

ヒューリスティックな探索手法を用いた プラントレイアウト修正方式†

満 田 透** 森 本 美 恵**
和 田 裕** 小 林 康 弘**

プラントのレイアウト計画は、問題の規模が大きいと共に関係が複雑であるため、機器配置と配管配置は階層的に実施されている。配管配置は、機器配置計画の結果を前提条件としているため、この結果はレイアウト全体を必ずしも最適化しているとは言えず、機器・配管配置の総合的改善が必要である。本研究では、この改善を求める問題を効率的に解くためのレイアウト修正方式を作成した。本方式では、ある機器・配管の配置修正の他への影響をツリー構造のグラフで表現し、これを探索することにより、与えられた部分修正を制約条件として満足し、全体の配管経路長を短縮できるレイアウト修正案を自動的に求める。探索を効率的に行うために、問題解決に関する知識を利用する。知識は、探索戦略に関する知識と配置条件に関する知識に分類できる。これらの知識は IF-THEN ルールで表現し、3階層に分類した処理の種類ごとにグルーピング化して、知識ベースに格納する。階層は、処理内容の決定、修正機器・配管の選択、機器・配管の最適配置に分類される。各階層間の情報の伝達は共通のワークエリアで実施する。配管・機器のデータは、配置修正の影響の伝播が表現できるようにフレームで表現する。また、修正状況等は、追加・修正が容易となるようにリストで表現する。本方式を迂回配管解消の例題に適用し、設計支援に有効であることを確認した。

1. ま え が き

最近、知識工学を CAD システムに適用する試みが幾つかの分野で積極的に行われている^{1)~5)}。その中心は、LSI 設計および機械設計であるが、プラント設計に関する問題を対象としているものも幾つか発表されている^{6)~9)}。プラント設計は、主に系統計画、レイアウト計画に分類できる¹⁰⁾。系統計画では、機器の仕様、機器間を接続する配管の仕様などが決定される。レイアウト計画では、機器、配管の配置が決定される。本研究は、このレイアウト計画を対象としている。

プラントのレイアウト計画は、問題が大規模であるため機器配置計画と配管配置計画とを分離して階層的に実施している。配管配置計画は、上流側の機器配置計画の出力結果を前提条件としているため、この結果は、制約条件は満足しているが、目的関数を口径で重み付けた配管経路長とした時、必ずしも最適なレイアウトとは言えない。したがって、配管配置を決定した後、機器・配管の配置を修正し、レイアウト全体を総合的に改善する必要がある。現在のところ、このような修正は、対話処理により行っている。

一方、プラントレイアウト以外の分野でも、知識工

学を適用したレイアウト手法が提案されている^{11)~13)}。これらは、制約条件を満たすレイアウト案を効率的に作成することを目的としており、レイアウトの修正は、配置が途中で失敗した時や設計条件を変更した時の処理が中心である。この場合でも、改善のためのレイアウトの修正は、対話処理で行っている。また、LSI の分野でのレイアウト修正は、未結線処理¹⁴⁾、配線の混雑度緩和、チップ面積の縮小などが目的である。これらは特定の処理向きの手法であり、プラントのレイアウト修正に適用することはできない。

本研究の目的は、機器・配管配置の総合的改善を支援するレイアウト修正方式を開発することである。本方式では、ある機器・配管の配置を修正するために必要となる「周囲の機器・配管の配置修正」の関係をツリー構造のグラフで表現し、ヒューリスティックスを利用してそのグラフを探索することにより、全体の配管経路長を減少できるレイアウト修正案を求める。本論文では、まず、対象とするレイアウト修正問題を定義し、次に、提案する方式の概要を示す。最後に、プラントレイアウトの例題への本方式の適用結果を示す。

2. レイアウト修正問題

(1) 入出力データ

建屋構造物配置、機器・配管の仕様、機器・配管の配置、配置に関する制約条件を入力として、機器・配

† Layout Design Modification Method for Industrial Plant by Heuristic Search Technique by TORU MITSUTA, MIE MORIMOTO, YUTAKA WADA and YASUHIRO KOBAYASHI (Energy Research Laboratory, Hitachi Ltd.).

** (株)日立製作所エネルギー研究所

管の配置修正案を出力する。

(2) 処理の特徴

修正を実行する場合には、まず、着目する対象物(機器・配管)の新しい位置を入力する。これに対し、処理プログラムは、その配置が他の機器・配管の配置修正により実現可能か、また、修正の結果全体の配管経路長が減少可能か、などを確認しながら、修正案を作成する。ある機器を移動した結果、それが他の機器と干渉したり制約条件に違反する場合には、他の機器も移動する必要が生じてくる。各機器の設置可能な領域は、制約条件により限定されるが、領域内のどの位置に移動するかにより、それに関連する他の機器配置も変化する。このためレイアウト修正問題の特徴は、次のようになる。

(a) レイアウト修正問題は、ある対象物の配置修正が他の対象物の配置修正を引き起こす「修正の伝播」があるため、問題の構造が複雑となる。問題を適切に表現する必要がある。

(b) 探索すべき案は、組合せの数となるため、複数の可能な代替案の中から解を効率的に探索する必要がある。

(3) 問題の表現

レイアウト修正問題では、「修正の伝播」が発生するごとに、樹の枝の先から新たな枝が発生するように探索すべき修正案の組合せが増加していく。この特徴を考慮して、本方式では、レイアウト修正問題をツリー構造のグラフを探索する問題として表現する。図1に、レイアウト修正およびそのグラフ表現の例を示す。ノードは、修正の対象となる機器・配管およびそれらの位置を表す。ブランチは、これらの間の関係を示す。ブランチに対しては「修正によりどれだけ経路長を短縮できるか」を示す指標(コスト)を定義しておき利用する。例えば、始めに、着目する機器Aを新たな位置 PA_1 に移動したとする。この結果、機器Bの位置を修正する必要が生じる(図1のステップ①)。機器Bの新たな位置の候補は、複数個存在する。これらのなかで、どの位置を選択するかにより、それに続く他の機器およびその新たな位置が変化する。例えば、機器Bを PB_1 に移動すれば、同時に複数の機器、C、Dを修正する必要がある(図1のステップ②)。この場合には、これらの修正順序により全体の配置が変化する。レイアウト修正問題は、このようなグラフの探索により、全体の配管経路長を短縮できるレイアウト修正案を求める問題として定義できる。

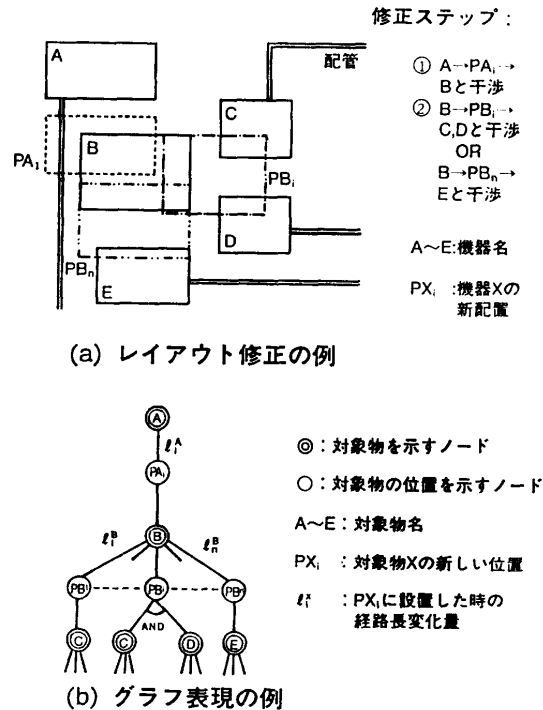


図1 レイアウト修正のグラフ表現

Fig. 1 AND/OR graph representing layout modification.

3. レイアウト修正方式

前章で述べたようにレイアウト修正問題は、グラフの探索問題となる。この問題は、始点から各展開ノードまでのコストを評価しながら探索を進める最良優先探索法¹⁵⁾で探索する問題である。本方式では、探索効率を向上するため、さらに次の考え方を導入しグラフを探索する。

●修正手順の決定、移動位置の選択等に問題解決に関する知識を利用する。すなわち、ノードの探索順序や選択方法に知識を利用する。

3.1 処理手順の概要

レイアウト修正問題を解決するための知識の例を表1に示す。これらの知識は、大きく次の二つに分類できる。

- a) 探索戦略に関する知識 (A): 処理内容の決定 (A 1) や修正対象物の選択 (A 2) に関する知識
- b) 配置に関する知識 (B): 対象物の配置に関する設計基準 (B 1) や修正基準 (B 2)

これらの知識は、IF-THEN ルール形式で表現する。知識の利用目的は、グラフ探索を一部自動化することであり、専門技術者の知識よりも問題解決のための知

表 1 問題解決に関する知識の例
Table 1 Examples of expertise.

分類	No.	内容
A 探索戦略に関する知識	A1 処理内容	1 配置修正が成功で、対象物の経路長変化量の総和が負で、修正すべき他の対象物が存在するなら、修正を継続
		2 配置修正が成功でも、対象物の経路長変化量の総和が正なら、バックトラックを実施
		3 配置修正が成功でも、新たに発生した修正すべき対象物の数がフロアの全対象物の 1/20 を越えたらバックトラックを実施
		4 バックトラックの方法が存在しないなら、失敗により終了
	A2 修正対象物選択	5 修正すべき機器が複数存在し、各機器に配管が接続されているなら、その配管口径の大きい機器を選択
		6 バックトラックの原因が経路長増加なら、経路長増加量の最大の対象物に修正を伝播した対象物が再修正対象物
		7 バックトラックの原因が配置修正失敗で、配置を不可能とした原因の対象物との修正順序の変更が可能ならば、方法 1 により再修正対象物を選択
		8 AND 条件の対象物間の修正順序は、過去に失敗した順序以外の順序に順序変更が可能
B 配置に関する知識	B1 設計基準	9 機器間の最小間隔は、150cm
		10 機器と配管の最小間隔は、30cm
	B2 修正基準	11 機器の配置修正では、それより以前に修正した機器は移動不可能
		12 バックトラックでは、修正失敗の原因となった機器は移動不可能

識が多くなる。

このような知識を用いたレイアウト修正方式の基本的な処理手順 (PAD¹⁶⁾ 表現) を図 2 に示す。以下、各ステップの概略を説明する。

- ① 着目対象物の入力: 修正したい機器・配管の新たな位置を対話処理により入力する。
- ② 障害対象物の探索: 着目対象物を新たな位置に移動したとき障害となる対象物を探索する。障害対象物は、配置修正の対象物となるため、これが存在する場合には、障害対象物に対する新たなノードを発生させる。
- ③ 処理内容の決定: 知識ベースに格納した知識 (A 1) に基づいて、次の処理内容を自動的に決定する。処理内容は、配置修正の継続、バックトラック、終了に分類できる。終了は、配置修正が成功した場合と、失敗した場合に分けられる。
- ④ 修正対象物の選択: 修正すべき対象物が複数個存在する場合 (探索すべき対象物ノードが複数個存在する場合) に、どの対象物を優先して修正するかを知識 (A 2) に基づき決定する。

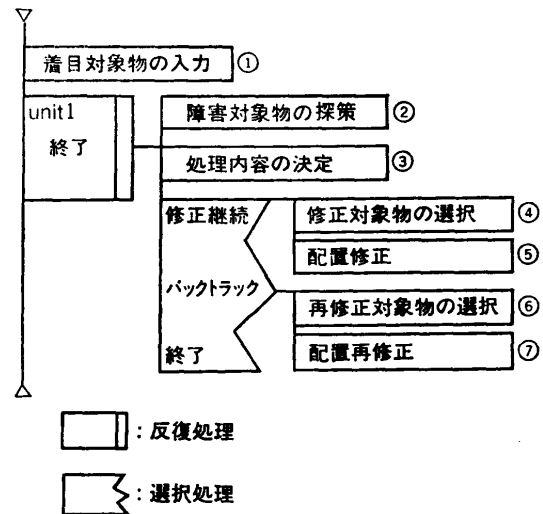


図 2 レイアウト修正の処理手順
Fig. 2 Process of layout modification.

- ⑤ 配置修正: 選択した対象物の新たな位置を決定する。この時、知識 (B 1, B 2) から配置に関する制約条件を導出する。設計基準 B 1 は対象物の仕様依存しており、対象物の設置可能な領域を決定する。修正

基準 B2 は修正状況に依存しており、対象物の移動可否を決定する。制約条件を満たす複数の候補位置の中から、この対象物に関連する配管の経路長が最短となる位置を選択する。

⑥ 再修正対象物の選択：バックトラックが発生した時、どの対象物まで戻って再修正を行うかを知識 (A2) に基づいて決定する。

⑦ 配置再修正：バックトラックの原因、修正履歴等を考慮して対象物の配置を再修正する。この時、知識 (B1, B2) から配置に関する制約条件を導出し、利用する。

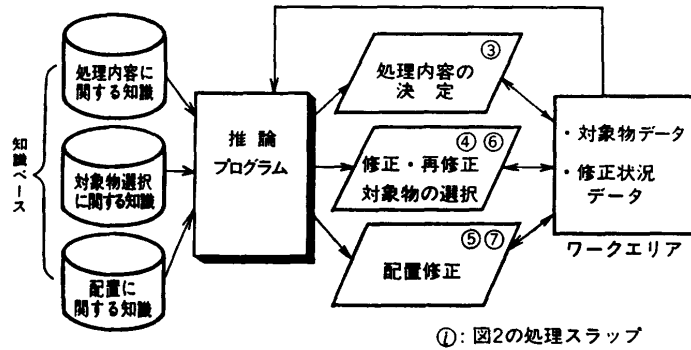


図3 推論方式の構成
Fig. 3 Configuration of inferring method.

3.2 推論方式

本方式では、表1に示す知識を処理の種類に基づきグループ化し、図3に示すように3つの独立した知識ベースに格納する。すなわち、探索戦略に関する知識は、処理内容の決定と修正対象物の選択に関する知識に分離して知識ベースに格納する。配置に関する知識は、一つの知識ベースに格納する。各階層の知識は独立しているが、各階層の処理結果は、他の階層に影響を及ぼすため、階層間の情報の伝達は、共通のワークエリアを用いて行っている。各処理ステップでは、まず、現在の処理がどの階層レベルにあるかを示すフラグを更新する。次に、処理の中でよばれる推論プログラムは、このフラグに基づき階層レベルに対応した知識ベースを選択し、これとワークエリアの修正状況データ、対象物データを用いて推論を行う。さらに、その結果により、ワークエリアのデータを更新する。

このように、知識ベースを小さな独立した知識ベースに分離することにより、推論の際、検索すべき知識の数が減少するため処理効率が向上すると共に知識ベースの管理が容易となる。

以下、その内容を詳細に説明する。

(1) ワークエリア上のデータ表現

レイアウト修正問題では、ある対象物の配置修正が他の対象物に影響を及ぼす「修正の伝播」の取り扱いを容易とするために各対象物データをフレーム表現する。図4に、機器のフレーム表現の例を示す。この中で、「上位対象物」とは、その機器の修正の原因となった対象物を示し、「下位対象物」とは、その機器の修正が原因で修正する必要が生じた対象物を示す。また、「同位対象物」とは、グラフ上で AND 条件で結

フレーム	スロット	サブスロット	値
機器B	仕様	種類	復水器
		サイズ	(200 400 100)
		接続配管	(L3 L7)
	配置	修正前	(15000 2000 50)
		修正後	(18000 21000 50)
	修正伝播	上位対象物	(A)
		下位対象物	(C D)
		同位対象物	nil

図4 対象物のフレーム表現
Fig. 4 Frame representation of object.

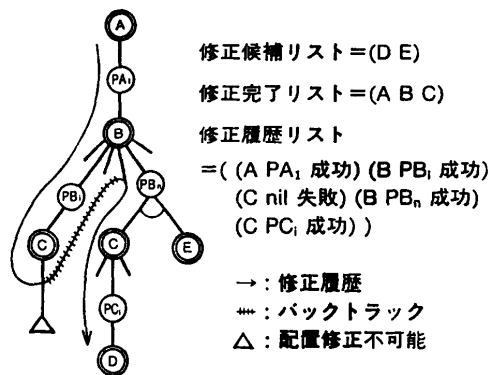


図5 グラフ探索の例
Fig. 5 Example of AND/OR graph search.

ばれた対象物を示す。

修正の状況や過程を表すデータは、追加・修正を容易とするために、図5のようにリスト表現する。修正候補リストは、修正すべき対象物の集合を表す。このリストの中から優先的に修正する対象をひとつずつ選択し、配置修正を実行する。この例では、対象物DとEが修正候補リストに残っている。選択した対象物の

修正完了後、新たな障害物が発生すれば、それをこのリストに追加する。このリストがNIL(空)になれば、「修正の伝播」は、終了したことになる。修正完了リストは、修正が完了した対象物の集合である。修正履歴リストは、バックトラックも含めた修正の履歴を表すリストである。本方式では、全体の配管経路長が増加したり、探索が深くなりすぎた時にもバックトラックを行う。このリストは、配置修正および再修正が実行されるごとに変更されると共に、次の処理内容やバックトラックの戻り先を判定する際に参照する。

(2) 推論方式

本方式では、推論は、後向き推論により実施する。すなわち、各処理ステップでは、処理プログラムが、推論により決定すべき事項を仮説として推論プログラム¹⁷⁾に与える。推論プログラムは、この仮説を知識ベースのルールとワークエリア上のデータを用い検証する。仮説が成立した場合には、処理プログラムは、その結果に応じて、あらかじめ定めたアルゴリズムに従って、ワークエリア上のデータを更新する。本方式で、前向き推論とせず後向き推論としたのは、各処理ステップで推論により決定すべき事項があらかじめ分かっている、それらが状況により変化しないことによる。以下、各処理ステップの具体例を説明する。

(i) 処理内容の決定

図5の例では、

(次の処理 機器C ¥X)

: 機器Cの修正の次の処理は¥X

(¥は値が未定義の変数を表す)

という仮説が処理プログラムから発せられると、推論プログラムは、この命題を結論部に持つルールを探索し、その条件部が成り立つかどうかを判定する。この例では、表1のNo.1のルールが判定される。No.1のルールは、次のように表現できる。ここで、「¥Y」には、機器Cが代入される。

(IF (AND (状態 ¥Y 修正成功) : 条件1

(値 経路長変化総量 負) : 条件2

(状態 修正候補 存在) : 条件3

THEN (次の処理 ¥Y 修正継続))

条件部1, 3は修正履歴リストおよび修正候補リストに基づき判定される。条件2は、修正完了リストの全対象物に関連する配管経路長を計算することにより、判定される。本方式では、ルール条件部の判定に、パターンマッチング以外の手続的処理が必要となる場合には、条

件部判定時に、対応する手続的関数が自動的に呼ばれるようにしておく。すなわち、ルールの条件部と関数とを結ぶルールをあらかじめ定義しておく。

この例では、すべての条件が成立するため、初めに与えられた仮説は、次のように成立することが検証できる。

(次の処理 機器C 修正継続)

: 機器Cの修正の次の処理は修正継続

(ii) 修正対象物の選択

処理プログラムは、修正候補リストの中の各対象物の優先度を推論プログラムを用いて決定し、最も優先度の高い対象物を選択する。図5の例では、修正候補リストには、対象物D, Eが存在する。もし、これらが機器で、配管が接続されているならば、ルールNo.5により、口径のより大きい配管が接続されている機器が選択される。

(iii) 配置修正

まず、対象物の仕様および配置に関する知識から推論により、対象物の配置に関する制約条件を求める。次に、これを図6に示すようなフレーム表現に変換する⁸⁾。さらに、この制約条件を満足する配置可能領域を定義し、この領域内の最適位置に対象物を配置する。最適配置の詳細は、後述する。制約条件のなかで設計基準は、対象物の仕様に依存しており、配置修正の影響は受けなため一度設計基準サブスロットを定義すれば、それ以降は、これを参照するだけでよい。一方、障害物の移動の可否を決める修正基準は、修正状況に依存するため、毎処理ごとに修正基準サブスロットを再定義する必要がある。配置修正が完了すると、修正履歴リストなどのワークエリア上のデータを更新する。

(3) 再修正対象物の選択

図5の例で説明する。この例で、次に、対象物Eを再配置しようとしたところ失敗し、バックトラックが開始されたとする。この時、バックトラックの戻り先を決定する場合を考える。ワークエリアのデータは図7(a)のようになっている。ここでは、対象物フレー

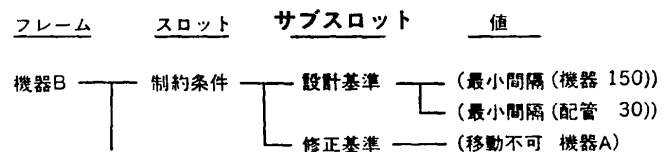


図6 制約条件スロットの例
Fig. 6 Example of constraint slot.

ムの一例として対象物Cを示している。この例では、No. 7のルールが検索され、判定される。

バックトラックの原因は修正履歴リストに基づき判定され、配置不可能の原因は、対象物Eの設置可能領域と他の対象物の座標比較により判定される。この結果、バックトラックの原因が配置修正失敗であり、配置不可能の原因が対象物Cであったとする。修正順序の変更可能性は、No. 8のルールに基づき判定される。まず、対象物Eのフレームの同位対象物スロットが参照され値としてCが取り出される。これらの過去の修正順序は、修正履歴リストによりC-Eのみが実行済みであることから、E-Cの順序での修正が可能であり、No. 8のルールは成立する。したがって、No. 7のルールは成立し、あらかじめ定義されていた「方法1」を実行する関数が呼ばれ、バックトラックの戻り先を決定する。この関数は、まず、修正候補リスト、修正完了リスト、対象物フレームを図7(b)のように更新し、次に、再修正対象物として対象物Eを選択する。

(4) 配置再修正

バックトラックの場合にも、処理ステップ⑤と同様な方法で対象物の配置を再修正する。

3.3 対象物の最適配置

対象物の配置を修正する場合には、まず制約条件を満足する設置可能領域を求め、次にこの領域内での最適な配置を決定する。対象物の最適配置は、対象物の種類に応じて処理内容が異なってくる。

(1) 対象物が配管の場合

対象物が配管の場合には、その始終点の位置は変化しないため、迷路法を用いて新たな配管経路を探索する⁸⁾。

(2) 対象物が機器の場合

まず、機器を配置できる領域を求め、次に、その領域内で機器の接続配管経路長が最短となる最適位置を決定する。以下、その手順を示す。

- ① 3次元空間を2次元に縮約：機器の移動は、一般的に、水平方向のみであるため、配置可能領域の決定を容易とするため3次元空間を2次元に縮約する。具体的には、対象とする機器と同じ高さの空間内にその一部でも存在する対象物を取り出し、これらを床に平

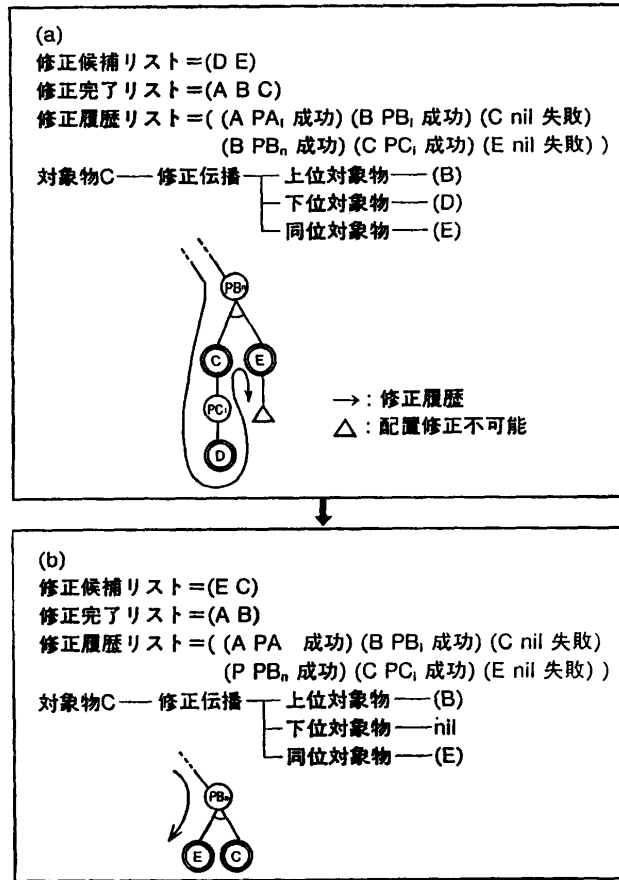


図7 ワークエリアデータの更新
Fig. 7 Change of data in work area.

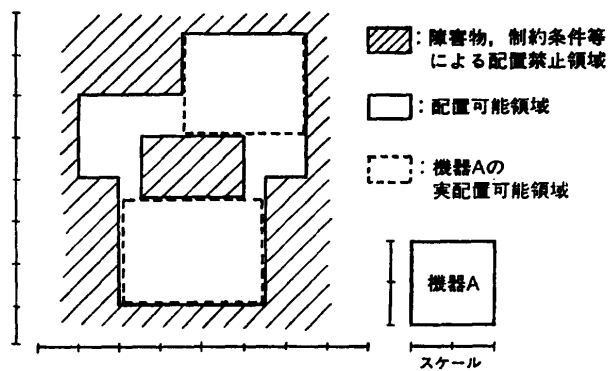


図8 配置可能領域
Fig. 8 Area for component placement.

- 行な2次元平面に射影する。
- ② 配置可能領域の決定：柱などの障害物配置や設計基準などから機器を配置できる領域を求め、これを内接長方形の集合で表す。例えば、図8の例では、機器Aが配置可能なのは、2つの内接長方形内となる。こ

の内接長方形を実配置可能領域と呼ぶことにする。

③ 最適位置の決定：上記の実配置可能領域のそれぞれに対し、機器の最適配置を求め、それらの中から最適な位置を選択する。厳密な最適解を求めようとするれば、実配置可能領域内の設置可能な各座標格子点位置に機器の中心位置を合わせて配置し、その位置での最短経路を探索し、その中から経路長が最短となる座標格子点位置を選択することになる。しかし、この方法は、座標格子点の数だけの経路探索が必要となり処理効率が悪い。したがって、各実配置可能領域に対しては、まず、その中心位置に機器を仮設し、最短経路を探索する。次に、その結果に基づき経路長を短縮できる位置に機器を移動する。機器に接続されている配管の経路探索は、対象物が配管の場合と同じ方法で行う。

4. 適用結果と検討

本方式を実現するプログラムを作成し、プラントの一区画を模擬した例題に試験的に適用し、その性能を評価した。知識ベースには、71件のルールを格納した。この内訳は、処理内容に関するルール6件、修正対象物の選択に関するルール13件、配置に関するルール52件である。この中で、プラント全般に共通のルールは64件、例題と同タイプのプラントに特有のルールは7件である。区画特有のルールは存在しない。したがって、知識は、例題の対象区画に限らず、少なくとも同タイプのプラントに対しては有効であると考えられる。プログラムは、UTI-LISP¹⁸⁾を用いて作成し、汎用計算機M-200Hで実行させた。

(1) 適用問題

本プログラムを適用した例題を図9に示す。この例では、配管L1の迂回部分を修正した配管経路(破線部分)を修正案として入力した。また、機器は外接直方体で近似した。

(2) 適用結果および検討

修正後のレイアウトは、図10のようになった。修正履歴を以下に説明する。①新しい配管経路の障害となる機器C1は、配置可能領域の範囲内で接続配管の経路長が最短となる最適位置PC1₁に移動する。②この修正の影響を受けた機器C2は、始めは、接続配管の経路長が最短となるPC2₁の位置に移動する。③しかし、この修正の影響を受けた機器C3は、設置が不可能となり、バックトラックが発生する。バックトラ

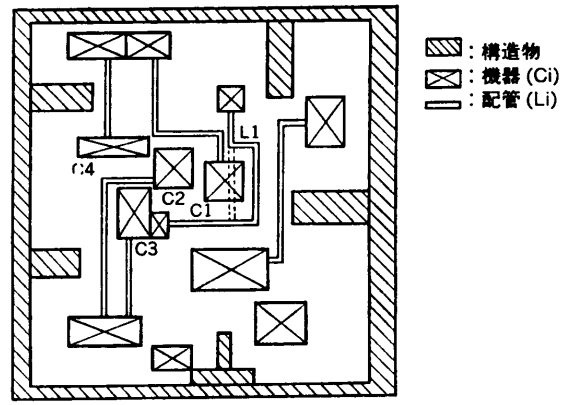


図9 初期配置
Fig. 9 Initial layout of components and pipes.

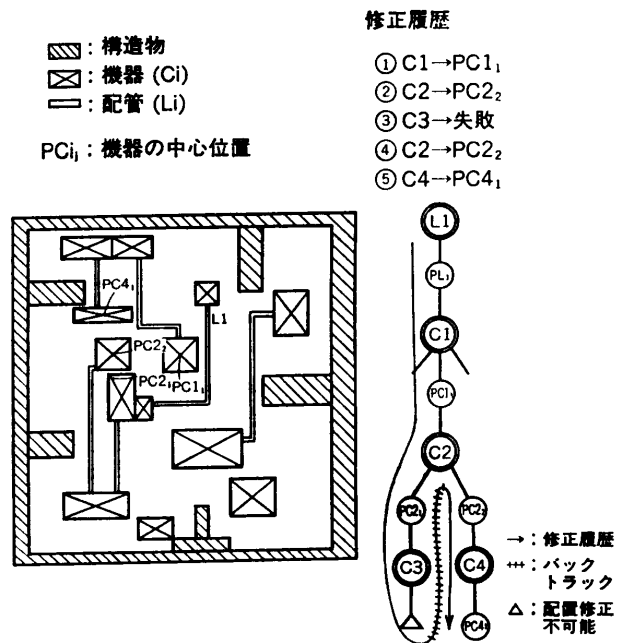


図10 修正後の配置
Fig. 10 Modified layout of components and pipes.

ックでは、機器C3を移動不可能な障害物として、機器C2が再配置修正される。④この結果、機器C2はPC2₂の位置に移動する。⑤この修正の影響を受けた機器C4は、PC4₁の位置に移動し、レイアウト修正は終了する。

配管経路長は、修正前は、28.0mであったが、修正後は、24.5mに減少した。この結果より、本プログラムが、与えられた部分修正を制約条件として満足し、かつ全体の配管経路長を短縮するレイアウト改善案を自動的に探索できることを確認した。処理時間は約10秒(CPU)であり、応答時間を考慮しても、従来の対

話処理による処理時間よりも短くなった。内訳は、図2のステップ③から⑦における推論時間が約4秒、ステップ⑥、⑦の最適位置の決定の処理時間が約5秒、それ以外の処理時間が約1秒であった。この例では、5回の配置修正が行われており、1回の配置修正あたりの、処理時間は、推論時間が約0.8秒、最適位置の決定の処理時間が約1秒、それ以外の処理時間が約0.2秒である。この結果から、実際のレイアウト修正問題へ本方式を適用した場合の処理時間を推定する。

プラントのレイアウト修正では、一度に考える範囲は、最も大きいケースでもフロア単位である。典型的な例では、フロア内に十から数十の機器、百から数百の配管が存在する。すなわち、問題の規模は、最大でこの例題の数十倍となる。一方、ルールは、プラントのタイプや対象区画のタイプに依存するものが少ないため、あまり増加せず、例題と同程度と考えてよい。

まず、1回の配置修正あたりの処理時間を推定する。推論時間は、主にルール数に依存するため、例題と同程度と推定できる。最適位置の決定の処理時間は、配管経路の探索範囲に依存する。問題の規模が例題の数十倍の場合でも、設計基準により設置可能な領域が限定されるため、平均的な探索範囲は、例題の4~5倍となり、処理時間は約5秒となる。したがって、1回の配置修正あたりの処理時間は約6秒と推定できる。次に、全処理時間を推定する。全処理時間は、配置修正の回数、すなわち修正伝播の規模に依存する。フロアには、柱、壁といった移動不可能な障害物が存在するため、問題の規模ほど修正伝播の規模は増加せず、平均的な配置修正の回数は、例題の2、3倍の10~15回となる。したがって、上記の規模の問題へ本方式を適用した場合処理時間は、約90秒と推定できる。

5. む す び

本研究では、機器と配管の配置を改善するためのレイアウト修正問題を効率的に解くことができるレイアウト修正方式を作成した。この問題をグラフ探索問題として表現した上で、問題解決に関する知識を利用することにより、レイアウト修正案の効率的な探索が可能となった。本方式では、処理を3階層に分類し、階層ごとに知識をグループ化し、階層間の情報交換はワークエリア上で実施することにより処理の効率化を図った。本方式をテスト問題に適用した結果、与えた部分修正を制約条件として満足し、全体の配管経路長

を短縮できるレイアウト改善案が自動的に探索可能であり、本方式が設計支援に有効であることを確認した。

参 考 文 献

- 1) Dixon, J. R. and Simmons, M. K.: An Architecture for Application of Artificial Intelligence to Design, *Proc. of 21st Design Automation Conference*, pp. 634-640 (1984).
- 2) 大須賀節雄: 次世代 CAD/CAM のための知識処理の応用, マグロウヒルブック, 東京 (1985).
- 3) Yannick, D. and Jean-Claude, L.: Making Compromises among Antagonist Constraints in a Planner, *Artif. Intell.*, Vol. 27, No. 2, pp. 183-217 (1985).
- 4) 長沢 勲: 設計エキスパートシステム, 情報処理, Vol. 28, No. 2, pp. 187-196 (1987).
- 5) 渡辺正信, 岩本雅彦: VLSI 設計エキスパートシステムにおける知識獲得, 情報処理, Vol. 28, No. 5, pp. 590-602 (1987).
- 6) 赤木新介ほか: AI 技術を応用した船用動力プラントのエキスパート CAD システムの研究, 日本機械学会論文誌 (C 編), Vol. 53, No. 486, pp. 512-517 (1987).
- 7) 古屋寿樹ほか: プラントレイアウト計画のためのエキスパートシステムの開発, 第33回情報処理学会全国大会論文集, pp. 1171-1172 (1986).
- 8) Mitsuta, T. et al.: A Knowledge-Based Approach to Routing Problems in Industrial Plant Design, *Proc. 6th International Workshop on Expert System & Their Application*, pp. 237-256 (1986).
- 9) 東山 尚ほか: プラント設計における CAD, 情報処理, Vol. 24, No. 1, pp. 76-87 (1983).
- 10) 好永俊昭: モデルによる BWR 原子力発電所の設計と総合調整システム, 火力原子力発電, Vol. 8, No. 8, pp. 817-834 (1983).
- 11) Odagawara, G.: Knowledge-Based Placement Technique for Printed Wiring Boards, *Proc. of 22nd Design Automation Conference*, pp. 616-622 (1985).
- 12) 佐々木浩二ほか: 計算機室レイアウトエキスパートシステムの開発, 情報処理学会論文誌, Vol. 26, No. 5, pp. 926-935 (1985).
- 13) 田中秀男ほか: 知識工学的手法を応用した変電所レイアウトシステム, 第33回情報処理学会全国大会論文集, pp. 1169-1170 (1986).
- 14) 森 啓ほか: 配線設計エキスパートシステム, 第28回情報処理学会全国大会論文集, pp. 1073-1074 (1984).
- 15) 白井良明, 辻井潤一: 人工知能, p. 35, 岩波書店, 東京 (1982).
- 16) 岡田謙一, 北川 節: PAD によるソフトウェア開発システム, 情報処理学会論文誌, Vol. 26, No.

5, pp. 898-904 (1985).

- 17) Yamada, N. et al.: A Plant Diagnosis Method Based on the Knowledge of System Description, *J. Inf. Process.*, Vol. 7, No. 3, pp. 143-148 (1984).
- 18) 近山 隆: UTILISP マニュアル, 東京大学計数工学科 (1981).

(昭和62年10月21日受付)

(昭和63年3月9日採録)



滝田 透 (正会員)

昭和28年11月13日生。昭和52年3月早稲田大学工学部電気工学科卒業。昭和54年3月同大学院工学研究科修士課程修了。同年4月(株)日立製作所エネルギー研究所入所。現在に至る。BWR 炉心運転管理システムの開発、配管レイアウトCADシステムの開発に従事。電気学会、日本原子力学会、IEEEなどの会員。



森本 美恵 (正会員)

昭和38年7月7日生。昭和61年宇都宮大学工学部情報工学科卒業。同年4月(株)日立製作所エネルギー研究所入所。現在に至る。プラント設計自動化手法、予防保全計画エキスパートシステムの開発に従事。



和田 裕

昭和31年3月18日生。昭和53年3月大阪大学工学部原子力工学科卒業。昭和54年～昭和55年カリフォルニア大学バークレイ校原子力工学科大学院留学。昭和56年3月大阪大学大学院工学研究科原子力工学専攻修士課程修了。同年4月(株)日立製作所エネルギー研究所入所。現在に至る。知識応用レイアウト手法、制御系ロジック自動設計手法の開発に従事。日本原子力学会、計測自動制御学会、IEEE、AFCETなどの会員。



小林 康弘 (正会員)

昭和22年10月21日生。昭和45年3月東京大学工学部原子力工学科卒業。昭和50年3月同大学院原子力工学専攻博士課程修了。同年4月(株)日立製作所入社。昭和53年4月より同社エネルギー研究所勤務。現在に至る。原子力プラントの信頼性・安全性、新型BWR炉心の概念設計、省エネルギー面からのシステム評価、プラント設計自動化の研究開発に従事。工学博士。人工知能学会、電気学会、日本原子力学会、IEEE、AAAIなどの会員。