

# CAD/CAM機種選定

## エキスパートシステムとAHP

加藤 直孝

### 1. はじめに

産業界におけるCAD/CAM(Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing; コンピュータ支援による設計・製造)システムの導入は、1960年代後半から大企業を中心に徐々に始まり、1980年代に入ってから加速的な勢いで進められてきている。これに伴い、つぎつぎと新規メーカーも進出し、さまざまな特徴をもつシステムやアプリケーション・ソフトウェア(たとえば金型、建築、アパレルなど)の開発が幅広く進められている。

とりわけ、ここ数年の間にパーソナルコンピュータを用いた簡易CADシステムが、ようやく実用レベルに達したことから、コストパフォーマンスを重視する中小企業を中心に高い関心を集め、普及が進んでいる。

このような中で、各県においても公設研究機関を中心にCAD/CAMシステム利用の啓蒙・普及を図るため、CAD/CAM研究会が設立され、積極的な活動が行なわれており、これら研究会の共通課題の解決を図るための推進体制[注1]も設立されている。また、民間運営によるCAD/CAMセンターが発足し、システムの共同利用や普及講習会などが開催されるまでに至っている。

このようにCAD/CAMシステムは、今や本格的な普及期を迎えたといえる。しかし、すべての企業がCAD/CAMシステムの導入およびその活用成功しているわけではない。本格的なシステムを導入して予定通り投資コストの回収が進んでいる企業は、全体の約1/3に過ぎず、進捗状況が2年ほど遅れている企業は、約半数近くを占めると言われる。技術革新の流れにうまく乗り「CAD神話」を築きあげる企業もあれば、無念の涙を流し「CAD不信」に陥る企業も出てくるわけである。両者の違いは一体どこから生じてくるのだろうか。

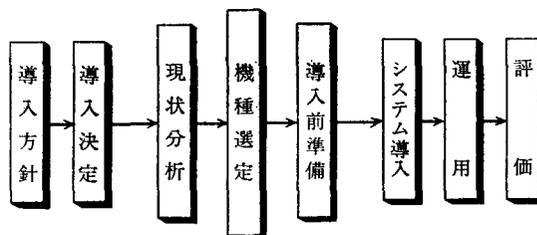


図1 CAD/CAMシステムの導入手順

表1 システム導入に際しての主要作業項目

- ① 導入目的・ねらいの明確化
- ② CAD/CAM 導入方針の決定
- ③ 設計・生産業務の現状分析と改善案の作成
- ④ 対象業務・対象製品の選定
- ⑤ CAD/CAM システムの市場調査・研究
- ⑥ 導入済み企業の見学
- ⑦ ベンチマークテストの実施
- ⑧ 最適なCAD/CAMの評価および選定
- ⑨ 導入効果と採算性の確認
- ⑩ 導入機種決定
- ⑪ オペレーション教育
- ⑫ 図面管理システムの検討
- ⑬ 運用体制の確立
- ⑭ 運用マニュアル類の作成
- ⑮ アプリケーション・ソフトの開発
- ⑯ 製品・部品の標準化の促進
- ⑰ データベースの構築

図1は、一般的なCAD/CAMシステム導入の手順を示したものである。また表1は、システム導入に際して行なうべき作業項目をCAD/CAM導入手引書[1][2]などから抜粋したものである。これらの作業には、社運を賭けた重大な意思決定を迫られる場面が多く存在し、また、予想以上に時間と人手を要するのが通例である。「CAD不信」を結果として招いてしまった企業は、何

かとう なおたか 石川県工業試験場 機械電子部  
〒920-02 金沢市戸水町1

[注1] 工業技術連絡会議機械金属連合部会  
CAD/CAM研究会

らかの理由でどこかに未解決の問題を残したままシステム導入へと進んでしまったことが推測される。

表1の中でも「最適なCAD/CAMシステムの評価および選定」の作業は、特に重要な項目である。しかし、現時点では、体系だった適切なシステムの評価および選定方法は見あたらず、意思決定者は、カタログなどの客観的データと自らの主観的データにもとづいて機種選定比較表を作成し、定性的な評価を行なっている場合が多い。たとえば、「Aのシステムは、大変豊富な作図機能をもっているが、操作がむずかしそうだ。それに比べてBのシステムは……」という具合である。実際には、このような単純な評価による解決は不可能であり、ハードウェア、ソフトウェアのほか、運用体制、システムの活用などの人的要素（ピープルウェア？）について数多くの評価基準が階層的に存在する。また、評価結果にもとづく選定の基準も、システム導入の目的や利用対象とする業務内容（たとえば製図、解析、加工およびそれらの連携など）によって複雑に異なってくる。したがって、市販の多くのシステムの中から自社に最も適したシステムを選定する作業は容易ではなく、また、導入したシステムいかんによって、導入後の利用効果や活用レベルは大きく影響を受ける。いわば、このシステムの評価および選定の作業が導入成功か不成功かの鍵を握ると言って過言ではない。

このように複数の評価基準が存在し、さらに主観的な判断やあいまいさを含む情報も含めて総合的な評価が必要とされる場合には、階層化意思決定法 [3] [4]（以下AHPと略称する）が有効であると考えられる。

本稿では、まずAHPの適用事例としてCAD/CAMシステムの機種選定問題について述べる。次に、AHPの処理過程に知識工学的手法を導入することにより、CAD/CAMシステムに精通した専門家の知識の組み込みとAHPの改善を図る目的で開発したエキスパートシステム [5] について述べる。

## 2. CAD/CAM機種選定問題へのAHPの適用

CAD/CAMシステムの機種選定作業は、経営陣の方針、現場責任者の思惑、実際の利用者の要望などが複雑に入り交じり合う中を、導入推進スタッフらが中心となって進められていく。したがって、AHPを適用する場合、それぞれの企業の状況、時機、立場などに応じて、適切な評価基準と階層構造を設定する必要がある。しかし、ここでは問題領域を広げることはせず、機種選定作

業の第1歩と考えられる技術面の評価を中心に話を進めることにする。

図2は、AHPに基づいてCAD/CAMシステムの機種選定問題を階層図化した例である。レベル1は、最終目標である機種選定であり、レベル2は、機種選定のための評価基準である。ここでいう「カスタマイズ機能」とは、ユーザー独自のシステムへ拡張を図るための支援機能のことであり、最近のシステムでは必須の機能である。レベル2の評価基準は、重要度の高いと思われるものから7項目を選んであり、このような階層図を用いてAHPによって求められるCAD/CAMシステムの重要度を企業への導入適合度と定義づける。レベル3は、レベル2の評価基準をさらに1段階詳細化したもので、従来の機種選定比較表に網羅されている項目が並ぶ。また、CAD/CAMシステムでは、ソフトウェア機能が他の評価基準に比べて重要であるため、レベル3の評価基準をさらに詳細化してレベル4の各項目を持たせている。なお、レベル1とレベル2の間には、他部門のシステム利用者、受発注関連企業、経営陣といった組織的なレベルも存在するが、ここでは、直接の導入部門に限定した機種選定問題として捉えてみた。またコスト（初期投資、運用時）の評価基準は不確定な要素が多いため、別の次元で考えることとし、ここでは省略した。

さて、AHPにしたがえば、図2の階層図に基づいて以下の手順により、評価対象となるそれぞれのシステムについて、総合的な重要度が求められる。

(1) 各階層レベルの一对比較表を作成して、評価基準間の重要度を計算する。これら的一对比較表には、CAD/CAMシステムの機種選定における重視点、優先事項および要望などが反映されることになる。したがって、一对比較作業の前準備として、企業内における導入目的、対象製品、対象業務、導入後の活用方針、将来計画などを十分検討し把握したうえで、さらにCAD/CAMシステムについても十分に理解しておかねばならない。

(2) 最下位層レベルの評価基準ごとについてカタログ情報、ヒアリング結果およびベンチマークテスト結果などの客観的/主観的あるいは定量的/定性的なデータに基づいて評価対象のシステム間で一对比較表を作成し、重要度を求める。

(3) 重要度の合成を行ない、最終的な総合重要度を求める。この場合重要度には、各階層レベルの重要度が反映されており、企業の要望に対してどの程度適合しているかが定量的に表わされることになる。

次にAHPを用いたことによる利点と改善点について

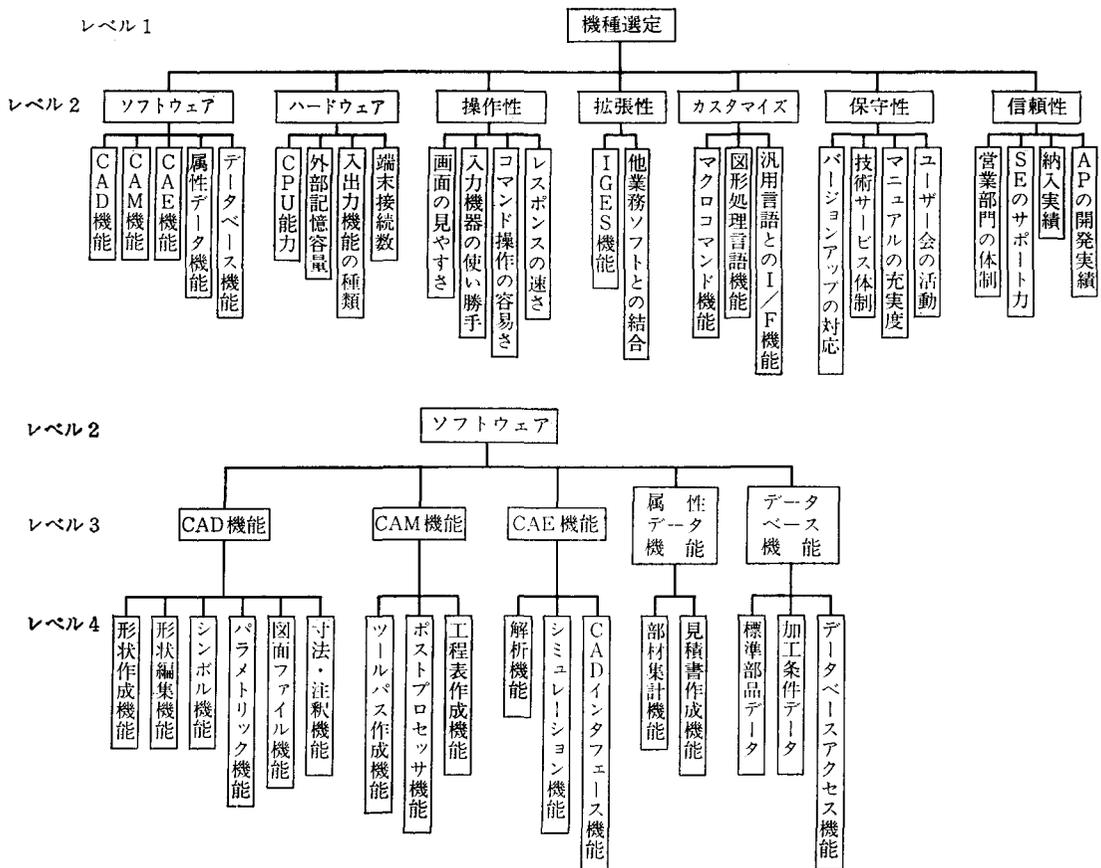


図 2 CAD/CAM システムの機種選定問題の階層図

触れてみたい。まず利点として次の 4 点が挙げられる。

- (1) 問題分析のシミュレーション手段として用いることで、今までにない体系づけられた評価が行なえる。
- (2) 「画面の見やすさ」、「入力機器の使いやすさ」、「コマンド操作の容易さ」、「信頼性」といった主観的な判断やあいまいさを含む評価を定量的に扱うことができる。
- (3) さまざまな機種選定の主眼（シナリオ；たとえば製図業務の効率化を重視）を反映した一対比較表を作成することによって、多面的なシステムの評価が行なえる。
- (4) AHP の作業を複数のメンバーで行なうことにより、お互いの意思の疎通が図れる。

以上の利点は、従来から行なわれている機種選定比較表を中心とした選定手段に大きな改善をもたらすと思われる。すなわち、複数のシステムを比較する場合に、「一対比較」と呼ばれる最も比較しやすい二者間での比較作業で済むこと、客観的な情報と主観的な情報が混在して扱えること、そしてひとまとまりの一対比較データから多面的な評価が簡単に行なえることである。

一方、改善点として次の 4 点が挙げられる。

- (1) 階層関係における従属性の問題も含め、適切な評価基準の設定と階層構造を作成することが難しい。
- (2) 選定の主眼を新しく変えるたびに、該当する複数の一対比較表を作成し直す必要が生じる場合がある。この場合、階層図が複雑になるにつれて一対比較作業の煩雑さが問われる恐れがある。
- (3) ユーザーの要望を満足させるためには、どのような種類のシステムで、どのような機能的諸元が必要で、何を重視、優先すべきかは、専門家でないか明確に答えられない。したがって、各階層レベルの評価基準間の一対比較作業は、CAD/CAM システムに精通した専門家が行なわないと信頼性のある評価結果が得られない。
- (4) AHP による評価は、重要度という比率尺度のみの扱いに依存しているため、どれだけ適切かつ詳細な階層図が構成できたとしても、最終的には総合重要度という、やはり 1 次元的な評価値しか得られない。場合によっては、別の方法と組み合わせることで最終判断を下す工

夫が必要と考えられる。

次節では、以上の改善を図る1つの方法として導入した知識工学的手法について述べる。

### 3. AHP処理過程における知識工学的手法の導入

現在、あらゆる分野でいわゆる専門家の知識をコンピュータに組み込んだエキスパートシステムが開発され、利用されている。この専門家の知識は、IF-THEN形式のプロダクション・ルールやフレームと呼ばれる知識の表現単位の集合により、コンピュータ内部に知識ベースとして格納される。また、あいまいな知識を扱う場合には、その「確からしさ」の真偽を数値で表わす確実性係数 (Certainty Factor ; CF値)、あるいは、ファジィ理論を導入する考え方がよく知られている。

さて、AHPを適用する場合、先に述べたように意思決定の対象をいかに適切に階層化および構造化するかが鍵となる。この点に着目すると、エキスパートシステムでは、対象知識の整理、階層化にフレーム型の知識表現が一般に用いられており、このフレームによる対象知識の整理、階層化の過程は、AHPにおける階層化の過程と類似している。また、一対比較の結果として得られる重要度は、CF値もしくはファジィ理論のメンバーシップ関数に相当するものとして扱うことができる。したがって、AHPのプロセスをフレームベースシステムの上で実現することは、それほど難しいことではない。

そこで、図2の階層図にもとづいてエキスパートシステム上でAHPのプロセスを展開する手順の一例を述べる。

(1) 評価対象のそれぞれのCAD/CAMシステムについて、図2の最下位層レベルの評価基準群をスロットとして持つフレームを作成する。

(2) これらの評価基準ごとに評価対象のシステム間で一対比較を行ない、得られた重要度を該当するフレームの評価基準のスロットに格納する。

(3) ユーザーのさまざまな機種選定の主眼(シナリオ)に沿って、図2のレベル2からレベル4までの一対比較表のセットを一対比較フレームとして作成する。

(4) 導入目的、対象製品、対象業務、導入後の活用方針、将来計画などのユーザー要件の入力内容に応じて、適切なシナリオを選択し、(3)で作成した一対比較表のセットを導く、IF-THEN型ルールを作成する。導入適合度は、このルールにより導かれる一対比較表のセット

に基づいて計算される。

(5) 最終的な評価については、図2のレベル2以下では、AHPを適用して中間的な導入適合度を求め、レベル1では、経験則にもとづくルールを適用して最終的なシステムを選定する。この最終選定ルールは、たとえば図3に示す「操作性が良く(重要度0.3以上)かつハードウェア能力が高い(重要度0.3以上)」という例のようにルール中の述語を「重要度の解釈表」と対応させる。

ただし、この場合、一対比較により求められる重要度は、評価システムの絶対的な重要度を表わしていないため、この「重要度の解釈表」の作成にあたっては、重要度計算の特性を考慮して、ルール中の述語に対応する重要度の上限および下限の範囲設定を行なう必要がある。

以上述べた方法により、重要度だけに依存せず、AHPにより整合性の保たれた下位レベルの中間的な重要度と、上位レベルの経験則にもとづくルールを組み合わせた評価および意思決定が可能となる。また、専門家の知識や経験則を、一対比較表およびルールの形で格納することができる。さらに、ハードウェアに関する評価基準では、客観的な絶対値を評価値として用いる方が適切と考えられる場合もあり、その値を「重要度の解釈表」における重要度の代わりに用いることもできる。

### 4. エキスパートシステムにおけるAHPの効用

一方、上述の手法は、エキスパートシステムの立場から眺めれば、以下の利点を生む。

(1) 分析型エキスパートシステムにおいて、あいまいさを伴う経験則に基づく推論処理が可能となる。

(2) CF値やメンバーシップ関数を用いて、あいまいさを扱う場合に比べ、それらの調整の手間がほとんど省け、また整合性のとれた評価が比較的簡便に行なえる。

(3) プロダクション・システムを用いて同様の問題を解く場合に比べ、煩雑なルール記述が不要となる。また、ルールの表現は理解しやすく、作成および変更が容易である。

以上、3節および4節で述べた考え方は、「フレーム/ルール型知識表現とAHPとを融合した推論処理手法」[6]を発展的に応用したものである。

### 5. CAD/CAM機種選定エキスパートシステム「CADVISER」(キャドバイザー)

本節では、前述の考え方にもとづく研究開発の事例と

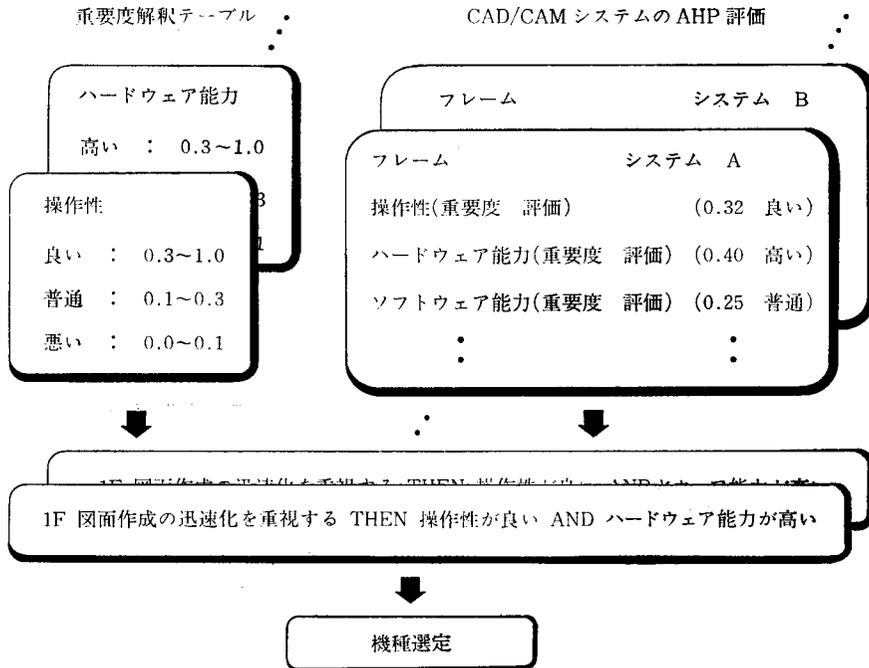


図 3 最終選定ルールと重要度解釈表

して、CAD/CAM システムの評価および機種選定の支援を目的としたエキスパートシステム「CADVISER」の概要を紹介する。

図 4 にシステムの構成を示す。本システムは、CAD/CAM システムの導入ステップを説明表示する概要説明モジュール、ユーザー要件入力モジュール、AHP によるシステム評価モジュール、CAD/CAM システムの調査データベースおよびそのフレーム管理モジュール、ルールエディタ、一対比較表エディタ、推論エンジン、機種選定用知識から構成される。

処理の流れは、1) ユーザー要件を入力すると、望まれるシステム仕様がルールにより導かれる(図 5)。2) このシステム仕様に適合したシステムが、CAD/CAM システムの調査データベースの中から候補システムとして選び出される。3) ユーザー要件に応じたシナリオが設定され、候補システム間で AHP による導入適合度が計算され、表示される。さらに最終選定ルールにより、最も望ましいシステム名が画面上に提示される(図 6)。ここで、一対比較表の作成(図 7)には、利用実態調査報告書[7]などを参考とした。なお、本システムはパソコン上の Prolog 言語および C 言語 (AHP

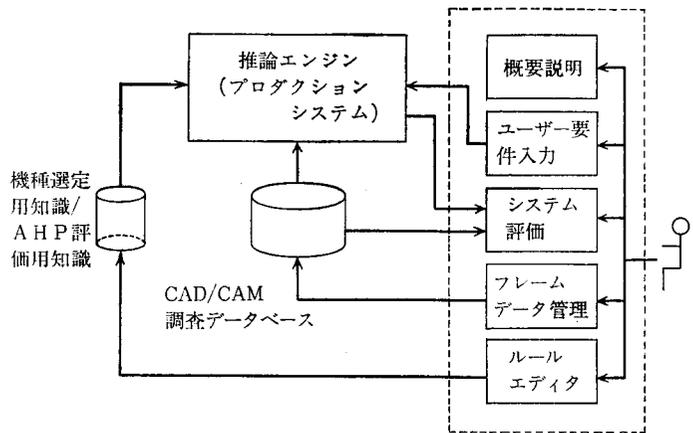


図 4 CADVISER のシステム構成

P 計算部分)で記述されている。

## 6. おわりに

CAD/CAM システムの評価と機種選定の問題に AHP を適用し、さらにエキスパートシステム上で AHP のプロセスを展開する方法と応用例について述べた。この AHP とエキスパートシステムの融合化は、それぞれの欠点をお互いに改善する手法として有効と考える。

また、CADVISER による総合的評価については、専門家の知識や経験に基づいた選定の指針や判断の基準が

導入後のシステム構築について次の中から番号で答えて下さい。

- 1.....コマンドの追加やメニューシートの変更でよい
- 2.....設計手順プログラムを組み込む
- 3.....業種別ソフトを購入しそのまま使う
- 4.....業種別ソフトを購入し自社改良して使う
- 5.....しない

入力.....

導入後のシステム構築はコマンドの追加やメニューシートの変更でよいです。

図 5 ユーザー要件の入力画面例

最終候補

最終候補	総合導入適合度
AutoCAD EX II	26.9

導入後のシステム構築を重視します  
カスタマイズ機能が 高い  
信頼性が 高い

ソフトウェア  
ハードウェア  
操作性  
拡張性  
カスタマイズ  
保守性  
信頼性  
総合評価

適合度  
EX II 26.9  
M 21.5

ウィンドウ POP UP  
ウィンドウ 移動  
終了

図 6 最終選定結果の画面例

	編集	シンボル	変数関	図管理	寸法	重要度
作成	1	7	3	7	5	0.34
編集		7	3	7	5	0.34
シンボル			-3	3	-5	0.045
変数関	編集 整合度チェック			5	-3	0.1
図管理					-5	0.029
寸法	0.107		0.036			0.145

《 一対比較表 CAD機能 評価項目間 》

図 7 一対比較表の編集画面例

反映された結果が得られた。ただし、この結果は、評価基準の項目と階層構造、一対比較作業の立場および機種選定知識の内容に依存することに注意を要する。

現在、機種選定作業に入りつつある企業の協力を得ながら、フィールドテストを実施中であるが、改良すべき点も多い。継続性（メーカーがずっと導入システムの保守を行なう保証はどこにもない）や、地理的条件（サービス拠点からの距離）など評価基準の追加を検討する余地もある。

また今後は、表1において今回取り上げた「最適なシステムの評価および選定」以外の作業項目に関する意思決定支援への展開を図る予定である。さらに、このような導入予定の企業を対象とした意思決定支援ツールとしての利用のほか、CAD/CAM センターにおける初心者向けの導入ガイダンスシステムとして、あるいはCAD/CAM スクールにおけるマネージャー育成のための教材としても利用価値が望めるものと期待している。

最後に本システムの開発にあたりご助言をいただいた電子技術総合研究所の新田克己氏、電力中央研究所の寺野隆雄氏、OR学会のAHP部会および中部支部北陸地区会、日本電気C&C協栄会CAD/CAM分科会の各メンバー諸氏に深く感謝の意を表します。

#### 参 考 文 献

- [1] 朝比奈圭一：CAD/CAM 入門—導入計画と運用テクニック—，海文堂，1987
- [2] 機械設計CAD/CAM導入法，大阪科学技術センター，1987
- [3] 刀根 薫：ゲーム感覚意思決定法，日科技連，1986
- [4] オペレーションズ・リサーチ，特集AHP（階層化意思決定法），Vol. 31, No. 8, 1986
- [5] 加藤，新村：CAD/CAM 導入コンサルテーションシステム CADVISER，第2回人工知能学会全国大会論文集，pp. 353-356, 1988年7月
- [6] 寺野隆雄：エキスパートシステムにおける階層化意思決定法の利用，情報処理学会シンポジウム，1987年11月
- [7] 日経CG，CADユーザー利用実態調査，1987年10月号（No. 13），1988年4月号（No. 19），1988年9月号（No. 24）

▶ パーソナルコンピュータ用線形計画法パッケージ ◀

## パーソナルLP

実用的な例題を多数収録し、入門者向けに線形計画法をわかりやすく解説!!

開発：平本 徹(㈱電力計算センター)

機種：PC-9801

定価：80000円

概要：線形計画法パッケージ。問題入力、単体表の操作、図解法、サポート機能など。(マニュアル添付。)

解説書：パソコンパッケージによる

例解 線形計画法(1800円)

問合せ先：日本電気ソフトウェア(㈱)

営業部 ☎ 03(444)3211

■好評発売中

## コンピューター 虫辞林

高橋亮一編著/大嶋 巖挿画/B6/880円

コンピューターにかかわる様々な用語を快刀乱麻の如く解説した「現代コンピュータ用語の基礎知識」。ユーモラスでウィットに溢れた解説はコンピュータストレス/アレルギー解消に最適。ユニークでニュアンスに富むイラストも収録。

新時代のコンピュータ総合誌

880円

## Computer Today

3月号特集/好評発売中

### 最新ゲームソフトウェア作法

あなたもつくりなさい! コンピュータゲーム

別冊 自分自身 プログラム言語の作り方 1600円  
のための

月刊誌

## 数理科学

4月号特集/好評発売中/定価960円

## 物理と数学

自然を「みる目」と「語る言葉」

▶ 本広告中、価格表示に「定価」が付いていないものは税抜き価格となっています。

## サイエンス社

東京都千代田区神田須田町2-4 安部徳ビル

☎03(256)1091 振替 東京7-2387