

自動車の追従行動の安定性

九州大学工学部 ○学生員 花島 初善
九州大学工学部 学生員 棚田 裕宣
九州大学工学部 正 員 角 知憲
九州大学工学部 正 員 壇 和喜

1. はじめに

追従理論とは、自動車が一列になり前の車に追従している運動を論じたものである。ここでは、よく知られた追従理論と我々の提案する追従理論の安定性をナイキスト線図とボード線図から比較して考察する。追従理論で扱われる安定性には、特定の車の速度安定性と車列内でんぱんする速度変化の安定性があり、前者をナイキスト線図、後者をボード線図ではんべつする。

2. 追従理論の自動制御モデル

図-1 は一般的に論じられている追従理論のブロック線図である。λは運動方程式から得られた常数であり、 $\frac{1}{s}$ は積分を表している。 e^{-sL} は無駄時間

間を表す関数である。つまり通常無駄時間は、人の神経系の応答遅れを表すのに用いられる。ところが、実際の運転においてはこれだけではなく意識的な遅れや筋肉的な遅れも伴っているものである。通常の運転では後者の遅れによる方が大きいであろう。

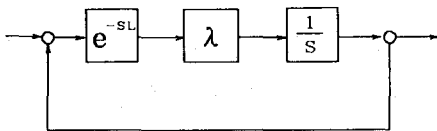


図-1 追従理論の自動制御モデル

ナイキスト線図では、一巡伝達関数で $s = i\omega$ と置き ω を $-\infty$ から $+\infty$ に対するベクトル軌跡を描き $(-1, i0)$ の点を左に見て進めば安定で、右に見て進めば不安定であり、ボード線図では、伝達関数のゲイン（絶対値）と位相ずれをとりゲインが1以上の時先頭車の速度変化が拡大され、1以下の時減衰される。つまり、1以上で不安定で、1以下で安定となる。

図-1のブロック線図を伝達関数で表すと次のようになる。

$$G(s) = \frac{\frac{\lambda}{s} e^{-sL}}{1 + \frac{\lambda}{s} e^{-sL}} \quad \text{***** (1)}$$

パラメーターの値は、 $L=0.72, \lambda=1.31$

それで、(1)式のボード線図を図-2, 3 ナイキスト線図を図-4 に示す。

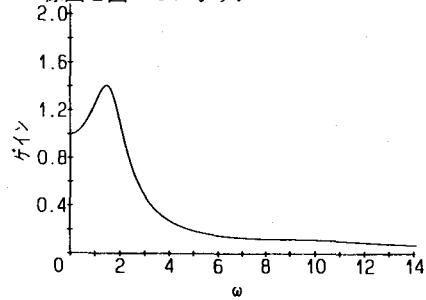


図-2

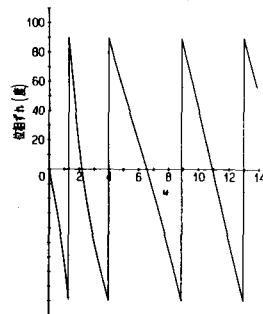


図-3

この3つの図を見て分るように図-4では $(-1, i0)$ を左に見ているので安定であるが、図-2

を見るとゲインの値が ω が2.3位の間まで1を越えているのが分かるがこれはつまり、0.44秒という短い周期で増幅されていることで、不安定であり危険な状態という結論になる。

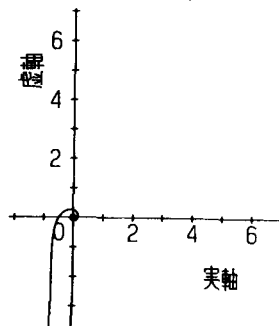


図-4

3. 追従車のモデルの安定性

図-5のモデルは我々が、追従理論として提案したものである。

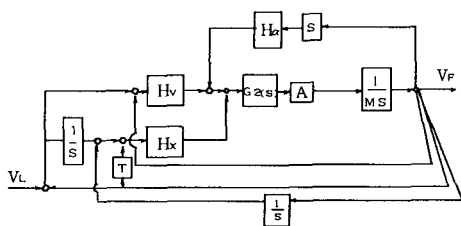


图-5

図-5のパラメーターを説明するとTは将来の車間距離を予測する時定数で、 H_v , H_x , H_a は速度差、車間距離及び加速度に関する人の応答関数である。 $G_2(S)$ は人の2次遅れを表す定数で、 $G_2(S) = \frac{1}{(ps+1)^2}$ と表される。 A は動力に関する定数である。 M は自動車の走行時における換算質量であり、 $M \cdot S$ は加速抵抗である。また S と H_a は加速に関する関数である。

また、伝達関数を示すと次のようになる。

$$G(s) = \frac{(H_v + H_x T) \phi}{H_v (1 + \phi) + H_x T \phi} + \frac{H_x \phi}{s (H_v (1 + \phi) + H_x T \phi) + H_x \phi}$$

$$\phi = \frac{AH_v G_2(s)}{M_s + AG_2(s)H_v s} \text{ である。これは自動車}$$

パラメーターは、 $H_v=1.100$, $H_\alpha=2.214$, $p=0.221$, $H_x=0.397$, $T=0.530$, $A=32.872$, $M=119.133$ である。以下図-6, 7, 図-8に示す。

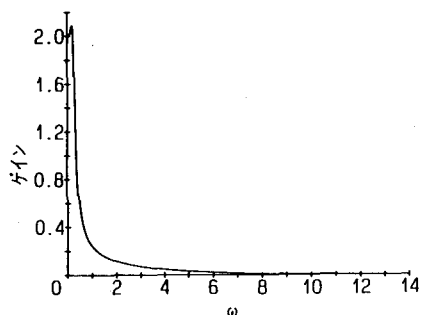


图-6

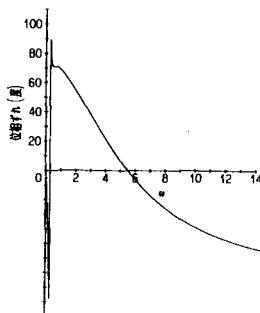


图-7

図-8のナイキスト線図からは $(-1, i0)$ を左に見ているので安定であると言える。図-6のボード線図からは ω が0.37位までは増幅しているが、これは図-2に比べ2.70秒というゆったりとした周期であることから、人が十分に対応できる余裕があると考えられ、さほ

どに危険な状態ではない。

ここで用いたパラメーターは、交差点における発進挙動を表すための暫定値で、高速で追従している場合には異なった値を取ることもあり得る。今後、高速実験に基づいたパラメーターを検証する予定である。

参考文献

- 1) 佐佐木 綱: 交通流理論 p p 40-47 技術書院
- 2) 得丸 英勝: 自動制御 p p 32-113 森北出版
- 3) 近藤 文治: 制御工学 p p 11-31, 73-78
藤井 克彦 オーム社
- 4) 棚田 裕宣: 信号交差点における追従車の発進
挙動モデル