特集 ファジィ思考によるヒューマンフレンドリシステムへの挑戦

— LIFE 6 年間の活動を終えて —

自然言語のあいまいさを活かす ファジィコンピューティング[†]

田野 俊一*

の課題を示す。

1. はじめに

国際ファジィ工学研究所ファジィコンピューティングプロジェクト(FC project, 1992-95)では自然言語のもつあいまいさを積極的に活かすファジィコンピューティングの方法に関する研究・開発を行った^{1,2)}。

本プロジェクトの研究成果に関しては100編近い論文, 学会講演等によって既に報告されている。そこで, 本報告では, 本プロジェクトにおいて研究・開発された個々の技術よりは, プロジェクト全体の理念や意義について記す。つまり, 細かい技術よりも, なぜ研究テーマとしてこれらの研究課題を取り上げたのか, その結果どのような知見が得られたかをマクロな見地から見ていく。技術の詳細に関しては, 主要な文献をプロジェクト全体^{1,2)}, 各テーマごと³⁻³⁶⁾に分類し参考文献に挙げたので参照されたい。

本報告では, まず2章において, 本プロジェクトにおけるあいまいさに対する態度と, 研究アプローチについて説明し, 本プロジェクトを構成する3つの主要なテーマについて3, 4, 5章の各章において, それぞれ第1節で研究の動機, 第2節で研究成果の概要, 第3節で研究の意義についてまとめるといった共通の構成で説明する。最後に6章でプロジェクト全体の成果を概観し, 今後

2. あいまいさに対する態度と研究アプローチ

ファジィ理論の適用はファジィ制御を契機として拡大していったが, 多くの場合, ファジィ適用の主な目的あるいは主な効用は, あいまいさを扱うと言うよりは, どちらかという関数近似の簡便な方式としての利用である。例えば, ファジィ制御では人間の判断をファジィルールという形で表現し利用することにより簡単にコントローラの構築が可能であることを示したが, コントローラをチューニングする段階に到達すると, ルールを構成していた述語, 演算子などのあいまいさの意味は忘れ去られてしまうのである。つまり, ここで扱われているあいまいさは関数近似の簡便な方式の理由付けに利用されているに過ぎないという批判から逃れることは難しい。

FCプロジェクトでは, これとは逆に, あいまいさが本質的な役割を果たす領域へのファジィ理論の適用を試みた。あいまいさが本質的に重要な役割を果たす一つの領域として, 自然言語がある。我々の最終的な目的は, ことば(自然言語や記号)で表された知識に内在するあいまいさの処理法/利用方法を明らかにすることである。もちろんこの問題はわずか数年のプロジェクトで解決できるような単純な問題ではない。

そこで, 図1に示すように, まず, 研究の方向を二つに分け取り組んだ。一つは, “IF x is F and/or y is G THEN z is H ” のルール形式に焦点をあて, この形式の自然言語に現われるあいまいさ

[†] Fuzzy Computing for Positive Use of Fuzziness in Natural Language

* Shun'ichi TANO

(株)日立製作所システム開発研究所

Systems Development Laboratory, Hitachi, Ltd.

図1 FCプロジェクトの研究アプローチ

の表現・処理方法の確立を目指す方向であり、もう一つは、一般の自然言語を用いた対話システムの実現を目指す方向である。

前者は、現在のファジィ理論の適用を第一に考えるボトムアップ的な研究スタイルである。このアプローチで、FINESTと呼ぶチューニング機構を持つあいまい推論のためのソフトウェアツールとそのアプリケーション例であるFATEと呼ぶオートマティクトランスミッションシステムの開発を行った。

後者は、あいまいさの取り扱いを第一に考えるトップダウン的なアプローチであり、FLINSと呼ぶあいまいな自然言語で対話できる汎用システムの構築を行った。

以下ではこれら三つのシステムの概要を紹介し、自然言語に内在するあいまいさをどのように定量化し、処理し、利用したかを説明していく。

3. あいまい推論ソフトウェア：FINEST ～推論で扱うあいまいさの拡大～

3.1 動機と目的

図1に示したように、ここでは、扱う自然言語を“IF x is F and/or y is G THEN z is H ”のルール形式に限定し、このルールを用いた推論方式について深く研究した。本研究の第一の背景は、

自然言語においてもIF-THEN形式のルールは最も基本的な知識表現であるという認識である。つまり、自然言語の意味処理の基本は推論であり、この基盤に対応する“IF x is F and/or y is G THEN z is H ”形式のルールを用いたあいまい推論(一般化モダスポネンス)を、まず整備する必要があると考えたからである。

現在提案されているあいまい推論やその利用手法が自然言語の意味処理方式としてそのまま使えるのであれば、この研究は不必要であるが、実際はそうではない。国際ファジィ工学研究所での前半のDSSプロジェクトでは、あいまい理論の知的情報処理分野への適用可能性の検証のために、FESプロジェクトで開発したLIFE FEShellを用い、外国為替予測システムFOREXの開発を行った^{37,38)}。このシステムはファジィ集合、ファジィ論理、ファジィ測度/積分等さまざまなあいまい理論を適用し、その有効性の実証を目指した。この結果、上述のさまざまなあいまい理論が実システムへ適用可能であることが実証された^{37,38)}。しかしながら、FOREXの開発経験は、このような可能性を示唆したものの、同時に現在の手法の問題点も明らかにした。例えば結合演算には相乗性があることが多いがそれを扱う方法がない、ルールによってはグラジュアル性を持つことがあるが一

般に提案されているグラジュアルルールではうまく扱えない場合がある，多数のパラメータがあってチューニングが難しい，さらに困ったことにパラメータのセマンティクスが不明確である，などである。

このような背景により，あいまい推論を基本とした前向き／後向き推論機構を有し，推論方式自身もチューニングできる機構も持つソフトウェア環境の提供を目的とし，研究・開発を進めた。

3.2 FINEST の概要³⁻¹⁵⁾

FINEST の特徴は

- (1) 改良されたあいまい推論
 - (2) 推論方式自身もチューニングする機構
 - (3) デバッグ，チューニングが可能なソフトウェア環境
- の三つに分類できる。

上記(1)のあいまい推論自身の特徴として，(a) 相乗性や相殺性を有する結合演算子^{5,6)}，(b) パラメータ化されたインプリケーション方法⁴⁾，(c) あいまいさの減少がありうるコンビネーション方法⁷⁾，(d) あいまい推論に基づく後向き推論方法¹¹⁻¹⁵⁾がある。これらの研究テーマは，あいまい推論方式自身に関する研究である。

上記(2)のチューニング機構⁸⁻¹⁰⁾は，(1)の特徴を取り込む形で拡張されている。即ち，相乗性や相殺性を有する結合演算子は，相乗性の強さや範囲等のパラメータを持つように定義されており，チューニング機構は，これらのパラメータもチューニングできるように設計されている。これは，インプリケーション方法，コンビネーション方法も同様である。つまり，チューニングターゲットには，従来のファジィ述語に加えて，改良されたあいまい推論のさまざまな推論パラメータも含まれている。

上記(3)のソフトウェア環境は，改良されたあいまい推論を用いた前向き推論／後向き推論およびチューニング機構が効率的に使えるように設計されている³⁻⁴⁾。

本稿では個々の技術については紙面の都合上説明

しない。以下，FINEST の利用形態について説明する。

FINEST 上では，個々あるいはひとまとまりの知識をユニットとして定義し，さらにそれらのユニットを結合し階層的に組み合わせることによって知識を表現する。現在 5 種のユニットが用意されている。

メモリユニット

メモリユニットは，対象世界の初期状態や途中結果をファクトとして保持する格納領域として用いられる。他のユニットは，メモリユニット内部からファクトを読み込んだり，そこへ書き出したりすることができる。

ルールユニット

ルールユニットには一つまたは複数のルールが定義されており，入力されたファクトにルールを適用することで推論を行う。推論が終了すると，出力インタフェースから推論結果をファクトとして出力する。ルールは，“IF x is F and/or y is G THEN z is H ” の形式で表現される。また，推論方法も指定することができる。例えば，ファジィ述語のメンバーシップ関数の指定，結合演算子，インプリケーション関数，コンビネーション関数に用いる演算子の指定，パラメータ付演算子の場合はパラメータの値の指定を行うことができる。

関数ユニット

関数ユニットはルールユニットと異なり，データの処理方法がルールでなく LISP の関数で記述されている。つまり，入力インタフェースから入ってきたファクトを引数として関数を評価し，その評価値を出力インタフェースから出力する。関数ユニットは，すでに動作のアルゴリズムが分かっているプロセスの記述や，非ファジィ化を行う関数の記述に用いる。

外部ユニット

UNIX の実行形式のファイルに対応しており，このユニットが使用されると，対応するプログラムが UNIX のプロセスとして起動される。入力されたファクトはこのプロセスに渡され，このプロセスが生成したデータは出力インタフェースから

ファクトとして出力される。

複合ユニット

ユニットは互いに結合することができる。ユニットを結合してできたものも一つのユニットとして扱うことができ、これを複合ユニットと呼ぶ。これにより、段階的、階層的なシステムの構築が可能となる。トップレベルのユニット(複合ユニット)を特にメインユニットと呼ぶ。

次に、FINEST の使い方について簡単に説明する。FINEST を起動すると、メインユニットのウィンドウが現われる。そのウィンドウ上に、知識を階層的に記述していく。FINEST はテキストまたはグラフィックでの編集をサポートしているが、ここではグラフィックを用いた編集の例を示す。まず、メインユニット上にそれを構成するユニットを表すノードを配置し、それらの入出力関係をマウスを用いて定義する(図2)。

次に、それぞれの構成ユニットの定義を行う。ここでは図中のルールユニット“RULE-UNIT1”の定義について説明する。“RULE-UNIT1”にルールを定義するために、ルールユニット編集ウィンドウを開く。開いた編集ウィンドウ上に、ルールをネットワーク状に記述する(図3)。ネットワークの各ノードは、ファジィ述語、結合演算子、インプリケーション関数、コンビネーション関数、入出力インタフェースのいずれかを表す。ファジィ述語のメンバーシップ関数や結合演算子などのオペレータのパラメータもここで定義可能である。

FINEST は、構築した知識を用いた前向き/後向き推論をサポートしている。推論は、構築した知識全体、つまりメインユニットに対して、あるいは、部分的に選択されたユニット群に対して、実行できる。ユーザからの推論の制御は推論ウィンドウによって行う。推論時には、発火中のユニットが赤く示され、推論の進行状況が視覚的に確認できる。ユーザは、推論の開始のほか、推論の中断、再開、中止、ステップ実行などを行える。また、ユニットなどにトラップ(対象物の発火時に自動的に推論を中断する仕掛け)を設定すること

図2 メインユニットの編集例

図3 ルールユニットの編集例

ができる。

さらに FINEST は、ルールなどで表される知識をチューニングする(知識に含まれるパラメータを適切に調整する)機能を持つ。チューニング可能なものは、ルールユニット(ファジィ述語、オペレータのパラメータ)、関数ユニット(内部パラメータ)およびこれらを構成ユニットとして持つ複合ユニット(構成ユニットのパラメータ)である。チューニングにはチューニング対象範囲、教師データ(チューニング対象範囲内での入出力となる模範的な入出力例)、チューニング回数、チューニング終了条件などの情報を必要とする。チューニング対象範囲内に含まれるパラメータを、全部同時にあるいは部分的にチューニングできる。図4にチューニング実行時の画面を示す。

3.3 研究の意義

FINEST はあいまい推論を用いた統合ソフトウェア環境であり、ファジィルールによるシステムモデルの作成や、ファジィコントローラの開発

図4 チューニング中の画面例

に用いることができる。本システムでは、(複合)ユニットの導入により、階層的なファジィシステムの表現が可能となっている。また、外部ユニット、関数ユニットの導入により他システムへのファジィシステムの埋め込み、または、その逆が可能となっている。さらに、チューニング機構は、部分的、あるいは全体的なチューニングが可能となっているため、表現だけでなく構築においても段階的、階層的に行うことができる。

さらに、FINESTはファジィルールで表された言葉の定量化ツールとみなすことができる。つまり、FINESTでは、チューニング対象を、結合演算子やインプリケーション関数、コンビネーション関数にまで拡大しており、教師データが与えられ、これらのパラメータを自動的にチューニングする。つまり、本システムを用いれば、このルールに表れる“And”は、とても強い相乗性を持っている、この“Or”は弱い相乗性を持っている、このルールは、“The more..., the more...”

の関係を持っているなどの性質を明らかにすることができる。これは、自然言語の意味の定量化を行っていると解釈できる。もちろん従来のシステムでもファジィ述語の学習が可能であるので、“大きい”や“高い”などの自然言語の定量化を行っていたと言えるが、本システムでは、推論の方法に関係する自然言語の意味までその定量化の範囲が拡大されている。

しかし、本研究の真の意義は、改良された推論方式、チューニング機構を持つツールの開発にあるのではなく、むしろ、『従来用いられているファジィルールの形式に限定したとしても、様々なあいまいさがまだまだ利用されていない現状を明らかにし、新たな研究が必要である研究領域を示した』ことにあるとも言えるのである。

なお、本ソフトウェアは組合員企業に対してはソースプログラムも含め公開しており、また、大学等の公的な研究機関においても試用が可能となっている。活用をお願いしたい。

4. オートマチックトランスミッション： FATE ～ファジィルールの階層化/適応化～

4.1 動機と目的

FATE は、運転者の意図に忠実なオートマチックトランスミッション制御の実現を目指したシステムである。基本的には従来型の“IF x is F and/or y is G THEN z is H ” のファジィルールが基本であるが、人間のあいまいな知識を表現するために、システムの構造を拡張している。

4.2 FATE の概要¹⁶⁻¹⁸⁾

まず、FATE 設計において 2 つの重要な考え方を説明する。

オートマチックトランスミッションコントロール(ATC)に対しては程度の差こそあれ、多くの人が不満を感じている。このような不満点を分析すると、主に二つの理由がある¹⁶⁾。

- ・ドライビング状況が考慮されていない。
- ・ドライバーの意図を読むのが難しい。

ドライビング状況に関する問題は今ではかなり解明されている。図 5 を用いて 2 つめの問題点、ドライバーの意図理解の問題点を説明する。平坦な道の 1 の位置で、自動車が 3 速の状態で行っている。自動車のスピードは 3 速から 4 速にチェンジするのに十分であるが、ドライバーがアクセルを踏み続けているままであるので、3 速から 4 速へのギアチェンジは起こらない。2 の位置でドライバーがアクセルから足を離すと、3 速から 4 速へのギアチェンジが起こる。このギアチェンジが

図 5 ドライバーの意図の影響

正しいかどうかはドライバーの意図に依存する。つまり、ドライバーが直進したい場合にのみこのギアチェンジは正しいことになる。

このように意図の検出を行わない限り、適切なギアシフトは行えない。これは、意図を判定するファジィルールがまず存在し、次に、この結果を基に、ギアシフトのためのファジィルールを選択するという階層型のシステムが必要であることを示している。これが FATE 設計上の第 1 の重要な考え方である。

FATE の設計においては、まず 15 個のカーブを含む平らなコースに対し、異なる運転スタイルの 2 人のドライバーのドライブ行動を観察した。この目的のために、ドイツのフォルクスワーゲンのドライブシミュレータを使用した。ドライバー 1 はとてもスポーティな運転者と分類されるが、ドライバー 2 は平均的な運転者に分類される。

ドライバー 2 のデータを使ってファジィルールを作成し、ドライバー 1 のデータで実験を行ったところ、そのシステムの振る舞いは非常に悪く、10 もの望ましくないシフトチェンジ操作が行なわれた。しかし、作成されたルールを調べた結果、ルールの論理的内容はドライバー 2 に対しても有効であり、論理的エラーはなかった。この不満足な振る舞いはドライバーのタイプの違いによって引き起こされている。データ解析の結果、二人のドライバーはスピードとカーブの半径に関して異なる認識を持っていることが判明した。例として、“高速”というファジィ値を検討してみよう。スポーティな運転をするドライバー 1 は時速 130 km を高速と感じているが、ドライバー 2 は時速 100 km 近辺を高速と感じている。従って、たとえばドライバー 2 のシフトチェンジの操作の振る舞いがドライバー 1 のそれに似ていたとしても、ギアシフトチェンジにおいて両方のドライバーの自動車の速度は顕著に異なる。ドライバー 1 の 4 速から 3 速へのシフトダウンの時の自動車の平均速度は大体時速 94 km であるのに対して、ドライバー 2 は同様のシフトダウンを時速 80 km で行なう。また、3 速から 4 速へのシフトアップでの違

いはもっと顕著である。ドライバー 1 はそのシフトアップを時速 95 km から 120 km の間で行ない、ドライバー 2 は時速 57 km から 87 km の間で行なう。

このように、ドライバー 2 については、ドライバー 1 とは異なる定義の言語変数 SPEED が必要である。また、SPEED 言語変数はドライバーの意図に関するルール群とギア選択のためのルール群において独立に定義しなければならない。つまり、1つの言語変数に対して複数の定義付けを許すことが重要である。これが、FATE 設計上の第 2 の重要な考え方である¹⁷⁾。

図 6 に FATE のシステム構成を示す¹⁸⁾。

データ処理ブロックでは、自動車からのデータが前処理される。例えば、フィルタリングされたりファジィ化される。実際の自動車の位置は自動車の速度から決定され、その結果は道路情報(カーブ間の距離、カーブ長、カーブ半径などを含む)を付加された、デジタル化されたドライブ環境の地図と比較される。

次にドライバーのタイプが同定される。本研究においてはドライバーのタイプが既知であると仮定したが、ドライバーのタイプが同定されると、ドライバーの意図に関係したルールベースにおけ

る言語変数 SPEED などが再定義される。例えば、もしドライバーがスポーティであると同定されると、システムはスポーティドライバー意図を獲得するルールセットを選択しその言語変数を再定義する。

次に、その選択されたルールセットを用いてドライバーの意図が推論される。この推論結果はギアシフトのための、意図に関係したルールを選択するために使用される。ルールの言語変数 SPEED がドライバーのタイプに従って再度調整され、最終的にこれらのルールを使用することにより、最適なギアの位置が決定される。

4.3 研究の意義

本研究は、FINEST の適用例の 1 つとして、つまり、FINEST の 1 つのアプリケーションとして開発に着手したが、FINEST の完成が遅れたため、当初の予定とは異なり、FINEST 上での実現には至らなかった。

しかし、従来型のファジィルールを用いたシステムにおいて階層構造が必要であること、および、言語変数をコンテキストに応じて適応させることの必要性を示したことは、重要な知見であり、さらに、ここで提案したシステム構造は FINEST

図 6 FATE の構成

を用いても実現可能であることから考えて、FINEST の適用可能領域の広さの 1 つの実証にもなっていると考ええる。

さらに、機械的な単純な制御ではなく、人間の意図を反映した総合的な制御を、ドライバーの特性検出→ドライバーの意図検出→ギアのシフトの制御といった流れを持つ階層的／適応的ファジィシステムを用いて実現している。今後、この研究を契機として、人間の高度な情報処理から対象の制御までを一貫して、ファジィシステムによって実現する研究が進展することを期待している。

5. あいまい自然言語対話システム：FLINS

～自然言語のあいまいさの積極的利用～

5.1 動機と目的

現在、自然言語処理の分野では、あいまいさは多義性であるといった認識がほとんどである。多義性は解消すべきもので、悪いものとして扱われている。

ところが、自然言語には多種多様なあいまいさが存在する。本研究での基本的な考え方は、『あいまいさを悪い性質としてではなく、よい性質として積極的に利用する』である。例えば、テキストとして与えられたルールをあいまいに使うことにより、より広い状況に対応可能となり、システムのロバスト性が向上する。また、テキストとして蓄えられている事例をあいまいに使うことにより、学習の範囲を拡大できる。この考え方は具体的なアーキテクチャを示唆しているのではなく、システム設計の思想的あるいは哲学的なものである。

FLINS では、この思想を基に、システムの設計、および、意味処理方式の設計を行った。

5.2 FLINS の概要¹⁹⁻³⁶⁾

あいまい自然言語対話システム FLINS：Fuzzy Lingual System では、一般の会話で用いるあいまいな自然言語の取り扱いを目指した。FLINS の最終的な目標は、あいまいな自然言語を用いた Domain Independent TQA System (ここで TQA は Teach, Question & Answer) であ

る。

自然言語内に現われるあいまいさの分析に基づき、ファジィ中心アーキテクチャの一つの実現として図 7 に示す 3 階層からなる推論機構を設計した¹⁹⁻²⁶⁾。

3 階層あいまい推論の最下層は、通常の方ファジィ推論、中間層が現在のファジィ理論を直接使ったファジィ集合、ファジィシンボルベースのあいまい推論、最上位層は、ファジィの手法により拡張された事例ベース推論(CBR：Case-based Reasoning)となる。最下層である基本部では非ファジィな推論、logical な推論を行う。いわゆるモダスポネンスである。つまり、自然言語の単語は単なるラベルとして扱われ、厳密なマッチが行われる。中間層のあいまい推論部ではいわゆるファジィ推論、fuzzy logical な推論を行う²⁷⁻³⁰⁾。つまり、自然言語の単語はファジィセット(分布)で表現できるとして扱われ、分布が似ていればマッチできる。このレベルまでは、一応 logical な推論だとみなせる。最上位のあいまい事例ベース推論部(F-CBR：Fuzzy Case-based Reasoning)部では、論理的には誤っているが、直観的には正しい推論を行う。つまり、事象間に明らかな相似性がなくても、むりやりに理由をつけて推論を行わせる³¹⁻³⁶⁾。

知識表現の基本は格構造であり、基本的には action を中心とし、格のアーキが出てくる構造で表現する。これをイベントと呼ぶ。ここでは、イベントの修飾子を用いてさらに拡張した表現を用いている。即ち、ネストされたイベントの連鎖が

図 7 3 階層からなる推論機構

知識表現の基本である。このイベントの変形操作が意味処理にあたるが、現在、FLINS は、4 種の意味処理、ジョイン変換(J 変形)、同値変換(P 変形)、限定変換(R 変形)、導出変換(I 変形)を対象としている。

図 8 に上記の意味処理が実際の問題解決においてどのように用いられるかを示す。図 8 の右端に示してある丸印が一つのイベントに対応している。テキストベースにはイベントが多数記憶されている。上記の意味処理をテキストベース内のイベントに作用させることにより、新たな知識が導出される。これが質問のイベントと何らかのマッチがとれば、回答することができる。例えば Yes/No 型の質問の場合、もし完全にマッチするイベントが生成できれば、Yes と答えることができる。このように、基本的にはマッチするイベントをどのように探すかが意味処理の重要な部分になる。実際はこのような右から左ではなく、逆の処理の流れが問題解決となる。これが基本的な意味の処理方法である。

次に、3 階層推論での処理の流れを見ていく。ターゲットのイベントが与えられると、まずそれに完全にマッチするイベントが探される。それが単独のイベントの場合、マッチすればマッチ処理は成功となるが、単独でなく、導出変換(I 変形)に用いることのできるイベントであった場合(つまり、ルール形式のイベントで結論部のイベントとマッチした場合)、条件部のイベントを新たなターゲットイベントとして取り扱う必要が出てくる。これと同様の処理がジョイン変換(J 変形)、同値変換(P 変形)、限定変換(R 変形)にも必要となり、再帰的にターゲットイベントとして扱われ処理されることになる。

FLINS の中間層には、“Most tall men are heavy is very true” に例示されるあいまいさを扱う推論機構を持つ²⁷⁻³⁰⁾。このあいまい処理によって上記のマッチ処理の部分が拡張されている。つまり、最下層の推論機構で完全にマッチできない場合、自動的に中間層においてあいまいなマッチングが試みられる。即ち、最下層では文字列の完

図 8 意味処理の考え方

全なマッチが要求されるが、中間層ではファジィ理論を用いたファジィマッチングが許されることになる。ただし、このファジィマッチングでも言葉の意味するファジィ集合が与えられている必要がある。

最上位層の F-CBR では、このような表面上の類似性ではなく、知識を用いた類似性を取り扱う。例えば、太陽系と原子モデルの類似性がそれに当たる。FLINS では、従来の類推を (a) 知識ベースの利用を明確にしアルゴリズムに組み込んだこと、(b) ファジィ理論によって拡張したことを特徴とする F-CBR を有しており³¹⁻³⁶⁾、中間層でのファジィ理論によるマッチが失敗した場合、自動的に F-CBR が呼び出される。

この 3 階層推論機構のあいまい推論、F-CBR の具体的なアルゴリズム、および、それらを用いた学習方法については参考文献を参照されたい。

FLINS では、特殊なメタ推論機構やメタ推論知識は用いない。つまり、一般の推論(上記で説明した 3 階層推論)がメタ推論機構として動作し、一般の知識がメタ知識として利用されるように設計されている。このために導入した新たな概念が、プロシージャルプリミティブと自問という考え方である。FLINS は、推論が 1 単位進むたびに自問する。自問とは、自分自身に “What should I do?” (WSID) と問いかけることである。この問いかけは、上記図 7 の 3 階層推論で処理されることに

なる。その問題解決の過程で、ある条件の下でプロシージャルプリミティブが意味処理で用いられた場合、特定のプログラムが活性化し、これによって推論の制御が結果的に行われる。図9を用いて上記のフローがどのように処理されるかを説明する。

まず、質問が入力されると最初の WSID が行われ問題解決機構が動き出す。この問題解決は、図9の一番下の台形(これが図7に対応する)で表されたプレーンで行われる。ここでは、例えば、「質問に答えるために…」の知識を用いた問題解決が行われる。この問題解決の途中で2番目の問題解決平面が生まれ、さらにこの問題解決途中の自問により別の問題解決プレーン(3番目の層)が生成される。

5.3 研究の意義

本方式を推論という観点から見ると、LOGICAL, FUZZY LOGICAL, FUZZY CBR 推論を統合した新たな推論アーキテクチャであると評価することが可能であり、論理的な解、あいまいな解、直観的な解が得られる統一的な推論アーキテクチャが実現できたといえる。

見方を変え、対話システムという観点から見ると、第一の特徴は、「完全さの放棄」である。つまり、ほとんどすべての文が少なくともテキストベースにはいり、少なくとも似た構造で質問すれば、答えが得られるものの、システムが理解している意味はその中のごく一部であり、はじめは文の意味を少ししか理解してくれない。ユーザが知識を与えない限り賢い応答は期待できない。これはファジ理論をツールとしてではなく理念として適用した結果生まれた考え方である。

つぎに、推論制御の観点から評価してみる。従来の知識工学ツールと違って、明確なメタ推論機構はもたず、自問(WSID)による実現法を採用している。この結果メタメタ…推論への対応を可能したと同時に、高度な3階層推論がメタ推論でも動作する、つまり、F-CBR までもがメタ推論に用

図9 メタ推論の例

いられることになる。このような構造をとることによりメタ知識と一般知識の差を無くすことができ、メタ推論に一般知識が適用可能となった。このような一般知識のメタ推論への適用には、二つの意味がある。第一は、一般知識をメタ推論中の一般問題解決のために利用できるということ、第二は、一般知識自身がメタ知識として F-CBR により流用されることである。

以上のように、FLINS は高度な推論機構を有するシステムではあるが、まだまだ解決すべき課題を残している。例えば、セマンティックプリミティブやプロシージャルプリミティブの十分な集合とは何か、推論制御は自問によって行われるが、どの程度自問すればよいか、F-CBR では言葉の意味を拡大解釈しながら推論や学習を行うが、どの程度の拡大解釈が許されるのか、など新たな問題点を生み出している。今後、FLINS で開発した方式を基礎とし、これらの問題の解決に努めていく必要がある。

6. 成果のまとめと今後の研究課題

コンピュータが自然言語を理解できれば、現在の使いにくく、気のきかないコンピュータとは違って、自然言語で自由に対話できるコンピュータが実現される。さらに、自然言語はコミュニケーションの道具であり、また同時に思考の道具でもあることを考え合わせれば、コンピュータが自然言語を理解できるということは、コンピュータが思考の道具を手に入れたことになり、人間のような知的問題解決能力も発揮できる可能性がで

る。

伝統的な自然言語処理の研究では、解釈の多義性という意味でのあいまいさのみが対象であり、意味のあいまいさは無視され続けてきた。このあいまいさに対する態度は科学に対する哲学的な見方を起源にしている。つまり、近代科学においては、デカルトを祖として、あいまいさは悪として徹底的に排除される、つまり、反感性(反あいまいさ)の立場をとっており、これが伝統的な自然言語処理の方法論に深い影響を与えている。

ところが、自然言語の本質は「あいまいさ」であると言われている。さらに自然言語は思考の道具であることから、「あいまいさ」は知性の根源であるとも考えられ、その取り扱いが自然言語理解の実現において中心的な課題なのである。

そこで、FCプロジェクトでは自然言語のあいまいさの処理を研究テーマとしてとりあげ、『“IF x is F and/or y is G THEN z is H ”形式のルールに焦点をあて、この形式の自然言語に現われるあいまいさの表現・処理方法の確立を目指すアプローチ』、および、『一般の自然言語を用いた対話システムの実現を目指すアプローチ』の二つの方向で研究を進めた。本章で説明したように、FCプロジェクトでは、あいまいさを扱うさまざまな処理方法を研究し、いくつかの成果をあげた。しかし、自然言語のあいまいさは奥が深く、本プロジェクトの取り組みは困難な研究の第一歩に過ぎない。本プロジェクトでの研究を契機とし、ファジィ学界だけでなく人工知能の学界でも自然言語の意味のあいまいさの研究が活性化することを願っている。

謝 辞

本研究の場、およびその方向付けを与えてくださった、(技術研究組合)国際ファジィ工学研究所寺野寿郎所長ならびに本プロジェクトの設立当初から最後までご指導していただきました、大阪大学馬野元秀先生に深く感謝致します。

参 考 文 献

●ファジィコンピューティングプロジェクト全体

- 1) 田野, 岡本, 岩谷, 井上, 藤岡, 三好, 加藤, アルヌ, 尾山, バスチャン, 馬野, 自然言語のあいまいさを積極的に活用するファジィコンピューティング, 第37回自動制御連合講演会, pp.5-8(1994).
- 2) 田野, 第2章: 自然言語のあいまいさの定量化, 処理法, 利用法, (株)コンピュータ・エージ社「ファジィ思考による知的情報処理」, pp.59-138(1995).

●FINEST 関連論文

- 3) 田野, 尾山, アルヌ, バスチャン, FINESTを用いたユニットに基づくファジィシステムの構築とチューニング, 第10回ファジィシステムシンポジウム講演論文集, pp.539-542(1994).
- 4) S. Tano, T. Miyoshi, Y. Kato, T. Oyama, T. Arnould, A. Bastian, Fuzzy Inference Software-FINEST: Overview and Application Examples, FUZZ-IEEE & IFES'95, pp.1051-1056(1995).
- 5) Y. Kato, T. Arnould, T. Miyoshi, S. Tano, Conjunction and disjunction with synergistic effect, FUZZ-IEEE'93, pp.225-230(1993).
- 6) 加藤, 田野, ルール前件部における相乗性の表現方法と相関関係表現への拡張, 日本ファジィ学会誌, Vol.6, No.3, pp.549-561(1994).
- 7) 田野, アルヌー, 尾山, あいまいさの減少がありうるコンビネーション関数とパラメータ学習, 日本ファジィ学会誌, Vol.7, No.2, pp.330-346(1995).
- 8) T. Miyoshi, S. Tano, Y. Kato, T. Arnould, Operator Tuning in Fuzzy Production Rules Using Neural Networks, FUZZ-IEEE'93, pp.641-646(1993).
- 9) 尾山, 田野, アルヌ, ファジィ入出力を持つファジィ推論に対するチューニング法, 第10回ファジィシステムシンポジウム講演論文集, pp.195-198(1994).
- 10) T. Oyama, S. Tano, T. Arnould, A tuning method for fuzzy inference with fuzzy input and fuzzy output, FUZZ-IEEE'94, pp.876-881(1994).
- 11) T. Arnould, S. Tano, A rule-based method to solve max-min fuzzy relational equations pro-

- viding exactly with the widest solution sets, 日本ファジィ学会誌, Vol.5, No.6, pp.1337-1353(1993).
- 12) T. Arnould, S. Tano, A rule-based method to calculate the widest solution sets of a max-min fuzzy relational equation, International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems, Vol.2, No.3, pp.247-256(1994).
 - 13) T. Arnould, S. Tano, A rule based method to calculate exactly the widest solution sets of a max-min fuzzy relational inequality, Fuzzy Sets and Systems, Vol.64, No.1, pp.39-58(1994).
 - 14) アルヌー, 田野, 区間ファジィ集合に基づく後向き推論の定式化, 第10回ファジィシステムシンポジウム講演論文集, pp.233-236(1994).
 - 15) T. Arnould, S. Tano, The inverse problem of the aggregation of fuzzy sets, International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems, Vol.2, No.4, pp.391-415(1994).
- FATE 関連論文
- 16) A. Bastian, S. Tano, Modeling the Gear Selection of Human Drivers, 第10回ファジィシステムシンポジウム講演論文集, pp.741-744(1994).
 - 17) A. Bastian, How to Handle the Flexibility of Linguistic Variables with Applications, International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-based System, pp.463-484(1994).
 - 18) A. Bastian, S. Tano, T. Oyama, T. Arnould, System Overview and Special Features of FATE: Fuzzy Logic Automatic Transmission Expert System, FUZZ-IEEE & IFES'95, pp.1063-1070(1995).
- FLINS 関連論文
- 19) S. Tano, Natural Language Understanding System using Text-based Inference, CMU Technical Report, CMU-CMT-91-124(1991).
 - 20) 田野, 岡本, 岩谷, FLINS: あいまい自然言語対話システムのデザインコンセプト, 情報処理学会 自然言語研究会92-12, pp.89-96(1992).
 - 21) S. Tano, W. Okamoto, T. Iwatani, New Design Concepts for the FLINS-Fuzzy Lingual System: Text-based and Fuzzy-centered Architectures, ISMIS'93, pp.285-294(1993).
 - 22) 田野, 岡本, 岩谷, 井上, FLINSにおける3階層ファジィ推論機構による推論、メタ推論、対話管理, 第10回ファジィシステムシンポジウム講演論文集, pp.507-510(1994).
 - 23) S.Tano, W. Okamoto, T. Iwatani, A. Inoue, Basic Structure of Three-layered Fuzzy Inference in FLINS-Fuzzy Lingual System, FUZZ-IEEE'94, pp.446-451(1994).
 - 24) S. Tano, W. Okamoto, T. Iwatani, A. Inoue, R. Fujioka, Three-layered Fuzzy Inference and Self-wondering Mechanism as Natural Language Processing Engine of FLINS, IEEE-TAI'94(1994).
 - 25) S. Tano, W. Okamoto, T. Iwatani, A. Inoue, R. Fujioka, Fuzzy Natural Language Communication System-FLINS, Concept and Conversation Examples, FUZZ-IEEE & IFES'95, pp.1039-1044(1995).
 - 26) R. Fujioka, S. Tano, W. Okamoto, A. Inoue, T. Iwatani, Treatment of Fuzziness in Natural Language by Fuzzy Lingual Systems-FLINS, FUZZ-IEEE & IFES'95, pp.1045-1050(1995).
 - 27) 岡本, 田野, 岩谷, 井上, 自然言語対話学習システム FLINS における限量子を含む命題に対する推論方法, 第10回ファジィシステムシンポジウム講演論文集, pp.217-220(1994).
 - 28) 岡本, 田野, 岩谷, 井上, ファジィ量限定子を含む自然言語命題の推論方法, 日本ファジィ学会誌, Vol.7, No.4(1995).
 - 29) W. Okamoto, S. Tano, T. Iwatani, A. Inoue, Inference Method for Truth Qualified Natural Language Propositions involving Fuzzy Quantifiers, EUFIT '94, pp.1594-1598(1994).
 - 30) W. Okamoto, S. Tano, A. Inoue, R. Fujioka, Inference Method for Natural Language Propositions involving Fuzzy Quantifiers and Truth Qualifiers, FUZZ-IEEE & IFES'95, pp.955-962(1995).
 - 31) T. Iwatani, S. Tano, A. Inoue, W. Okamoto, Fuzzy Analogy Based Reasoning and Classification of Fuzzy Analogies, Proceedings of the Fourth International Workshop on Analogical and Inductive Inference (AII'94), pp.137-148(1994).
 - 32) 岩谷, 田野, 井上, 岡本, ファジィ理論を利用した類推推論手法について, 第10回ファジィシ

- ステムシンポジウム講演論文集, pp.241-244(1994).
- 33) A. Inoue, S. Tano, W. Okamoto, T. Iwatani, A Proposal of Implicit Knowledge Acquisition By F-CBR, IPMU'94, pp.1035-1040(1994).
- 34) 井上, 田野, 岡本, 岩谷, F-CBR を用いた暗示的知識獲得機能, 第10回ファジィシステムシンポジウム講演論文集, pp.367-370(1994).
- 35) A. Inoue, S. Tano, T. Iwatani, W. Okamoto, R. Fujioka, An Acquisition Method of Implicit Knowledge Using Fuzzy Analogy, FUZZ-IEEE & IFES'95, pp.1581-1588(1995).
- 36) 井上, 田野, 岡本, 岩谷, 藤岡, ファジィ事例ベース推論機能とファジィ学習機能について, 自然言語処理シンポジウム(自然言語処理における学習)pp.45-48(1994).
- その他の論文
- 37) H. Yuize, T. Yagyu, M. Yoneda, Y. Kato, S. Tano, M. Grabisch, S. Fukami, Decision Support System for Foreign Exchange Trading-Practical Implementation-, IFES'91, pp.971-982(1991).
- 38) S. Tano, H. Yuize, T. Yagyu, M. Yoneda, Y. Katoh, M. Grabish, and S. Fukami, FOREX : Foreign Exchange Trade Support Expert System, IFES'91, pp.1114-1115(1991).

(1995年 7 月 6 日 受付)

[問い合わせ先]

〒244 横浜市戸塚区吉田町292番地
 (株)日立製作所システム開発研究所
 田野 俊一
 ☎ : 045-881-1241
 ☎ : 045-860-1675
 E-mail : tano@sdl.hitachi.co.jp

著者紹介

田野 俊一 (たの しゅんいち)

(株)日立製作所システム開発研究所

1981年 東京工業大学工学部制御工学科卒業。1983年 同大学院総合理工学研究科システム科学専攻修士過程修了。同年(株)日立製作所システム開発研究所入社。1990-1991年カーネギーメロン大学客員研究員。1991-1995年国際ファジィ工学研究所勤務。1994年より(株)日立製作所システム開発研究所。人工知能, 知識工学, 自然言語理解, あいまい理論, 知的ユーザインタフェースの研究に従事。情報処理学会, 人工知能学会, 日本ファジィ学会, 言語処理学会, AAAI, IEEE, ACM 各会員。博士(工学)