区間値ファジィ関係逆問題法による 走行環境推定[†]

高橋 宏^{*1} 韓 生廉^{*2} 関口 隆^{*2}

自動車のエンジン・パワートレイン制御やシャシー制御で高速道路や渋滞路など走行環境を検出することにより、それぞれ最適な制御目標を設定し、ドライバーに良好な運転性を提供することができる。そのため、ドライバーの操作特性から走行環境を検出するシステムを検討した。

ある走行環境におけるドライバーの運転操作において、走行環境は、ドライバーにとっての原因であり、運転操作は結果として考えられる。すなわち、説明変数が走行環境であり、目的変数がドライバーの操作特性といえる。そこで、各走行環境下でのドライバーの操作特性に関する実験データを統計的に解析することによって、区間値の要素を持つ説明変数と区間値で表現された要素を持つ目的変数を区間値ファジィ関係式として記述し、ドライバーの操作から走行環境を認識することと上記関係の逆問題と位置づけ、区間値ファジィ関係式の解として走行環境を推定する手法を提案した。

実際に未知なる道路を走行したときのドライバーの操作データを本手法によって解析し、良好な走行環境推定結果を得た。これにより、ドライバーのあいまいな操作特性から走行環境を推定する手段として、区間値ファジィ関係式が有効な手法の一つであることを見出した。

キーワード：区間値ファジィ関係式，区間値説明変数行列，区間値目的変数行列，走行環境検出，自動車制御，逆問題

1. はじめに

自動車運転時のドライバーの操作特性を解析しようとするとき、周波数領域における古典的な手法や状態変数を用いたオブザーバなどの厳密な数学モデル記述に基づいた方法論では、検討が難しい場合が多々ある。たとえば、Weir^{ら1)}やMcRuer^{ら2)}は、ドライバー挙動を解析的にモデル化しようとしたが、きわめて限定された運転タスクのもとでの検討であった。こうしたドライバーの操作特性を解析的に扱いにくくしている要素として、以下の理由が考えられる。

- (I) ドライバーは、同一な入力情報に対して常に正確に同一の操作をするとは考えにくい。
- (II) ドライバーの操作特性は、非線形であると考えられる。
- (III) 疲れや感情的な変化、あるいは、慣れや学習といったように、ドライバーの操作特性が時間的に変化する。また、操作を間違えたりすることもある。

このように、ドライバーの操作特性は、同一刺激に対して応答の再現性が乏しく、かつ、非線形な時変系システムである。よって、個々の測定データは厳密な解析的方法論に耐えられる信頼性あるデータとならない場合が多々ある。こうした自動車運転時のドライバーの挙動を扱うために、ファジィ理論は有効なアプローチと考えられる。

中村³⁾は、ファジィ理論を用い、人間の主観的な数量概念の認知と操作におけるあいまい性につい

[†] Prediction of the Driving Environment Using an Inverse Problem of the Fuzzy Relational Equations with Interval Values

Hiroshi TAKAHASHI, Sheng Rian HAN and Takashi SEKIGUCHI

^{*1} 日産自動車株式会社総合研究所 電子研究所

Electronics Research Laboratory, Nissan Research Center, Nissan Motor Co., Ltd.

^{*2} 横浜国立大学 工学部 電子情報工学科

Division of Electrical and Computer Engineering, Faculty of Engineering, Yokohama National University

て検討し、ファジィ理論の有用性を示した。山下⁴⁾は、人間の思考や行動が曖昧な特性を持っていることにファジィ理論の適用効果を見出し、心理学へのファジィ理論適用を検討している。また、杉山ら⁵⁾は手動制御系に対し操作者の動作解析などに関するファジィ理論適用を試み、ファジィ理論による操作特性解析の手法を提案した。さらに、自動車技術分野においては、高橋⁶⁾が運転性評価ファジィモデルの研究において、ドライバーの操作データの揺らぎを考慮し、時間的に分割された操作データから官能評価推定のためのファジィ知識を生成し、良好な推論結果を得ている。また、Sakai ら⁷⁾はドライバーが下り坂走行中に抱く減速意図をファジィ推論を用いて検出し、高橋⁸⁾はファジィ推論によって個々のドライバーの運転特性を分析し、各ドライバーの制御性に対する好みに制御特性が適合するようなシステムを提案している。このように、ファジィ理論は、従来の解析的検討手法で検討が難しかった人間の操作特性を扱う領域への有効な方法論の一つと考えられる。

本論文では、ドライバーの操作から車両が走行している走行環境を認識するシステムを区間値ファジィ関係式を用いて実現しようとした。まず、区間値ファジィ関係式の逆問題としての走行環境の認識原理について述べ、次に区間値ファジィ関係式逆問題の理論的な計算手順について説明する。最後に、この手法による走行環境等認識の実例を示し、本手法の有効性を示す。

2. 検討システムの概要

自動車制御において、走行環境が検出できることは大きな意味を持つ。なぜなら、渋滞路や山岳路といった走行環境が検出できれば、サスペンションダンパーの減衰力や自動変速機の変速特性を変更することによって、それぞれの走行環境下で最適な運転性を実現できるからである。具体的に認識したい走行環境とそれが認識できた時の基本的な車両の制御戦略の関係を表1に示す。

表1 走行環境と車両制御戦略の関係(例)

検出環境	検出した場合の車両制御戦略の変更
渋滞路	自動変速機変速特性の変更(変速しにくくする) サスペンションの特性変更(減衰力を大きくする)
高速道路	自動変速機変速特性の変更 (燃費の良い変速特性に)
山岳道路	サスペンションの特性変更(減衰力を大きくする)

一般的に、走行環境推定のためには、画像センサや勾配センサなどの付帯的な装置が必要であるが、システムコストの観点から装着がむずかしい。そこで、付加的装置が不要で、走行環境が推定できるシステムが実現すれば、現在の自動車産業において大きな意味を持つ。われわれは、この点に着目し、付加的な装置を用いることなくドライバーの操作量と速度などの容易に観測できる車両情報から車両が走行している走行環境を推定するシステムを検討した。このようなシステムとしては、高橋らから2つの手法が提案されている。第1の手法は、認識したい走行環境下でのドライバーの操作を統計的に処理し、処理データの分布形状の特徴から走行環境ファジィ推論のためのメンバーシップ関数を生成する手法⁹⁾である。第2の手法は、特定の走行環境下でのドライバーの操作データをファジィ変数化し、ファジィ数量化理論第II類によって、操作特性と走行環境の関係を記述する手法である¹⁰⁾。第1の手法は、特定の走行環境下で特徴的な操作特性が顕著な場合、きわめて推論知識の抽出が容易で有効であるが、走行環境推定のための推論知識生成に関しての普遍的な方法が存在しない。第2の手法は、推論知識生成の手法が解析的に定義されているが、演算処理が複雑で生成された知識から直感的に走行環境とドライバーの操作の関係を理解することはむずかしい。本論文では、知識生成の過程に普遍性があり、かつ、生成された知識の意味が直感的に理解し易い手法の検討を目標とした。

2.1 走行環境の検出原理

図1に示すように、ドライバーがある環境下で走行した原因の結果として、ドライバーがアクセ

ルなどを操作し、そのアクセルにตอบสนองして車両が動く。この因果関係を関係式で記述しようとする。因果関係モデルの構造としては、いろいろな関数関係が考えられる。ここでは、比較的演算処理能力の低い車載コントローラのCPU環境のもとで、多数のデータからリアルタイムで走行環境の推定を実行したいため、できるだけ簡単な演算処理で関係が記述、処理できる方法を望んだ。そこで、大小比較が中心的な演算であるファジィ関係式の適用を考えた。

図1 因果関係からみたドライバー操作量と走行環境の関係

因果関係を示したファジィ関係行列(システム行列) $\mathbf{R}$ と原因である走行環境を表わす説明変数行列 $\mathbf{A}$ とその結果であるドライバー操作の観測量である目的変数行列 $\mathbf{B}$ の関係は(2.1)式で表わされる。

$$\mathbf{R} \circ \mathbf{A} = \mathbf{B} \quad (2.1)$$

ただし $\circ$ は、ファジィ関係のmax-min合成を表わしている。本論文で扱う問題は、(2.1)式において、 $\mathbf{R}$ と $\mathbf{B}$ が与えられているとき $\mathbf{A}$ を求めるファジィ関係式における逆問題に帰着される。

ファジィ関係式を考えると、各行列の要素として実数値が一般的に用いられている。しかし、先述したように、ドライバーの操作特性の揺らぎや推定する走行環境の定義のあいまいさを陽に扱うためには、一つの実数値によって行列要素表現されたファジィ関係式よりもデータの分布を考慮した行列要素を持ったファジィ関係式の方が好ましい。すなわち、各要素をファジィ変数として扱うことが望ましい。しかし、ファジィ関係式の各行列要素を任意の形状をしたメンバーシップ関数を有するファジィ変数にした場合、拡張原理にも

とづき、各ファジィ変数の行列要素ごとに α カットを多数回行い、 α カットレベルごとに合成演算を行う必要がある。これでは先述したように、車載システムとして高速な演算処理がむずかしい。そこで、演算処理時間が短く、かつあいまいさを扱える表現が必要となる。本論文では、行列要素として、メンバーシップ関数が矩形分布による、もっとも単純な分布として表現した行列要素を適用した。すなわち、行列上の表現としては、区間値によって各行列要素を表現することになる。特に行列要素が区間値で表現されたファジィ関係式を区間値ファジィ関係式と呼ぶことにする。そこで、(2.2)～(2.5)式に示すようにドライバーのアクセル操作や車速などの車両からの観測量とその時の走行環境の関係を区間値ファジィ関係行列によって記述し、区間値ファジィ関係式の逆問題を解法することによって車両の走行環境を検出しようとした。

$$[\mathbf{R}] \circ [\mathbf{A}] = [\mathbf{B}] \quad (2.2)$$

ここで区間値を要素に持つ行列を $[\]$ で表す。区間値ファジィ関係行列を(2.3)に示す。

$$[\mathbf{R}] = \begin{bmatrix} [\underline{r}_{11} \ \overline{r}_{11}] & [\underline{r}_{12} \ \overline{r}_{12}] & \cdots & [\underline{r}_{1n} \ \overline{r}_{1n}] \\ [\underline{r}_{21} \ \overline{r}_{21}] & [\underline{r}_{22} \ \overline{r}_{22}] & \cdots & [\underline{r}_{2n} \ \overline{r}_{2n}] \\ [\underline{r}_{31} \ \overline{r}_{31}] & [\underline{r}_{32} \ \overline{r}_{32}] & \cdots & [\underline{r}_{3n} \ \overline{r}_{3n}] \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ [\underline{r}_{m1} \ \overline{r}_{m1}] & [\underline{r}_{m2} \ \overline{r}_{m2}] & \cdots & [\underline{r}_{mn} \ \overline{r}_{mn}] \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

(2.3)式において、 $[\underline{r}_{mn} \ \overline{r}_{mn}]$ は、区間値の下限と上限を表わし、0.0から1.0の間の数値である。同様に、区間値説明変数行列と区間値目的変数行列は、

$$[\mathbf{A}] = [[\underline{a}_1 \ \overline{a}_1] [\underline{a}_2 \ \overline{a}_2] \cdots [\underline{a}_j \ \overline{a}_j] \cdots [\underline{a}_n \ \overline{a}_n]]^t \quad (2.4)$$

$$[\mathbf{B}] = [[\underline{b}_1 \ \overline{b}_1] [\underline{b}_2 \ \overline{b}_2] \cdots [\underline{b}_i \ \overline{b}_i] \cdots [\underline{b}_m \ \overline{b}_m]]^t \quad (2.5)$$

で表される。

2.2 区間値ファジィ関係式による知識の表現

高速道路といった特定の走行環境とアクセル操作量、アクセル操作の速さ、ブレーキ使用頻度などの観測量との関係を(2.3)式で示す区間値ファ

ジィ関係行列で記述する。区間値ファジィ関係行列の要素は、説明変数と目的変数の関係を記述したものであるが、推定するすべての走行環境下での着目した操作量のデータ分布(データの全体集合)に対して、ある特定の走行環境下における操作量が、どのような特徴的な分布をしているかを区間値で表現したものと考えることができる。

すなわち、アクセル開度や車速などのある観測量 B_i ($i=1, 2, \dots, m$; m は観測量の種類の数) において、認識しようとする走行環境を A_j ($j=1, 2, \dots, n$; n は検出対象の種類の数) とする。このとき、すべての走行環境 A_j を走行したときの観測量 B_i のデータ分布の平均値 $Av(B_i)$ と標準偏差 $\sigma(B_i)$ とする。あらゆる走行環境における観測量に対して、ある特定の走行環境における観測量の特徴を抽出する方法として、たとえば、次のような方法を検討した。

図2に示すように、 $Av(B_i) - 2\sigma(B_i)$ を下限値、 $Av(B_i) + 2\sigma(B_i)$ を上限値とし、この範囲を0から1の閉区間に対応させ、それぞれの着目した走行環境における観測量の範囲を $[0, 1]$ 間の区間値の部分集合として表現する。着目する走行環境 A_j のもとでの観測量 B_i のデータ分布の平均値 Av

$(B_i) A_j$ と標準偏差 $\sigma(B_i) A_j$ を求める。そして、たとえば、 $Av(B_i) A_j \pm \sigma(B_i) A_j$ を算定し、(2.6) ~ (2.9) 式によって、着目した走行環境 A_j の全体の観測量分布に対する特定の走行環境における分布範囲を区間値で表現する。ただし、走行環境 A_j において、下限値 $(Av(B_i) - 2\sigma(B_i))$ と上限値 $(Av(B_i) + 2\sigma(B_i))$ の範囲を $(Av(B_i) A_j \pm \sigma(B_i) A_j)$ が越えた場合、特定の走行環境下における操作分布量が区間値が $[0, 1]$ に割り付けられないため、

$(Av(B_i) A_j - \sigma(B_i) A_j) < (Av(B_i) - 2\sigma(B_i))$ の時、

$$\underline{r}_{ij} = 0 \quad (2.6)$$

$(Av(B_i) A_j + \sigma(B_i) A_j) > (Av(B_i) + 2\sigma(B_i))$ の時、

$$\overline{r}_{ij} = 1 \quad (2.7)$$

とした。

B_i 行 A_j 列に対応する要素(r_{ij})は、

$$r_{ij} = \frac{Av(B_i) A_j - \sigma(B_i) A_j - Av(B_i) + 2\sigma(B_i)}{4\sigma(B_i)} \quad (2.8)$$

$$r_{ij} = \frac{Av(B_i) A_j + \sigma(B_i) A_j - Av(B_i) + 2\sigma(B_i)}{4\sigma(B_i)} \quad (2.9)$$

図2 区間値ファジィ関係行列の生成

$$r_{ij} = [\underline{r}_{ij} \quad \overline{r}_{ij}] \quad (2.10)$$

これにより, (2.10) 式を要素とする (2.3) 式なる区間値ファジィ関係行列が生成される.

2.3 未知の走行環境の推定

あらかじめ観測量と認識対象の関係が区間値ファジィ関係行列によって知識化されている車両システムにおいて, 実際に走行環境をどのように推定するかについて述べる. 未知なる認識対象である走行環境 A_{j*} における, 注目する観測量 B_{i*} のデータ分布の平均 $Av(B_{i*})A_{j*}$ と標準偏差 $\sigma(B_{i*})A_{j*}$ を求める. (2.8) ~ (2.10) 式と同様の考え方で, 区間値目的変数行列の要素 b_{ij*} を求める.

$$\underline{b}_{ij*} = \frac{Av(B_{i*})A_{j*} - \sigma(B_{i*})A_{j*} - Av(B_i) + 2\sigma(B_i)}{4\sigma(B_i)} \quad (2.11)$$

$$\overline{b}_{ij*} = \frac{Av(B_{i*})A_{j*} + \sigma(B_{i*})A_{j*} - Av(B_i) + 2\sigma(B_i)}{4\sigma(B_i)} \quad (2.12)$$

$$b_{ij*} = [\underline{b}_{ij*} \quad \overline{b}_{ij*}] \quad (2.13)$$

ここでも 2.2 節と同様に,

$(Av(B_{i*})A_{j*} - \sigma(B_{i*})A_{j*}) < (Av(B_i) - 2\sigma(B_i))$ の時,

$$\underline{b}_{ij*} = 0 \quad (2.14)$$

$(Av(B_{i*})A_{j*} + \sigma(B_{i*})A_{j*}) > (Av(B_i) + 2\sigma(B_i))$ の時,

$$\overline{b}_{ij*} = 1 \quad (2.15)$$

とする.

すべての観測量に対して演算を行なう. これにより, (2.13) 式を要素とする区間値目的変数行列 B が得られる. (2.2) 式の区間値ファジィ関係式において, 区間値ファジィ関係行列 $[R]$ と区間値目的変数行列 $[B]$ が既知であり, 区間値説明変数行列 $[A]$ を求める区間値ファジィ関係式の逆問題となる.

2.2, 2.3 節の検討では, 平均値と標準偏差をデータ分布形状の指標とした. データ分布を正規分布に限定していないので, 厳密には, 他の統計量

も検討しなければならない. しかし, 実際の走行データの分布を検討すると, 各走行環境毎にデータの平均や標準偏差が異なり, 上記の 2 つの統計量によって走行環境が分離できると考えられるため, 平均と標準偏差のみを統計量とした.

3. 区間値ファジィ関係式の解法

ファジィ関係式が 1976 年に Sanchez¹¹⁾ によって最初に提案されて以来, ファジィ関係逆問題の解法およびその応用に関する研究成果が多く得られた^{12)~23)}. ここでは, 区間値ファジィ関係式の逆問題に関する解法について述べる.

3.1 区間値ファジィ関係式の下限関係式と上限関係式の定義

[定義 1]:

区間値ファジィ関係式 $[R] \circ [A] = [B]$ の行列表現を式 (3.1) に再度示す.

$$\begin{bmatrix} [\underline{r}_{11}, \overline{r}_{11}] & \dots & [\underline{r}_{1n}, \overline{r}_{1n}] \\ & \dots & \\ [\underline{r}_{m1}, \overline{r}_{m1}] & \dots & [\underline{r}_{mn}, \overline{r}_{mn}] \end{bmatrix} \circ \begin{bmatrix} [\underline{a}_1, \overline{a}_1] \\ \vdots \\ [\underline{a}_n, \overline{a}_n] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [\underline{b}_1, \overline{b}_1] \\ \vdots \\ [\underline{b}_m, \overline{b}_m] \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

[定義 2]: 区間値ファジィ関係式の下限式

式 (3.1) の $[R]$, $[B]$ の下限要素からなるファジィ関係式を下限ファジィ関係式と呼び, これを式 (3.2) で表すことにし, その行列表現を式 (3.3) に示す.

$$[\underline{R}] \circ [\underline{A}] = [\underline{B}] \quad (3.2)$$

$$\begin{bmatrix} \underline{r}_{11} & \dots & \underline{r}_{1n} \\ & \dots & \\ \underline{r}_{m1} & \dots & \underline{r}_{mn} \end{bmatrix} \circ \begin{bmatrix} \underline{a}_1 \\ \vdots \\ \underline{a}_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{b}_1 \\ \vdots \\ \underline{b}_m \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

[定義 3]: 区間値ファジィ関係式の上限式

式(3.1)の $[\mathbf{R}]$, $[\mathbf{B}]$ の上限要素からなるファジィ関係式を上限ファジィ関係式と呼び, これを式(3.4)で表し, その行列表現は式(3.5)に示す.

$$[\mathbf{R}] \circ [\mathbf{A}] = [\mathbf{B}] \quad (3.4)$$

$$\begin{bmatrix} \overline{r_{11}} & \dots & \overline{r_{1n}} \\ \vdots & & \vdots \\ \overline{r_{m1}} & \dots & \overline{r_{mn}} \end{bmatrix} \circ \begin{bmatrix} \overline{a_1} \\ \vdots \\ \overline{a_n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \overline{b_1} \\ \vdots \\ \overline{b_m} \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

3.2 組み合わせ法による解法

(3.1)式で示す区間値を要素に持ったファジィ関係式の解法として上記下限関係式と上限関係式を組み合わせて解を求める手法を提案する. この方法を組み合わせ法と名付ける.

上記下限関係式から求められた解の任意の1つを(3.6), 上限関係式から求められた解の任意の1つを(3.7)と仮定する.

$$A_p = ([\underline{a_p^1}, \overline{a_p^1}], \dots, [\underline{a_p^n}, \overline{a_p^n}])^T \quad (3.6)$$

ただし, $p = \{1, 2, \dots, u\}$, u は下限解の個数である.

$$A_q = ([\underline{a_q^1}, \overline{a_q^1}], \dots, [\underline{a_q^n}, \overline{a_q^n}])^T \quad (3.7)$$

ただし, $q = \{1, 2, \dots, v\}$, v は上限解の個数を示す.

ここで, A_p と A_q の組み合わせ法による解を

$$A_{pq} = ([\underline{a_{pq}^1}, \overline{a_{pq}^1}], \dots, [\underline{a_{pq}^n}, \overline{a_{pq}^n}])^T \quad (3.8)$$

とすると,

A_{pq} の任意の要素 $[\underline{a_{pq}^j}, \overline{a_{pq}^j}]$ を

$$[\underline{a_{pq}^j}, \overline{a_{pq}^j}] = [\underline{a_p^j}, \overline{a_q^j}] \quad (3.9)$$

のように定める.

ただし, $j = \{1, 2, \dots, n\}$ である.

この時, 組み合わせ法による区間値ファジィ関係式の互いに包含関係にない解の個数 c は

$$c = p \times q \quad (3.10)$$

となる.

[定理 1]:

区間値ファジィ関係式(3.1)の解は, その下限関

係式(3.3)と上限関係式(3.5)の解の組み合わせ法によって求めることができる(下限式と上限式の解法は文献 18), 22)を参照).

[証明]:

上記(3.6)~(3.9)式において,

$\underline{a_p^j}$ と $\overline{a_q^j}$ は, それぞれ下限解 $\underline{A_p}$ と上限解 $\overline{A_q}$ の j 番目の要素の最小値と最大値であるので,

$$\underline{a_p^j} < \underline{a_p^j} \quad \text{のような } \underline{a_p^j} \text{ は,}$$

$$(\underline{r_{ij}} \wedge \underline{a_p^j}) < (\underline{r_{ij}} \wedge \underline{a_p^j}), \text{ for all } i, \\ i=1, 2, \dots, m$$

となり,

$\underline{a_q^j} > \overline{a_q^j}$ のような $\underline{a_q^j}$ は,

$$(\overline{r_{ij}} \wedge \underline{a_q^j}) < (\overline{r_{ij}} \wedge \overline{a_q^j}), \text{ for all } i,$$

となる. 従って, $\underline{a_p^j}$ と $\underline{a_q^j}$ は区間値ファジィ関係式の解の要素ではない. それに対して, 任意の

$$\underline{a_{pq}^j} \in [\underline{a_p^j}, \overline{a_q^j}]$$

のような $\underline{a_{pq}^j}$ は

$$\underline{b_i} \leq [\underline{r_{ij}}, \overline{r_{ij}}] \wedge \underline{a_{pq}^j} \leq \overline{b_i}$$

が満足されるので, $\underline{a_{pq}^j}$ は区間値ファジィ関係式の解の1つの要素である. Q.E.D.

[定理 2]:

組み合わせ法による区間値ファジィ関係式の解が互いに包含関係にない.

[証明]:

下限解が u 個あり, 上限解が v 個あるとする. 記号行列法によって, u 個の下限解の間に包含関係が存在しない. 同様に, v 個の上限解の間にも包含関係が存在しない. 従って, 上記の組み合わせ法によって求められた解が互いに包含関係にないことは明かである. Q.E.D.

3.3 具体的な解法手順

<ステップ[1]>

区間値ファジィ関係式

$$[\mathbf{R}] \circ [\mathbf{A}] = [\mathbf{B}]$$

を下限関係式 $\underline{\mathbf{R}} \circ \underline{\mathbf{A}} = \underline{\mathbf{B}}$

と上限関係式 $\overline{\mathbf{R}} \circ \overline{\mathbf{A}} = \overline{\mathbf{B}}$ に分ける。

<ステップ[2]>

下限ファジィ関係式に対して、

$$\underline{b}_1 \geq \underline{b}_2 \geq \dots \geq \underline{b}_m$$

の順に $\underline{\mathbf{B}}$ の各行を入れ換え、
それに対応して $\underline{\mathbf{R}}$ の各行も入れ換える。

<ステップ[3]>

上限ファジィ関係式に対して、

$$\overline{b}_1 \geq \overline{b}_2 \geq \dots \geq \overline{b}_m$$

の順に $\overline{\mathbf{B}}$ の各行を入れ換え、
それに対応して $\overline{\mathbf{R}}$ の各行も入れ換える。

<ステップ[4]>

[1]. $r_{ij} > b_i$ ならば, $t_{ij} = '>'$

[2]. $r_{ij} = b_i$ ならば, $t_{ij} = '='$

[3]. $r_{ij} < b_i$ ならば, $t_{ij} = '<'$

上記ルールにより、下限関係式および上限関係式の記号行列 $\underline{\mathbf{T}} = [t_{ij}]_{m \times n}$ と $\overline{\mathbf{T}} = [\overline{t}_{ij}]_{m \times n}$ を求める。

<ステップ[5]>

置換 f により (文献 18 の置換ルールを参照), $\underline{\mathbf{T}}$ を $\underline{\mathbf{W}}$ に, $\overline{\mathbf{T}}$ を $\overline{\mathbf{W}}$ に置き換える。

<ステップ[6]>

$\underline{\mathbf{W}}$ の列要素の積集合によって下限関係式の解 A_p を求める。

<ステップ[7]>

$\overline{\mathbf{W}}$ の列要素の積集合によって上限関係式の解 A_q を求める。

<ステップ[8]>

下限解と上限解の組み合わせ法によって区間値ファジィ関係式の解を求める。

4. 走行環境認識システムへの適用例

3章の処理ステップに基づき、区間値ファジィ

関係式の逆問題による解法の適用例を実際の車両実験で得られたデータをもとに検討する。

4.1 区間値ファジィ関係行列(関係知識)の生成

走行環境推定のための知識となる区間値ファジィ関係行列の要素を演算する。認識しようとする走行環境と測定するドライバーの操作量を表2に示す。また、この認識するシステムに関しては、特定の一人のドライバーの操作特性と走行環境の関係についてのみ着目した。

表2 走行環境認識の説明変数と目的変数

走行環境の推定対象

- A_1 : 高速道路(東名高速道路 横浜-厚木間往復)
 - A_2 : 国道(制限速度 60 km/h の2車線,
1車線 100メートル区間に5台程度の状態)
 - A_3 : 渋滞路(保土ヶ谷バイパス 横浜-新保土ヶ谷,
100メートル移動に平均3分程度要する状態)
 - A_4 : 山岳路(箱根ターンパイク, 箱根-大観山往復)
- 推定のための観測量

- B_1 : アクセル開度(deg)
- B_2 : アクセル開度の標準偏差(deg)
- B_3 : 車速(km/h)
- B_4 : 自動変速機4速ギア使用頻度(%)
- B_5 : ブレーキ使用頻度(%)

表2中の観測量 B_i から下記の演算によってデータの分布 $A_v(B_i)A_j$, $\sigma(B_i)A_j$ を求める。

B_1 のデータ分布について: 時刻 t のアクセル開度 $T(t)$ を1秒毎に観測し, (4.1), (4.2)式によって得られる $A(t)$, $V(t)$ をアクセル開度の平均 $A_v(B_1)A_j$ と標準偏差 $\sigma(B_1)A_j$ とする。

$$A(t) = (59 A(t-1) + T(t)) / 60 \quad (4.1)$$

$$V(t) = (59 V(t-1) + |A(t) - T(t)|) / 60 \quad (4.2)$$

(4.2)式で $| \cdot |$ は、絶対値をとる関数を表す。

B_2 のデータ分布について: (4.3)式の $P(t)$ を時刻 t の $A_v(B_2)A_j$, (4.4)式の $Q(t)$ を $\sigma(B_2)A_j$ とする。

$$P(t) = (29 P(t-1) + V(t)) / 30 \quad (4.3)$$

$$Q(t) = (29 Q(t-1) + |P(t) - V(t)|) / 30 \quad (4.4)$$

B_3 のデータ分布について: 時刻 t の車速を $S(t)$ とし, (4.1) (4.2)式の $T(t)$ を $S(t)$ で置き換える。

1 秒ごとに計算される $A(t)$, $V(t)$ を $A_v(B_3)A_j$, $\sigma(B_3)A_j$ とする.

B_4 のデータ分布について: 1 秒毎に自動変速機の 4 速ギア位置で走行しているか否かを観測し, 時刻 t に, 4 速ギアで走行している場合 $Y(t)=1$, 他のギアを使用している場合 $Y(t)=0$ として, (4.5), (4.6) 式より得られる $A(t)$, $V(t)$ を $A_v(B_4)A_j$, $\sigma(B_4)A_j$ とする.

$$A(t) = (29 A(t-1) + Y(t)) / 30 \quad (4.5)$$

$$V(t) = (29 V(t-1) + |A(t) - Y(t)|) / 30 \quad (4.6)$$

B_5 のデータ分布について: 1 秒毎にブレーキの踏み込み状態を観測して, 時刻 t に, ブレーキを使用している場合 $w(t)=1$, ブレーキを使用していない場合 $w(t)=0$ として, (4.7) (4.8) 式より得られる $A(t)$, $V(t)$ を $A_v(B_5)A_j$, $\sigma(B_5)A_j$ とする.

$$A(t) = (29 A(t-1) + w(t)) / 30 \quad (4.7)$$

$$V(t) = (29 V(t-1) + |A(t) - w(t)|) / 30 \quad (4.8)$$

上述のステップに従い, 区間値ファジィ関係式を解法してゆく.

<ステップ[1]>

説明変数行列や目的変数行列の要素の定義を (4.9) (4.10) にしめす.

$$[\mathbf{R}] \circ [\mathbf{A}] = [\mathbf{B}] \quad (2.2) \quad \text{において,}$$

$$[\mathbf{A}] = \begin{bmatrix} [a_1, a_1] \\ [a_2, a_2] \\ [a_3, a_3] \\ [a_4, a_4] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{高速道路らしさ} \\ \text{一般国道らしさ} \\ \text{渋滞路らしさ} \\ \text{山岳道らしさ} \end{bmatrix} \quad (4.9)$$

$$[\mathbf{B}] = \begin{bmatrix} [b_1, b_1] \\ [b_2, b_2] \\ [b_3, b_3] \\ [b_4, b_4] \\ [b_5, b_5] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{アクセル開度} \\ \text{アクセル標準偏差} \\ \text{車速} \\ \text{4 速ギア使用頻度} \\ \text{ブレーキ使用頻度} \end{bmatrix} \quad (4.10)$$

特定のドライバーが A_1 から A_4 までの走行環境の道路を連続して運転し, その時のすべての走行環境におけるドライバーの操作データとして, (4.1) ~ (4.8) 式により $A_v(B_i)$, $\sigma(B_i)$ を得る. 同様に個別の走行環境 A_j における $A_v(B_i)A_j$, $\sigma(B_i)A_j$ を計算する. (2.6) ~ (2.10) 式により演算処理し, 区間値ファジィ関係行列 (4.11) 式を得る. また, 走行環境を予測しようとする未知の道

路(ここでは, 横須賀の山岳道路(後述))を走行したときのドライバーの操作を別の走行実験によって記録し, (2.13) 式を用い, 区間値目的変数行列 (4.12) を求める.

$$[\mathbf{R}] = \begin{matrix} & A_1 & A_2 & A_3 & A_4 \\ \begin{matrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \end{matrix} & \begin{bmatrix} [.3, .5] & [.3, .4] & [.1, .2] & [.2, .5] \\ [.2, .3] & [.1, .4] & [.1, .3] & [.7, .9] \\ [.8, .9] & [.6, .7] & [.1, .3] & [.5, .8] \\ [.8, .9] & [.4, .6] & [.1, .2] & [.1, .2] \\ [.1, .2] & [.2, .4] & [.7, .9] & [.2, .5] \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (4.11)$$

走行環境を認識しようとする未知の道路でのドライバー操作量の特徴を表す区間値目的変数行列は,

$$[\mathbf{B}] = \begin{bmatrix} [.3, .5] \\ [.6, .9] \\ [.5, .8] \\ [.3, .6] \\ [.3, .5] \end{bmatrix} \quad (4.12)$$

ステップ[2] より行を入れ換え, 下限式は式 (4.13) を得る.

$$\begin{bmatrix} 0.2 & 0.1 & 0.1 & 0.7 \\ 0.8 & 0.6 & 0.1 & 0.5 \\ 0.8 & 0.4 & 0.1 & 0.1 \\ 0.3 & 0.3 & 0.1 & 0.2 \\ 0.1 & 0.2 & 0.7 & 0.2 \end{bmatrix} \circ \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.6 \\ 0.5 \\ 0.3 \\ 0.3 \\ 0.3 \end{bmatrix} \quad (4.13)$$

ステップ[4] により, (4.13) の記号行列 $\mathbf{T}$ は,

$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix} < & < & < & > \\ > & > & < & = \\ > & > & < & < \\ = & = & < & < \\ < & < & > & < \end{bmatrix} \quad (4.14)$$

ようになる.

ステップ[5] の置換 f により,

$$\mathbf{W}^1 = \begin{bmatrix} [0, 1] & [0, 1] & [0, 1] & 0.6 \\ [0, .5] & [0, .5] & [0, 1] & [.5, 1] \\ 0.3 & [0, .3] & [0, 1] & [0, 1] \\ [.3, 1] & [0, 1] & [0, 1] & [0, 1] \\ [0, 1] & [0, 1] & 0.3 & [0, 1] \end{bmatrix} \quad (4.15)$$

$$\underline{W}^2 = \begin{bmatrix} [0,1] & [0,1] & [0,1] & 0.6 \\ [0,.5] & [0,.5] & [0,1] & [.5,1] \\ [0,.3] & 0.3 & [0,1] & [0,1] \\ [0,1] & [.3,1] & [0,1] & [0,1] \\ [0,1] & [0,1] & 0.3 & [0,1] \end{bmatrix} \quad (4.16)$$

ステップ[6]により,

$\underline{W}^1$ と $\underline{W}^2$ の列要素の積集合によって, 下限解として

$$\underline{A}^1 = (0.3, [0,.3], 0.3, 0.6)^T \quad (4.17)$$

$$\underline{A}^2 = ([0,.3], 0.3, 0.3, 0.6)^T \quad (4.18)$$

の2つ解を得る.

上限式についても同様に計算し, 上限式, 上限式に対する記号行列, 置換fの結果は, 以下のようになる.

$$\begin{bmatrix} 0.3 & 0.4 & 0.3 & 0.9 \\ 0.9 & 0.7 & 0.3 & 0.8 \\ 0.9 & 0.6 & 0.2 & 0.2 \\ 0.5 & 0.4 & 0.2 & 0.5 \\ 0.2 & 0.4 & 0.9 & 0.5 \end{bmatrix} \circ \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.9 \\ 0.8 \\ 0.6 \\ 0.5 \\ 0.5 \end{bmatrix} \quad (4.19)$$

$$\bar{T} = \begin{bmatrix} < & < & < & = \\ > & < & < & = \\ > & = & < & < \\ = & < & < & = \\ < & < & > & = \end{bmatrix} \quad (4.20)$$

$$\bar{W}^1 = \begin{bmatrix} [0,1] & [0,1] & [0,1] & [.9,1] \\ [0,.8] & [0,1] & [0,1] & [.8,1] \\ [0,.6] & [.6,1] & [0,1] & [0,1] \\ [0,1] & [0,1] & [0,1] & [.5,1] \\ [0,1] & [0,1] & [0,.5] & [.5,1] \end{bmatrix} \quad (4.21)$$

$$\bar{W}^2 = \begin{bmatrix} [0,1] & [0,1] & [0,1] & [.9,1] \\ [0,.8] & [0,1] & [0,1] & [.8,1] \\ [0,.6] & [0,1] & [0,1] & [0,1] \\ [0,1] & [0,1] & [0,1] & [.5,1] \\ [0,1] & [0,1] & [0,.5] & [.5,1] \end{bmatrix} \quad (4.22)$$

$\bar{W}^1$, $\bar{W}^2$ の列要素の積集合によって, 上限解 $\bar{A}$ は次のようになる.

$$\bar{A}^1 = ([0,.6], [.6,1], [0,.5], [.9,1])^T \quad (4.23)$$

$$\bar{A}^2 = (0.6, [0,1], [0,.5], [.9,1])^T \quad (4.24)$$

以上, 下限, 上限について得られた解 $\underline{A}$, $\bar{A}$ について, 組み合わせ方法によって, 区間値ファジィ関係式の互いに包含関係にない解は,

$$A^1 = ([.3,.6], [0,1], [.3,.5], [.6,1])^T \quad (4.25)$$

$$A^2 = ([0,.6], [.3,1], [.3,.5], [.6,1])^T \quad (4.26)$$

となり, 2つの解が求められた.

4.2 得られた区間値解の解釈

上記の数値例からわかるように区間値ファジィ関係式の解の要素は区間値である. この区間値の解をどのように総合的に判断し, 最終的に走行環境を推定するかについて検討する. まず解の解釈で問題となる3つの場合を考える.

- (1) 区間値ファジィ関係式の解が存在しない場合.
- (2) ある説明変数に対して, 得られた解の区間値が広く, (たとえば, $[0,1]$ のような解)最終的な推論判定に有効な情報とならない場合.
- (3) 得られた複数の解から得られる結果が矛盾する場合.

上記(1)については, 韓ら²³⁾の解の存在判別を行うことによって, 容易に解が存在するか否かを判断することができる. 解が存在しない場合, 区間値ファジィ関係行列が走行環境推定可能な知識と十分でない場合や, 走行環境の差異によってドライバーの操作に特徴的な特性差が現れない場合が考えられる. 後者の場合, 根本的に推論自体が不可能であり, 本システム適用の対象外である. 特定の走行環境で常に解が存在しない場合や, (2)のように有効な情報が得られないとき, 特定の走行環境とドライバーの操作特性の相関分析などを行うことにより, その相関係数が小さければ操作データから走行環境を推論することが困難であると判断する. この相関係数による検討は, 文献10)で言及した.

また, (2)のように, ある特定の説明変数に対する解の区間値が $[0,1]$ の様に, 特定の走行環境の決定に有効な情報を与えない場合, 説明変数と目的変数の関係の特徴づけられない状況にあることを

示し、この場合、その説明変数、すなわち、ある走行環境であるか否かを判断することはできない。よって、最終的な判断のためには、その後の状況をさらに観察する必要があることを表している。

また(3)は、(1)と同様にあらかじめ設定された区間値ファジィ関係式で、操作特性差による各走行環境の推定に関する識別知識が不完全であったか、推論知識に表現されていない走行環境であると考えられる。そこで、(3)の場合は、(2)の場合と同様にしばらく状況を観察し、同様な矛盾が解消しないとき、説明変数と目的変数の相関係数を検討し、ファジィ区間値関係行列を再生成する必要がある。

こうした観点から、(4.25) (4.26)式の解を検討する。解の解釈には、区間値で現された説明変数行列の要素の値の大きさと推定される区間の範囲を考慮する必要がある。解 A^1 , A^2 の区間値の最小値と最大値、およびその幅を図3に示す。

A^1 の解と A^2 の解の意味付けとして、たとえば以下にあげる解釈によって最終的な走行環境を判定することにする。

(解釈1)

図3に示すように、 A^1 , A^2 の解の共通部分をもっとも信用できる推定情報の範囲と考え、この共

図3 それぞれの解の最小値、最大値、幅

通部分において、意志決定問題などでよく用いられるように、それぞれの説明変数に対する共通部分の最小値を求め、それらのなかで最大値を持つ説明変数に対応する走行環境を最終的な推論結果とする。

この最大値があらかじめ設定した所定値よりも小さかったら、得られた推論結果も確定的でない」と判断し、しばらく様子を見ることにする。

(解釈2)

それぞれの解において、各走行環境に対する区間値の中間値を計算し、中間値が同じ場合は、その値の幅が小さい走行環境に対応する変数を優先させる。それぞれの走行環境における中間値があらかじめ設定された値を越えたものをその解の推論結果とし、複数の解から同じ結果が得られた場合、この推論結果を最終判断とし、異なる場合は、その観測周期の判断を見送り、しばらく様子を見ることにする。

以上の解の解釈の見地から解を検討すると、解釈1の場合は、この制御周期における推論結果は、山岳道路と判定される。また、解釈2でも山岳道路と判断される。実際、このデータは神奈川県横須賀市の衣笠近辺の山岳道路におけるデータであり、客観的に山岳路と判断できる場面である。よって、この道路の場合は、予測が的中したことになる。また、表3には、区間値ファジィ関係行列を生成した道路とは異なるところを走行したときの、予測の状況を示す。比較的良く走行環境が予測できることがわかる。道路区間が異なっても、推論の結果はおおむね良好である。また、ファジィ区間値関係行列の要素の生成に用いたデータを取得した道路以外でも、良く走行環境が推定されており、実験した主な道路に対しては、普遍的な推定知識が与えられている。

以上のように、区間値ファジィ関係式を用いた、走行環境推定が可能であることがわかった。

表3 推論知識の汎化性の検討

推論の結果

道路	道路の種類	1 回目				2 回目			
		高速道路	/国道	/渋滞路	/山岳路	高速道路	/国道	/渋滞路	/山岳路
東名高速 (横浜I.C.出口)	渋滞している道路	0.2	[0.2 0.4]	[0.7 0.8]	[0.1 0.3]	[0.1 0.2]	[0.2 0.3]	[0.6 0.9]	0.1
東名高速 (御殿場付近)	100km/h程度で走行する すいた登坂高速道路	[0.4 0.9]	[0.3 0.7]	0.1	[0.5 0.6]	[0.5 0.9]	[0.3 0.7]	[0.2 0.3]	[0.6 0.7]
小田原厚木道路 (厚木区間)	70km/h程度で走行する 平坦な自動車専用道路	[0.5 0.9]	[0.4 0.8]	0.2	[0.1 0.3]	[0.2 1.0]	[0.5 0.6]	0.1	[0.2 0.3]
小田原厚木道路 (小田原区間)	70km/h程度で走行する 山岳高速道路	[0.4 0.7]	[0.1 0.8]	[0.1 0.3]	[0.4 0.8]	[0.4 0.5]	[0.1 0.5]	[0.1 0.2]	[0.6 0.9]

複数解の共通部を示す

1回目と2回目の観測データは、それぞれ違う道路区間で測定したもの。

は、解釈1によって推定された
走行環境

? は、断言できないが、推定の候補

5. まとめ

参 考 文 献

特別なセンサなどを付加することなく、ドライバーの操作から走行環境を推定するシステムを区間値ファジィ関係式の逆問題として検討し、その推論の成績を評価し、特定の道路においては、実際の車両に適用可能である可能性を見いだした。

区間値ファジィ関係式を用いた解法は、大小比較を中心としたきわめて単純な演算によって、簡単にファジィ関係行列の生成やファジィ関係逆問題が解法できる。よって、演算能力の低い自動車のコントローラにおけるCPU環境においても大きな負担がかからない。また、説明変数と目的変数の関係を区間値を行列要素として記述することによって、人間が持つ操作の曖昧性(操作量のゆらぎ)に対応できる推論システムが実現されたと考えられる。今後、こうしたシステムの推論の汎化性について定量的に検討してゆきたい。

- 1) D.H.Weir, et al.: Measurement and Interpretation of Driver Steering Behavior and Performance, International Automotive Engineering Congress, 730098(1973)
- 2) D.T.McRuer, et al.: A Review of Quasilinear Pilot Models, IEEE Transactions on Human Factor in electronics, Vol.HFE 8, pp.231-249 (1967)
- 3) 中村: 人間の主観的なあいまい数量概念の認知と操作について, 第3回ファジィシステムシンポジウム講演論文集, pp.111-116(1987)
- 4) 山下: 心理学におけるファジィ理論的アプローチ, 日本ファジィ学会誌, Vol.2, No.4, pp.542-553 (1990)
- 5) 杉山, 松島: 飽和を持つ制御対象に対する Fuzzy Model による操作者の動作解析, 計測自動制御学会論文集, Vol.20, No.7, pp.621-626(1984)
- 6) 高橋: 自己回帰移動平均モデル係数から評価知識を生成した運転性評価ファジィモデル, 日本ファジィ学会誌, Vol.5, No.2, pp.330-347(1993)
- 7) I.Sakai, S.Sakaguchi, et al.: Shift Scheduling Method of automatic Transmission Vehicle Using Fuzzy Logic, The preceeding of IEEE

- Roundtable Discussion on Fuzzy and Neural Systems and Vehicle Applications, paper # 27(1991)
- 8) 高橋：自動車用定速走行装置へのファジィ適用, 日本ファジィ学会誌, Vol.2, No.2, pp.246-261(1990)
- 9) 高橋, 南：ファジィ推論による自動車の走行道路認識, 日本ファジィ学会誌, Vol.2, No.3, pp.438-443(1990)
- 10) 高橋, ドライバーのあいまいな操作情報から走行状況を推定するヒューマンセンサの提案, 日本ファジィ学会誌, Vol.4, No.6, pp.1188-1210(1992)
- 11) E.Sanchez : Resolution of Composite Fuzzy Relation Equations, Information and Control, 30, pp.38-48(1976)
- 12) 塚本, 田代 : Fuzzy 逆問題の解法, 計測自動制御学会論文集, Vol.15, No.1, pp.21-25(1979)
- 13) R.R.Tong : Analysis and Control of Fuzzy Systems Using Finite Discrete Relations Int, J. Control, Vol.27, No.3, pp.431-442(1978)
- 14) M.Higashi, G.J.Klir : Resolution of Finit Fuzzy Relation Equations, Fuzzy Sets and Systems, 13, pp.65-82(1984)
- 15) C.P.Pappis, M.Sugeno : Fuzzy Relation Equations and The Inverse Problem, Fuzzy Sets and Systems, 15, pp.79-90(1985)
- 16) M.Miyakoshi, M.Shimbo : Lower Solutions of Systems of Fuzzy Equations, Fuzzy Sets and systems, 19, pp.37-46(1986)
- 17) 韓, 関口 : ファジィ関係式の区間値記号法, 6th Fuzzy System Symposium, pp.319-322(1990)
- 18) 韓, 関口 : 記号行列によるファジィ関係式の解法, 日本ファジィ学会誌, Vol.4, No.1, pp.160-171(1992)
- 19) M.Wagenknecht, K.Hartmann : Fuzzy Modeling With Tolerances. Fuzzy Sets and Systems, 20, pp.325-332(1986)
- 20) M.Wagenknecht, K.Hartmann : On Direct and Inverse Problems for Fuzzy Equation Systems With Tolerances, Fuzzy Sets and Systems, 24, pp.93-102(1987)
- 21) M.Wagenknecht, K.Hartmann : On The Existence of Minimal Solutions for Fuzzy Equations With Tolerances, Fuzzy Sets and Systems, 34, pp.237-244(1990)
- 22) 韓, 関口 : ファジィ関係不等式の一解法, 日本ファジィ学会誌, Vol.4, No.4, pp.122-133(1992)
- 23) 韓, 関口, 高橋 : ファジィ関係式における解の存在判別, 日本ファジィ学会誌, Vol.5, No.5採録予定

(1992年9月28日 受付)

(1993年1月29日 再受付)

[問い合わせ先]

〒237 横須賀市夏島町1番地

日産自動車(株) 総合研究所

高橋 宏

☎ : 0468-67-5181

☎ : 0468-65-4183

E-mail : takahiro@nova.lab.nissan.co.jp

著者紹介

高橋 宏 (たかはし ひろし)

日産自動車(株) 総合研究所 電子研究所

1981年 横浜国立大学 工学部情報工学科 卒業, 1983年 東京工業大学 総合理工学研究科 電子システム専攻修士課程 修了, 同年 (株)東芝 入社, 次世代医療装置の研究・開発に従事, 1986年3月 同社退職, 同年4月 日産自動車(株) 中央研究所(現総合研究所)に入社, ファジィ理論に出会う。現在, 知識情報処理やヒューマン・マシン・インタフェースの切り口から自動車システムの制御研究に従事, 日本ファジィ学会, 電子情報通信学会, 日本機械学会, 日本人間工学会などの会員, 工学博士

関口 隆 (せきぐち たかし)

横浜国立大学 工学部教授

1959年 横浜国立大学 電気工学科 卒業, 同年4月から1961年7月まで安川電気製作所勤務, 同年8月 横浜国立大学 工学部 助手, 1964年8月 講師, 1968年 助教授, 1977年 教授, 主として, FA, CIM システム, ファジィ理論とその応用に関する研究に従事, 電気学会, 計測自動制御学会, システム制御情報学会会員, 工学博士

韓 生廉 (かん せいれん)

横浜国立大学 工学部客員研究員

1960年 ハルビン工業大学 入学, 1964年 東北大学に転校, 1969年 東北大学無線電子技術科 卒業, 1989年 横浜国立大学 大学院 博士課程前期 修了, 1992年同大学院博士課程後期 修了, ファジィ関係・ファジィ関係逆問題の理論と応用に関する研究に従事, 計測自動制御学会, 日本ファジィ学会の会員, 工学博士