

①

多目的推論と高次推論による
生産ライン設計支援エキスパートシステム

1991

山本秀彦

目 次

	Page
1. 緒言	5
2. 生産ライン設計における従来の研究	8
2.1. 生産ライン設計の概要	8
2.2. 工程設計	8
2.3. 作業設計	8
2.4. 生産ライン設計の自動化手法	10
2.5. 本研究の目標設定	12
2.6. 高次推論	14
2.6.1. 高次推論の分類	14
2.6.2. ファジィ推論	15
2.6.3. 仮説推論	18
2.7. オペレーション・リサーチによる意志決定	19
2.7.1. 多属性効用理論	19
2.7.2. 階層化意志決定法 (AHP)	20
3. 未来生産システムにおけるキーテクノロジー	21
3.1. 生産システムの現状認識	21
3.2. オンラインによる生産ライン設計システム	23
3.3. 未来生産工場	28
3.3.1. 一個流し生産システム	28
3.3.2. 生産状況予測	29
4. 生産ライン設計支援エキスパートシステム	33
4.1. 生産ライン設計における設計者の推論過程	33
4.2. 知識表現	33
4.2.1. 階層知識表現	33
4.2.2. 意味ネットワーク型知識表現	39

5.	生産ライン設計支援エキスパートシステムの推論方法	45
5.1.	推論過程の解析	45
5.2.	多目的評価推論	45
5.2.1.	消去法推論	45
5.2.2.	多属性効用関数値比較法	48
6.	あいまい知識のフレーム表現	52
6.1.	あいまい知識の体系化	52
6.2.	あいまい知識の記述	55
7.	属性間重要度のあいまいインタビュー	58
7.1.	問題領域変換	58
7.2.	スケール定数インタビュー	60
8.	仮説推論による生産ライン設計過程の制御	65
8.1.	生産ライン設計における仮説推論の解明	65
8.2.	仮説推論方法	67
9.	適用事例	72
9.1.	システム構成	72
9.2.	設計対象部品	73
9.3.	部品情報入力	74
9.4.	工程組合せ	75
9.5.	設備メーカーと機械型式の選択	76
9.6.	消去法推論実行	78
9.7.	スケール定数インタビュー例	79
9.8.	多属性効用関数値計算結果	80
9.9.	機械台数の決定	83
9.10.	最終出力	85

10.	今後の生産ライン設計支援エキスパートシステム	87
10.1.	事例ベース推論の意義	87
10.2.	仮説推論による目標設定	87
10.3.	生産ライン設計における事例ベース推論	89
11.	結言	91
	参考文献	93
	謝辞	103

1. 緒 言

生産技術の分野ではNC工作機械の開発にはじまり、マシニングセンタ、CAD/CAM、FMS、CIMという生産システムの情報化が発達してきた⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾。そしてさらなる発展過程として情報の知識処理化が考え出され、さまざまな知的システムの研究開発が成されている⁽⁴⁾⁽⁵⁾。

自動車産業等においては今後とも数多くの生産ラインの計画が予定され、その都度多くの人員が生産ライン設計業務に投入される。この生産ライン設計者の育成には数年の月日が必要である一方で、この計画サイクルもますます短くなってきており、この結果熟練生産ライン設計者不足が生じてきている。この様な環境で、生産技術の現場では生産ライン設計を経験の浅い設計者でも担当できる様な設計支援システムの必要性が生じてきている。またこのシステムは生産技術者のもつ知識、ノウハウ、または工作機械製造メーカーのノウハウ等がすべて集められ、分析されてどの様な生産ラインを作るかが決定される場所となる。この意味でこのシステムは、未来生産システムの中核ともなる重要なシステムである。ここで生産ライン設計とは新製品などの生産開始に先立ち、工場内に新たな加工生産ラインや組立生産ラインを設置するため、企画された品質や設備投資金額等を満足する生産設備の型式、レイアウト順、台数などを決定する過程である。そしてユーザの嗜好の多様化により設計する生産ラインも少種多量のFMSラインへ、さらには多種多量のフレキシブルトランスファライン（FTL）へと変わってきている。

さて、生産技術の分野において多くの工程設計に関するエキスパートシステムが開発されつつある⁽⁶⁾⁽⁷⁾⁽⁸⁾。これらのシステムでは既設工作機械を使って複数の加工箇所をどの順番でどの様な工具を使って加工するかについての問題を主に加工精度に着目して解決している。ところが工程設計を行いさらに工作機械の選定を行って工場内に新規設置を計画する生産ライン設計では加工精度を検討す

るだけでは不十分であり，複雑な対象である工作機械の構造の検討や工作機械の購入に関する検討などが必要となる。そこで生産ライン設計を支援するシステムを構築するには，加工技術，工作機械，工作機械業界という様な異種複雑な知識を表現して，これを有効に使い，加工だけでなく構造や購入検討に適した推論アルゴリズムを用いることが重要となる。この様な推論は従来開発された生産工場内で用いられるエキスパートシステムには完備されていない⁽¹⁰⁾ (10) (11)。

本論文はこれらの困難さに対し以下の様な解決を計る生産ライン設計支援エキスパートシステムについて述べる。

2章では初めに従来の工程設計自動化システムについて言及し，本研究の対象である生産ライン設計との違いを考察し，生産ライン設計支援エキスパートシステム開発のねらいを述べる。

3章では未来生産システム像として設計部門と工場部門の二つに別けてその将来を考える。そしてその将来システムにおける本システムの位置付けについて考える。

次章からは本システムの具体的開発技術について述べる。4章は知識表現についてである。異種な知識は機能面を考えることにより関連付けができ，また複雑な知識には構造や機能にまで詳細に分割して表現し効率化を計る。これらに基づきフレーム型知識により意味ネットワークを構成し，さらに I F - T H E N ルールを用いたハイブリッドな構成とする。これは5章以降の推論を始める付加手続きの記述源ともなる。

5章は本設計の多目的意志決定をシステム化する。設計推論過程は機械構造・機能についての検討を行いたるを絞る消去法推論，ひき続き機械購入に関する5項目を多属性効用関数⁽¹²⁾を計算して総合的に評価を加えるという推論過程をもつ多目的評価推論を提案する。これにより加工精度以外についても検討を行いうる。

また，この総合的な順位づけを行う場合，生産ライン設計者は多くのあいまい知識を使っており，この種の知識を熟練設計者から抵

抗感なく獲得・表現することが重要となる。そこでこのあいまい知識の具現化を多目的評価推論の中で2種類に別けて取り扱う。

6章ではその1つを扱う。システムの知識ベースとしてあいまいな表現を体系化した工夫を行う。定量的知識とあいまい知識を同じ概念で表わし、あいまい知識も定量知識に変換できる4種の知識構成で表わす。この4種はクリस्प値、付加手続きデーモン、あいまい値、あいまい知識の付加手続きデーモンである。

7章では第2のあいまい知識の具現化を扱う。ユーザとのスケール定数に関するインタビューにおいてユーザが答えやすい様にあいまいな表現での入力を可能とするため、問題対象の変換を行う。これによりユーザは常に二者の評価項目についてどちらがどれくらい重要かの一対比較インタビューに対して回答を入力する。

8章では生産ライン設計の非単調性を扱う。生産ライン設計の推論過程は前向推論に代表される単調な演繹推論ばかりが行われているわけではない。即ち複雑な思考過程が、競合する知識のもとで非単調に進んでいる。そこで本設計特有の仮説推論を開発し、効率良く設計過程を制御する。即ち、従来の仮説推論機能に加え、一度偽と判断した最終結果とこれに関する知識をその条件下では記憶モジュールに保存し、再設計時にこの結果とこれに関する知識を活用、比較する。

9章では以上の知識表現や推論をシャフト形状部品の生産ライン設計に適用し、その効用性を検証する。

10章では最後にエキスパートシステムの最終機能と思われる知識学習の第1歩として、事例ベース推論による新規機械の創造について述べる。即ち、仮説推論の枠組みの中で事例ベース推論を実行することを提案する。設計システムでの事例ベースの目標設定を優先順位をもつ競合仮説の第一優先の仮説とすることで類似度比較を実行させる。

2. 生産ライン設計における従来の研究

2.1. 生産ライン設計の概要

生産ライン設計は生産の場における物（材料，製品など）の流れに伴う技術的情報を処理して，生産工程の情報（加工，組立，検査，塗装など，あらゆる生産と操作を含む作業）を決定する過程である。この設計過程は大きく2つに大別される。即ち製品，部品，素材に関する設計情報から生産方法，生産順序，生産機械の種類・数量・順序など全面的な生産工程情報を求める工程設計である。第2は工程設計の出力情報を受けて，各作業工程で行なわれる詳細な技術情報を得る作業設計である。この両過程を通して生産機械，工具，ジグ，取付具などの種類と数量，生産機械の運転条件，工具経路データ，生産管理方法などの情報を得る。

2.2. 工程設計⁽¹³⁾

機械加工の場合，工程設計において処理しなければならない情報の項目は図2.1に示す様に

- (a) 図面や設計情報の理解や確認
- (b) 加工法の選択
- (c) 加工順序・内外作区分の決定
- (d) 加工機械の種類および順序の選定
- (e) 検査・運搬・停滞工程の設計

である。

2.3. 作業設計

作業設計における主な設計項目は図2.2に示す様に

- (A) ジグおよび取付け具
- (B) 工程内の作業順序と作業者
- (C) 工具
- (D) 加工条件
- (E) 工具径路

である。

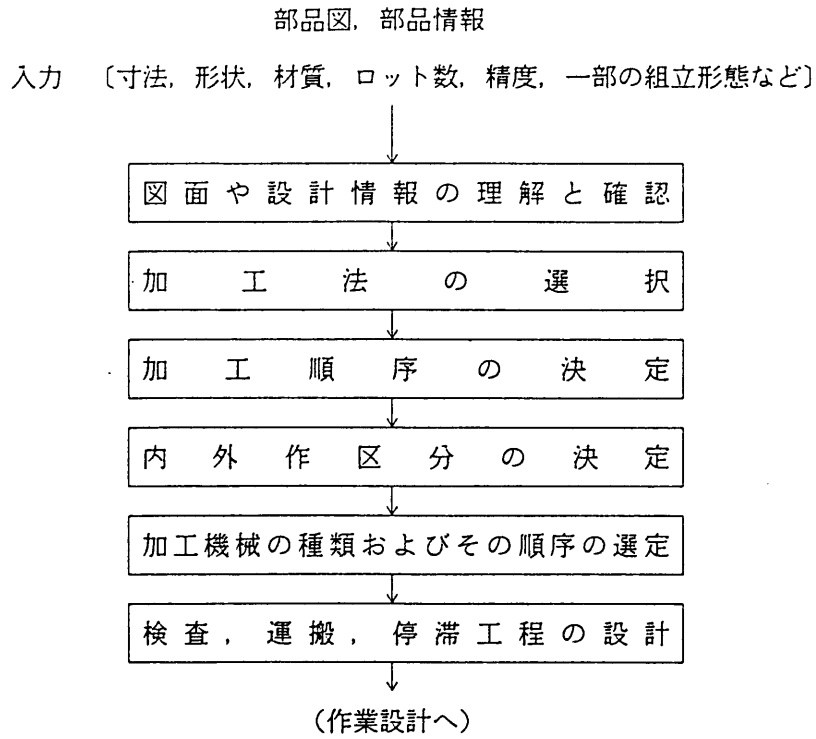


図2.1 機械製品の工程設計における情報処理項目とその過程

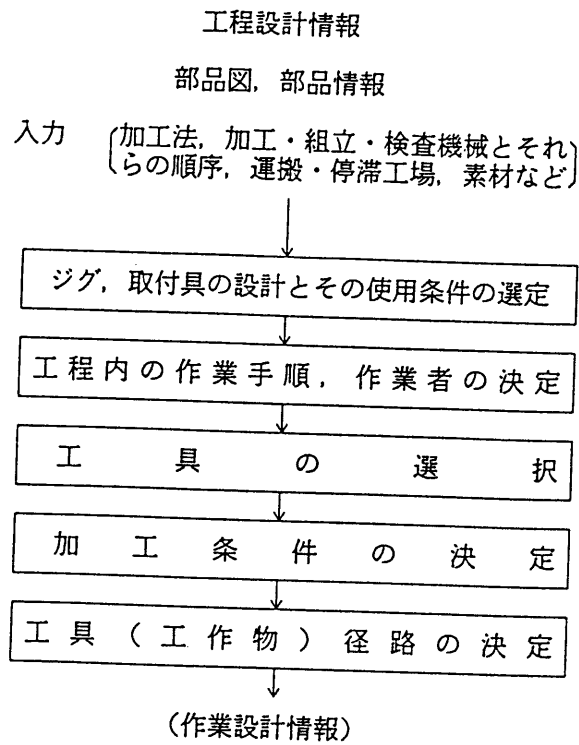


図2.2 機械製品の作業設計の流れ

2.4. 生産ライン設計の自動化手法

生産ライン設計の自動化手法は次の3種のアプローチ法が考えられている⁽¹⁴⁾⁽¹⁵⁾⁽¹⁶⁾。

A. バリエーション法

工程設計を実現するにあたり、人間がCRTを介して計算機と対話を進めながら妥当なプロセスを構築していく方法である。即ち、ある標準的な解をあらかじめ用意しておき、入力された図面に対し関連データの検索・編集を繰り返しながら設計を実行する手法である。入力データとしてGTコードがよく使われる。

B. 創成法

バリエーション法が対話型アプローチであるのに対し、創成法は完全自動化を目指すシステムである。即ち部品の幾何学的情報などを入力することで経験に基づく個々の加工技術の知識ではない、汎用的理論により工程などを決定する。この汎用的理論を見つけ出すことがむずかしく、完成したシステムは未だにない。

C. 準創成法

バリエーション法と創成法の折衷的な考え方である。人間が部品図を見て必要な工程を抽出し、その情報を入力する。その後コンピュータに組み込まれている加工法の原理や経験則を用いて設計を完了する。

表2.1に切削を対象とした自動化システムの代表例を示す。

表 2.1 工程設計自動化例

開発場所	開発年	システム名	基本的考え方 の類別
(国 外)			
1. NAKK (ノルウェー)	1969年	AUTOPROS (automated process planning system)	A
2. Berlin T. H. (西ドイツ)	1974年	CAPSY (computergestutztes arbeits-plannings-system)	C
3. CAM-I (国際的)	1975年	→CAPP (CAM-I automated process planning)	A
4. Purdue Univ. (アメリカ)	1975年	→CMS (the optimal planning of computerized manufacturing systems)	A
5. United Technologies Corporation (アメリカ)	1976年	→CMPP	C
6. CAM-I (国際的)	1978年	→coupling of COMPAC, CAPSY and CAPP	C
7. Budapest Tech. Univ. (ハンガリー)	1979年	semi-generative process planning system	C
8. Tipnis Associates, Inc. METCUT Research Associates, Inc. and G. E. (アメリカ)	1978年	PRO-CAM system	C
9. Technical Univ., Tallinn (ソ連)	1979年	the part-family oriented CAPP system	C
10. Technische Hochschule "Otto V. Guericke" (東ドイツ)	1979年	AUTOTECH	C
(国 内)			
1. 日立製作所	1968年	GT 手法による工程, 標準時間の自動設定システム	A
2. IMSS 研究会 (神戸大, 京大, 大阪府大)	1972年	CAPP (computer-aided process planning system)	A
3. 東 大	1973年	decision of machining sequence by functional analysis of machine tool	B
4. 三菱重工	1974年	機械加工自動方案見積システム	A
5. 神戸大	1976年	→CIMS/PRO システム (computer-aided integrated manufacturing system/production planning)	C
6. 東大, 三菱電機	1977年	API	C

[注] 記号 A: 過去の経験に基づくデシジョン・テーブル方式 B: 部品情報認識に基づく創成方式 C: AとBの折衷方式
→印: 開発進行中

2.5. 本研究の目標設定

前節に述べた設計の自動化システムは、製造業における製品を作り出すラインを準備する技術分野ではあまり使われてはいない。これは従来の自動化システムが形状情報を中心にして工程や工程順が決定されるところにある。実生産ライン設計では単純に形状情報のみでは解決できない。また従来システムは工程や工程順が決定されればその工程を実現する機械を工場内にある工作機械の中から決定する。即ち、従来システムでは試作品工場や工機工場の様にすでに工作機械が設置されており、そのどれを使うかが容易に判明する場合と考えられる。ところが、新生産ラインを設計する場合には工場内には工作機械は入っておらずどの工作機械を入れるかが生産ライン設計の求める解の一つとなっている。このため、たとえ工程が決定したとしても、これを具体的に実行する工作機械は世の中に数えきれない程多く存在する。このことは生産ライン設計というものが、バリエーション方式であれ創成方式であれ、どんな方法を用いて形状情報（即ち加工に関する項目）を検討して必要な工程や工程順を決定してもこの設計自体がまだ途中の過程であり、さらに別の検討を行わなければならないということである。

ここで、本研究の対象としている生産ライン設計をより詳しく述べる。本設計はある新製品が開発された時に、この製品を生産する専用の生産ラインを作ることにある。この時以下の様な制約条件が与えられる。

- (1) 投資金額
- (2) 設置面積
- (3) 生産サイクルタイム
- (4) 製品の種類
- (5) 自動化の規模
- (6) 生産立ち上り時期
- (7) 生産量

この制約条件を考慮に入れ設計者は製品図をみながら次の項目を検討する。

- (a) 製品図面の加工部位とその加工精度値を確認する。
- (b) (a) に基づき必要工程を洗い出す。
- (c) 洗い出された工程を基に大まかな工程順を決める。
- (d) 各工程毎にどこを基準（旋削の場合ならチャックをどこにするか）にして刃具をどういう経路で走らすか検討する。
- (e) 加工条件を設定し企画されたサイクルタイム以内になるか検討する。
- (f) 各工程を実現できる工作機械製造メーカー（設備メーカー）を調べる。
- (g) 設備メーカーの市販する機械型式を調べる。
- (h) 各機械型式の仕様（構造や機能）を把握し，制約条件である製品の種類や自動化の程度，あるいは生産サイクルタイムを満足するものか調べ，比較する。
- (i) その他，機械が故障した時のサービス体制，サービスマンの技術力，過去の実績，等を入念に調査し比較する。
- (j) 設備価格について調査し比較する。
- ：
- ：
- ：

設計結果として次の項目を決定する。

- A. 機械形式
- B. 機械台数
- C. 機械のレイアウト順
- D. 機械のレイアウト
- E. 金額
- F. 素材の流し方（姿勢）

- G. 工具種類
- H. 加工条件
- I. 品質チェック方法
- ・
- ・
- ・

今回の研究目標は生産ラインの良し悪しをほとんど決定するA, B, C, G, Hの決定を考える。

さて、この様に生産ライン設計では(a), (b), ...との検討項目が存在するが、(a)から(e)まではほぼ形状情報, 加工精度情報から求められると考える。ところが(f)以降は形状情報だけでは決定しないことが判る。即ち, 工作機械の構造や機能あるいは過去の実績を基にした設計者の知識あるいはカン, ノウハウの様なもの判断される。この様に生産ライン設計では(f)以降の検討を必要とし, これが自動化できなければ実用システムとしての実体をなさない。

(f)以降の検討を行うということは, (a)から(e)までの過程で求めた情報の中から, さらに複数の制約条件を考慮して良い情報を選び出す多目的意志決定を行なうことである。さらにこの意志決定には設計者のあいまいな知識が多く使われたり, また, (a)から(j)に至る検討項目は必ずしもこの順番になされるのではなく, 行ったりきたりの非単調な意志決定でもある。

これらのことから生産ライン設計のコンピュータによる自動化システムを開発するには, 加工精度による検討と多目的意志決定法さらにはあいまい知識や非単調推論といった知識工学の三者を統合して構築することが重要と考える。

2.6. 高次推論

2.6.1. 高次推論の分類⁽¹⁷⁾

第一世代の知識システムではI F - T H E Nルールを用いた前向き推論や後向き推論といった実装レベルの知識表現の下で演繹的推論が主流となっていた。その結果知識獲得のボトルネック問題や推

論制御の飽和問題を生じてしまった。即ち，主な問題点として(1)不確実性問題 …… 観測される事実や因果関係的知識には不確実さが不随する。(2)不完全問題 …… 知識ベースが不完全であること。即ち，必要な知識が欠落している。(3)信念維持問題 …… 合成型問題では生産検証パラダイムに基づく探索を必要とするために，意志決定の結果を仮説として扱い，後にこれが矛盾の原因であることが判明した場合に信念をくつがえす必要があった。(4)定性化問題 …… 大規模プロセスではパラメータの値を定性化して必要な情報を容易に入手したい場合がある。以上の問題を解決する基盤技術を表2.2に示す。

表2.2 知識システムの基盤技術

問題の所在	基盤技術	代表的な方法	技術的検討課題
不確実性問題 知識の不確かさ 複数根拠の統合	不確実性推論 Inexact Reasoning	MYCINの方法 Dempsterの方法 ファジィ推論	確実度の計測 パラメータのチューニング 統合化の問題
不完全性問題 例外の取扱い 欠落知識の補完	デフォルト推論 Default Reasoning	閉世界仮説 サーカムスクリプション フレームの性質継承	フレーム問題 矛盾の生起の管理 多重継承の問題
信念維持問題 競合知識の取扱い 依存関係の維持	仮説推論 Hypothetical Reasoning	TMS ATMS 拡張ATMS	組合せの爆発 優先探索の導入 知的制御の必要性
分散協調問題 エージェントの利用 制御飽和の緩和	協調型推論 Cooperative Reasoning	黒板モデル 契約ネットモデル アクターモデル	一貫性の維持 通信の局所化 制御の柔軟性
定性化問題 動的挙動の予測 大局的な理解	定性推論 Qualitative Reasoning	3値モデル 区間モデル オーダーモデル	組合せの爆発 階層性の導入 定量的知識の補完
階層的決定問題 組合せ的爆発の回避 問題の分解と統合	問題解決戦略 Problem Solving Strategies	階層的生成検査法 トップダウン精密化 拘束最小化	上位階層での評価 実行可能性の確保 最適性の保証
再利用問題 事例の有効利用 探索コストの節約	類推 Analogical Reasoning	Winstonの理論 原口の理論 RusselのDBR	正当性の保証問題 基準対象の切出し 視点の制御問題

2.6.2. ファジィ推論 (18)

ファジィ推論（別名：近似的推論）はいくつかのファジィ命題からある一つのファジィ命題を導き出す推論法であり，人間が行って

いる推論法はこの種の推論法であることから大いに関心がもたれている。また、ファジィ制御⁽¹⁹⁾、エキスパートシステム、意志決定などの分野で重要な役割を果たしている。

我々は日頃次のような推論を行なっている。

もしリンゴが赤ければそのリンゴは甘い。

このリンゴはかなり赤い。

⇒このリンゴはかなり甘い。 (2.1)

このような推論を定式化してみると

規則：IF (X is A) THEN (Y is B)

事実：X is A'

結論：Y is B' (2.2)

のようになる。ここで、A, A', B, B' はファジィ概念である。

このファジィ推論形式では、式(2.2)の例のように、AとA'とは必ずしも一致していなくてもよいところに特徴がある。このファジィ推論はZadehにより発表された⁽²⁰⁾⁽²¹⁾。この推論方法は現在多くの案に展開されているが、今回のシステムに採用したMamdaniの方法⁽²²⁾について以下説明する。

式2.2を図式化すると図2.3の様になる。ここでは θ はファジィ集合A'とAがどの程度適合しているのかという”適合度”であると解釈される。結論B'はこの適合度 θ とファジィ集合Bとのminを取るにより得られる。これは θ によってBの頭をカットしていることから”頭切り法”と呼ばれている。

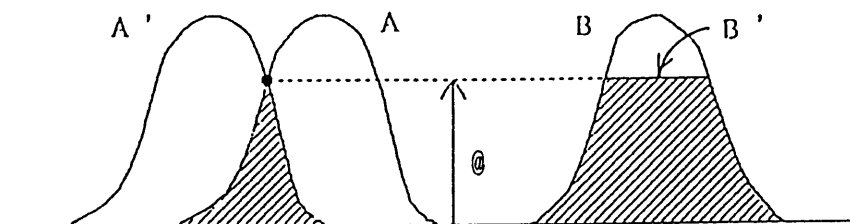


図2.3 A' と A ⇒ B からの推論結果 B'

このようにファジィ推論法では、通常の推論のように A' と A が完全に一致するか否かの 2 値的な場合だけでなく、 A' と A とが一致している程度に応じて、ほとんど一致した結論を導くといったところに特徴がある。

最後にファジィ制御やエキスパートシステムで最もよく使われている多重ファジィ推論形式

規則 1 : IF (X is A_1) , THEN (Y is B_1)

規則 2 : IF (X is A_2) , THEN (Y is B_2)

事実 : X is A' (2.3)

結論 : Y is B'

を考えてみる (2.3) (2.4) (2.5) (2.6) (2.7)。

式 2.3 を図式化すると図 2.4 になる。即ち C_1' と C_2' の面積和 C' においてその重心 w_0 が求める値となる。

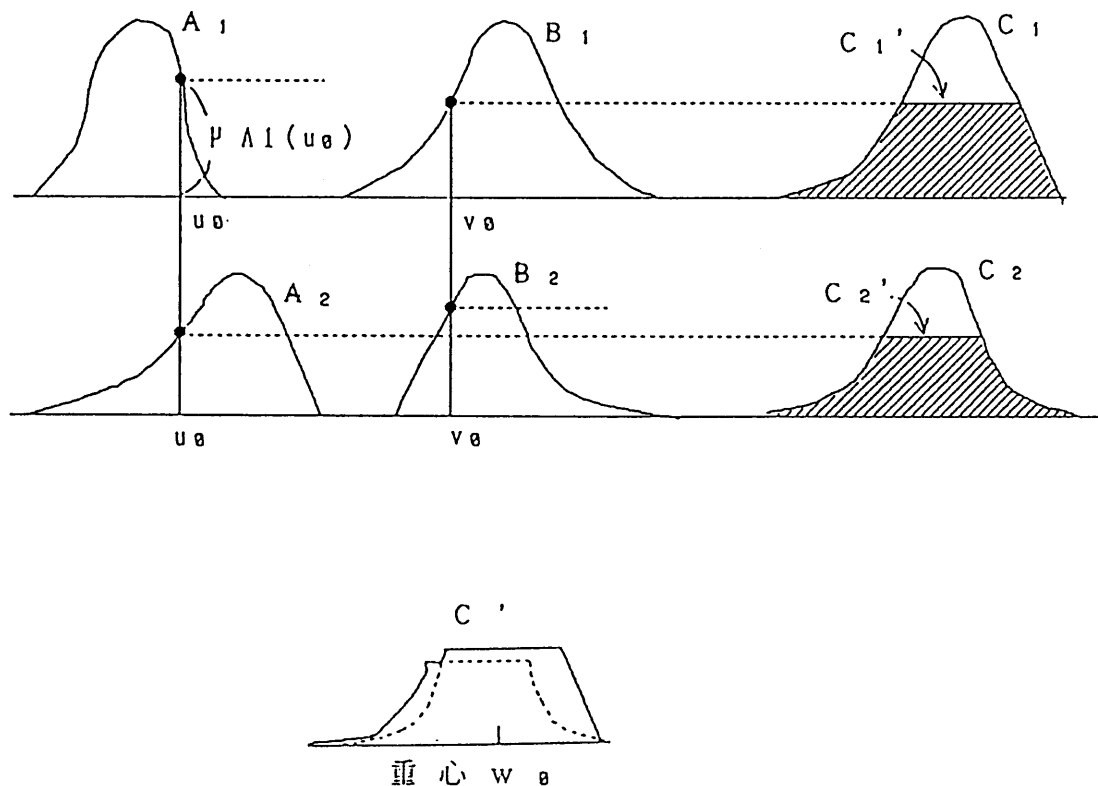


図 2.4 式 2.3 の推論結果の求め方

2.6.3. 仮説推論 (28) (29) (30) (31) (32) (33) (34) (35)

知識ベースは図2.5 に示す様に，事実の知識集合 F と，仮説の集合 H の2種類を設定する。事実の知識は問題対象の世界で常に真理と考えられる知識である。仮説の知識とは問題対象の世界で常に真理とは考えにくい知識のことである。仮説推論の基本動作は，ある観測 O が入力された時，次の条件を満たす H の部分集合 h ($h \subseteq H$) を求めるアルゴリズムと考える。

$$\begin{cases} F \cup h \vdash O \\ F \cup h \text{ は無矛盾} \end{cases}$$

即ち，事実の知識集合 F の部分集合を用いて観測事実 O を証明する手続きをいう。この時， F のすべての部分集合を使っても観測事実 O を証明できないとき仮説の知識集合 H の中から無矛盾な集合を選び出し，観測事実 O を証明する様に動作する。

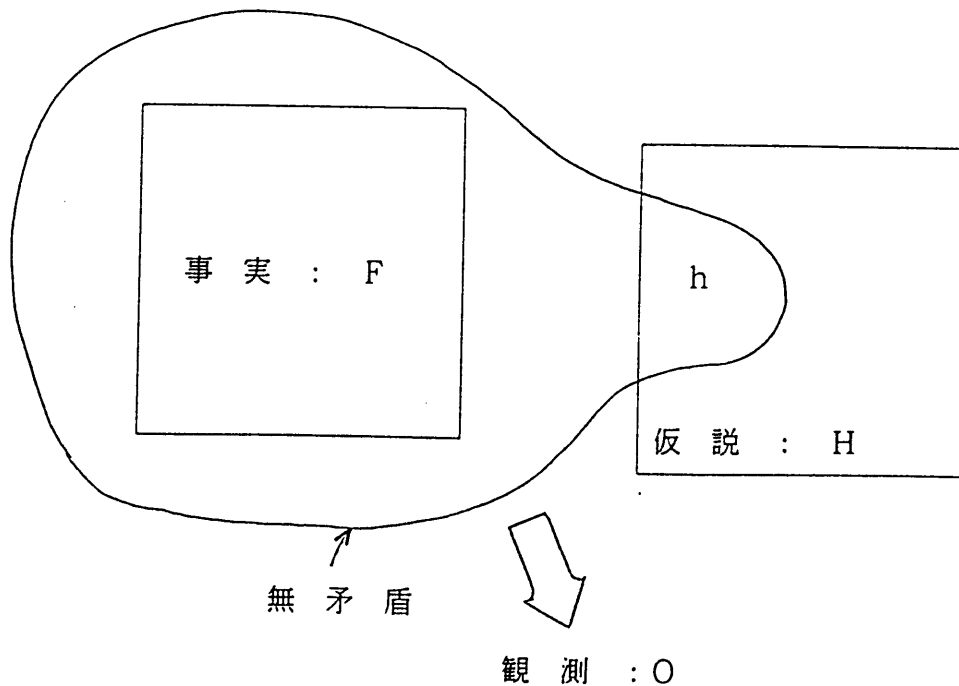


図2.5 仮説推論概念図

2.7. オペレーション・リサーチによる意志決定

2.7.1. 多属性効用理論⁽³⁶⁾

多属性効用分析は、システムに対する総合評価を、多属性効用関数（以下、MUFと略）の同定によって行う⁽³⁷⁾⁽³⁸⁾。多属性効用関数は一般に $x_i, i=1, \dots, n$ を、分析対象であるシステムの属性 $X_i, i=1, \dots, n$ のある水準であるとする、

$$U(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (2.4)$$

の形式で表現される。さらに x_i が相互に効用独立（すなわち、選好独立と効用独立をみたす）であるとする、

$$U(u_1(x_1), u_2(x_2), \dots, u_n(x_n)) \quad (2.5)$$

によって示される。Keeney⁽³⁹⁾とRaiffa⁽⁴⁰⁾は、(2.5)式が次のような一般的な表現型で示されることを証明した。すなわち、

A. 加法型

$$U(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum k_i u_i(x_i) \quad (2.6)$$

$$\sum k_i = 1$$

B. 乗法型

$$U(x_1, x_2, \dots, x_n) = [\prod (1 + K k_i u_i(x_i)) - 1] / K \quad (2.7)$$

$$\sum k_i \text{ not} = 1$$

ただし、 $0 \leq k_i \leq 1$ 、 $K > -1$ であり、 K は

$$1 + K = \prod (1 + K k_i) \quad (2.8)$$

のゼロでない解である。もし $\sum k_i < 1$ ならば $K > 0$ であり $\sum k_i > 1$ ならば $0 > K > -1$ である。また、 K は一意に定まることも証明されている。 U 、 u_i はいずれも 0 と 1 との間に規準化されている。 k_i 、 K はスケール定数とよばれる。

多属性効用分析は、システムに対する選好評価を、(2.6)または

(2.7)式の多属性効用関数の表現型を用いて付与することに帰着するものである。多属性効用関数を同定する手順は、次の段階からなる。(i) システム属性の選択と構造化、(ii) 単一属性効用関数 (UNIF) $u_i(x_i)$ の測定、(iii) スケール定数 k_i の決定、(iv) 多属性効用関数 (MUF) の組み込みと評価、(v) 感度分析と政策的提言。

ここで、(ii) の UNIF の測定に関しては、ICOPSS⁽⁴¹⁾⁽⁴²⁾ は線型、定常的リスク回避型、定常的リスク希求型、減少的リスク回避型、増加的リスク希求型の各タイプの効用関数を、次の表現型を用いて同定する機能を有している。

$$(a) \quad u_i(x_i) = a + bx_i \quad \text{線型} \quad (2.9)$$

$$(b) \quad u_i(x_i) = a - be^{-cx_i} \quad (2.10)$$

$c > 0$ のとき定常的リスク回避型

$c < 0$ のとき定常的リスク希求型

$$(c) \quad u_i(x_i) = ae^{-bx_i} + ce^{-dx_i} + E \quad (2.11)$$

減少的リスク回避型

$$b > 0, \quad a, c, d > 0$$

2.7.2. 階層化意志決定法 (AHP)⁽⁴³⁾

AHP (Analytic Hierarchy Process) は米ピッツバーグ大学の T. L. Saaty 教授⁽⁴⁴⁾⁽⁴⁵⁾によって開発されたもので、人間のあいまいな主観的評価を積極的に採用して最大公約数的な判断を見出す方法である。

AHP の手順は大きく4つに分ける事ができる⁽⁴⁶⁾⁽⁴⁷⁾。

- (1) 問題の階層構造をとらえる
- (2) 一対比較インタビューをおこなう
- (3) ウェイト(重要度)を計算する。
- (4) 階層にそってウェイトを統合化する。

3. 未来生産システムにおけるキーテクノロジー

3.1. 生産システムの現状認識

未来生産システム⁽⁴⁸⁾⁽⁴⁹⁾⁽⁵⁰⁾⁽⁵¹⁾のあるべき姿を考える前に、現在行っている生産システムの設計、運営などにおける問題点がどこにあるかを実際に生産技術の現場にたずさわっている筆者らの目を通して解析する。生産システムを構築する場合、生産技術部門だけの意志でこれらが可能となることはほとんどない。つまり、生産システムの構築にはいろいろな部門との接触、言い換えるといろいろな部門からの影響を多く受けている。これらの部門は図3.1に示す様に3部門と考えてよい。即ち、製品設計部門、顧客、製造現場である。

製品設計部門では、図3.2に示す様に5つの過程が考えられる。各過程の時間的オーバーラップは多少ある。また各過程間にフィードバック作用はもちろん生じるがこの図では省略した。

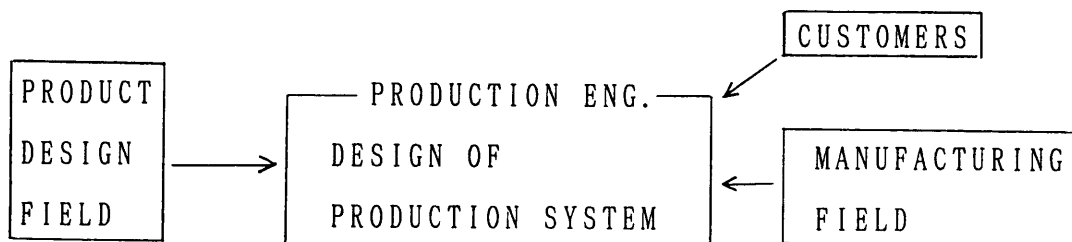


図3.1 生産システム構築に影響を与える三部門

生産技術部門ではこの製品設計部門の各過程のどこから参画するかによってその後の生産システム開発への影響度合が異なってくる。たとえば図3.2中のⒶのレベルで参画できれば生産技術部門にとって長期的な計画が立てられる点で非常に良い。しかしこの様な参画は非常に稀れであり、特に大きな企業になればなる程、部門間の隔たりも大きく存在し、困難となってくる。多くの場合はⒷからⒸの区間に参画できるのがほとんどである。この時期の参画では製品図

面は確定しており，生産のしやすい形状への設計変更は不可能である。この時期となつてはすぐ間近に控た生産開始時期を満たすという，制約条件にしばられた生産システムの導入を考えるのみである。このような環境では新しい加工法や工作機械，生産形態などを生み出すことはできず，平凡な生産システムしか作り上げることはできない。以上のことから生産技術部門は製品開発部門からいかに早く情報を取り込めるか，さらにいかに早く生産システムを設置できるかが大きな鍵となっている。

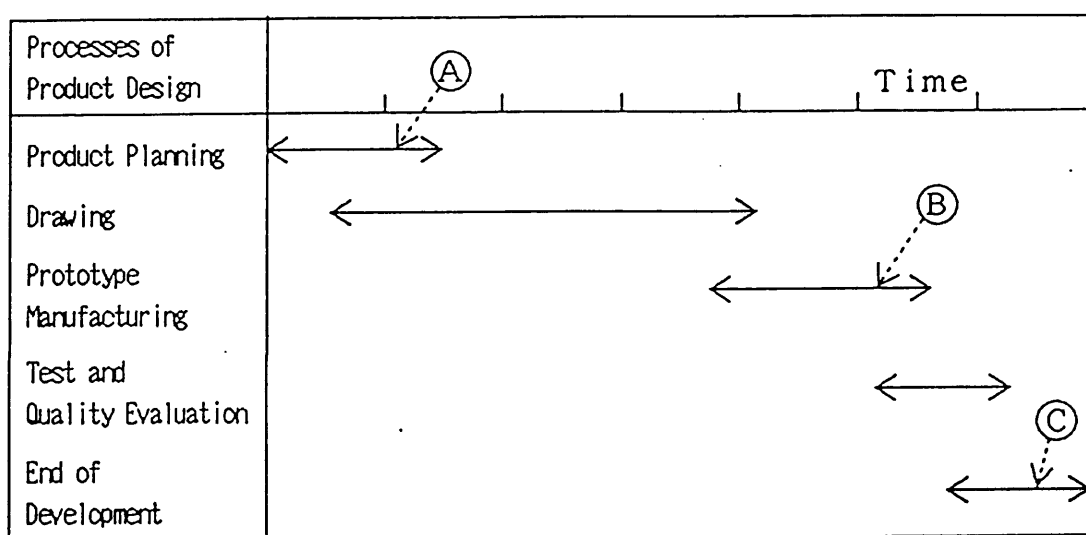


図 3.2 製品開発過程

顧客が与える影響は生産システムの形態に対して特に顕著である。すでに言い古されてきた，ユーザニーズの多様化に対処するため生産システムはよりフレキシブルな対応をせまられる。従来は同種の部品をまとめ，あるロット数が集まったところで加工，組立てラインに流していた。しかし商品多様化のため部品の種類が増加して指定のロット数が集まるのに時間がかかってしまい，加工，組立ラインへ部品を投入する時間と受注時間とのタイムラグが大きくなっていく。以上のことから受注と同時に生産ラインへ，その部品の加工がスタートできる，1個流し生産システムへの対応が必要となる。

製品を加工する製造現場では多くの専用工作機械，汎用工作機械

が稼動している。特に自動車産業等の様に多量生産（最近では単に多量でなく多種かつ多量となってきたが）を必要とする製造現場ではラインサイクルタイムが10秒前後，さらには2，3秒のラインが普通になってきている。このため，一般のマシニングセンタNC旋盤等の汎用工作機械を標準で使えることは少なくローダ，コンベア類の追加等の改造を余儀なくされている。また，まったくその製品製造のためにだけ製作した専用工作機械を用いる場合の方が多い。この様な一品一様な工作機械は事前の信頼性評価を行わずに工場に入って来るため，実稼動に入っても頻繁に故障をおこし，1日の稼動率85%を確保するのが至難の技である。これは専用工作機械の設計製作期間が短いため故障に対する十分な検討設計がなされないのに加え，ラインサイクルタイムが非常に短いため機械の使われ方が非常に過酷であるためと考えられる。たとえば1直8時間で1日昼勤，夜勤の2直体制，ラインサイクルタイム10秒の生産ラインの場合1ヶ月（22日）稼動間に各工作機械の各構成要素部品は126,720サイクルの繰り返し動作を行う。このため，ボルトのゆるみや近接スイッチの接触不良をはじめとするいわゆるチョコ停からボルトの折れ，シリンダのかしり，さらにはワークと工具の衝突といった大停止が頻繁に発生する。この様な実状のため製造現場から，生産状況の予測をしたいという要求が強く，生産技術はこれに答えていかなければならない。

3.2. オンラインによる生産ライン設計システム⁽⁵²⁾

本章では製品開発部門の要求に応え，いかに早く生産ラインを設置するかを図3.3に示す生産ライン設計の過程を中心にしたコンピュータ支援システムの将来像について考察する。

将来のオンライン生産ライン設計支援システムは，加工精度に注目した工程設計さらには工作機械の構造，購入に関する多目的評価を実行し，加工順番，必要な工作機械の型式，その台数，加工条件等を決定しうるエキスパートを中心にこのエキスパートシステムを有効にサポートできる3つの機能の充実が重要である。これは予測

機能，評価機能，視覚による評価機能である。

予測機能は，加工状態をあらかじめ設計段階で予測することがとくに重要である。たとえば，所定の切削条件でワークを加工する時，

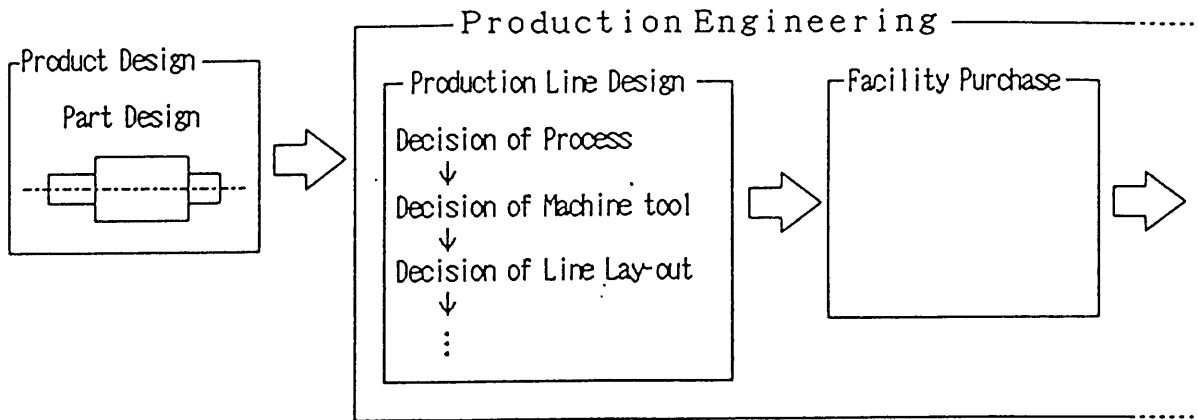


図 3.3 生産ライン設計の過程

その加工状態，即ち切粉の飛散状態があらかじめシミュレートできることである。このシミュレーションにより切粉の飛散状態から判断して所定の切削条件が適格なものであったかどうか判断できるだけでなく，加工条件，例えば送り速度を任意に変化させることにより，切粉の飛散状態の変化を見，またそれに伴った工具類のビビリ解析も可能となるであろう。これを可能にするには加工メカニズムの研究，スーパーコンピュータとエキスパートシステムのオンライン化，さらにはモーダルアナリシス⁽⁵³⁾⁽⁵⁴⁾による振動解析の融合などが重要となる。

一般にエキスパートシステムの設計結果の良し悪しはどう評価するのかという質問が多く出る。この1つの解答例として評価機能あげる。そこで生産ライン設計支援エキスパートシステムの設計結果を何で評価すべきかという問題が生じる。実際の生産ラインの良否の評価の第1には予定生産量が確保できるラインかどうかである。そこで，評価機能としては生産実績をシミュレートした稼働率を取り上げることが良い。稼働率の変動のパラメータは各工作機械間の

ワークバッファ量，刃具交換サイクル，品質チェックサイクル，チョコ停やその他の故障停止が考えられる。故障停止以外については値の設定は容易である。しかし故障に関してはいつどれくらいのサイクルで生じるのかわからない。そこで設計対象とする生産ラインの故障度数率の目標値を設定し，この値を用いることが良い。これらパラメータを変動させ一定期間の生産量をシミュレートさせる。図3.4に示す様に生産量が算出できる。求めた値を使い母平均推定する⁽⁵⁵⁾⁽⁵⁶⁾。99%の信頼係数のもとで母平均の信頼区間が予定生産量をこえているかで良い生産ラインか否か判断できる。

設計者や工場を実際に運営する管理者はエキスパートシステムにより求めた機械のレイアウトが実際に工場内でどういう風景となるのか実設置以前に知っておきたい衝動にかられる。そこで工場内に設置した風景を三次元立体で表わし，その視点の高さ等を自由に移動させる視覚による評価機能が重要となってくる。従来では工場内のレイアウトを平面図として作成するだけである。これでは工場のイメージはまったく浮かばず，ただ柱等の干渉を起こさず配置できることしかわからない。三次元立体による映像では実際の作業者が歩く様に視点をかえることにより，各機械の見晴らしの良さとか，作業のしやすさ等が目でわかり，生産現場で求められる環境の良い職場作りへも貢献できる。

最後にこれらシステムの中核をなす生産ライン設計支援エキスパ

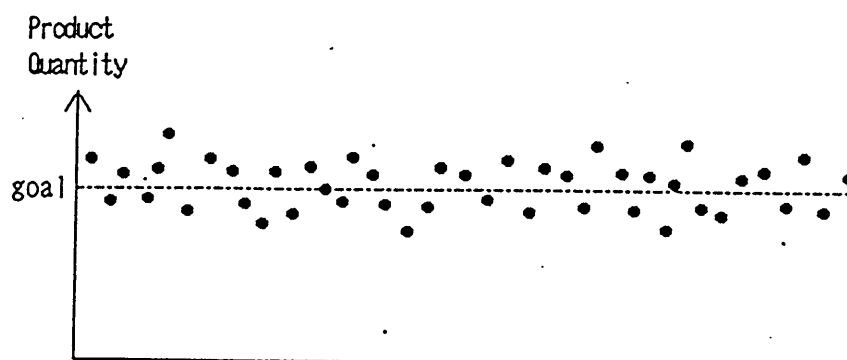


図3.4 生産量シミュレーション

ートシステムについて述べる。従来開発されてきたエキスパートシステムについてもいえるのであるが、エキスパートシステムは知識データベースの中から良い知識を選び出す、いわゆる探索システムといえる。例えば、生産ライン設計支援エキスパートシステムでは加工精度、価格等に適合した機械を知識データベースの中から選び出し、さらに各種条件に適合する様に機械順番や加工条件などを設定する。しかし、熟練設計者から見れば得られた結果は全く当然としか思われぬ。たとえ結果に至るまでの推論過程が熟練者より緻密な推論、計算を繰り返したとしてもその結果だけを見て判断を下し熟練者は無難な解が求まったとしか考えない。これは知識データベースの中にある値を呼び出してくる現在のすべてのエキスパートシステムの欠点ともいえる。もちろん未熟練者が解を得られるという点では大きな利点である。この欠点を補うには知識探索型だけでは不十分であり、類推・帰納推論などによる知識学習型が必要である⁽⁵⁷⁾⁽⁵⁸⁾。例えば知識データベースにない、全く新しい工作機械の仕様、構造を創造できることで、これを用いることにより知識探索型のみで求めた標準解と違なり、全く新たな工程順番が考案できる。これは熟練設計者の中でも特にすぐれた一部の設計者しか行えない高度な技術である。

以上の機能をオンライン化すると図3.5の様になる。この図では新しい工作機械の情報をいち早くキャッチできる各メーカーとのパソコンネットワークをひいており、従来のカタログ収集より早く正確に多くの情報を集めることができる。また光ディスクファイルシステムとのオンライン化も表している。これにより、新たに用いられる工作機械の仕様から操作の情報がいち早く探索できるだけでなく従来厚い紙による操作マニュアル書などの保管スペースも不要となり、ペーパーレス環境に一步近づくことができる。

この様なオンラインによる生産ライン設計支援システムにより、未熟練な生産技術者のみならず、製品設計、企画部門の人も容易に利用でき、図3.2に表わした①部の様な製品設計の早い段階での生

産技術情報が入手でき，投資や工場用地の検討にも大きな役目を果たすことができる。

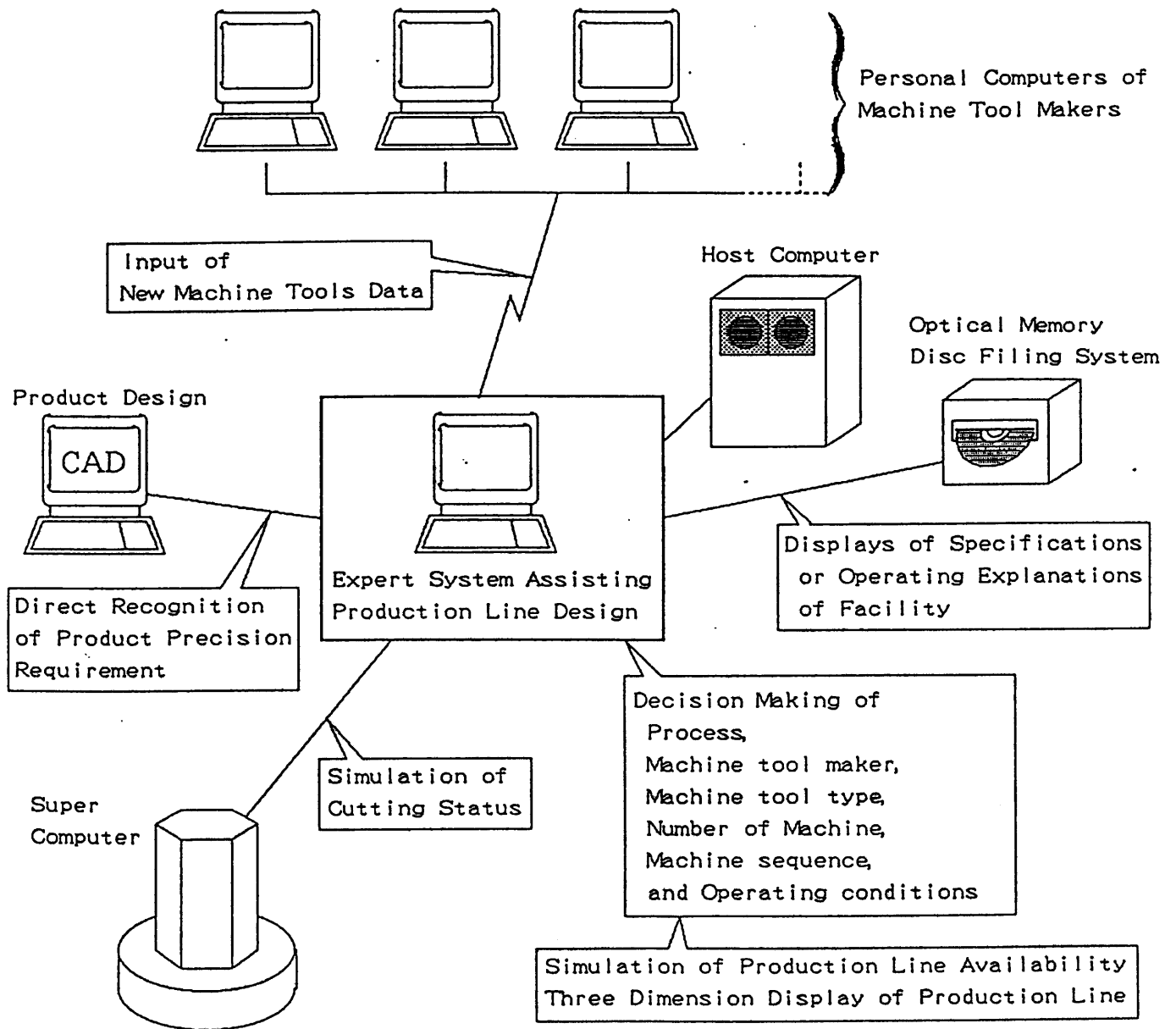


図 3.5 オンライン生産ライン設計システム

3. 3. 未来生産工場⁽⁵⁹⁾

3.3.1. 一個流し生産システム

顧客のニーズを考える時一番ムダのない生産方式は前述の様に1個流しである。そのため自動車部品産業の様に多品種となった多量生産体制では、従来のトランスファマシントypeにフレキシブル性をもたせたフレキシブルトランスファライン(FTL)が主流となるであろう。当然、各工作機械の段取り替え時間を0にするため、製品形状をGT(グループテクノロジー)的な発想の設計にする必要があり⁽⁶⁰⁾、現在すでになりつつある。この様になると作業者の肉眼では判断できない形状の製品が流れる様になり、当然それらの識別が必要となってくる。従来J.I.T方式ではカンバンによる識別が考えられており⁽⁶¹⁾⁽⁶²⁾⁽⁶³⁾、これらはロット単位で生産されるものや、ある程度の大きさに組付けられたワーク、あるいは小さい部品でもパレットにのせて搬送するという形式には適していた。最近ではバーコード方式カンバンも用いられている。しかし部品が1個ずつ流れて来て、さらにその部品がピストンの様に小形の部品の場合にはカンバンを取り付けることができない。そこで今後は部品にダイレクトに情報を記述しそれを各機械の手前で読み取るというダイレクト伝送機能が必要になる。さらに、加工重要部位についてはその加工後の測定をも入力すれば後工程への重要な情報源となる。特に多くの部品が集合する組立て工程では大きな威力を発揮する。即ち、組立て工程の自動化をむずかしくしている選択勘合が不要となるからである。たとえば図3.6に示す組付けを行う時について説明する。この製品はピストン(A)、シリンダ、シム(B)、コンロッド(C)から成り立っている。この組付け工程で重要な精度管理項目は上死点のスキマXである。従来の勘合組付けでは任意の部品A、B、Cを組み付け、その後スキマXを測定し、企画された値に入らなければ部品Bを適当に取り替え、再組み付けする。スキマXが企画値に入るまでこの部品Bの取り替えが行われる。部品Bは通常寸法bの大きさにより数段にレベル分けされている。しかし各部品

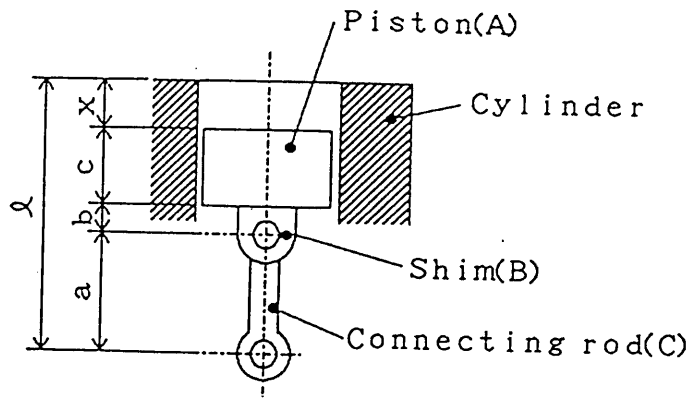


図 3.6 エンジン部分図

に a , b , c , の寸法が記述されておれば, この組立て工程の直前に a , c を読み取り全長 l から a , c 企画値 X を差し引いた値が b になる部品 B を選べは良い。

この様にして自動化が一番むずかしいとされている組付工程も容易になってくる。また, このダイレクト伝送は市場に製品が出てから発生したクレームの原因追求の手段としても使うことができる。特に, 何月何日, どこのラインのどの機械でだれが加工したかまで記述できれば一層効果的である。

3.3.2. 生産状況の予測

従来, 自動車部品工場において生産ラインの稼動状況を把握するために図 3.7 に示す様なアンドン装置を設置し, 現在生産ラインがどうなっているのかをそのラインの作業員, あるいはライン以外の上級作業員(組長)がこのアンドンを見ながら作業にあたる。アンドンは工場の天井に設置され, 図 3.7 を使って説明すると, ライン名称 A Line の機械 L1 が故障のため停止するとアンドンの R が点灯する(この R は赤色電気)。すると作業員は機械 L1 の所へ急いで行き故障の修理を開始する。この時アンドンの電灯 R は点滅に変わる。その他の情報も同様な電灯の ON-OFF により伝達されており, ライン外の上級作業員にも生産ラインの稼動状態が把握できる。

しかし, このアンドンによる情報伝達も事後報告しかできず, さ

らにアンドンを作業者が見なければならないという作業者にとっては受動的な伝達手段である。未来形生産工場では事前に機械停止を察知し、作業者に能動的にその情報を伝達するシステムが必要となる。

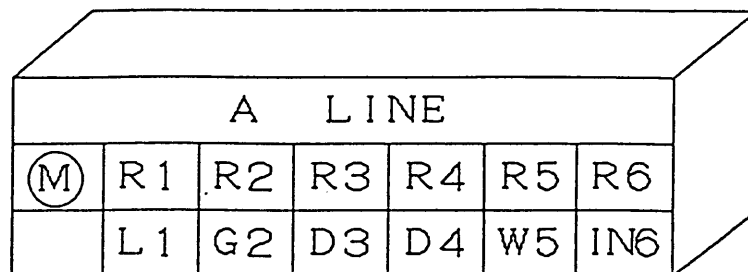


図3.7 アンドン

機械停止に対しては、停止にならない様にコントロールする、まもなく停止する、停止してしまったので早く直すの三つについて対処する必要がある、これらはいずれも機械個々の知能化につながる。例えば故障にならない様にコントロールするにはニューラル・ファジィによる制御が必要となる⁽⁶⁴⁾。工場内は同じ1日のうちでも朝と昼では温度も異なり、また工具の摩耗、といった多くの環境が常に変化している。その中でより高精度な加工をしいられる将来、従来の単なる初期設定されたパラメータをフィードバック制御により工具経路などを補正するだけでは不十分となる。多くの環境のあいまいな変化情報をファジィルールとして表現し、過去の事実データを学習しその時点での最適なメンバーシップ関数を設定し、ファジィ制御を行う。これにより求められた値がフィードバック制御の補正量となる。これによりよりこまかな制御が可能となり、従来制御では不良品が生じやすい高精度製品も精度不良による機械停止が少なくなる。また停止したので早く直すには故障の原因を早く見つけ出すことである。故障診断システムにおける中心的な手法はI F - T H E Nルールと前向き、後向き推論である。また工作機械のコントロールはほとんどシーケンス制御で行われている為、電気系統の故障診断に最も早く利用されるであろう。そして操作盤のC R T画面

上に、機械自身の判断で原因が探索できる場合は前向き推論にて実行しその結果を表示する。ユーザの確認が必要な時はCRT画面を通しユーザとの対話で（後向き推論を実行し）原因を絞り込む。

未来生産工場では、現在すでに存在するものもあるが、10台から数十台の工作機械を1人ないし2人程度の少人数で操業することもまれではない。このような生産工場ではすべての工作機械を見わたすことはできない。

前述のアンドンによる情報伝達方式ももちろん使われるであろうが、これだけでは前述のごとく受身的であり、かつ情報の種類も故障による停止、故障修理中、フルワークによる停止等、数がかぎられる。そこでより多くの情報を作業者に能動的に知らせる無線による情報伝達が重要となる。これは各機械から生じた機械停止の情報、あるいはこれから生じる機械停止の予測等をコントロールルームに集め、そこから無線により作業員、あるいはライン外上級作業員に音声によって伝達する。例えば、「SラインのN4機械が故障により停止。自己診断によりリレーNo. 104が不良。」、「Hラインへの投入素材量が不足する。準備せよ。」という様に伝達する。作業員はヘッドホンを常時身につけてコントロールルームからの指令を常に聞き、その指示に従う。この無線は作業員への伝達のみでなく工場内を動く無人車のコントロール指示にも使われる。

以上の内容をまとめると未来工場は図3.8に示す様になる。

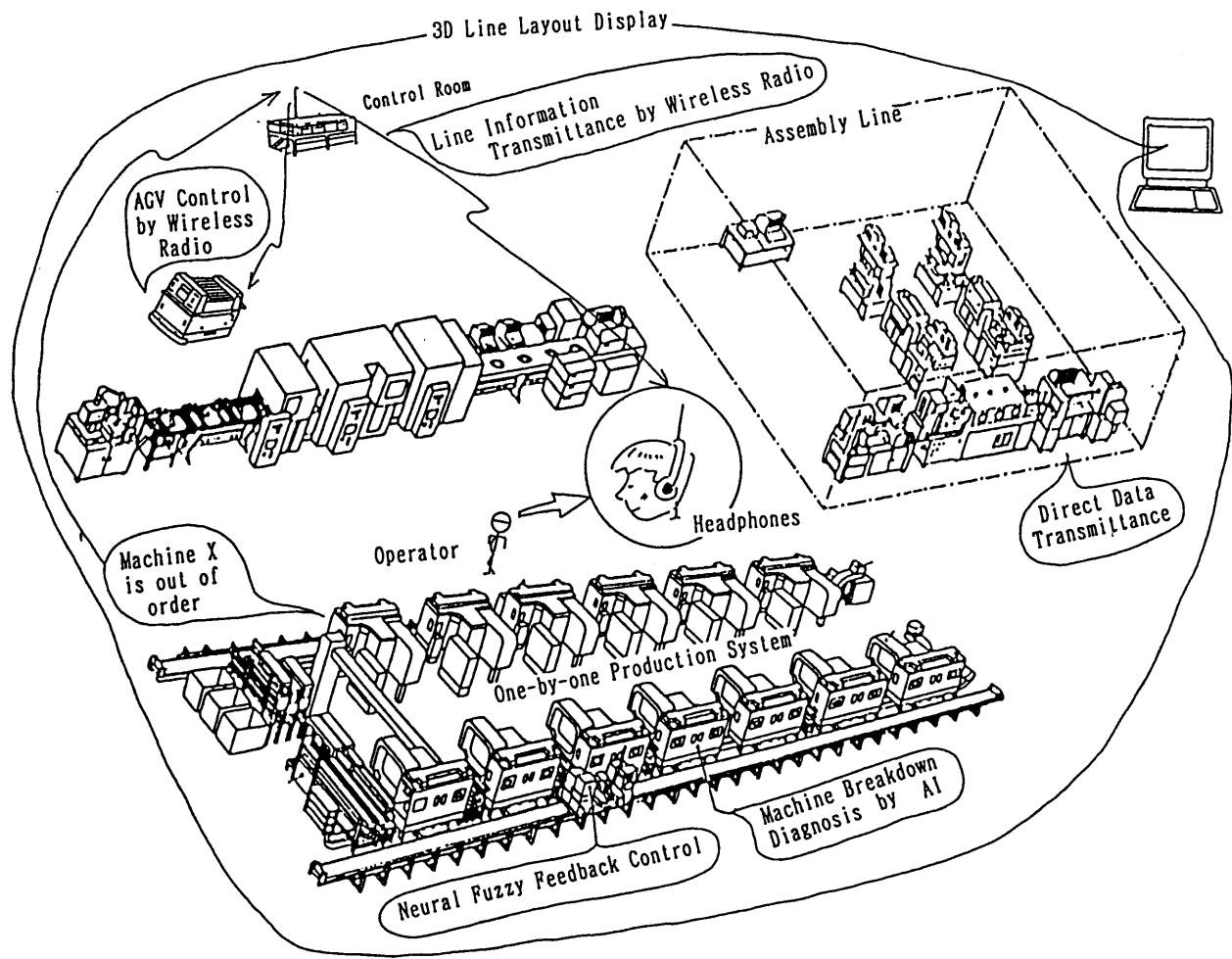


图 3.8 未来工場

4. 生産ライン設計支援エキスパートシステム

4.1. 生産ライン設計における設計者の推論過程⁽⁶⁵⁾

設計者の推論過程を解析すると図4.1の様になる。まず第1に製品図面を見て、要求される製品精度を満足できる工程名は何であろうかと考え、自分の知識の中から工程に関するデータを検索し工程名を決定する。工程名が決定すると第2に、決定した工程名のそれぞれについて工程を実現できる設備メーカーはどこであろうかと考え、自分の知識の中から設備メーカーに関するデータを検索し設備メーカーを決定する。設備メーカーが決定すると第3にその設備メーカーが販売している機械のうちでどの機械型式のものを選べばよいかを決定する。その時、やはり自分の知識の中から各機械型式に関するデータを検索する。続いて切削加工条件などを検討しながら機械のシーケンス決定と機械台数の決定などを行う。この様に、従来の工程設計は設計者個人の知識、即ち過去に自分が取り扱った機械の加工精度や加工条件、チャック方法等を思い出し製品品質を満たす機械・工程を選択するのである。この知識は個人差が大きく、経験の多い設計者は多くの機械を取り扱っているので、多くの設備メーカー、機械型式、加工条件などを知っており、他方経験の少ない設計者はそれが少ない。設計者によって、選定機械が異なり、これにより生産ラインの信頼性に影響を与えるばかりでなく、設計時間も大きく異なる。

4.2. 知識表現

4.2.1. 階層知識表現⁽⁶⁶⁾⁽⁶⁷⁾

知識表現としては主としてフレーム型知識表現⁽⁶⁸⁾を用いる。各フレームは図4.2の様な階層関係構造を有する。この構造は前章の工程設計者の推論過程に基づき、上位から下位に向って工程名、設備メーカー名、機械型式名という3階層構造とする。そしてこの階層関係は一見すると無関係の様ではあるが、各階層の機能の面を考慮ることによって抽象-具体関係を形成している⁽⁶⁹⁾。即ち、上位に

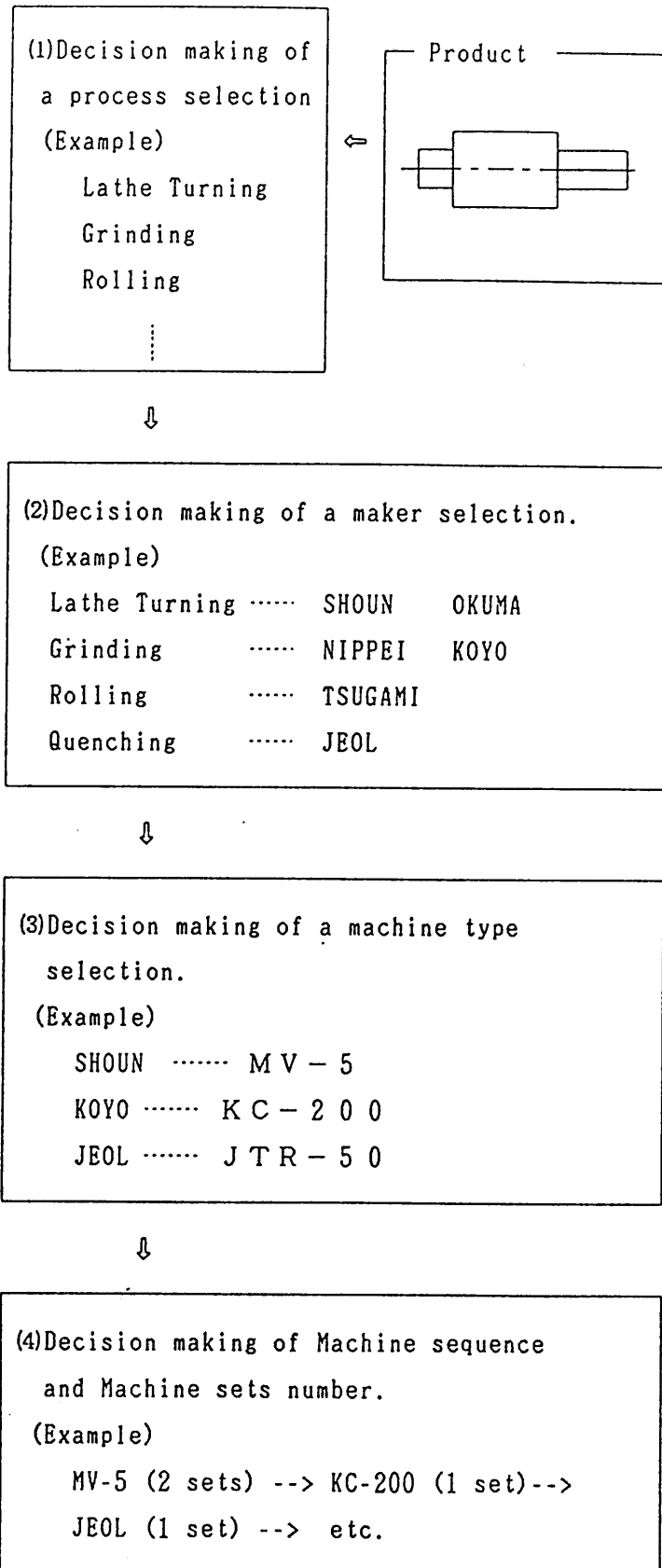


図 4.1 シャフト形状部品の工程設計推論

位置する工程をその下位として具体的に適用できる設備メーカを位置づけ、さらにその下位にはこの設備メーカが販売している具体的な機械型式を置いている。この様な階層関係にすることで各機械型式は上位の設備メーカ、工程に関する知識を継承することができ、インヘリタンス⁽⁷⁰⁾の概念が利用でき、推論制御の柔軟性をもたらすことができる。

次に各フレームについて説明する。工程名のフレームは、シャフト加工に必要な工程としてセンタリング工程，旋削工程，研削工程等の加工工程名称をとり，その各々のSLOT-VALUEとしてCHILDRENスロットにより，下位概念の設備メーカ名をVALUEとして記述する。図4.3は図4.2のProcess-Aの具体例として旋削工程（SENSAKU）を考えこの表現を記述した。即ち，CHILDRENスロットにより下位概念として設備メーカ名，昌運工作所（SHOUN），菅鉄工所（SUGA）を表す。その他に種々の加工条件として公差（KOSA），送り量（CUT-FEED），刃物ノーズ半径（NOSE-R），スピンドル回転数（RPM），工具（CUTTER）をスロットにその値をVALUEとしてそれぞれ15ミクロン，0.23ミリ/rev，0.8ミリ，2300rpm，超硬を記述した。

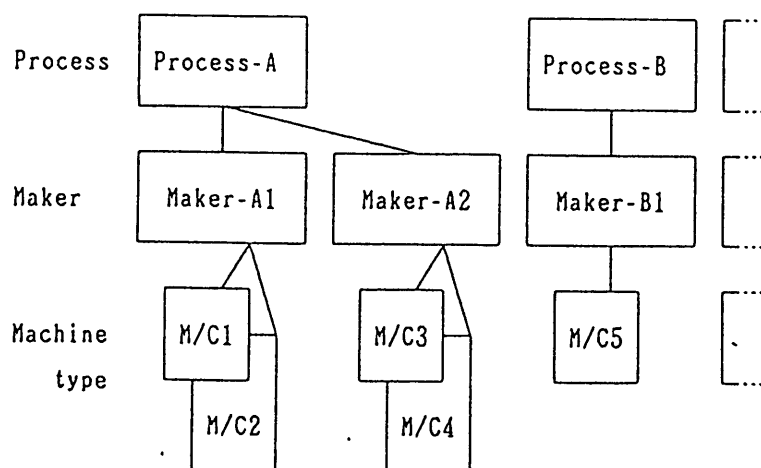


図4.2 フレームの階層関係

```

(SENSAKU
  (CHILDREN (VALUE (SHOUN) (SUGA)
                (STAR)))
  (KOSA (VALUE (15 MICRON)))
  (CUT-FEED (VALUE (+0.2300000-+00
                    "ミリ/REV"))))
(NOSE-R (VALUE (+0.8000000-+00 MM)))
(RPM (VALUE (2300 RPM)))
(CUTTER (MATERIAL ("チヨウコウ・チップ"))))

```

図4.3 工程フレームの記述例を入れる

次に、設備メーカー名のフレームは、例えば上位概念の旋削工程を実現できる設備メーカー（昌運工作所，菅鉄工所等のメーカー名）を記述する。そして，S L O T - V A L U Eとして，そのメーカーの加工精度に関する経験値を記述している。図4.4は図4.2のM a k e r - A 1の具体例として昌運工作所（S H O U N）を考え，この表現を記述した。即ち，図4.2の階層関係におけるP r o c e s sを表すスロットとしてA K Oを記述し，そのV A L U Eに旋削工程（S E N S A K U）を記述した。また，そのメーカーの加工精度に関する経験値としてS L O Tに公差（K O S A），面粗度（A R A S A）真円度（S H I N E N），円筒度（E N T O U）などを記述し，V A L U Eとしてそれぞれ30ミクロン，12Z，20ミクロンを記述する。

```

(SHOUN (AKO (VALUE (SENSAKU)))
  (GAIKEI (ACCURACY (30 MICRON)))
  (ARASA (VALUE (12 Z)))
  (SHINEN (VALUE (20 MICRON)))
  (ENTOU (VALUE (20 MICRON)))
  (TEIPA (VALUE (+0.1000000-+00 N")))
  (N-KOSA (VALUE (100 MICRON)))
  (NAGASA (VALUE (300 MM)))
  (C-MEN (VALUE (+0.2000000-+00 C)))
  (C-M-KOSA (VALUE (100 MICRON)))
  (CHILDREN (VALUE (MV-5))))

```

図4.4 設備メーカー名フレームの記述例

機械型式名のフレームは上位概念の設備メーカーが、販売している機械型式名を記述する。図4.5は図4.2のM/Cの具体例として機械型式AT-200を考え、この表現を記述した。即ち、図4.2の階層関係における上位概念Makerを表すAKOスロットのVALUEに菅鉄工所(SUGA)を記述した。また、機械の加工前ワーク(素材)として\$WORKをSLOTに記述し、そのFACETには機械が精密に加工できるように必要な素材の形状に関する項目を記述する。

即ち

SUPPORT (ワーク加工時の支持部)

CRAMP-BU (ワーク加工時のクランプ部)

NAGASA (ワーク加工時に必要なクランプ部の
長手方向長さ)

NAGASA-KOSA

(ワーク加工時に必要なクランプ部の
長手方向長さ公差)

MENSODO (ワーク加工時に必要なクランプ部の
面粗度)

STOPPER-BU (ワーク加工時の加工基準)

の6項目であり、VALUEはこのFACETの各値である。また、機械加工後の状態としてSLOTにAFTER-CUTを記述しVALUEとして加工部位名称、加工精度名称を記述する。例えば、

GAIKEI (外径)

ENTODO (円筒度)

C-MENTORI (C面取)

さらに、このVALUEをSLOTとして、このSLOTの数量値、経験値をVALUEに記述する。CUT-TIME, L-TIME, SL-TIMEはそれぞれ機械の純切削時間、ローディング・アンローディングの様なワーク移動時間、刃具の早送り・エアカット等の時間を意味し、経験値をそのVALUEに記述する。

```

(AT-200
  (AKO (VALUE (SUGA)))
  ($WORK (SUPPORT (CENTER-ANA))
    (CRAMP-BU (GAIKEI))
    (NAGASA (7 MM))
    (NAGASA-KOSA (+0.4000000
      -+00 MM)))
    (MENSODO (50 S))
    (STOPPER-BU (TANMEN)))
(AFTER-CUT
  (VALUE (GAIKEI)
    (R-DANSA)
    (TEIPA)
    (ENTOUDO)
    (SHINENDO)
    (MENSODO)
    (C-MENTORI)))
(GAIKEI (ACCURACY (20 MICRON)))
(NAGASA (VALUE (250 MM)))
(NAGASA-KOSA (ACCURACY
  (+0.1000000-+00
    MM)))
(SHINENDO (VALUE (8 MICRON)))
(C-MENTORI (VALUE (+0.5000000
  -+00)))
(R-DANSA (VALUE (NAMERAKA)))
(ENTOUDO (VALUE (20 MICRON)))
(MENSODO (VALUE (+0.1250000-+02
  Z))))
(CUT-TIME (IF-NEEDED (ACT1)))
(L-TIME (VALUE (9 SEC)))
(SL-TIME (VALUE (5 SEC)))
(MAX-RPM (VALUE (3500 RPM)))

```

図 4.5 機械型式名のフレーム例

4.2.2. 意味ネットワーク型知識表現⁽⁷¹⁾⁽⁷²⁾⁽⁷³⁾

生産ライン設計で扱う知識には工作機械の特徴，即ち，機能，構造をはじめとして多くのデータ，知識が含まれている。しかし複雑な対象物体である機械型式の知識を1つのフレームで表現するには記述が複雑となり，設計者の知識を整然と表現することがむずかしい。そこで，機械型式に関する知識は機械の構造や機能にも詳細に分割してそれぞれフレーム表現し，それらの間もK I N D - O F 関係，P A R T - O F 関係で位置付けした意味ネットワークで表現する⁽⁷⁴⁾。この一例を図4.6を使って説明する。図4.6の実線矢印は構成要素の関係（P A R T - O F）を，一点鎖線矢印は抽象－具体関係（K I N D - O F）で示している。例えば，機械型式S T S - 1には主軸頭（H E A D S T O C K - S T S - 1），往復台の（C A R R I A G E - S T S - 1），・・・，効用度（M U F - S T S - 1）から成り立っている。ここで効用度以外の構成要素は機械の機構に関して分解したモデルであり，効用度は機械の機能面に関して分解したモデルである。そしてこの機構に関する構成要素はさらに小さな構成要素に分解できる。例えば往復台に関して説明すると送り機構部（F E E D - S T S - 1），工具（T O O L - S T S - 1），刃物台（T O O L R E S T - S T S - 1）から成り立ち，さらに工具は機能面から考えて加工条件（C O N D I - S T S - 1）から成り立ち，という様に詳細に記述する。その他の機械型式S T - 2 0 0，A T - 2 0 0についても同様である。ここで図4.6の機械型式S T S - 1，S T - 2 0 0，A T - 2 0 0・・・は上から下へ配列してあるが，この配列順には大きな意味を持つ。即ち，この配列の下方にいく機械型式ほどニュータイプの機械型式であるということである。言い換えると設備メーカー，菅鉄工所（S U G A）の販売する基本機械はS T S - 1であった。そしてこのS T S - 1をベースにS T - 2 0 0をさらにA T - 2 0 0を開発したものである。これはオリジナルから進化したタイプと考えられ，抽象－具体関係の概念が適用できる。この抽象－具体関係を機械の機構・機能に分解

した知識にも適用する。即ち，STS-1の機構・構造知識の構成フレームであるHEADSTOCK-ST-1，CARRIAGE-ST-1，・・・，さらに，これらの構成フレームCHUCK-ST-1，FEEDMECHA-ST-1，TOOL-ST-1，・・・，を上位概念と位置付けその下位概念としてST-200の詳細知識の構成フレームであるCHUCK-ST-200等をまたさらにその下位概念としてAT-200の構成フレームであるCHUCK-AT-200等を位置付ける。さらにこれらの概念の最上位として工程名である旋削工程(LATHE TURNING)を位置付ける。工程を最上位に位置付けることで，設備メーカーが2つ以上の上位概念工程を持つ場合でも，機械型式がどちらの工程の特徴を継承しているのかが判断できる。この様に，機械の各機構・機能部位に分解したフレームに抽象-具体関係を適用することにより，最新機械型式であるAT-200だけの特徴知識はAT-200の構成フレームに記述しベースモデルから受け継がれた特徴知識はそのベース機械に記述すればよい。この様に表現することにより，知識のインヘリタンス概念が使えるだけでなくプログラム長さも短縮でき，複雑な対象物体である工作機械でも比較的スッキリして知識が把握し易くなる。次にこの詳細に分割された知識の中の値の探索方法について説明する。即ち，この知識を因果ネットワークととらえ，各構成フレームをノード，構成要素関係(図4.6の実線矢印)をアークとした木構造と考えた時，高レベルのノードをすべて探索してから次の下のレベルを探索する横型探索を行い，値が探索されるまで知識の深層へと下がっていく。例えば機械型式STS-1のある値を探索する時，はじめにHEADSTOCK-ST-1，CARRIAGE-ST-1，等の構成フレームを探索する。これらフレームに値がなければCHUCK-ST-1，TOOL-ST-1，等の構成フレームを探索する。この様に順次下層構成フレームへと探索を繰り返す。もちろん各フレームへアクセスされた場合のフレーム内の知識探索は，Winstonによるフレ

ーム知識推論に準じて行なわれ，付加手続き推論なども実行する。
 図4.7， 図4.8， 図4.9 に機械型式STS-1の記述例を示す。

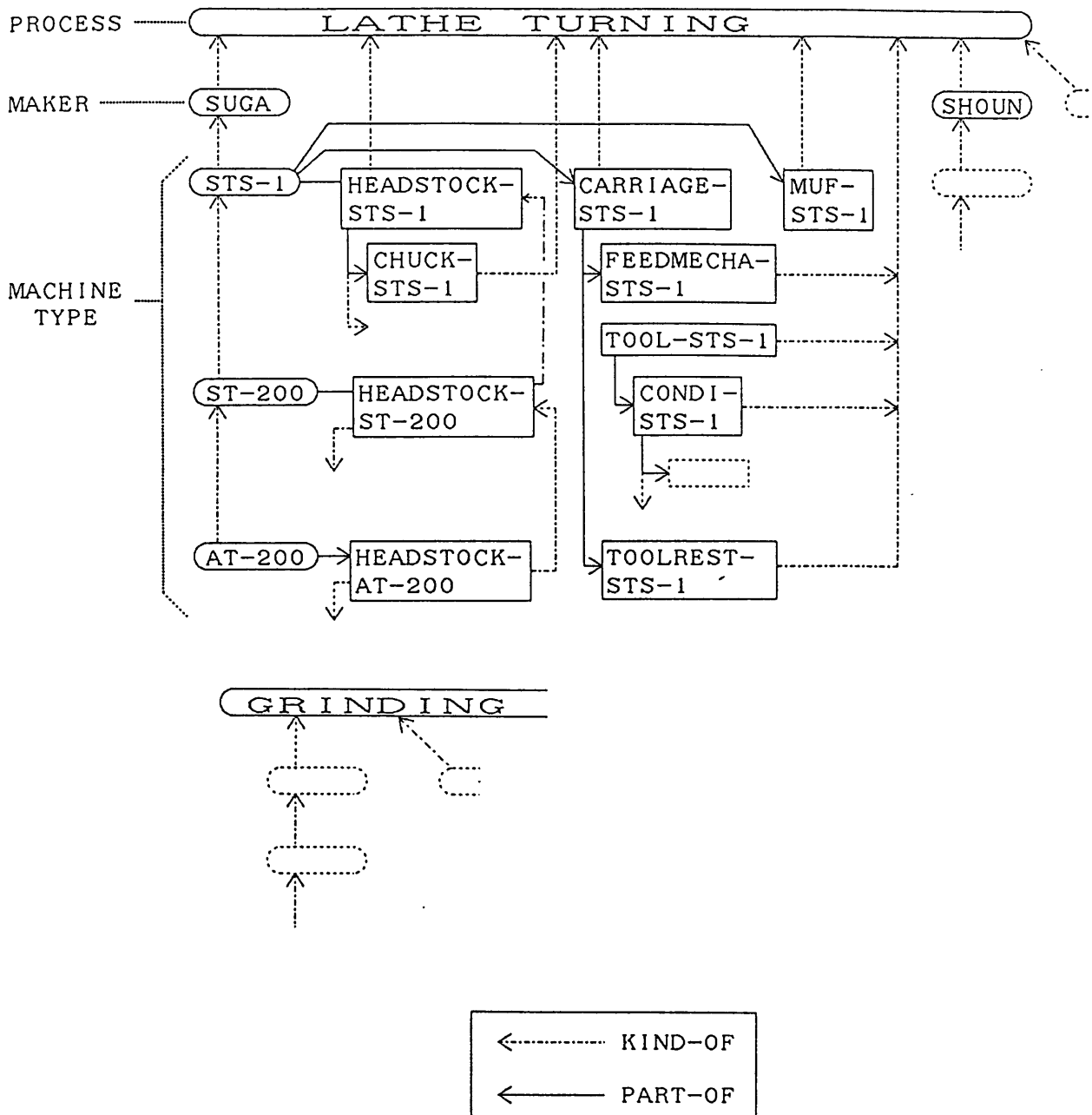


図4.6 意味ネットワーク知識表現

```

'STS-1 ' (STS-1 (AKO (VALUE (SUGA)))
(MAKERNAME (VALUE (SUGA)))
(PRICE (VALUE (800.0 ¥))) ; ¥= 万円
(M//C-AREA (IF-NEEDED
((CAL-M//C-AREA 'STS-1))))
(M//C-WIDTH (VALUE (2298.0 MM)))
(M//C-DEPTH (VALUE (1755.0 MM)))
(RCLEVEL (IF-NEEDED ((FUZZY-DO
'EMPLOYMENT-RC 'SERVICEMAN-RC))))
(EMPLOYMENT-RC (VALUE (PM)))
(SERVICEMAN-RC (VALUE (ZO)))
(CHILDREN (VALUE (HEADSTOCK-ST5-1)
(CARRIAGE-ST5-1)
(COOLENT-ST5-1)
(TAILSTOCK-ST5-1)
(BED-ST5-1)
(IMF-ST5-1))))
'FRAME)
'HEADSTOCK-ST5-1 '(HEADSTOCK-ST5-1
(AKO (VALUE (SENSAKU)))
(CHILDREN (VALUE (CHUCK-ST5-1)))
(MAX-RPM (VALUE (2400.0 RPM)))
(SPDL-TYPE (VALUE (HORIZEN)))
(SPINDLE-MOTOR (VALUE (NIL))))
'FRAME)
'CHUCK-ST5-1 '(CHUCK-ST5-1 (AKO (VALUE (SENSAKU)))
(TYPE (VALUE (COLLET))))
'FRAME)
'CARRIAGE-ST5-1 '(CARRIAGE-ST5-1
(AKO (VALUE (SENSAKU)))
(CHILDREN (VALUE (FEED-MECHA-ST5-1)
(TOOL-ST5-1)
(TOOL-REST-ST5-1)))
(Z-STROKE (VALUE (220.0 MM)))
(X-STROKE (VALUE (45.0 MM)))
(RELATION (PR (TOGETHER TOOL COOLENT))))
'FRAME)
'FEED-MECHA-ST5-1 '(FEED-MECHA-ST5-1
(AKO (VALUE (SENSAKU)))
(FEED-MECHA (VALUE (OIL)))
(CONTROL (VALUE (OIL-COPY))))
'FRAME)

```

図4.7 意味ネットワーク記述 (その1)

```

'TOOL-STS-1 '(TOOL-STS-1 (AKO (VALUE (SENSAKU)))
                        (CHILDREN (VALUE (C-CONDI-STS-1)))
                        (TYPE (VALUE (3-ANGLE-CHIP)
                                     (4-ANGLE-CHIP)
                                     (ROHZUKE))))
              (CUTR-MTRL (VALUE ("チョウコウ")))
              (CUT-FEED (VALUE (0.23 ミリ/REV)))

              (RPM (VALUE (2300.0 RPM)))
              (NOSE-R (VALUE (0.8 MM))))
'FRAME)
'TOOL-REST-STS-1 '(TOOL-REST-STS-1
                  (AKO (VALUE (SENSAKU)))
                  (TYPE (VALUE (KUSHIBA)))
                  (PIECES (VALUE (3.0))))
'FRAME)
'COOLENT-STS-1 '(COOLENT-STS-1
                (AKO (VALUE (SENSAKU)))
                (TYPE (VALUE (DRY))))
'FRAME)
'TAILSTOCK-STS-1 '(TAILSTOCK-STS-1
                  (AKO (VALUE (SENSAKU)))
                  (CHILDREN (VALUE (CENTER-STS-1))))
'FRAME)
'CENTER-STS-1 '(CENTER-STS-1 (AKO (VALUE (SENSAKU)))
                              (SHINKAN (VALUE (600.0MM)))
                              (DIAMETER (VALUE (NIL))))
'FRAME)
'BED-STS-1 '(BED-STS-1 (AKO (VALUE (SENSAKU)))
                       (TYPE (VALUE (SLANT-BED))))
'FRAME)
'IMF-STS-1 '(IMF-STS-1 (AKO (VALUE (SENSAKU)))
                       (COST (IF-NEEDED (CAL-MUF)))
                       (AREA (IF-NEEDED (CAL-MUF)))
                       (SERVICE (IF-NEEDED (CAL-MUF)))
                       (TECHNO (IF-NEEDED (CAL-MUF)))
                       (RECORD (IF-NEEDED (CAL-MUF))))
'FRAME)
'C-CONDI-STS-1 '(C-CONDI-STS-1
                (AKO (VALUE (SENSAKU)))
                (GAIKEI (ACCURACY (25.0 MICRON)))
                (CHILDREN (VALUE ($WORK-STS-1)(#WORK-STS-1))

```

図4.8 意味ネットワーク記述 (その2)

```

' #WORK-STS-1 ' (#WORK-STS-1
    (AKO (VALUE (SENSAKU)))
    (#CUT (VALUE (GAIKEI)(NAGASA)(NAGASA-KOSA)
                (R-DANSA)(TEIPA)(ENTOUDO)
                (SHINENDO)(ARASA )
                (C-MENTORI)));カコウ テキル ハ ショ
                ; マタハ エラレル セイト・メイ
    (GAIKEI (ACCURACY (20.0 MICRON)));エラレル ガ イケイ
                ; コウサ ノ アタイ
    (NAGASA (VALUE (250.0 MM)))
                ; カコウ テキル ナカテ・ナカサ ノ アタイ
    (NAGASA-KOSA (ACCURACY (0.1 MM)))
                ; カコウ テキル ナカテ・ナカサ ノ ハラツキ ノ アタイ
    (R-DANSA (VALUE (NAMARAKA)))
                ; カコウ テキル R・タンサ ノ セイト・チ
    (ENTOUDO (VALUE (20.0 MICRON)))
                ; カコウ テキル エントウト ノ アタイ

    (SHINENDO (VALUE (8.0 MICRON)))
                ; カコウ テキル シンイント ノ アタイ
    (C-MENTORI (VALUE (0.5 )))
                ; カコウ テキル C・メントリ ノ アタイ
    (ARASA (VALUE (12.5 Z)))
                ; カコウ テキル メンアラサ ノ アタイ
    (CUT-TIME (IF-NEEDED (ACT-SENSAKU)))
                ; シュン・カコウ シカン
    (SL-TIME (VALUE (5.5 SEC)))
                ; ハヤ・オクリ+エア・カット ノ シカン
    (L-TIME (VALUE (9.0 SEC)))
                ; ローディング+アン・ローディング ノ シカン
' FRAME)
' AT-200 ' (AT-200 (AKO (VALUE (STS-1)))
    (MAKERNAM (VALUE (SUGA)))
    (PRICE (VALUE (1400.0 ¥)))
    (M//C-AREA (IF-NEEDED ((CAL-M//C-AREA
                'AT-200) )))
    (M//C-WIDTH (VALUE (2310.0 MM)))
    (M//C-DEPTH (VALUE (1530.0)))
    (RCLEVEL (IF-NEEDED ((FUZZY-DO
                'EMPLOYMENT-RC 'SERVICEMAN-RC))))
    (EMPLOYMENT-RC (VALUE (NB)))
    (CHILDREN (VALUE (HEADSTOCK-AT-200)
                (CARRIAGE-AT-200)
                (IMF-AT-200))))

```

図4.9 意味ネットワーク記述 (その3)

5. 生産ライン設計支援エキスパートシステムの推論方法

5.1. 推論過程の解析

熟練設計者が行っている設計過程を解析する⁽⁷⁵⁾。熟練設計者は、製品図または部品図の精度値に注目してこれを満足する工程を考え出す。これは既設工作機械を対象にした従来の工程設計と同じ過程と考えてよい。ところが生産ライン設計では工作機械を新たに設置することが目的の1つであるために、精度以外の項目にも着目しなければならない。これは即ち、工作機械の構造・機能の面と購入基準の面の2種類の検討を要するということである。具体的には、主軸頭が堅型か横型かあるいは送り機構が油圧かNCかという様に該当する工作機械について要求仕様との詳細な構造・機能比較をおこない、工作機械を厳選する。続いて設備価格、設備面積、設備メーカーサービス体制、設備メーカー技術力、納入実績という複数の評価項目を総合的に判断し最終的に1台の工作機械を決定する。この様に生産ライン設計には新たに2種類の検討を要する。この2種類の検討は次に示す意志決定問題に分類できる。前者は評価項目に対しYES-NOで判断を下すことができる意志決定である。後者は選定された工作機械を一律にながめ、複数ある購入基準それぞれについて大変良い、あるいは少し劣るという判断を下す。これは競合する複数の評価項目に対する意志決定である。

生産ライン設計を支援するエキスパートシステムを開発するには、この2種類の意志決定問題を取り扱わなければならない。本論文ではこれを解決するために消去法推論とひき続き多属性効用関数の値を比較するという二段階の推論過程をもつ多目的評価推論を提案する。

5.2. 多目的評価推論⁽⁷⁶⁾⁽⁷⁷⁾

5.2.1. 消去法推論

評価項目に対しYES-NOで判断を下すことができる意志決定問題には以下に示す消去法推論が有効である。消去法推論は加工精

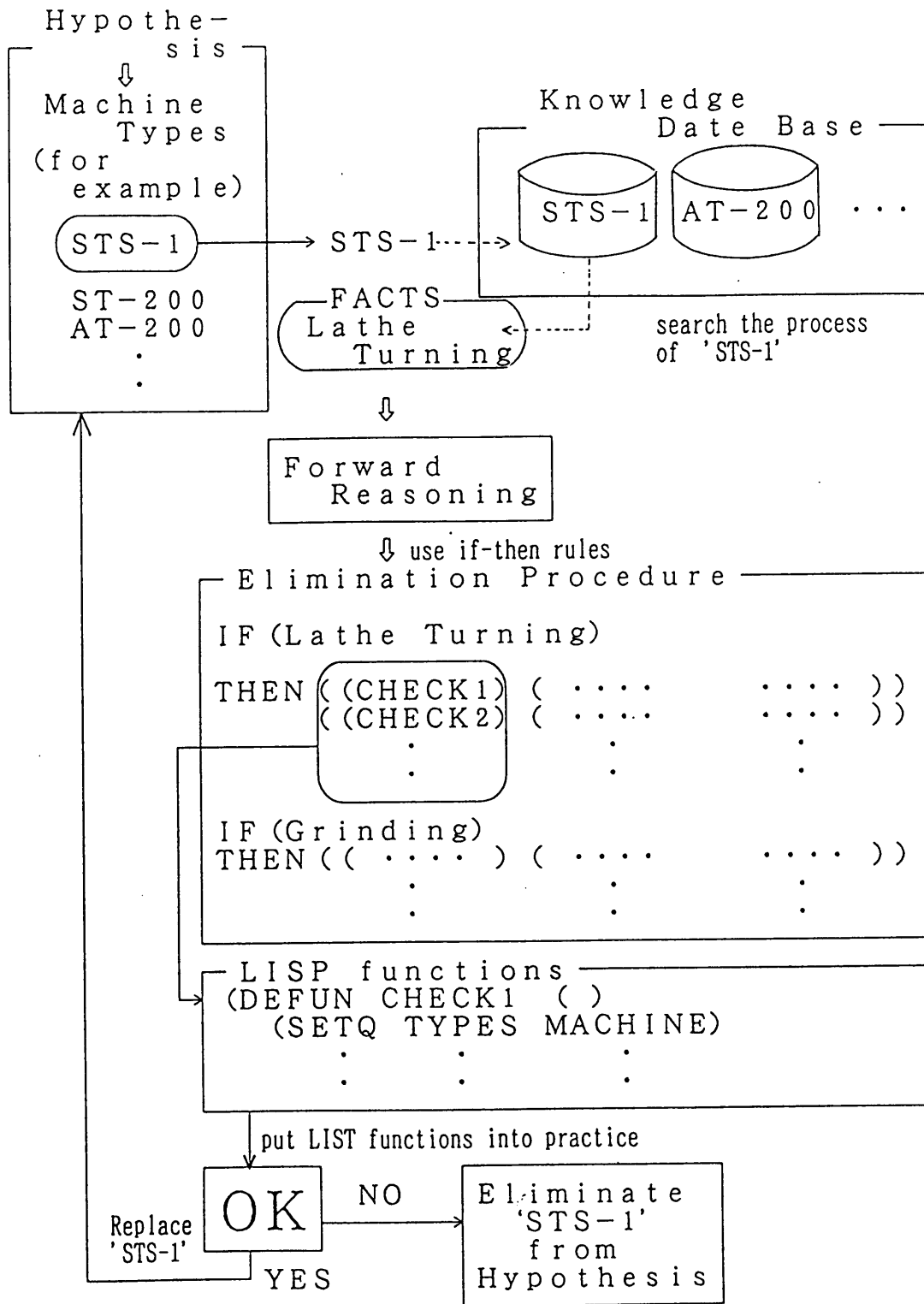


图 5.1 消去法推論

この様にして1台の機械型式に対し、該当するT H E N部の各実行手続きを順番に実行していき、1つでも不相当と判断した場合は残りの実行手続きを省略し終了する。そしてその時の機械型式についてすべて同様に処理する。

消去法推論は以上の様に機械型式1台ずつについての構造・機能に関する詳細な検討を行いうる。これは消去手続きを工程ごとにI F - T H E Nルールで表しているため、その内容が把握しやすく、さらにその後の手続きの追加も容易となる。またこの時必要な知識はネットワーク知識表現により機械型式にアクセスするだけでよくプログラムの冗長性を回避できる。

5.2.2. 多属性効用関数値比較法

前節の消去法推論によって仮説の中に存在する不相当な機械型式を消去し、機械型式を絞り込んでいったにもかかわらず、いまだ1工程1型式に決定することは実際にはほとんどない、そこで、最終的な判断を下すためにはさらに以下に示す多属性効用関数を用いて購入に関する評価項目を比較することが必要である。

購入に関する評価項目は、設備価格、設備面積、設備メーカーサービス体制、設備メーカー技術力、設備メーカー納入実績の5項目である。この5項目は互いに競合する評価項目である。そこでこの様な評価項目に対して次に示す多属性効用関数値比較法を構成する。

この推論法は、購入評価項目を属性とした多属性効用関数を各工程ごとに求める。そしてこの各効用関数を用いて工程ごとに仮説として残っている機械型式の評価を以下の様に総合的に行う。

はじめに工程の任意の機械型式のフレームにアクセスし、その効用度フレームの付加手続きを実行させ、購入に関する5項目それぞれ効用関数を求める。この効用度フレームはすべての機械型式に機能知識として記述されているため、どの機械型式からアクセスしてもよい。図5.2に示す様に効用度フレーム(M U F - S T S - 1)は5項目それぞれ求める付加手続きデモンとして記述されており、1項目ずつ求めていく。この付加手続きの具体的実行はL I S P関

数で記述されたプログラムを実行して行う。このプログラムでは多属性効用関数の解法，即ち購入評価項目に関する最良値，最悪値，确实同値額を求めることで効用関数を決定する⁽⁷⁸⁾⁽⁷⁹⁾⁽⁸⁰⁾。最良値と最悪値は工程すべての機械型式にアクセスし，購入に関する評価項目の特性値を検索して，このうちの最良と最悪をそれぞれ最良値，最悪値とする。例えば評価項目が設備価格ならば，各機械型式の見積金額を，設備メーカー納入実績ならば，実績の内容を数段にレベル分けし，そのレベル値を消去法推論の時に実施したPART-OF，あるいはKIND-OFを使った探索法にて求める。确实同値額は，あらかじめ熟練者の知識をIF-THENのルール型知識として記述し，前向推論にて求める。もし，この确实同値額をインタビュ形式で求めるならば，工程数がN個，購入評価項目がn個ある場合N×n回のインタビュが必要となる。しかし本システムでは推論により求まるため処理時間が格段に減少できる特徴がある。さらに対象ユーザが未熟練者の場合のインタビュによる不确实さが緩和される利点も有する。

次に再び工程のすべての機械型式にアクセスして特性値を呼び出し，これを求めた購入評価項目ごとの5つの効用関数に代入する。これにより各機械形式に関して5つの購入評価項目ごとの効用関数が決定する。この値はもちろん機械型式ごとにその効用度フレームへ新しい知識として記述する。これにより後で再びこの知識を利用する場合に前述の付加手続きを再実行することなく，容易に探索できる。

最後に，購入評価項目間の重要度をユーザに問いかけ，その比率パーセント値をスケール定数とする。このスケール定数と効用関数値とを用い5項目の多属性効用関数値が機械型式ごとに求まる。この値の最大の機械型式がその工程を実現する最適機械型式と判断される。

以上の様に機械型式を構成する効用度フレームに記述したデーモンを駆動してはじまる多属性効用関数値比較法は，従来企業内では

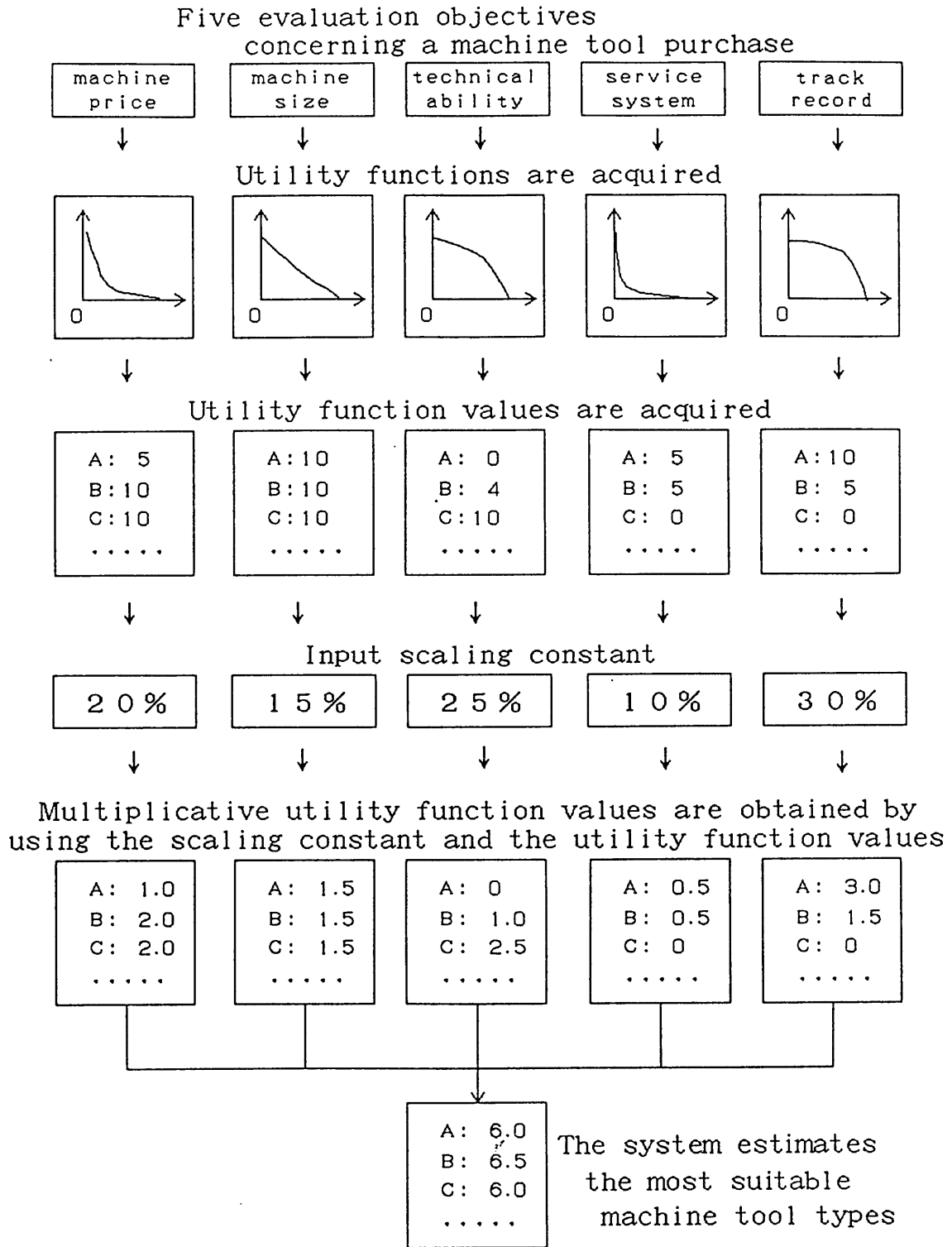


図5.3 多属性効用関数値比較法の処理手順

6. あいまい知識のフレーム表現⁽⁸¹⁾⁽⁸²⁾

6.1. あいまい知識の体系化

多目的評価推論の過程で用いられる熟練者のノウハウの多くはフレーム型知識表現によって記述できる。たとえば、設備価格の場合、(COST (VALUE (5000万円)))、また設備面積の場合、(M/CAREA (IF-NEEDED (CAL-AREA)))という様に記述する。この様に定量値と付加手続きデーモンの2種類の値記述により多くの熟練者のノウハウは表現できる。ところがノウハウの中には定量的な値として記述できるものばかりでなく、非定量的即ちあいまい性を含んだ知識も多く混在する。このため上述の2種類の記述によるフレーム概念だけではあいまい知識を有効に利用できない。即ち、あいまい知識をあいまい表現のまま、あるいは定量値に変換した形で、これをデータとして利用できる知識構成が求められる。そこで定量的知識とあいまい知識を同じ概念で表し、あいまい知識も定量知識に変換できる4種の知識構成を以下の様に整理した。①クリस्प値 …… スロットの値が定量値の場合、その値をフレームに記述。②付加手続きデーモン …… スロットの値はクリस्प値であるが陽にその値がもとまらない場合。③あいまい値 …… スロットの値があいまいの場合、そのあいまい値をそのままフレームに記述。④あいまい知識の付加手続きデーモン値 …… スロットの値は本来あいまい値であるが、陽にその値が求まらない場合。①と②はフレーム表現として広く使われる。③は例えばサービスマンの態度に関する知識として非常に良い場合、(SERVICEMAN (VALUE (PB)))と表わす。PBはPOSITIVE BIGの略で非常に良いに対応した略語である。④は複数のあいまいな知識を考慮することで判明するあいまいな知識に対して有効となる。例えば図6.1に示す様に知りたい知識Aはこの知識Aの値を決定する根拠あるいは背景となる別の知識群を考慮に入れて総合評価することで判断される知識である。また、この

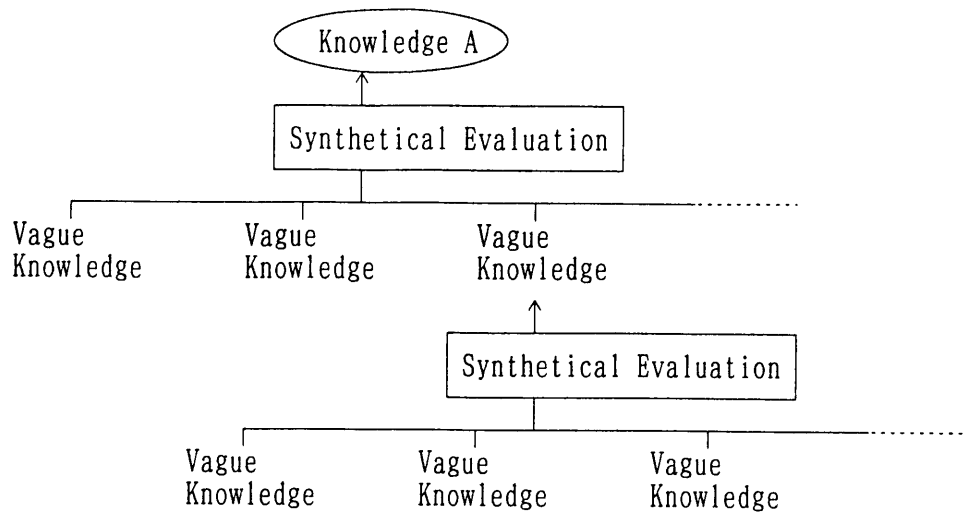


図 6.1 あいまい知識の概念構成

Person- ality Distance	NB	NM	ZO	PM	PB
	NB	NM	ZO	PM	PB
NB	NB	NM	PM	PB	
NM		NM	PM	PB	
ZO	NB	NM	ZO	PM	PM
PM			PM	PM	
PB			PM	PB	

図 6.2 あいまい知識のルール

知識群の中のいくつかはやはり直接あいまい値を表現できていない知識である。この種の知識に関しては同様にこの知識に影響を与える別の知識群から総合評価を与えられて決定される。この様にあいまい知識の付加手続きは③のあいまい値を利用した木構造を構成する。この概念構成はQC活動で設計者が慣れ親しんでいる特性要因図の木構造に類似しているため、概念構成の作成も特性要因図の作成と同じ要領で行えば設計者から抵抗なく知識を得ることができる。また総合評価としてファジィ推論⁽⁸³⁾⁽⁸⁴⁾を行えば知りたい知識Aは定量値として求めることができる。この手順を次に述べる。

1. アクセスされたフレーム内では横型探索により現在探している属性名と同じ名称のスロット名を探索する。スロット名がない場合、KIND-OF関係、PART-OF関係を用い上位、下位のフレームにアクセスし、スロットが見つかるまでアクセスを繰り返す。

2. スロット名が探索されると、その値を呼び出す。このアクセスが第1回目の場合、付加手続きデーモン値が呼び出される。

3. 呼び出されたデーモン値はLISP関数とその引き数のリストとなっており、この引き数を使ってLISP関数を実行する。この時引き数名と同名のスロット名のあいまい値を探索するためフレームに再アクセスする。探索されたあいまい値は事実集合体として保留する。

4. 属性ごとに図6.2に示す様なファジィIF-THENルールがあらかじめ熟練者とのインタビューにより作成されている。そこで現在検討中の属性に関するルールを呼び出す。

5. 事実の集合と呼び出されたルールを用いてファジィ推論を行う。本研究ではMamdani推論を用いている。この推論結果がこの属性に関するある機械型式の定量値となる。

以上の様に1～5の対策手順をすべての機械型式について行うことで、あいまいな知識の定量化がすべて行われるため、この定量値を使い機械型式ごとの効用関数値が計算できる。

設計者は定量的な知識とあいまいな知識の両者を交互に用いながら設計をおし進めていく。このため、定量的な知識とあいまいな知識は共存した知識として表現することが自然である。本章で述べた4種の組合せを用いた知識表現は同じフレーム概念の中に定量的知識とあいまい知識が共存して表され特にあいまいな知識はあいまいな表現のままで、あるいは他のあいまいな知識などとの依存関係を持つことによってその知識の価値観を表している。これは常に因果関係を基に事実や知識を記憶している設計者の知識構造に類似しており、設計者から得た知識をそのまま表現できるため知識獲得や記述後の誤りが少なく、一般ユーザにも分かりやすい表現となる。

6.2. あいまい知識の記述

図6.3に示す様に機械型式フレームMV-5には定量値とあいまい値の両者が記述されている。定量値は例えば価格が(P R I C E (V A L U E (1 0 0 0 . 0 ¥)))として記述している。あいまい値は実績として(E M P L O Y M E N T - R C (V A L U E (P M)))が記述されている。あいまい知識の付加手続きデーモンとして(R C L E V E L (I F - N E E D E D ((F U Z Z Y - D O ' E M P L O Y M E N T - R C ' S E R V I C E M A N - R C))))として記述されている。この記述のF U Z Z Y - D OがL I S P関数であり別のモジュールに同名のプログラムが記述されている。このプログラムはM a m d a n i推論の内容が実行できる様になっている。またF U Z Z Y - D Oの引き数として' E M P L O Y M E N T - R C , ' S E R V I C E M A N - R Cが併記されている。これらの引き数の知識を使いM a m d a n i推論が実行される。このMV-5の知識の中には' S E R V I C E M A N - R Cの知識が記述されていないので、自動的にK I N D - O F関係を利用して上位知識にアクセスしてその値を求める。

またM a m d a n i推論により求めた定量値はこの機械型式のフレームに記憶される。このため再度同様な知識の探索があった場合にはすぐにこの定量値をさがしだすことができる。再び M a m d a n i

推論を行う時間をはぶいている。図6.4 にこの定量値が記述された知識フレームを示す。

```
(MV-5 (AKO (VALUE (SHOUN)))  
      (MAKERNAME (VALUE (SHOUN)))  
      (BTWNCENTER (VALUE (+0.2500000-+03 MM)))  
      (PRICE (VALUE (+0.1000000-+04¥)))  
      (M//C-AREA (IF-NEEDED ((CAL-M//C-AREA 'MV-5))))  
      (M//C-WIDTH (VALUE (+0.1030000-+04 MM)))  
      (M//C-DEPTH (VALUE (+0.1765000-+04 MM)))  
      (RCLEVEL (IF-NEEDED ((FUZZY-DO  
                           'EMPLOYMENT-RC 'SERVICEMAN-RC))))  
      (EMPLOYMENT-RC (VALUE (PM)))  
      (CHILDREN (VALUE (HEADSOTCK-MV-5)  
                  (CARRIAGE-MV-5)  
                  (IMF-MV-5))))
```

図6.3 MV - 5 知識

```

(MV-5 (AKO (VALUE (SHOUN)))
      (MAKERNAME (VALUE (SHOUN)))
      (BTWNCENTER (VALUE (+0.2500000-+03 MM)))
      (PRICE (VALUE (+0.1000000-+04¥)))
      (M//C-AREA
        (IF-NEEDED ((CAL-M//C-AREA 'MV-5)))
        (VALUE (+0.1817950-+07)))
      (M//C-WIDTH (VALUE (+0.1030000-+04 MM)))
      (M//C-DEPTH (VALUE (+0.1765000-+04 MM)))
      (RCLEVEL
        (IF-NEEDED ((FUZZY-DO
                     'EMPLOYMENT-RC 'SERVICEMAN-RC)))
        (VALUE (+0.5090909-+01)))
      (EMPLOYMENT-RC (VALUE (PM)))
      (CHILDREN (VALUE (HEADSOTCK-MV-5)
                       (CARRIAGE-MV-5)
                       (IMF-MV-5)))
      (MAINTE (VALUE (+0.1466667-+01)))
      (ABILITY (VALUE (+0.6000000-+01)))
      (COST (VALUE (+0.5813953-+01)))
      (AREA (VALUE (+0.1000000-+02)))
      (SERVICE (VALUE (+0.0000000-+00)))
      (TECHNO (VALUE (+0.1000000-+02)))
      (RECORD (VALUE (+0.1000000-+02)))
      (MUF (EVAL (-0.6879761-+01))))

```

図 6.4 新 M V - 5 知識

7. 属性間重要度のあいまいインタビュー

7.1. 問題領域変換

多属性効用関数値比較法は図7.1のAの枠内に示す様に生産ラインの決定を最終目標とし、属性を評価基準とし、仮説の中の機械型式を代替案としたLevel 1から3の三階層にレベル別けされた問題であり、この代替案の重要度が順位付けされれば解決する。この順位付けはB枠内の問題として新たにとらえレベル2の評価基準間の重要度を定量化することで求まる。この定量化された重要度は容易には求まらない。なぜならばレベル2の評価基準は機械型式の良し悪しを表す定量値でなければならない。しかし生産ライン設計において一般的に与えられる定量的な目標値は、生産量、生産サイクルタイム、生産開始時期という生産計画についてのみである。このため熟練設計者でさえ機械型式についての属性間の差異を定量的に述べる知識を有しておらず、定量値を得ることはむずかしい。

そこで問題領域を以下の様に変更させ、インタビューにより定量的な重要度を得る方法を提案する。B枠内の問題であった属性間の重要度の定量化は、図7.1のC枠内の問題として新たに考え、次の三階層問題として取り扱う。最上位にレベル1の生産ラインの決定をおきこれをレベルIとする。最下位にレベル2の評価基準をおきこれをレベルIIIとする。中間層のレベルIIはいろいろ考えられるが次の様に決定する。

設計問題は一般に設計対象全体を決定するためにその各部位あるいは部品についての決定を行わなければならない。例えば、設計対象全体として1つの工作機械を考えた場合、対象全体としての工作機械を設計するためにはその構造部位としてのモータ、ボールネジ等を設計しなければならない。そしてこの設計は何らかの評価基準のもとに行われ、また同様に対象全体の工作機械は、全体としての評価基準のもとに全体設計が行われる。この両者の評価基準は全く無関係なものではなく、ある機能的な面からの依存関係により無意

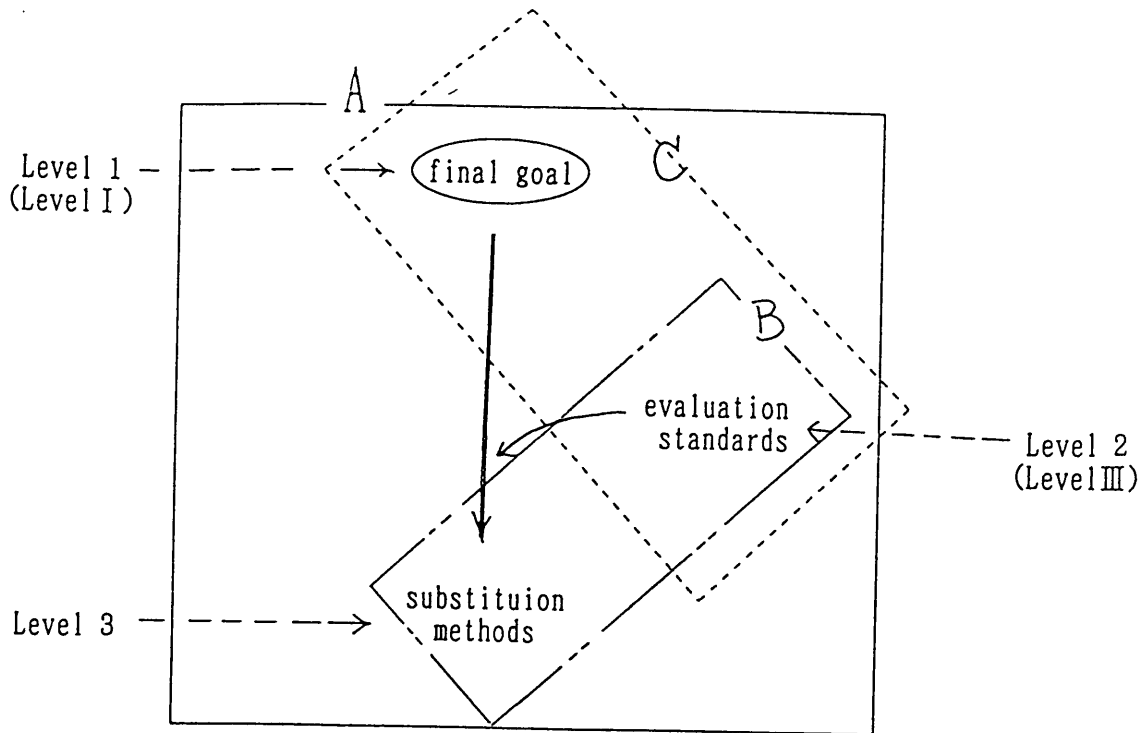


図 7.1 多属性効用関数値比較法 の 概念 図

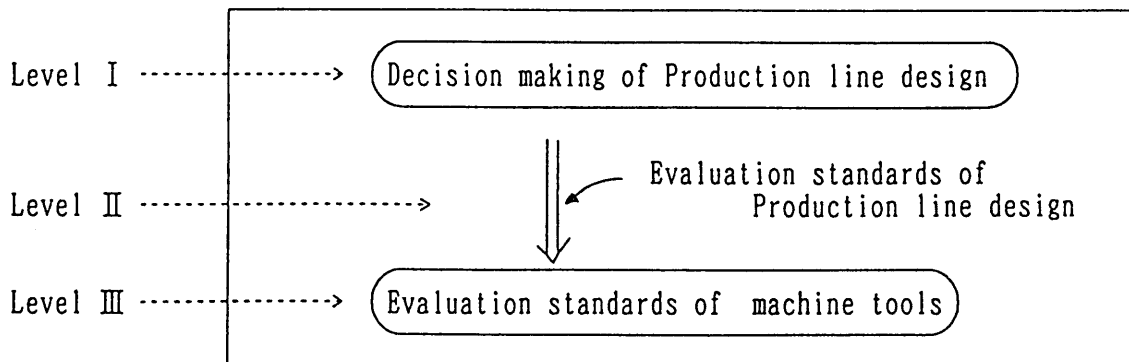


図 7.2 B 枠 の 階 層 化

識のうちに結ばれている。即ち部位に対しての評価基準の決定は全体としての評価基準を決して越えてはいけない。換言すれば全体の評価基準は部位の評価基準の決定に対して大きな影響を与える要因となっている。そこで設計対象全体を生産ライン、部位を工作機械と考えられる本設計では、部位である工作機械の評価基準、レベルⅢの決定を行うには全体としての評価基準、即ち生産ラインの評価基準をレベルⅡとしてこれを求めることでレベルⅢが求まるものと考ええる。B枠内の問題は図7.2の階層問題におき変わった。この問題はAHP⁽⁸⁵⁾によって解くことであいまいな値入力を使うことができる。

この様に変換された階層問題は以下の様に知識の獲得が容易に行われる。実際のシステムとユーザとの対話はレベルⅡの生産ラインに対する評価基準の重要度を求めれば良い。この重要度をユーザが答えることはレベルⅢの重要度を答えることに比べ非常に簡単である。なぜなら、生産ラインとしての設計目標は設計の前の段階から当然与えられている情報であるから。例えば、今回の生産ラインは省人化を目標とするといった様にコンセプトとて与えられるため、未熟練者にとっても答えやすい。このコンセプトは毎回設計のたびに変わるものであるから、一対比較値を入力するインタビューは設計するたびに行う。ところがレベルⅡからみたレベルⅢの一対比較は少しむずかしくなり、熟練者しか答えることができない。しかし、レベルⅡとレベルⅢの関係は全体－部位の関係で選んでおり、この両者間の価値観は大きく変わることがないのであらかじめ熟練者とのインタビューにより知識を獲得でき、推論によって求めることができる。この様にこの階層問題では実際にシステム利用時のユーザとのインタビュー回数の削減も可能となり、操作時間の短縮という実用上の使い勝手も向上する。

7. 2. スケール定数インタビュー

次に、本システムのスケール定数決定の仕組みを説明する。

前述のようにのように、機械購入に関する5つの評価項目である

設備価格，設置面積，設備メーカーサービス体制，設備メーカー技術力，設備メーカー納入実績の重要度を決定するために，生産ライン設置に関する直接の目標を新たに考える。本システムではこれにコストの低減，生産立ち上がりの良さ，ラインの円滑な運用，新技術の導入，技術力の蓄積，効率的なライン設計の6つを考え，新たな評価基準として設定する。これをAHPの階層図に表すと図7.3のようになる。

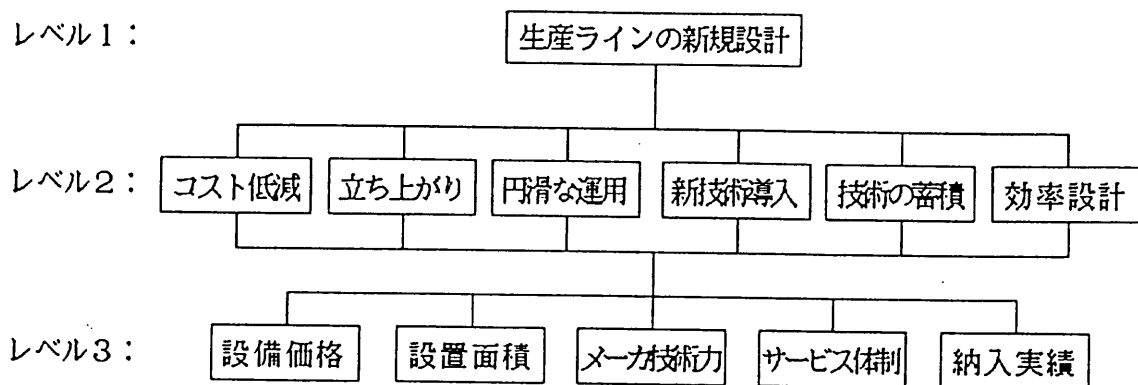


図7.3 スケール定数決定に関する階層図

本システムではAHPの方法に従い，まずレベル2のウェイトを算出する。ここでユーザに対し，レベル1から見たレベル2の一对比較をインタビューする。ユーザはレベル1の「生産ラインの新規設計」という最終目的をふまえた上で，レベル2の6つの評価基準を一对比較する。

一对比較が入力されると，システム是一对比較行列の固有値ならびにそれに対する固有ベクトルを計算する。固有値の計算には固有多項式の根を求める直接法を用いる。この計算により求まる固有ベクトルがレベル1から見たレベル2のウェイトとなる

また，この時点でシステム是一对比較行列の整合度のチェックも行う。整合度は求められた固有値と行列の次数から算出され，もし

```

'生産立ち上がり厳守=>LEVEL2
'(生産立ち上がり厳守=>LEVEL2
(設備価格 (設備価格 (1 ))
(設備面積 (設備面積 (2 ))
(メカ技術力 (-8))
(メカサービス体制 (-7))
(納入実績 (-9)))
(設備面積
(設備面積 (1 ))
(メカ技術力 (-9))
(メカサービス体制 (-9))
(納入実績 (-9)))
(メカ技術力 (メカ技術力 (1 ))
(メカサービス体制 (1 ))
(納入実績 (5 )))
(メカサービス体制 (メカサービス体制 (1 ))
(納入実績 (5 )))
(納入実績 (納入実績 (1))))
'FRAME)
'良好な生産立ち上がり=>LEVEL2 '(良好な生産立ち上がり=>LEVEL2
(設備価格 (設備価格 (1 ))
(設備面積 (設備面積 (1 ))
(メカ技術力 (-9))
(メカサービス体制 (-9))
(納入実績 (-9)))
(設備面積 (設備面積 (1 ))
(メカ技術力 (-9))
(メカサービス体制 (-9))
(納入実績 (-9)))
(メカ技術力 (メカ技術力 (1 ))
(メカサービス体制 (2 ))
(納入実績 (3 )))
(メカサービス体制
(メカサービス体制 (1 ))
(納入実績 (2 )))
(納入実績 (納入実績 (1))))
'FRAME)
'新技術導入=>LEVEL2
'(新技術導入=>LEVEL2
(設備価格 (設備価格 (1 ))
(設備面積 (設備面積 (2 ))
(メカ技術力 (7 ))
(メカサービス体制 (1 ))
(納入実績 (1 )))
(設備面積 (設備面積 (1 ))
(メカ技術力 (5 ))
(メカサービス体制 (1 ))
(納入実績 (1 )))

```

図7.4 レベル2-3のフレーム知識

この整合度が 0.1 より大きくなつた場合は一対比較値のチェックを行うことになる。

次の手順はレベル 2 から見たレベル 3 の一対比較のインタビューを行つてウェイトを求める。しかしこのインタビューは（レベル 3 の一対比較の数×レベル 2 の要素の数）と数が多い上に、要求される知識は機械購入に関するものであるために未熟練ユーザに回答を期待できない類のものである。

しかし本システムでは、レベル 2 から見たレベル 3 の一対比較は前節の問題変換によりあらかじめ熟練設計者とのインタビューで求まる問題である。図 7.4 に示す様にあらかじめフレーム型知識表現を用いてシステムに取り込んである。

これによってユーザは生産ライン設計に関すること以外の知識を要求されることなく、容易にシステムを使用することが出来ると同時に、AHP を使用する上で避けて通れなかつた多量のインタビューから解放されることになる。このため本システムの操作性はかなり改善されたものとする。また一対比較値をフレーム型知識とすることにより、知識の修正を容易に行うことができる。システムはこれらの知識を参照して、レベル 2 から見たレベル 3 のウェイトを、レベル 2 の各要素ごとに計算する。この計算の手順はレベル 2 の場合と全く同じである。

レベル 2 から見たレベル 3 のウェイトが決定したら、AHP の手順に従つてウェイトの合成を行い、レベル 1 から見たレベル 3 のウェイトを求める。この様にして、生産ライン設計における購入機械決定に関する評価項目のそれぞれの重要度、つまり多属性効用関数のスケール定数が決定するわけである。

図 7.5 がスケール定数決定の出力である。


```

---->OK
###EQ-VALUE=> +0.6272353-+01
ANSWER : X6 = -0.6391277-+01
ANSWER : X5 = -0.5953402-+01
ANSWER : X4 = -0.6724884-+01
ANSWER : X3 = -0.8158814-+01
ANSWER : X2 = -0.9390688-+01
ANSWER : X1 = -0.1432924-+02
----- LEVEL1
---->OK
###EQ-VALUE=> +0.4985262-+01
ANSWER : X5 = +0.9560284-+01
ANSWER : X4 = +0.7091754-+01
ANSWER : X3 = +0.7426073-+01
***
ANSWER : X2 = +0.7935159-+01
ANSWER : X1 = +0.4272789-+02
----- 設備投資低減
---->OK

ANSWER : X2 = +0.4712556--01
ANSWER : X1 = +0.4876445--01
----- 効率の良い設備調達
***** 重要度の比率 *****
+0.2594431-+00 +0.1140464-+00 +0.1893904-+00 +0.2034198-+00 +0.2337002-+00
*****
***

###EQ-VALUE=> +0.5315047-+01
ANSWER : X5 = +0.1387153-+01
ANSWER : X4 = +0.1474761-+01
ANSWER : X3 = +0.9103256-+00
ANSWER : X2 = +0.3370102-+00
ANSWER : X1 = +0.3370102-+00
----- 生産立ち上がり厳守
---->OK
###EQ-VALUE=> +0.5179461-+01
ANSWER : X5 = +0.6973053-+00
ANSWER : X4 = +0.5786191-+00
ANSWER : X3 = +0.5757587-+00
ANSWER : X2 = +0.1907295-+00
ANSWER : X1 = +0.1907295-+00
----- 良好な生産立ち上がり
---->OK
###EQ-VALUE=> +0.5005132-+01
ANSWER : X5 = +0.1178328-+01
ANSWER : X4 = +0.1181446-+01
***
ANSWER : X3 = +0.1170161-+00
ANSWER : X2 = +0.1877820-+01
"1 - +0.2636692-+01

```

図7.5 スケール定数決定例

8. 仮説推論による生産ライン設計の過程の制御⁽⁸⁶⁾

8.1. 生産ライン設計における仮説推論の解明

一般に仮説推論をシステム化する時に明確化する必要がある事柄は、何を仮説とするかということである。この生産ライン設計の問題においては、複数の候補解をそれぞれ、例えば可能な工程順番の組合せ、 $A - B - C - D - E - F$ 、 \dots あるいは、設備メーカーが販売する機械型式 $M / C - A_{11}$ 、 $M / C - A_{12}$ 、 \dots 、 $M / C - A_{21}$ 、 $M / C - A_{22}$ 、などを仮説とするだけでなく、設計過程で熟練設計者が持つ設計信念をも仮説として表現する必要がある。この設計信念とは例えば設計過程での「任意の工程順番組合せを1つ決める」時に用いる「工程数最小案を選ぶ」、「工程数最小+1案からも選ぶ」「工程数最小+2案からも選ぶ」、 \dots あるいは「工程の追加はない」、「工程の追加が1つ有る」、「工程の追加が2つ有る」、 \dots などである。また仮説推論の結果生じる矛盾としては、設計結果が与えられた仕様などの制約条件に違反することや、設計信念自体に違反すること、またはある設計信念を真と判断する設計者の経験知識に違反することなどが考えられる。これらの矛盾のなかには、矛盾の原因となった正しいだろうと信じていた仮説を捜しこれを偽の仮説と考え直し、その後の事実関係の整合性を保つことで設計結果の正当性を保証できるものがある。これは矛盾の対象となる仮説が、例えば前述の $M / C - A_{11}$ 、 $M / C - A_{12}$ 、 \dots 、 $M / C - A_{21}$ 、 $M / C - A_{22}$ 、 \dots 、などは $M / C - A_{11}$ を選択したことが矛盾を生じた原因ならば、 $M / C - A_{11}$ を選ぶのをやめ、そのかわりに $M / C - A_{12}$ を選択してみれば良い、という様に競合する仮説間に「ある仮説が真でなければ偽である」あるいは「ある仮説が偽ならば必ず別の仮説が真となる」という関連が存在するからである。この様な競合する仮説のもとでの推論は、Doyl e の TMS をはじめこれに基づいた推論方法、あるいは応用事例⁽⁸⁷⁾⁽⁸⁸⁾⁽⁸⁹⁾の適用が可能と考えられる。しかし、設計者はこの種の競合とは異なっ

た競合の仮説に直面する場合もありうる。これは一般に図8.1に示す様に競合する仮説 C_1, C_2, \dots が存在し、かつ一見すると $C_1 \subset C_2 \subset C_3 \dots$ なる包含関係が存在する場合に生ずるものである。この種の競合する仮説の例には前述の「工程数最小案を選ぶ」、「工程数最小+1案からも選ぶ」、「工程数最小+2案からも選ぶ」 \dots 考えられる。設計者は経験知識「良い生産ラインは機械台数が少ないほど、普通経済的にも面積的にも利点がある。よって一工

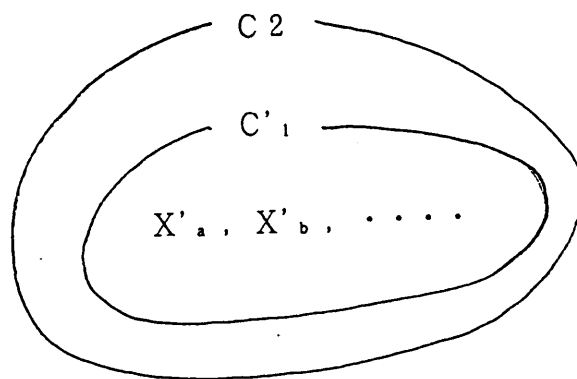


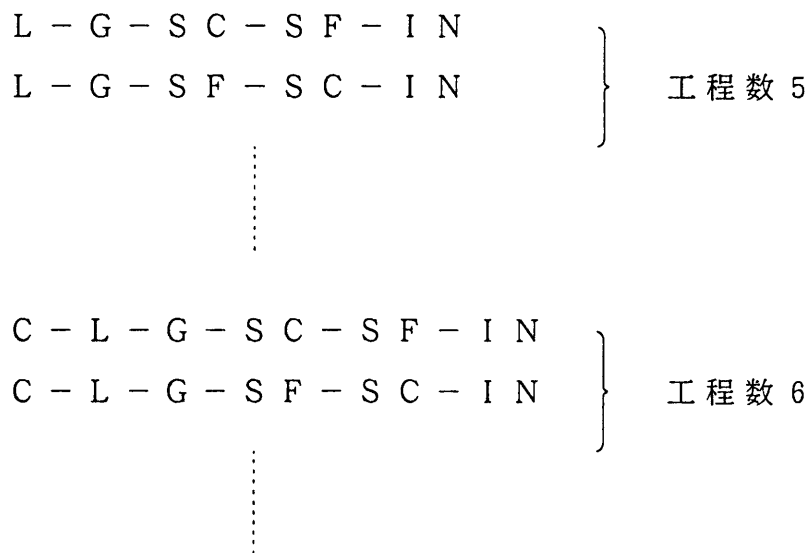
図8.1 競合する仮説とこれに基づく事実との関係図

程一機械であるならば工程数最小が良い。」より「工程数最小案を選ぶ」を設計信念として例えば $A - B - C - D - E - F$ の工程順を設計条件として選び、設計を進めていく。ところが設計が進み例えば設計過程で「加工条件より機械台数の決定」によって工程 B を運用する機械が二台必要となると、経験知識の「一工程一機械」に違反する。このため設計信念「工程数最小案を選ぶ」を設計信念として選ぶ。しかし生産ライン設計では一つの工程で機械が 2 台以上必要となった場合、工程が分割されたと考えはじめに考えていた工程順 $A - B - C - D - E - F$ とはみなさず 1 工程多い $A - B_1 - B_2 - C - D - E - F$ という工程順に変形したと考える特有の条件があ

る。この様な変形した工程順が新しい設計の概念のもとでも成立する条件ならばこの条件のもとで求めた設計解も真となりうる。そこで新しい設計信念のもとで再設計を行い設計解を見出し、すでに求めた解との比較を行わなければならない。この様に矛盾となった仮説に基づく事実を何の検証もなく偽と決めつけられない場合がある。以下ではこの仮説推論方法をシャフト形状部品を設計対象にして説明する。

8.2. 仮説推論方法

図8.2 に仮説推論方法を使ったシャフト形状部品の生産ライン設計の推論過程の一部を階層構造を使って示した。この図でははじめに製品精度より判断して必要な工程名をC（センタリング工程），L（旋盤工程）G（研削工程），SF（超仕上工程），IN（計測工程），SC（ネジ加工）と決定している。そして、可能と思われる工程順番の組合せが多数下の様に求められる。



ここでどの工程順番の組合せを採用するかは設計信念に基づいて行なわれる。即ち、経験的知識「一工程一機械」という立場から設計信念として「工程数最小案を選ぶ」、「工程数最小+1案からも選ぶ」・・・等が考えられ、これらを競合する仮説として生成する。そしてはじめに「工程数最小案を選ぶ」をIN状態に設定し、他の競合仮説はOUT状態とする。このIN状態の仮説に基づいて工程

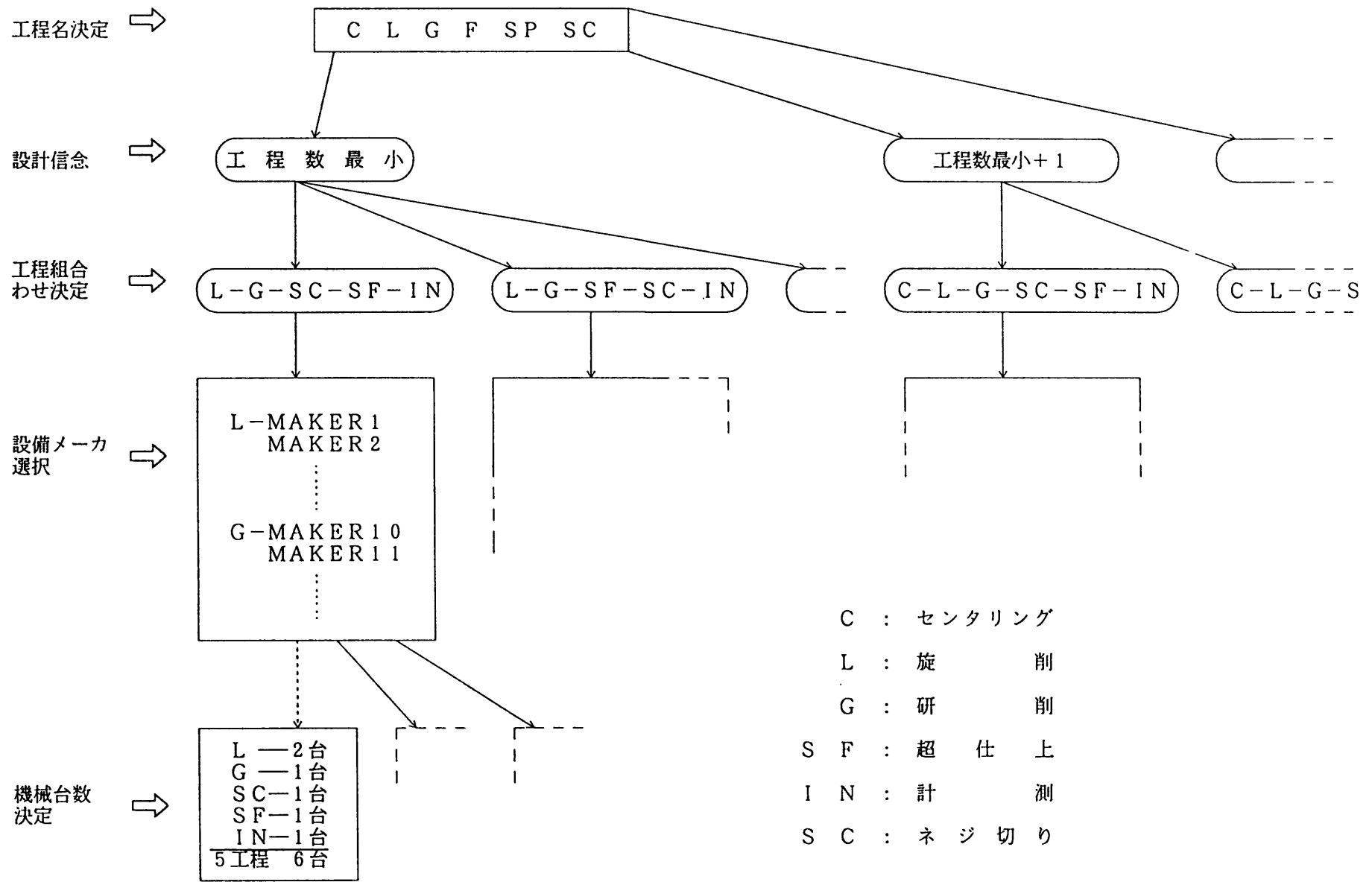


図8.2 仮説推論の推論過程

数の最小 = 5 工程の工程順組合せ L - G - S C - S F - I N, L - G - S F - S C - I N, . . . が以後の検討に値する工程順番組合せとなる。これらの組合せの各工程順番は競合する仮説として生成される。このうち組合せ L - G - S C - S F - I N を I N 状態, 他の組合せを O U T 状態と設定し, 各設計過程を実行していく。これらの各過程で, 矛盾が生じなかったとした時の最終結果が機械台数の決定であり, 各工程それぞれ L が 2 台, G が 1 台, S C が 1 台, S F が 1 台, I N が 1 台, の計 6 台となったとする。ここでこの最終結果の矛盾チェックを行うと, 経験的知識「一工程一機械」に反しており, この原因となる仮説が「工程数の最小案を選ぶ」であることが判明される。従来の T M S では, 矛盾した信念やこの信念に基づいて推論された事実を偽にただち変更してしまっていたが, この廃棄されるべき仮説に基づいて求められた最終結果とこれに関する知識をいったん記憶モジュールに格納しその後の推論結果に応じてこの最終結果やこれに関する知識を効果的に活用する。この事例では, 最終結果は工程名, 工程順番, 工作機械製造企業, 機械型式, 機械台数, および投資金額である。記憶モジュールに格納後, 矛盾の原因となった「工程数最小案を選ぶ」を O U T 状態とし, 代わりに設計信念である「工程数最小 + 1 案からも選ぶ」を I N 状態として再設計を繰り返す。この時, 格納してある最終結果に関する知識を流用することにより, 再設計の時間の無駄をできるかぎり少なくすることができる。たとえば再設計して求めた工程の中に, 格納している工程と同じ工程が存在する場合は加工条件等の設計過程を省略し, 知識の流用ができる。またほとんどの場合, 再設計して求めた工程と格納している工程との違いは 1 つあるいは 2 工程くらいしかないため, これらの再設計時間は大幅に短縮することが可能となる。この再設計では, 図 8 . 2 に示す様に設計信念「工程数最小 + 1 案からも選ぶ」を真の仮説として採用すると, その後の選択肢は C - L - G - S C - S F - I N, C - L - G - S F - S C - I N, . . . , L - G - S C - S F - I N, L - G - S F - S C - I N,

．．．．，となる。そこでこれらの工程順番組合せを競合仮説として生成し，前述同様に設計の各過程を実行していく。その結果工程名，工程順番，工作機械製造企業，機械型式，機械台数，投資金額が決定する。続いて，記憶モジュールに保存してある最終結果を呼び起こし，そのまま流用して両結果の比較を行い，良い結果案を採用する。実際の設計でも一工程二台の案が選ばれることも多くあり，このためにこの比較が必要と考えられる。この事例では投資金額を比較し安価な結果を採用している。もちろんこの最終結果が決まる以前の過程で求められた途中結果が複数の選択肢を発生する場合はその都度これらを競合仮説として生成し，矛盾の解消を実行しながら推論をおし進めている⁽⁹⁰⁾。

以上の様に仮説推論の中で記憶モジュールとして保存した最終結果に関する知識を活用したり，比較することで生産ライン設計の重複した推論過程を効率良く実行し，さらに従来の推論方法では見過してしまった事実をも取り上げることができ，熟練設計者の思考過程に正確に準拠できる様になった。図8.3はシャフト形状部品を対象にした生産ライン設計に本システムを適用した一例である。図中のA部が記憶モジュールから呼び出された最終結果であり，B部が二番目の設計信念のもとで決定された結果である。AとBの各先頭の数字が投資金額であり，投資金額が安価な $0.112600 \times 10^5 = 11,260$ 万円のA案が採用される。この例では加工条件等の設計時間が知識の活用により再設計時に約8割の短縮が可能となった。

```

S-KENSAKU==> SEIBU ==> RN-300D ==> +0.1000000-4
KEISOKU ==> TOYOKO ==> *TM1083 ==> +0.1000000-4

```

°°しゝルCの矛盾チェックをスタート°°

(NIL)

°°°しゝルDの矛盾チェックをスタート°°°

((機械は1工程2台を仮定している しかし機械は1工程 2 台の工程も有る))

```

-----
(+0.1126000-+05
((("旋削" "スター精密" " JNC-25 2)
  ("焼入" "日本電子" " JTR-50 1)
  ("研削" "光洋機械" " KC-200 1)
  ("超仕上げ" "西部自動機器" " RN-300D 1)
  ("タップ穴" "伊ミ工業" " *D1664 1)
  ("計測" "豊田工機" " *TM1083 1)))
(+0.1151000-+05
((("センター" "管鉄工" " STS-1C 1)
  ("旋削" "管鉄工" " STS-1 2)
  ("焼入" "日本電子" " JTR-50 1)
  ("研削" "光洋機械" " KC-200 1)
  ("タップ穴" "伊ミ工業" " *D1664 1)
***
  ("超仕上げ" "西部自動機器" " RN-300D 1)
  ("計測" "豊田工機" " *TM1083 1)))
NIL

```

(A)

(B)

7
1

図 8.3 仮説推論の実行例

9. 適用事例

9.1. システム構成

前章までに述べてきた知識表現と推論方法を大型コンピュータ M780 (富士通) 上の UTILISP により記述し, エキスパートシステムを図9.1 に示す様に構成する。

ユーザは TSS 端末を前にコンピュータが質問する事項について数字, アルファベットのみを入力する。

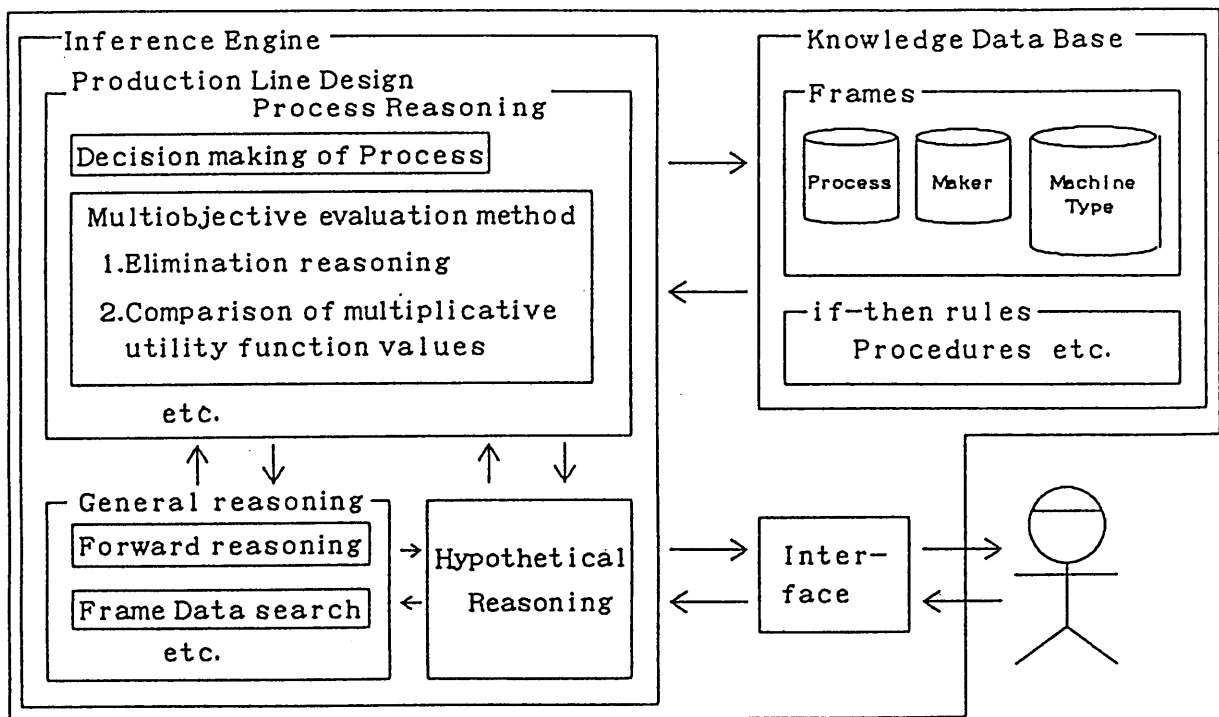


図9.1 システム構成図

9.2. 設計対象部品

本システムは図9.2に示す様にシャフト形状部品を対象とした生産ライン設計を行う。図の様にシャフトは多段形状でネジ等があり、一般に多くの回転装置の回転軸として多用されている。たとえばカークーラのコンプレッサシャフトやモータシャフトなどがその例である。

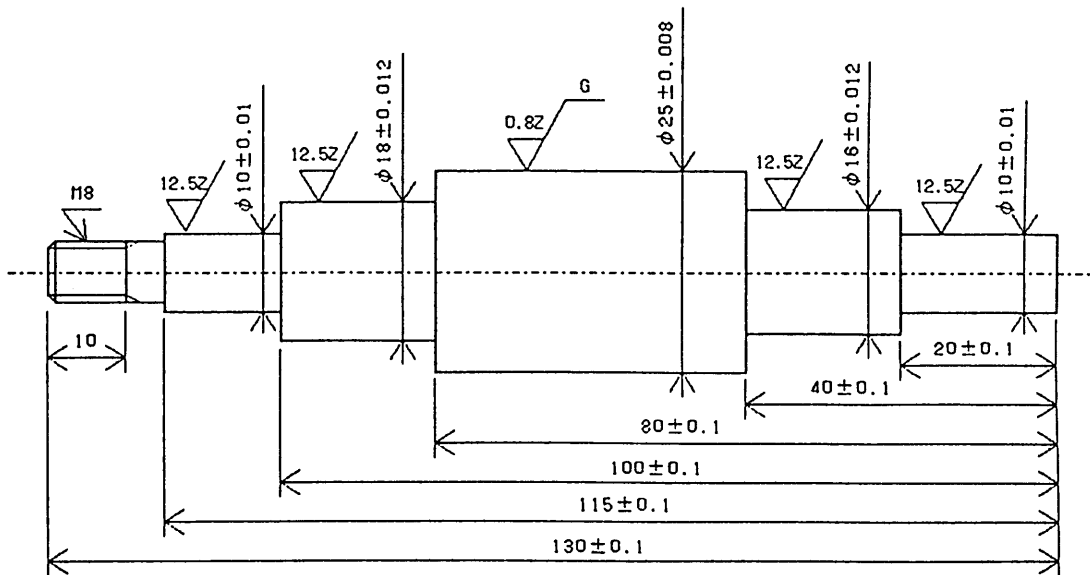


図9.2 シャフト形状部品

9.3. 部品情報入力

対象とする部品精度情報は図9.3に示す様にユーザが数値をキーボードに入力する。図では寸法公差，全長，面粗さ，焼入れ硬度，焼入れ深さ，ネジ精度などが入力されている。

```
READY
@LISP
*****
*****          LISP          S T A R T          *****
*****
> (EXFILE "EQTSO.FORT(HY7)")
NIL
> (S1)
*****
**          S T A R T          **
** EXPERT_SYSTEM OF PROCESS PLANNING **
*****

** 次の質問に答よ **
<1>: 製品の外径寸法の公差を「ミクロン」で下の様にインプットせよ
(25 35 40 60 ..... )
> (11 26 25 28 0.8)
<2>: ワークの全長を「ミリ」の単位でインプットせよ
> 155
<3>: 各外径の面あらさを「Z」の単位で下の様にインプットせよ
(12.5 25 8 0.8 ....)
> (12.5 0.8)
** 次の中で製品に必要な加工名称を「番号」で
***
    下の様にインプットせよ **
    (1 5 6 ..... )
*****
** <1. 表面硬化 > **
** <2. 外径ネジ > **
** <3. 内径ネジ > **
** <4. スプライン > **
*****
> (1 3)
** 焼入れ硬度を(HRC)の単位で下の様にインプットせよ **
(55 44 ..... )
> (55)
** 焼入れの硬度ふかさを(ミリ)の単位で下の様にインプットせよ **
(3 4 ..... )
> (2)
** 焼入の加工長さを(ミリ)の単位で下の様にインプットせよ **
(15 55 77 ..... )
> (66)
** 内ネジの加工精度を等級数で下の様にインプットせよ**
(例) JIS-2級, JIS-3級の時 ==> (2 3)
> (2)
```

図9.3 部品入力

9.4. 工程組合せ

部品の情報により，加工対応可能な工程が選ばれ，さらに図9.4に示す様に可能な工程順組合せが表示される。この組合せは図9.5に示す様に組合せの知識を i f - t h e n ルールで記述し，前向き推論によって求める。

図中C E N T E R I N G はセンタリング工程，S E N S A K U は旋削工程，Y A K I I R E は焼入れ工程，K E N S A K U は研削工程，U C H I - N E J I は内ネジ加工工程，S - K E N S A K U は超仕上げ工程，K E I S O K U は計測工程である。

得られた工程は大きく2種類ある。即ち7工程の組合せと6工程の組合せである。

<可能な工程の組合せを下に示す>
((C E N T E R I N G S E N S A K U Y A K I I R E K E N S A K U S - K E N S A K U U C H I - N E J I K E I S O K U)

(C E N T E R I N G S E N S A K U Y A K I I R E K E N S A K U U C H I - N E J I S - K E N S A K U K E I S O K U)
(C E N T E R I N G S E N S A K U Y A K I I R E U C H I - N E J I K E N S A K U S - K E N S A K U K E I S O K U)
(C E N T E R I N G S E N S A K U U C H I - N E J I Y A K I I R E K E N S A K U S - K E N S A K U K E I S O K U)
(S E N S A K U Y A K I I R E K E N S A K U S - K E N S A K U U C H I - N E J I K E I S O K U)
(S E N S A K U Y A K I I R E K E N S A K U U C H I - N E J I S - K E N S A K U K E I S O K U)
(S E N S A K U Y A K I I R E U C H I - N E J I K E N S A K U S - K E N S A K U K E I S O K U)
(S E N S A K U U C H I - N E J I Y A K I I R E K E N S A K U S - K E N S A K U K E I S O K U)

図9.4 工程組合せ順表示

```

'((KOTEI-PRIORITY 2
  (IF (YAKIIRE) (SENSAKU))

      (THEN (SETQ KTS
        (IN-AFTER-LIST1 'SENSAKU 'YAKIIRE KTS))))
(KOTEI-PRIORITY 2
  (IF (SENSAKU))
    (THEN (SETQ KTS
      (IN-BEFORE-LIST1 'SENSAKU 'CENTERING KTS))))
(KOTEI-PRIORITY 1
  (IF (YAKIIRE) (SENSAKU))
    (THEN (SETQ KTS
      (DEL-AFTER-LIST1 'YAKIIRE 'SENSAKU KTS))))
(KOTEI-PRIORITY 2
  (IF (UCHI-NEJI) (SENSAKU))
    (THEN (SETQ KTS
      (IN-AFTER-LIST1 'SENSAKU 'UCHI-NEJI KTS))))
(KOTEI-PRIORITY 1
  (IF (UCHI-NEJI) (KEISOKU))
    (THEN (SETQ KTS
      (DEL-AFTER-LIST1 'KEISOKU 'UCHI-NEJI KTS))))
(KOTEI-PRIORITY 2
  (IF (YAKIIRE) (KENSAKU))
    (THEN (SETQ KTS
      (IN-AFTER-LIST1 'YAKIIRE 'KENSAKU KTS))))
(KOTEI-PRIORITY 1
  (IF (YAKIIRE) (KENSAKU))
    (THEN (SETQ KTS
      (DEL-AFTER-LIST1 'KENSAKU 'YAKIIRE KTS))))
(KOTEI-PRIORITY 2
  (IF (SENSAKU) (KENSAKU) (S-KENSAKU))
    (THEN (SETQ KTS
      (IN-AFTER-LIST1 'S-KENSAKU 'KEISOKU KTS))))
(KOTEI-PRIORITY 1
  (IF (SENSAKU) (KENSAKU))
    (THEN (SETQ KTS
      (DEL-AFTER-LIST1 'KENSAKU 'SENSAKU KTS))))
(KOTEI-PRIORITY 1
  (IF (KENSAKU) (S-KENSAKU))
    (THEN (SETQ KTS
      (DEL-AFTER-LIST1 'S-KENSAKU 'KENSAKU KTS))))
(KOTEI-PRIORITY 1
  (IF (SENSAKU) (S-KENSAKU))
    (THEN (SETQ KTS
      (DEL-AFTER-LIST1 'S-KENSAKU 'SENSAKU KTS))))
(KOTEI-PRIORITY 1
  (IF (KEISOKU) (YAKIIRE))
    (THEN (SETQ KTS
      (DEL-AFTER-LIST1 'KEISOKU 'YAKIIRE KTS))))
(KOTEI-PRIORITY 1
  (IF (KEISOKU) (KENSAKU))
    (THEN (SETQ KTS
      (DEL-AFTER-LIST1 'KEISOKU 'KENSAKU KTS))))

```

図9.5 工程順決定 if - then ルール

9.5. 設備メーカーと機械型式の選択

可能な工程組合せのうち任意の一つを選びフレーム知識より各工程を実施できる設備メーカー，機械型式を選び出す。この時点から各工程組合せは競合する仮説となっているので，仮説推論による推論制御が始まっている。図9.6 にこれを示す。

```

..... レベルAの矛盾チェックをスタート .....
((機械数の最小案を選ぶ))
..... レベルBの矛盾チェックをスタート.....
((追加の工程は無い))
*****
*   PROCESS AND M/C-MAKER LISTS   *
*****
      PROCESS                M/C-MAKER
-----
      SENSAKU   ==>>>>   SUGA      SHOUN      STAR
      YAKIIRE   ==>>>>   JEOL
      KENSAKU   ==>>>>   KOYO      NIPPEI     MICRON

***

      S-KENSAKU ==>>>>   SEIBU
      UCHI-NEJI ==>>>>   IZUMI
      KEISOKU   ==>>>>   TOYOKO
-----

*****
*   MACHINE TOOL LISTS           *
*****
      PROCESS    MACHINE MAKER                MACHINE TYPE
-----
      SENSAKU    =>   SUGA    =>   STS-1      ST-200      AT-200
      SENSAKU    =>   SHOUN   =>   MV-5
      SENSAKU    =>   STAR    =>   JNC-25
      YAKIIRE    =>   JEOL    =>   JTR-50

***

      KENSAKU    =>   KOYO    =>   KC-200
      KENSAKU    =>   NIPPEI  =>   CLG-2N-CNC
      KENSAKU    =>   MICRON  =>   MD-600
      S-KENSAKU  =>   SEIBU   =>   RN-300D
      UCHI-NEJI  =>   IZUMI   =>   *D1664
      KEISOKU    =>   TOYOKO  =>   *TM1083
-----

```

図9.6 設備メーカー，機械型式表示

9.6. 消去法推論実行

図9.6 で出力されたすべての機械型式について、構造・機能についてのチェックを行い、不要な機械型式を消していく。図9.7 が実行例のユーザへの表示例である。

```
*****
* 製品の各精度毎についてこれを満たさないM/Cを消していく*
*****

-----
「旋削の M/Cを選ぶ :----->  EVALUATE-QUALI SENSAKU-G-DATAS 」
外径公差を満足      する旋盤を選ぶ
-----
====> M/Cリストより消去されるM/Cの該当は無い

-----
***
「旋削の M/Cを選ぶ :----->  EVALUATE-QUALI SENSAKU-A-DATAS 」
面アラリを満足      する旋盤を選ぶ
-----
====> M/Cリストより消去されるM/Cの該当は無い

-----
「旋削の M/Cを選ぶ :----->  EVALUATE-QUALI ZEN-LNGTH-DATA 」
ワークの全長と      機械の両センターの距離を比較する
-----
====> M/Cリストより消去されるM/Cの該当は無い

-----
「旋削の M/Cを選ぶ :----->  MATCH-MECHA (QUOTE FEED-MECHA) 」
送り機構の指定があるか      「1.=>メカ送り  2.=>油圧送り  0.=>どちらでも良い」のう
ちで希望の番号をインプットせよ
-----
> 1
  下に示すM/CがM/Cリストより消去される
    STS-1

-----
「旋削の M/Cを選ぶ :----->  MATCH-MECHA (QUOTE SPDL-TYPE) 」
主軸頭の向きに指定があるか      「1.=>主軸頭横向き  2.=>主軸頭縦向き  0.=>どちらでも
***
よい」のうちで希望の番号をインプットせよ
-----
> 0
  ====> M/Cリストより消去されるM/Cの該当は無い

-----
「研削の M/Cを選ぶ :----->  EVALUATE-QUALI KENSAKU-G-DATAS 」
外径公差を満足する研削盤を選ぶ
-----
====> M/Cリストより消去されるM/Cの該当は無い
```

図9.7 消去法推論実行例

9.7. スケール定数インタビュ例

スケール定数決定のため、生産ライン設計の設計目標の重要度について一対比較を行なう。図9.8に示す様に本例の目標はコスト低減、生産立ち上がりの良さ、ラインの円滑な運用、新技術導入、技術力の蓄積、効率的なライン設計の6つである。ユーザは重要度を該当する数値で入力する。

```

*** この生産ラインの設計目標値の重要度を 1 から 9 まで **
*** の数値で答えなさい                                     ****
* 設計目標値は次の<A>から<F>までである                  *
***
*
*           <A> コスト低減                                *
*           <B> 生産立ち上がりの良さ                      *
*           <C> ラインの円滑な運用                        *
*           <D> 新技術導入                                *
*           <E> 技術力の蓄積                              *
*           <F> 効率的なライン設計                        *
*           . . . . .                                    *
* 重要度は
*           * 同じ様に重要 -----> 1                    *
*           * やや重要 -----> 3                        *
*           * かなり重要 -----> 5                      *
*           * 非常に重要 -----> 7                      *
*           * きわめて重要 -----> 9                    *
*
*           上の中間の位置 -----> 2, 4, 6, 8          *
*
*           逆の関係の時は負号(-)をつけて答えなさい    *
*
*****
> 3 コスト低減 は 生産立ち上がりの良さ と比較すると?
> 2 コスト低減 は ラインの円滑な運用 と比較すると?
> 1 コスト低減 は 新技術導入 と比較すると?

```

図9.8 スケール定数インタビュ

9.8. 多属性効用関数値計算結果

多属性効用関数値計算結果を図9.9に示す。図中，CS，AR，SR，TC，RC，は5つの属性名の略で，それぞれ設備価格，設備面積，サービス体制，メーカ技術力，納入実績を示す。右端の数値が多属性効用関数値である。

またこの時使われたファジィ推論は図9.10に示すメンバーシップ関数を用い，図9.11に示す知識ベースに記述された付加続きFUZZY-DOにより実行される。さらにスケール定数によりインタビューされた知識は図9.12に示す様にフレーム知識として記憶される⁹⁾。

```

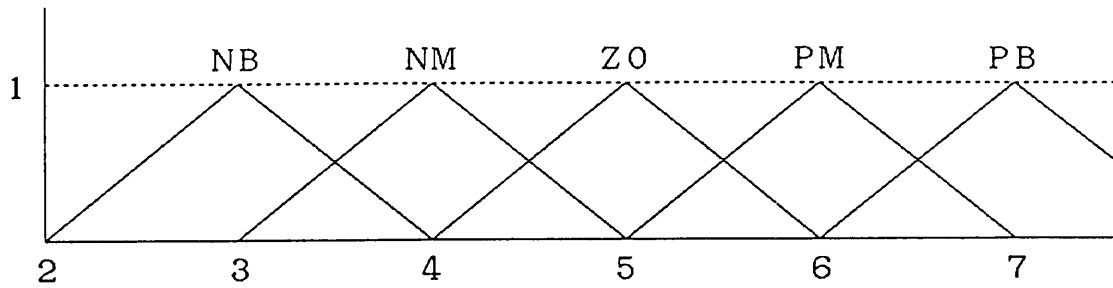
***
* 各 M/Cの「評価値」の計算値をしめす *
*****
M/C型式      CS   AR   SR   TC   RC   総合評価値
-----
STS-1         10   4    10   0    10   +0.7468912-+01
JTR-50        10   10   10   10   10   +0.1000000-+02
KC-200        5    4    10   10   10   +0.8256260-+01
RN-300D       10   10   10   10   10   +0.1000000-+02
*D1664        10   10   10   10   10   +0.1000000-+02
*TM1083       10   10   10   10   10   +0.1000000-+02
.
MV-5          5    10   0    10   10   +0.6879761-+01
CLG-2N-CNC   10   0    0    0    10   +0.4931433-+01
.
***
JNC-25        0    0    5    10   5    +0.4285867-+01
MD-600        0    10   0    0    10   +0.3477467-+01
-----

*****
* 「総合評価値」の最大のM/Cを下に求めた *
*****
工程          メーカ          M/C型式          総合評価値
-----
SENSAKU ==>   SUGA           ==>   STS-1           ==>   +0.7468912-+01
YAKIIRE ==>   JEOL            ==>   JTR-50          ==>   +0.1000000-+02
KENSAKU ==>   KOYO            ==>   KC-200          ==>   +0.8256260-+01
S-KENSAKU==> SEIBU           ==>   RN-300D        ==>   +0.1000000-+02
UCHI-NEJI==> IZUMI          ==>   *D1664         ==>   +0.1000000-+02

KEISOKU ==>   TOYOKO         ==>   *TM1083        ==>   +0.1000000-+02
-----

```

図9.9 多属性効用関数値計算例



<Service man personality>

planners knowledges	fuzzy quantity
very good-natured.	PB: Positive Big
good-natured	PM: Positive Medium
normal	ZO: Zero
ill-natured	NM: Negative Medium
terribly ill-natured	NB: Negative Big

< Distance >

planners knowledges	fuzzy quantity
very close	PB
close	PM
not so far	ZO
a little too far away	NM
very far away	NB

図 9.10 メンバシップ関数

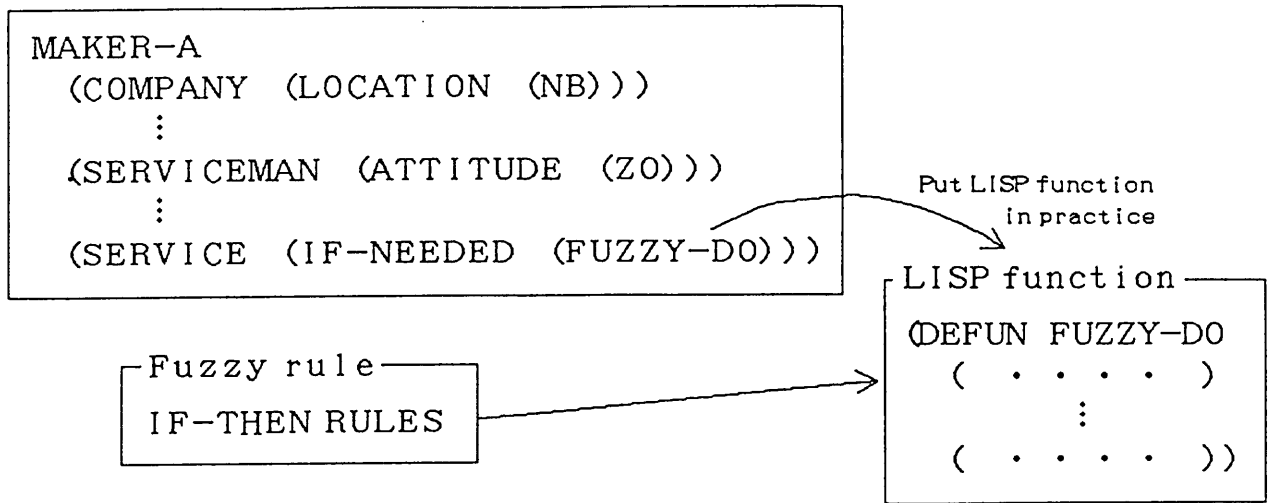


図9.11 ファジィ推論の構成

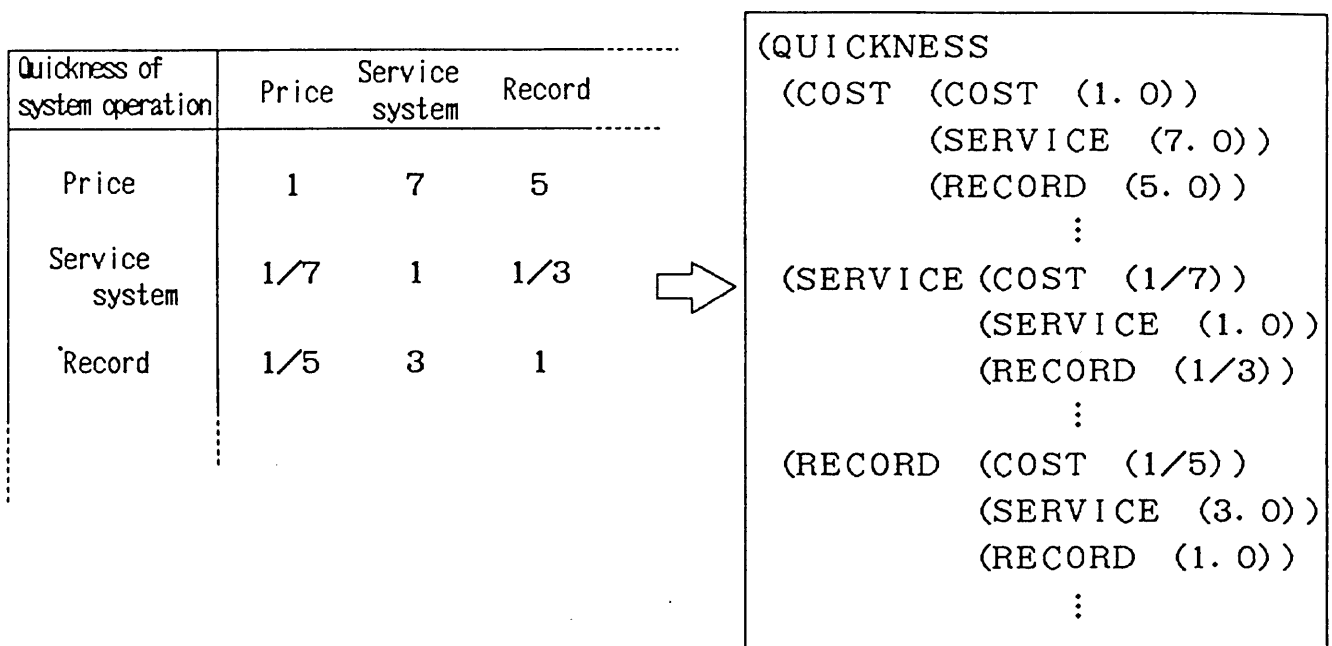


図9.12 スケール定数値のフレーム記述

9.9 機械台数の決定

次に機械台数の決定処理を行う。この決定を行う重要な要素に加工サイクルタイムがある。そこで各機械型式の加工サイクルタイムを純加工時間，早送時間，搬送時間に分けスロットにそれぞれCUT-TIME，SL-TIME，L-TIMEを割り当てその固有値を記述した。この時旋削加工工程などは，ワークの形状や加工条件によって純加工時間は大きく変動するため，付加手続きデモンを駆動して切削条件をユーザ（工程設計者）とのコンサルテーションにより決定する処理をとる。図9.13に示す様に機械型式フレームに記述されている切削加工条件に関する値（送り速度，スピンドル回転数，ノーズR等）を検索し，ユーザの評価を問う。YESの場合，純加工時間を（切削長さ）÷ {（送り速度）×（回転数）} × 60の計算値として決定する。なお，「切削長さ」は素材外径寸法からみた取りシロ量の大小によって刃具が何回通過するかで求める。NOの場合，ユーザ（工程設計者）自身によって値をインプットする。この時，システムは図9.14の様なこの値の真偽を評価する評価推論機構部を駆動する。

即ち，機械型式フレームに記述されている機械仕様許容（回転数など）値を検索し，インプット値がこれを超えていないか，また，理論面粗さ値を計算しこの値が製品の要求面粗度値を悪くしないかを判定し，ユーザに提示する。

この様にして純加工時間を決定すると，早送時間，搬送時間の3値を合計して，機械の最小サイクルタイムとする。そして，生産ラインのサイクルタイム（ユーザよりインプット）と比較して機械の必要台数を決定する。

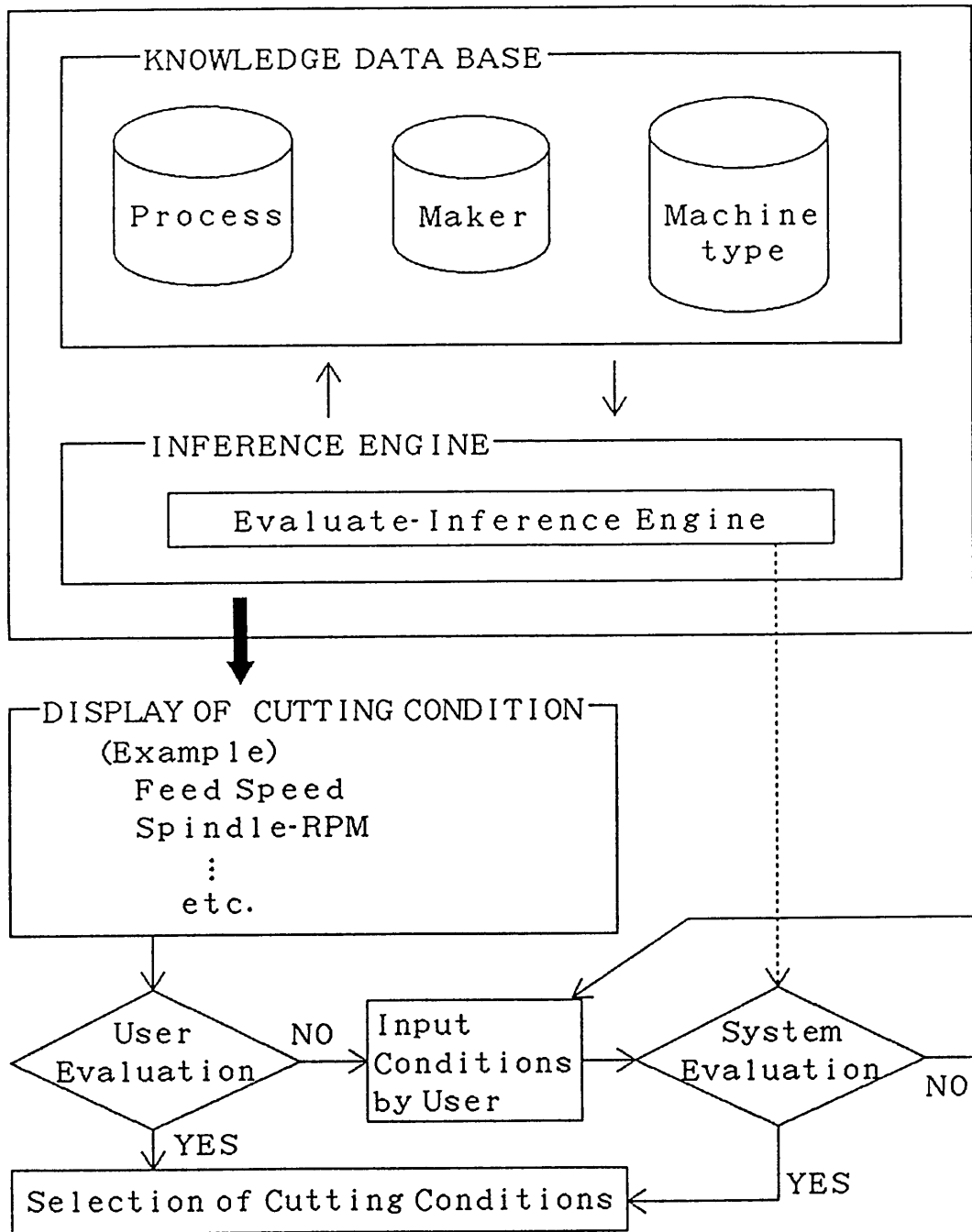


图9.13 加工条件决定处理

```

*** ワークの直径とその長手長さを「ミリ」の単位でインプットせよ **
例 .---->((径1 長さ1) (径2 長さ2)...)((... ..))
> ((12 25)(19 55))
*** 旋削工程についてつぎの質問に答よ***
<1> 刃物のノーズRは +0.8000000-+00 (ミリ) で
    よいか?
        OKならYESを NGなら数値をインプットせよ???
> YES
<2> 送り量は +0.2300000-+00 (ミリ/REV)
    でよいか:
        OKならYESを NGなら数値をインプットせよ???
> YES
<3> スピンドルの回転数は +0.2300000-+04 (RPM) でよいか?:
    OKならYESを NGなら数値をインプットせよ???
> YES

```

図 9.14 評価推論機構部の実行例

9.10. 最終出力

図 9.15が本システムの最終出力例である。左側から工程名，設備一カ名，機械型式，機械台数，また下側には加工条件が出力されている。

図中 L A T H E は旋削工程， Q U E N C H I N G は焼き入れ工程， G R I N D I N G は研削工程， S U P E R F I N I S H は超仕上げ工程， S C R E W C U T はネジ加工工程， I N S P E C T I O N は計測工程である。

```

*****
*           LISTS      OF           *
*   PROCESS , M/C-MAKER , M/C-TYPE , M/C-NUMBER   *
*****
PROCESS           M/C-MAKER           M/C-TYPE           M/C-NUMBER
-----
LATHE              ==> STR              ==> JNC-25           => 2 SETS
QUENCHING          ==> NIPPON-E         ==> JTR-50           => 1 SET

***

GRINDING           ==> KY                ==> KC-200           => 1 SET
SUPERFINISH        ==> SB                ==> RN-300D          => 1 SET
SCREWCUT           ==> IZUMI            ==> *D1664           => 1 SET
INSPECTION         ==> TYK              ==> *TM1083          => 1 SET
*****

```

```

***** CUTTING CONDITIONS *****
<1> SPINDLE RPM   :----> +0.2300000-+04 (RPM)
<2> FEED          :----> +0.2300000-+00 (ミリ/REV)
<3> TOOL QUOLITY :----> CARBIDE-CHIP
<4> NOSE RADIUS  :----> +0.8000000-+00 (ミリ)
<5> WORK RADIUS  :----> +0.1950000-+02 (ミリ)
*****
  <<           END           >>
/-----
>

```

図 9.15 最終出力例

10. 事例ベース推論による新規機械知識獲得

10.1. 事例ベース推論の意義

エキスパートシステムを開発する時に、その支援対象が設計であれ診断、あるいは制御の場合でもその目的の一つは熟練者におき替えることのできるコンピュータシステムとなりうることである。このため熟練者の知識を効率良く、矛盾無く表現し、それを熟練者の思考過程に準拠すべく、推論エンジンを構成したエキスパートシステムが開発されてきた。これらのシステムはある限られた範囲では実用化され、その有効性も証明されている⁽⁹²⁾⁽⁹³⁾。ところが、このようなシステムの推論方法の多くは知識データベースの中から良い解を選びだす、いわゆる探索問題に関する解法に該当すると言ってもよい。この結果、特に設計や診断を支援するエキスパートシステムによって得られた解は、あらかじめ知識ベースとして蓄積されたデータの中から、その問題の条件を満足する組み合わせとして選ばれたものであり、熟練者から見れば当然予想された解としか写らない場合が多い。即ち、たとえ熟練者よりも高度で緻密な推論や計算によって得られた解も、熟練者にとっては「確かに間違いでは無い解」としか評価をうけない。未熟練者が操作することによって、熟練者レベルの解が得られることは大きな利点ではあるが、多くの人数と時間をかけてわざわざ開発する程のシステムでは無いと判断を下す熟練者も多くいる。

そこで知識ベースに存在しない知識を新たに創造し利用することが今後のエキスパートシステムに対する重要な機能と考える。この機能は知識学習⁽⁹⁴⁾⁽⁹⁵⁾⁽⁹⁶⁾⁽⁹⁷⁾⁽⁹⁸⁾と呼ばれるものであり、本章は開発した生産ライン設計支援エキスパートシステムをベースに、新たに事例ベース推論⁽⁹⁹⁾⁽¹⁰⁰⁾⁽¹⁰¹⁾により新規機械仕様を創造する考えを提案する⁽¹⁰²⁾。

10.2. 仮説推論による目標設定

設計過程の非単調性は仮説推論により制御し実現する。この仮説

推論では互いに競合する仮説に対し、ある1つの仮説を真と信じ、矛盾が生じるまで設計を押し進めていくという方法を用いている。即ち、矛盾が生じたらその矛盾の原因となる仮説を真から偽に変更し、また別の仮説を真と考え直し再び設計をくり返すいわゆるTMSに準拠した推論方法である。

ところが、この仮説推論の真から偽への仮説変更はあくまで既存の知識ベースを基にしているために実行されるものである。知識ベースの中にあるすべての知識を使っても満足する解が得られないために、真と信じていた仮説を捨てざるを得ないのである。この考えは多くの熟練設計者が共通に行なう思考過程であり生産ライン設計支援システムを構築する場合にはなくてはならない推論である。しかし熟練設計者の中でも超熟練者はこの思考過程だけではあきらまず、さらに高度な考えを行う。それは今までにあつかったことのない機械を考え出し、それを用いてより良い生産ラインを考え出すことである。新しい機械を創造するという、いわゆる知識学習こそが、本当の意味での熟練者を納得させることのできるエキスパートシステムの機能である。そこでこの新しい機械の創造を事例ベース推論に基づき検討する。

一般に設計問題に事例ベース推論を用いる場合、どのような目標に対して事例ベース推論をするかを設定することが重要となる。例えば、データ探索システムで事例ベース推論を行う場合は、ユーザが入力する目標仕様に対して類似度を考えれば良い。ところが本システムの対象である設計問題では、その目標仕様をいつどの様にして設定するのかを決定しなければならない。そこで次に示す仮説推論の枠組の中で目標仕様を設定することを提案する。

仮説推論過程の競合仮説の中にはどの仮説を真と最初に選択するかがあらかじめ決めることのできる仮説がある。例えば、「工程数最小を選ぶ」、「工程数最小+1からも選ぶ」、・・・等の様な競合仮説に対しては初めに「工程数最小を選ぶ」を真として選ぶことが経験的に行なわれる。この様なあらかじめ選択の優先順位がある

競合仮説というのは、熟練設計者が経験的に一番理想的な事実として頭にえがいているものを第一の優先順位に置いている。即ち、たとえこの第一優先の仮説が偽と判断されたとしても、超熟練者はこの理想的事実に向かって創造的行為を行う。これが事例ベース推論の目標となりうる。

10.3. 生産ライン設計の事例ベース推論

生産ライン設計において知識ベースに無い機械仕様は以下に示す方法により得る。

優先順位をもつ仮説が偽と判定されると、この偽の仮説が真となりうる事を目標に事例ベース推論がスタートする。図10.1に示す様に①制約条件に違反した事実に対しこの違反をひきおこす原因となる機械仕様に関する知識をメタ知識の中から選ぶ。この知識は、機械のどの構造あるいは機能が違反をひきおこすものであるかという対象知識をその重要度と共に記述している。②一番良いと思われていた機械型式に注目し、知識ベースの中にある他のすべての機械型式との類似性を①のメタ知識の中から選ばれた対象知識について調べる。③類似度の小さいものを第一候補機械型式に選ぶ。④この候補機械型式の対象知識だけを取り出し、②で選んだ良いと思われた機械型式の対象知識を入れ替える。⑤この新しい機械知識構造の整合性を調べる。⑥整合性があればこの新しい機械を使い再設計をくり返す。整合性がない場合、あるいは再設計をくり返した時前回同様矛盾を生じた場合は③にもどり次に類似度の小さい機械型式を選び④以降をくり返す。

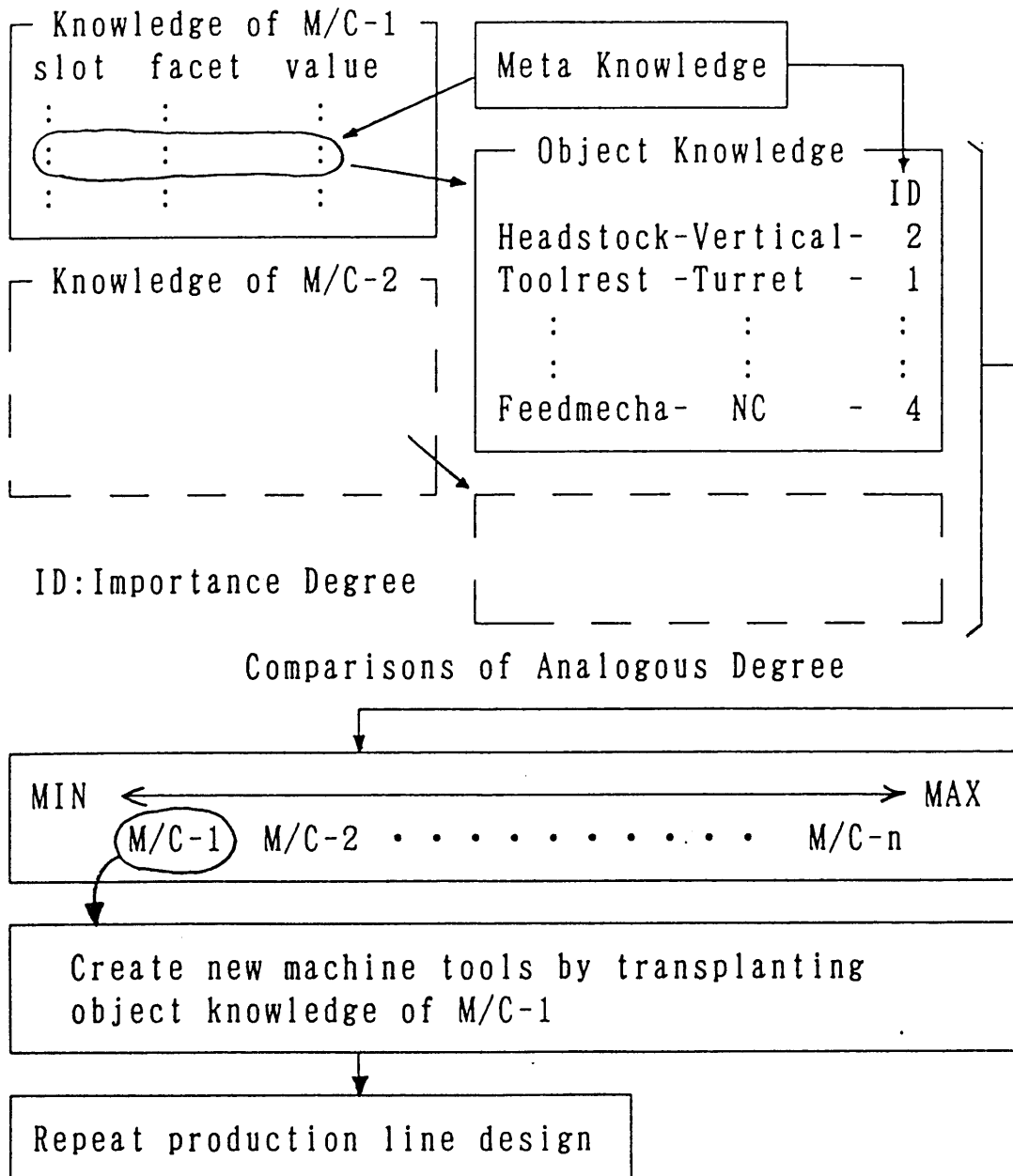


図 10.1 事例ベース推論の過程

1 1 . 結 言

本研究は新しい工作機械を工場内に新しく配置して製品を生産する生産ラインの設計支援エキスパートシステムについて研究した。

2章では従来の工程設計自動化システムとの違いを述べ、本設計の自動化システムには加工精度に関する検討，多目的意志決定，知識工学の三者を総合化したシステム構築が重要であることを述べた。

3章では生産技術の現場に在職している筆者から見た，現場より望まれる生産システム像について述べた。生産技術のスタッフの分野では設計支援エキスパートシステムを中核として設備メーカーの新作機械情報や光ディスクシステム等とのネットワーク化が重要となってくる。実際の工場現場では無線による作業者，無人車への情報伝達，移動制御という未来像を示した。

4章では生産ライン設計支援エキスパートシステムの知識表現について述べた。知識表現はフレーム型知識表現とルール型知識表現の両者を用いたハイブリット知識構成とした。特にフレーム型知識表現では一見無関係な工程，設備メーカー，機械型式の三種の知識を機能面から眺めることで抽象－具体関係として関連付けることができた。この三階層化したフレームのうち，機械型式の知識は一つのフレーム表現で記述するには対象が複雑すぎる。そこで，機械型式の仕様である構造，機能などを詳細なフレームに分割し，各フレームを全体－部分の関係で意味付けし，さらに類似機械型式との間に抽象－具体関係で意味付けした意味ネットワーク表現をもちいた。この表現により知識の記述が容易となり，プログラムの長さも短縮された。

5章では，ハイブリット知識を有効に活用した多目的評価推論について記述した。多目的評価推論は，加工精度に関する検討にひきつづきおこなわれ，工作機械の構造や機能，さらには購入に関する項目に至るまで詳細に総合的に評価を下す。この多目的評価推論は消去法推論により可能解をしばらくこみ，さらに多属性効用関数値比

較法により一つの解を選択する。従来企業内であいまいに行なわれてきた購入に関する処理もルール化と定式化により明確化され短時間にその処理が実行できた。

6章では特に、多属性効用関数値比較法におけるユーザの持つあいまいな知識も知識ベースの中にあいまいな表現でそのまま記述することでユーザより容易に知識を獲得でき、必要によりファジイ推論によりこのあいまいな値を定量値化することで数値計算による比較処理にも利用できた。このあいまい知識はクリस्प値、付加手続きデーモン、あいまい値、あいまい知識の付加手続きデーモンの4種の知識をフレーム型知識表現の中で構成した。

7章ではスケール定数をユーザインタビュ時にもあいまいな解答例を入力するだけで決定し、本システム実用上の便利度を向上した。生産ラインの決定をレベル1とし、生産ライン設計の評価基準をレベル2、工作機械の評価基準をレベル3とした3階層問題としてスケール定数インタビュ問題を置き換え、AHPによりあいまいインタビュを可能とした。

8章では設計者の持つ非単調な設計推論過程を仮説推論により制御しより細かな設計、見落としのしない設計解を得ることができた。TMSによる仮説推論の中である条件下で矛盾となった知識を記憶モジュールに保存し、これを再利用した。

また、9章では開発システムをシャフト形状部品の生産ライン設計に適用し、その有効性を検証した。

最後に、将来のエキスパートシステムの発展方向の一つと考える学習機能について10章で述べた。超熟練設計者が行う新しい機械仕様の創造を事例ベース推論により実行し、知識ベースに記述されていない新しい機械型式に関するフレームを作成する手順を提案した。

参考文献

- (1) H. Fujimoto and H. Yamamoto, Software Technology in Intelligent FA/CIM and its Applications to Production System Design, Proceedings of Rensselaer's 2nd International Conference on Computer Integrated Manufacturing, 1990, PP. 516-523.
- (2) 松島, C I M 製造業の情報戦略, 工業調査会.
- (3) 国際ロボット・F A 技術センタ, M A P, 日本規格協会, 1988.
- (4) 栗原 他, 線形計画法の支援によるルールベース型作業スケジューリング方式, 情報処理学会論文誌, Vol.30, No.8, 1989, PP. 976.
- (5) 齊藤 他, 穴加工工程設計のためのエキスパートシステム, システムと制御, Vol.31, No.7, 1987, PP.528.
- (6) S. Kanai et al., An Expert System for Automatic Process Planning of Boring by Prolog, Proceedings of JAPAN-U.S.A. Flexible Automation Symposium, 1986, pp.769.
- (7) Iwata et al., Development of Knowledge Based Blank Design System for Machining Process Planning, Proceedings of the 6th International Conference on Production Engineering, 1987.
- (8) H-P. Wang, A Knowledge-Based Computer-Aided Process Planning Systems, Knowledge Based Expert System in Engineering: Planning and Design, 1987, PP. 259.
- (9) Sugimura et al., A Knowledge Based Computer Aided Process Planning System Machine Parts, 16th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems, 1984, PP. 83.
- (10) Taylor, Development of a Knowledge Based System for

- Process Planning in Arc Welding, Applications of Artificial Intelligence in Engineering Problems, Computational Mechanics Publication, 1986, PP. 545-561.
- (11) S. C-Y. Lu, A Knowledge-Based Expert System for Drilling Station Design, Applications of Artificial Intelligence in Engineering Problems, 1986, PP. 423-443.
- (12) 前田 他, 都市環境の多目的評価モデルによる北九州の都市環境分析, システムと制御, Vol.28, No.11, 1984, PP. 660-666.
- (13) 岩田, 他, 生産システム学, コロナ社, 1987.
- (14) I. Ham et al., Computer-Aided Process Planning-The present and the Future-, Annals of the CIRP, Prentice-Hall, 1985.
- (15) 岩田, 生産ソフトウェアの知識ベースシステム化, 日本機械学会誌, Vol.88, 1985.
- (16) 沖野, 自動設計の方法論, 養賢堂, 1982.
- (17) 小林, 知識システム技術の現状と将来, 計測と制御, Vol.27, No.10, 1988, PP.859-868.
- (18) 水本, ファジィ推論とその知識システムへの応用, インテリジェントFA研究分科会第16回研究例会資料 No.88-4 (システム制御情報学会), 1988, PP.11-19.
- (19) 菅野, ファジィ制御, 日刊工業新聞社, 1988.
- (20) L. A. Zadeh, Fuzzy Sets and Their Applications to Cognitive and Decision Processes, Academic Press, 1-39, 1975.
- (21) L. A. Zadeh, Syllogistic Reasoning in Fuzzy Logic and its Application to Usuality and Reasoning with Dispositions, IEEE transactions on Systems, Man, and

- Cybernetics, SMC-15, 1985, PP.754-763.
- (22) E. H. Mamdani, Applications of Fuzzy Algorithm for Control of Simple Dynamic Plant, Proc. IEEE, Vol.121, No.12, 1974, PP.1585-1588.
- (23) 安信 他, 予見 Fuzzy制御方式による列車自動運転, システムと制御, Vol.28-10, 1984, PP.1065-1074.
- (24) 柳下 他, ファジィ理論の浄水場薬品注入制御への応用, システムと制御, Vol.28-10, 1984, PP.597-604.
- (25) S. Murakami et al., Weld-line Tracking Control of Arc Welding Robot Using Fuzzy Logic Controller, Preprint of Second IFSA Congress, 1987, PP.353-357.
- (26) 匹田 他, ファジィ・ルールベースを用いた新しいエレベータ群管理システム, 計自制論文集, Vol.25-1, 1989, PP.99-104.
- (27) 荒川 他, 原子炉再循環流量制御系へのファジィ理論の適用, 東芝レビュー, Vol.43-4, 1988, PP.317-320.
- (28) 辻井, 知識の表現と利用, 昭晃堂, 1987.
- (29) 片井, 高次推論の理論と応用, エキスパートシステム: 方法論と応用(計測自動制御学会), 1987, PP.37-51.
- (30) 石塚 他, 仮説推論システムの拡張知識表現と概念学習機構, 人工知能学会誌, 1988, PP.94-102.
- (31) J. McCarthy, Applications of Circumscriptions to Formalizing Common-Sense Knowledge, Artificial Intelligence, Vol.28, 1986, PP.89-116.
- (32) J. Doyle, A Truth Maintenance System, Artificial Intelligence, Vol.12, 1979, PP.231-272.
- (33) Kleer, J., An Assumption-base TMS, Artificial Intelligence, Vol.28, 1986, PP.163-196.
- (34) 中川 他, 不確実な知識におけるTMS, 人工知能学会誌, Vol.3-1, 1988, PP.86-93.

- (35) Kleer, J., Back to backtracking: Controlling the ATMS, AAAI'86, 1986, PP.910-917.
- (36) 瀬尾, 多属性効用分析の地域計画への応用, システムと制御, Vol.28-11, 1984, PP.667-677.
- (37) R. L. Keeney et al., Decisions with Multiple Objective: Preferences and Value Tradeoffs, John Wiley, 1976.
- (38) W. Edward, How to Use Multiattribute Utility Measurement for Social Decision Making, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. SMC-7, No.5, 1977, PP.326-340.
- (39) R. L. Keeney et al., Decision Analysis for the Siting of Nuclear Power Plants-the Relevance of Multiattribute Utility Theory, Proceedings of IEEE, Vol.63, 1975, PP.494-501.
- (40) H. Raiffa, Decision Analysis, Addison-Wiley, Massachusetts, 1986.
- (41) M. Sakawa et al., An Interactive Computer Program for Assisting and Using Multiattribute Utility Functions, Operations Research Center, MIT, Massachusetts, 1975.
- (42) M. Sakawa et al., Integrated Methodology for Computer-Aided Decision Analysis, Hemisphere Publishing Corporation, New York, 1982.
- (43) 刃根, ゲーム感覚意志決定法, 日科技連, 1989.
- (44) Saaty, The Analytic Hierarchy Process, McGraw-Hill, 1980.
- (45) サーティ, AHPを用いた意志決定の構造と判断, オペレーションズ・リサーチ, 1986, PP.479-481.
- (46) 中山, 多目的意志決定-理論と応用-I, システムと制御,

- Vol.30, No.7, 1986, PP.430-438.
- (47) Y. Sawaragi et al., Theory of Multi-objective Optimization, Academic Press, 1985.
- (48) 伊東・岩田, フレキシブル生産システム, 日刊工業新聞, 1983.
- (49) 沖野, CIMのための非管理型統合機構, インテリジェントFA研究分科会(システム制御情報学会), 1990, PP.19-24.
- (50) Y.Ito et al., Some of Layout Designs Related to Future Production Systems, Proceedings of The International Conference on Manufacturing and Environment-Looking Toward the 21st Century-, 1990, PP. 187-193.
- (51) G. Marechal, From Factory Automation to Computer Integrated Manufacturing According to the Open System Architecture CIM-OSA, Proceedings of the 3rd IFIP International Conference on Computer Applications in Production and Engineering, North-Holland, 1989, PP.453-486.
- (52) H.Fujimoto and H.Yamamoto, Key Technology Toward Future Production System in Motor Parts Industry, Proceedings of The International Conference on Manufacturing and Environment-Looking Toward the 21st Century-, 1990, PP. 283-288.
- (53) D.J. Ewins, Modal Testing, Theory and Practice, Research Studies Press, England, 1984.
- (54) 大久保, 機械のモーダル・アナリシス, 中央大学出版部, 1981.
- (55) 鐵, 統計的方法入門, 日科技連, 1983.
- (56) 石川 他, 最新実験計画法, 日科技連, 1973.

- (57) 国藤 他, 学習システム研究の現状と課題, 計測と制御, Vol.25, No.9, 1986, PP.773-780.
- (58) 原口, 類推機構の理論, 計測と制御, Vol.25, No.9, 1986, PP.787-793.
- (59) H.Fujimoto and H.Yamamoto, Future Production System for Automotive Factory in Japan, Proceedings of the 5th International Conference on Manufacturing Engineering 1990, 1990, PP.208-212.
- (60) 人見, G Tによる生産管理システム, 日刊工業新聞社, 1981
- (61) 大野, トヨタ生産方式, ダイヤモンド社, 1978.
- (62) 福田, ストックレス生産, 日刊工業新聞社, 1986.
- (63) R.W.Hall, Zero Inventories, Dow Jones-Irwin, 1983.
- (64) 高木 他, ニューラルネットワークを用いた自己組織化的ファジィ制御器の構成, 計測自動制御学会論文集, Vol.26, No.8, 1990, PP.862-869.
- (65) H.Fujimoto and H.Yamamoto, Computer Aided Design System in Production Line Design, The Symposium on The Application of Mechatronics, 1990, PP.31-35.
- (66) 藤本・山本, 生産設備設計における工程設計エキスパートシステム(フロー型生産ライン部品に対する知識表現), 日本機械学会論文集(C編), Vol.54, No.508, 1988, PP.3149-3154.
- (67) 藤本・山本, シャフト形状部品の工程設計エキスパートシステム, 第6回知識工学シンポジウム(計測自動制御学会), 1988, PP.7-10.
- (68) 上野, 知識工学入門, オーム社, 1986.
- (69) 上野, 知識工学, オーム社, 1986.
- (70) 白井 他, L I S P, 培風館, 1986.
- (71) H. Fujimoto and H. Yamamoto, A Study of Multiobjective Evaluation Reasoning in an Expert System for

- Production Line Design, Proceedings of the International Conference on Manufacturing and Environment-Looking Toward the 21st Century-, 1990, PP.259-264.
- (72) 藤本・山本, 工程設計エキスパートシステムの深層知識表現, 第7回知識工学シンポジウム(計測自動制御学会), 1989, PP. 7-12.
- (73) 藤本・山本, 生産ライン設計エキスパートシステム, インテリジェントFAシンポジウム(システム制御情報学会), 1989, PP. 9-12.
- (74) 上野, 対象モデルの概念に基づく知識表現について-深層知識システムへのアプローチ-, 信学技報 AI86-4, 1986, PP.21-28.
- (75) H. Fujimoto and H. Yamamoto, Improvement of Multiobjective Evaluation Reasoning in an Expert System for Production Line Design, Proceedings of Japan-U.S.A. Symposium on Flexible Automation, 1990, PP.365-372.
- (76) H. Fujimoto and H. Yamamoto, Expert System for Process Planning in Production Facility Design, Proceedings of the 3rd IFIP International Conference on Computer Applications in Production and Engineering, North-Holland, 1989, PP.393-400.
- (77) 藤本・山本, フロー型生産ライン設計支援システムの開発 昭和64年精密学会春季大会講演会, 1989. PP.883-884.
- (78) 田村, 多目的意志決定-理論と応用-II, システムと制御, Vol.30, No.8, 1986, PP.493-501.
- (79) 野村 他, 企業内の設計・計画・評価問題における多目的最適化手法の応用, システムと制御, Vol.28, No.11, 1984, PP.651-659.

- (80) 小林 他, 多属性効用理論を応用した知識獲得方式, 情報処理学会論文誌, Vol.31, No.6, 1990, PP.763-771.
- (81) H. Fujimoto and H. Yamamoto, A Multiobjective Evaluation Expert System for Production Line Design, Proceedings of the 5th International Conference on Application of Artificial Intelligence in Engineering, Springer-Verlag, 1990, PP.447-466.
- (82) 藤本・山本, 生産設備購入支援エキスパートシステムの開発, 知識ベースシステム研究会(人工知能学会), 1990, PP.11-20.
- (83) 野本 他, 再帰型ファジィ推論を用いたオートチューニング・コントローラ, 計測自動制御学会論文集, Vol.25, No.10, 1989, PP.1126-1132.
- (84) 句殿(訳), ファジィ・リレーショナル・データベース, 啓学出版, 1987.
- (85) 寺野 他, ダムゲート診断エキスパート・システムとAHP, オペレーションズ・リサーチ, 1986, PP.500-504.
- (86) H. Fujimoto and H. Yamamoto, Development of Design Support System with New Reasoning and its Applications to Production Line Design, Proceedings of 1990 ASME International Computers in Engineering Conference and Exposition, 1990, PP.17-24.
- (87) 熊谷 他, 実用化ツールの知識ベースエディタ, 人工知能学会誌, Vol.13, No.6, 1988, PP.720-731.
- (88) 横尾 他, 分散協調問題解決におけるATMSの利用, S63年度人工知能学会全国大会論文集, 1988, PP.141-144.
- (89) 石塚 他, 仮説推論システムにおける事例を用いた推論の高速化, 情報処理学会第39回全国大会, 1990, PP.331-332.
- (90) 藤本・山本, 生産ライン設計エキスパートシステムにおける仮説推論, 第9回知識工学シンポジウム資料, 1989,

- PP. 39-43.
- (91) H. Fujimoto and H. Yamamoto, Fuzzy Knowledge Based Multiobjective Evaluation Reasoning in an Expert System Assisting Production Line Design, Proceedings of '90 Pacific Conference on Manufacturing, 1990, Vol.2, PP. 1152-1159.
 - (92) 安信他, 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, 1983, PP.873-880.
 - (93) 三条 他、ジョブショップ型生産計画作成システム, 知識ベースシステム研究会(第14回), 1990, PP.43-50.
 - (94) P.H. Winston, Learning and Reasoning by Analogy, Communications of the ACM, Vol.23, No.12, 1980, PP.689-703.
 - (95) W.S. Mark, Case-Based Reasoning for Autoclave Management, Proceedings of Case-Based Reasoning Workshop, 1989, PP.176-180.
 - (96) D.B. Scalak, Inductive Learning in a Mixed Paradigm Setting, Proceedings of the 8th National Conference on Artificial Intelligence, 1990, PP.840-847.
 - (97) M. Redmond, Combining Case-Based Reasoning, Explanation-Based Learning and Learning From Instruction, Proceedings of the 6th International Workshop on Machine Learning, 1989, PP.20-22.
 - (98) R.S. Michalski et al., 類推学習, 共立出版, 1988.
 - (99) 石田 他, 事例ベース診断の枠組, 計測自動制御学会論文集 Vol.26, No.6, 1990, PP.706-713.
 - (100) K.J. Hammond, SHEF: A Model of Case-Baesd Planning, Proceedings of AAAI-86, 1986, pp.267-271.
 - (101) P.H. Winston, Learning Principles from Precedents and Exercises, Artificial Intelligence, Vol.19, No.3, 1982,

PP. 321-350.

- (102) 藤本・山本, 機械の新規設計における事例ベース推論による知識の獲得, 日本機械学会東海支部大40期総会講演会, 1991.

謝 辞

本研究は名古屋工業大学において、本学機械工学科教授舟橋康行博士，同助教授藤本英雄博士の御指導のもとに行ったものである。両先生に心より御礼申し上げます。

また，本研究を進めるにあたり懇切，丁寧な御助言，御討論を賜りました同大学教授船橋鉦一博士，大野勝久博士，同助教授水野直樹博士，そしてさまざまな面で御協力いただきました荒川和巳技官に厚く御礼申し上げます。

さらに，本研究の機会を与えてくださいました(株)豊田自動織機製作所豊田芳年社長，磯谷智生専務取締役に改めて感謝申し上げます。