

パッケージ CAD システム

Package CAD System

山田 淳 浜谷 卓美

Atsushi YAMADA Takumi HAMATANI

凸版印刷株式会社

(Toppan Printing Co., Ltd. 1-5-1, Taito, Taito-ku, Tokyo, 110, Japan)

In recent years, the variety of the packages that for food, medicine, and other various commodities is increasing as the medium for representing the contents. These packages have been designed by human experts in the domain. And they have been imposed on heavy work because of the tendency toward producing fewer amount of commodities in greater variety and in a shorter period of time. To cope with this problem, we have developed an Expert CAD System based on domain specific knowledge extracted from skilled package designers, and have brought it into practical use.

This paper describes the abstract image of a package knowledge representation language (PKRL) developed in closer connection with the former CAD system and with an aim at representing the package-designer's way of thinking. The problems and solutions in practical use are described, here also.

1. はじめに

食品、医薬品、その他種々の商品を包装するパッケージ(図1-1)は、近年、内容物の保護や輸送といった基本的な役割の他、消費者に対する商品のプレゼンテーション媒体としての外観形状、蓋開閉、ロック、把手、等の構造上の機能が重要視されるようになってきている。これら機能の組合わせで多種多様のパッケージが頻繁に設計されているが、この構造設計作業は熟練した専門家の手に委ねられ、多品種少量生産・短納期化傾向の中で彼らに大きな負担をかけていた。

筆者らは、この問題を解決するためパッケージ設計を支援するエキスパートCADシステムを構築し、運用を開始した。本稿ではその概念を示し、実用を前提としたエキスパートCADシステムの在り方を考え、運用問題等についても述べる。



図1-1 パッケージ

2. パッケージ設計のCAD化

2.1 従来型CADシステム

CGの進歩も含め、CADシステムは広く普及する傾向にあるが、従来型CADシステムに於ては形状定義問題が根本的に解決されていないと考えられる。グラフィックディスプレイとの対話に頼り、ディジタイザを用いて予め準備された原稿図形上の座標入力を行うのでは本目的の場合、従来の手作業と比べて時間的メリットが出せない。設計者が形状モデル化する際に最もポイントとなる部分、即ち機能から形状への展開プロセスを全て頭の中で行っている状態では本質的な解決が不可能であると思われる。ここで機能というのは、予め明示される製品仕様ばかりでなく、内部の生産根拠に係る機能や、常識的に扱われる暗黙の機能等を含むものと考えられる。この様な機能から形状モデル化する作業をサポートするためには、コンピュータ側でパッケージの機能と形状に関する知識が必要となり、従来の図形処理中心の概念では解決できない問題となる。

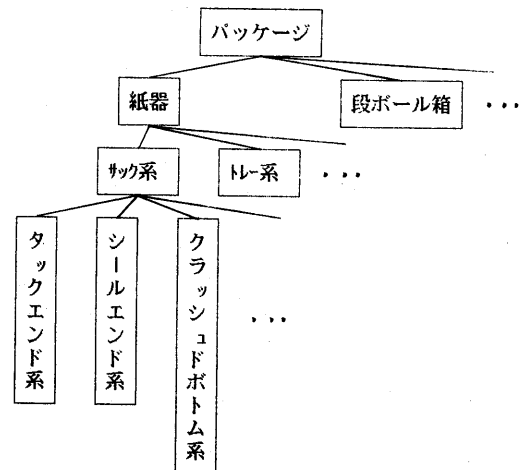


図2-1 パッケージの機能分類

2.2 パッケージ設計の知識

まず過去に設計された図面を収集・分析し、実際に使

われている専門用語、略語の再定義とパッケージの機能分類を行った。図2-1にその大きな枠組みの一部を示す。

紙器、段ボール箱を設計する際の大きな特徴は、立体形状を展開図で扱える点である。一般の機械設計の様な立体形状と三面図との関係の曖昧さ問題は、基本的に発生しない。立体形状としては6面体、特に直方体が多いが、コーン形状のカップや紙の弾力を利用して張らせた曲面形状(図2-2)等も、展開図上で機能と形状を議論できる。

図2-3は直方体の箱の上側封緘機能に把手の機能を合せ持たせた例であり、把手の機能としては人間の指の入る本数と手の平の大きさ、あるいは内容物重量に係わる強度等を考慮して設計が行われている。ここで一見複雑に見える立体形状も基本的には機能の結果として得られるものであり、デザインの要素による形状の味付けは、一枚の板による組み立てである点で自由度が小さい。従ってこの種の概念は“把手”あるいは“封緘”といった、大きな機能の枠組の中で問題を分割して形状決定を行い得る。

実際に、設計専門家は形状を決定する際、内容物の種類、重量、陳列方法、蓋や把手等の使用機能、貼り機や充填機の特長から抜型加工特性といった生産条件、さらには流通方法まで多くの条件を考慮している。そしてそれらを何らかの“機能”という枠組の中でパターン分割した手法を展開し、形状を決定している。その結果が一つ一つ根拠を持って展開図形状に反映されている。

筆者らは、第一線で活躍中の熟練した専門家を含むプロジェクトチーム形式で、パッケージ機能の分析を行った。

- ・蓋の締め具合をきつ目にする。
- ・箱のゆがみを防止する。
- ・糊貼りを自動機で行える様にする。
- ・内容物の重量で底が抜けない様にする
- ・個装と外装がしっくり納る様にする。

上記の様な言葉で表現された内容が、設計者の経験によって培われたノウハウに依存して、みごとにコントロールされているが、同時に経験年数の浅い設計者では解決しきれない様な部分も数多く存在する。

材料としては主として板紙や段ボールが用いられるが、これは不安定な直行異方性材料であり、設計上きわめて取扱いが面倒である。湿度変化による伸縮が大きい為、誤差によって形状のゆがみが生じ、組立時にトラブルを起こし易く、これに対して逃げの形状を工夫しなければならぬ。また蓋の機能や組合わせ部の糊貼りなどでは用紙のスプリングバック性を積極的に利用しているが、抜型工程で処理される押窪溝の深さと幅、ミシン刃のピッチ等によって用紙の反撥力を適度に殺す必要がある。展開図上でのこれらの指示は、紙質、紙厚、紙目方向等を考慮して行われるが、失敗すると自動組立の際にタイミング良く曲らず引っ掛かったり、箱の底面が壊れて真っ直ぐ立たなかったりするトラブルとなる。

これらについては教科書が存在するだけでなく長年の個人的経験に基づく知識によっており専門家自身でも体系的に説明できない部分も多い。(2)

今回こういった経験や理論の中から本質的な機能の洗い出し作業を行なった。しかしこれらを完全に整理しつくす事は不可能であり、従来の制御駆動型システムでは実現が困難である。そこで筆者らは、これらの機能を実際に専門家が行なっている方法に近い形で分類し、部分問題としてそれらの事実関係を記述した知識ベースを構築し、データ駆動型推論(6)の概念を導入して解決を計った。

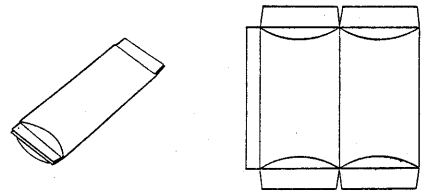


図2-2 曲面形状を有するパッケージ

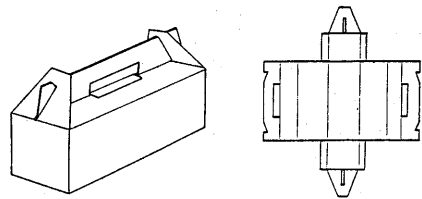


図2-3 把手機能を有するパッケージ

2.3 ハードウェア環境

使用ハードウェアの選択には下記の点を考慮した。

- 1) 社内に散在するパッケージ設計の知識を管理する上で、保全性、安全性が重要
- 2) 本格的運用を前提とした場合、全社的な知識ベースの整合性をとる事、及び知識メンテナンス効率からも、センターの機能が必要
- 3) センター機能としてのサービスアビリティ
- 4) 実効時のパフォーマンス
- 5) 多人数による開発時の効率
- 6) 従来開発済みソフトウェアの有効利用

6)については、現時点で実用化を前提に開発されているエキスパートCADシステムの多くがそうである様に、FORTRAN、PL/I等の従来システムとの融合が問題となる。(3)

この様な観点から汎用大型コンピュータとしてIBM3083を利用している(4)。

また、グラフィック・ワーク・ステーションとの接続は既に開発された企画編集システム(5)のLAN環境を流用している。

3. パッケージ設計の知識表現と利用

従来開発済みのFORTRAN図形処理モジュールが約400本あり、MVS-XAのもとでこれらとリンケージをとる事、リカーシブルなプログラミングが可能でリスト処理し易い事などから、PL/Iとアセンブラを用いて、パッケージ設計用の言語PKRL (Package Knowledge Representation Language)を開発した。本章ではこのPKRLの概要及びそれを用いた推論について説明する。

3.1 PKRLによる知識の記述

一種の階層構造でパッケージ設計の知識を表現する。

図3-1に示す様な名称をもつ7つの階層から構成されており、図3-2にその概念を示す。

第1階層(最下位)はTopology Layerと呼ばれ、パッケージに使われる部品の形を表す情報のみを有する。ここで部品とは、基本的に一つの面を構成する最小単位であり、各々何らかの機能を有している。

この階層が、従来CADとのインタフェースをとる部分であり、この情報によって最終的にパラメトリック図形処理が行われる。

第2階層は第1階層の図形の各寸法決定要素にパッケージとしての基本的な意味を与える。

第3階層がパッケージ部品としての最小単位を構成する。この階層まで来て初めて部品の機能を決定する拘束条件が記述される。

第4階層は部品を組合わせて構成される機能が表現されており、第5階層にてパッケージの最重要機能となる封緘形式等が記述される。

第6階層ではパッケージの基本構造が示される。紙器と段ボール各々50~100程度の種類である。

第7階層は概念のみを示すLayerである。

Layer7	Notion
Layer6	Features
Layer5	Principal Structure
Layer4	Complex
Layer3	Component
Layer2	Function
Layer1	Topology

図3-1 パッケージ設計知識の階層

3.2 PKRLの動作

基本的には第7階層から第3階層までは、機能展開の中で部品選択が行われ部品の結合関係も決定される。全ての部品と結合関係が決定されると部品機能から寸法要素を決定するルールによって第2階層を経由して第1階層に各図形パラメータが渡される。

各階層の知識はUnitと呼ぶ枠組みの中で記述され、インタプリタは条件を満たすUnitを探しながら機能と形状を決定してゆく。

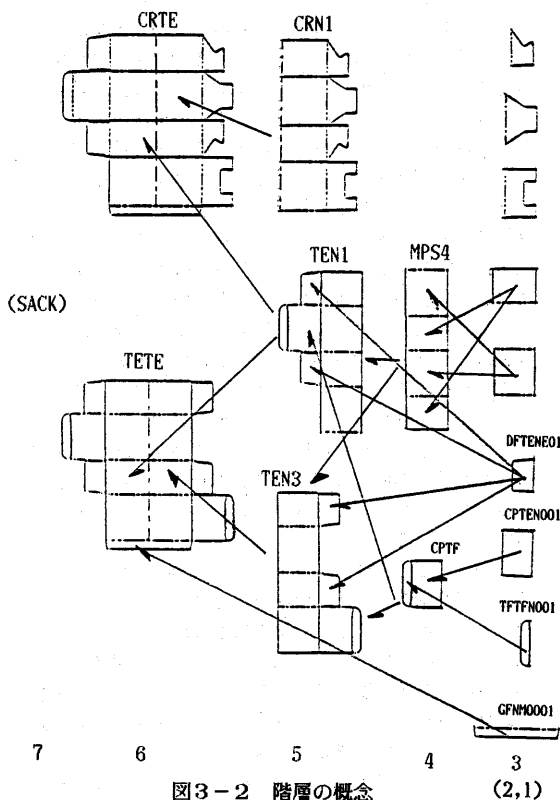


図3-2 階層の概念

図3-3にPKRLの基本動作を示す。表面的には、ユーザインタフェースを介してインタプリタから発せられる質問に対してユーザが答えることで設計が進められる。

今、図3-2に示した、サック系のTETEという基本構造を持つパッケージを設計する場合を考えてみる。まず、ユーザは使用する知識ベースが紙器であることを指定したのち目標とするパッケージがサック系であることを指示する。これによりインタプリタはその旨ワーキングメモリ(WM)に書き込み、第6階層のUnitのうちサック系という機能を持つものを一定の戦略(後述)に基づき探索する。同図の場合では、CRTEとTETEの2つのUnitが候補に上がり、インタプリタは両者を区別するために必要となる機能が底封緘形式であることを自動的に判断しWMを調べる。WMに必要な情報がなければユーザに質問する。この場合は、ユーザの答えからTETEが採用され、そのUnitより新たに得られた知識をWMに書き足す。次にインタプリタは再び

WMを参照しながら第5階層の探索にはいる。

以下同様にして第3階層まで探索が行われるのであるが、ここでは、図3-4に示したTEN1という第5階層のUnitからDFTENE01という第3階層の部品が探索される過程を例に取って説明する。まず、Unit: TEN1により得られた知識がWMに書き足される。するとこのWMよりDFという機能をもつ部品が2つ必要である事が分かり、第4階層を対象に該当Unitを探索する。しかし第4階層にはその様なUnitが存在しないため、対象を第3階層に置き換える。すると、TEN1に記述されている機能を全て満足するものとして、DFTENE01とDFTEN001が検出される(第3階層にも該当Unitが存在しない場合は、探索に失敗する)。そこでインタプリタは両者を区別するために必要な機能が坪量であることを判断し、坪量に関する既知の知識をWMのなかで探す。しかし坪量に関する知識はこれまでの探索過程では必要とされておらず、WM中に存在しない。従って、インタプリタはユーザインタフェースを介して、ユーザに坪量を質問する。ここでユーザから与えられた坪量に関する知識は、部品の選択に使われると同時にWMに書き足され、次に坪量が必要となった時の知識として蓄えられるため、再びユーザに質問する事はない。

この様にして必要となる全てのComponentが検出されると、第2階層、第1階層を用いて具体的な形状決定段階に入る。前述したとおり第1階層は従来CADのパラメトリック図形処理インタフェースであり(図3-5)、第2階層が第1階層と第3階層のインタフェース的役割を果たし各パラメータをパッケージの諸機能として解釈し、パラメータ間の機能を意味付ける。従って、ユーザが指定する寸法は殆どの場合、箱の基本寸法となる縦、横、高さ、の3つ程度で済む。最終的に形状が決定されれば、寸法線及び管理情報が付加され図面として出力される(図3-6)。寸法線に関しては、各Componentレベルで必要な知識を備えており、第4、第5階層と結合されるにつれ、結合によって生じる寸法線が自動的に生成、追加されて行く。そして最終的に第6階層で重複するものや重なる部分について除去・編集処理がなされる。

また、出力された図面が、一旦専門家により確認されれば、その図面の出力に関係のあった知識Unitが保証されたことになる。そこで設計の度にいちいち同じような質問に答える煩わしさを避けるために、幾つかの条件を纏めて登録する機能を持たせている。これにより、質問項目を減少させ、より速く目標に到達できる。例えば、図3-2のTETEは実際には、TETE2000として条件を登録しており、ここからスタートすることで前述の底封緘形式等は質問されないようになっている。

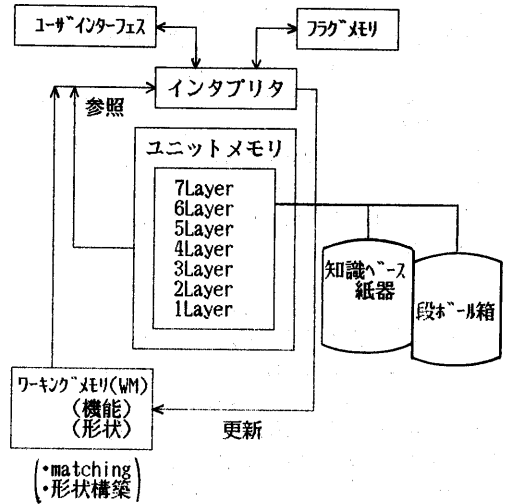


図3-3 PKRLの基本動作

Unit	TEN1
Object	SACK
Layer	5
Connection 1	M,
	2 B;
Link	1:MP,(B),2:DF,(B),3:CP,,, (B),4:DF;
蓋方向	2:裏 (1)
口	1:タック (2,3,4)

Unit	DFTENE01
Object	SACK
Layer	3
Fig.	NE01
Connection 1	B;
口	1:タック(1of2)
坪量	≤350

Unit	DFTEN001
Object	SACK
Layer	3
Fig.	N001
Connection 1	B;
口	1:タック(1of2)
坪量	>350

Unit	DFTEN002
Object	SACK
Layer	3
Fig.	N002
Connection 1	B;
坪量	≤350

図3-4 知識Unit例

Unit DFTEN001
 Object SACK
 Layer 1
 Topology

P0 X=#
 Y=#
 R=0
 A=V

P1 X=-A0
 Y=0
 R=0
 A=C

P2 X=T0
 Y=0
 R=0
 A=B

P3 X=A0-T0-F6
 Y=0
 R=0
 A=N

P4 X=-A0+T0
 Y=0
 R=0
 A=C

P5 X=0
 Y=E0
 R=0
 A=C

P6 X=D0
 Y=D0
 R=C0
 A=C

図3-5 Topology Layerの例

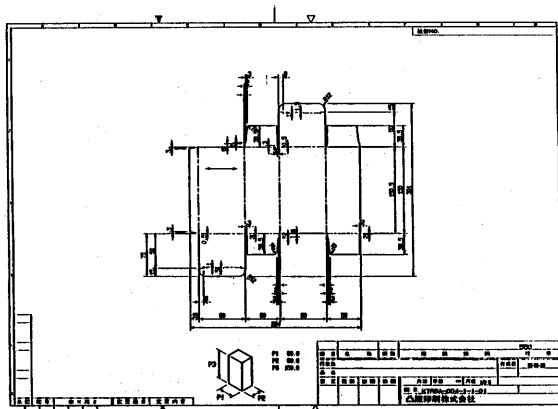


図3-6 TETE型設計例

3.3 探索戦略

前節では簡単に探索動作を示したがここで探索戦略を明らかにしておく。

説明のため、第 n 階層の任意の Unit が持つ機能を夫々、 $f^{n_i,1}, f^{n_i,2}, \dots, f^{n_i,m}$ とし、その集合を F^{n_i} とする。全く同じ機能の Unit は一つしか存在しない為、この F^{n_i} は個有の表現となる。

さてこの F^{n_i} が必要とする部品等を探索するに当たっては、

1) $t = n - 1$ 階層の全ての Unit を対象に、候補集合 $\text{candidate}(F^{n_i})$ を選択する。

$$\text{candidate}(F^{n_i}) = \{F^{t_i} \mid F^{n_i} \subseteq F^{t_i}, t = n - 1\}$$

2) 候補集合の要素数を N とすると、

$N = 0$ の時

t を $t - 1$ とし、 $\text{candidate}(F^{n_i})$ を再選択する。

但し、 $t = 3$ ならば知識不足の為探索失敗。

$N = 1$ の時

発火。

$N \geq 2$ の時

現在の候補集合のみを対象とし、

$\text{candidate}(F^{n_i}) \mid f^{k,t} \in F^{n_i}$ を選択し候補集合を置き換える。

という戦略を用いる。

但し、 $f^{k,t}$ に関しては、当該 Unit に致った探索ルートのうち、より近い (下位の) Unit から調べる (実際には WM を調べる)。どの Unit にも記述がなかった場合にはユーザインタフェースを介してユーザに質問する。

この戦略により、インタプリタは効果的に部品を選択する事が可能となっている。

4. システムの動作例

本システムでは、コンピュータから発せられる、数項目の基本的な質問に答えるだけで、最適な紙器の設計がダイナミックに行われる。しかし、最適という事と製品化という事は別問題であり、場合によっては設計された図面に手直しが必要となる事がある。

そこで本システムにはその様な場合にも対応出来る機能を持たせている。以下に具体的に例をとって、実際の設計過程・結果を説明する。

4.1 ダイナミックな寸法変化

図4-1~4-4は段ボール箱の設計例である。図4-1の設計に際してユーザが与えた主な条件は、

- 上封緘 = B式ダブルロック
- 下封緘 = クラッシュドボトム
- 中身重量 = 軽量型

嵌合度 = きつめ

フルート = B

縦、横、高さ、各寸法

であり、一度設計されるとこれらの諸条件は設計図面情報と共に、大型コンピュータ上のデータベースに蓄積される。ここで、中身製品の仕様変更により、寸法及び重量が変わるとする。この時ユーザは、前記の条件をデータベースより呼出し、変更箇所（即ち、各寸法、中身重量＝重量型）だけを再指定する。するとシステムは、他の条件はそのままであると解釈して再設計し、図面を出力する（図4-2）。この時出力された図面では、使用されたComponent Unitは変更前のものと同一である。指定された寸法に関連する部分（図中aなど）の他、製造機械の関係から、組立効率に影響する滑りR（図中b）が大きくとられている。また、中身重量が重くなった事により、中身を支えるかみ合せ部分の幅（図中c）が大きくとられている。

この様にユーザが指定する機械に対応して形状寸法がダイナミックに変化する。

4.2 ダイナミックな部品交換

ユーザから指示される変更内容によっては、同一部品内での形状寸法変化だけでは対応出来ない場合がある。このような場合システムは自動的に部品（知識Unit）そのものを交換してしまう。例えば先の例で、下封緘をスナップロックと指定しなおしたとする。この時システムは、上封緘はそのまま、底封緘用の知識Unitだけを交換し再設計を行う（図4-3）。

また本システムではコンピュータが設計した図面に対して寸法を直接指示する事も可能である。例えば図4-3に於て、ダストフラップ高さ（図中d）151mmをグラフィックディスプレイ上で110mmと指定して再設計させたものが図4-4である。（嵌合度も“ゆるめ”にしてある→図中eが変化）。図4-4ではダストフラップ高さが指定された通り110mmになっていると同時にクランクの部分がない。これは、ダストフラップが短くなった事でロック部とぶつからなくなった為、逃げのクランクが不要になり部品そのものが交換された結果

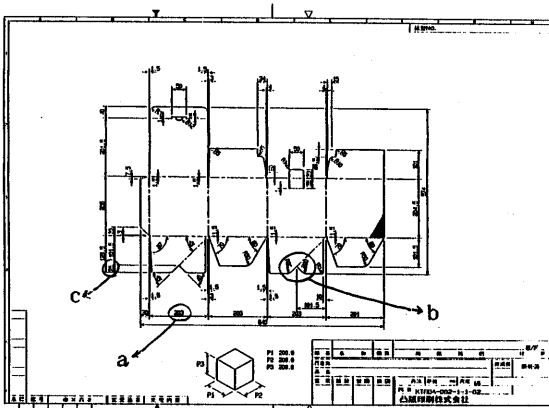


図4-1 段ボール箱設計例（軽量型）

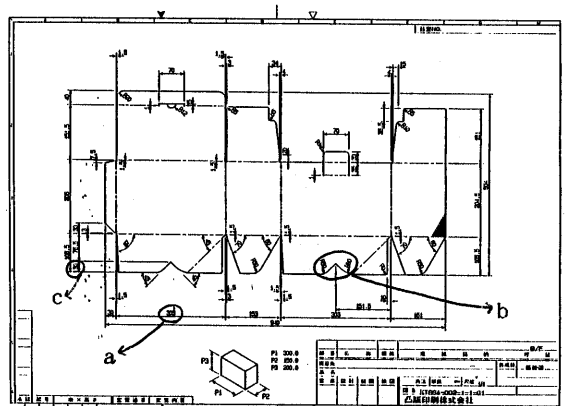


図4-2 部品の形状変化例（重量型）

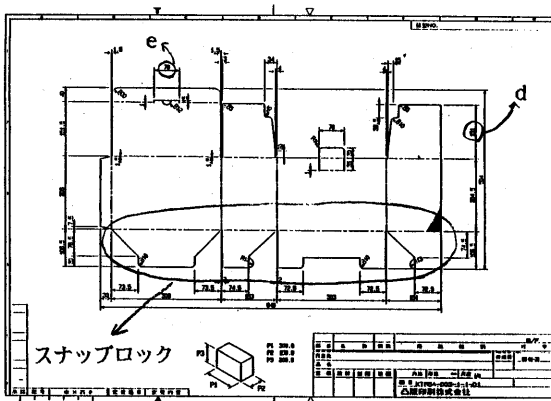


図4-3 部品交換例1（底封緘）

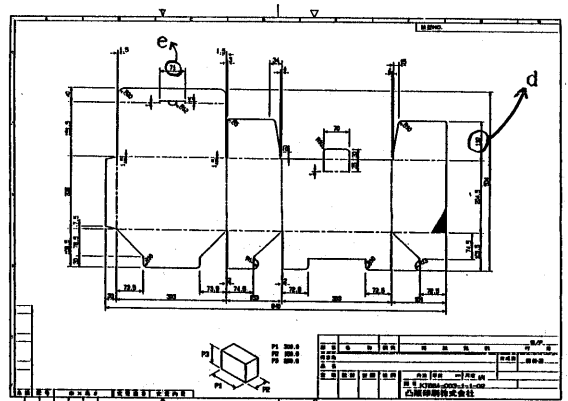


図4-4 部品交換例2（ダストフラップ）

である。この様なダイナミックな部品交換は、システムが評価した値と指定された値とのマッチングがとれず、バックトラックが生じ、その結果として行われる。バックトラックに際しては、インタプリタが部品の結合関係評価時に可能性のあるUnit名とその理由をフラグメモリ(図3-3)に蓄えている為、比較的容易に解決出来る。

これらの機能により、機能として明確化出来ない部分を指定出来る等、柔軟性のある、実使用に耐え得るシステムとなっている。

5. 実用化上の問題とその解決

上述した知識表現に於ては、基本的には以下の様な作業が必要となる。

- 1) 専門家にとって理解し易く、かつ互いに独立性の高い形で機能を分割する。
- 2) 分割された機能単位で組分化を行なう。
- 3) 夫々の機能単位で、各自が採用される前提条件を調べる。
- 4) 夫々の機能単位で自分の従属機能となり得る機能単位についてその必要条件を調べる。

これらはあくまで現実的に分かる範囲で行なう。特に4)が問題である。しかしこれについてはある程度の記述があれば前述の推論機構によって機能を結びつける事ができる。従ってこれら知識の記述はテストを繰り返しながら精度を上げてゆく事ができる。もちろん記述が完璧で変更もないものであれば推論の必要はなくなるが、実際にこれは困難である一方、記述が不完全になるほど推論機構に負担がかかり現実的に役に立たないものになってしまう。結局はこのバランス問題となる。

筆者らは実用化という命題の中で、環境の変化に対してユーザが柔軟に知識の追加、変更を行なえる点を考慮した上で、実行時のパフォーマンスを重視し、基本的にバックトラックが発生しない様に知識ベースを構築した。システム完成後も必ず何らかの学習が必要となる。前述のように本システムは表層システム(Surface-System)⁽⁷⁾であり、知識のヒット率が重要となるが、人間系を介して学習システムを形成したことが実用化のポイントともいえる。この意味では知識ベース構築・テスト機と実運用機とを分類する事は知識ベース管理上、非現実的だと思われる。

6. システム運用状況と効果

本番テストを繰り返して知識ベースを充実させ、S60.9月より本格稼働に入っている。

設計作業後は展開図データから外形線データや野線データが抽出され、方向制御付きカッターにNCデータ出力することによって白紙見本が作成される(図6-1, 2)。この見本によって種々の評価を受けるが、見本作成までの工程が従来半日~1.5日であったものが分のオ

ーダーで可能となり、専門家の手を煩わさなくて良くなった。

現在、本格稼働を通じて知識ベースの拡充も行なっている。これについては、従来の設計作業において、熟練した専門家であれば煩雑ではあっても既知の機能の組合わせで設計できる範囲が85%程度、全く新しい概念の機能を開発する作業が15%程度あり、本システムではこういった新機能に係わる設計不可能部分として20%程度が残るものと推定される。

本システムによって従来の専門家は日常の煩雑な設計作業から解放され、新概念、機能の開発といったより興味深い仕事、即ち残り20%の高度に創造的な活動に時間を費やせる。

そして、その機能が一般化されると、CAD知識として獲得され、専門家はCADを用いてその組合せについてもテストすることが出来ることになる。

即ち、本システムは専門家にとって新規開発のtoolにもなる。

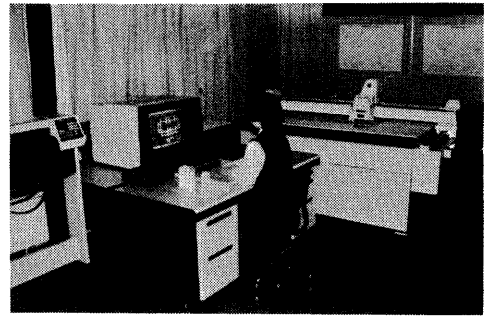


図6-1 設計作業

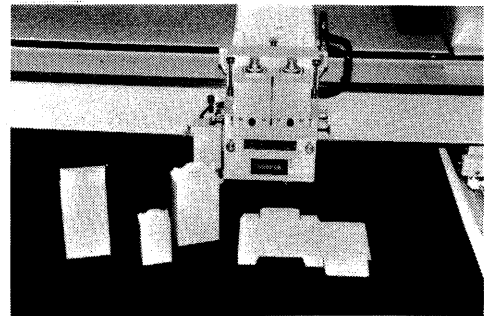


図6-2 白紙見本出力

7. おわりに

本システムの知識は表層表現でありエキスパートの本来的意味からすると自己の仕事の評価できない点、及び学習を自己の能力でできないなど不十分な点が多いものの、パッケージの設計という従来専門家でなければ出来

なかった作業の代行能力が確認された。

実運用の中での設計である以上、生産された結果に対して責任が生じる。これについては現在のところ、必ず従来の専門家が承認するしくみにしている。これは、知識更新が前述のような広い意味での学習という目的で逐次行なわれる必要があり、新知識の組合せによる波及効果は予測不能な為、この種のトラブルを防止する為に、是非必要である。

パッケージの設計については社内に熟練した専門家が存在し、彼らを含めてプロジェクトチームを編成することにより機能を分析し形状と結びつける事ができた。機能と形状との間に曖昧さが多い一般の機械系CADに今回の様な手法がそのまま適用できるか疑問だが、本質的な機能をどこまで分析できるかが実用化のポイントと思われる。

参考文献

- 1)横山得禎：パッケージデザイン，日本包装産業協会(1974)
- 2)Feigenbaum,E.:The Art of Artificial Intelligence -Themes and Case Studies of Knowledge Engineering, IJCA15,pp.1014-1029 (1977)
- 3)石田雅也，平田昌信：知的設計を実現するエキスパートCAD，日経コンピュータ,11.25,pp.55-64 (1985)
- 4)山田淳：パッケージ用エキスパートCADシステムの開発，別冊コンピュータCAD/CAM No.6,pp.130-134 (1985)
- 5)小泉勝：製版工程前準備のコンピュータ化，印刷雑誌 Vol.68,No.6,pp.27-32 (1985)
- 6)例えば、Feigenbaum,E.,Buchanan,G.and Lederberg,J. : Generality and Problem Solving : A Case Study Using the DENDRAL Program,Machine Intelligence 6, Meltzer,D.and Michie,D.,eds.,Edinburgh University Press,pp.165-190 (1971)
- 7)Hart and Peter,E.: Directions for AI in the Eighties,pp.11-16(1981)