



## 知識による問題解決

(株)日立製作所 元田 浩

知識工学は問題解決の新しいアプローチとして最近注目を浴びている。本稿では、知識工学とは何か、知識工学に期待される効果、用いられる手法の特徴を、エキスパート・システムの例を挙げて解説する。また、エキスパート・システム開発の歴史を概観し、併せて進行中の国家プロジェクト「第5世代コンピュータ開発」の目標や、原子力分野への適用研究事例を紹介し、将来の展望を行う。

### I. はじめに

人工知能の研究は、「人間のように知覚し、考える計算機の実現」という夢のテーマを追い続けて来たが、最近、その応用分野である知識工学<sup>(1)(2)</sup>が、種々の問題解決に有効な魅力あるアプローチとして注目を浴びており<sup>(3)-(6)</sup>、本学会でも基礎研究の成果が幾つか報告され始めている<sup>(7)-(11)</sup>。

知識工学は、専門家(エキスパート)が問題解決に当って使用する知識を計算機に与え、その知識を用いて推論によって問題を解決する新しい技術である。知識工学の提唱者 Stanford 大学の Feigenbaum 教授は、エキスパート・システムの問題解決能力はそれが所有している知識にあり、それを表現する形式や推論能力にあるのではないと指摘している<sup>(12)</sup>。

知識とは、推論の過程で利用される形式化された情報であるが、知識工学ではこれを、専門的知識と経験的知識とに分けている。前者は専門分野において一般的によく知られている事実を指し、後者はその分野の専門家の長い経験に基づくもので、一般にヒューリスティックと呼ばれる知識である。専門家は後者の知識を用いて無駄な探索をさけ、うまく問題的を絞り込み、効率よく問題を解決してゆく。このような知識を積極的に活用しようとする点に知識工学の意義がある。

本稿では、知識工学的手法の特徴をエキスパート・システムの例を挙げて紹介し、進行中の国家プロジェクト「第5世代コンピュータ開発」の目標など、将来の展望についても触れてみたい。

### II. エキスパート・システムの構成

知識工学的手法の特徴は「問題解決に必要な知識(知識ベース)と「その知識をいかに使うか、すなわち推論機能」(推論プログラム)が分離していることである。従来の方法が何をするか(処理手順)をアルゴリズムと

してプログラム化するのに対し、問題を解くのに知っていないなければならないこと(知識)をデータとして与え、プログラム本体は「推論処理」を行う部分として独立させることが可能である。知識がどう使用されるかは前もって定められないため、科学技術計算と違い、処理の流れがはっきりしない非決定的なプログラムとなる。

また、知識は1つのまとまった意味を持つ表現形式として記述されるため意味が理解しやすい、個々の知識はそれ自体完結しているから追加修正が容易であり性能を徐々に改善できる、多数の知識に基づく論理判断により結論が導出されるため結論に至るまでの処理の全過程の理解が容易になる、などの特徴がある。

推論とはどんなものか、の具体的なイメージをつかんで頂くため、プロダクション・システムと呼ばれている方法を紹介する。これは知識を条件節(if部)と結論節(then部)からなるルール(プロダクション・ルール)の形に記述し、事実と条件節を比較照合(パターン・マッチング)し、照合が成立したルールの結論節を新たな事実として追加する操作を、どのルールの条件節とも照合がとれなくなるまで繰り返すものである。このような推論機構(前向き推論)は知識表現の意味的内容とは独立しているので、知識を変更することにより、推論の流れが変わってくる。

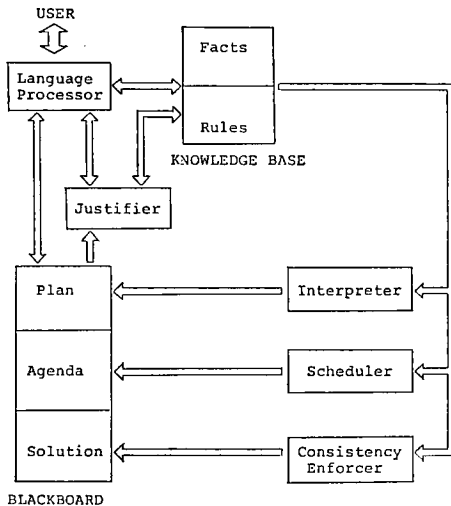
このような知識を使った推論処理を計算機で効率よく実施するためには、従来の数値処理を主目的としている FORTRAN や PASCAL は不向きであり、記号処理に向けた言語が必要になる。記号処理とは、いくつかのデータからなる構造より部分構造を取り出して比較照合したり、新たな構造を作り出す操作をいう。このような記号処理用の言語として LISP<sup>(12)</sup> や PROLOG<sup>(13)</sup>

*Problem Solving Based on Knowledge: Hiroshi MOTODA.*

(1984年 1月18日 受理)

が人工知能の分野で開発され、使用されている。

理想的なエキスパート・システムとはどんなものであろうか。第1図にその基本構成を示す<sup>(14)</sup>。ユーザーは言語処理系(Language processor)を介して問題向きの言語で対話する。知識ベースには、第1章で述べた専門的知識と経験的知識が事実とルールの形に整理されている。残りは推論部に相当する。



第1図 理想的なエキスパート・システムの構成<sup>(14)</sup>

黒板(Blackboard)には、最終結果に至る中間の結果も記録される。計画部(Plan)には、現在の計画、目標、問題の状況など問題を解く方針が、アジェンダ部(Agenda)には、実行を待っているいくつかの行動が、結論部(Solution)には、これまでシステムが生成した仮説や決定事項が、それぞれ記録される。スケジューラ(Scheduler)はアジェンダを制御し、次に何をすべきかを決定する。そのために通常、最も効果の大きいものを実行するか、無駄な努力を避けるなどの方針が具体化されている。インタープリタ(Interpreter)は、選択されたアジェンダの実施項目に対応する知識ベースのルールを適用し、黒板の中味を一部書き換える。整合性保持機構(Consistency enforcer)は徐々に明らかになる仮説の首尾一貫性が常に保たれるように古い結論を修正する。説明機構(Justifier)はシステムの行動の様子をユーザーに説明する。なぜ、このような結論が得られたのか、なぜ、他の結論が得られなかったのかに対し、自分の知識を用いて解答する。

現実のエキスパート・システムで、これらをすべて備えたものはないが、必ずこの中の一部の機能を実現している。

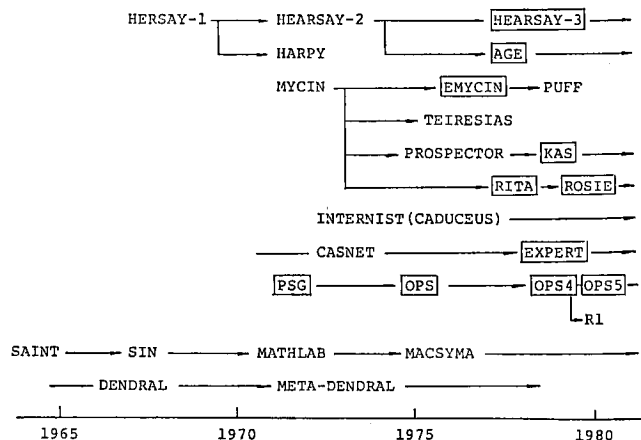
### Ⅲ. エキスパート・システム開発の歴史

エキスパート・システムの開発はこれまでのところアメリカを中心にして精力的に進められてきた。第2図に過去20年にわたる主要なエキスパート・システムとエキスパート・システム構築用の汎用的なシステムの開発の歴史を要約し、以下、その代表例について概説する。

知識工学を有名にしたのはStanford 大学が開発したDENDRAL<sup>(15)</sup>であるといっても過言ではない。DENDRALは質量分析、核磁気共鳴ならびに他の化学実験データを基に、有機化合物の分子構造を推定するシステムである。無数の可能な組合せの中から、ヒューリスティックスにより望みのない候補を次々とふるい落とすことにより、専門家でさえも時として見落すような構造を効率よく同定することができる。DENDRALは現在、世界中の化学者に常時使われている。

SAINT からMACSYMA<sup>(16)</sup>に至る流れは、Massachusetts Institute of Technologyで開発された数式処理用のエキスパート・システムである。

EXPERT<sup>(17)</sup>はRutgers 大学で開発された緑内障の診断システムCASNET<sup>(18)</sup>を基にした汎用的な構築用システムである。主として、眼科、内分泌、リウマチの診断システムの開発に用いられてきた。INTERNIST(現在CADUCEUS<sup>(19)</sup>と改名されている)はCarnegie-Mellon 大学(CMU)で開発された内科の病気診断シ



第2図 主要なエキスパート・システムとエキスパート・システム構築用システムの開発の歴史(枠で囲んだものが開発用システム)<sup>(14)</sup>

テムで、膨大な知識ベースを持っており、現在、National Institute of Health (厚生省) の指導の下で評価が続けられている。MYCIN<sup>(20)</sup> は Stanford 大学が開発した血液感染症用の診断システムであり、その機能は専門家と同等であると評価されているが、診断の対象が限定されすぎており実用化されるに至っていない。しかし、知識の不確実性を取り扱う方法を提案した点、if, then 形式の知識表現の有効性を示した点で非常に有名なシステムである。EMYCIN<sup>(21)</sup> は MYCIN を汎用化した構築用システムであり、これを用いて開発された肺疾患診断システム PUFF は California Medical Center で実用化されている<sup>ω</sup>。

MYCIN に刺激され、Stanford Research Institute が開発した類似手法を用いた PROSPECTOR は、膵臓発見に関するエキスパート・システムで1億ドル以上の価値のあるモリブデン膵を発見したといわれている<sup>(14)</sup>。PROSPECTOR はその後、汎用システム KAS へと発展している。RITA, ROSIE はやはり MYCIN に刺激され Rand Corp. で開発された構築用システムである。

PSG から OPS 5<sup>(22)</sup> に至る流れは CMU が人間の認知モデルの研究用に開発したプロダクション・システムが基になったものである。R1 は OPS 言語を用いて成功したエキスパート・システムであり、DEC 社の VAX 計算機の構成を決めることができる。現在、DEC 社で実用に供されている。

最後の流れは音声理解システムで、CMU が開発した HEARSAY-2 は連続した1,000語の言葉を理解するシステムとして有名である。ここで開発された、複数の専門家が協調し合って問題を徐々に解決してゆく手法(黒板モデルと呼ばれる)は、今後のエキスパート・システムの方向として注目されている。HEARSAY-3<sup>(23)</sup> (Information Science Institute) と AGE<sup>(24)</sup> (Stanford 大学) は黒板モデルに基づく汎用システムである。第2章に記した理想的なシステムはこの延長線上にあると考えられる。

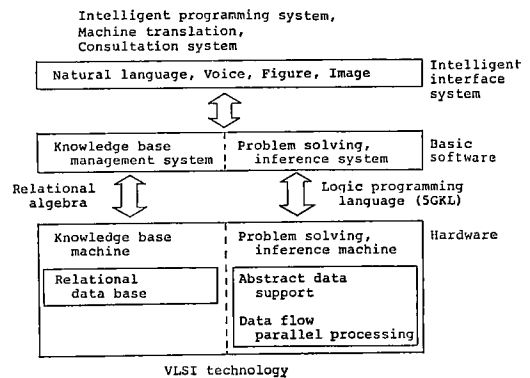
以上、エキスパート・システムの開発の歴史を概説してきたが、エキスパート・システムが成功する要因はまず知識が重要な役割を演じている分野 (Knowledge incentive application) で、①問題の範囲が明確であり、②専門家なら解くことが可能で、③専門家との協力が得られ、④ニーズの強い、ことが不可欠である。

#### Ⅳ. 第5世代コンピュータ・プロジェクトの目標

通産省で推進している第5世代コンピュータは、

1990年代の実用を目指す新世代のコンピュータであり、推論、連想、学習などの基本機能をハードウェアで実現した知識情報処理を中心とするコンピュータである<sup>(25)</sup>。

本プロジェクトは1981年に発足し、1年間の調査期間を経て1982年に実質的な研究開発を開始した。10年間に約1,000億円を投資する大プロジェクトである。10年間に前期(3年)、中期(4年)、後期(3年)の3期に分けて開発を進め、最終的には第3図のようなイメージで示されるマシンの開発を目標としている。



第3図 第5世代コンピュータの構想<sup>(25)</sup>

図の下からマシンのハードウェア、基本ソフトウェア、知的インターフェース・システムを表わしている。ハードウェアは問題解決、推論マシンと知識ベース・マシンからなる。問題解決、推論マシンは記号処理用言語 PROLOG をベースとする「核言語」(5GKL) を並列実行する高級マシンである。これを約1,000台の VLSI プロセッサで構成する計画である。ハードウェアの上には、問題解決、推論のソフトウェアと知識ベース管理のソフトウェアがあり、その上に自然言語や音声、図形、画像による入出力をサポートするインターフェースがある。最上位は、ユーザーにとって直接意味のある応用システムで、知的プログラミング・システム、機械翻訳、コンサルテーション・システムなどのエキスパート・システムがある。

推論マシンの性能は 100 MLIPS ~ 1 GLIPS (LIPS: Logical Inference Per Second) を、知識ベース・マシンの性能は 100G ~ 1,000G バイトのデータを数秒以内で検索できることを目標にしている。

第5世代コンピュータは知識ベース・システムのための並列計算機であり、知識工学の目標を実現するものである。

### V. エキスパート・システムの実例

第Ⅲ章でエキスパート・システムの開発の経緯を概説したが、ここで、実用に供されているエキスパート・システムの実例を2つ紹介したい。1つは第Ⅲ章でも触れたCMUが開発した計算機構成決定支援システムR1<sup>(14)</sup>、他の1つはベル研究所で開発した電話線ケーブル保守システムACE<sup>(26)</sup>である。

R1はCMUがDEC社と契約して開発した商用システムである。VAXはSynchronous backplane interconnect(sbi)と呼ばれる高速同期バスを使用しており、CPU、メモリー制御ユニット(1~2台)、マスバス・インターフェース(1~4個)、ユニバス・インターフェース(1~4個)がsbiで接続される。マスバスとユニバスにより多数の周辺機器がサポートされる。機器の組合せが多いため、VAXの構成(sbiへの接続の順番)を決めるのは簡単ではない。この作業には、各構成機器の機能に関する知識と、目的の仕様を満たすための機器の構成方法に関する知識とが必要となる。VAXには約420個の機器があり、各機器には平均8個の特性値があるので、3,000以上の機器の機能に関する知識が必要となる。構成に関する知識は専門家とのインタビューによって抽出し、プロトタイプで約300、納入試験時の性能評価の時点で約800個に増強され、この時点で専門家なみの性能を発揮した。その後、知識の数はさらに増え、現在では約2,500もの知識を内蔵している。第4図に、R1で用いられている構成に関する知識と結果の1例を示す。知識はプロダクション・ルールで与えられ、結果は配置図で与えられる。R1によ

```

If the current context is assigning devices to
  unibus modules, and
  there is an unassigned dual port disk drive, and
  the type of controller it requires is known, and
  there are two such controllers neither of which
  has any devices assigned to it, and
  the number of devices that these controllers can
  support is known,
Then assign the disk drive to each of the controllers
  and note that the two controllers have been
  associated and that each supports one device.

```

#### RL OUTPUT

BOX: BALL-KE NUMBER 1 IN CABINET NUMBER 1 (UBA 0)

MODULES		A	B	C	D	E	F	BACKPLANES
DR11-1	1	M9014		M7219				070-08329-00
	2	M9680		M208	M208	M7821	M796	
	3	M9882	M205	M611	M611	M112	M113	
	4	M9702		M957	M957	M116	M239	
	5							
D211-B1 D211-B2	6	UNIBUS-IN			G727			070-11528
	7	M7819						
	8	M7819						
	9	M9302			G727			
	10							

第4図 VAX計算機構成支援システムR1で用いられている知識と出力結果の例<sup>(27)</sup>

り専門家は自分で構成を考える必要がなくなり、R1の出力をチェックすればよいようになった。

ACEも現在、ベル研究所で実際に使用されているシステムであるが、R1がコンサルテーション・システムであるのに対し、オンライン自動化システムである。ACEは毎日、連続的に与えられる電話線の故障レポート(CRASと呼ばれているデータベース)を受け取り、故障箇所を同定して、必要な補修事項を提示する。結果は所定の場所に電子郵便で送られるので、毎朝端末のスイッチを入れると、その日の補修項目が自動的に出力される。第5図に、ACEで用いられている知識と出力結果の1例を示す。知識はCRASのデータのほかに、同図に示されるような診断に関するプロダクション・ルールで与えられ、結果は自然文で与えられる。診断に関する知識は約100個であるが、満足すべき性能を示しており、専門家のわからないことはやはりわからないが、専門家の出来ることは間違いなく速く実施するとの評価を得ている。

```

If a range of pairs within a cable
  have generated a large number of
  customer reports, and
  a majority of the work on those
  pairs was done in the terminal block,
Then look for a common address for those
  repairs.

```

#### ACE MESSAGE

```

The most common disposition code was 0436.
This indicates the presence of a problem at
one or more crossboxes in this cable. In all
likelihood it is one crossbox. This crossbox
should be cleaned, rehabilitated and properly
closed up, to prevent further troubles, or
it should be replaced if it has deteriorated
to a point where that is necessary.

```

第5図 電話線ケーブル保守システムACEで用いられている知識と出力結果の例<sup>(26)</sup>

### VI. 原子力分野への適用研究事例

筆者の知る限り、実際の原子力プラントに知識工学的な手法を適用した例はなく、まだ基礎研究の域を出ていないのが現状であると思われる。

原子力プラントへの適用例ではないが、関連のあるものとして米国オークリッジ国立研究所(ORNL)で開発中の油や有害化学物質の漏洩に対する管理システム(Spill management system)が有名である<sup>(14)</sup>。ORNLの約200平方マイルの敷地内にある約200軒の建屋には1本1ガロンの容器から数1,000ガロンもの容量のタ

ンクまで、様々な形態で油や化学物質が貯蔵されている。ORNL の下流には White Oak Lake という貯水湖があり、ORNL の排水は最終的にはここに流れ込む。貯水湖で油の被膜など漏洩が発見された場合に、発生源をつきとめて必要な措置をして政府に報告することを支援する巨大なシステムである。文献⑭にはこの問題を非常に簡略化して8個の汎用システムを用いて解こうとした試みが報告されており、各システムの特徴が出ていて興味深い。

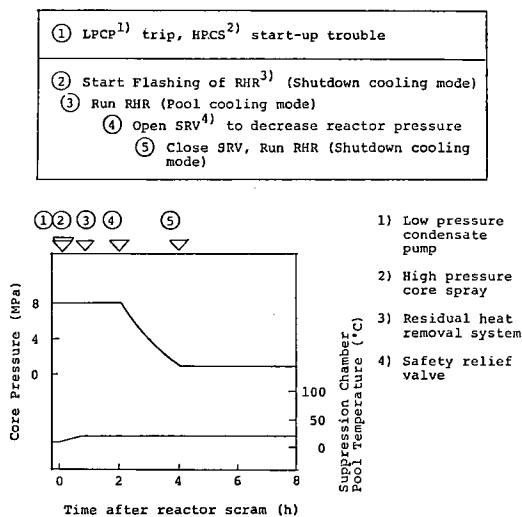
現在、原子力プラントに関する適用研究事例としては運転ガイダンスしかないと思われる。運転ガイダンスの目的は、運転中に何か発生した場合に、運転員が、いま何が起きているのか、その原因は何か、どう対処すればよいのかを判断するのに有効な情報を提供することにある。

第6図(a), (b)に、筆者らが研究に携わった知識工学を応用した運転ガイダンスの結果<sup>⑯</sup>を示す。第6図(a)は「LPCP (低圧復水ポンプ)」の故障のため原子炉の給水が停止されて原子炉がスクラムした場合である。さらに、スクラム後の炉心冷却系の1つであるHPCS(高圧炉心スプレイ系)も故障している状態を想定している。原因を同定した後、約4時間にわたる必要なガイダン

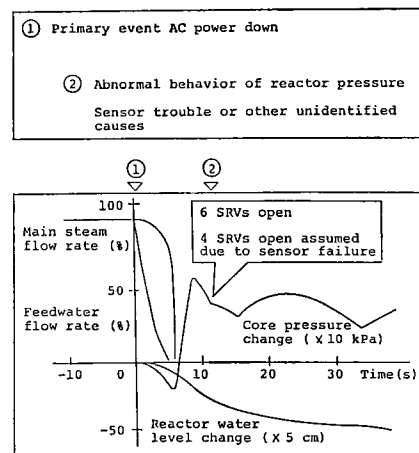
スを提示している。

第6図(b)は、「電源喪失」によりLPCP, HPCP(高圧復水ポンプ), PLR (再循環ポンプ)が停止して原子炉がスクラムした場合である。このとき、特にSRV(逃し安全弁)の弁開閉信号に誤信号があった場合(時刻②で6弁開であるものを4弁開として入力)を想定した。時刻②では入力したSRV開閉データ、炉圧などのプロセス量変化を知識ベースの知識からは説明できず、結論を同定していない。

筆者らの経験では、①多数の事象に関連した一連の事象を個別の事象に関する知識から自動的に組み立てて表現できるため、一連の現象をシナリオで記述して準備する必要がない、②知識と推論を分離できるため、知識の追加、修正によりガイダンス機能の強化が容易になる、③推論プロセスの表示により、発生している現象に対する運転員の理解を助け、判断をより確実なものにすることができる、などの利点が確認されたが、実用システムへ持ってゆくには今後、ソフトウェア、ハードウェアを含めて解決しなければならないことも多いと感じている。診断の対象など問題を限定し、取り扱う異常の範囲を狭く、深くしてゆくなどのステップを踏んだ開発が必要であろう。



(a) LPCP停止(故障)およびHPCS故障に対するガイダンス(冷温停止の場合)



(b) 電源喪失およびSRV開閉信号に誤信号が発生した場合のガイダンス

第6図(a), (b) 知識工学の運転ガイダンスへの適用研究事例<sup>⑯</sup>

## Ⅶ. おわりに

以上、知識工学の概要とエキスパート・システムに

ついて紹介してきた。知識工学の意図するところは、知識という媒体を介して人間の持つ優れた能力を問題解決に積極的に活用することである。原子力の分野に

においても他の工学の分野と同じく、システム設計から運転の評価に至るまで、専門家の持つ現象に対する適確な認識と状況判断、対応した意志決定等の知的能力の活用が不可欠であり、このような機能の一部を計算機に処理させることができれば、われわれの夢に一步近づけることになる。システムが複雑、大規模になると、関係する情報の量は膨大かつ多様なものになり、完全な状況記述は不可能になる。システムの中での人間と計算機の役割分担の適正化が重要な課題となる。

知識工学は若い学問であり、多くの研究が指摘しているように、簡単な例で効果を示すことができても、真に実用的なシステムを構築することは容易ではない。性急に具体的な成果を期待すると失望に終る可能性が強い。直感的に考えると、大胆な推測をして一足とびに結論を得るとか、複雑な周りの情報をとらえてこれを解決するというような推論機構が実用化されるには、まだ多くの研究開発を待たねばならない。

しかし、対象を限定すれば問題解決に必要な知識を集めて、これを表現することは可能であり、保守、診断、異常処理、それらの教育などで実用化の研究が進むものと期待される。

— 参 考 文 献 —

- (1) FEIGENBAUM, E.A.: *Proc. IJCAI-77*, 1014 (1977).
- (2) 溝口文雄, 北沢克明: “知識工学入門”, 講談社ブルーバックス, B-496, (1982).
- (3) 田中幸吉, 他: 特集 知識工学, 数理科学, 214号, 7 (1981).
- (4) 田中幸吉, 他: 小特集 知識工学の現状, 電気誌, 103[3], 1 (1983).
- (5) 岩井壮介, 他: 人工知能とシステム制御特集号, システムと制御, 27[7], 1 (1983).
- (6) 小林重信, 他: 小特集 知識工学, 計測と制御, 22[9], 1 (1983).
- (7) 岡田二郎, 横林正雄, 溝口文雄: 原子力誌, 25[6], 469 (1983).
- (8) 木口高志, 吉田健一, 元田 浩, 小林節雄: 同上, 25[4], 298 (1983).
- (9) 服部芳明, 伊藤寿一郎, 川村厚郎: 原子力学会昭58分科会予稿集, C39, (1983).
- (10) 吉川栄和, 若林二郎: 同上, C30.
- (11) 横林正雄, 山本 稔: 同上, C11.
- (12) 白井良明, 安部憲広(訳): “LISP”, (1982), 培風館.
- (13) 中島秀之: “PROLOG”, (1983), 産業図書.
- (14) HAYES-ROTH, F., WATERMAN, D.A., LENAT, D.B. (ed.): “Building Expert Systems”, (1983), Addison-Wesley.
- (15) LINDSAY, R.K., BUCHANAN, B.G., FEIGENBAUM, E.A., LEDERBERG, J.: “Application of Artificial Intelligence for Organic Chemistry”, (1980), McGraw-Hill.
- (16) GOLDEN, J., GENESERETH, M., DOHOVSKOY, A.: *MACSYMA Reference Manual*, (1977), MIT.
- (17) WEISS, S.M., KULIKOWSKI, C.A.: *Proc. IJCAI-79*, 942 (1979).
- (18) WEISS, S.M., KULIKOWSKI, C.A., AMAREL, S., SAFIR, A.: *Artificial Intelligence*, 11, 145 (1978).
- (19) POPLE, H.E., Jr., MYERS, J.D., MILLER, R.A.: *Proc. IJCAI-75*, 848 (1975).
- (20) SHORTLIFFE, E.H.: “Computer-based Medical Consultation: MYCIN”, (1976), Am. Elsevier.
- (21) Van MELLE, W.: 文献(7), 923.
- (22) FORGY, C.L.: The OPS5 user's manual, *Tech. Rep. CMU-CS-81-135*, (1981).
- (23) BALZER, R., ERMAN, L.D., LONDON, P., WILLIAMS, C.: *Proc. AAAI*, 108 (1980).
- (24) NII, H.P., AIELLO, N.: 文献(7), 645.
- (25) 桑原啓治: “人工知能”, 日経エレクトロニクス・ブックス, 238, (1983), 日経マゴロウヒル.
- (26) VENSONDER, G.T., STOLFO, S.J., ZIELINSKI, J.E., MILLER, F.D., COPP, D.H.: *Proc. IJCAI-83*, 116 (1983).
- (27) FEIGENBAUM, E.A.: “Executive Briefing: Knowledge Engineering in the 1980's”, (1981), Teknowledge Inc.

○放射線医学総合研究所・研修生募集○

○第9回緊急被曝救護訓練課程

目 的 主として原子力発電所等原子力施設に関連した機関において、緊急時に救急活動に携わる者を対象として、被災者の救急処置および人体汚染計測に必要な基本的知識と技術を習得させる。

期 間 7月2日(月)～7日(土) (定員 15名)

応募資格 原子力施設、これに関連する機関で、緊急被曝時に人の救急、救護活動に従事する男子救護要員で、既に放射線計測、管理の基本的知識と経験を有する者。  
研修費 不要(雑費7,000円程度)。宿泊・食事等は実費負担。  
申込要領 所定申込書で5月26日(土)までに放医研所長宛(養成訓練部気付)提出すること。

連絡先 (〒260)千葉市穴川4-9-1

放医研 養成訓練部教務室(Tel. 0472-51-2111, 内線337)

○原研RI・原子炉研修所・研修生募集○

○第194回基礎課程

目 的 RI・放射線の利用あるいは安全管理に従事しようとする研究者、技術者を対象とし、RI・放射線に関する一般知識と安全取扱いおよび利用のための基礎技術を講義・実習を通して習得させる。

期 間 7月23日(月)～8月15日(水)

受講料 75,000円(定員 32名), 締切 6月9日(土)

○第148回専門課程 放射線管理コース

目 的 RIの利用管理に関連した研究者、技術者を対象とし、放射線管理に必要な一般知識と基礎技術を講習・実習を通して習得させる。

期 間 7月3日(火)～19日(木)

受講料 55,000円(定員 32名), 締切 6月2日(土)

申込先 (〒113)東京都文京区本駒込2-28-49

原研 RI・原子炉研修所(Tel. 03-944-4311～3)