

知識工学の変電所機器レイアウトCADへの応用

Application of Knowledge Engineering to Substation Layout Systems

最近、計算機に記号演算を行なわせて、三段論法を複雑に組み合わせたような論理的判定もできる新しいタイプの設計・計画支援システムが提案されている。しかし、変電所レイアウトのような設計・計画の問題は、必ずしも三段論法の組合せだけでは効率的に解くことができず、問題を解くための手順の役割が極めて大きい。

本研究では、階層設計、計画修正、複数解探索といった設計・計画問題に特徴的な専門家の手順を扱うための推論手法を開発した。計画修正には、ある機器配置の基になった知識や他の機器配置を記憶しておき、処理途中で失敗したときにはその依存関係を直接用いて、効率的に修正する方式を採用した。変電所機器レイアウトCADを具体例として基礎的検討を行ない、開発した推論手法の有効性を確認した。

吉田健一* *Ken'ichi Yoshida*
小林康弘** *Yasuhiro Kobayashi*
上田至克*** *Yoshikatsu Ueda*
元田 浩**** *Hiroshi Motoda*

1 緒 言

人工知能、特に知識工学の研究の発展に伴い、計算機を用いて専門家の知識を直接利用する新しいタイプの設計・計画支援システムが提案されている^{1)~4)}。このようなシステムでは、従来のように計算機に数値演算だけを行なわせるのではなく、記号演算を行なわせて、三段論法を複雑に組み合わせたような論理的判定ができるようにしている。代表的な例としては、米国カーネギーメロン大学のMcDermottらにより開発された計算機のオプションによる機器構成の決定支援システムR1があり⁵⁾、現在米国DEC社でXCONとして実用化されている。

R1は三段論法を計算機上で実現する手法の一つである前向き推論手法⁶⁾を用いたシステムであり、専門家の知識を記号として表現し直接利用する技術である知識工学の実用性を示した。しかし、専門家は必ずしも三段論法に基づく論理判定だけを使って問題を解いているわけではない。複雑な設計・計画の問題を解くときには、一度決めた事項を後から変更することがあり、単に前向き推論と呼ばれる推論手法で三段論法を繰り返すだけでは、推論結果に矛盾を生じ適切な解が得られない場合もある。例えば、変電所の機器レイアウトの場合、制約条件を満足するため、一度配置した機器の位置を後で修正することがある。このような場合、起こりうるすべての状況を事前に想定することは難しく知識が不十分となるため、単に前向き推論を用いるだけでは位置修正により別の制約条件に違反する結果を得てしまうことがある^{6),7)}。

本研究では、変電所レイアウトのような設計・計画の問題を扱うために、専門家が三段論法で使う知識だけでなく、専門家の問題解決の手順も組み込んだ推論手法を開発した。

本稿では、変電所機器レイアウトCAD(Computer-Aided Design)を例として、開発した推論手法とそれに基づく基礎検討の結果を説明する。

2 変電所レイアウト問題

変電所レイアウトを具体例に、設計・計画問題を解く場合、まず、どのような手順を用いているかを検討した。

遠隔地で発電された電力は500kV級の超高電圧で都市周辺まで送電され、幾つかの変電所を経て降圧され、工場や家庭

などに送られる。電力需要の増加に伴い新しい変電所を都市周辺の平野部に建設する場合、現在は電力会社の専門家が、変電所建設予定地の敷地形状、送電線方向、周辺の道路により定まる変電所の入り口位置などを前提条件としてレイアウトを決めている。知識工学を応用すれば、この専門家の問題解決のプロセスを計算機に肩代わりさせたレイアウトシステムが実現できるはずである。そのシステムの入出力の関係は図1のようになる。

専門家による変電所レイアウトのプロセスを分析し、次の3点が特徴として明らかになった。

(1) 専門家は、主要な変電用設備の配置形状を表わした型紙(以下、標準パターンと呼ぶ。)を用いて概略のレイアウトを決めていく。まず、標準パターンを1件選びだし敷地内でだいたいの位置を決める。次に、敷地形状などの前提条件に応じて標準パターンを順次修正・詳細化し、階層的にレイアウトを進めている。

この階層的なレイアウト手順の各ステップには、変電所レ

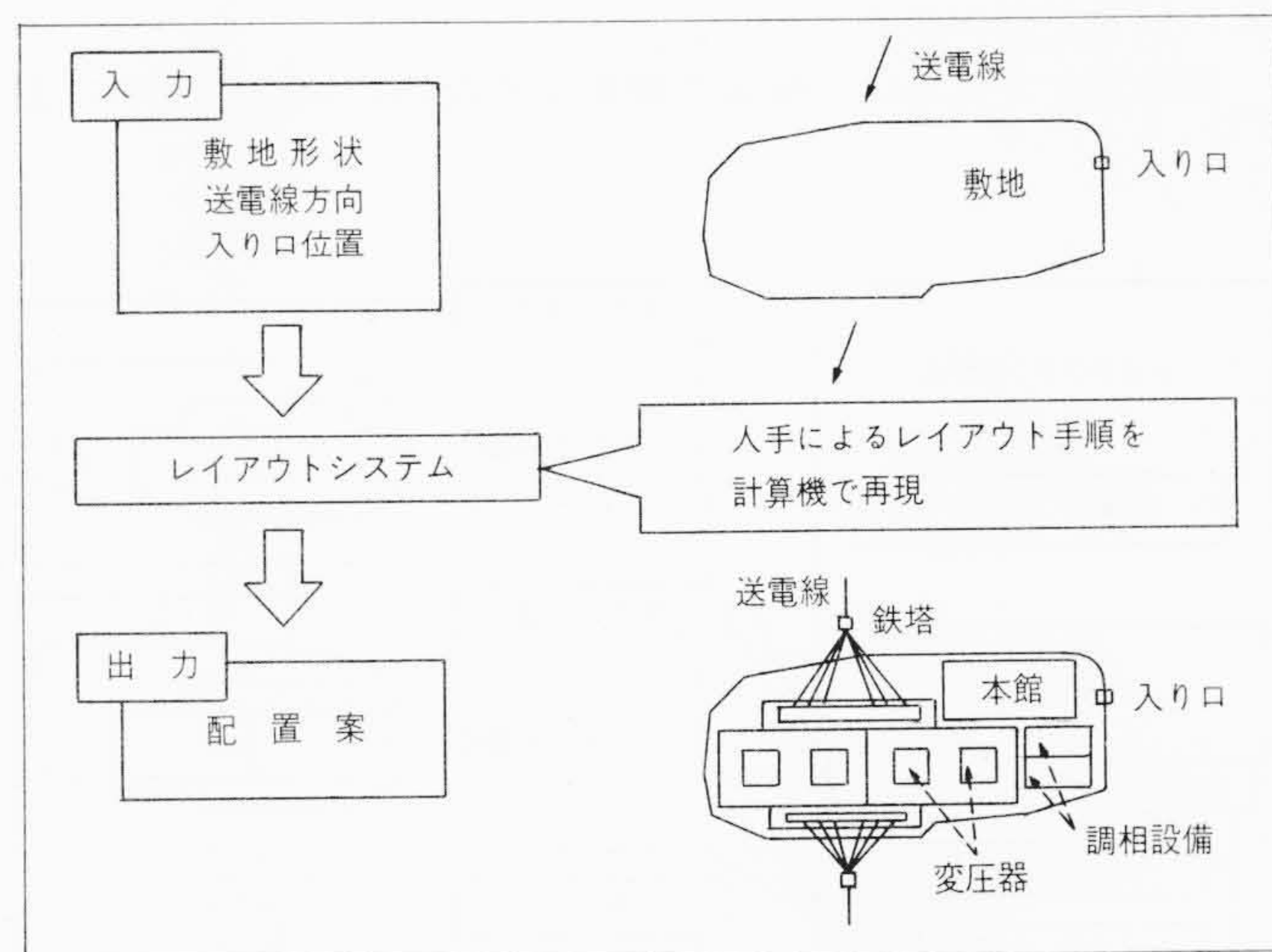


図1 変電所レイアウトの問題 レイアウトシステムは、敷地形状などを入力し、専門家のレイアウト手順に従い、機器を敷地内に配置する。

* 日立製作所エネルギー研究所 ** 日立製作所エネルギー研究所 工学博士 *** 日立製作所システム事業部
**** 日立製作所基礎研究所 工学博士

イアウトの問題に特有な専門知識やノウハウがある。

- (2) 選択した標準パターンの適否が、選択時に判断しきれず、レイアウトを進める途中で初めて分かる場合も多い。そのような場合、一度配置した機器の位置を修正する必要がある。
- (3) レイアウトの代替案を作成し、複数の解を比較検討する場合もある。

以上の(1)階層設計、(2)計画修正、(3)複数解探索という手順は、専門家が広い範囲の設計・計画問題を解く際に使っているものである。

3 推論手法の特徴

開発した推論手法の特徴と、その実現方法について説明する。

3.1 階層的レイアウト手順の実現

専門家のレイアウト手順は、図2に示すように概略配置から詳細配置へと、三つのステップに階層的に分けられる。

ステップ1は、何種類かの変電所の標準パターンの中から使用する標準パターンを選ぶパターン選択である。ステップ2は、敷地に合わせて標準パターンの形状を変形するパターン修正である。またステップ3は、概略配置で配置した標準パターンに従い個々の機器を配置する機器配置である。

このレイアウト手順を計算機上で再現するために、レイアウト用の専門知識を記憶する知識ベースを、図2に示すように上記の各ステップに対応させて、それぞれ個別に構成した。

(1) パターン選択

パターン選択の段階では、送電線方向などを考慮し適切と思われる標準パターンを選び、だいたいの位置を決める。このとき、パターン選択では図3(a)に例を示したような知識を、概略の位置決めでは同図(b)に例を示したような知識を用いる。

(2) パターン修正

パターン修正の段階では、標準パターンのままでは敷地からはみ出す領域の位置を、図3(c)に例を示したような知識を用いて修正し、敷地内に収まるようにする。

(3) 機器配置

機器配置の段階では、それまでに決まった標準パターンをもとに、図3(d)、(e)に例を示したような知識を用いて、各機器の位置を順次決めていく。

推論プログラムは、推論を制御するための知識の指示によ

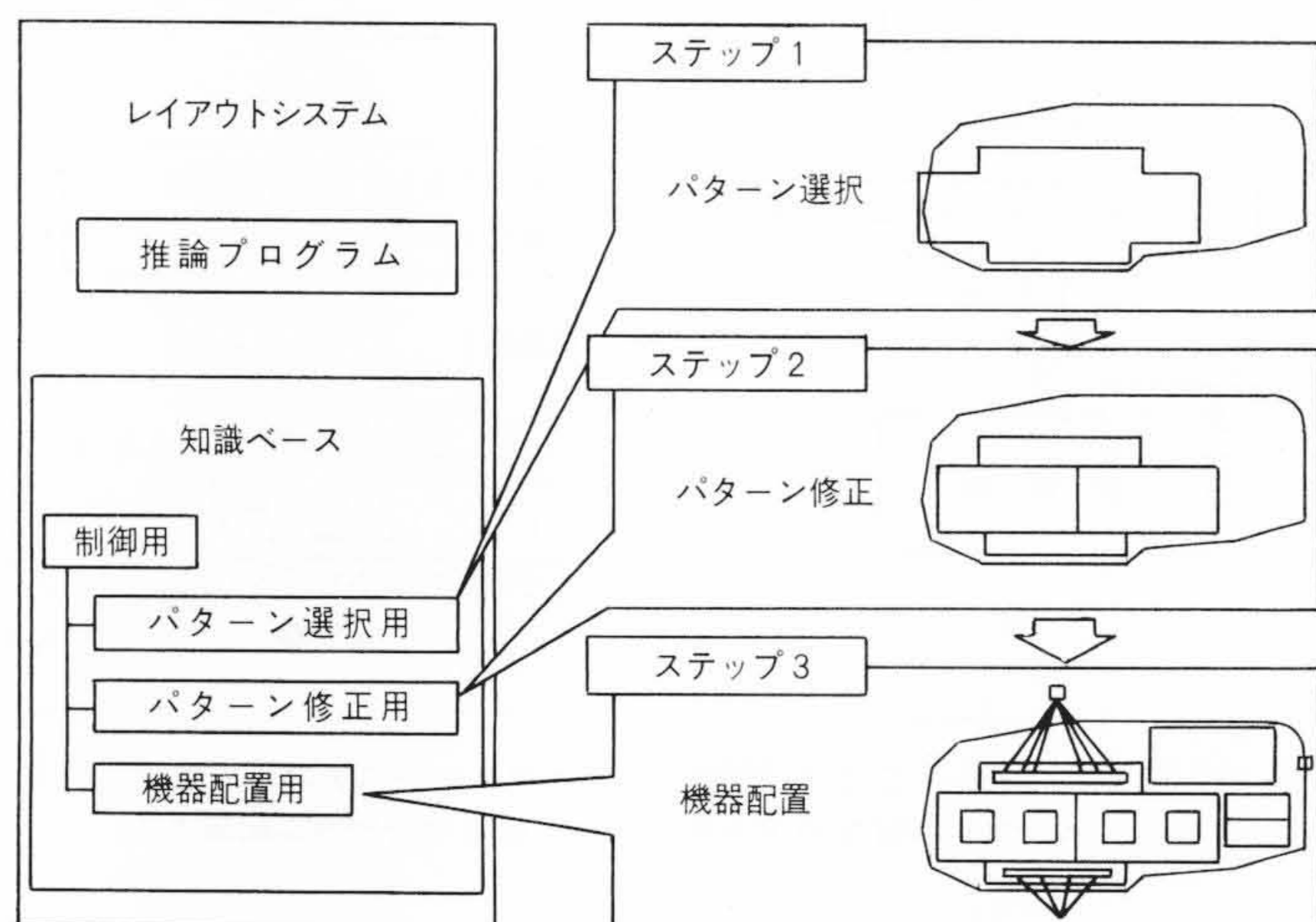


図2 階層的レイアウト手順 専門家のレイアウト手順は、概略配置から詳細配置へと、三つのステップに階層的に分けられる。レイアウトシステムの知識ベースは、各ステップに対応させ、それぞれ個別に構成した。

ってこれらの専門知識を次々に呼び出して利用し、レイアウト案を生成していく。

一例として、図3(e)の知識をレイアウトに反映するプロセスを知識の表現方法とともに説明する。

図4に示すように、個々の知識はルールと呼ばれるデータ構造とLisp関数を用いて計算機内に表現されている。Lisp関数は、ルールの前提部の各項目が表わすレイアウトの条件が成立しているかチェックしたり、前提部が成立する場合に結論部の項目が表わすレイアウトを実現するために用いている。いま、鉄塔1と鉄塔2の間の送電線が変電所用設備の上を通過しているとすると、推論プログラムは、同図のルールに従い、まず送電線と変電所用設備が交差しないかチェックするために、Lisp関数Position-Checkを呼び出す。鉄塔1と鉄塔2の間の送電線が変電所用設備の上を通過しているために、ルールの条件部の「not(…)」が成立する。次に引き回し用鉄塔の位置を計算するLisp関数New-Positionを呼び出し、計算結果を\$Pに代入する。更にMake-Objにより新しい鉄塔を生成する。以上でルールの前提部が成立するので、新しい鉄塔の位置を\$Pに設定する。このようにルールに従いLisp関数を呼び出していくことで、図3(e)の知識に対応したレイアウト案を生成できる。

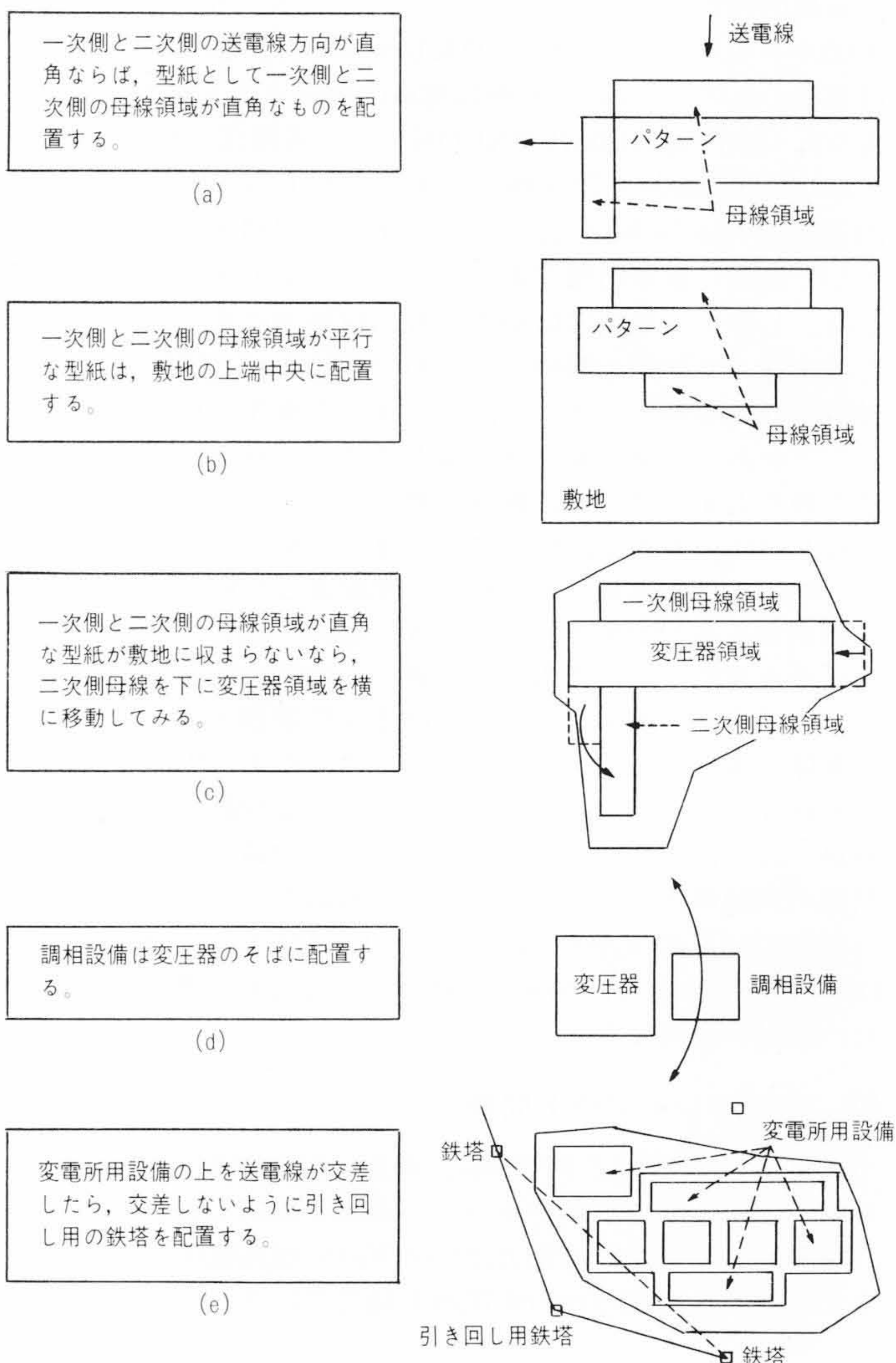


図3 知識の例 専門家はレイアウトの途中で、パターン選択のステップでは(a)、(b)のような知識を、パターン修正のステップでは(c)のような知識を、機器配置のステップでは(d)、(e)のような知識を用いている。

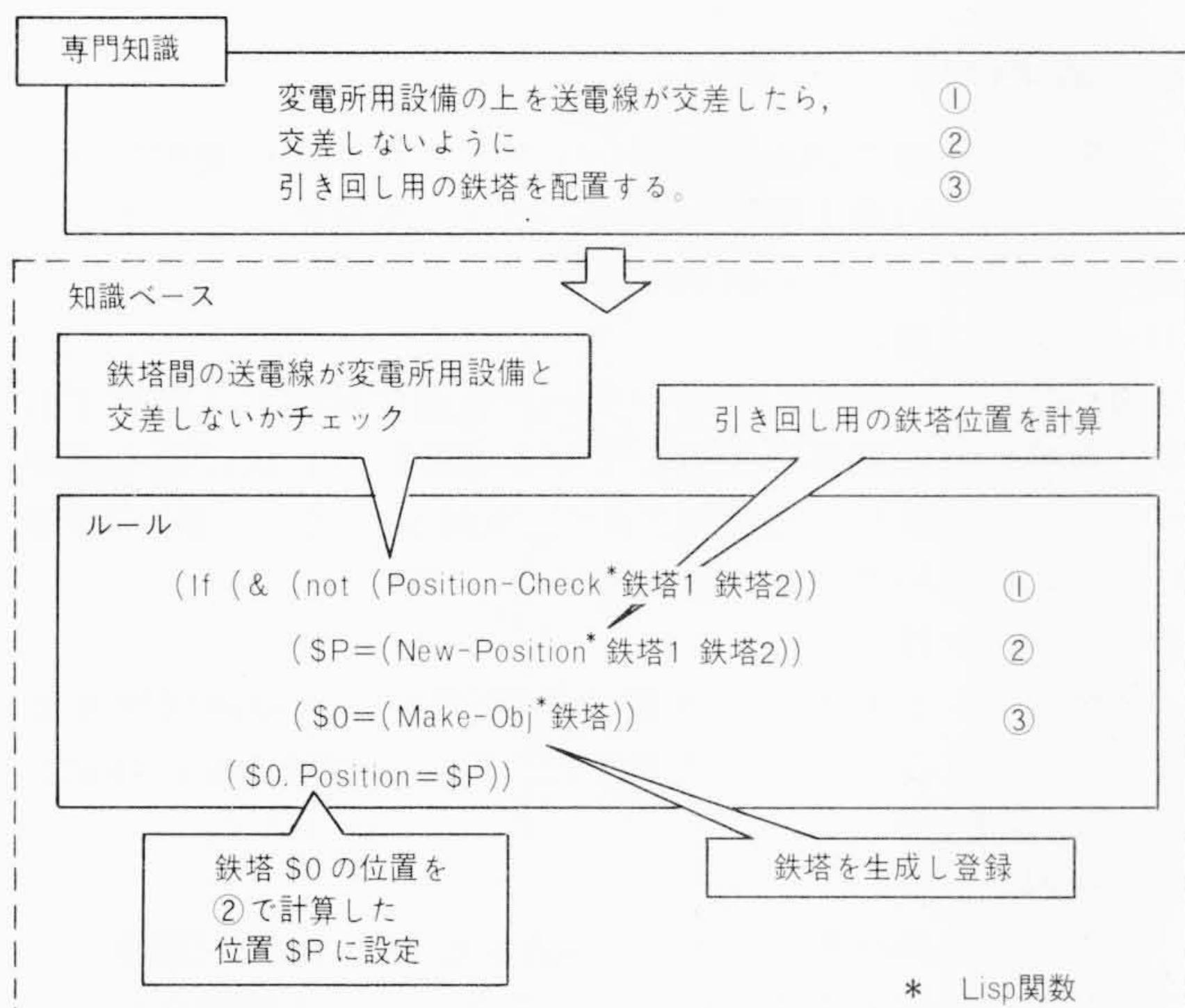


図4 知識の内部表現 個々の知識は、ルールと呼ばれるデータ構造とLisp関数を用いて計算機内に記憶している。

3.2 計画の修正

選択した標準パターンに従いレイアウトを進める途中で不良箇所が生じ、直接の原因となった配置済みの機器の位置を修正(以下、一次的修正と呼ぶ。)すると、その修正が原因となって配置済み機器の位置関係が不適当になることがある。例えば、図5(a)に示したように変圧器など変電用設備の上下に送電用の鉄塔を配置した後で、敷地外への騒音防止を考慮し、変電用設備を敷地中央に移動したとする。単純な前向き推論手法では、同図(b)に示したように、一次的修正の後に鉄塔が変電用設備の位置と無関係な位置のまま修正されず、位置関係が不適当となる。

このような場合には、一次的修正により不適当となった機

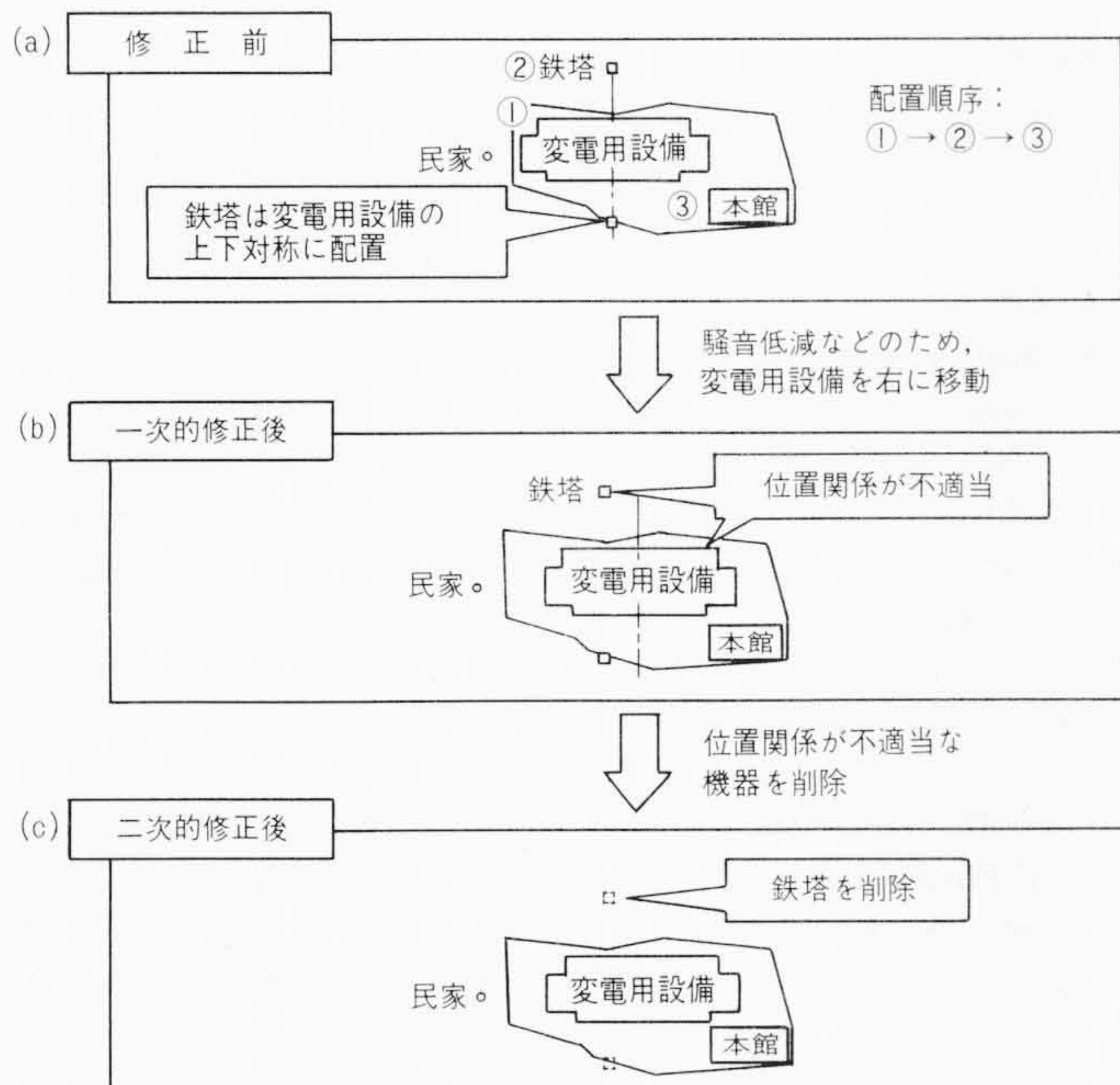


図5 配置修正の手順 レイアウトを進める途中で不良箇所が生じ、直接の原因となった配置済みの機器の位置を修正すると、その修正が原因となって配置済み機器の位置関係が不適当になることがある。このような場合に、不適当となった機器を再配置する必要がある。

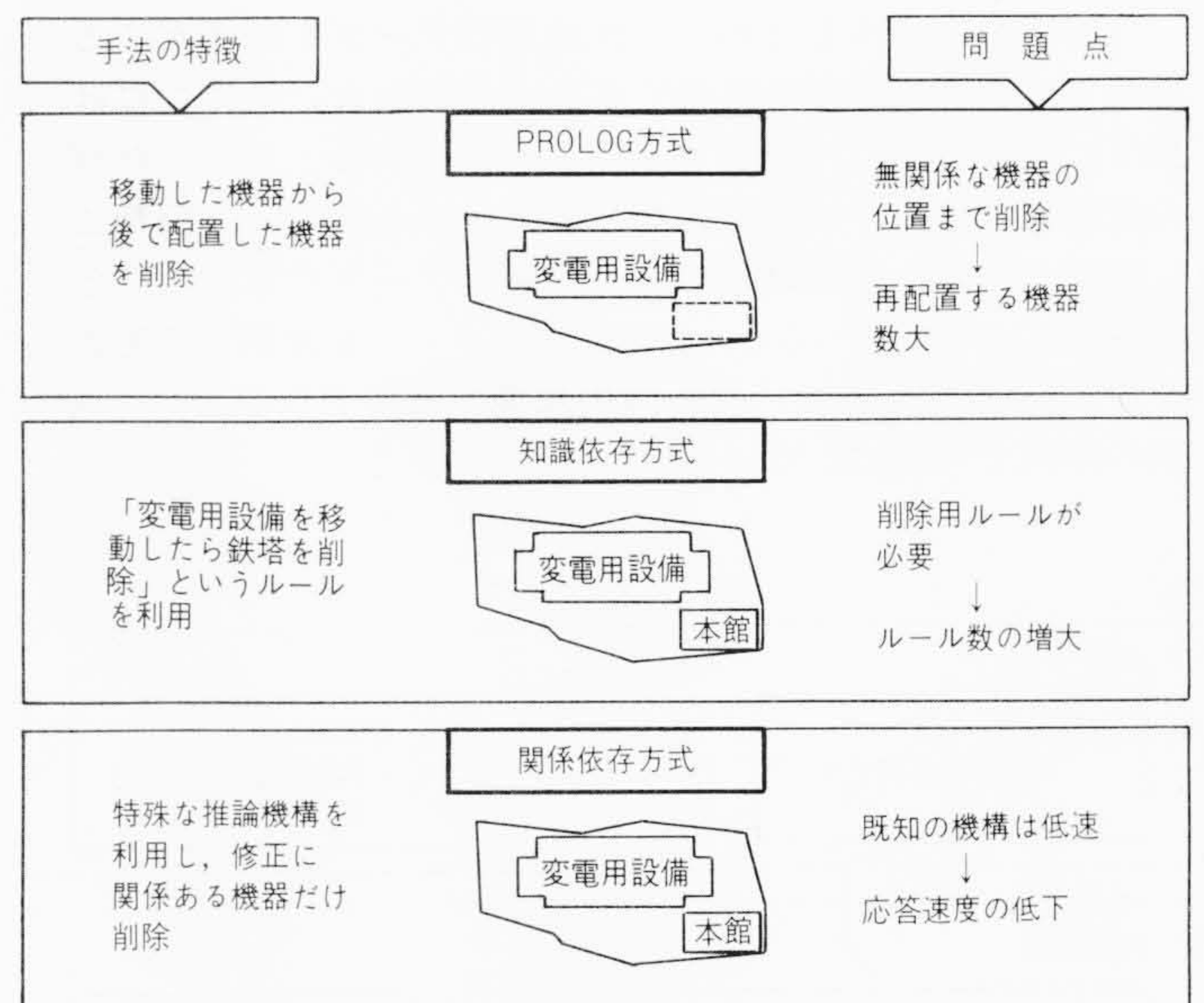


図6 推論による計画の修正方式の比較 推論による計画の修正方式としては、図に示した三とおりの方式が考えられる。

器を再配置するため、不適当となった機器の位置を自動的に検出し、図5(c)に示すように推論用のデータから削除(以下、二次的修正と呼ぶ。)する必要がある。

二次的修正の実現方式としては図6に示した三とおりの方式が考えられる。

(1) PROLOG方式とは、この修正方式がPROLOG処理系の推論機能などに見られる単純なやり直し処理に似ているので便宜的に付けた名称である。この方式では、一次的修正をした機器より時間的に後から配置した機器の位置をすべて削除する。この方式は鉄塔(配置順序②)の位置を推論用のデータから削除できるが、修正に関係のない本館(配置順序③)の位置なども削除してしまい、再配置すべき機器の数が多くなる。

(2) 知識依存方式では、一次的修正用の知識とともに、二次的修正専用の知識もあらかじめ記憶しておき、この知識により、一次的修正により不適当となった機器を削除する。レイアウトの過程で起こりうる様々な状況に対応できるようにするためには、推論に必要な知識の数が多くなり、知識の収集が難しくなる。

(3) 関係依存方式では、機器を配置するときに、他のどの機器の位置データを利用して配置したのか、データの依存関係を記憶しておく。もとの機器の位置データを修正(一次的修正)したときに、その機器の位置データを利用して配置した機器の位置も同時に削除(二次的修正)する。この方式を実現した例として、Doyle⁸⁾らの、データベースの内容を管理するシステムがあるが、処理効率が悪いことが知られている。

今回採用した手法は、データの依存関係を利用しており、最後の方式の一種とみなせる。Doyleらのシステムは二次的修正だけでなく、一次的修正も推論プログラムに全面的に依存している。今回開発した推論手法では、二次的修正だけ推論プログラムに依存し、一次的修正は専門知識で行なうようにしたため、計画修正を効率よく行なわせることができる。

3.3 複数解の探索

最終的にレイアウトを決める前に、幾つかの観点の異なった代替案を作成し比較検討するといった場合も多い。そのため、使用する標準パターンなどを変えた複数のレイアウト案を作成する必要がある。

代替案を作成するために、推論用のデータを配置案ごとに用意し、個別に配置を継続できるようにした。具体的には、図7に示すように、使用する標準パターンなどを替えた個々の配置案ごとに、位置座標などのデータを分類し、分類ごとに関連テーブルに登録しておく。関連テーブルを、次にどの配置案について調べるか(どの標準パターンを使用して配置案を作るか)を決めるための制御用知識で検索することで、代替案の作成を可能にした。

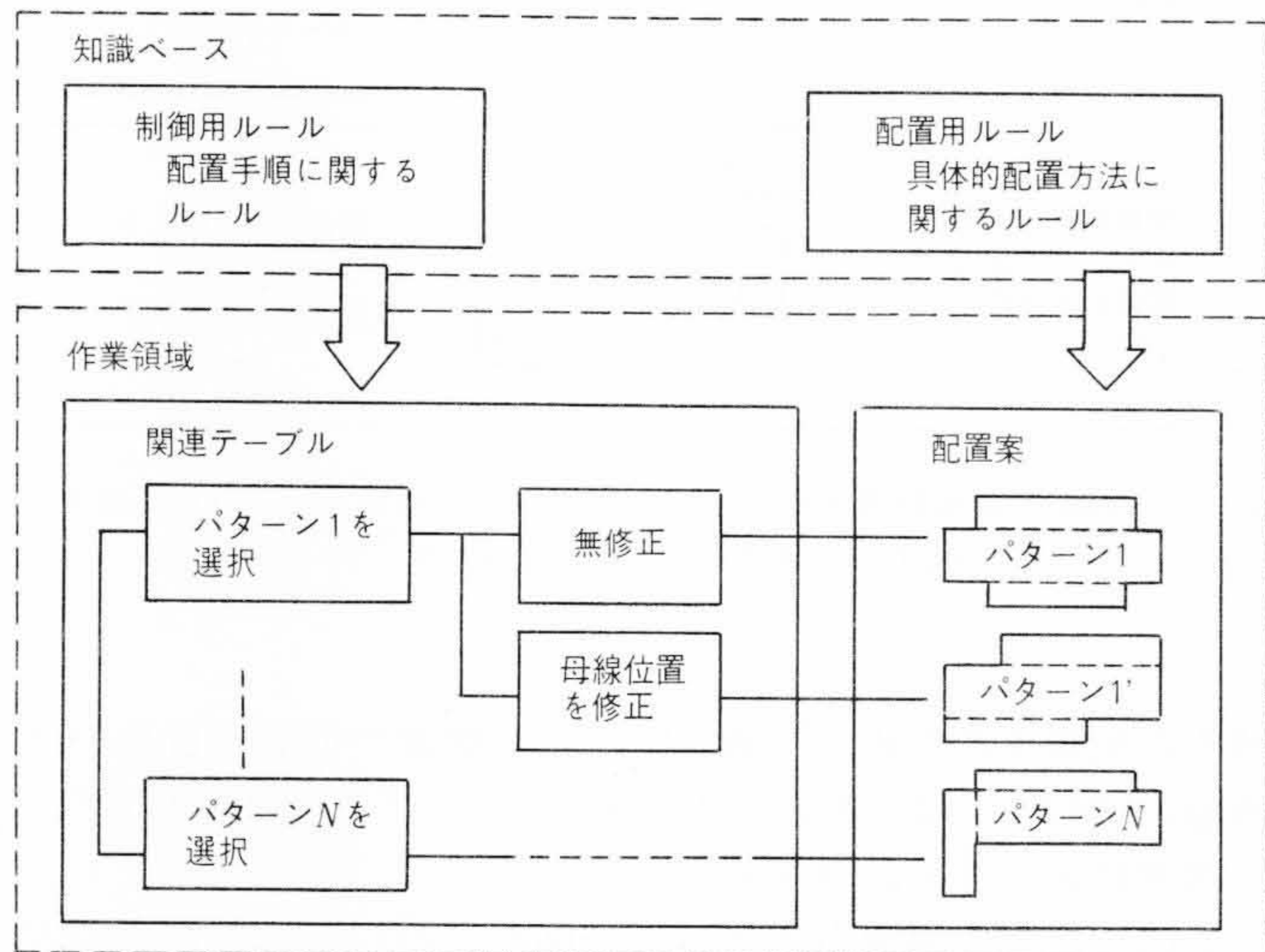


図7 複数解の探索 代替案を作成するために、推論用のデータを配置案ごとに用意し、個別に配置を継続できるようにした。

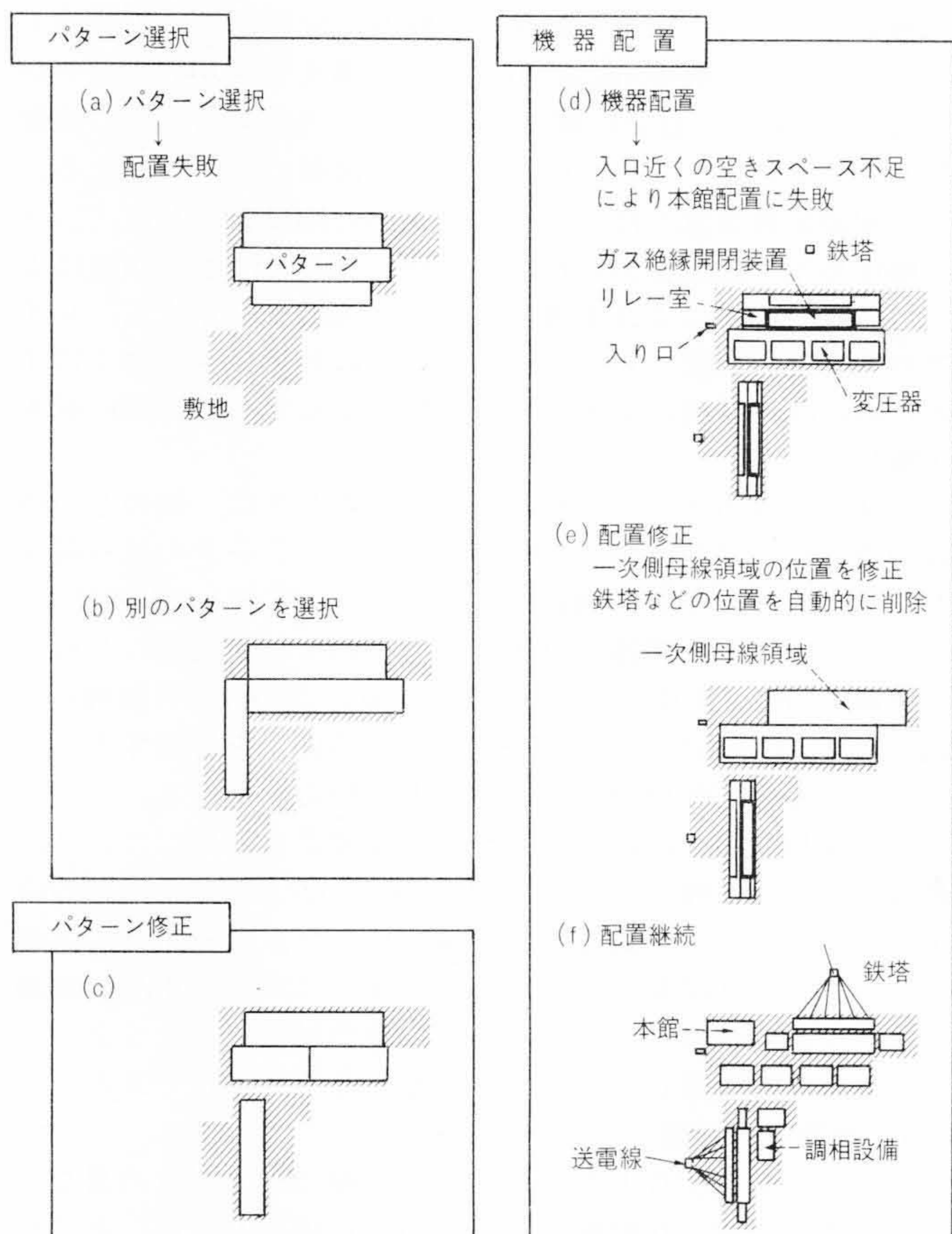


図8 結果の例 開発した推論手法を、変電所レイアウトの問題に適用した。図に示したように配置修正を効率よく行なっている。

4 結果の例

開発した推論手法を変電所レイアウトの問題に適用した。そのプロセスの例を図8に示す。以下、階層的レイアウト手順の各ステップに従い説明する。

(1) パターン選択

初めに最も一般的な標準パターンを選び配置しようとするが、敷地形状の関係で失敗している〔図8(a)〕。次に違う標準パターンを検索し、送電線方向(二次側が、図の左手)を考慮した別の標準パターンを選んでいる〔同図(b)〕。

(2) パターン修正

敷地形状に合わせて二次側の母線領域(ガス絶縁開閉装置などを配置するスペース)を右下に、変圧器領域を左に移動している〔図8(c)〕。

(3) 機器配置

修正した標準パターンに従い機器を配置している〔図8(d)〕。このとき、配置途中で入口近くの空きスペースが足りなくなり、本館配置に失敗している。次に、一次側の母線領域を右に移動して空きスペースを作成し、母線領域の移動に関係のある鉄塔などの位置を推論用のデータから削除している〔同図(e)〕。空きスペースに本館を配置できると、順次機器配置を進め最終的配置案を作成している〔同図(f)〕。

計画修正を考慮していない推論システムでは、以上のような効率の良い配置プロセスを実現することはできない。

5 結 言

専門家が設計・計画問題を解く場合に用いる特徴的な手順を組み込んだ推論手法を開発した。本手法では、(1)階層設計、(2)計画修正、(3)複数解探索、を扱うことができる。計画修正には、ある機器配置の基になった知識や他の機器配置を記憶しておき、処理途中で失敗したときには、その依存関係を直接用いて効率的に修正する方式を採用した。

また、例題として取り上げた変電所機器レイアウトCADへの適用の基礎検討により、開発した推論手法の有効性を確認した。

本稿は、東京電力株式会社との共同研究に基づくものであり、御指導、御協力いただいた東京電力株式会社技術研究所システム研究室の各位に対し深謝する次第である。

参考文献

- 1) J.McDermott : R1 : A Rule-Based Configurer of Computer Systems, Artificial Intelligence, Vol. 19, No. 9, 39~88 (1982)
- 2) V.E.Kelly : The CRITTER System : Automated Critiquing of Circuit Designs, Proceeding of 21th D.A. Conference, 419~425 (1984)
- 3) 渡辺, 外 : 知識工学の計算機室機器レイアウト CADへの応用, 日立評論, 67, 12, 967~970 (昭60-12)
- 4) 小林, 外 : 知識工学の配管ルーチングCADへの応用, 日立評論, 67, 12, 975~978 (昭60-12)
- 5) C.L.Forgy : OPS5 Users Manual, CMU-CS-81-135 (1981)
- 6) 吉田, 外 : 知識工学的手法を応用した変電所レイアウト・システム(1)―推論システムの構成―, 第31回情報処理学会全国大会2P-2 (1985)
- 7) 門井, 外 : 知識工学的手法を応用した変電所レイアウト・システム(2)―推論を用いた計画修正機能―, 第31回情報処理学会全国大会, 2P-3 (1985)
- 8) Doyle, J. : A Truth Maintenance System, Artificial Intelligence, Vol. 12, No. 3, 231~272 (1979)