

# 3105 FUZZY理論による列車自動運転制御

日立 システム開発研究所 <sup>\*</sup> 安信誠二 宮本捷二 井原廣一

## 1. まえがき

FUZZY理論の制御への応用が幾つか報告されている<sup>1)2)</sup>。我々は、列車自動運転制御へ運転士の動作を定性的に実現できるFUZZY理論を用いた制御を適用し、軌道輸送システム用計画設計サポートシステム(TRANSPLAN: Transit Planning System)<sup>3)</sup>によるシミュレーションを行なった。本報告では、この制御の概要とシミュレーション結果について報告する。

## 2. 列車自動運転制御

この制御は、マイクロコン等の制御装置により、列車を運転士に代り運転することを目的とし、評価関数として、

- |                 |             |
|-----------------|-------------|
| (1) 乗客の安全性・乗り心地 | (2) 制限速度の遵守 |
| (3) 駅での停止精度     | (4) 駅間走行時分  |
| (5) 消費電力量       |             |

等が、局所的・全体的に複雑に組合せている。

従来、自動運転制御には、ある基準速度を設けて列車速度と比較し制御を行なうゾーン制御、目標速度パターンを発生しそれに追従させるPID制御が行なわれている。また最近では、ある評価関数を設定し、最適制御理論を用いた制御も提案されている。これらの制御では、入力データは正確であり制御系の各定数は一定であると仮定して制御を行なっている。しかし、実際には、駆動系・ブレーキ系は非線形であり、そのパラメータは時間と共に大巾に変化し、速度検出器の分解能も $0.36 \text{ km/h}$  ( $1 \text{ cm/100ms}$ )程度しか期待できないため、その制御性には限度があると考えられる。

一方、従来より運転士は列車の特性を感覚的に把握するだけで、上記評価関数を総合的に満足する良い制御を行なっている。そこで我々は、運転士の行なっている制御をそのまま制御則として用いるFUZZY推論を列車自動運転制御へ適用した。

## 3. FUZZY推論による列車制御

$U = \{x\}$  を全体集合、 $A$  を  $U$  のFUZZY部分集合とすると、 $A$  はメンバシップ関数  $\mu_A(x) : U \rightarrow [0,1]$  で定義される。また、 $U = \{x\}$  から  $V = \{y\}$  へのFUZZY関係  $R$  は、直積  $U \times V$  のFUZZY部分集合で表わせる。  $A$  から  $V$  のFUZZY部分集合  $B$  を推論するFUZZY推論  $B = A \cdot R$  は、メンバシップ関数を用いて、 $\mu_B(y) = \max_x \{ \min(\mu_R(x,y), \mu_A(x)) \}$  と表わせる。

ここでは、入力として距離に基づく速度・加速度基準パターンと列車速度及び加速度の偏差(FUZZY量)を用い、FUZZY推論によって制御指令の変化を求めた例について、報告する。

このFUZZY推論は、人間が運転する場合の経験則から作られる。例えば、  
 (a) 列車速度が少し速い and 加速度がほとんど零 then 制御指令を少し減らす。  
 (b) 列車速度が丁度良い and 加速度が大きい then 制御指令を大きく減らす。  
 (c) 列車速度が少し速い and 減速度が大きい then 制御指令を少し増す  
 等である。FUZZY量の台集合としては、非常に大きい(PB)、大きい(PM)、少し大きい(PS)、丁度良い(ZE)、少し小さい(NS)、小さい(NM)、非常に小さい(NB)の7つを用いた。また、列車速度を $V_e$ 、加速度を $\alpha_e$ 、制御指令の変化を $N_c$ 、とおく。この時、上記(a)の制御則は、 $V_e \times \alpha_e \times N_c$ 上のFUZZY量となり、メンバシップ関数は、

$$\mu_a(V_e, \alpha_e, N_c) = \min\{\mu_{PS}(V_e), \mu_{ZE}(\alpha_e), \mu_{NS}(N_c)\} \quad \text{---- (1)}$$

となる。(b), (c)等と共に作られる全体の制御則を $T$ とすると、そのメンバシップ関数は、各制御則のメンバシップ関数の最大値をとった、

$$\mu_T(V_e, \alpha_e, N_c) = \max\{\mu_a(V_e, \alpha_e, N_c), \mu_b(V_e, \alpha_e, N_c), \mu_c(V_e, \alpha_e, N_c), \dots\} \quad \text{---- (2)}$$

となる。

制御指令 $N_c$ は、 $T$ を用いたFUZZY推論により、Fig 1の様にFUZZY量として求まる。ここでは、このメンバシップ値が最大値となる値を $\bar{N}_c$ とし、実際の制御指令に用いた。

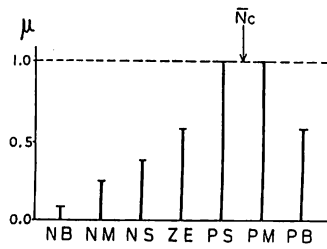


Fig.1. Example of Control Command  $N_c$

#### 4. シミュレーションによるPID制御との比較

ここで開発したFUZZY推論による列車制御を、JUMPS<sup>3)</sup>(運転制御システム設計サポートシステム)を用いてシミュレーションを行なった。(Fig2) 16個の制御則を設定し制御を行なったが、従来のPID制御(Fig3)と比較しても遜色なく、制御則作成時に注意した目標速度の急変に対しては、乗り心地の良い制御ができるようになった。

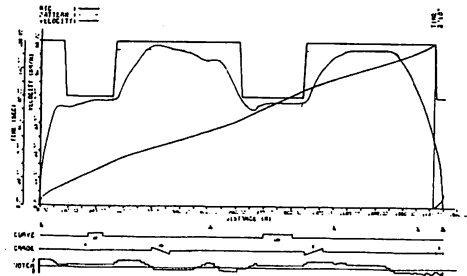


Fig.2. Result of Fuzzy Logic Control

#### 5. あとがき

FUZZY理論を用いた制御が、評価関数が複雑な列車の自動運転の制御方式として有効なことを示した。この方式によれば、評価者の要求を満足する制御系の決定が容易となる。

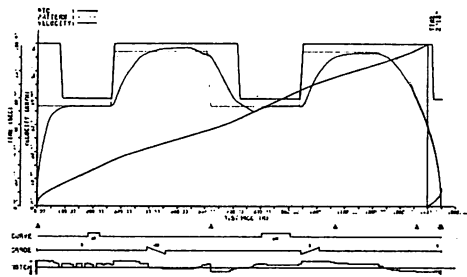


Fig.3. Result of PID Control

#### 参考文献

- 1) 菅野：あいまい集合と論理の制御への応用、計測と制御、Vol.18, No.2 (1979-2)
- 2) E.H.Mamdani and S.Assilian: An Experiment in Linguistic Synthesis with a Fuzzy Logic Controller, Int.J.Man-Machine Studies, 7, 1/3 (1975)
- 3) 宮本他：軌道輸送システム用制御設計サポートシステム "TRANSPLAN", 日立評論, Vol.60, No.10 (1978-10)