解説

このへんファジィとそのあたり†

西野 順二*

1. はじめに

ファジィは好きですか？私はファジィが大好きです。

1960年代に発祥し、前世紀末に一世を風靡したファジィですが、21世紀に入ってからちょっと元気が無いような気がしています。旧姓ファジィ学会＝SOFTはその名の通りソフトコンピューティングという懐の広い学問分野を扱ってきて、人工知能技術、ニューロ、GA、確率推論で活発な活動をしています。FSSの発表を見ると、SOM、SVM、パーティクルフィルタ、HMM、複雑系、強化学習、脳科学など常に最先端の問題が議論されています。そのいっぽうで振り返ってみると、意外なくらい「ファジィ」とくに「ファジィ集合」が使われないことも増えています。

ファジィ理論の本質は、精密には捉えきれない大きな持つこの「実世界」をより正確にモデル化することにあります。そのための武器が境界のあいまいなファジィ集合だったわけです。制御変数ごとに精密な分類はあきらめ、おおまかな「大きい」「やや大きい」などの語を使い、その組み合わせでill-definedな対象の制御則を簡略に表現することは低い設計コストで十分な成果があり、これでファジィ制御は成功しました。

しかし、最近では世の様々な対象の数理解析が進み、かつコンピュータの計算能力も飛躍的に向上し、難しいと思われていた問題でも現実的な数理的モデルが構築され、「ファジィを使わなくとも解ける」ようになった問題が増えました。計算機能力の向上にあわせ、ファジィで解決する問題レベルも向上させねばなりません。計算量の問題で難しいと思われていた多変数状態制御も、MatlabなどのツールとLMIなどのライブラリで簡単に計算できます。

ではファジィはもう要らないのか、と言うのももちろんそんなことはありません。できることが増えた分、

その先のフロンティアである、できない難しい問題も増えているのです。ファジィ理論とファジィ集合の持つ、問題を大局的かつ正確にとらえて表現して対応する、という性質はいつそう重要になってきているのです。

ファジィが扱うべき対象もより高次で難しい問題にスライドする必要がある、同時に「ファジィの能力も向上」させねばなりません。

筆者が進める高次ファジィ能力向上のキーワードは、文字通り高次、多次元です。「このへんファジィ」と名前を付け、多次元空間上で自然に定義されたファジィ集合をもちいて、さまざまな困難問題をモデル化、解決することをめざし、ほそぼそと研究をつづけてきました。大きく目覚ましい結果がある、とは言い切れませんが関連するライブラリの実装やビビッドなアプリケーションの制作により、未踏ソフトウェア天才プログラマーの称号をIPA／経産省から付与されたり、人工知能学会の表彰を頂戴するくらいには評価されています。

本稿では、まず、多次元ファジィ集合について述べ、以降の各章で様々な応用例を紹介します。実は多次元ファジィ集合というのは特段に新しく良いものというわけではなく、むしろ計算が増えてしまいます。しかしこの多量の計算を覚悟すると、突然いろいろな面白いことができる可能性が広がります。

この解説を通じて、若い人達が多次元ファジィ集合に興味を持って、使い、新たなフロンティアを開拓できるように導いたり、なによりファジィの元気さを取り戻せることにつながる野望のある研究を促進できたら嬉しく思います。

2. このへんファジィ

このへんファジィとは、多次元ファジィ集合をもちいて問題解決を行う手法のことです。筆者西野順二の登録商標にもなっています。

図1に示した空調の問題を例に、多次元ファジィ集合を用いる意義を考えてみましょう。湿度と温度からなる問題空間を考えると、空調制御とは、現在の状態

† KonoHen Fuzzy and its Applications
Junji NISHINO

* 電気通信大学 システム工学科
The University of Electro-Communications

図1 温度・湿度状態空間

を快適状態(Good)にすることです。温度が高くて乾燥していれば涼しく感じるし、低くても適度な湿度があれば寒くはない。快適は2次元空間のなかの領域でありその外形は滑らかで、正方形でも長方形でも対称でもありません。

これまでは温度が高い、低いという温度軸1次元のファジィ集合と、湿度が高い、低いという湿度軸のファジィ集合を独立に生成し、これらの直積とその和によって組み合わせることで、快適な状態を定義してきました。すると、図2に示すような直積による矩形タイルを2次元平面上で集めたものとなり、目的領域の表現には比較的大きな誤差が発生します。誤差を減らすためには各軸上のファジィ集合を細かく多数設定する必要があります、あいまいで分かりやすい表現のためのファジィが、組み合わせの爆発を起こしてかえって複雑になるというジレンマが設計者を悩ましてきました。

多次元ファジィ集合では、この領域をそのまま図3のような2次元上のファジィ集合として扱います。

図2 従来の手法、6集合3ルール

図3 このへんファジィによる「快適」

多次元ファジィ集合の数学的な定義は次のようにシンプルです。式(1)のメンバーシップ関数で特徴付けられた任意の n 次元空間 R^n 上の曖昧な部分集合として定義されます。

$$\mu_A(x), x \in R^n \quad (1)$$

全体集合が直接に R^n である以外は、本来のファジィ集合の定義そのままで、つまり、定義の上でみればなんら変わらないと言えます。

しかしこれまでは、多次元ファジィ集合をそのままの関数として利用することなく、1次元のメンバーシップ関数の直積とその和を用いてそれ以上の空間でのメンバーシップ関数を合成していました。一次元の三角型やシグモイド、釣り鐘型などの関数は少ないパラメータで容易に表現でき計算も高速だったからです。これに対して2次元やそれ以上の空間における任意のメンバーシップ関数を計算機で表現する機会も方法もほとんどありませんでした。

近年の飛躍的な計算機能力向上を背景に、サンプル点による表現や組み合わせ関数による表現など種々の手法によって、2次元以上の空間におかれた複雑な形状のメンバーシップ関数を直接に表現、保持、利用することが可能となりました。たとえばデータを主体としてファジィ集合を保持し、任意の点のメンバーシップ値を補間等で求め利用できます。実際に、未踏ソフトウェアにおいては、このへんファジィライブラリとして多次元ファジィ集合を扱うライブラリを構築しました。

3. このへんファジィ制御

ファジィ制御によるレギュレータは、目的変数の誤差 x とその微分(変化分) $\dot{x}$ のなす位相平面の部分領域に対して、出力を割り当てることで実現します。大抵のばあいには、図4に示すような $N \times M$ のルール表を

図4 9ルールの制御ファジィ集合はのべ6つ

作ります。ルール作りの基本的な方針は書籍[11]に詳しく解説されています。誤差とその変化分ともに正であればさらに誤差が増えるので、戻る操作量が必要となります。また、誤差が正で大きくても変化分が負でしばらく待てば自律的に誤差0に近づくならば、その時点では操作する必要はありません。後者の、操作をする必要がない場合は他にも、誤差がマイナスで変化がプラスのとき、誤差がゼロで変化もゼロのときがあり、このゼロ出力3つが対角線上に並んでいるのはよく知られています。これら対角線上を滑らかに覆うようなルールは、2次元のファジィ集合「操作不要な状態」を間接的に表現しています。

そこで2次元ファジィ集合を用いて $(x, \dot{x})$ を、「進む操作をすべき状態」、「戻す操作をすべき状態」、そして「操作の不要な状態」の3つで表現すれば、9ルールを3ルールに縮約したこのへんファジィ制御[8]になります。

- R_1 if 戻すべき $(x, \dot{x})$ then 出力 is 戻す
- R_2 if 操作不要 $(x, \dot{x})$ then 出力 is そのまま
- R_3 if 進むべき $(x, \dot{x})$ then 出力 is 進む

制御入出力を比較した結果を図5に示します[8]。

図6の3つのファジィ集合による、たった3つのルールだけで、9つのルールによる制御と同等な制御を実現しています。これは1つの複雑なファジィ集合に必要な情報をもたせ、その分、ルール全体はシンプル

図5 制御入出力の比較

図6 このへんファジィのルールは3つ

ルにできたということです。

4. バーチャルサッカーロボットキット OZED

このへんファジィの応用として、直観的にバーチャルサッカーロボットを作れるシステムOZED[10,9]を開発しました。これは2005年度未踏ソフトウェアに採択され、天才プログラマーに認定されるきっかけとなったシステムです。調べてみると、未踏ソフトウェアにはファジィ学会関連のプロジェクトがいくつも採択されています。相性が良いのかもしれませんが。

ロボカップサッカーシミュレーションリーグは、11対11のバーチャルロボットによるサッカーの世界大会です。各ロボットは個々の視覚情報だけを元に、それぞれ独立に認識・判断・意思決定をリアルタイムに行いながら協調したサッカープレイの実現を目指します。分散協調技術のマルチエージェントシステムへの応用を通じ、人工知能手法の発展を目指す標準問題となっています。

このサッカーエージェントプログラムの作成には次の難しさがあります。

- 不完全視覚からの情報再構成
- 高自由度の状態表現
- 詳細動作と高次戦略とのつなぎ合わせ
- これらに起因するプログラム量の増大

標準的なサンプルチームでも、そのソースコードは1万行程度あり、その全容を理解して自分のチーム・エージェントを作成するには、大学院生でも数ヶ月を必要とします。

OZEDシステムは、このバーチャルサッカーロボットの制作を、プログラムを知らない中高生でもできるようにするシステムです。情報認識サブシステムと基礎的な行動を提供しても、重要な高次の戦略を実行する部分はプログラムせねばなりません。この部分をこのへんファジィを用いて直感的に操作できるようにしました。

OZEDでのプレイヤ作成画面を図7に示します。

サッカープレイヤの設計をするときには、ゴール前でシュートする、右コーナーからセンタリングを上げる、などのようにあいまいな位置概念に基づいて行動を計画します。OZEDでは、このあいまいな位置を図7に示したビジュアルエディタを通じて2次元のファジィ集合で記述し、このへんファジィを使用してユーザが直感的に表現できるようにしています。この直感的に記述された位置概念を演算することで、作成者の

図7 OZED: Rule Editor

直観を実際に動くバーチャルロボットのルールに活かしているのです。

5. 非ホロノミックシステム

非ホロノミックなシステムとは、システム変数の微分拘束が積分経路に依存し、拘束の積分によって自由度の削減が行われないシステムです。逆に、上手に経路を選択することで、微分拘束のある複数の変数を操作でき、言い換えれば少数入力でより大きな自由度を操作できることを意味します。例えば、自動車の幅寄せは (x, y, θ) の3自由度ですが、入力は前後進とハンドル角の2自由度だけで、真横の x 方向には動けません。しかし、いったん斜めに前進して戻ってくると横に動いたことになり、 (x, y, θ) の3自由度を操作できています。

自動車の微分拘束は、以下の式で与えられます。

$$\dot{x}\sin\theta - \dot{y}\cos\theta = 0 \quad (2)$$

$$\dot{x}\cos\theta + \dot{y}\sin\theta = v \quad (3)$$

ある状態の近傍では $\dot{x}, \dot{y}$ が独立でなく、つまり直線的で真横には動けません。しかしこれらの拘束を一意に積分することができず、 x, y の関係式が作れないため広域で動かすと、 x, y, θ すべてを自由に選ぶことができます。

三次元状態空間 (x, y, θ) の上の原点にいる車からみた、微分拘束の一部の様子を図8に示します。図の

図8 車両ロボットの拘束曲面

1つの曲面は、ある状態から任意の固定 θ で動いていける連続な状態を表しています。実際には、同様な面が互いにずれながら交差しながら細かく張り合わさるように3次元を埋め、この面自体が θ ごとの細い線(ファイバー)が無限に張り合わされてできています。交差点を上手に選んで他の曲面のファイバーに乗り換えることで、3次元の状態空間を自由に遷移できる、つまり自由に制御できるということです。

この非ホロノミックな拘束を持つシステムは、誤差によるフィードバック則では制御できないことが知られています。前述の車ではマイクロには真横の自由度がないため、横の誤差はたとい少量であっても直接に解消できず、別の迂回軌道を経由する必要がある、フィードバックでは記述できません。

人間はこうした本質的に線形に制御できない対象であっても、メタモデルを構成しそれに基づいて手続き的に車庫入れを精度良く行うことができます。菅野らは人間行動のモデル化によって得たファジィ規則を用いて車庫入れに成功しています[11]。

このへんファジィでは、次の2つのルールだけで車を原点にむけて制御することができます。

- R_1 あるハンドル角 h で原点に到達する then ハンドル h で進む
- R_2 どんなハンドル角でも原点に到達しない then ハンドル g で進む

「あるハンドル角 h で目的に到達する状態」というのは、つまり前述の原点からの曲面上のどこかにいるということで、適切な角度 h にすれば到達します。

この制御法は人間が直観的にやっていることで、対象モデルが明らかなきには不変マニフォールドを用いた制御[14]と同等です。

このへんファジィの場合、解析モデルやパラメータが明らかでなくとも実機を稼働させてサンプリングし、この面全体を3次元空間中のファジィ集合として持つてしまうことができます。いったんファジィ集合が構築できればそれを用いて制御を行うことができる強みがあります。サンプリングによっては制御に誤差が残りますが、その際は原点に近い部分での再サンプリングで集合の厚みを減らせば、精度を上げることができます。

6. デフォルメされた顔の認識

6.1 高次元似顔絵画システム

多次元ファジィ集合の利用法として、ファジィ演算することで結果を導く似顔絵作成システム[13, 2, 12,

5]を紹介します。

人間の感性が持つ構造は多次元的です。これは人間の情報処理が多くのパラメータを同時処理して、概念化する特性を持っていて、その性質が現れていると言えます。コンピュータで描く似顔絵は、幾つかのパラメータによって描かれ、似顔絵パラメータの構造を分析するために作成した実験システムでは、図10に示す21次元の顔空間を構成します。このシステムを用いて、こわい顔、かわいい顔、などの抽象的な感性語表現された顔の集合を、アンケートによりあてはまる顔を集めて21次元の多次元ファジィ集合によって表現できました。こわい顔の例を図9に示します。明らかにファジィ集合の外形は矩形の組合せでは表現することができません。

さらに、目が大きくて、かつ、かわいい顔、のような複合語表現による顔の様相も、図11に示すように

図9 こわい顔

図10 似顔絵のパラメータ

図11 こわくて目が小さい、大きい

ファジィ集合の自然な演算によって求められます。このとき集合の形態は空間に非定型な広がりを持ち、演算結果の多様性を保持しています。図11のように、目が大きくてこわい顔と目が小さくてこわい顔は、こわい顔の広がりによって影響をうけ、目のパラメータだけでなく、口の大きさも変化します。従来ファジィ関係として扱われてきた演算上の性質が、多次元ファジィ集合としての表現にも現れています。

6.2 2次元顔モデルでの個性表現

対象が2次元以上に分布するモデルは幾何学的構造の多様さのため、平均値の意味など統計的なあつかいづらさが増えます。通常、統計を工学で扱うときには積分等の計算可能な分布にしぼって利用します。いっぽう人間の感性構造は個人相互の違いに富み、平均値からの偏差が大きくなる事項が多く、この平均からの偏差はすなわち個性であり、むしろ平均値を取る被験者の方がまれと言えます。

ここでは、ほんの2次元の感性モデルでも、個人差が幾何学的構造となって現れる例として顔様図形の認識実験を示します。

図12に示す単純な顔様図形で、目の高さ、口の高さの2パラメータをランダムに変えたものを用意し、被験者に「たのしい」「かなしい」の二つに弁別させる実験をしました。

こうしたクラスタリングでは、超平面もしくは開いた分離曲面による2分別ができることを期待します。非線形な問題でもSVNのカーネルトリックなど、効率良く曲線を求める方法が提案されています。

図13の右側被験者5の結果は、教科書のように綺麗

40 79

図12 2パラメータ顔様モデル

図13 左：被験者4、右：被験者5

に分かれています。いっぽうで左の被験者4では、空間の中央部と辺縁部に分かれる結果となりました。辺縁側は中の抜けたドーナツ型の領域がモデルとなります。こうした環状のモデルでは平均値が領域を代表せず、一般的な統計モデルとは一致しません。こうした幾何学的構造を持つとしても、このへんファジィであればドーナツ全体を覆う2次元ファジィ集合で表現することができます。

7. マルチエージェントの高次評価

マルチエージェントシステムの難しさの原因の一つは、それが大規模システムである、つまり超多変数系であることです。自己組織化的な説明変数の統合については創発系として研究されつつ、いっぽうで小変数での大域的なシステム表現ができない場面も多々あります。とくにサッカーのような、行動が可変で互いに不可観測なサブシステムとしての知的エージェント群が相互作用する問題では、混沌さが本質にあります。

サッカーのある時点での場面や局面は、そのまま多変数系の状態なので、自由度だけの次元で表した試合空間を構成すれば、多次元ファジィ集合で表現できます。RoboCupサッカーシミュレーション[3,1]の試合は、2次元平面上の22プレイヤー+1ボールで行われるため、場面の自由度は $(22+1) \times 2 = 46$ 次元であり、あるシーンはこの空間の1点です。そして、試合やその局面など一連の時系列セグメントは、46次元の試合空間上の1曲線、すなわち1次元の部分集合となります。

図14に示すように、多数の試合系列から「優勢：superior」や「劣勢：inferior」な時間帯セグメントを抜きだし、それが含まれるようにこれを多次元ファジィ集合 W_i としてそのまま構成した。この集合に対するある時点の状態点のメンバーシップ値や、式(4)を用いて算出したある時間セグメントの包含度によって、「優勢」かいなかを判断することができます[4]。

$$D_W(A) = \frac{|W \cap A|}{|A|} \quad (4)$$

$$|A| = \sum_{x \in S_A} \mu(x) \quad (5)$$

$$Total = D_{superior}(A) - D_{inferior}(A) \quad (6)$$

実験として、OZ-RP対TokyoTechSFCの試合での優勢度を評価した結果を図15に示します。この試合はずっと押され続け、後半で生じた一回のチャンスにゴールしました。その様子を一瞬の優勢度に見つけることができます。

図14 サッカー状況の46次元ファジィ集合の試合セグメントからの構成

図15 このへんファジィによる優劣判定

8. ヒューマノイドの制御

ヒューマノイドロボットは多変数システムの代表ですが、人間の身体の状態を言葉で表現するように、ロボット制御でもこのへんファジィを用いたアプローチが有効な場面が多々あります。ロボカップサッカーシミュレーション3Dリーグで用いられるモデルや、近年低価格化が進むホビー用のヒューマノイドロボットは、関節自由度が15から20程度あるので、それだけの次元のファジィ集合を使います。

数理モデルをもとにして全体動作を作るモーションプランニング方法として様々な手法が提案されています[6]。しかし低価格のホビー用ロボットでは、パラツキや改造などの多様さのため数理モデルが作り難く、実用的なモーションプランニングのためには、手作業による試行錯誤が欠かせません。こうした作業をこのへんファジィで支援する手法を紹介します。

8.1 安定化制御

ヒューマノイドの静的安定性のひとつの課題は、その冗長自由度にあります。重心が支持多角形に入るかどうかは2自由度の問題で、関節が20あるとすれば18の冗長な自由度が残ります。このときの転倒条件は20次元空間中の18次元部分集合をたどることで発見できますが、一般的に解くことは難しくなります。

変数の少ない例として、図16に示すような平面に拘束されたダンスロボットは、関節2自由度をもち全体の重心位置と安定化は1自由度の問題になります。倒

図16 2リンクロボットモデル

れるかどうかの忌避領域は図17に示すように組合せ回転に由来する複雑形状の境界を持った領域です。

ロボットモーションを作るとき、教示姿勢1, 2を指定し、この空間で教示点の線形補完を行うと、図18の点線矢印遷移が示すように予想が難しいところで忌避領域に突入し転倒します。境界を表現した数理モデルによる回避を行えるけれど、モデリングコストがかかり安価なロボットには向きません。そこでホビーでは、いったん実際に転倒を確認してから図18の1, 2の忌避領域を回避するサンプル点を試行錯誤的に増やすことが行われます。

この忌避領域を図19のようなこのへんファジィで制御すれば、精度は出なくとも正確なモーションプランニングが可能です[7]。忌避領域というファジィ集合はヒューマノイドの状態数次元の多次元ファジィ集合です。

図17 転倒, 忌避領域

図18 手作業による修正

図19 このへんファジィリミッタ

8.2 歩行

2足歩行の動歩行は、連続運動として動的に安定を取り、ある時点で運動を停止すると必ず転倒する歩き方です。人間はなにげなく行っていますが、多自由度の足の動きが複雑かつ安定性も考慮するロボットには難しい制御です。

数理的には仮想ZMPと倒立振子歩行モデルを用いた、歩行アルゴリズムが開発され、比較的自由に歩行できるようになっています。しかし目標ZMPを逐次計算せねばならず、ロボットの精密なパラメータが必要ですが、低価格なホビーロボットでそろえるのは困難です。ホビーロボットでは、結果としてZMPを満足する姿勢の連続を、えいやで作って歩かせる手法が広がっています。

ホビーロボットの制御で行われているアドホックな方式を、図20に示すような階層型構造化制御系で、このへんファジィを用いて実装できます。下位層では、各関節の目標角の組を時系列データとして、歩行動作パターンの保持、再生をする。上位層では、現在の状態を判断し下位の歩行動作を選択します。歩行動作は上体の対地速度と連続する歩幅によって加速、減速します。上位層での歩幅選択は安定化の規則で、前に倒れそうならば重心を後ろにする歩幅、後ろに倒れそうならば重心を前にする歩幅、と切替えます。これに

図20 階層型制御系

よって、歩行中の姿勢が制御されます。2008年のロボカップジャパンオープンではこの手法の提案により表彰されました。

9. まとめ

なぜファジィが大好きか、問題が問題の中だけで解けるものであれば、ファジィは必要ありません。

大規模になると問題の中を精密に見ることが不可能になる。そのとき問題全体をおおづかみにし、精密ではないけれど、しかし正確にとらえて理解し解決する。こんな大局的な手法こそ人間が持っている知性といえます。人それぞれが違い、人により問題解決法が違いうように、ファジィも利用する人設計するひとによって変わります。変わったとしても人の解法と同じなので、問題は解けるのだと安心して利用できます。

つまりファジィが好き、というのは人間が好きということです。

本稿では、ファジィ集合を多次元に拡張した「このへんファジィ」の手法について説明しました。本来のファジィ集合の定義からは一步も出ていませんが、これまで常識的に使用されてきた従来の1次元のファジィ集合の直積を排し、直接に問題空間の次元のなかでそのままの表現ができます。計算機の力をかりることで、大きなファジィ集合に情報を集約し、規則の構造はシンプルで理解しやすいものになる。これが、このへんファジィの目指すものです。

計算機が強くなりファジィでなくともできることが増えました。だからこそ、ファジィの役目はますます強まっています。

当初この解説を依頼されたときには、多次元ファジィ集合についての最近の文章をつなぎ合わせた通り一遍の原稿を書きました。しかし最近のファジィの現状を考え、ファジィ集合を使った新たな方向を若い人達に切り開いて欲しいという思いが強まって、全体に渡って大幅な書き換えを行いました。結局これまで扱ったものすべてを新たに書き下ろして説明しました。文体については、若い学生の皆さんに読んでもらえるよう、可能な限り軟らかく呼びかけ調で統一し、気軽に読んでもらうことを念頭に書いてみました。

こんな書き直しに当たっては、大幅に遅れ時間が発生し、編集担当の井田先生には御迷惑をお掛けしてしまいました。そんななかいろいろとご配慮いただき助かりました。ここに感謝申し上げます。

なお、本研究で用いたシステムの開発の一部は独立

行政法人情報処理推進機構(IPA)より、2005年度上期未踏ソフトウェア創造事業の支援により行われた。また本研究の主要部分は科学研究費補助金、基盤C(19500187)により支援された。ここに感謝の意を表する。

参考文献

- [1] A. Breadenfeld, A. Jacoff, I. Noda, and Y. Takahashi, editors. *Robocup 2005: Robot Soccer World Cup IX*. LNCS. Springer, 2006.
- [2] J. Nishino, M. Shimasaki, H. Shirai, T. Odaka, and H. Ogura. facial caricature drawing system based on a fuzzy linguistic expression. In *Proceedings of 13rd. Fuzzy System Symposium*, pages 465–468. SOFT, 1997.
- [3] H. Kitano, editor. *RoboCup-97: Robot Soccer World Cup I*. Springer, 1998. ISBN 3–540–64473–3.
- [4] Junji NISHINO. Cooperative behavior of human players in simulated soccer. In *Proceedings of SCIS & ISIS*, pages In CD-ROM, 2004.
- [5] Junji Nishino and et al. Masahiro Yamamoto. Fuzzy linguistic facial caricature drawing system. In *Proceedings of 2nd. KES in Adelaide*, volume 2, pages 15–20. IEEE, 1998.
- [6] 梶田秀司, editor. ヒューマノイドロボット. オーム社, 2005.
- [7] 西野順二. Sim-3d リーグ humanoid ロボットに向けたこのへんファジィ制御の提案. In **第25回 SIG-Challenge 研究会講演論文集**, pages 44–47. 人工知能学会, 2007. KONOHEN-fuzzy Control for Sim-3D league Humanoid robots.
- [8] 西野順二. このへんファジィ制御. In **第23回 ファジィシステムシンポジウム講演論文集**, pages 98–101, 2007.
- [9] 西野順二, 久保長徳, 下羅弘樹, and 中島智晴. ロボカップサッカーシミュレーションエージェント開発体験キット ozed. In **第47回 プログラミングシンポジウム報告集**, pages 79–86. プログラミングシンポジウム委員会, 情報処理学会, 2006.
- [10] 西野順二, 久保長徳, 下羅弘樹, and 中島智晴. 位置に基づく行動規則を実装した入門用サッカーエージェント作成キット ozed. In **第23回 SIG-Challenge 研究会講演論文集**, pages 19–24. 人工知能学会, 2006.
- [11] 菅野道夫. ファジィ制御. 日刊工業新聞社, 1988.
- [12] 西野, 山本, 白井, 小高, and 小倉. 言語表現による似顔絵の生成と特徴強調. In **第14回 ファジィシステムシンポジウム講演論文集**, pages 443–446. 日本ファジィ学会, 1998.
- [13] 西野, 島崎, 白井, 小高, and 小倉. ファジィ言語表現による似顔絵生成の試み. In **第13回 ファジィシステムシンポジウム講演論文集**, pages 465–468. 日本ファジィ学会, 1997.
- [14] 美多勉. **非線形制御入門**. 昭晃堂, 2000.
(2008年9月2日 受付)

[問い合わせ先]

〒182-8585 調布市調布ヶ丘1-5-1

電気通信大学システム工学科

西野 順二

TEL：042-443-5578

FAX：042-443-5578

E-mail：nishino@se.uec.ac.jp

著 者 紹 介

にし の じゅんじ
西野 順二 [正会員]

天才プログラマー。電気通信大学システム工学科助教、東京工業大学大学院総合理工学研究科博士課程退学後、福井大学情報工学科助手、同知能システム工学科助手を経て現職。2002年人工知能学会研究奨励賞、2000年、2001年、2008年RoboCupジャパンオープンJSAI賞、2008年山下記念研究賞受賞。RoboCupシミュレーションリーグチームOZ/OZ-RPプロジェクト主宰。知的システム、ファジィシステムおよび知的情報処理の研究に従事。日本ファジィ学会、情報処理学会、日本ジャグリング協会他会員。