると自動車の運動性の simulator になり設計の際の検討に便利であろう。図中の記号は次のとおりとし、空力的項は省略してある。

- m : 自動車の質量, $\text{kg sec}^2/\text{m}$
- l : 軸距, m
- l_1, l_2 : 重心から前後軸までの距離, m
- J : 自動車の重心をとる鉛直軸廻りの慣性モーメント, kgm sec^2
- k_f, k_r : 前後輪タイヤの cornering power, kg/deg .
- F : 自動車の推力, kg
- α : 前輪の舵角, deg .
- β : 自動車の中心線と重心の運動方向とのなす滑り角, deg .
- L : 前車軸から“眼”までの距離, m

X : コースからの偏差, m

V : 自動車の速度, m/sec

s : ラプラス変換の複素パラメーター, $1/s$ は積分演算を表わす。

旋回時の車体の左右の傾斜、荷重の移動によるタイヤの cornering power の変化、車体の横方向の弾性は無視した。

自動操縦の場合には power steering を使って直接前輪の舵角をとるから、ハンドルから前輪までの力学系は無視できて、前輪舵角 α から重心で測ったコースずれ X_0 までの伝達関数 G_1 は

$$G_1 \equiv \frac{X_0}{\alpha} = \frac{2k_f \cdot V (J \cdot s^2 + \frac{2k_f l l_2}{V} \cdot s + s^2 [mJV \cdot s^2 + 2\{m(k_f l_1^2 + k_r l_2^2) + J(k_f + k_r)\} s + \frac{2k_r l - Fl_2}{V} (k_f + k_r) - mV\{2(k_f l_1 - k_r l_2) + Fl_2\}] (m/kg)$$

また同じく舵角 α から“眼”のところまで測ったコースずれ X までの伝達関数を G_2 とすると

$$G_2 \equiv \frac{X}{\alpha} = \frac{2k_r \cdot V [J + (l_1 + L)l_1 m] s^2 + \frac{1}{V} \{2k_r l (l + L) \times F_2\} s + 2k_r l - Fl_2}{s^2 [mJV \cdot s^2 + 2\{m(k_f l_1^2 + k_r l_2^2) + J(k_f + k_r)\} s + \frac{4(k_f l_1^2 + k_r l_2^2)(k_f + k_r)}{V} - mV\{2(k_f l_1 - k_r l_2) + Fl_2\}] (m/deg)$$

G_1, G_2 を比較すると分母は全く同じである。分母の2次項を

$$mJV \cdot s^2 + 2\{m(k_f l_1^2 + k_r l_2^2) + J(k_f + k_r)\} s + \frac{4(k_f l_1^2 + k_r l_2^2)(k_f + k_r)}{V} - mV\{2(k_f l_1 - k_r l_2) + Fl_2\} = 0$$

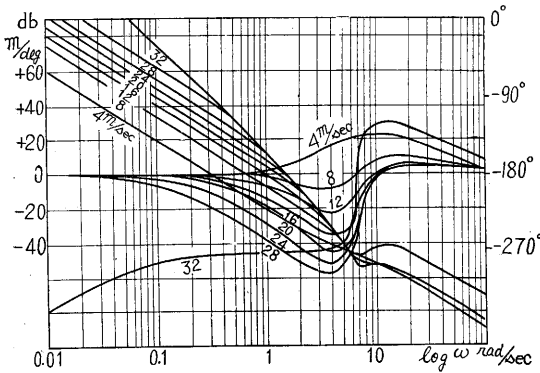
とおけば自動車の特性を示す式となる。自動車の運動性の目安となる時定数は

$$\sqrt{\frac{mJV}{4(k_f l_1^2 + k_r l_2^2)(k_f + k_r) - mV\{2(k_f l_1 - k_r l_2) + Fl_2\}}}$$

で表わされ、この数値を小さくするには自動車の設計上、 m, J を小さく、 $k_f l_1 = k_r l_2$ 、もし $k_f = k_r$ なら $l_1 = l_2$ にすればよいことがわかる。伝達関数 G_1, G_2 の分子の2次項の s^2, s の係数は G_2 の場合の方が大きくなる。分子は自動車を操縦するために加える舵角 α による外力がどのような関数形になっているかを示すのであるが、“眼”のところまでコースずれを測った方が舵角 α の2次微分および1次微分の係数が大きく安定性が改善されることがわかる。分母の s^2 を左辺の分子に移せば、舵角と左右方向の加速度との関係式になる。

研究速報

人間が操縦する場合にはハンドルに加わる入力はトルクであって第2図のコントローラから前輪舵角 α までの間に操縦装置のブロック線図が挿入され、車体に働く遠心力と前輪タイヤに働く self-aligning トルクの相互作用からシミーの問題ともつながってくる。コントローラとしてみた人間には出しうるトルクと応答速度に限度があるので、制御対象としての自動車を人間の操縦しやすいように設計する必要が起ってくる。



第3図 自動車のボード線図 計算値

左側縦軸は(コースずれ, m)/(前輪舵角, deg)を db ($=20\log_{10} \alpha$) 単位で示し、横軸は角周波数 ω (rad/sec) を対数で表わしたもの。右側縦軸は位相遅れを示す。右下りの曲線群は(コースずれ)/(前輪舵角)を表わし、 -180° 線の上下にうねる曲線群は位相遅れを示す。パラメーターの数字は自動車の速度 (m/sec)。

第3図は次のような数値を仮定して舵角 α から重心で測ったコースずれまでの伝達関数 $G_1 \equiv X_0/\alpha$ (m/deg) を計算した Bode 線図を示す。

$$m = 172 \text{ kg sec}^2/\text{m}, \quad l = 2.5 \text{ m}, \quad l_1 = l_2 = 1.25 \text{ m}, \\ J = 191 \text{ kgm sec}^2$$

第3図の Bode 線図は直線コースを基準にして左右に正弦波状に一定振幅で舵角を変えて自動車を蛇行させ、舵角を変える周波数をだんだん高めていった場合に自動車の重心が直線コースから偏れる距離の最大値が、周波数と共にどのように変わるかまた舵角とコースずれとの位相差が周波数と共にどのように変化するかを示すものと考えれば理解されよう。

前車軸から“眼”までの距離 L が数 m の範囲でも、速度が 10 km/h 以下ならコースからの偏差に比例して舵角をとる比例制御でも操縦できるが、10 km/h 以上になると自動車の伝達関数 G_1, G_2 が k/s^2 の形に近いものとなって比例制御だけでコースに従わせようとしてもいったんコースから外れると発振して蛇行が止まらないことがわかる。 L を数百 m にとると人間が遠く前方を見て操縦する場合に相当し、コースに対する車体の姿勢角をも検出していることになり操縦が楽になるが、実際問題として“象の鼻”を長くすることには限度があるのでコントローラに補償回路を入れて比例+微分制御にする必要がある。高速になるとある速度以上(第3図

では 32 m/sec 以上)では伝達関数 G_1, G_2 の分母の2次項の s の0次の項が負になるので自動車の運動の性質が急になって、もはや最小位相系ではなくなりいわゆる oversteering の領域に入って操縦が難しくなる。重心が比較的后方にあるトラック・バスでは乗用車よりも oversteering に入る速度が低いので重心の高いこととあいまって運転の安全上からも問題である。

最近各方面の努力によって自動車の運動性能解析に必要な数値が発表され始めている。人間が操縦する場合、直線走行中にハンドルに刺戟を与えて手放したときの過渡応答のデータがえられているが⁵⁾、数値を仮定した計算と実測値とは傾向が合わないことから操縦系の力学も考慮に入れた自動車全体の運動理論を進展させる必要があることがわかりこれについては目下研究を進めている。

実験によって自動車の各要素のデータを集めておけば操縦システムに対する外乱の影響、適正な操舵力の選定、power steering 等について有力な情報がえられる見込がある。

航行体の運動は滑りを伴うから微分方程式が連立し解き方が面倒であるがラプラス変換して代数方程式に変える自動制御的手法では比較的簡単に解析を進めうるし、設計上の最終目標に合うように各要素を調整するいわゆるシンセシスの立場にも進みうるところに特長がある。

実験的にはベルト掛けしたドラムに模型自動車をのせ光電管でコースとして黒白の境を検出する方式で自動操縦の一応の可能性を確かめることができた。実際の自動車による自動操縦の実験も計画中であるが現状では車上で直流電源しかえられないのでサーボアンプが窮屈になる等幾多の問題がある。

自動車の自動操縦はたとえ実現したとしても雑沓する街路を巧みに走り抜けるようなものは望めないであろうが、運動性能の研究、衝突による強度試験、工場内の運搬車等には利用の途が開けそうに思われる。

終りにご指導を賜った高橋、平尾両教授ならびに大島助教に厚く感謝の意を捧げる。(1956. 3. 20)

文 献

- 1) 近藤：自動車の安定性・操縦性・運動性，自動車技術，Vol. 8, No. 2, 1954, p. 65.
- 2) 藤井：自動車の方向安定性に対する舵取装置の弾性の影響 機械学会第612回講演会，機械力学・自動制御部門連合講演会前刷 p. 8
- 3) 菊池：自動車の自動操縦(第1報) 自動制御研究会資料 No. 7, 1955, p. 9.
- 4) 浅井・土生 無人電動運搬車 自動制御 No. 3, 1955, p. 55.
- 5) モーターファン 2月, 1956, p. 93.