

ファジィ計測の構造モデルとその戦略的応用*

大 里 有 生**・横 堀 秀 之**

Structural Model of Fuzzy Measurement and Its Strategic Applications

Ario OHSATO, Hideyuki YOKOBORI

The main aim of the paper is to present newly a strategical methodology of measurement which is called fuzzy measurement. First, a new understanding of measurement is done, and the importance of measurement is in general discussed from the point of view of practicality for measuring strategically the objects in the real world. Second, the systematic relationship between measurement and control is reconsidered, and the purpose of measurement is discussed from the standpoint of the systematic dependence of measurement on the control system. Third, reviewing the various aspects of real case applications of fuzzy control methods, it is pointed out that the technology of measurement based on fuzzy theory has made it possible to control the objects by using fuzzy control methods. And it is asserted that the strategical application of fuzzy measurement is very effective in order to control the objects which can't be exactly measured. Fourth, the structural model of fuzzy measurement system is presented on the basis of fuzzy causal process, and feasibility studies of the model are done. Finally, the strategical applications of fuzzy measurement are discussed from the point of view of the soft computing methodology which has been advocated by L.A. Zadeh.

Key words: Fuzzy measurement/ fuzzy control/ fuzzy causal process/ soft computing

1. は じ め に

計測という行為の本質を対象認識の方法論と考えるならば、これほど重要なものは他に見当たらないであろう。単に重要であるだけでなく、対象という実体の認識とそれへの働きかけを必要とするあらゆる過程において、その過程そのものの存在基盤を左右するという意味で重要なのである。たとえば、制御という過程を考えた場合、対象の計測可能性が制御そのものの存在意義を左右しているのである。

計測は、対象の量的認識あるいは量的把握とされているが、計測における量概念は相当に広い意味をもっている。たとえば、計測工学の体系化の試み^{1, 2, 3)}を求める潮流の中で、計測基礎論の構築を目指してきた森村(計量研究所)は以下のように述べている。

『計測は物理計測から出発して工業計測に発展し、さらに医用、生物、心理など広い分野に適用されるよ

うになっているが、これらの分野でもハードウェアとしては物理量の計測器が用いられている場合が多い。そこでは物理量の測定が一つの有効な手段として利用されているが、最終目的は物理的ではない事物あるいは事象の量的把握である。』⁴⁾
そして、その量的把握における量という概念を以下のように扱うべきと主張している。

『量という概念は狭義には空間の占める容積、あるいは物体の重さを表わすものだが、それが拡張されて、事物の多少の程度さらには心の広さをも意味するものとして使われている。量的把握という場合、事物の多少の程度を決定することを意味するものと考えられる。ただし、“多少の程度の決定”は同一性を定めることを含んでいる。つまり表現AとBとがあつて、 $A=B$ かさもなければ $A \neq B$ ときめることができれば、たとえばAとBのどちらが大きいかはきめられなくても、あるいは意味がなくてもA、Bは量であるとする。』⁴⁾
従つて、こうした量概念の拡張は、質(quality)という概念をも含むものと考えられる。

一方、JISによれば⁵⁾、計測とは『何らかの目的をもって、事物を量的にとらえるための方法・手段を考究し、実施し、その結果を用いること』とされている。

原稿受付：平成7年6月1日

*平成6年6月、日本ファジィ学会第10回ファジィシステムシンポジウムにて一部口頭発表。

**長岡技術科学大学 計画・経営系

る。また測定とは『ある量を、基準として用いる量と比較し、数値または符号を用いて表わすこと』となっている。この定義に前述の量概念を重ねながら、森村は計測を以下のように定義している⁴⁾。

『計測は人間が主体となって行う一つの行為である。その行為の重要な部分として測定がある。計測という行為の大きな特徴は、事物を量的にとらえるところにある、それは測定によって実現される。』したがって、たとえば、物体の体積を求めることはもちろん計測であるが、血液をA, B, AB, Oの4種類の型に分類することも計測であり、室内の快適性の多少を感覚に基づいて人間が判断する行為も計測の範疇に属するものと解釈される。

一方、北森は、計測が有する学術性に関して以下のように主張している^{6, 7)}。

『はっきりいってしまえば、計測は知識工学そのものである。』^{6, 7)}

こうして、計測における量概念の拡張と知識工学とも呼ぶべき対象認識論としての計測の存在意義が主張され始めているのであるが、かかる状況に対してファジ理論が無関係であるはずがない、というのが本研究を進める上での問題意識でもある。

さて、ファジに関する多くの専門用語が誕生している現状にもかかわらず、ファジ計測という用語が今まで皆無であったのは不思議である。それに類する言葉、たとえば、あいまい計測⁸⁾、ファジセンシング⁹⁾、ファジセンサー¹⁰⁾などはすでに使用されているが、その用語の普及度あるいは概念としての共通性は低いと言わざるを得ない。しかし、ファジ制御の華やかな成功劇を分析してみると、実はファジ計測という「脇役」の尽力によるところが大きい¹¹⁾。特に、家電におけるファジ制御応用においては、ファジ計測の戦略的な運用が効力を発揮している¹²⁾。

以下では、まず、「ファジ計測」という方法論が多くのファジ応用事例の中に潜んでいることを指摘し、ファジ計測が(ファジ)制御システムと有機的に結合することにより制御対象への戦略的なアプローチを可能にしていることを示す。次に、「ファジ計測」の概念あるいは方法論を、対象認識あるいは対象への接近を目的とした戦略的モデルを通して考え、特に計測の本質的な概念^{6, 7)}をベースにして議論する。

2. 計測と制御について

計測の原点を求め¹³⁾、計測の体系化^{1, 2, 3, 14)}により、計測の自己完結の全体性を求めようとする研究が依然として持続されている。しかし、計測は、ある全体システムの中の一つの部分システムであるべきである。対象に関して獲得した知識を何に用いるかが計測の目的であり機能的存在性であるように思える。全体における部分としての計測は、部分であることの不可避免的な存在ゆえに、全体システムからの要請を受けることになるが、その要請が制約的でない場合もある。すなわち、全体システムの目的が達成される範囲内であれば「計測精度は低くてもよいし、計測変数を陽に指示する必要もない、尺度も任意でよい」というような非制約的な要請が計測に与えられる場合もある。

全体における部分としての計測の良い例は制御(計測)システムであろう。一方、制御工学の方法が計測の分野でも有効に利用されているという事実^{15, 16)}を背景に、計測システムにおける情報処理部分において機能する制御装置の存在をもって計測(制御)システムと呼ぶ場合も多い。このシステムは、制御を部分システムとして有する計測(制御)システムである。計測(制御)システムにおける制御ブロックの制御対象は、計測対象というよりはむしろ計測ブロックである。計測(制御)システムの概念図は図1のようになる。

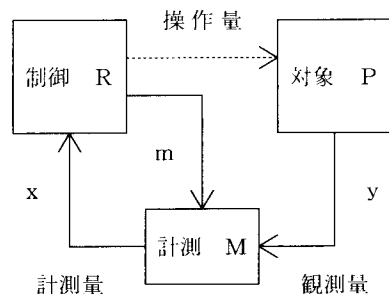


Fig. 1 Schematic diagram of measurement system embedding control subsystem.

一方、全体システムが制御システムであり、計測ブロックがサブシステムとなる制御(計測)システムの基本的な概念図は図2のようになる。

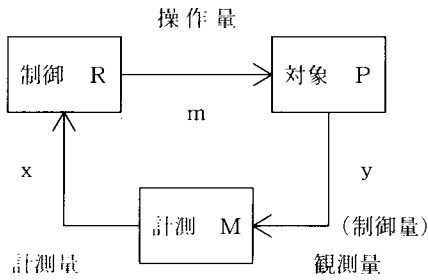


Fig. 2 Schematic diagram of control system embedding measurement subsystem.

図2においては、計測ブロックMが全体システムの中で陽に表現されている。しかし、計測ブロックを陰に構成し、計測と制御を合成したブロック $R \circ M$ によって書き変えたと図3のようになる。図3では、計測量 x が陽に表現されていない。

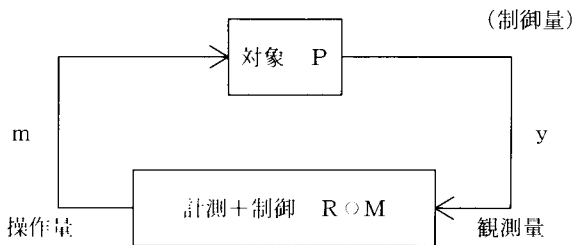


Fig. 3 Schematic diagram of control system in which the measured variable is implicitly embedded.

ただし、図3における $R \circ M$ は、計測機能Mと制御機能Rの合成を意味し、記号 $\circ$ は数学的な意味での対応あるいは関数の合成を指している。

こうして、計測量を制御（計測）システムの内部に埋め込むことにより、計測量の本体や尺度などが影に隠れる。全体システムとしての目的が成就されさえすれば、計測量がどのような量（物理量、工学量、心理量、あいまい量など）であるか、尺度は何か、を明示する必要がない場合が生じる。極言すると、対象から得た観測量（測定値）を物理的な因果関係に依存しない量に相対的に変換し、これを制御装置への入力として操作量を定めても良い場合がある。

以上述べたように、計測それ自体を常に全体システムの中の部分システムとして位置づける考え方は、計測の戦略的運用において重要である。計測を過度の精

確性至上主義から解放し、精確に計測する技術が不在なために放置されていた制御対象を救済するためには、あいまいに計測することの有用性を注視すべきである。それは、あいまいな量を厳密に計測するというよりも、『あいまいでない量をもあいまいに計測する』という意味において戦略的であるべきである。

3. ファジィ応用における計測

ここでは、家電製品とプロセス制御におけるファジィ応用を主に取り上げ、そこに導入されている「ファジィ技術」の正体を計測の観点から眺めてみよう。

3.1 ファジィ掃除機

A社のファジィ制御応用掃除機¹⁷⁾では、床面の特徴を見分けて吸引力とブラシ回転をファジィ制御している、としている。そのためには床面の状態を計測する必要が生じるが、A社の場合は床面によって特徴的に異なる「掃除の難易度」を「床面指数」として定量化し、この床面指数を吸引圧力とブラシモータ負荷電流の変化からファジィ推論によって決定している。そして、ファジィ推論によって計測された床面指数に応じて、最も効率良く掃除が行える「吸引力」と「ブラシの回転」を決定する自動制御システムを構成している。図4にA社のファジィ掃除機における計測例を示す。この場合のファジィ技術は床面指数の決定におけるファジィ推論の利用だけであり、床面指数の値に基づいて行う吸込モータとブラシモータの制御にファジィ制御法は用いられていない。

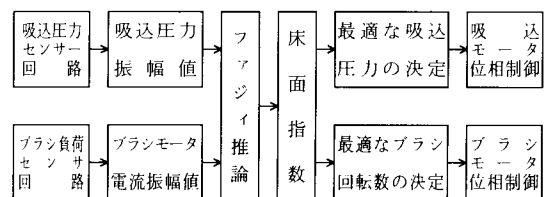


Fig. 4 Illustrative example of measurement system of vacuum cleaner using fuzzy control.

床面指数は、床面の種類（ジュウタン・たたみ・木床等）と質（凹凸・やわらかさ等）によって異なる「掃除の難易度」を総合した指数である。

計測の観点からすれば、計測対象は床面であり、計

測すべき本来的な量（計測量）は床面の種類・質に関する複数の計測変数である。では、「掃除の難易度」すなわち「床面指数」は如何なる量であろうか。それをここでは、「ファジィ測定量」と呼称する。すなわち、『計測すべき本来的な量としての計測量と高い相関関係を有すると評価される代替計測対象の量概念を、ファジィな量となる場合を許容してファジィ測定量と定義する』。計測対象に対するファジィ測定量を求めることを「ファジィ計測」と呼ぶ。すなわち、ここで取り上げたファジィ掃除機において利用されているファジィ技術はファジィ制御というよりはむしろファジィ計測であり、床面指数というファジィ測定量を吸込圧力変化とブラシ回転負荷変化という観測量から求めている。

一方、B社のファジィ掃除機¹⁸⁾では「取れるゴミの変化量を見ると床面の状態がわかる」という経験則を元にして、ゴミ量の変化量をセンサ（赤外線発光ダイオードとフォトトランジスタ）によって検出している。この場合は、床面のゴミ量（単位時間当りの積算値）と床面の状態（ゴミ量の変化量）からファジィ推論によって吸込力を決定している。すなわち、床面状態の計測にはファジィ推論を用いていない。床面状態を計測量とすれば、ゴミ量がファジィ測定量となり、このファジィ測定量に基づいてファジィ制御が実施されている。この場合は、観測量としてのゴミ量をそのままファジィ測定量にしていると解釈されよう。

3.2 ファジィ炊飯器

C社のファジィ炊飯器¹⁹⁾は、米・水の量に応じた最適な火力（沸騰維持パワー）で炊き上げを行うことを目的としている。すなわち、ジャー炊飯器の炊飯量を計測量とし、この炊飯量を温度上昇率として測定し、この温度上昇率から炊飯量に応じた最適な沸騰維持パワーをファジィ推論によって決定している。本来的な計測量は、米の種類、米の体積・重量、水の体積などであるはずであるが、それらの計測変数を総合した量として「炊飯量」を導入している。この「炊飯量」はファジィ測定量と呼べる量である。しかし、温度上昇率の測定は温度センサにより確定的に検出されており、そこにはファジィ推論は利用されていない。

3.3 ファジィ洗濯機

D社のファジィ洗濯機²⁰⁾では、「汚れの質」を「洗濯水の透過度が飽和するまでの時間」（透過度飽和時間）によって、「汚れの量」を「飽和時の透過度」によって、そして、「布量」を「モータ負荷トルク」に

よって測定している。本来的な計測量は、付着物質の種類（泥・脂質等）と体積・重量、布の体積・重量などであるはずである。ファジィ測定量としての「汚れの質」「汚れの量」「布量」を、それぞれ、「透過度飽和時間」「飽和時透過度」「モータ負荷トルク」という観測量によって求めているが、観測量をそのままファジィ測定量として扱っている。これらのファジィ測定量を用いて、最良の洗濯時間をファジィ推論によって決定しているが、計測それ自体にはファジィ技術は利用されていない。

3.4 下水処理プラントのファジィ制御応用

たとえば、東京都下水道局の湯島ポンプ所²¹⁾では、制御対象の状態変数である「雨水の流入状況」を「流入状況判断値」というファジィ測定量によってファジィ計測している。この場合の観測量は降雨強度とポンプ総吐出量である。

3.5 都市ごみ焼却炉へのファジィ燃焼制御

都市ごみ消却システムへのファジィ燃焼制御の応用例¹⁰⁾では、火炎分布・酸素濃度、炉出口温度・燃え切り点、ごみ投入時間経過・コンバートメント圧力を観測量として、それぞれ、燃焼分布、ごみ質、ごみ層厚をファジィ計測している。

3.6 動粘度ファジィ計測

ガソリンスタンドでは、ハイオクガソリン、レギュラーガソリン、灯油、軽油、重油等の油種を扱っており、これらは動粘度等の物性値が異なっている。しかし、スタンドに設置される計量給油機は油種別に製造されているわけではなく、基本的に一種類である。したがって、メーカー側は、どの油種の油が通油されるかが未知な状態で、計量検定を実施し出荷しなければならない。計量給油機の製造・出荷に際しては、厳しい計量検定に合格させるため、ポンプ流量制御における各パラメータチューニングを基準油（クレソール）を用いて出荷前に実施している。基準油は、スタンドで使用される各種使用油に対してほぼ平均的な性質をもっており、使用油種の違いによる計量誤差が最小となるようなチューニングを専門家が実施している。しかし、基準油による計量検定済みの計量給油機に対するユーザー（ガソリンスタンド）の使用環境（油種、気温、使用条件等）は、出荷前の計量検定時の環境と相違するため、計量誤差の増大や不安定化が問題となっている。

そこでこれを解決するための方策として、使用油の

動粘度に着目し、スタンド設置後において、使用油の油種を認識するためのセンサーを組み込み、油種の動粘度に対応したポンプ流量制御のパラメータ自動チューニングが考えられる。しかし、センサーの組み込みが困難であることから、動粘度センサーによらない動粘度計測の方法が提案されている²²⁾。これは、動粘度を直接に計測するのではなく、システム稼働中のポンプを含む流体系の諸現象から専門家の知識に基づくファジィ推論により動粘度指数を求める方法である。動粘度指数と油種との間の関係を図5に示した。すなわち、実用的な観点に立脚すると、油種そのものを認識する必要はむしろなく、基準油の動粘度に対して使用油の動粘度が高いか低いかの比較計測でも十分に対応できる、としている。そこで、 $[-1, 1]$ の間の値を範囲とした動粘度指数を新しく導入し、使用油が基準油に近ければ動粘度指数が0、ハイオクガソリンに近ければ動粘度指数は-1に近づき、重油に近ければ1に近づくように規格化している。

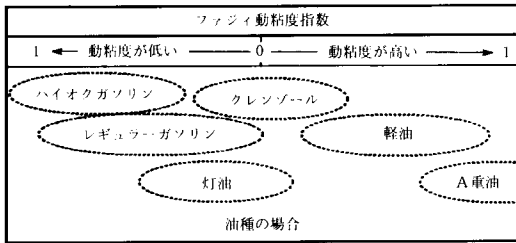


Fig.5 Fuzzy index of measuring the kinematic viscosity of fluid.

表1 ファジィ計測ルール

No.	eQfi	ePfi	eVfi	Kv
1	ZR	ZR	ZR	ZR
2	ZR	NS	ZR	NS
3	ZR	NS	NS	ZR
4	ZR	NM	NS	NB
5	ZR	NM	NB	NS
6	ZR	ZR	NS	NS
7	ZR	ZR	PS	ZR
8	NS	ZR	ZR	PS
9	NS	ZR	NS	PS
10	NS	NS	NB	NS
11	NS	NM	NB	ZR
12	NS	NB	NB	NB
13	NB		NS	PB
14	NB		NB	PB
15	NB		ZR	PB
16	NB		PS	PS
17	NB		PB	PS
18	PB	ZR	NB	NB
19	PB	NS	NB	NB
20	PS	ZR	ZR	ZR
21	PS	ZR	NS	NS
22	PS	NS	NS	NS
23	PS	NS	ZR	NS

基準油による計量検定時の基準値、
 Q_m : 基準油のポンプ流量
 P_m : 基準油のポンプ吐出圧力
 V_m : 基準油のポンプ吸入圧力
を基準として、使用油に対する下記のセンサーデータ、
 Q_f : 使用油のポンプ流量
 P_f : 使用油のポンプ吐出圧力
 V_f : 使用油のポンプ吸入圧力
を比較し、設置場所の未知油の動粘度指数をファジィ推論によって決定している。ファジィ推論ルールを図6に示した。図中の表1は、23個のルールを示し、
 $eQfi = Qf - Qm$
 $ePfi = Pf - Pm$
 $eVfi = Vf - Vm$
であり、 Kv は動粘度指数を意味している。

ファジィ推論による動粘度計測のシミュレーション結果を図7に示した。計測対象である流体が「やや劣化した軽油」の場合がCASE(b-1)であり、CASE(b-2)は「レギュラーガソリン」の場合の結果である。前者の場合は「動粘度指数+0.77」となり、図5よりこの流体が「やや動粘度の高い軽油かやや動粘度の低い重油」であることが分かる。後者の場合は「動粘度指数 -0.12」となっており、これは「やや動粘度の高いレギュラーガソリンか灯油」として計測されていることが分かる。いずれも妥当な推論結果であると考える。

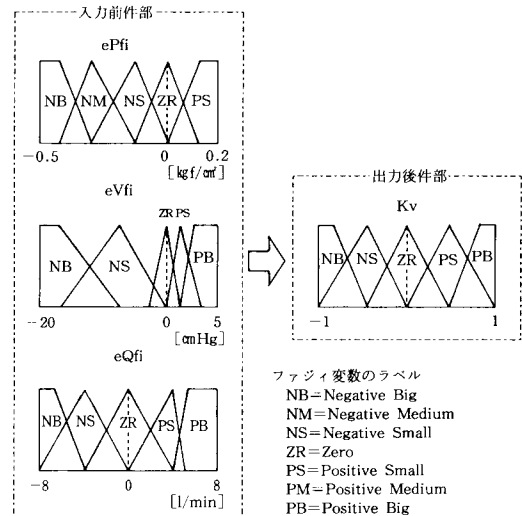


Fig. 6 Fuzzy reasoning system of measuring the kinematic viscosity of fluid

CASE No.	RULE No.	前 件 部						後 件 部		動 粘 度 指 数
		eQfi		ePfi		eVfi		Kv		
		ラベル	適合度	ラベル	適合度	ラベル	適合度	ラベル	適合度	
b 1	13	NB	1.00			NS	0.90	PB	0.90	+0.77
	14	NB	1.00			NB	0.11	PB	0.11	
b 2	1	ZR	1.00	ZR	0.75	ZR	1.00	ZR	0.75	-0.12
	2	ZR	1.00	NS	0.25	ZR	1.00	NS	0.25	

Fig. 7 Simulated results of fuzzy measurement of kinematic viscosity of fluid.

4. ファジィ計測の構造モデル

4.1 計測の本質と計測方程式について

計測とは、計測対象の計測量を観測量から求めることであり、計測方程式を解くことに他ならない⁶⁾。計測方程式とは計測量が観測量に現れる過程を表現したものである²³⁾。その過程は、測定量を原因、観測量を結果とする因果過程である。『計測する』ということは『因果過程の逆向き、すなわち果因過程をたどることによって、結果から原因を求めることである』^{6, 24)}。

計測対象

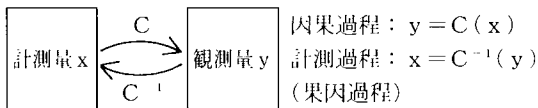


Fig. 8 Schematic diagram of a general model of measurement.

従って、『計測は物理的世界では自然に起こることではなく、人間の知的活動の世界、あるいは情報の世界で行われる過程であり、これが計測の最も重要な本質である』⁶⁾ということになる。

計測の一般的なモデルを図8に示した。計測とは、因果過程としての対応 C を如何に効率良く探索するか、すなわち、その逆対応である果因過程としての C^{-1} が存在するような C を探すことに本質があると考えられる。計測量 x に対してある C を定めると観測量 y が指定されるが、 C^{-1} を定めることが困難な場合には計測できないことになる。もし計測量と観測量を任意に選択することができれば、 C^{-1} が存在するような（あるいは、容易に求められるような）因果モデル C を定めることができるはずである。

4.2 ファジィ計測の構造モデル

図9にファジィ計測の構造モデルを示した。図中の C は対応を意味し、 H 、 F はファジィ対応を意味し、 F^{-1} は F のファジィ逆対応を指す。ファジィ測定量 r は計測対象の計測量 x に密接に関係した量であり、本来的な計測量 x を求める代わりにファジィ測定量 r を求めようとすることを意味している。ただし、ファジィ測定量は常にファジィ集合によって記述されるわけではなく、非ファジィ量をも含む量概念であり、計測量 x と高い相関関係をもつ代替計測量である。

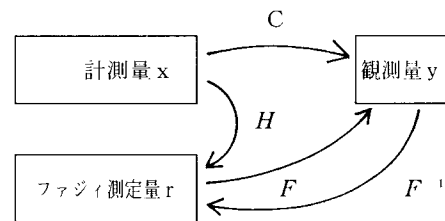
H は計測量 x からファジィ測定量 r へのファジィ対応（ファジィ評価）を意味し、次式が成立する。

$$r = H(x) \quad (1)$$

また、ファジィ計測過程は次式で記述される。

$$r = F^{-1}(y) \quad (2)$$

一方、因果過程の逆 C^{-1} に関して、



（ファジィ評価）： $r = H(x)$

因果過程： $y = C(x)$

ファジィ因果過程： $y = F(r)$

ファジィ計測過程： $r = F^{-1}(y)$

Fig. 9 Schematic diagram of a structural model of fuzzy measurement.

$$x = C^{-1}(y) \quad (3)$$

が成立し、これを式(1)に代入すると

$$\begin{aligned} r &= H(C^{-1}(y)) \\ &= (H \circ C^{-1})(y) \end{aligned} \quad (4)$$

を得る。ただし、上式における記号 $\circ$ は対応の合成を表す。式(2)と式(4)より次式を得る。

$$F^{-1} = H \circ C^{-1} \quad (5)$$

上式はファジィ計測過程（ファジィ果因過程）に対する数学的な一般表現である。従って、ファジィ計測とは、計測量 x と高い相関関係をもつ代替計測量としてのファジィ測定量 r を観測量 y から式(5)によって求める行為である。式(5)において、一般に F^{-1} と H は計測者が定め、 C^{-1} は厳密な意味では未知となる。従って、式(5)は、計測者が F^{-1} を定める場合には、因果

過程の逆 C^{-1} に関する何らかの知識を考慮しなければならぬことを意味している。

一方、ファジィ計測方程式は

$$y = F(r) \quad (6)$$

となり、計測量 x を陽に含めないことになる。

4.3 ファジィ計測の戦略性

図9に示したファジィ計測モデルの戦略性を例を用いて以下に説明する。たとえば、室内の快適性を制御する場合には室内の快適性を計測する必要がある。しかし、快適性の物理計測は困難である。そこで、室内の快適性に関する人間の感覚情報を基にして、快適性と室内の物理的環境データとの間の対応関係を統計的に推定することによって、快適性の客観的な尺度を求めることが考えられる。これが、快適性に対する感覚計測の導入であろう。しかし、求めるべき快適性という量概念は、室内にいる人間が感覚を通じて得る量概念と必ずしも一致しない。快適性は抽象概念であるが、感覚は具象概念だからである。

この感覚計測を図9のファジィ計測モデルで考えれば、快適性が計測量 x となり、人間の感覚情報がファジィ測定量 r となる。 x から r へのファジィ対応 H は人間の感覚機能となろう。観測量 y は室内の物理的環境データであり、 y から r を求める過程としての感覚計測がまさにファジィ計測 F^{-1} である。式(5)に示した $F^{-1} = H \circ C^{-1}$ は、感覚計測が物理的な因果過程 C の逆に関する知識 C^{-1} と人間の感覚機能に関する知識 H の両者の合成によって生成されることを意味している。計測量 x の計測が困難な場合に、ファジィ計測量 r を計量することによって、対象としての室内環境の快適性をファジィ認識することは、まさに戦略的である。

また、動粘度の例で言えば、物理的な動粘度が計測量の場合に、動粘度指数をファジィ測定量にしてこれを計測し、動粘度指数によって対象としての流体の油種をファジィ認識するのである。同様に、ファジィ掃除機の場合には、床面の種類・質が計測量 x となるが、高いコストをかけて床面の種類をセンサーで識別する代わりに、床面指数というファジィ測定量を導入し、床面指数の計量によって対象としての床面をファジィ認識しているのである。

ファジィ計測の戦略的モデルは、計測が困難な場合、あるいは、計測に高いコストを要する場合等において、ファジィ計測量の導入によって対象を認識するという意味で戦略的なのである。

5. ファジィ計測の戦略的応用とソフト・コンピューティング

ファジィ集合論の提唱者であるザデーは、1991年3月にBISC(Berkeley Initiative in Soft Computing)という研究所をカリフォルニア大学バークレイ校に設立した。この研究所は下記の事項を目的としている。

- ①現在以上に知的でユーザフレンドリなシステムを開発することを目標に、ソフト・コンピューティングとその応用研究のための環境を提供する。
- ②国際的あるいは産・官・学の共同研究をめざし、米・日・欧の研究者に会議の場を提供する。
- ③ソフト・コンピューティングの研究指導を行う。

BISCにはカリフォルニア大学を中心として、ファジィ理論、ニューラルネットワーク、確率論等の多くの分野の研究者が参加し、産業界へは会員制による参加企業を募っており、すでに日本からも何社かがメンバーになっている。

そこで、ソフト・コンピューティングとは何かであるが、基本的には以下に示すような新しい計算法を指すと考えられている²⁹⁾。

『ソフト・コンピューティングとは、扱い易さ、頑健性、低コストを成就するための不正確さや不確かさに対するトレランスを利用することを主たる目的として、ファジィ論理・ニューラルネットワーク理論・確率的推論法・遺伝的アルゴリズム・カオス理論・学習理論等を総合的かつ融合的に利用することによって創出する、高度の精密性を求めない低精度の新しい計算様式』である。

ザデーは、ソフト・コンピューティングについて以下のように述べている。

『一般に、高度の精密さは高いコストをもたらす。そこで、低いコストで許容可能な解が得られるような計算法を考案し、これによって不正確性に対するトレランスを利用することは、まさに一つの挑戦である。これがソフト・コンピューティングの本質的な指導原理である。・・・・・・』

人工知能に対する基盤として見られるべきものはハード・コンピューティングよりもむしろソフト・コンピューティングである。将来、この分野が広範な地位を得るであろう。』

しかしながら、ソフト・コンピューティングの考え方は誕生したばかりであり、未だ概念的であるだけでなく、R&D(Research and Development)を推進す

る上での政策的な将来構想の観が少なくない。にもかかわらず、ソフト・コンピューティングの目指す方法論がファジ理論の目指すものと密接に関係していることは、十分に窺い知ることができる。

要するところ、ソフト・コンピューティングに求められるものは、下記の方法を構築することである。

- (1) 正確に数式化された問題に対する近似的な解法
- (2) 不正確に数式化された問題に対する近似的な解法
- (3) 許容可能な解を低コストで得る計算方法
- (4) 不正確さに対するトレランスの利用法

したがって、ソフト・コンピューティングの考え方は、各種の技術(戦術)を総合した方法論を確立しようとする技術戦略論に他ならない。

戦略(strategy)と戦術(tactics)を辞書で引くと以下のように記されている²⁶⁾。

戦術：戦闘実行上の方策。一個の戦闘における戦闘力の使用法。一般に戦略に従属するものとされる。

戦略：戦術より広範な作戦計画。各種の戦闘を総合し、戦争を全局的に運用する方法。

したがって、ソフト・コンピューティングを「戦略」とすれば、その構成要素となるファジ理論、ニューラルネットワーク等は「戦術」ということになる。しかし、ファジ集合論・ファジ論理・ファジ測度論を含めた広範な理論的枠組みとしてのファジ理論は、単に「戦術」とどまらず「戦略的」な方法論としてソフト・コンピューティングに寄与することが可能となろう。

戦略としてのファジ方法論は、厳密性及び精確性の向上を規範としてきた従来の方法論に拘泥することなく、「あいまい性」を許容し「近似性」を導入することによって、不確かさに対して寛容かつ頑健な方法論の採用を戦略的に進めることを指す、と考えられる。

本論文で提案したファジ計測の構造モデルは、技術戦略論としてのソフト・コンピューティングが掲げる低コスト・低精度・近似・トレランス指向に同調する考え方である。ファジ計測が戦略としてのファジ方法論の一つとして、ファジ応用の局面で威力を発揮するものと判断される。

一方、計測すべき対象の多様化と共に、計測できない対象を如何に計測するかという課題が登場しつつある。こうした不可測計測あるいは代替計測²⁷⁾とも呼ぶべき新しい計測技術の創出が今後ますます重要視されると思われる。こうした課題に対しても、ファジ計測の戦略的な運用が計測対象へのソフト・コンピュー

ティング的接近を可能にすると考えられる。

6. おわりに

図2に示した制御システムにおいて、計測量 x をファジ測定量 r に、計測 M をファジ計測 F^{-1} に置き換えると、図10に示すファジ計測制御システムを得る。ファジ計測過程であるファジ逆対応 F^{-1} を定める有用な一つの方法は、観測量 y からファジ測定量 r への対応をファジ推論によって記述・実行することであると考えられる。

図10の制御システムは、ファジ計測を制御システムに応用する場合の戦略的な特徴を示している。すなわち、図2に示した従来の制御システムと相違して、計測量 x を制御ブロックへの入力とせず、計測量 x と密接に関係した量としてのファジ測定量 r を制御ブ

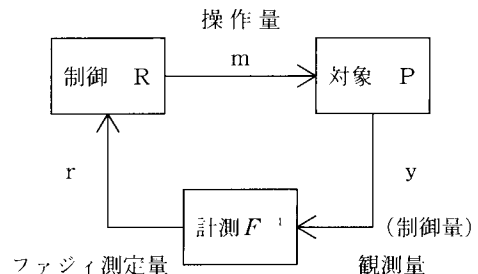


Fig.10 Schematic diagram of the control system using fuzzy measurement.

ロックへの入力とする点にある。これは、制御ブロックへの本来的な入力であるべき計測量 x が計測困難な場合において、計測量 x の代替量としてのファジ測定量により制御対象の状態を把握し、このファジ測定量を入力とすることによってコントローラを機能させて操作量を決定することを意味している。従って、ファジ測定量が制御対象の状態量を正確に表現していない場合があり得るという点では、制御システムとしての理論的な整合性に欠ける面がある。しかし、状態量が観測あるいは計測できないという理由のために、制御不可能なものとして放置されてきた多くの制御対象を制御するためには、図10で示したファジ計測の戦略的応用による制御システムが有効である。こうした有効性が、2. で述べたように、家電製品等を中心としたファジ制御応用において成果を上げたが、家電製品に限らずその戦略的応用は広い範囲の分野で利用可能と考える。

また、ファジ測定量 r を陰に含むように計測ブロッ

クと制御ブロックを合成すると、図11に示すような戦略的なファジィ計測制御システムを得る。

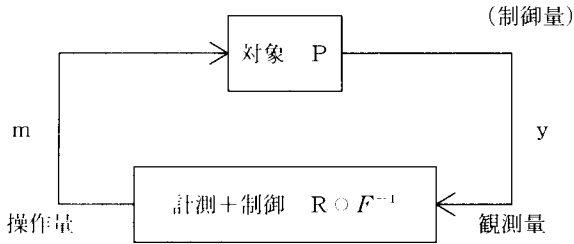


Fig.11 Schematic diagram of the strategical control system embedding fuzzy measurement.

最後に、(戦略的) ファジィ計測に対する概念的な定義を以下に示す^{11, 12, 28, 29)}。

『ファジィ計測とは、計測対象の計測量から観測量への因果過程の逆をたどることによって、計測量に密接に関連したファジィ測定量を観測量から求めること』である。

参考文献

- 1) 寺尾 満：測定論の体系化の試みⅠ，計測と制御，Vol. 15, No. 1, pp. 9-16(1976)。
- 2) 森村正直：測定論の体系化の試みⅡ，計測と制御，Vol. 15, No. 1, pp. 16-24 (1976)。
- 3) 森田矢次郎：測定論の体系化の試みⅢ，計測と制御，Vol. 15, No. 1, pp. 24-30(1976)。
- 4) 森村正直：計測の論理構造，計測と制御，Vol. 19, No. 1, pp. 20-26(1980)。
- 5) JIS Z 8103-1978計測用語
- 6) 北森俊行：計測の本質と計測工学，計測と制御，Vol. 26, No. 2, pp. 145-152(1987)。
- 7) 北森俊行：あいまいさに対する方法論的考察 ―とくに計測・制御工学の立場から―，日本ファジィ学会誌，Vol. 3, No. 1, pp. 27-34(1991)。
- 8) 電気学会編：あいまいとファジィ ―その計測と制御，オーム社(1991)。
- 9) 大藪多可志，本多宗高，石坂昭三：センサシステムにおけるファジィ技術，第2回ファジィワークショップ(ファジィ技術に関する長岡フォーラム'92)講演論文集，pp. 19-28(1992)。
- 10) 片岡清紀：都市ごみ焼却炉へのファジィ燃焼制御の実機適用，電気学会公共施設研究会資料，PPE-92-4, pp. 29-34(1992)。
- 11) 大里有生：ファジィ計測とその論理構造，(社)日本工業技術振興協会「ファジィと知識情報処理研究委員会」第10回定例会資料，pp. 1-12(1993)。
- 12) 大里有生：戦略的ファジィ計測論，第2回日本ファジィ学会北信越支部ミニシンポジウム講演論文集，pp. 15-18(1993)。
- 13) 計測自動制御学会：特集計測の原点を求めて，計測と制御，Vol. 15, No. 1(1976)。
- 14) 計測自動制御学会：ミニ特集 計測アルゴリズム，Vol. 27, No. 5, pp. 28(1988)。
- 15) 寺尾 満：測定論，岩波書店(1975)。
- 16) 須田信英：システム論，制御理論からの計測への提言，計測と制御，Vol. 19, No. 1, pp. 33-36(1980)。
- 17) 押鐘倫明，松実孝友，日吉孝蔵：ファジィ制御応用掃除機，日本ファジィ学会誌，Vol. 3, No. 2, pp. 20-21(1991)。
- 18) 安部秀二：掃除機へのファジィ応用，ファジィ活用事例集，pp. 188-195, (株)工業調査会(1991)。
- 19) 原 由美子，佐藤慎一：電子ジャー炊飯器「露しらずファジィ」(SR-VAシリーズ)の紹介，日本ファジィ学会誌，Vol. 3, No. 2, pp. 24-25(1991)。
- 20) 野村博義，林 勲，若見 昇：ファジィ技術の家電への応用，第2回ファジィワークショップ講演論文集，pp. 29-38(1992)。
- 21) 深野 司：下水処理プラントのファジィ制御応用，電気学会公共施設研究会資料PPE, pp. 9-15(1990)。
- 22) 及川達也，江守 一，大里有生：計量給油装置の流量制御における動粘度ファジィ計測，第9回ファジィシステムシンポジウム講演論文集，pp. 57-60(1993)。
- 23) 小林 彬：計測方程式，計測と制御，Vol. 27, No. 5, pp. 383-388(1988)。
- 24) 赤塚孝雄，田村安孝：計測と逆問題，計測と制御，Vol. 27, No. 5, pp. 400-406(1988)。
- 25) L.A. ザデー：ソフト・コンピューティング，日本ファジィ学会誌，Vol. 7, No. 2, pp. 262-269(1995)。
- 26) 広辞苑，新村 出編，第3版，岩波(1983)。
- 27) 北森俊行：計測とファジィ，日本ファジィ学会第24回ファジィ制御研究会(知的システムの構築へ向けて 長岡フォーラム)講演資料，pp. 1-7(1994)。
- 28) 大里有生：ファジィ計測の戦略的モデル，第22回ファジィ制御研究会資料，pp. 1-8(1994)。
- 29) 横堀秀之，大里有生：ファジィ計測の数理モデル，第10回ファジィシステムシンポジウム講演論文集，pp. 151-154(1994)。