


 解説

# 松下電器から生まれた ファジィ家電，ニューロ・ファジィ家電†

藤原 義博\*<sup>1</sup>・若見 昇\*<sup>2</sup>・林 勲\*<sup>3</sup>

## 1. はじめに

松下電器産業（現・パナソニック）株式会社が組織としてファジィの研究に取り組み始めたのは1985年頃であった。しかし、当初は、社内の経営幹部に必ずしも認知されていたわけではなく、むしろ、社内では、あやふやな制御の技術として全くの関心外であった。1990年代に、社内ですこやかにファジィ技術 [1-3] の芽が出始めたが、これは、日本のファジィ研究の諸先生方からのご指導の賜物であると言わざるを得ない。弊社がファジィ家電の企業として、また、ファジィ制御のトップメーカーとして、世間のファジィブームの立役者の一部を担えたのは、ザデー先生を始めとする世界のファジィ研究者、日本のファジィ研究の諸先生方に支えられたおかげである。特に、ザデー先生からは熱く多くの指導を頂いた。ザデー先生には数回にわたり弊社を訪問して頂いたが、家電の松下を認知して頂いただけでなく、ファジィ制御が松下電器の家電製品に導入されたことを大変喜んで頂いた。ザデー先生は「ファジィ技術が単に広がるというよりも、多くの人々がファジィ技術のメリットを広く享受してくれるのが嬉しい」といわれていたが、ファジィ理論の提唱者の言葉として、この言葉の意味は重い。

一般に、技術発展の鍵は、基本的にはオープン・イノベーションだと思うが、技術はそもそも人のためにオープンであり、その技術もまた人によって開発され

るということを再認識する必要がある。「技術は人である」が切要である。ファジィブームの成功は、まさにこのような人と人がファジィ技術を継いだ結果であり、その意味でも、弊社に特別のご厚誼を頂いた諸先生方に感謝の言葉が見当たらない。ザデー先生を追悼するにあたり、本稿は当時の諸先生方や社内の研究員、事業部のスタッフ、国プロの関係者、学会関係の方々などに思いを馳せるとともに、ザデー先生の笑顔の写真を拝見しながら、ファジィの創始者として、その豊かな人間性で我々を主導して下さったことに改めて感謝申しあげたい。

## 2. 松下電器におけるファジィ研究

松下電器は1985年頃からファジィ技術の研究に取り組み始めた。当初は、中央研究所の研究員が細々と研究していたが、研究の幅を広げるため、東京工業大学の寺野寿郎先生や菅野道夫先生、大阪府立大学の浅居喜代治先生や田中英夫先生を始め、多くの諸先生方にご厚誼を頂いた。しかし、社内の経営幹部に必ずしも好評であったわけではない。また、以前よりファジィ理論が社内でも認知されていたわけでもなかった。そのため、社内においてファジィ理論に関心を持ってもらうため、それぞれの事業部への出前講義を行い、人伝えで、あるいは、技術担当者に特別に時間を作ってもらい、何度もファジィ技術の打ち合わせを繰り返した。また、百聞は一見にしかずということで、常務会の終了後に特別に時間をもらい、ファジィ制御による倒立振子の実験を見せようと本社に装置を運び込んだこともあった。

このように、例え有用な技術であっても、それを実際の開発段階の技術として確立するまでには超えなければいけない多くの課題が存在する。逆にいえば、そのような環境だからこそ、その技術は揉まれ、より深遠な高い技術レベルの製品が開発されるのである。

† Fuzzy Home Appliances and Neuro-Fuzzy Home Appliances Produced by Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.

Yoshihiro FUJIWARA, Noboru WAKAMI, and Isao HAYASHI

\*1 パナソニック株式会社  
Panasonic Corporation

\*2 元広島工業大学  
Former Hiroshima Institute of Technology

\*3 関西大学大学院 総合情報学研究科  
Graduate School of Informatics, Kansai University

### 3. 研究所からファジイ技術に望むもの

1987年、日立製作所 [4] が初めてファジイ制御による自動運転制御を仙台の地下鉄で実現した。安全性と信頼性を至上命題とする公共交通機関に初めての技術を挑戦的に導入した日立製作所と仙台交通局の勇氣と英断には、心からの敬意を表したい。松下電器中央研究所では、細々とファジイ技術の開発に取り組んでいたが、まだ研究は緒についたばかりであった。そこで、私（藤原）は、実際に仙台まで足を運び、本物の地下鉄車両に乗車し、乗車感覚を体験した。そのとき、地下鉄の滑らかな走行と制御の正確さを肌身で感じつつ、このファジイ技術は本物であると感じたことを鮮明に覚えている。また、同時に、「絶対に家庭電化製品にファジイ技術を導入したい。いや、消費者のためにも、ファジイ技術を導入すべきである」と決心を強くした。

第6研究室（CG6研究室）を介し具体的な製品の研究開発を進めるように指示した。また、多くの事業所の中から事業本部の電化研究所を選択し、具体的な洗濯機へのファジイ技術の導入を試みるように指示した。電化研究所との打ち合わせには、藤原、若見、林で参加した。打ち合わせでは、電化研究所から、何とかして洗濯物の汚れの量や質を検知し、洗濯の達人が求めるのと同じ洗濯時間をファジイ制御で決められないかと言うことであった。技術の詳細な解決法は両研究室に任せることにしたが、この洗濯機が、後に、ファジイ洗濯機 [5] としてファジイ家電の第一号となる。洗濯機に続き、同様のコンセプトでファジイ掃除機 [6] も開発に取り掛かった。掃除機が吸い込むごみの量を光センサで検出し、ファジイ制御で最適な吸い込みパワーを制御する。さらに、ビデオムービーの手振れ補正 [7] にもファジイ制御を導入することにした。撮像した画面を6分割し、それぞれの分割領域内で画素信号群ごとに平均動作ベクトルを検出し、ファジイ推論により、その動作ベクトルが同じ方向を向いていれば手振れと判断し、異なるベクトル方向であれば、被写体の動きと判断する。検出した手振れの動作ベクトルを用いて CCD 撮像素子の画像蓄積部からの読み出しタイミングをフィールドごとに制御して、手振れの動きをキャンセルした画像信号を得る。

このようにして、ファジイ制御を順調に次々に家電製品に導入すべく、アルゴリズムの設計とマイコンチップの処理設計が進みつつあった。しかし、その途中で、大きな問題が発生してきた。その問題とは、ファジイ制御の演算をリアルタイムで実行するためのマイコンチップである。製品に搭載するマイコンチッ

プをどの種類にするかである。それはマイコンの価格と関係があり、例えば、高価なマイコンは処理機能は高いが、搭載した商品が高価になる。低価のマイコンでは機能が不十分である。ファジイ制御の演算は、従来の商品に搭載していたマイコンでは処理が追いつかず、どうしても高価なマイコンが必要となってしまふ。しかし、メーカーでは、商品のコストに関して、とてもシビアで、従来製品より高価格のマイコンを使用することは絶対に許されない。そのため、ファジイチップとして新たにマイコンチップを開発するように、半導体部門に要請したが、「実績がない」と懇懇に断られた。マイコンがないと制御ができない。手詰まり状態となり、万事休した。しかし、困ったときこそ、技術者は燃える。熟考を重ねて得た方法とは、想定した様々な条件に対して、ファジイ演算の結果をあらかじめ計算しておき、その結果をルックアップテーブルという形式で事前にメモリに格納しておくというものである。例えば、洗濯機の実動作で検出した汚れの量と質に対してファジイ制御を実行し、その結果の最適な洗濯時間をあらかじめルックアップテーブルに書いておき、実際の制御時には、このルックアップテーブルから結果の値のみを読み取って制御するのである。この解決策により窮地の課題を脱し、ファジイ洗濯機は家電のファジイ技術応用第一号として大ヒット商品になった。また、掃除機でもあらかじめ計算されたファジイ制御の演算結果をルックアップテーブルに書き込んでおき、実動作時にルックアップテーブルから最適な吸い込みパワーを得て制御することにした。ファジイ掃除機も消費者には好評であった。

このように、マイコンチップの問題をクリアし、ファジイ家電はどんどんヒットしていったが、逆に、気掛かりなことが大きくなっていった。高価なマイコンを搭載しているビデオムービーの手振れ補正の制御以外、ファジイ制御の出力値はリアルタイムのファジイ演算値ではなく、あらかじめ用意してあるルックアップテーブルからの出力値である。このルックアップ形式をファジイ制御と称して良いのかということであった。この問題は、企業として技術の品格に関わる問題でもあろう。そこで、この問題を直接、ザデー先生に思い切って尋ねてみた。ザデー先生は、言下に「立派なファジイ制御である」とおっしゃった。そして家電製品にファジイ技術が応用されたことを大変喜ばれた。さらに、「ファジイ技術が単に広がるというよりも、多くの人々がファジイ技術のメリットを広く享受してくれるのが嬉しい」とおっしゃった。この言葉は、まさに松下電器中央研究所でファジイ技術を開発すべきと決断した当時の我々の決定が決して間違い

ではないことを証明したことでもあり、ザデー先生の人柄を表す重いお言葉でもあった。

ただ、ザデー先生からは、「ファジィ製品のネーミングとして、ファジィによって、**High Machine IQ**を達成したのだから、“**Hi-MIQ**”，あるいは“ハイミック”ではどうか」と提案までしていただいたが、実現には至らなかった。ザデー先生の深い配慮を示す提案でもあったが、幻のキーワードとなってしまった。しかし、これも記憶にとどめておく事項でもある。

他方、ザデー先生が研究者として立派であることを示す決して忘れてはならないことがある。それは、ファジィ技術に対する一切の知的財産権（特許権）を求められなかったことである。ザデー先生のこの思いは大きい。ザデー先生の寛大なお心により、日本でファジィ製品の誕生という大きな出来事が成し得たのである。ザデー先生には、産業界として深甚な感謝の意を示すべきであろう。

さて、その後、各企業から様々なファジィ家電が出現し、世間は一種のファジィブームの様相を呈してきた。その結果、ファジィ理論とは全く関係のない商品までが、「ファジィ」というネーミングをつけて販売されてきたのである。この問題については、消費者団体からも意見があった。そこで、急遽、家電各社の技術・広報担当責任者が集まり協議し、「ファジィ」というネーミングを製品につけるにあたっての技術基準を定めた。また、製品の用語表記が「ファジィ」、「ファジー」、「ファジィー」などバラバラであったのを「ファジィ」に統一した。この申し合わせにより業界の秩序が取り戻せたといえる。ファジィブームは一種の社会現象にもなり、1990年の第7回新語・流行語大賞において、「ファジィ」が新語部門の金賞を受賞した。

#### 4. 研究室でファジィ技術を極める

日本は1980年代後半に経済のバブル時代を迎え、世界中の全てのものを日本が買い占めるのではないと言われるぐらい景気がよかった。一方で、アメリカでは、日本は学術の基礎研究をアメリカに背負わせ、しかも基礎研究を盗み、実が成り利益が追求できる製品開発のみを日本が行うのはけしからんと言う風潮で満ちていた。そのような風潮に対し、企業でも基礎研究の重要性を重視する機運が起り、松下電器中央研究所でも1980年代半ばに何か新しいテーマを少人数で研究することになった。私（若見）は、中央研究所傘下に設立された電子機器基礎研究所の知能科学第6研究室（略称CG6）の知的制御分野の担当（室長）となった。基礎研究のテーマを決めるにあたり、将来の事業領域は何で、それを支える技術は何かを考える必

要があった。当時、30年後の日本で問題となりそうなのは高齢化社会と高度情報化社会への対応ではないかという意見があった。一方で、松下電器は企業テーマとして「ヒューマンエレクトロニクス」を標榜していた。これらを総合的に勘案して、基礎技術としてファジィ推論やファジィ制御に大いなる研究の発展性を感じたのであった。

社内でファジィ技術の浸透を図るためには、まずはファジィ制御の有用性を示すことが肝心である。もちろん、理論を説明することも必要だが、理論ばかりではだめで、実際にファジィ技術の効果を実践して見せることが重要と思われた。しかし、その実践のデモは特定の事業分野や商品開発に偏っては研究の広がりが出ない。また、従来の制御法で簡単に実証できるデモでは意味がなく、そのデモを見て、誰もが感嘆しそうなものを対象にするべきではないかということもある。そこで、ファジィ制御による倒立振り装置の振子の振り上げ制御[8]を思いついた。振子を垂直上方に振り上げバランス性を保ちながら倒れないように停止制御する。この制御は垂直上方近傍は線形制御だが、振り上げ下方領域は非線形制御となる。振り上げの制御はそう簡単でないと言われていた。そのとき、藤原所長から常務会でファジィ制御の有用性をデモしたいと話があった。早速、倒立振子のファジィルールを設定し振子の振り上げ実験に取り掛かってもらうように指示した。わずか9個のラフなルールでも振子は何とか立ち上がったが、正確なルールを設計するには時間がかかる。そこで、垂直上方近傍はPID制御とし、それ以外の振り上げ制御部分はファジィ制御として、ようやく振子の振り上げ制御と停止制御が完結した。

短時間の間に完成したデモではあったが、このデモのおかげで常務会のメンバーや各事業場の技術者にファジィ制御に興味を持ってもらい、しかもファジィ制御を製品に適用するトリガーにもなった。その中で、所長から電化研究所でファジィ制御を白物家電に導入したいと言う相談があった。まずは洗濯機への応用である。ファジィ洗濯機[9,10]は、洗濯水の透過度とその時間的変化を光センサーで検出し、汚れの程度と種類（泥汚れか脂汚れか）を推定して、ファジィ制御で最適の洗濯時間を制御する。基本アルゴリズムの検討を指示し、プログラミングや評価方法、また、電化研究所とのハード関係の協議、特許出願も検討してもらった。電化研究所の研究員と何度も出張の往復で議論を重ね、ファジィ制御のルール数の決定やメンバシップ関数の設定などに十分な時間をかけた。ファジィ製品をできるだけ短時間で開発し一刻も早く世の中に出したいという逸る心を抑え、中央研究

所の研究室のメンバーと電化研究所のメンバーが一体となって、確実にファジィ洗濯機を開発していった。ファジィ技術搭載の第一号の家電製品の開発に向けて、全員がベクトルを一つにしたといえよう。こうして、1990年2月1日に、洗濯機「愛妻号 Day ファジィ」[5]が誕生した。この洗濯機は「おりこうファジィ」のキャッチフレーズを持ち、瞬間に大ヒット商品となった。その後、ファジィ制御は、洗濯機以外に掃除機やエアコン、炊飯器、その他の家電製品に次々と導入されていった。これほど製品開発がうまく進んだ理由としては、各製品担当の技術者が過去に持っていた様々なプロフェッショナルなノウハウがそのまま製品に導入できるというファジィ制御の利点が大きい。

そのころ、九州の福岡県飯塚市でファジィ制御の国際会議 IIZUKA'90 が開催された。我々はその国際会議で展示パネルと学会発表を行ったが、来日されていたザデー先生は、松下電器の展示パネルの前で立ち止まった。「果たして、ザデー先生はこれらをファジィ制御として認めてくれるのか？」ザデー先生は、まじまじとファジィ家電製品を見て、多くの質問をし、無言になって、そして、最後に、笑顔になった。我々は、ほっとした。ザデー先生の喜ばれる姿を見て、開発技術者の全員はいままでの苦労を全て忘れ、ザデー先生の温かい眼差しと励ましに深く感銘したものである。

その後、ビデオムービーへもファジィ制御を導入した[11]。当時、各社ともビデオムービーの小型化サイズを売りにしていた。他社の中には、従来サイズよりもさらに小型化を実現しキャッチフレーズをパスポートサイズと命名して、その製品のシェアを大きく伸ばしている会社もあった。このような他社に追いつき追い越すには、松下電器としては、さらにサイズを小型化し、例えば、1 kg を切る軽量小型化を実現する必要がある。しかし、サイズを小さくすれば、その弊害で撮影時の手振れが大きくなる。撮影した動画を再生するとき、手振れで画面が大きく揺れ、とても見づらく、長く見ていると船酔いになるといった苦情さえもあった。この課題を解決するため、手振れを食い止めるのではなく手振れをファジィ推論で補正したいと考えた。洗濯機や掃除機、炊飯器等の白物家電では、洗濯時間や吸い込みパワー、炊飯火力等をかきこく制御するためにファジィ制御を導入する。しかし、このビデオの手振れ防止の制御は、手振れか手振れでないかを人間のように判断しようというのである。まさに、人間のかきこさや経験、勘をファジィ推論で代用することになる。実際の導入では、ビデオ事業部に行って、ファジィ推論の設計を行い、手振れ補正機能を製品に

導入した。結局、1990年6月15日に、重量750 gの軽量を達成し、ファジィジャイロによる手振れ防止機能を搭載した「ブレンビー」[7]が発売され、これも大きなヒット商品となった。

各事業部でファジィ制御の有用性が理解され浸透していき、多くの家電製品にファジィ制御が導入されるようになっていったが、一つの問題があった。それは、ファジィルールの設計である。各事業部では、熟練者やエキスパートの製品に関する制御のノウハウが多く蓄積されている。しかし、それらの貴重なノウハウの知識は聞き取り調査やアンケートでは取り出せず、ルール形式で簡単に表現できないのである。これはルールをどのように設計すべきかという「ファジィルールのチューニング問題[12-14]」と呼ばれている。そのようなとき、ニューラルネットワークを用いてファジィルールの学習機能を研究していた「ニューロ・ファジィ」[15,16]をファジィ家電のチューニング問題に応用することを決断した。研究員が提案したモデル“NN-Driven Fuzzy Reasoning (ニューラルネット駆動型ファジィ推論)”[17-20]は、メンバシップ関数の調整機能やファジィルールの設計精度にはとても優れており、世界で初めてニューラルネットワークとファジィ推論を融合したモデルとして学会では有名になっていたが、しかし、実機へのアルゴリズムの取り扱いにくさや大容量のメモリが必要で、家電製品への搭載は不可能であった。学会での理論モデルをそのまま実機に搭載し、そのまま製品になるとは限らないのである。新しいアルゴリズムを実機へ搭載するには、まだ超えなければならない問題が多数残っていることがある。理論をさらにシェーブアップし手法を変更する、あるいは、別手法を採用することもある。そうやって、製品は形作られていく。

新たなファジィルールのチューニング手法を提案することになった。多くの文献と現場の声を聞き、また、大阪府立大学の市橋秀友先生[12]にご指導を頂き、なるべくメモリサイズの小さい、しかも、高効率な手法を提案した。降下法ファジィ制御[12,13]である。実機への搭載では、電化研究所のアイデアにもよるが、降下法ファジィ制御をさらに改良し、チューニングするメンバシップ関数の個数を最小限に限定した新たな降下法ファジィ制御を考えた。その結果、適度の精度を確保しながら、しかも計算速度とメモリサイズの縮小化に成功したのである。すぐさま、我々の研究室で提案したこの改良型降下法ファジィ制御をソフトウェアの形で各事業部に提供し、ファジィルートを調整して、多くの家電製品が誕生した。「おりこうファジィ」のキャッチフレーズに学習のキーワードが

付け加わったのである。命名を「ニューロ・ファジィ家電」とした。世間の評価は高く、学会でも新たなチューニング手法として大いに話題となった。

## 5. ファジィ技術者としての取り組み

私（林）は、大阪府立大学大学院工学研究科で浅居喜代治先生、田中英夫先生のもとでファジィ理論を学び、縁があって松下電器に入社した。大学院では、研究者への道を歩むべくファジィ理論を学んでいたが、日立製作所の予見ファジィ制御の仙台地下鉄の自動運転や富士通の検索システム、欧州でのファジィ制御によるプラント制御など、ファジィ制御の応用例が一つ一つ社会で実現されてきたことを知り、実社会でファジィ理論を研究することを志した。入社後、中央研究所情報グループは情報システム研究所に改組した。そんな折り、中央研究所で制御理論を研究していた若見室長からファジィ理論の研究を一緒にしないかと誘って頂いた。私は喜んで転属を願い出た。その後、中央研究所知能科学第6研究室は、中央研究所電子機器基礎研究所第6研究室（CG6）と名称変更した。

私はCG6のメンバーともすぐに意気投合し、社内でのファジィ理論やファジィ制御の活用法をあれこれと検討した。制御理論を研究する部門であったので、社内ではファジィ理論の中でファジィ制御の啓蒙活動に焦点を絞り、部門を超えて社員間の勉強会を開催したり、社内では出会った人に手当たり次第にファジィ制御の良さをアピールしていた。同時に、大阪府立大学の浅居先生と田中先生にお願いして、私（林）は土曜日と日曜日には大学に戻り、ファジィ理論の研究を続けた。二足のわらじを履いていたのである。

ファジィ制御は、経験的な知識をif-then型ルールで記述し非線形関係でもしなやかな制御を実現できる。また、結果をルールで表現できるので、モデルの構造が理解しやすいという利点がある。若見室長とともに、これらの利点を社内のあるところまで説き廻したが、実績がないとの一点張りで、なかなか実用化への道が開かれてこなかった。そのような折り、若見室長から、研究室に倒立振り機器があるので、この振子をファジィ制御で振り上げてみないかと話があった。私は制御機器の専門家ではないので、研究室のメンバーに機器周りをお願いして、ファジィ制御の基本アルゴリズムの開発を主に担当した。振子の垂直下方領域の制御はファジィ制御とし、垂直上方近傍ではPID制御で調整することにした。しかし、私は倒立振子の振り上げ制御のファジィルールなど作ったことがない。仕方がないので、入力属性を振子の角度と角速度の2属性、出力属性は振子の台車の速度として、一週

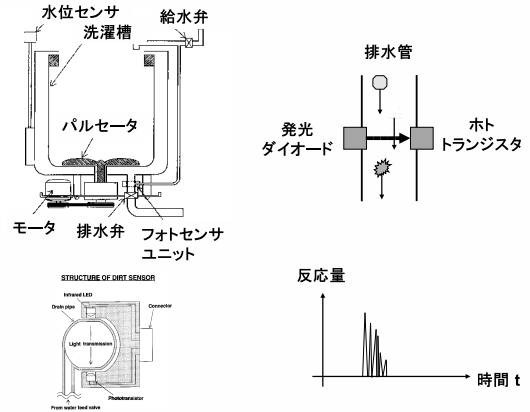


図1 洗濯機の構造

間ほどで適当に9個のファジィルールを作成した。倒立振り機器の電源を入れた。それが、驚くことに、振子は不器用にもガタガタと振り上がろうとし、数回の振り上げ動作で勢いをつけて、見事に振り上がり、垂直に直立したのである。その時の驚きはいまも言葉には表せない。振子が垂直上方に立ちつくしている姿をいまも鮮明に覚えている。振子の動きを見ていた研究室のメンバーの中で、ルールを設計した私自身が最も驚いた。ファジィ制御、恐るべしである。藤原所長から、この倒立振子のデモを常務会で説明するとの指示があり、常務会でも、振子は見事に振り上がり、大変好評であった。このデモも切っ掛けとなり、所長から電化研究所でファジィ制御の説明をしてみないかと声をかけて頂いた。藤原所長、若見室長、私で、電化研究所に向かった。電化研究所の建物はいささか古いが歴史の趣が随所にあり、ファジィ理論の実用化の第一歩がいよいよ始まるとの思いで、私は気持ちがかかなり高揚していたのをよく覚えている。会議では、電化研究所の研究者とファジィ制御の白物家電への導入について多数のアイデアを議論した。その中で、洗濯機への応用が確実に実現化していった。

従来の洗濯機では洗濯物の量から洗濯時間を自動的に決定している。しかし、よりきめの細かい洗濯を考えると、洗濯物の量だけでなく汚れの質や程度なども考慮して洗濯時間を決定するであろう。しかし、汚れの量や質と洗濯時間との関係は一般に非線形関係であり、定量的にとらえにくく定式化が困難である。そこで、この汚れの量や質と洗濯時間との関係をファジィ制御で推定しようということになった。洗濯機の構造を図1に示す。洗濯槽の排水弁の近傍に光センサが設置され、洗濯物の汚れの量と質を検出し、マイコンで

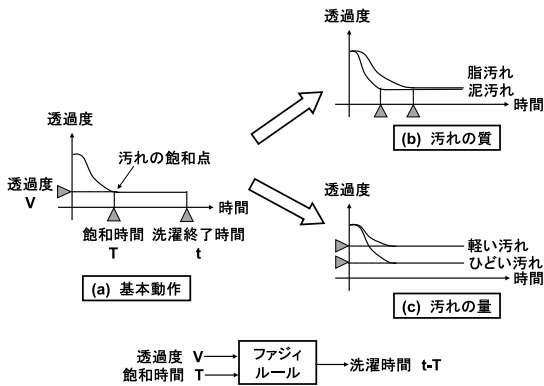


図 2 洗濯水の透過度の時間的変化

ファジィ制御により洗濯時間を決定する。光センサは赤外線発光ダイオードとホトトランジスタからなり、排水管を挟んで対座するように設置されている。発光ダイオードからの光の強度をホトトランジスタで電圧に変換し、洗濯水の透過度を検出する。洗濯水の透過度の時間的変化を図 2 に示す。ただし、透過度の初期値は給水直後の静水状態でのホトトランジスタの出力である。洗濯を開始すると、衣類の汚れが徐々に水に溶け出して洗濯水が濁ってくるため、光の透過度が低下する(図 2(a))。このときの透過度の低下速度は図 2(b) に示すように、汚れが「泥汚れ」の場合にはパルセータの回転により発生する水流の機械力だけで比較的容易に落ちるため低下速度は速く、「脂汚れ」の場合には、洗剤の効果が発揮されなければ十分に落ちないため低下速度は遅い。汚れが落ちた後では透過度は飽和状態になる。このときの透過度は図 2(c) に示すように、汚れの量が多いほど低く、少ないほど高くなる。これらの透過度の時間的特性から、透過度の低下速度(飽和するまでの時間)と飽和状態での透過度を計測することにより洗濯物の汚れの量と質が推測できる。

ファジィ制御の if-then ルールは、洗濯の熟練者による実験から決定した。図 3 に洗濯物の汚れの量や質と洗濯時間との関係を示す。まず洗濯の熟練者により次のような知識が得られたとする。

- 脂汚れの場合は、泥汚れよりも洗濯時間を長くする
- ひどい汚れの場合は洗濯時間を長くする

この知識は次のようなルールとしてまとめられる。

- もし泥汚れよりも脂汚れで、かつ、ひどい泥汚れの場合、洗濯時間をとても長くする

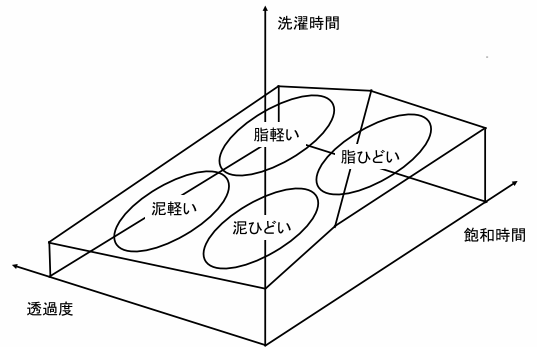


図 3 洗濯物の汚れの量や質と洗濯時間との関係

このルールを飽和時間と透過度に変換する。

- if 飽和時間が長く、かつ、透過度が低ければ、then 洗濯時間をとても長くする

これをファジィルールとしてまとめる。

- if T is Large and V is Small then t-T is Very Large

このようにして、6 個のルールを設計した。ただし、ファジィ制御は後件部を実数とする簡略化ファジィ制御を用いている。

このファジィ洗濯機「愛妻号 Day ファジィ」は、1990 年 2 月 1 日より発売された。さらに、光センサの機能アップを図った改良型のファジィ洗濯機は 1991 年 2 月 1 日より発売された。改良型は、最初の洗濯機が標準コースのみでファジィ制御を用いていたが、さらに、大物コース、バイオゴシゴシコース、手洗いコース、デリケートコースにも同様のファジィ制御を採用した。また、洗濯時間を決定するための入力変数として、汚れの量と質だけではなく、布量、水質、洗剤の溶け具合も組み入れた。この結果、これらの 5 入力と洗濯時間の出力との関係をファジィルールとして設計することになった。しかし、この場合には、各次元のメンバーシップ関数の決定がかなり困難となる。そこで、ファジィルールの調整に「ニューロ・ファジィ」を採用した。

ニューラルネットワークは人間の脳神経回路網を模倣した数理モデルである。ニューラルネットワークは自己学習機能があるので、モデルの環境が動的に変化する場合でも非線形な入出力関係を同定できるという特徴がある。しかし、ニューラルネットワークの学習状態や結果は明示的に表現することができない。「ニューロ・ファジィ」は、ファジィ制御とニューラルネットワークのそれぞれのモデルの課題を解決する。

例えば、ニューラルネットワークの学習機能を用いてファジィルールのメンバシップ関数を調整し、ファジィルールを用いてニューラルネットワークの学習結果を表現する。我々（林・高木）が提案したモデル“NN-Driven Fuzzy Reasoning（ニューラルネット駆動型ファジィ推論）” [17-20] は、メンバシップ関数の調整機能やファジィルールの設計精度に優れており、世界で初めてニューラルネットワークとファジィ推論を融合したモデルとなった。一方、ニューラルネットワークのバックプロパゲーションに用いられている最急降下法により、ファジィルールの前件部のメンバシップ関数と後件部の実数値を学習する降下法ファジィ制御 [12,13] も新たに提案した。この手法によって、ファジィ制御の応用製品に学習機能が付加される結果となった。

洗濯機へのニューロ・ファジィ制御の2種類の適応例を示そう。最初の事例では、布量、布質、水温の入力変数からファジィ制御により洗濯時間と脱水時間を決定する。一方、布質、気温、水温の入力変数からバックプロパゲーションによって汚れの落ちやすさを推定して洗濯工程前のつけ置き時間を決定し、洗濯時間を調整する。また、別のバックプロパゲーションによって、布量、布質、気温の入力変数から洗濯物の乾きやすさの程度を推定して脱水時間を調整する。これらの2種類のバックプロパゲーションは、入力層のノードが3個、中間層が7個、出力層が1個の3層構造である。学習のためのデータはそれぞれ、192個と120個であった。バックプロパゲーションを併用することによって、ファジィルールのルール数を減らすことができた。2種類目の事例は、バックプロパゲーションの最急降下法を用いてメンバシップ関数の形状（中心と幅）を決定する降下法ファジィ制御である。降下法ファジィ制御により、5入力からすぎ時間の出力を決定できた。

これらのニューロ・ファジィにより、洗濯物の汚れ量や質、水質の洗剤の溶け具合を考慮して、より細やかな洗濯が可能となった。その結果、洗すぎによる布の過度の痛みや洗い残しが低減され、洗濯時間が最適となり、電気料金も節約されるという効果が得られた。ニューロ・ファジィ制御によって、家電製品は、人によりやさしい制御をさらに実現できたと言える。

## 6. 松下電器の学会での立場と国家プロジェクト戦略

ファジィ研究のより高度化と充実化をめざし、1989年に「日本ファジィ学会」が発足した。松下電器とし

ても、いち早く法人会員となり、理事会や事業委員会、学会誌編集委員会などに研究員を派遣した。松下電器は、学会におけるファジィ理論の普及と活性化への協力には労力を惜しまなかった。また、通商産業省主導で技術研究組合「国際ファジィ工学研究所（LIFE）」が、1989年に横浜の中華街にほど近い場所で設立された。松下電器からも、産学官連携として参加し、ヒューマンフレンドリシステム技術の集大成を目指した。LIFEは、その後1994年までの6年間、存続することになった。車、鉄鋼、電機など、多数の他業種の企業が一同に参画し、各社の到達目標が異なる中、それぞれの会社が切磋琢磨の研究を目指したことは大いに意義があった。各企業から異なる目標を持ち寄り、大学や国立研究所の研究機関と共同研究を行う。異なる風土で育った企業が、喧々囂々、侃々諤々で研究を進めることは、多様性の垣塙を体得でき、各会社に戻った研究員はその後の仕事場でも、LIFEの経験が大いに影響を与えたのではないかと。

日本ファジィ学会でも、国際ファジィ工学研究所でも、ザデー先生を始めとするファジィ研究の先生方の人柄が暖かく、しかも、それぞれの先生が醸し出す豊かな人間性がいまって、ファジィ研究の人たちは実にアットホームで、研究の居心地がよい。2014年8月号の日本知能情報ファジィ学会誌「知能と情報」の「ファジィよもやま話」 [21] では、下記の内容が掲載されている。

『ファジィをやっている人は、外部から何の役に立つんだとか、いろいろ虐げられてきたんではないかなと思います。それで団結力があるのではないかなと思っています。それと、ファジィということは、もともと、いい加減というか、よい加減ということで、皆さんの人間性が非常に柔らかいのではないかなと思います。』

この発言の内容は、日本ファジィ学会（現・日本知能情報ファジィ学会）や国際ファジィ工学研究所の先生方の研究の雰囲気を実によく言い表して、まさに、言い得て妙である。ファジィ理論を研究しているからではないが、「いい加減」ではなく「いい・加減」をまさに実感できる。

## 7. ファジィ研究・ファジィ技術をめぐる環境

1990年代初頭に、松下電器中央研究所では「3P」というキーワードを重視することとなった。3Pとは、Patent, Paper, Productである。ファジィ技術と関連を持つことによって、学会発表や学会誌への論文投稿、学位取得も積極的に取り組める環境が整いつつ

あった。そういった中で、現代制御の著名な先生から「ファジイ制御といった制御法はあり得ない」とまで言われた。また、人工知能関連の先生からも、「言語をファジイ集合で表現するなど、簡単なメンバシップ関数で本当に現実の問題を表現ができているのか」と辛辣な意見も頂いた。このように、日本の学界では、研究領域が縦割りであり、それぞれが独自の研究領域に固守し、従来からの研究手法をベストな方法と考え、他の手法は即時に排除すると言った風潮がある。このような風潮や文化は、お互いが切磋琢磨して、それぞれが独自に進展する場合には、それぞれの研究力はより高いところに行きつくのだが、そのようにはうまく全体の研究領域が進めないのではないかと言う懸念はいまも払拭できない。

一方、海外で下記のような経験をした記憶がある。1996年、国際自動制御連盟(IFAC)の国際会議IFAC'96において、パネリストとして参加したとき、聴講者が、ファジイ技術に賛成する派と反対する派の二派に真っ二つに分裂した。そして、それぞれの分派から辛辣な意見と攻撃的な罵倒が飛び交った。もはや壇上に上がった話題提供者は完璧に無視され、それぞれの論客がけんか腰の早口の英語でまくし立てていた。その早口の英語にはついていけなかったが、大まかに理解したところ、ところどころで、賛成派も反対派もファジイ技術の商品を開発した日本の企業には大変な敬意を持っているということが垣間見えたのである。反対派も賛成派も、どちらも自分の意見はしっかりと喋るが、相手の発言内容で理解できる箇所は自分も認める。このように、海外では、自分の意見をまずは通そうとするが、他人に良いところを見つけた場合には、その優れたところを自分にも活かし認めようとする。海外の研究者の人間性の懐の深さを感じた。

日本は、ファジイ理論の製品への応用例が世界中で飛び抜けている。1990年代、500件~1,000件のファジイ製品が開発され、特許も1,000件程度あると言う。ある資料によると、世界中のファジイ理論の関連特許の合計が5,000件程度らしいので、世界の1/5の特許は日本が抑えている。我々もファジイ理論の関連特許を多くもっているが、その中には、ニューロ・ファジイの外国特許の取得も含まれている[22]。このように、数多くのファジイ理論に関する特許出願・特許取得、膨大なファジイ製品を開発・販売した国は、世界中、どこにもない。ファジイ理論の応用拡大という点では、日本人は素晴らしい技能を発揮した。一方で、ファジイ理論を飛び越えた新たな研究分野と言う点ではどうだろうか。日本人は、基礎的な理論を駆使し、いままでに全く存在したことがないような新たな

研究分野を確立することにあまり得意ではないのではないか。日本と米欧間のこの研究に対する姿勢の差は、「ものづくり」が得意な日本の「垂直統合型技術(研究)」と米国が得意な「水平分業型技術(研究)」との違いに由来するのかも知れない。しかし、いまだからこそ、再度、日本の企業で基礎研究にもっと大きな眼を向けて良いのではないかと思う。

別の観点からの意見もある。1990年代当時、ある大学の経営学部で先生と雑誌の座談会を開いた。そのとき、「企業でファジイ理論のような基礎研究を行うことになったとすると、その研究が一つの会社のためと言うよりも、日本や全世界のためにコスモポリタンとして研究すべきと言う考えはないですか?」と質問された。それぞれの企業の利益を考えずに、技術を全て公表することなどあり得ないが、この質問は、いまにして考えれば、オープン・イノベーションの原理を問うていたということだろうと思う。昨今の企業の研究環境では、リニア型の研究開発が否定されて久しい。基礎研究から応用研究まで、全ての研究の領域を一つの企業や研究機関で賄う必要はない。基礎研究から製品開発の応用研究までをすべて行うとすると、研究には必ず死の谷とかダーウィンの海とかが存在するので、膨大な費用がかかることは必須である。企業は利益重視である。特に最近では、大株主のファンド機関から短期間での利益が求められる。このような現状から、最近、多くの企業では、中央研究所のような基礎研究の機関を廃止し、各事業部での応用研究に偏重している。

しかし、果たして基礎研究がなくなってよいのだろうか。本当に、基礎研究がないところに応用研究が存在できるのだろうか。一步退いて、基礎研究をなくす代わりに、企業の基礎研究を大学との研究連携の延長線上に存在するとした方が理にかなっているのではないか。実際、米国では、企業はその企業が抱える課題の基礎研究を大学へ資金を投入して委託し、大学が企業の研究機関のようになっている。いわば、基礎研究のOEM化が興っている。大学側から見れば、特定の企業と機密保持契約を締結し、特定の企業の課題に対して、最新の学術的研究スタイルで問題を解決できる緊張感と達成感を得られる。学生に対しても、企業での実際の課題解決といった目標を与えられやすく、学生は新たな実力を発揮できる可能性が出てくる。外見の形式は従来の産学官連携と同じであるが、企業の大学への契約の内容や目標が明確であり、大学側も研究の責任感と達成感を実感できる。オープン・イノベーションには、そのような側面が含まれている。

いまから考えて見れば、1990年代のファジイ制御



の研究やファジィ技術の開発は、国際ファジィ工学研究所（LIFE）で、そのようなオープン・イノベーションに似た環境が存在していて、企業と大学とが入り乱れて、各企業が切磋琢磨したのである。ファジィ制御やファジィ技術は、まさにそのようなオープン・イノベーションの先鞭であったのではないか。その意味で、ファジィ理論は、基礎研究から応用研究までのリニア型研究の唯一の研究分野であり、それ以外の何ものでもない。ファジィ制御やファジィ技術が過ぎ去った1990年代を振り返れば、もはや、米国から「日本の米国の基礎研究ただ乗り論」と言った暴論はあり得ないのである。

## 8. おわりに

何故ファジィ制御が1990年前後に世間に受け入れられたのか。いま振り返ってみると、一つはバブル期の高揚感があったように思う。1950年代、電化製品の三種の神器といえば、テレビ、洗濯機、冷蔵庫であった。この時代、国民は戦後復興の勢いで、努力すれば手が届く夢の商品として、新しい生活の象徴として、三品目の家電を追い求めた。隣の家庭が持っているその同じ家電製品を追い求めた。その後40年間の高度成長期を経て、1990年前後の経済のバブル期には、国民は裕福になり、隣の家庭が持っていないその異なる家電製品を追い求め始めたのである。つまり、通常の家電製品の機能にはない付加価値の機能を求めた。そのような経済のバブル期にファジィ制御が出現する。国民は、家電製品がファジィ制御によって「おりこう」になるその機能に惹きつけられた。まさに、隣の家庭が持っていない自分の家だけの「かしこく学習できる」家電製品、その魅力に嵌ったのである。その意味で、ファジィ理論は経済バブル期の申し子と言っても良いかもしれない。

ファジィ理論やニューラルネットワーク、遺伝的アルゴリズム（GA、進化計算）は、人工知能の一種である。1990年代、ファジィ理論の後にニューラルネットワークが脚光を浴び、遺伝的アルゴリズムがもてはやされた。もしファジィ理論の登場があと5年ほど遅かったら、ニューロ家電やGA家電が先に経済バブル期の申し子になっていたかもしれない。そのような状況の中でも、研究者は、ファジィ理論やファジィ推論、ファジィ制御、ニューロ・ファジィの分野で、深遠な議論と研究をぶれることなく行った。そして、この議論と研究はいまもまだ続いている。いま、ディープラーニング（深層学習）や機械学習が人工知能としてブームである。昨今の研究でも、経済の動向に惑わされることなく、学術的に本筋な研究として、その人

工知能モデルの意義や特徴、真意を議論したいものである。

## 謝辞

ファジィ家電、ニューロ・ファジィ家電を開発するにあたり、松下電器産業（株）取締役中央研究所所長新田恒治様はじめ関係所員の皆様、電化研究所の皆様、ご教授頂きました大学の先生方、学会関係者には、この場を借りて厚く御礼を申し上げます。

## 参考文献

- [1] 若見：“松下電器産業におけるファジィ制御,” バイオメディカルファジィシステム学会第5回全国年次大会, pp. 13-18, 1993.
- [2] 近藤：“松下電器産業（株）電化研究所,” 日本ファジィ学会誌, Vol.5, No.6, pp. 1280-1281, 1993.
- [3] 林：“家電製品へのファジィ制御の応用状況,” 電気学会論文誌C部門, Vol.113, No.7, pp. 466-473, 1993.
- [4] 安信, 宮本, 井原：“Fuzzy 制御による列車定位置停止制御,” 計測自動制御学会論文集, Vol.19, No.11, pp. 873-880, 1983.
- [5] ファジィ全自動洗濯機, 日本知能情報ファジィ学会: <http://www.j-soft.org/example-database/2000-03-16-36> [accessed Dec. 15, 2017]
- [6] ファジィ掃除機, 日本知能情報ファジィ学会: <http://www.j-soft.org/example-database/2000-03-16-19> [accessed Dec. 15, 2017]
- [7] ファジィジャイロ式 8MM ビデオカメラ, 日本知能情報ファジィ学会: <http://www.j-soft.org/example-database/2000-03-17-121> [accessed Dec. 15, 2017]
- [8] 林：“倒立振子の学習制御,” ファジィ応用ハンドブック, 山川監修, 工業調査会, 第24章, pp. 375-396, 1991.
- [9] 近藤, 木内：“全自動洗濯機「愛妻号 Day ファジィ」(NA-F50Y5) の紹介,” 日本ファジィ学会誌, Vol.2, No.3, pp. 384-386, 1990.
- [10] 木内, 近藤：“ファジィと全自動洗濯機,” 繊維製品消費科学, Vol.32, No.2, pp. 51-55, 1991.
- [11] 北村, 山地：“ビデオカメラ「ブレンビー」開発物語,” 映像情報メディア学会誌, Vol.53, No.1, pp. 81-85, 1999.
- [12] 市橋, 渡邊：“簡略ファジィ推論を用いたファジィモデルによる学習型制御,” 日本ファジィ学会誌, Vol.2, No.3, pp. 429-437, 1990.
- [13] 野村, 林, 若見：“デルタルールによるファジィ推論の自動チューニング手法と障害物回避への応用,” 日本ファジィ学会誌, Vol.4, No.2, pp. 379-388, 1992.
- [14] 荒木, 野村, 林, 若見：“ルールを逐次的に生成するファジィモデリングの一提案,” 日本ファジィ学会誌, Vol.4, No.4, pp. 722-732, 1992.
- [15] 林：“ファジィ制御とニューラルネットワークとの融合,” 情報処理, Vol.34, No.1, pp. 44-51, 1993.
- [16] 林, 馬野：“ファジィ・ニューラルネットワークの現状と展望,” 日本ファジィ学会誌, Vol.5, No.2, pp. 178-190, 1993.
- [17] 林, 野村, 若見：“ニューラルネット駆動型ファジィ推論による推論ルールの獲得,” 日本ファジィ学会誌, Vol.2, No.4, pp. 585-597, 1990.

- [18] I. Hayashi, H. Nomura, and N. Wakami: "Artificial Neural Network-Driven Fuzzy Control and Its Application to the Learning of Inverted Pendulum System," *IEEE Tokyo Section; Denshi Tokyo*, No.29, pp. 64-69, 1990.
- [19] H. Takagi and I. Hayashi: "NN-Driven Fuzzy Reasoning," *Int. J. of Approximate Reasoning*, Vol.5, pp. 191-212, 1991.
- [20] I. Hayashi, H. Nomura, H. Yamasaki, and N. Wakami: "Construction of Fuzzy Inference Rules by NDF and NDFL," *Int. J. of Approximate Reasoning*, Vol.6, pp. 241-266, 1992.
- [21] 菅野, 水本, 若見, 馬野, 能島: "ファジイよもやま話," *知能と情報*, Vol.26, No.4, pp. 155-159, 2014.
- [22] H. Takagi and I. Hayashi: "Inference Rule Determining Method and Inference Device," *US Patent*, RE36,823, 2000.

(2017年12月17日 受付)

[問い合わせ先]

〒569-1095 大阪府高槻市霊仙寺町 2-1-1

関西大学大学院 総合情報学研究所

林 勲

TEL: 072-690-2448

FAX: 072-690-2491

E-mail: ihaya@cbii.kutc.kansai-u.ac.jp

<https://www.cbii.kutc.kansai-u.ac.jp>



ほやし いきお  
林 勲 [正会員]

1981年大阪府立大学工学部経営工学科卒業後、シャープ(株)入社。1985年大阪府立大学大学院工学研究科経営工学専攻博士前期課程修了。松下電器産業(株)(現パナソニック(株))中央研究所を経て、1993年阪南大学商学部経営情報学科講師、1997年経営情報学部教授。2004年より関西大学総合情報学部総合情報学科教授。1997年南オーストラリア州立大学 KES 招聘研究員、1999年米国ボストン大学大学院 CNS 招聘研究員、2010年米国ボストン大学大学院 CNS 招聘教授。神経回路モデルを用いた視覚モデル、ファジイインタフェースによる脳とロボットとの相互結合モデル、動作解析とスポーツ戦略の研究に従事。工学博士。日本知能情報ファジイ学会第13期14期副会長、第15期会長。米国電気電子学会(IEEE-CIS)、日本知能情報ファジイ学会、日本神経回路学会、日本視覚学会、日本基礎心理学会、システム制御情報学会等の会員。

## 著者紹介



ふじわら よしひろ  
藤原 義博 [名誉会員]

1964年3月同志社大学工学部電気工学科卒業。1964年4月松下電器産業(株)入社、研究開発及び技術経営に従事。現在パナソニック(株)客員。1999年日本知能情報ファジイ学会功績賞受賞。日本ファジイ学会第3期副会長。日本知能情報ファジイ学会、パワーエレクトロニクス学会の会員。



わかみ のぼる  
若見 昇 [特別会員]

1971年3月大阪大学基礎工学部制御工学科卒業。1971年4月松下電器産業(株)に入社。中央研究所にてVTRやDVDならびにファジイ理論の工学的応用の研究開発後、海外研究所のマネジメントおよび技術渉外総括の担当を経て、2006年3月定年退職。2006年4月広島工業大学情報学部知的情報システム学科教授。2012年3月退職。1992年3月大阪大学より博士(工学)。2014年度日本知能情報ファジイ学会功績賞受賞。日本知能情報ファジイ学会の会員。