

プラント建設のための仮設足場の配置計画手法

宇佐美芳明^{*1}、鶴沼宗利^{*1}、好永俊明^{*2}

^{*1} (株)日立製作所日立研究所

〒319-12 茨城県日立市大みか町 7-1-1

^{*2} (株)日立製作所日立工場

〒317 茨城県日立市幸町 3-1-1

E-mail : usami@hrl.hitachi.co.jp

概要

発電プラントの建設計画を支援するために、仮設足場の配置計画手法を開発した。本手法ではプラントのCADデータを入力として、建設作業の対象となる物体からの距離に基づき、足場配置に関する必要度の分布を計算する。そして、この分布を配置条件として、生物の進化過程を模擬する遺伝的アルゴリズムにより最適な足場配置を求める。このとき、足場の配置案を表現する遺伝子情報は、画像データとして計算機の画像メモリに記憶するため、最適化のための遺伝的操作の状況を可視化できる。本手法の適用結果によれば、計算機が条件に合った足場配置案を提示できるため、従来よりも仮設足場の配置計画は容易となる。

キーワード 発電プラント、配置計画、足場、遺伝的アルゴリズム

Placement Planning of Temporary Scaffold for Power Plant Construction

Yoshiaki USAMI^{*1}, Munetoshi UNUMA^{*1}, Toshiaki YOSHINAGA^{*2}

^{*1} Hitachi Research Laboratory, Hitachi, Ltd.

7-1-1, Omika-cho, Hitachi-shi, Ibaraki-ken, 319-12 JAPAN

^{*2} Hitachi Works, Hitachi, Ltd.

3-1-1, Saiwai-cho, Hitachi-shi, Ibaraki-ken, 317 JAPAN

E-mail : usami@hrl.hitachi.co.jp

Abstract

We developed a placement planning technique of temporary scaffolds to support the operation that construction of power plant was planned. In this technique, distribution of necessary degree about scaffold placement is calculated from CAD data of plant according to distance from objects executing the work. The distribution is handled as conditions of placement, and optimum scaffold placement is decided by genetic algorithm. Because the gene information that scaffold placement is expressed is memorized in image memory of computer, we can show the situation of genetic calculation intelligibly. This technique could present the scaffold placement plan which fitted the conditions, and placement plan of temporary scaffolds became easy than before.

Key words Power plant, Placement planning, Scaffold, Genetic algorithm

1. はじめに

原子力や火力などの発電プラントにおいては、建設工数の削減のために、建設計画を高度化することが必要となっている。プラントの建設計画には、工程の順序や工数を検討する工程計画、機器の搬入の順序や経路を検討する搬入計画など、様々な計画業務が存在する。本研究では仮設足場の配置を検討する仮設計画を取り上げ、その支援技術を開発することとした。

従来のプラント設計用のCADシステム¹⁾では、足場配置固有の支援機能を持たないため、計画作業には多くの手間を要していた。そのため設計や他計画に変更があった場合などに、迅速に足場計画を修正することが困難であった。そこで本研究では、足場の配置計画の作業を容易化する支援手法の開発を目的とする。

2. 必要度に基づく配置

2.1 足場の設置対象の抽出

プラント内部の一つのエリア（区画）を考え、図1のように、その中の配管や機器などの据え付けのために足場を設置するケースを想定する。このとき据え付ける物体の形状や配置の情報は、三次元CADデータとして既に存在するものとし、

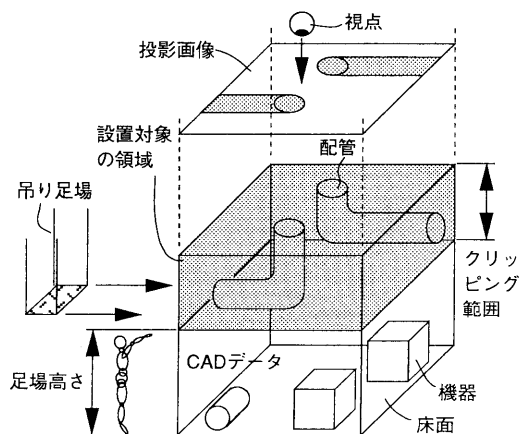


図1. 設置対象の抽出

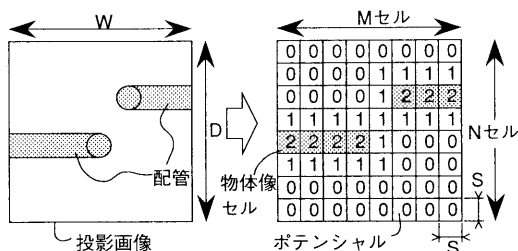


図2. 足場ポテンシャル値

ここから足場の設置対象となる物体を抽出する。設置対象はユーザが指定する足場高さ以上の空間に存在するものとし、ここではワークステーションの3次元図形のクリッピング機能を活用して特定する。すなわち足場面以上で天井面以下の空間だけをクリッピングして、設置対象となる物体だけを抽出する。こうして求めた物体の投影画像を基に、以降の足場配置処理を行なう。

2.2 足場ポテンシャル値の設定

投影画像から足場配置の必要度に関するポテンシャル値を設定する方法を図2に示す。足場の大きさは規格化されているので、エリアをセルに分割し、セルにポテンシャル値を設定して配置位置を決定する。対象物体（この場合は配管）が投影された位置にある物体像セルは、設置対象となる物体の真下にあたるので、ポテンシャル値が高く、同図では例えば2という値を与えている。足場の必要度は、物体から離れるに従い小さくなると考えられるので、同図の例では、物体像セルから1セル離れる毎に、ポテンシャル値を1ずつ減少させている。また、配管などが足場高さの位置に存在している場合には、干渉のため足場を配置できない。このような場所は干渉チェックにより、配置禁止という属性をセルに設定する。

2.4 局所的探索法による配置

足場ポテンシャルの分布を設定すると、図3のような局所的探索法により足場配置を決定する。この例では、配置する足場は2×1セルの大きさを持つものとする。配置位置を決定するためのルールとしては、第一にその時点で最もポテンシ

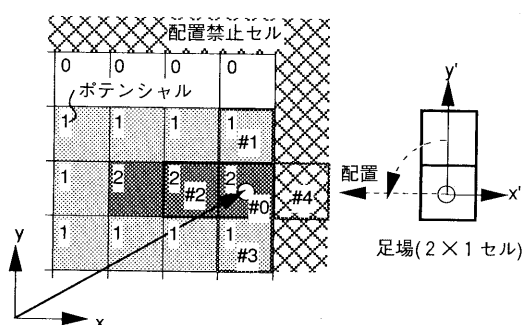


図3. 局所的探索法

ル値が大きく、原点から最も遠いセルを選択することである。同図ではポテンシャル値2の部分で最大であるので、その中で最遠のものとして#0のセルを選択する。次に、この配置位置を中心にして、第二のルールとして、配置によりカバーするポテンシャル値が最大となる配置方向を求める。この例では、ポテンシャル値が2であるセル#2をカバーするように、-x方向に向ける配置方向が最大であるので、これを選択する。以上のルールによる配置方法は、与えられたポテンシャルの分布に対して、局所的なポテンシャル値の大小を探索するだけで配置を決定しているので、本研究では局所的探索法（以下LSと略記）と呼ぶ。

3. 配置位置の最適化

3.1 遺伝的アルゴリズム

前章で述べたLSによる配置手法では、大局的な最適化は行っていないため、配置形状が複雑な場合などのケースでは問題となる。そこで足場配置の必要度のポテンシャル分布に対して、遺伝的アルゴリズム⁴⁾（以下GAと略記）に基づく最適化手法を適用して、足場の最適配置を求める。

GAとは、世代を重ねるうちに生物が環境に適応して進化する過程を模擬した手法である。この手法では問題の解の候補を、遺伝子を持つ個々の生物体と考え、これを個体と呼ぶ。遺伝子情報は問題を表現するようにコード化されており、通常は計算機上のビット列やリストなどの形式で記憶する。ある世代においては、問題から与えられ

る条件に対して適応度の高い個体だけが、その次の世代に自身の遺伝的性質を受け継いだ子孫を残せるように処理する。すると一定の後の世代には、遺伝により個体が進化して、条件に対して最適化した個体すなわち最適解だけが生き残るというアルゴリズムである。ここでGAを選択した理由は、単一ではなく多様な解の集団を扱うので、同等な評価値を持つ解を複数提示できる点である。次善の策を容易に見つけられることは、仮設配置のような問題では、重要であると考えられる。

3.2 従来の手法

物体の配置を最適化する問題では、位置や方向などの配置情報を、遺伝子としてコード化し、それを進化させて最適配置を得ようとする。このコーディング方法が性能に大きく影響するため、問題に合わせて各種の手法が提案されている。例えば、LSIの素子の配置問題などでは、配置位置や配置方向を数値として列挙したものを遺伝子コードとして考え^{2) 3)}、これに遺伝的操作を加えて、最適配置を得る方法がある。そのほかに、画像の復元問題で、画像パターンそのものを、二次元の遺伝子コードと考える手法⁴⁾もある。

コーディング技術以外で、アルゴリズムの可視化技術も重要であると、筆者らは考えている。従来のGAでは、多数の個体を同時に進化させたときに、個々の個体の遺伝子情報の進化状態をユーザは把握できず、GAパラメータの制御は非常に困難であった。そこで本研究では、個体の遺伝子の進化状況を可視化して表示し、ユーザのパラメータ設定を支援する方法についても検討する。

3.3 画像メモリへの遺伝子格納

遺伝子情報を可視化するために、図4のように、本研究では主要な情報をワークステーションの画像メモリに格納し、遺伝的操作は画像入出力処理により実現する。足場ポテンシャルデータはBlueのプレーンに置き、図2のように設定した値をそのまま格納する。そしてRedのプレーンには足場を横配置するときのデータを、Greenのプレーンには縦配置のデータを格納する。ここでは足場の長辺の方向がx軸方向にあるときを横配置、

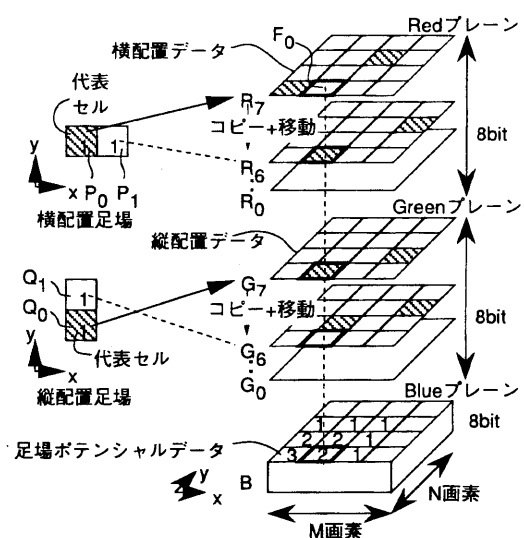


図4. 画像メモリへの遺伝子の格納

y 軸方向のときを縦配置とする。そして足場を表現するセルのうち、最も原点に近いセルを代表セルと呼び、これを中心に配置処理を進める。図のような足場では、横配置の場合の代表セルは P_0 であり、縦配置では Q_0 である。

つぎにプレーン単位での配置データの書き込み方法を示す。 R_7 は Red の最上位ビットで、まずここに横配置の代表セル P_0 の位置のみを記録する。同図では "1" を格納したハッチング部の画素が、足場のうちで P_0 の部分の位置を示している。 R_6 は上位から2ビット目にあるが、ここには R_7 のパターンを1セルだけ+x 軸方向に移動させてコピーする。すべての P_1 セルは、常に P_0 の右側にあるので、 P_1 の配置パターンは P_0 の配置パターンをコピーして移動するだけで簡単に得られる。ここで別々のプレーンに配置情報を格納しているのは、後述の適応度計算において、同じ場所に重なって配置された足場数を計算するためである。同様にして Green のプレーンには縦配置のデータを格納する。

3.4 遺伝子の交叉

図5は画像メモリの二次元遺伝子の親1と親

2から、交叉により子1と子2が生成される様子を示したものである。交叉には親の遺伝子パターンの分割線を乱数により定めて、そこで分割したパターン同志を入れ替えて、子の遺伝子を生成する。ただし本研究では、交叉の対象となるのは、 R_7 または G_7 プレーンのみでよい。 R_6 及び G_6 以下については、図4のように代表セルのパターンから、移動コピーにより生成すればよい。

二次元の交叉処理時に、遺伝子の分割線の位置を単純に乱数で決めると、子1と子2で個体の足場数が異なる場合も生じるため、足場数を一定に保つ処理が必要になる。ここでは遺伝子を分割したときに、足場数が変わらないような分割位置を事前に求め、その中から分割を選択している。

3.5 遺伝子の突然変異

突然変異の処理方法を、図6により説明する。同図は R_7 および G_7 のプレーンの代表セルのパターンを示している。本研究では乱数により選択された個体が、突然変異により足場の方向と位置の変更を受けるものとし、その変更量も乱数により定める。すると足場の回転移動は代表セルが R_7 から G_7 、または G_7 から R_7 に移動することで表現できる。また平行移動は R_7 および G_7 のそれぞれの平面内での位置移動である。交叉と同様に、画像のコピーおよび移動により、代表セルの

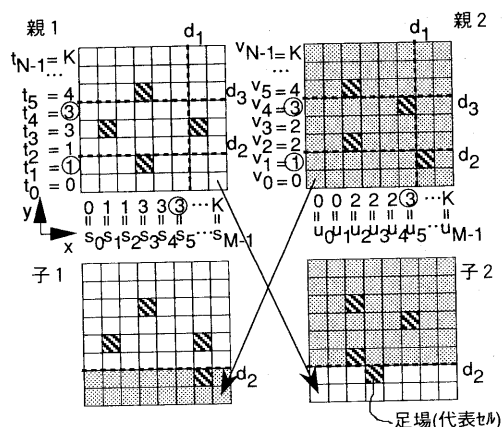


図5. 配置遺伝子の交叉

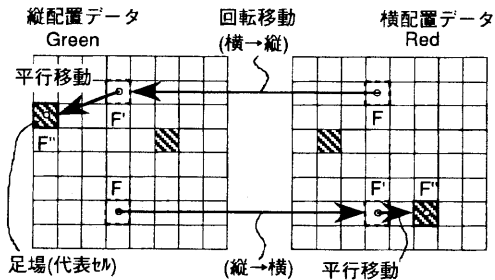


図 6. 配置遺伝子の突然変異

パターンを変更し、突然変異の処理を実現できる。

3.6 適応度の計算

遺伝的操作により生成した個体を評価するために、各個体の適応度を計算する必要がある。本研究では、適応度関数 A は、足場がカバーするポテンシャル値の合計を C 、足場同志の重なり数を D 、重み係数を w として、

$$A = C - wD$$

のように計算する。ここで D は足場の重なりに関するペナルティとして作用し、 w は D の重みづけを変更するための係数である。これら C や D の値は、図 4 のように画像メモリに格納した情報から抽出する。足場ポテンシャル値は Blue のプレーンに格納されているので、Red や Green の各プレーンで "1" が記録されたセルを調べれば、足場が配置されている部分のポテンシャル値の合計 C を求めることができる。また足場同志の重なり数は、すべての Red と Green のプレーンで、同一位置にある画素を調査すればよい。このように適応度計算に必要な情報は、すべて画像メモリから読み出すことができる。

4. 結果及び検討

4.1 配置結果

発電プラントを模して作成した CAD データに、本手法を適用した結果を図 7 および 8 に示す。図 7 は局所的探索法による足場配置結果で、白い長方形板が配置した足場である。この結果によれば、先に求めたポテンシャル値に基づき、据え付け作

業を行う機器や配管などの近傍で、かつ物体との干渉を避けるような位置に、適切に足場が配置できている。さらに詳細な足場形状については、図 8 のような状態で表示することも可能である。

4.2 配置最適化

GA による最適化の計算状況を図 9 に示す。画面右側のウィンドウが画像メモリの内容であり、上下で 2 世代分の遺伝子情報を格納している。また画面左下の部分では、その遺伝子情報を拡大表示している。実際に計算すると、初期の世代では遺伝子はランダムであるが、進化に伴って遺伝子パターンが揃っていく傾向が確認できた。これは、

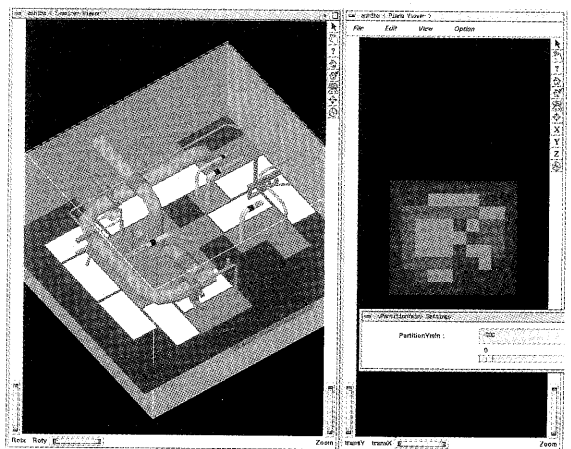


図 7. 足場の配置結果

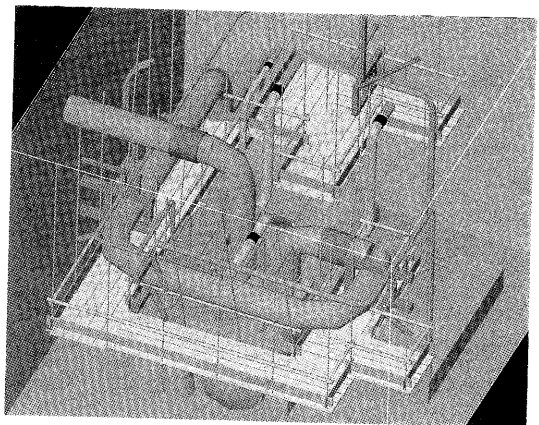


図 8. 足場の詳細表示



図9. 遺伝的アルゴリズムの計算

解が特定の値に収束しつつあることを意味しており、計算状態を判断する上で有効であった。

つぎにLSとGAとの配置結果の比較を図10に示す。ここでは足場必要箇所にはポテンシャル値を10として与え、適応度の重み値 w も10とした。配置する足場数は49で、 2×1 セルの足場サイズである。この条件で配置させて、LSの適応度は940、GAの適応度は最大で960となり、個体数が1000以上の場合にはLSよりも良い解を得ることができた。この例では突然変異は与えず、交叉のみで計算した。計算時間については、120MIPSのワークステーションでLSが数秒程度に対し、GAでは30分程度であり、非常に時間がかかる。以上のように、本研究のGA配置手法に

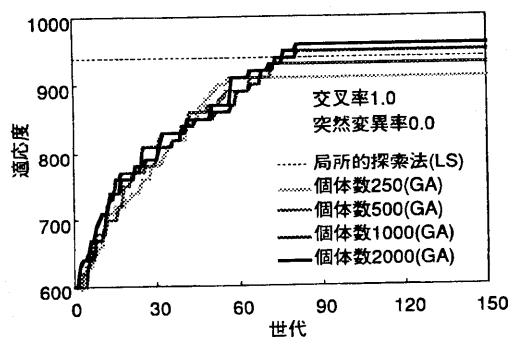


図10. 配置結果の比較

よれば、現状では計算時間に問題はあるが、質的には満足できる足場配置が得られている。

5. おわりに

プラントの建設計画のために、作業用足場の配置計画を支援する仮設足場計画手法を開発した。本手法では、機器や配管などの据え付け物体のCADデータから、足場配置の必要度を示す足場ポテンシャル分布を算出し、その分布に対して生物の進化過程を模擬する遺伝的アルゴリズムを使用して最適な足場配置を決定する。本手法を評価用のCADデータに適用した結果では、計算機が必要な箇所に適切に足場を配置するため、従来よりも計画作業は容易化できており、足場配置計画の支援手法として有効であった。

また、配置を最適化する機能については、ワークステーションの画像メモリに遺伝的情報を格納することにより、遺伝的アルゴリズムの計算過程を可視化できる特長があり、足場配置の解の収束状態を視覚的に判断できる効果があった。

謝辞

本研究にご協力いただいた日立プラント建設株式会社火力原子力事業部金田弘一郎長、鴨志田保二主任技師に感謝いたします。

参考文献

- 1) 好永俊明、中嶋明、宮原良平、三浦淳：原子力発電プラントコンストラクションCAEシステム、日立評論、Vol.72, No.10, pp.991-1002 (1990)。
- 2) 半田恵一、本位田真一：遺伝的アルゴリズムによる素子の整列配置、電気学会論文誌C、Vol.115, No.4, pp.580-588 (1995)。
- 3) 吉川大弘、古橋武、内川嘉樹：遺伝的アルゴリズムのプリント基板自動配置への応用、電気学会論文誌D、Vol.114, No.4, pp.387-392 (1994)。
- 4) 北野宏明：遺伝的アルゴリズム、産業図書 (1993)。