

知識工学の計算機室機器レイアウトCADへの応用

Knowledge-based CAD System for Computer Room Facility Layout

計算機システムエンジニアの業務に、計算機システムの部屋内へのレイアウト作業があるが、配置すべき機器の形状のもつ意味を考慮したり、機器間あるいは機器と部屋の間の位置関係に関する意味的制約を満足させる必要から、従来、計算機処理化は困難であった。これを自動化する知的CADシステムを開発し実用化した。機器配置を決定するための定石的知識、機器形状に関する知識、配置処理に必要な各種の手続き的知識を統合的に記述できる知識ベースと、配置状況の認識・理解に基づいて適当な知識を検索し、レイアウト作業を実施する推論機構でシステムを構成した。これによって、作業途上での状況に応じて適切な処理を適宜実施するという熟練者の非決定的作業の計算機化を実現した。また、知識の一部については、簡単な入力操作で知識生成を行なう機能を設けて、拡張性のあるCADシステムとした。

渡辺 俊典* *Toshinori Watanabe*
 安信 千津子** *Chizuko Yasunobu*
 佐々木 浩二** *Kôji Sasaki*
 山中 止志郎*** *Toshirô Yamanaka*

1 緒 言

電子計算機システムのシステムエンジニアの業務の一部に、計算機システムを構成する機器の部屋内へのレイアウト作業がある。部屋の形状と配置すべき機器が与えられたとき、機器の部屋内での位置や機器相互間の位置関係などに関する制約を満足する適切なレイアウト図を作成する必要がある。適切なレイアウト図とは、数値的に与えられる条件というよりも、むしろ次のような意味的な条件を満足していることを指す。

- (1) 機器同士は重なってはならない。
- (2) 機器の保守エリアが確保されている。
- (3) 機器前面がコンソールディスプレイ側から目視できる。
- (4) 入出力機器は部屋の出入口の近くに配置し、ディスクなどは部屋の奥に配置する。
- (5) 機器前面線がそろっている。

などである。

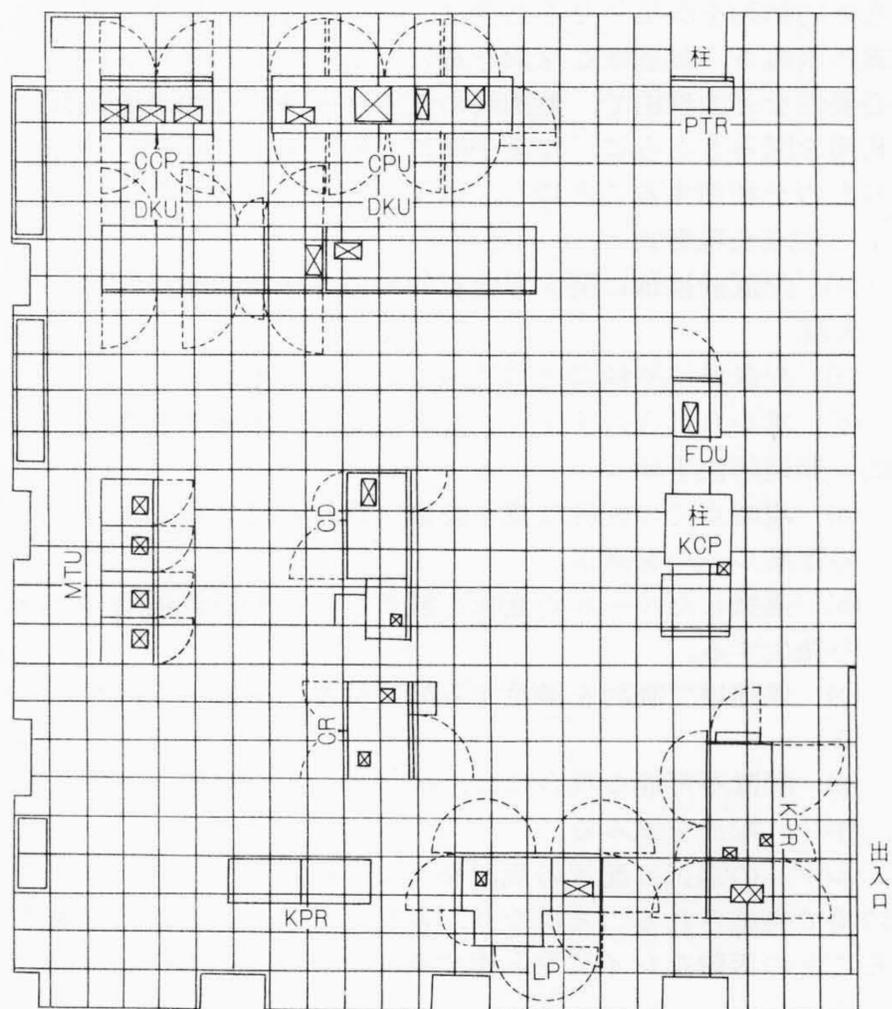
熟練者が計算機室内に計算機システムを実際にレイアウトした例を図1に示す。機器本体の平面図は実線で表わされている。二重線は機器の前面を示す。点線は機器の扉の開閉に当たって障害物が存在してはならない領域、すなわち保守エリアである。同図中CDはコンソールディスプレイ装置であり、計算機システムのオペレータがここに着席することから前記(3)の制約が課される。CRはカードリーダー、KPRは漢字プリンタ、DKUは磁気ディスク装置、MTUは磁気テープ装置、CPUは中央処理装置、等々である。一見、容易にみえるこのレイアウト図も、上述した様々の意味的制約を考慮して作成されていることが分かる。

本報告で紹介するエキスパートシステムは、このような意味的制約をもつ配置問題の計算機による処理を目的とするものであるが、そのためには次のような機能が要求される。

- (1) 計算機に、熟練した業務担当者の作業知識が備わっている。
- (2) 配置状況や問題点を認識・理解することができる。
- (3) 状況理解に基づいて適切な知識を利用し、レイアウト作業を進めることができる。
- (4) 作業知識のうちには事前に定義できないものも多いため、ユーザーがシステムを利用しながら知識を拡張すること

が可能である。

これらの諸機能を手続き形プログラミング技術によって計算機化することは困難であったため、レイアウト作業のうち本質的な部分は従来、人手に頼らざるを得なかった。



注：略語説明 CCP(通信制御処理装置), DKU(磁気ディスク装置), CPU(中央処理装置)
 PTR(テープせん孔読取り装置), MTU(磁気テープ装置), CD(コンソールディスプレイ装置)
 FDU(フロッピーディスク装置), KCP(カードせん孔機), CR(カードリーダー)
 KPR(漢字プリンタ), LP(ラインプリンタ)

図1 熟練者による計算機室レイアウトの実例 機器同士は重なってはならないこと、保守エリアを確保すること、コンソールディスプレイ装置から各機器前面が目視できること、入出力機器は出入口の近くに置くこと、機器前面線はそろえること、といった種々の意味的制約を満足したレイアウト図になっている。

* 日立製作所システム開発研究所 工学博士 ** 日立製作所システム開発研究所 *** 日立製作所ソフトウェア工場

本システムは、知識工学を応用してこの作業を計算機化したもので、本論文ではその概要を紹介する。

2 問題解決のアプローチ

2.1 従来のアプローチ

類似の問題に対する過去の人工知能分野でのアプローチとして次のようなものがある。

- (1) 配置機器の諸属性や配置状況の記述にLISP言語を用いるとともに、未配置領域を凸多角形の集合で表現し、その中に未配置物を配置することで機器の重なりを防ぐ¹⁾。
- (2) 配置機器の諸属性などの記述にフレームを用いるとともに、初期レイアウト案を制約満足状況を改善する方向に試行錯誤によって改良する²⁾。
- (3) あらかじめ定義された配置可能場所のうちから、どこを選ぶかを熟練者の作業知識をもとに作成したルールによって決定してゆく³⁾。

前記(1)の例は、複雑な対象世界の記述と膨大な探索を要するレイアウト問題の解決に記号処理を用いた初期の研究である。(2)の例は、フレームにより対象記述力を強化している。また(3)の例では、配置場所選択のための知識を利用することによって無意味な解の探索を防止している。

2.2 本システムでのアプローチ

本システムで対象とした計算機室レイアウト問題では、複雑な対象の記述、機器の重なりはもちろん、その他の多様な意味的制約を満足させる必要性、機器配置可能場所の事前定義の困難さ、無意味な探索を避けた効率的レイアウト作成の必要性などの理由で、熟練者の使用する多様な知識の統合的利用を図るとともに、作業手順についてもできるだけ熟練者のものを利用することにし、以下のアプローチをとった⁴⁾。

(1) 知識表現形式

- (a) 配置候補地に関する定石的知識や作業手順→ルール形表現
- (b) 配置状況や機器の属性→フレーム形表現
- (c) 重なり具合のチェックなどの処理→手続き形表現

(2) 問題解決手順

- (a) 現時点での配置状況を認識・理解して、次のステップの作業ルールを選ぶ。
- (b) 選択したルールの意味を解釈して、配置候補地(範囲)を発生する。
- (c) 候補地で制約を満足する配置位置と機器の方向を定める。
- (d) 配置不可能な場合には、配置物をずらせてスペースを作り、配置を試みる。

ルールの選択は配置の現況を認識・理解して、その場で実施されることになり、最初から手続きの形で定義することの困難なレイアウト作業過程の計算機処理化が可能になる。

3 システムの構造と機能

システムは、図2に示したように知識ベースと推論機構で構成している。知識ベースには配置候補地決定定石などを記述したルール形知識、機器属性などを記述したフレーム形知識、制約満足状況チェックや物体移動などを実施する手続き形知識を格納している。推論機構は、機器配置状況や制約満足状況を記憶するワーキングメモリと、ルールの選択・意味解釈・実行を行なう知識選択制御機構から成っている。システムに対して部屋形状、配置機器名称及び配置状況を強制的

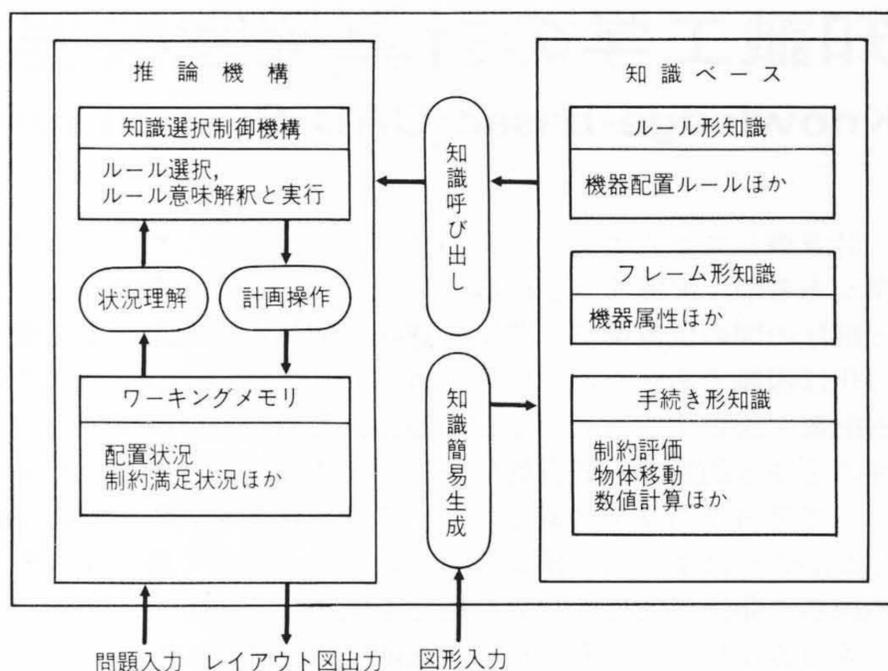


図2 システムの構造と動作 知識ベース内の知識を推論機構によって状況に応じ活用することで、非決定的作業過程を計算機化する。

に指定したい機器があれば、その配置情報を入力すれば残りの機器については、システムがワーキングメモリ内の状況を理解しながら適切な知識を呼び出して利用することを繰り返して自動配置を行なう。なお、一部の知識、特に機器配置ルールについては、簡単な図形入力によってルールを自動生成する機能を保有している。

3.1 知識ベース

知識ベースの内容の一部を図3に示す。知識の大部分はLISPのS式で記述しているが同図では意味内容だけ示した。

(1) ルール形知識

FD(フロッピーディスク)の配置位置を指定する知識の一例を示す。CRがCDの右にあれば、FDはCRの右に置くという熟練者の作業知識をそのまま、if部とthen部から成るルールとして記述している(このルールは、コンソールディスプレイを操作する計算機オペレータがCRやFDを使いやすいようにレイアウトするという定石的知識に対応している)。

(2) フレーム形知識

CRの型紙を定義するCR098001という名称のフレームを示

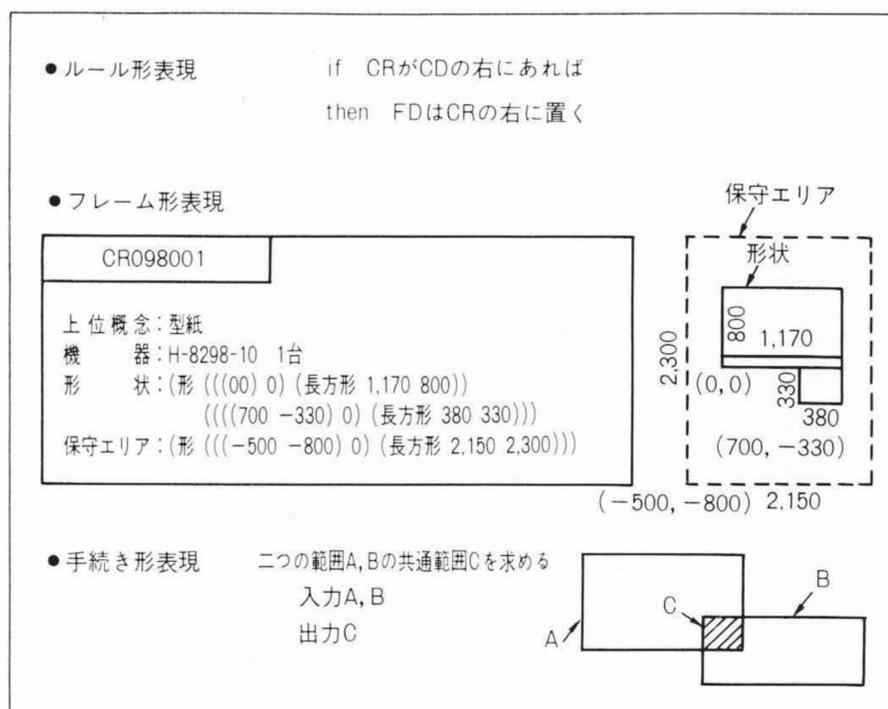


図3 3種の知識表現 熟練作業者の種々の作業知識を活用するために、3種類の知識表現形式を可能としている。

す。CR098001の上位概念は型紙であり、対応する機器はH-8298-10という名称のもの1台から成り、形状と保守エリアは図3の右に示したものになっているということを表現している。なお、元来は扇形の保守エリアを本システムでは長方形で近似している。

(3) 手続き形知識

二つの長方形A, Bを与えて、その積Cを算出する処理などから成る。

3.2 推論機構

(1) ワーキングメモリ

ワーキングメモリでも、図4に示すようにフレームを利用している。レイアウト問題を解かせるとき、最初に部屋形状などを入力する。これによって、ワーキングメモリ内には問題定義フレームが作成される。すなわち、配置物のリスト(物体1, 2など)、マシン室(計算機室)名称(マシン室1)、制約条件のリストなどが定義される。更に、マシン室1自身を定義するフレームも作成され、その中に部屋形状、出入口、柱などの属性が定義される。

レイアウト問題を解く過程では、計画状況を示すフレームが作成される。問題の解は、個々の機器に対する配置決定の連鎖で表わしている。これが図4中で決定1, 2, などで示されている。各々の決定内容もまた、フレームとして記述されてゆく。決定1というフレームは、決定1がマシン室1という配置空間に関するものであり、物体1が部屋内で(4,000, 3,000)の座標位置に角度0度で置かれていることを表わしている。このほか、与えられた一連の制約の満足状況評価結果なども記載される。

(2) 知識の選択制御機構

ルール選択機構は、ワーキングメモリ内に記憶される配置状況を認識・理解し、その状況で次に実行すべきルールを知識ベースから選択する。ルール左辺のif部がワーキングメモリ内の状況に対して真となるものが選択の対象となる。状況判断のために、例えばCRがCDの右にあることを認識・理解するための手続き形知識が利用される。

ルールの意味解釈・実行機構は選択したルールの右辺のthen部を実行処理する。処理の多くは手続き形知識の利用を伴う。機器配置位置決定ルールの右辺の実行によって、「右, 左, 近く…」などの自然語的記述の意味解釈に基づく配置可能範囲の生成, 配置決定, 制約満足状況の分析, 結果のワーキングメモリへの記入などが実施される。配置不可能な場合には、他の可能範囲の探索, 既配置物のスライドなどを実施するルールが呼び出される。一つのルールの実行の結果、ワーキングメモリの内容は変化し、新しい状況に応じたルールが探索され実行される。これによって、ダイナミックに変化する状況に応じて作業を進めるといふ、人手作業にみられる決定的過程を計算機化している。

4 その他の機能

知識システムでは、知識ベースをいかにして充実させるかという問題が重要な課題となっている。本システムでも配置定石知識は事前にすべて作成してしまうことは困難であり、システムを利用しながら順次蓄積する必要があった。この問題に対して、次のような配置ルール簡易生成機能を実現した。すなわち、図5に示すように配置機器に対して既配置物を基準とした配置候補地と配置の方向とを図形処理端末から図形として入力すれば、LISPで記述されたルールの生成と知識ベースへの追加が自動的に行なわれる。

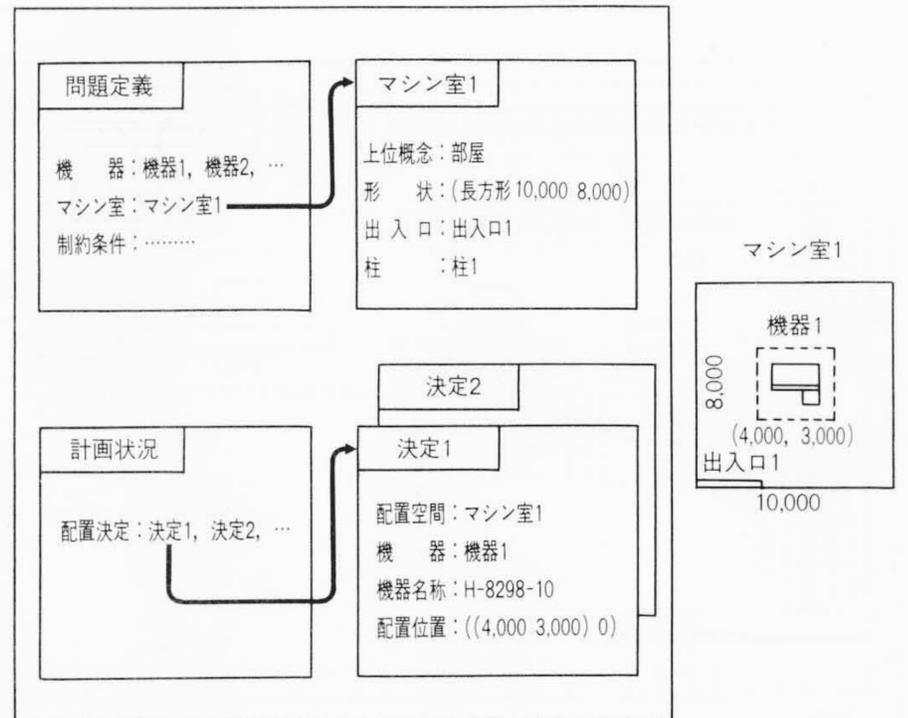


図4 ワーキングメモリの内容 システム利用開始時点で、問題定義フレームが作成記憶され、作業進捗とともに計画フレームが作成記憶される。

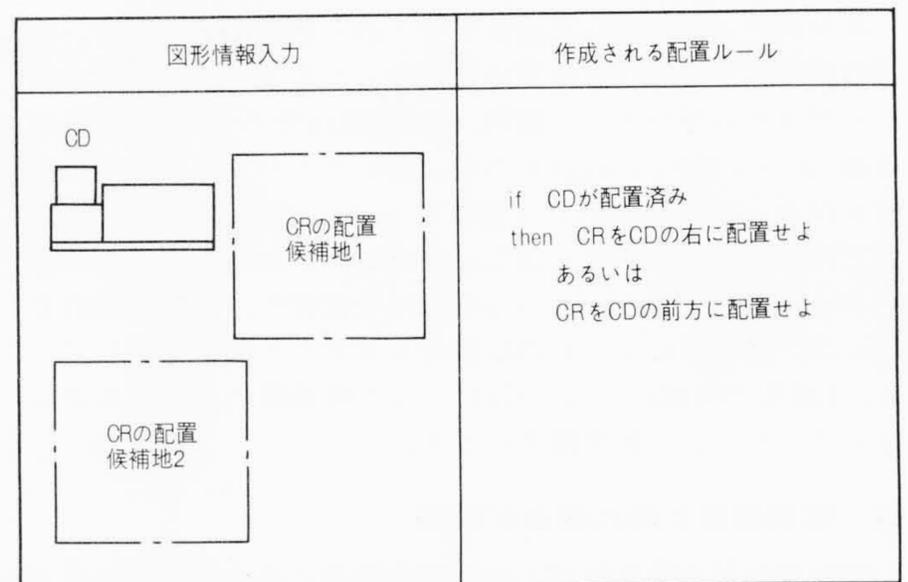
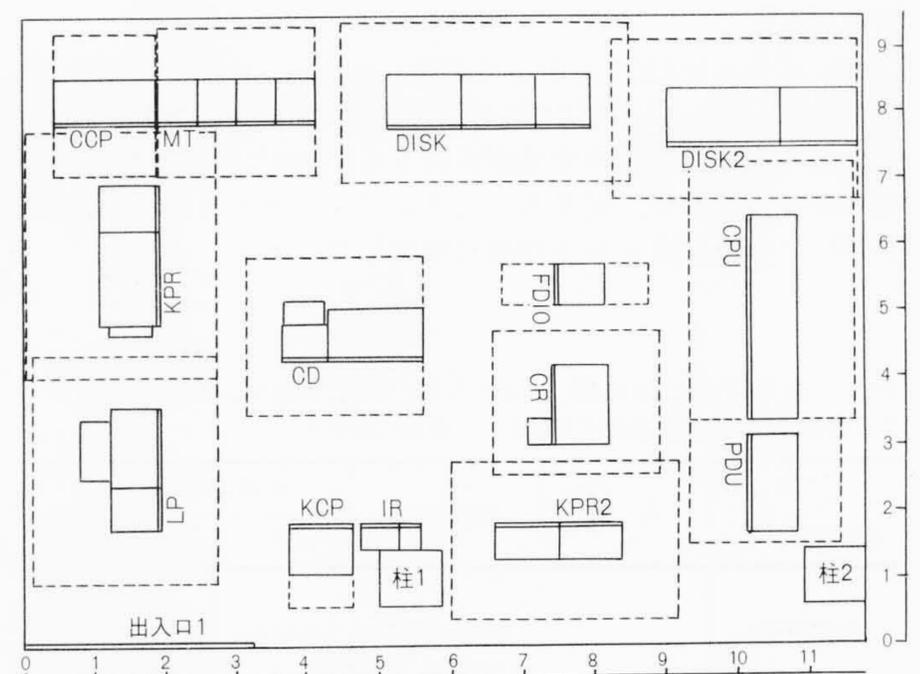


図5 配置ルール簡易作成機能 既配置機器に対して、未配置機器の配置候補地を図形情報で与えると、LISPで記述された配置ルールを自動作成する。



注: 略語説明 MT(磁気テープ装置), FDIO(フロッピーディスク入出力装置), PDU(電源装置)

図6 レイアウト例(1) 長形状の計算機室内への機器レイアウト例を示す。

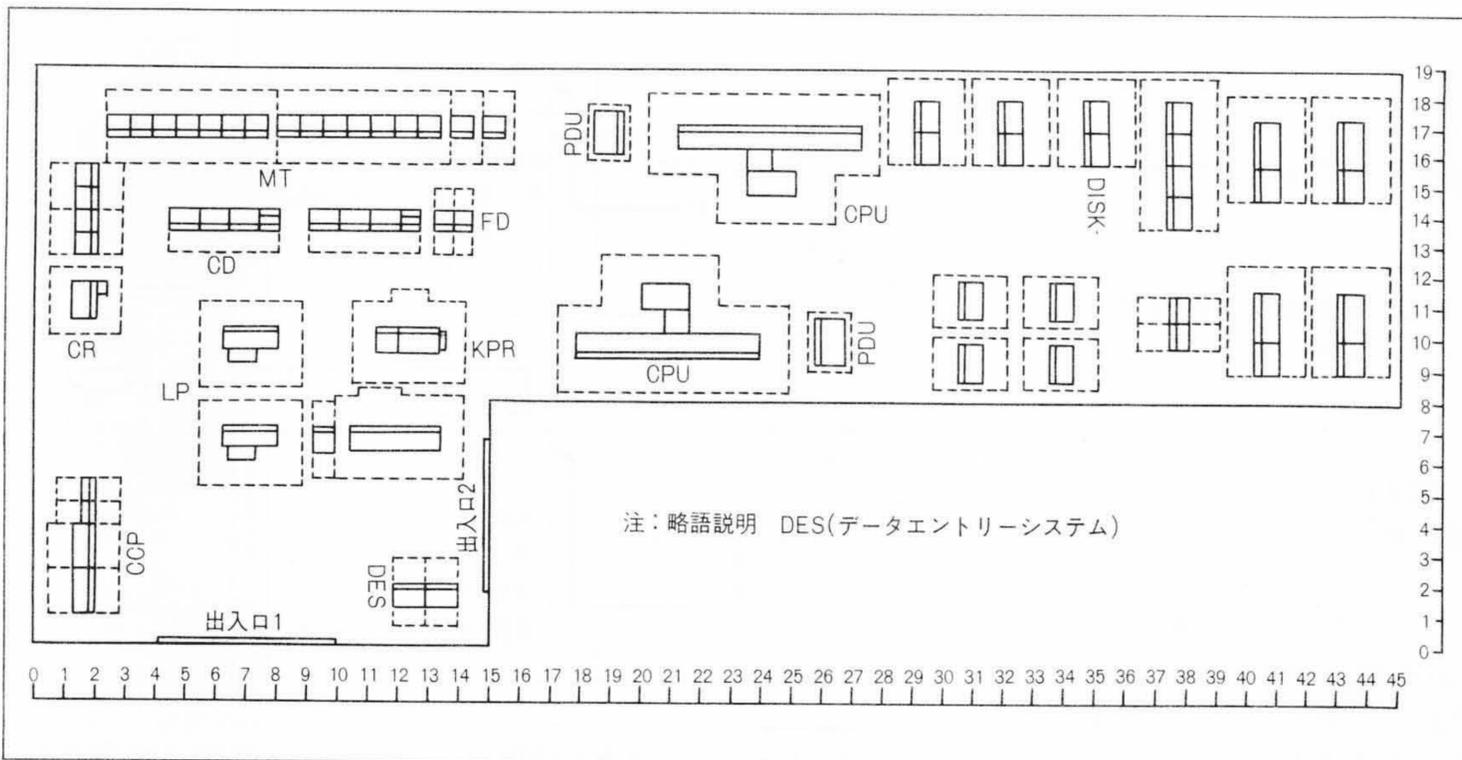


図7 レイアウト例(2)
L字形計算機室内への機器レイアウト例を示す。

5 レイアウト例

本システムで作成したレイアウトの一例を図6に示す。機器の保守エリア(破線)は互いに重なってもよいが、本体と重なってはならないという制約、機器前面はそろえる(二重線が前面)という制約、CRはCDの右に置いてオペレータの利用便宜を図る、KPRやLP(ラインプリンタ)は出入口の近くに置いて外部利用者の便宜を図る、オペレータから各機器の前面パネルが目視できる、といった様々な定性的、意味的制約を守った、熟練者によるものに似たレイアウト図を作成している。L字形の部屋に2台のCPUをもち機器数の多いシステムをレイアウトした例を図7に示す。

6 従来技術との比較及び効果

本システムの従来技術との比較を表1に示す。本システムに似た知識処理システムとしてR1システムが有名である。R1システムでは、機器の配置可能位置はあらかじめ定められている必要があるが、本システムではこのような制約は設けていない。更に、複雑な形状物相互の位置関係を自ら認識・理解しながら作業を行なう機能をもっている点などは新しい特徴である。

本システムはLISPを用いて実現しており、社内で実用化している。システムは現状でルール数400、フレーム数400(固定的なもの100、作業途中で生成されるもの300)、手続き数1,000程度になっており、従来人手によって1件当たり5~8時間を要していた作業を30分程度に短縮している。

表1 従来方式との比較 本システムでは、多様な知識表現機能によって複雑な問題の記述と処理を可能とし、高質の解を得ている。

比較項目	方式	人手	従来方式		知識工学応用方式	
			従来方式	RI	本システム	
問題表現法	—	—	組合せ問題	ルール	ルール フレーム 手続き	
計画作成法	思考	思考	最適化法	推論	推論	
解の質	極めて高	極めて高	中	中	高	
成長可能性	易	易	難	易	易	

本システムでは、部屋も機器も平面図形のものを扱った。すなわち2次元レイアウト問題を取り扱ったが、3次元問題への拡張性もある。その場合特に、複雑な属性をもつ3次元形状物をフレーム形知識表現形式によって容易に表現することが可能である、配置候補地に関する定石的知識を直接ルール形知識として記述しておき、状況理解結果に応じて活用することによりむだな探索を防止することが可能である、といった本システムの特徴が有効になる。

7 結 言

計算機室への機器レイアウト問題を解くためのエキスパートシステムを紹介した。本システムは熟練者が作業時に使用する様々の知識を、ルール、フレーム、手続きなどの形で表現した知識ベースと、レイアウト状況を記憶するワーキングメモリ及び知識の選択・解釈・実行制御機構から成る推論機構をもっている。これらによって、作業の進捗とともに様々な変化する状況に応じた知識を、その場で探索し活用するという非決定的処理を可能とし、熟練者作業の計算機処理を実現している。本システムは日立製作所の工場でレイアウト原案作成システムとして実用されている。今回開発した技術は、店舗やプラントのレイアウト問題あるいは計算機実装問題の解決に有効であり、更に電子部品実装への展開も考えられる。終わりに、本システムの開発に際して、UTILISP言語を利用させていただいた東京大学工学部計数工学科・和田研究室の各位をはじめ、御指導、御支援をいただいた関係各位に対し、感謝の意を表わす次第である。

参考文献

- 1) C. E. Pfefferkorn: A Heuristic Problem Solving Design System for Equipment of Furniture Layouts, Comm. ACM, 18-5, 286~297(1975)
- 2) D. S. Willey and D. R. Toller, SPA: Automating Bathroom Design, CAD, 13-3, 137~144(1981)
- 3) J. McDermott, R1: A Rule-based Configurer of Computer Systems, Artificial Intelligence, 19, 39~88, 1982.
- 4) T. Watanabe, et al.: An Expert System for Computer Room Facility Layout, 5th International Workshop: Expert Systems & Their Applications, Agence de l'Informatique, France(1985)