

リレー解説



エキスパートシステムの諸事例-IV

エレベータ設計支援システム†

勝山恒吉†† 滝 寛和†† 辻 秀一††

1. はじめに

製造業においては、製造物の詳細な設計を行う前に、受注した設計要求が設計/製造可能なものかを事前に調べる設計（基本設計）が必要である。著者らはエレベータ設計においてこのプロセスを分析し、本エレベータ設計支援システムを開発した。本稿では、本エキスパートシステムとその開発プロセス、そして問題解決モデルを紹介する。

設計問題の多くの知識は、部品間の関係を表現する制約で表現される。この制約には、機器の性能、設計の要求仕様や物理的制約などが含まれるが、市販のエキスパートシステムシェルでは、制約をそのままの形式で扱える機能を提供していない。そこで、制約をプロダクションルールの形式に変換することで、これらの制約を処理できるようになる。それゆえ、著者らはまずはじめに、設計プロセスを分析し、設計プロセスの作業（タスク）を明らかにした。これらのタスクは生成プロセス、検査プロセス、修正プロセスである。また、EXPERT MODEL^{5),6)}に基づいてこれらのタスクを組み立てるいくつかの操作（オペレータ）も定義した。本稿ではこれらの知識表現についても述べる。

2. エレベータ設計システム開発過程

2.1 背景

最近のオフィスビルやマンションなどの建物は、他にはない付加価値をもたせることが不可欠となってきた。そのため、インテリジェント化な

どの利便性を追求するとともに、美しさ、イメージ向上を狙って、高級化、差別化した建物が次々と出現してきている。この多様化する建物に対応するため、顧客のエレベータに対する要求も、機能、デザインの両面で複雑になってきている。このようなさまざまな要求仕様に対して、構造面、安全面、法規面、経済面を考慮しつつ、図-1に示すようなエレベータシステムを構成する機器をいかに選定し、いかに配置するかが問題となる。

一方、建築工法、設備の改良が進み、建設工期の短縮化傾向も著しいものがある。それにとまって、顧客のビル設備計画に対し、商談発生時から顧客の要求に迅速に応える必要があり、人の流れを考慮する交通計算に基づくエレベータの台数、速度、容量などの提示と建物のエレベータ収納スペースの複雑さを考慮したレイアウト図の提示が必要となっている。しかし、これらの検討には、エレベータを構成する個々の機器に関する設計ノウハウを理解した熟練技術者が多くの手間をかけている。それゆえ、この業務の効率化、自動化を図れば、多くの需要に対して短時間で応えられることが期待できる。

2.2 エレベータ設計問題

一般に、設計問題は以下のような三つのクラスに分かれる。

1. 設計クラス1：設計構成要素と設計方法が分からない
2. 設計クラス2：設計構成要素は分かっているが、設計方法が分からない
3. 設計クラス3：設計構成要素と設計方法が分かっている。

エレベータの設計知識は確立しており、その設計は上記の設計クラス3に相当する。また、エレベータの受注には2種類ある。一つは設計が確立し、その受注以前に設計が終わっている大量生産

† An Expert System for Elevator Design by Tsuneyoshi KATUYAMA, Hirokazu TAKI and Hidekazu TSUJI (Misubishi Electric Corporation, Information Systems & Electronics Development Laboratory, Systems Technology Development Dept., AI Applications Group).

††三菱電機(株)情報電子研究所システム技術開発部 AI 応用グループ

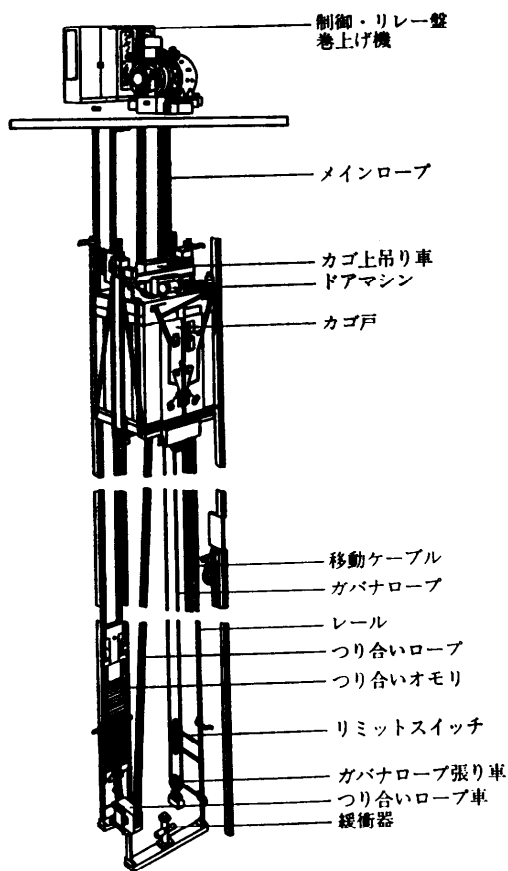


図-1 エレベータの構成

型のエレベータである。もう一つは個々の受注に対して設計を行う個別設計型のエレベータである。著者らのシステムが対象としているのは個別設計型のエレベータの設計である。

2.3 エレベータの構成

ここでは巻上げ式のエレベータを説明する。このタイプのエレベータは、巻上げ機とつり合いオモリにより構成され、巻上げロープを介して、カゴを運搬する。図-1 はエレベータの主要な構成要素を示している。この図では、カゴ、つり合いオモリ、巻上げ機、カゴの速度を制御する調速機、マシンビーム(巻上げ機を固定する架)、レール、緩衝器などを示している。各機器の型/サイズは要求に応じて選定される。たとえば、カゴは乗客の数によって導かれる最大積載容量に応じて設計される。巻上げ機は、速度、容量などの要求仕様と、カゴ、つり合いオモリなどのつり下げる重量に応じて選ばれる。また、これらの各機器は建物の限られたスペースにレイアウト配置しなければ

ならない。この作業は、熟練設計者がさまざまな制約を考慮し、多くの時間をかけて行っている。

2.4 知識獲得

専門家から設計知識を引き出す知識獲得プロセスはインタビューを通して行った。獲得作業は、1カ月かかった。そこで最初に概要を学び、エレベータ機器の基本的な機能を学んだ。その後、専門家に設計プロセスについてインタビューを行い、各機器の詳細、機器間の関係、部分的な設計プロセス、機器選定プロセスとその選定基準、レイアウト設計プロセスそして全設計プロセスを引き出した。以下にこれらの各知識を説明する。

2.4.1 全設計プロセス

ステップ1：設計者は設計仕様の要求に応じて必要な機器を選定する。

ステップ2：これらの機器を建物のスペースに適切にレイアウトする。

2.4.2 三次元空間のレイアウト知識

エレベータの機器は建物の三次元的なスペースにレイアウト配置される。それゆえ、そのレイアウトは非常に複雑である。しかし、設計者は三次元空間を三つの平面に分けて考えている。それらは、機械室平面、昇降路平面、PIT(地下室)平面である。機械室平面には、巻上げ機、調速機、マシンビームなどがある。昇降路平面にはカゴ、つり合いオモリなどがある。PIT平面にはバッファや張り車などの機器がある。

2.4.3 機器選定知識

設計者はまず、設計要求に応じて各機器の型/サイズの候補から特定のものを選定する。もし、次に続くレイアウトプロセスが失敗すれば、再度、他の候補の組合せを選ぶ。この知識はプロダクションルールで表現することができる。単純な場合だと、プロダクションルールの前提部は設計要求であり、その実行部は選ばれる機器である。通常は、設計の要求仕様が直接に機器の選択を決定するのではなく、要求仕様が、さらに詳細な仕様を決定し、その詳細な仕様が機器を選定する過程となる。この過程は、プロダクションシステムの前向き推論にうまく適合する。

2.4.4 設計知識の断片

設計者は、設計知識を体系的に認識している場合が少ないため、知識は断片で獲得されることが多い。また、その知識の断片は、制約(例：機器

Aと機器Bの間は10cm以上必要である) やルール(例: もし、背面に余裕があれば、オモリは背面に配置する)で獲得される。

2.4.5 機器間の関係

設計で扱う機器間の制約関係には、2種類がある。一つは、機能実現上の関係で、たとえば、「巻上げ機とロープがないとカゴを持ち上げられない」「カゴを持ち上げるには、オモリが必要である」などで、エレベータの部分的な機能の実現に基づいている。もし、これらの関係が満足されなければ、エレベータの機能は実現されない。もう一つの関係は、空間的配置に関する制約関係である。たとえば、「同一平面上の機器は互いに干渉しないように配置する」は、空間的配置に関する制約関係である。図-2は、機器間の関係を示した図である。エレベータのレイアウトでは、「カゴ」、「巻上げ機」と「オモリ」が中心機器であり、図では、カゴの位置が決まると「吊り車」「カゴ戸閉」「レール」「昇降路機器」「非常止」が決まることを実線の矢印で示している。また、破線の矢印の関係では、どちらが先にその位置が決

まるかは規定していないが、たとえば、「機械台」と「调速機」は互いに片方の位置がもう一方の位置に制約を与える。

2.4.6 各機器の詳細

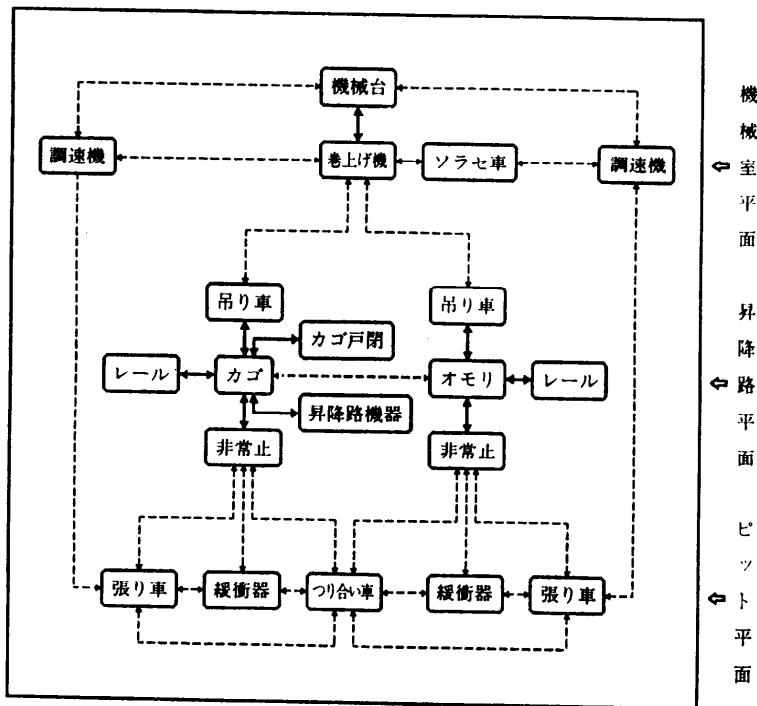
各機器について、その機能、形状、型の種類、適切配置位置などの知識がある。それらは膨大な資料で提供される。知識が文書/図面の形で残っているのは、過去の事例として、レイアウト図があるが、これは設計結果であり、設計プロセスではない。レイアウトプロセスは、専門家から知識獲得を行う必要がある。

3. 知識表現

この章では、問題解決モデルとその操作(オペレータ)を説明し、また、設計対象物を表現する知識を紹介する。いかにして、獲得した知識をこれらの知識表現に変換するかを議論する。

3.1 問題解決モデルと推論方式

この節ではレイアウトの問題解決モデルについて議論する。著者らは対象としているレイアウト問題に対して生成・検査・修正法を採用した。そ



←→ (実線) 中心機器により位置決定されるもの
 ←→ (破線) 相互に影響を及ぼす関係があるもの

図-2 各機器(群)の相互関係

して、このモデルの詳細な知識表現形式を定義した。また、このモデルのオペレータについては次の節で説明する。

(1) 生成の役割

機器、機器の組合せ、機器の配置位置の候補を生成する。

(2) 検査の役割

機器間の関係が制約を満たしているかどうかをチェックする。

(3) 修正の役割

いくつかの制約を満足しない機器のパラメータ(たとえば機器の配置位置)を修正する。

生成、検査モデルを利用した完成度の高い問題解決システムを構築するためには、あらかじめ制約を十分考慮し、検査器によって拒絶されてしまう候補をできるだけ生成しない生成器を構築しなければならない。あるいは、知的バックトラッキングメカニズムを実現しなければならない。幸い、エレベータ設計の専門家は十分な生成知識を持っている。それゆえ、この知識には、ある候補がだめな場合に次の候補を決める知識や候補を修正する知識が含まれている。この知識を利用して、修正タスクを実現した。

3.2 問題解決の基本構成要素(操作)

何人かの研究者から問題解決の基本構成要素が提案されている。汎化タスク(generic tasks)¹⁾はいくつかのエキスパートシステムを開発した経験から導かれている。発見的分類(heuristic classification)²⁾の研究における基本構成要素はこれらの基本構成要素の一種である。役割制限方法(role-limiting method, half weak method)⁴⁾はドメインに依存しないタスクを提案している。著者らもまた、知識を整理し制約からルールを生成するために、生成、検査、修正モデルの操作を考えた。著者らの操作は EXPERT MODEL^{5), 6)}に基づいている。EXPERT MODEL は、プロダクションルールで書かれた診断エキスパートシステムの知識ベースの分析から得られた問題解決モデルである。このモデルでは、ルールの役割を 10 のタイプの基本操作に分類している。1. 選択, 2. 分類, 3. 組合せ, 4. 順序付け, 5. 入力, 6. 出力, 7. 生成(逐次候補生成), 8. 数値演算, 9. 値の入換え, 10. 要素分解が基本操作のタイプである。たとえば、「もし、高速のエレベータが必要ならば、

巻上げ機は高速のモータとする」というルールは、「高速のモータを選ぶ」操作を行っていることになり、選択操作のタイプに属する。知識獲得では、各断片知識がどのような役割をもっているかを明確にできるため、多くの知識の整理や他の知識との関係を確認するうえで、この詳細なタイプ分類が有効であった。実現モデルには、このモデルよりも単純で構築しやすい生成・検査・修正モデルを採用した。知識ベース構築の際には、以下に説明する対応づけに従って実現した。

生成器:

- (1) 機器の組合せから機器を選定する
- (2) 配置位置の組合せから配置位置を選定する
- (3) 数学的な機能(関数)を用いて値を計算する(設計パラメータを計算)
- (4) 表現を変更する(e.g. データの抽象化)
- (5) 機器の組合せ

検査器:

- (6) 値のチェック
- (7) 関係のチェック

修正器:

- (8) 漸化式による値の生成
- (1), (2), (6) と (7) は EXPERT MODEL の選択操作と一致している。(3) は数値演算操作と一致している。(4) は値の入換え操作と等しい。(5) は組合せ操作と一致している。(8) は生成操作と等しい。EXPERT MODEL は各操作をいかに構築するかを提案している。それにより、各操作を組み立てるための最低限の情報を得ることができる。それゆえ、これらの操作を前提に制約を整理した。

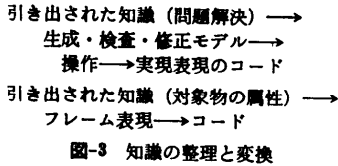
3.3 知識のコード化

この節では、部品やその属性の部分情報として獲得された知識と操作間の関係について説明する。また、Prolog 言語の表現に似た ESP 言語*により表現されるインプリメントレベルの知識表現を紹介する。

3.3.1 制約と操作の関係

獲得された知識は図-3 に示すような変換フローに従ってコード化した。設計問題解決の知識は生成、検査、修正タスクのモデル形式を経由し

* ESP (Extended Self-contained Prolog) Prolog にオブジェクト指向を付加した言語。



て操作に変換した。そして、これらの操作を ESP 言語で表現されるインプリメントレベルのコードに変換した。また、設計対象物やそれらの属性に関する知識は操作に対するデータとして取り扱い、フレーム形式に整理した。その後、それらを ESP 言語の変数と値にコーディングした。

まずはじめに、エレベータ設計の問題解決知識と生成・検査・修正モデルの関係を説明する。次に、獲得された制約の知識から、いかに配置位置生成器を構築するかを説明する。レイアウトの典型的な知識は、対象物の 2 次元的な位置を決定づける知識である。機器のレイアウト問題において、以下のような三つのタイプの配置位置生成器がある。

(1) 他の制約を考慮せず与えられたエリアに対象物を配置する。この操作は、三つの情報から組み立てられる。それらは、初期配置位置情報と最終配置位置情報とそれらの間から生成される配置可能な配置位置情報である。これらの情報はエリアの制約とその連続的な表現から離散的な配置位置を生成する制約から導かれる。ある種の修正器は同じ構成をしている。

(2) 他の対象物の配置位置データを利用して対象物の配置位置を計算する。この操作を構築するためには、数学的な等式は対象物間の関係から変換されなければならない。

(3) 配置位置候補の組合せから配置位置を選定する。この操作を構築するためには、これらの配置位置の候補は対象物の配置位置制約から変換されなければならない。

3.3.2 実現表現例

実現表現例を紹介する。この形式は一種の Prolog の記述であり、ESP 言語の記述である。次に示す記述はドアの機器を表現する選択操作を示している。

```

class door-selection has
  :select (Class, Door, Doortype, Doorspec):-
    door (Door, Doortype, Doorspec);
local
  
```

```

door (door1, type1, Doorspec) :-
  Doorspec >= 800, Doorspec <= 1400;
door (door2, type1, Doorspec) :-
  Doorspec >= 750, Doorspec <= 1500;
door (door3, type2, Doorspec) :-
  Doorspec >= 700, Doorspec <= 1100;
door (door4, type2, Doorspec) :-
  Doorspec >= 1100, Doorspec <= 1500;
end.
  
```

この表現はドアの要求を含んでいる。そして、この知識がドアのスペックとドアのタイプの要求に応じてドアを選定する。

4. 設計システムの概要と事例

本システムは図-4 に示すように機器選定システムと機器レイアウトシステムから構成される。

4.1 機器選定サブシステム

機器選定サブシステムは要求に応じて機器を選定する。このシステムは特化型エキスパートシステム構築用シェル (Acekit) により実現されている。このシェルは知的スプレッドシート的一种である。機器選定知識はルール形式で表現されている。ワーキングメモリはテーブル (スプレッドシートのシート) に一致している。この推論エンジンはテーブルの内容とルールに前提部 (if 部) がマッチしているかどうかをチェックする。もし、ルールが発火すると一つないし複数のテーブルの内容を書き換える。この変更は、他のルールの起動のきっかけとなる。推論はこのように継続される。

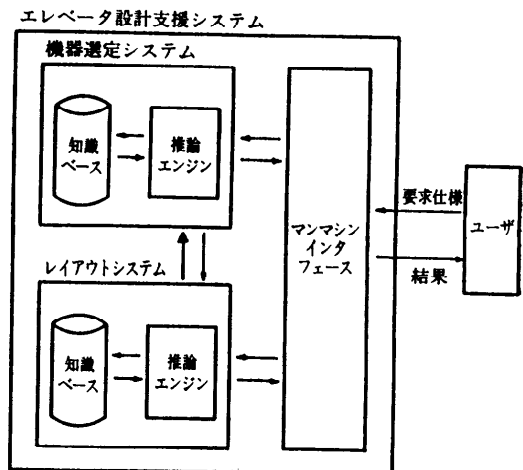


図-4 システムの構成

4.2 レイアウトサブシステム

レイアウトサブシステムは設計要求と機器の組合せに応じて機器のレイアウト設計を行う。このシステムの問題解決モデルは、3.1で説明したように生成・検査・修正モデルである。本システムは、扱うレイアウト空間を機械室平面、昇降路平面、PIT 平面の三つの平面に切り分け、各平面ごとに二次元的なレイアウトを行う。本システムは機器選定サブシステムによって決定づけられた機器を利用する。しかしながら、レイアウトのプロセスが失敗すれば、本システムは機器選定システムに対して、他の機器の組合せをバックトラックによって選定するように要求する。レイアウトの結果は同時に三つのウィンドウに示される。本システム設計要求の制約を満足する機器をすべてレイアウトした後、結果がよいか悪いかをユーザに問う。もし、ユーザがそれを拒否すると、本システムは次の候補解を探す。ユーザがそれを受け入れたとき、本システムはより詳細な情報を計算する。トータルシステムは専門家よりも約 10 倍程度早く結果を生成することができる。それゆえ、

専門家の手作業によるこの設計作業に対して、多大な省力化が図れる。

4.3 設計事例

エレベータ設計のプロセスを紹介する。まず最初に、機器選定サブシステムの機能を説明する。図-5 は表形式のヒューマンインタフェースを提供する機器選定サブシステムのマルチウィンドウを示している。ユーザは表の各覧に要求項目を入力する。たとえば、左上のウィンドウにカゴの速度 90 m/minutes と入力する。これらの入力はいくつのルールに影響し、多くの項目が順次決定される。その結果として、機器が選定される。レイアウトサブシステムは機器選定サブシステムによって決定したレイアウト対象物を機器の組合せとしてとらえる。図-6 は 5 つのウィンドウで設計プロセスを示している。上部三つのウィンドウは、左から、機械室平面、昇降路平面、PIT 平面を表わし、各平面には配置されるべき機器の形状が、矩形または円で表わされている。下部のウィンドウは、推論過程のメッセージと対話的な質問を含んだシステムメッセージを示している。図-7

仕様入力			軸荷重			
向先	国内	CWT幅	260.0 mm	輪荷重	4359.8	
用途	乗用	WG	1200.0 mm	ブ方式	ハーフラップ	
*総楼	VM	CWTSF		ピン	1	
*速度	120 m/min	*オモリ用GOV形式	あり	ゴ自重	817.7	
制御方式		カゴ用非常止め制御形式		リ重量	1725.8	
*CAP	1600 kg	オモリ用非常止め制御形式		床重量	375.0	
ローピング	1	制御ケーブル本数	1 本	CAP	1600	
ラップ方式	ハーフラップ	制御ケーブル単位重量	4.7 kg/m	ブ重量	0.0	
乗上げロープ単位重量	494.0 kg/m	*J.Jの中心X径	1250.0	の重量	0.0	
昇降路全高	9			丸重量	216.2	
*昇降行程	9	選定結果				
構造		*巻上機	EM-2400	つり車(カゴ用)		
カゴ用ブラケットパン		ソラセ車	SG-308	つり車(オモリ用)		
カゴ用ガイドシューズパン		*マシンベーム	H194*150*	非常止め(カゴ用)	GSB-500	
*トリア方式		ツナ止めバリ	不要	非常止め(オモリ用)	GSC-500	
トップクリアランス		*GOV(カゴ用)	DG-540M	ガイドシュー(カゴ用)	LUR153	
第二機械室高さ		*GOV(オモリ用)	DGC-540	ガイドシュー(オモリ用)	LUR76E	
SIDEXIT		*レール(カゴ用)	18	ガイドシュー(オモリ用)		
*AH	250	*レール(オモリ用)	13	巻上げロープ	12	
*B径	250	バッファ(カゴ用)	OBD-450	巻上げロープ本数	6	
HB	345	*バッファ(カゴ用)個数	1	ドリア装置	K3	
JJ		バッファ(オモリ用)	OBD-450	つり合車	CG-522C	
EE	60	*バッファ(オモリ用)個数	1	つり合ロープ	16	
ピット深さ		はり車(カゴ用)	HG-326H	つり合ロープ本数	5	
		はり車(オモリ用)	HGC-324	(付装置)		
柱サイズ	180*75*1	カゴ付	KWM	(カゴ用給油器)	RL-83	
BS	2	カゴ床	KWM	(カゴ付付属品)		
HB	3	*オモリ	920			
SIDEXIT						
		加減重量	9.0			

図-5 機器選定システムの画面例

はレイアウトサブシステムの出力を示している。この図では、上部の三つのウィンドウはレイアウトの解である。下部の三つのウィンドウが上部で示されているレイアウトのパラメータの詳細な値を示している。

5. 関連研究

エレベータ設計のためのエキスパートシステムとしては、VT³⁾がある。VTでは、問題解決の

モデルを Propose & Revised としている。VTは、設計の効率化に、設計の失敗時のバックトラッキングの知識も利用できるようになっている。本システムとの大きな違いについて説明する。設計入力仕様の設定画面が、VTでは固定であるが、本システムは、知的スプレッドシート(Acekit)を設計入力の設定に利用しており、中間出力結果を設定することもできる。問題解決のモデル間に大きな差はないと考えられるが、VTは、バックトラ

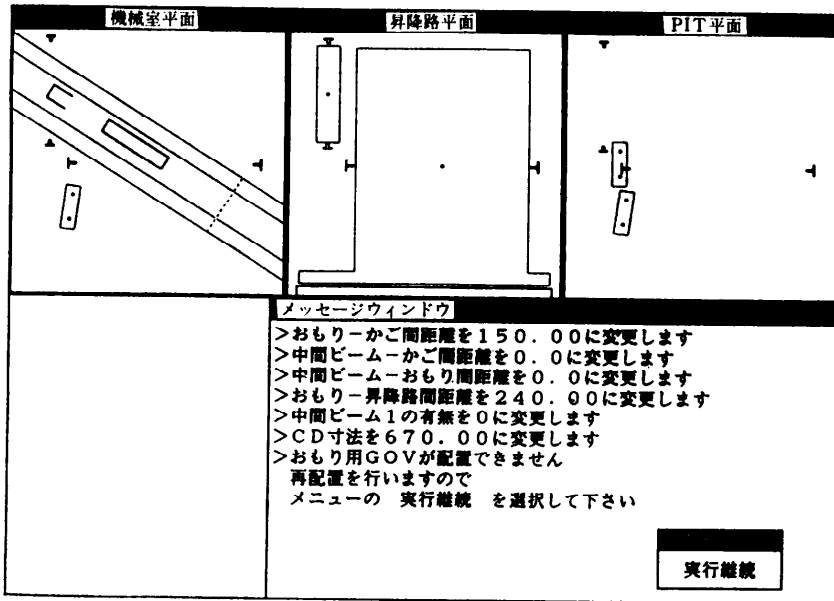


図-6 レイアウトシステムの画面例

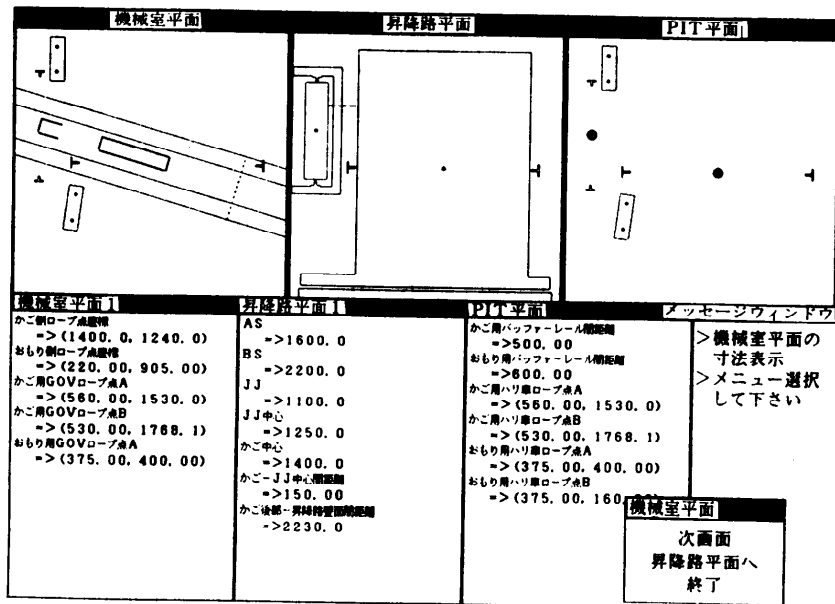


図-7 レイアウトシステムの出力画面例

ッキングの知識も表現できる。本システムでは、修正器がこれに対応するが、ESP 言語のバックトラッキングを利用している。

6. ま と め

本解説では、エレベータ設計支援システムの機能と構成、及び、その開発について、紹介した。このシステムの特徴は、機器選定サブシステムとレイアウトサブシステムから構成され、問題解決モデルとして、生成・検査・修正モデルを採用した点である。このレイアウトサブシステムが3次元の配置問題をうまく実現できた理由は、三つの2次元の平面の配置と平面間の制約関係に分離した点である。また、複数の専門家から知識獲得を行ったため、しばしば、表現に相違が出たが、EXPERT MODEL と生成・検査・修正モデルの問題解決モデルでの知識の整理により、知識の役割を明確化できたので、整合性をうまくとることができた。なお、今後は、他の設計エキスパートシステムの開発に問題解決モデルの技術を適用していく予定である。

謝辞 本研究を行うにあたり、設計知識や助言を与えてくださった当社稲沢製作所の技術部渡辺部長やその他の機械設計課の皆さまに深く感謝いたします。また、当情報電子研究所において有益な助言をいただいた多くの皆さまに深く感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) Chandrasekaran, B.: Generic Tasks in Knowledge-Based Reasoning: High-Level Building Blocks for Expert System Design, IEEE Expert, pp. 23-30 Fall (1986).
- 2) Clancy, W. J.: Heuristic Classification, Artificial Intelligence, 27 (3), pp. 289-350 (1985).
- 3) Marcus, S., Stout, J. and McDermott, J.: VT—An Expert Elevator Designer That Uses Knowledge-Based Backtracking, AI Magazine, pp. 41-58, Winter (1987).
- 4) McDermott, J.: Preliminary Steps toward a Taxonomy of Problem-Solving Methods, (in Marcus, S. ed., Automating Knowledge Acquisition for Expert Systems, pp. 225-256, Kluwer

Academic Publishers, Boston (1988).

- 5) Taki, H., Tsubaki, K. and Iwashita, Y.: Expert Model for Knowledge Acquisition, Proc. of IEEE 3rd Annual Expert Systems in Government Conference, pp. 117-124 (1987).
- 6) 滝, 椿: 知識獲得のための知識表現「専門家モデル」, 人工知能学会誌, Vol. 5, No. 2 (Mar. 1990).
- 7) 勝山他: エレベータ設計支援システム, 電子情報通信学会春季全国大会 (1989).
- 8) Taki, H. and Katsuyama, T. et al.: An Expert System for Elevator Design: Operational Expert System Application in the Far East, Jae Kyu Lee ed., Pergamon Press (1991).

(平成4年1月14日受付)



勝山 恒吉 (正会員)

1963年生。1987年千葉大学工学部電子工学科卒業。同年三菱電機(株)入社。情報電子研究所を経て、現在、同設計生産性技術センターに勤務。知識情報処理、エキスパートシステムなどの研究・開発に従事。



滝 寛和 (正会員)

1956年生。1978年大阪大学基礎工学部制御工学科卒業。1980年同大学院基礎工学研究科修士課程修了。同年三菱電機(株)入社。1986年9月(財)新世代コンピュータ技術開発機構出向。1990年4月三菱電機(株)帰任。現在、同設計生産性技術センター所属、工学博士。設計分野への知識工学応用、知識獲得・学習に興味をもつ。共著「エキスパートシステム入門」(共立出版)、人工知能学会、計測自動制御学会、ロボット学会各会員。



辻 秀一 (正会員)

1969年大阪大学基礎工学部電気工学科卒業。1974年大阪大学大学院博士課程修了、工学博士。同年三菱電機(株)中央研究所入社。同コンピュータ製作所を経て、現在同情報電子研究所所属。知識情報処理、エキスパートシステムなどの研究に従事。電子情報通信学会、人工知能学会各会員。