

## 診断・制御のための手法に関する考察

酒井 義郎\*

### Human Ways in Diagnostic and Control Procedures

Yoshiro SAKAI

#### Abstract

Applying heuristics is a feasible way of constructing effective expert systems for supervision. Fundamental and important parts of such an expert system are the ones for diagnosis of the system concerned and for reasoning for finding an appropriate control procedure required for recovery. Just because they usually give only suboptimal solutions, human skill and heuristics are likely not to be utilized in the real world. But incorporation of human ways is really effective in order not only to obtain feasible procedures but also to make communication smooth and valid at a man-computer interface, and here a consideration is made on this aspect.

#### 1. はじめに

人と機械との関わりを考慮に入れ、人間と機械の双方をともに、より大きい一つのシステムの一員（サブシステム）として捉えると、都合の良いことがある。このような考え方で名付けられたのが、人間—機械系（あるいは、マン—マシンシステム）である。この名称の中の機械（マシン）を、具体的に種々の機械に置換えることにより、その特定の機械と人間とが構成する人間—機械系が想定されるので、人間—機械系には多種多様なものが存在する。人間—機械系の単近な一つの例は人間—乗物系であろう。勿論、この場合の人間は運転手や操縦士などであり、乗物は自動車、電車、航空機などである。このような系においては、機械はいわば独立した系であって、その独立した系に対して、人が一方的に働きかけることで、より大きな全体が構成される。この人間—機械系の出し得る性能は、独立した系としての機械の性能はもとより、かなりの部分を、働きかけを行う人間作業員に負っており、操作を行う作業員がいかにかうまくその性能を引き出すかは全くその作業員次第である。それぞれ作業員と機械を特定の個体に固定したとしても、毎回の作業ごと（開始

から終了までの一連の動作を1回の作業として、同一の動作を繰り返すという意味において）、その結果（成果）は作業員に全面的に依存している訳で、この作業員による努力の部分を除けばシステムとしての向上はない。この作業員の努力の部分が熟練と呼ばれるものである。これに対して、電子計算機のディスプレイを通じて、作業員と機械との対話を可能とするような人間—機械系においては、人と機械の共同作業（協力）によりシステムの向上を図ることが出来る。この場合、理由は後述するが、機械においても熟練に相当するものを想定することが出来る。本稿における人間—機械系としては、最初に述べたような系は含まず、後で挙げた、人との協力を図ることの出来るような機構を備えた機械によって構成される人間—機械系のみを意味する。このような系における機械の学習や適応の問題に関して、これまでに筆者の行ってきた手法について、今後の課題を交えながら、述べる。

#### 2. 人間—機械系における人間の関与について

自動化の問題は、事務処理、生産管理や加工工程自体などをはじめとして、多くの分野で取上げられつつあり、そしてまた多くの自動化された機器がすでに稼動している。それら自動機器の多くは、何らかの形で人間が関与する中で、稼動するものである。人間の関

\*生産機械工学科

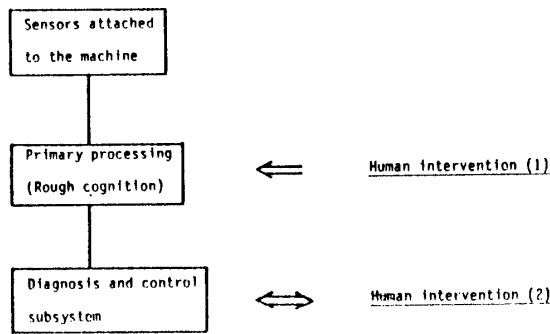


Fig.1 Two categories of human intervention in an intelligent supervisory system

与の形態は多岐に亘り、また関与の程度も様々である。したがって、一概には言えないが、例えば事務処理や生産管理の部門においては、人の行う作業を補助する目的でそれら機器が用いられる。CADやワードプロセッサなどはその典型といえよう。この場合非常に煩雑であったり、精確さを必要とするような部分を肩代りすることが自動機器の役割となっている。これに対して、自動加工などは機械の行う作業を人間が補助する形で行われる。このように、先に挙げた事務的作業などの場合、人間がその作業の主体であり、自動加工などの場合においては、その反対に、むしろ機械が主体であるといえよう。作業内容において、前者の場合、思考や知覚などの非常に高度な知性が要求されるために、人に主体性が置かれなければならないのである。加工の場合、加工の動作自体は従来機械が行ってきた部分であり、その動作の設定に関わる操作を人間の作業者が行ってきた。この操作を、人間が機械に教え込むという形での、機械による肩代りがこの場合の自動化である。

Fig. 1 は、対象とする機械の作動状況を監視するためのシステムを図式化したものである。これは上述の加工における作業者の一般的な作業内容（段取作業などは含めず、加工運転中の監視を意味する。）の機械による肩代りに相当するものである。まずセンサによって、機械の作動状況に関する信号がいくつか取出され、それらを総合して、おおまかに機械の現在の状況が認識される。この状況の把握に関して、作業者の判断が導入される。このことを示したのが、Human intervention (1)である。センサから送られてくる信号には電圧などの読みとして数値が与えられるが、この値は一般に状況の評価に即対応するものではない。したがって、どのような情報として受取るかは人の判断に委ねられ

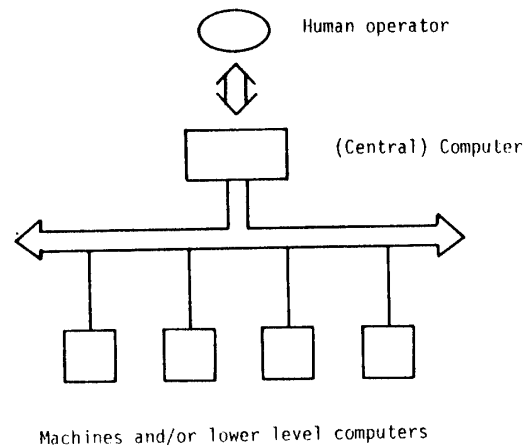


Fig.2 Man-machine system as a hierarchy

る。この事実は、一般的に、機械の異常について音などで人が判断を下すような場合を想定すれば良い。このようなとき、人はある特定の音の発生（聴取）で異常の発生を知り、音の質や大きさなどで異常の程度を察知する。この手続きを数値的に評価して厳密に数式で表現できるような形に置換えることは一般に困難である。そこで、これについては人の経験による大まかな判断の導入が有用である。<sup>1)</sup>このようにして作成された基準により、信号の較正が行なわれる。さらに、この状況が、現在の運転条件にとって、不都合か（極端な場合として緊急停止もある得る。）許容範囲か（良い状況か）など、診断が行なわれる。これを基にして、対処方策が決定されることになるが、この手続きについても前段の手続きと同様人間の介入 (Human intervention (2)) を必要とする。ここでは、より知的なものが要求されるため、あらかじめ行なわれる教示と同時に折に触れての相談が必要となる。したがって、前段の手続きにおける介入(1)と異なり、双方の矢印が用いられており、作業者と監視システムとの間の対話の存在を意味している。

上述の、事務処理で代表させた例と監視で代表させることのできるような例の2つの例はいずれも、Fig. 2 に示したような、人を頂点に置くピラミッド型の階層構造に当てはめて考えれば、同一の範ちゅう内のものとして捉えることができる。図中の人間とコンピュータ間の双方向矢印は、Fig. 1 におけると同様、キーボードやディスプレイを通じての対話の存在を意味している。したがって、事務処理の場合などの一方的にルーティンとしての動作を命令するだけの場合や、図1における介入(1)などは、ここでは自動化の対象としては考えないことにする。

このような対話において重要なことは、

- (i) 人間にとって接近しやすいこと
- (ii) 人間の誤ちに対して訂正(要求)をしたり、疑問を投掛けたりすることができること

などである。(i)は例えば、コンピュータとの対話を行う際に、それに必要な規則や用語など(特別な言語)を人が理解し使わなければならないような事態は出来るだけ避ける必要があることを意味している。さらに積極的な立場としては、人の言動における感覚的なものをコンピュータが理解し人間の特性に近づくことが考えられる<sup>2)</sup>。これは自動化システムのソフトウェアを作成する際にも通用することであり、このような立場が数理的に明確化される必要がある。(ii)は、入力された内容についてのチェック機構がソフトウェアに組み込まれていて、それによりシステムの持っている知識と矛盾する内容を排除できることの必要性を示す。これについて、加工監視システムにおける例を挙げることにする。作業者がキーボードを通じて加工条件の設定を行う状況を想定すれば、加工条件が入力されるとコンピュータはその数値の吟味を始める。すなわち、コンピュータは、データベースを駆使して、

(イ) 示された加工条件は当該工作機械にとって、動力的に過負荷ではないか。

(ロ) 通常採用される標準的な条件を挙げた表と照らし合わせて、適合する条件と掛け離れていないか。

(ハ) 危険防止などの意味で望ましくないような値ではないか。

などについてチェックを行い、上述の(ii)の機能により不都合を避けるべく作業者に照会する。

以上のように、人間-機械系における人間と機械とのインタフェースの具備すべき要件、あるいはそこにおいて考慮されねばならないことは数多く存在する。

### 3. 人間的な手法について

人の言動の特性におけるようなあいまいさに対する一つの数理的な表現として、L. A. Zadeh の提案したファジィ集合論がある。<sup>3)</sup>ファジィ集合自体はあいまいさの一つの表現であって、あいまいさを許容する人間の手法についての解を与えるものではない。ファジィ制御<sup>4)</sup>やファジィ論理<sup>5)</sup>などはファジィな表現を用いた方策を扱うために採用される。

ここではまず、“ファジィ”にこだわらず、一般に人間の採用する手法の特性について考えることにする。特性として、

- (a) 線形性(線形化)
- (b) 局所性(局所化)
- (c) スカラ性(スカラ化)

などが挙げられる。<sup>2),6),7),8)</sup>それぞれカッコ書きで示したものは、本来そうでない事象をもそこに示したような形に変換して理解しようとする特性があることを示す。これらについての詳細についてはここでは述べないが、これらを受け入れれば、人間的な手法に関して以下のような展開が可能である。

いま、 $x, s$  をベクトルとして、

$$s = f(x), \quad x \in R^n, \quad s \in R^m$$

なる関係が成立しているものとする。線形性の仮定から、 $(x, s)$  の近傍において、(局所性)

$$\Delta s = K \Delta x$$

が成立つ。ただし、 $\Delta s = s_1 - s, \Delta x = x_1 - x, (x_1, s_1) \in N(x, s), N(x, s) =$  点  $(x, s)$  のある近傍、 $k = [\partial f(x) / \partial x]$ 、である。さらにある仮定を置くと、上の線形近似式は2次元平面内の直線として捉えることができる。 $x_j, s_i$  はそれぞれ  $x, s$  の第  $j, i$  成分である。あいまいさを考慮に入れると、 $K$  の値は一意的に決まらず、ある幅を持っていることになる。これが、Fig. 3 における原点を通る破線で示した部分である。これについてファジィ集合論を適用するなら、このあいまいさはファジィ関係  $R_{AB}$  などによって表現される。

ファジィ集合論の適用において利用可能な演算の一部を Fig. 4 において図式的に示した。いま、

$$\text{supp. } U = \text{Cl. } \{x : \mu_u(x) > 0\}, \quad U \subset R$$

とすると、集合  $U$  の  $\alpha$  レベル集合  $U_\alpha$  は

$$U_\alpha = \{x : \mu_u(x) \geq \alpha\}$$

であり、特に  $\alpha = 0$  とおくと、

$$U_0 = \text{supp. } U$$

となる。また、とつ集合は

$$\mu_u(\lambda x_1 + (1-\lambda)x_2) \geq \min\{\mu_u(x_1), \mu_u(x_2)\}$$

によって定義される。これらを用いて、とつ集合  $A^1, A^2$  の Average を

$$C_\alpha = \left[ \frac{1}{2} (a_\alpha^{A^1} + a_\alpha^{A^2}), \frac{1}{2} (b_\alpha^{A^1} + b_\alpha^{A^2}) \right]$$

として定義することができる。ただし、

$$A_\alpha^i = [a_\alpha^{A^i}, b_\alpha^{A^i}], \quad i = 1, 2$$

である。さらに、 $R, R', R_i$  をファジィ関係として、

$$\bigcup_i R_i \quad (\text{Integration})$$

や、Elimination

$$R // R' \leftarrow \mu_{R // R'}(x, y)$$

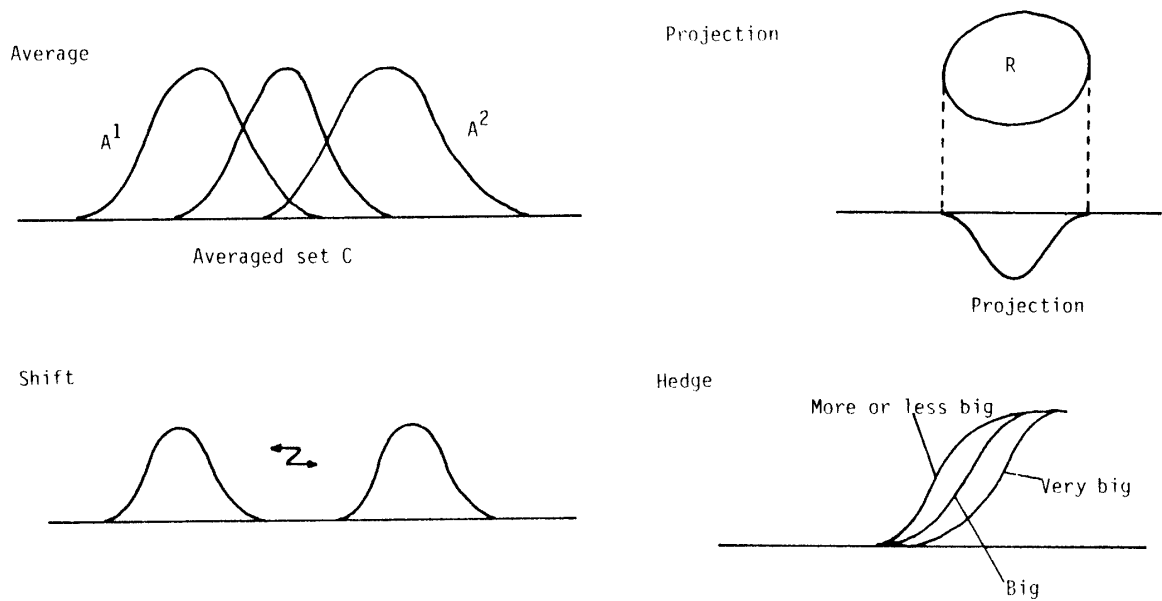
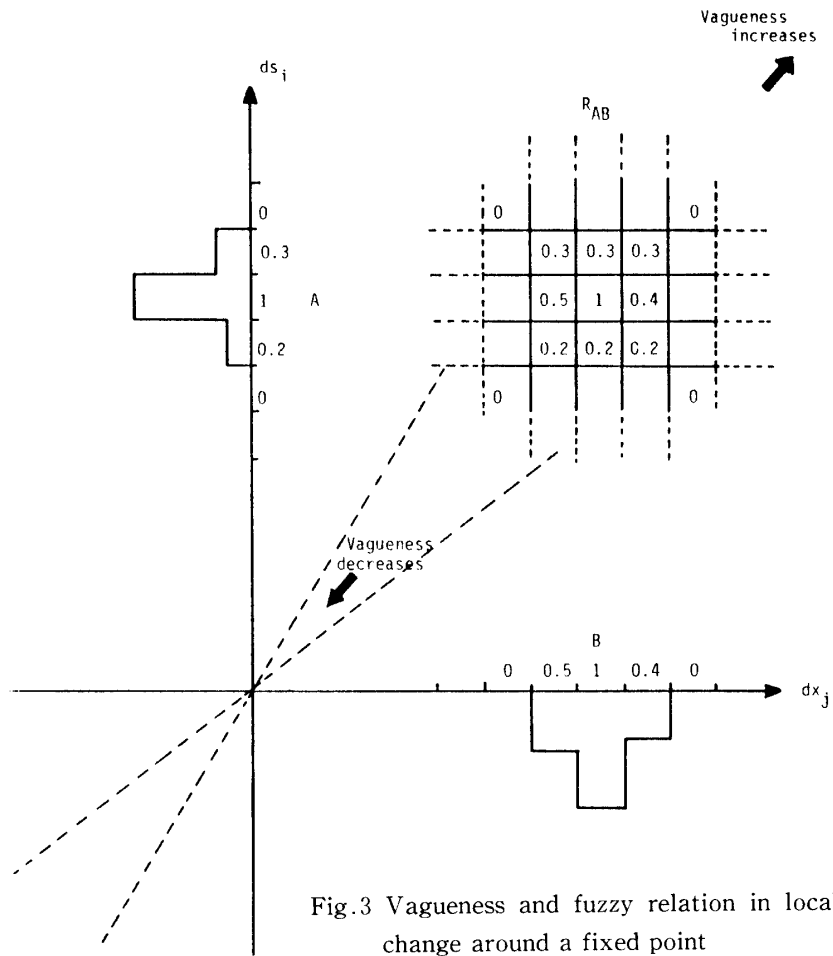


Fig.4 Various kinds of fuzzy operations available

Table 1 Control strategies for regulating chip generation condition

<i>Antecedent</i> (Chip length)	<i>Consequent</i> (Required change in feed rate)
1 Snarled	Positive Very Big
2 Exceedingly Long	Positive Big
3 Very Long	Positive Medium
4 Long	Positive Small
5 (OK)	(Zero)
6 Short	Negative Small
7 Excessively Short	Negative Medium

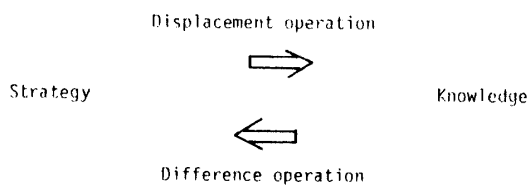


Fig.5 Knowledge and strategies

な関係にある。これは、もちろん本稿において述べた扱いのうちにおいて成立することであるといえるが、このような観点が、自動化機械の記憶構造や推論機構の問題に関する解決策の一つの糸口を与えるものである。

参考文献

- 1) 酒井, 友貞: 機械学会論文集C編53, 255 (1987)
- 2) 酒井: A Mathematical Approach to Modeling Subjective Judgement, to appear, あるいは, 酒井, 友貞: 第30回システムと制御研究発表会 (1986), 酒井: 精密工学会昭和61年度関西地方講演会, 酒井: 第29回自動制御連合講演会 (1986)
- 3) L. A. Zadeh: Information and Control, 8, 338 (1965)
- 4) E. H. Mamdani: Fuzzy Automata and Decision Processes, M. M. Gupta, G. N. Saridis, and B. R. Gains, Eds., North-Holland(1977)
- 5) L. A. Zadeh: IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics, SMC-3, 28 (1973)
- 6) 酒井: Systems and Control Letters, 6, 117 (1985)
- 7) 酒井, 大草: Industrial Applications of Fuzzy Control, M. Sugeno, Ed., North-Holland(1985)
- 8) 酒井, 大草: Manufacturing Systems 14, 287 (1985)

(昭和61年10月15日受理)

$=0V(\mu_R(x, y) - \mu_{R'}(x, y))$   
なども定義できる。

4. おわりに

以上のような演算(作用素)は蓄積されたデータをもとに新たな結論を引出す操作(推論)に利用することができるが、先にも述べたように、ファジィ集合の適用はあいまいさの一つの表現であって、より一般的なものが望まれる。<sup>2)</sup>筆者は、知識と対処方策とを区別して用いることにしている: 知識はある点に関する情報であり、対処方策(教示)はある点の周りの局所的な変化について記述するものである。上のあいまいさについての議論はこの対処方策に関するものである。切りくず処理に関する対処方策の例をTable. 1に示す。これは、利用する用語をある取り決めのもとに制限して対処方策を言語的に表現した例である。このことについても詳細は略すが、Fig. 5に示すように知識と対処方策とは、互いに他方を導くことの可能なよう