1103 人工物工学研究の方法論 (第 11 報)

(工学の再体系化とシンセシスの理論化、そしてサービス工学)

Methodology of Research into Artifacts (11th Report)
(Reforming Engineering, Theories of Synthesis, and Service Engineering)

正 富山 哲男 (東大)

Tetsuo TOMIYAMA, RACE, The University of Tokyo, Komaba 4-6-1, Meguro-ku, Tokyo 153-8904

This paper is a preliminary report of the "Research into Artifacts" agenda and shapes the outline of artifactual engineering. It points out that abduction as a core of creation serves also as a core of integration plays crucial role in understanding and modeling of synthesis. Similarly, artifactual engineering that aims at decompartmentalization should integrate various theories about activities of design, manufacture, and other life cycle stages based on ontologies about activities based on abduction. Finally, it is argued that such activities are understood in the context of service engineering that looks at services, as opposed to traditional engineering that focuses on function.

Key Words: Artifactual Engineering, Synthesis, Abduction, Service Engineering

1. はじめに

人工物工学は、現代の邪悪の解決のために知識の自律的増殖性に着目して、それを制御するために領域細分化に立ち向かおうとした学問である。本稿では、人工物工学が最初に意図した脱領域化による工学の再体系化とは、結局何であったのかについて論じる人工物工学研究の総括の試論である。そのために、人工物工学が計画されたその背景を再確認し、その研究目的と性格をまず論じる。ついで設計などのシンセシスを理解しその科学的なモデルを構築することを目的とする「シンセシスのモデル論」プロジェクトの結果から、「創造」と「統合化」という両方の意味においてアブダクションが本質的な役割を果たす原理であることを指摘する。このことによって、人工物工学とシンセシスのモデル論研究アジェンダが高い類似性を有し、人工物工学を考える上で、シンセシスのモデル論が有益な知見を提供することを示す。そして、脱領域化のためには行為に関するオントロジーを用いた個別理論群の統合がアブダクションによってなされ、具体的にはサービス工学という形でサービスという行為に着目して統合がなされる可能性が高いことを指摘する。このサービス工学は、人工物の充足・飽和に伴う工学のミッションの変化にも関わっている。

2. 人工物工学の背景

2. 1. 現代の邪悪

人工物工学が提唱された背景には、直接には、技術の進歩と経済の発展によって、人工物が我々の社会に飽和してしまったという認識がある[1]。そのこと自体は、人類の福祉向上に多大の貢献をしたことは認められても、一方で過剰なまでに飽和したことによって、例えば地球環境問題や貿易摩擦などが発生した。これらの人工物の大量生産、大量消費、大量廃棄に伴って発生した問題、「現代の邪悪」は、人間、地球、あるいは社会が持つ本質的な有限性に、人工物の増殖が抵触したということに他ならない[2]。

人工物がなぜ大量生産、大量消費、大量廃棄されるようになったかについては、直接にはフォード以来の大量生産技術開発によるが、その根底には欲望に駆動された成長(つまり拡大再生産)を前提とする資本主義経済がある。市場経済における競争メカニズムは、市場支配原理としてのシェア競争も手伝って、生産力拡大競争につながり、それは生産設備投資競争、生産技術開発競争に拡大していった。このような拡大再生産が作用する「自律的」メカニズムが作用した結果、とどめのない大量生産、そして大量消

作用した結果、とどめのない大量生産、そして大量消費、大量廃棄が行われるようになったと解釈できる。

2. 2. 知識の自律的増殖

しかし、ここで看過できないのは経済的なメカニズムの裏面で、科学技術に関する知識の面でやはり同様の拡大再生産メカニズムが作用していたことである[1, 3]。近代科学の基本的な原理は、要素還元主義と演繹至上主義による領域への知識の細分化である。出来るだけ少数の公理系によって説明される論理的に無矛盾、整合的な領域を作り出すことによって、第一には他の領域の影響を切り離し効率的な思考を可能にしたが、第二に科学的な発見によってその領域に関する知見を加速度的に深化させ、あるいは場合によってはその領域をさらに細分化していくことに成功した。ここでも、知識の増殖が自律的に拡大再生産的であったことを指摘できる。

そして、フォード以来の人工物生産と啓蒙主義以降の科学的知識の双子の自律的増殖メカニズムは、科学技術知識の増殖が人工物の増殖を支え、その人工物の増殖によって知識増殖の欲求、資金が供給され、相互依存的でもあった。

すなわち、人工物の大量生産、大量消費、大量廃棄というコインの裏側は、科学技術の知識の増殖であったのである。すなわち、科学技術知識の増殖にも、経済的なメカニズムが作用していたという事実は忘れてはならない。もちろん、我々の知識は限界なき人工物の増殖のためだけに使われたのではない。多くの良心的な科学者による環境破壊問題の指摘は、その好例である。

3. 人工物工学の目指すもの

3. 1. 脱領域化を目指す人工物工学

前章に述べたように、人工物工学は、現代の邪悪は、単に人工物の大量生産、大量消費、大量廃棄だけに起因するのではなく、科学技術知識の要素還元主義と演繹至上主義に基づいた領域細分化による自律的増殖にも起因するという認識のもとに、対症療法的に現代の邪悪に立ち向かおうとしたのではなく、その根本原因の一つとしての領域細分化に立ち向かおうとした学問である[1]。

学問の領域化は既に述べたように、学問の成立には不可欠であった。まず、近代科学は少なくとも公理系を発見し、それを様々の条件の下で演繹によって導出されていった定理群を整理するという形式で体系化されていった。これは数学でもっとも顕著であるが、物理学などの自然科学だけ

でなく、工学においても教科書のスタイルとして認められる。ここで公理系は、対象に存在すると認められる「要素」間の関係を記述するものに他ならず、それは要素還元主義の一つの発現であるが、なるべく少数であることが望ましいとされている。少ないと言うことが、より本質的な原理であると考えられるからであり、また思考の経済の観点からも適する。

このようにして成立した「領域工学」は互いにほぼ無関係という事実がある。むしろ、積極的に無関係であるように公理系は設定され、限定的な領域だけを考慮すればよいのが「良い公理系」でもある。ところが、問題はこのような成立した領域工学は、まさに限定的な領域のことだけを対象とするが故に、他の領域にまで思考が及ばない。典型的な例が地球環境問題に抵触した人工物生産であって、経済的要求に駆動された人工物は、まさに消費され廃棄されるが故に問題を起す。人工物設計の際に、廃棄物問題は全く考慮されておらず、地球環境は思考の範囲外だからであった。このことは、領域化による学問の発展が、「無限の複雑な関係を持つ実世界に不整合」になってきたことを意味する。

従って、人工物工学はまず第一に「領域の存在を否定した工学」という性格を帯びる。

3. 2. 行動規範としての人工物工学

次に、「人工物」工学はその名称には反して、人工物を直接的に扱う学問でもない。このことを理解するには、学問は本質的には行動のための規範であることを理解せねばならない。すなわち、古来、学問はその実用的な側面が重視されてきた。現在はほとんど「虚学」と見なされているが、天文学は暦の作成や航海に直接的な貢献をしていたし、論理学は虚偽に対抗するための有力な手段であった。もちろん、現在も実学である医学は病氣や苦しみ、死から逃れるための学問であったし、工学は有益な人工物を作り出すことで富の創造を図る学問である。

つまり、様々の実学は人類の福祉の増進が最終的な目的なのであるが、工学は「人工物の生産による富の増進を通じた人類の福祉の増進」がそのミッションである。これを達成するための様々の行動に対して、工学（あるいは学問一般）は直接的な規範として作用するはずである[1]。すなわち、多くの学問は公理系から定理群という演繹至上主義で形式化され、それはさらにアナリシスというスタイルを取っている。例えば、材料力学を例に取れば、ある形状を持つある材質の構造物にどのような荷重がかかったとき、どれだけ変形しいつ破壊するかが分かる。これは典型的なアナリシスであるが、逆にどのような形状をしていけばよいかは逆問題と呼ばれているが、自明の問題ではない。このように、現実の工学は直接的に「次の順でこれこれを計算せよ」という形にまとめられていることも多いが、それは対象の機能や挙動、性質を明らかにするためのアナリシスが前提となっている体系としてなっている。

それに対して、人工物工学は「これを達成したいときには、こういう行動を行え」という形で、目的が与えられたときに必要な直接的な行動規範として作用することを期待された学問である。つまりアナリシスではなくシンセシスのための行動規範であり、シンセシスにおける支配的な思考形式は演繹ではなくアブダクションであると吉川は指摘した[1]（ここで吉川は、アブダクションを従来の工学におけるアナリシスあるいは、それに随伴する演繹至上主義との対比で議論しており、アブダクションそのものに関する議論は不十分であると言わざるをえないだろう）。

すなわち、人工物工学の第二の性格は、学問のそもそもの目的である「行動におけるアブダクションへの注目」であって、人工物を直接に対象にする学問ではない。

以上の議論をもとに、吉川[1]は人工物工学は、「領域の存在を否定した工学」（脱領域）ではあるが、「既存の領域工学の単なる総和ではない」と結論付けている。脱領域化の手法は、領域の「統合」ではなく、領域に「共通」する工学の基礎であるシンセシスに着目することであり、それもその核であると考えられるアブダクションに着目する。例えば、メカトロニクス工学に見られるように「（設計や生産など様々の）行動に対して等価な有効性をもつ融合体系」になると述べている。それは「プリミティブな知識を素材として、体系的知識がいかにアブダクションに有効な知識表現へと再編されるかについての一般的知見」であり、特に「知識適用過程についての理論」が人工物工学の中心を占めるであろうと述べ、具体的にはアブダクションの操作そのものを中心とする研究を例示している。

3. 3. 工学のミッションの再定義

さて、ここまで述べてきた細分化した領域工学のアンチテーゼとしての人工物工学が現代の邪悪解決の根本に原理的に取り組むものであるが、それとは別に、現代の邪悪の解決のためのより直接的な人工物工学を考えることができる。これは、工学のミッションの再定義による工学の新しい姿を目指すことである。既に述べたように、従来の工学のミッションは「人工物の生産を通じた富の創造による幸福の増進」であると考えられる。例えば、戦後の日本はこれになった「生産力拡大」が国是であった。このような工学のあり方に対して、人工物が飽和してしまった現代日本（あるいは工業先進国）における工学の新しいミッションは例えば「持続可能性、Sustainability」ということでもできる。一方で、21世紀が知識の時代であるという論調は多くの識者に見られる。例えばヨーロッパに根強い「Knowledge Based Economy」である。古典的な（例えばマルクスの）見方における生産の要素は「資本、土地、労働」であり、それらの集積こそが富の源泉であった。しかし、資本も労働も、そして土地を利用して行われる生産もマーケット化することで容易に調達可能となったことで、これらを動かす要素としての「知識」あるいは人工物に変わる価値としての「知識」に重点がシフトしていくことは当然であるが sustainability との関連において、脱物質化との象徴として知識が論じられるのも当然である。すなわち、物質とエネルギーを消費することで回る経済ではなく、知識を駆使してサービスによって回る経済こそが knowledge based economy であるという議論である。（もちろん、知識やサービスを駆動するために物質やエネルギーが不要であるという議論は成り立たない。）

人工物工学の観点で言えば、まさにこの二つの新しい要素、つまり知識とサービスが今後、工学が扱うべき対象であり、それらを脱領域的手法として扱うことが人工物工学の核になると期待される。まさにそのための工学的な手法として、知識集約型工学[4]とサービス工学[5]が提唱されたのである。

4. シンセシスのモデル論プロジェクト

4. 1. シンセシスの科学研究アジェンダ

1996年から、日本学術振興会未来開拓学術推進事業の一環として、シンセシスの科学が推進されており、筆者らはその一つのプロジェクトである「シンセシスのモデル論」プロジェクトを1996年から5年間計画で推進している[6]。シンセシスの科学推進委員会のアジェンダは、次のようなものである。

工学、産業、製品など技術にかかわる諸相を特徴付けているのが領域の細分化であり、これは設計、製造、保守、再生、安全性確保など現実行為の最適性を低下させ、

従って社会的コストの増加を招き、さらにシステムの脆弱性の増大、環境劣化などを引き起こしている。

これらの細分化された領域を横断し、統合的視野を与えるのはすべての領域に共通するシンセシスであるが、これが経験的、個人体験的なものに止まり、科学としての水準が低い。これの向上が緊急の課題である。

ここで定義されたシンセシスの科学に関わるアジェンダは、驚くほど人工物工学研究のアジェンダに類似している。例えば、人工物工学が「設計や生産など様々の行動に対して等価な有効性をもつ融合体系を目指した脱領域化」を狙い、シンセシスの科学では「細分化された領域を横断し、統合的視野を与えるのはすべての領域に共通するシンセシス」であると、より具体的に設計に代表されるシンセシスに注目している。このことは、「シンセシスのモデル論」プロジェクトにおいて、アブダクションに着目することでより鮮明になっている[6]。また、人工物工学では知識適用過程についての理論がその中心になると予見されており、アブダクションの操作そのものを中心とする体系として定義されていると述べられている[1]が、このアブダクションは「シンセシスのモデル論」プロジェクトの中心課題の一つであった。

ここで「シンセシスのモデル論」プロジェクトについてその概要を紹介する。このプロジェクトは、シンセシスの科学的なモデルを構築することが目的である。その結果、分かったことは次のようにまとめられる[7]。

4. 2. 多重モデルの統合

「シンセシスのモデル論」プロジェクトの結論の一つは、設計をはじめとするシンセシスの過程を統一的に説明する「単一モデル」（ないし「統一理論」）は存在しない（あるいは発見し得なかった）ことである。その代わりに存在するのは、特定の視点から見て生成され、またその視点に限り整合的にシンセシスを説明できる特定のモデルであり、思考過程モデル、設計行為レベルのモデル、知識操作レベルのモデル、論理推論レベルのモデル、対象操作レベルのモデル、多重対象モデルに基づく推論モデルなどである。もちろん、過去に多くの研究者によって設計過程モデル[8]は研究されてきており、これらも含めてシンセシスを説明しうるモデルは多々存在することになる。

このことは、シンセシスの対象である人工物を表現する対象モデルにおいても実は同じであり、同一の実体を表現する異なる視点からの多数のモデル（例えば幾何学観点から見た幾何モデル、材料力学の観点から見た変形モデル、運動学の観点から見た運動モデルといった具合である）が存在し、設計実務上も設計支援システムを構築する観点からも、これらの多数のモデルを統一することが課題となる。これを解決するものとして筆者らはメタモデル概念を提唱した[8]が、その原理は対象表現に関する概念を体系的に整理したオントロジーに基づいて、各モデルが表現する概念間に関連づけを行うことである。この場合、オントロジーとしては物理現象に関する概念を中心とすればよいことが示されている。

このアナロジーを用いると、シンセシスの過程を統一的に説明するモデルが存在しなくても、実は何ら問題はなく、個々の特定の視点から見たモデル（そしてそれらは、その限りにおいて整合的である）が使用する概念を体系的に整理するオントロジーに基づいて、各モデルが表現する概念間に関連づけを行えばよいことになる。対象表現に関するメタモデルとの違いは、シンセシスに関わる「行為」に関するオントロジーを用いばよいことである。

4. 3. シンセシスとアブダクションの関連

アブダクションは C.S.パースが提唱した推論形態であるが、設計との関連が強いと指摘されてきた。シンセシスに

は、もともと「統合化、総合化」と「創造、合成」という二つの意味が英語においても存在している。また、よりよい創造には「多視点の統合」が必要であり、また逆に合目的に「視点が統合化」されたのが、設計結果であるとも言われている。すなわち、多視点の統合化はシンセシスの本質でもあると言われている。そのことも含めて、このアブダクションとシンセシスの関連は、次のように説明できる。

まず、演繹は公理系（大前提）と事実（小前提）から定理群（結論）を導出することである。これに対してアブダクションは本質的にもともと（演繹などによって）論理的に帰結されること以外のことを導出する推論である。つまり、ある公理系に対して、その公理系から演繹される定理群を導出する事実を逆に導出する推論であり、element-creative abduction と呼ばれる。この element-creative abduction が実は設計などの「創造」や「合成」という意味になる。それに対して rule-creative abduction は、inductions そのものである。しかし、もう一つの abduction が存在し、それは与えられた公理系だけでは説明できないような定理群が与えられたときに、想定した公理系以外の公理系への参照を行う abduction である。すなわち、ある abduction を行う前に、前提とする公理系に対して既存の別の公理系を「統合」する演算に他ならない。ここで重要なことは、公理系同士を統合するためには、まず公理系同士が矛盾していないこと（多くの領域工学同士は互いに無関係と言って良いが、それは矛盾していないことと等価である）、公理系が用いている概念間に共通性があること（オーバーラップ部分がなければ、統合しても無意味になる）、つまりオントロジーが共通化されていることが必要である。

これから帰結できることは、シンセシスの持つ二つの意味、「統合化・総合化」と「創造・合成」はともに abduction がその原理であるとして理解できると言うことである。すなわち、前節に述べたシンセシスのモデル論において、行為に関する多くのモデル群を統合を行うことは、行為に関するオントロジーを用いて概念間の関連付けを行うことと、各モデルが前提とする理論群をアブダクションによって統合することであるとも言える。

4. 4. 脱領域化の原理としてのアブダクション

以上に述べたアブダクションの本質を理解すると、人工物工学の「設計や生産など様々の行動に対して等価な有効性をもつ融合体系を目指した脱領域化」のメカニズムが実はアブダクションであり、人工物工学とシンセシスの科学のアジェンダの相似性が理解できる。

すなわち、さまざまな領域工学を統合するのは、全ての領域に共通する「行為」であり、その「行為」に関するオントロジーを用いて、行為を説明する複数の理論体系をアブダクションによって統合したものが人工物工学の本質なのである。もちろん、この場合の行為はシンセシスという思考形態だけに限定されるものではなく、より広義には人間が人工物の設計や生産、使用などに関わる行為と解釈すべきである。

人工物工学のアジェンダの初期でアブダクションに着目したのは、設計や創造という点でアブダクションが重要なのであるばかりでなく、脱領域化のための知識体系の融合化においてアブダクションが本質的な役割を果たすという点で極めて当然のことなのであった。人工物工学のアジェンダで示された「プリミティブな知識を素材として、体系的知識がいかにアブダクションに有効な知識表現へと再編されるかについての一般的知見」とは、再編された知識がアブダクションに利用されて創造に有効なばかりでなく、その再編そのものが実はアブダクションによってなされるという二重構造を有している。そして、人工物工学とシン

セシスの科学のアジェンダの相似性とは、行為レベルの知識体系の統合という点で理解されるべきなのである。

5. サービス工学

3章で既に述べたように、人工工学の有力な研究の方向性として知識集約型工学[4]とサービス工学[5]とがある。このうち、サービス工学とは、サービスを「ある場においてサービス提供者がサービスチャンネルを介してサービスコンテンツを提供することで、サービス受信者の状態を変化」させるものと定義するとき、そのサービスによって創造される付加価値を増大するための工学的な手法であると理解される。

もちろん、これは現代社会が持つ「物質からサービスへ」という本質的なトレンドとしてのサービス化の観点で重要であるばかりでなく、地球環境問題の観点から重視されている知識集約化と脱物質化（ポスト大量生産パラダイム[2]はその一つの考え方である）のためにも重要であると考えられている [2, 5]。一般には高付加価値創造のためには高機能化だけではもう不可能であり、製品ライフサイクル（あるいはバリューチェーン）全体での、知識やサービスの成分を増大することが求められているのである。

また、3. 3節でも述べたように工学のミッションの変化という点でも重要である。すなわち、従来の工学が「人工物の生産による富の創造に通じた幸福の増進」というミッションに基づいていたのに対して、人工物が飽和し実質的に無限とも言える人工物生産力を持ってしまった多くの工業化社会にとって、新たな工学のミッションは例えば「サービス生産を通じたサービスの創造（つまり直接的な人工物生産に依らない）による幸福の増進」であると定義できるであろう。工学が単なる人工物生産だけに使われるだけでなく、幸福の増進に寄与するサービス生産に使われる社会は、持続可能性を秘めた新たな発展可能性を持つ社会であるといえる。

しかし、サービス工学が持つ意味はそれ以上のものがあるが、それは従来の工学が、人工物生産といっても実はその量だけでなく、人工物の持つ機能の向上に多大の注目を払ってきたからである。

機能モデル論[10]の教えるところは、機能の下には挙動、状態、構造といった体系がある。従来の工学は、従って機能の向上のために、挙動、状態、そして構造にのみ着目してきた。例えば材料力学は、構造物の荷重支持機能に着目し材料の変形や破壊といった挙動、材料の状態や特性を考えて、その機能向上を図る学問なのであった。しかし、サービス工学がサービスに着目するということは、サービスが要はサービス発信者とサービス受信者の関係における行為である以上、挙動や状態、構造だけでなく、サービスという行為に着目しなければならない。

このとき、まさにシンセシスのモデル論がそうであったように社会における様々の「行為」に関する知識の体系を構築することに相当する。人工工学は全ての領域に共通する行為に関するオントロジーを用いて行為を説明する複数の理論体系をアブダクションによって統合したものであると理解されるわけだが、その行為はサービスというレベルでも理解できる。すなわち、サービスに関わる行為を理解してサービス工学を作ること、サービスに関わる行為に関するオントロジーをもとにした概念間の関連づけがあり、それを前提として様々の行為に関する理論体系を構築していくことと等価のはずである。

6. まとめ

人工工学は、現代の邪悪の解決のために知識の自律的増殖性に着目して、それを制御するために領域細分化に立

ち向かおうとした学問である。「設計や生産など様々の行動に対して等価な有効性をもつ融合体系を目指した脱領域化」である人工工学は、それ自身がシンセシスなどにおいてアブダクションによって実行されるばかりでなく、脱領域化のための個別理論群の統合そのものもアブダクションが指導原理である。このことは「シンセシスのモデル論」プロジェクトで明らかにされたことであり、その統合には行為に関するオントロジーが重要な役割を果たす。

そして、サービス工学には、「サービス開発のための工学」という側面と「ポスト大量生産パラダイムのもとでライフサイクル生産性を向上」という二つの側面があるが、それ以上にサービスという行為に着目するという点において、人工工学が着目すべき行為を明確化しているという役割がある。そして、製品ライフサイクル全体での包括的サービスという面では、ライフサイクル全体に関わる知識の集約が重要であり、その点で知識集約型工学に関わる。

以上のように理解すると、工学の再体系化は工学のミッションの変化と脱領域化を契機として起きるが、しかし、一方で、それは行為への注視を必然とする。行為は、サービスであったり、シンセシスという見方である。そして脱領域化の原理は、アブダクションによる個別理論群の統合であることを理解する必要がある。今後の人工工学のリサーチ・アジェンダはまさに、この点にしばられるてくると考えられる。

参考文献

- [1] 吉川弘之：テクノグローブ、工業調査会、(1993)。
- [2] T. Tomiyama: "A Manufacturing Paradigm Toward the 21st Century," *Integrated Computer Aided Engineering*, Vol. 4, (1997), pp. 159-178.
- [3] 富山哲男・馬場靖憲：「ポスト大量生産パラダイムと人工工学」，日本機械学会第3回設計工学・システム部門講演会講演論文集，No. 930-27, (1993)，pp. 193-198.
- [4] T. Tomiyama, T. Kiriya, and Y. Umeda: "Toward Knowledge Intensive Engineering," in K. Fuchi and T. Yokoi (eds.): *Knowledge Building and Knowledge Sharing*, Ohmsha, Tokyo, Osaka, and Kyoto, IOS Press, Amsterdam, Oxford, Washington, D.C., (1994), pp. 308-316.
- [5] 富山哲男：「人工工学研究の方法論（第7報）ーサービス工学試論ー」，日本機械学会第9回設計工学・システム部門講演会講演論文集，No. 99-27, (1999)，pp. 307-309.
- [6] 富山哲男：「『シンセシスのモデル論』プロジェクト報告」，日本学術振興会未来開拓学術研究推進事業公開シンポジウム「シンセシスの科学」講演予稿集，日本学術振興会未来開拓学術研究推進事業「シンセシスの科学」研究推進委員会，2000年3月4日，(2000)，pp. 1-40.
- [7] *Proceedings of the 2000 International Symposium on Modeling Synthesis*, December 11-12, 2000, The University of Tokyo, (2000).
- [8] 富山哲男：「設計学研究動向」，日本学術会議50周年記念シンポジウム「設計の質的転換」講演論文集，日本機械学会，No. 99-32, (1999)，pp. 19-31.
- [9] T. Tomiyama, T. Kiriya, H. Takeda, D. Xue, and H. Yoshikawa: "Metamodel: A Key to Intelligent CAD Systems", *Research in Engineering Design*, Vol. 1, No. 1, (1990), pp. 19-34.
- [10] Y. Umeda and T. Tomiyama: "Functional Reasoning in Design," *IEEE Expert, Intelligent Systems & Their Applications*, Vol. 12, No. 2, (March-April 1997), pp. 42-48.