相互関連ダイアグラムに基づく異面積をもつ職場の
ブロック型配置法*邵 忠^{*1}, 永木二郎^{*2}, 宮崎茂次^{*1}Block Layout of Departments with Different Areas
on the Basis of Interaction Diagram

Zhong SHAO, Jiro NAGAKI and Shigeji MIYAZAKI

In this study we propose a heuristic method for layout planning of departments with different areas, in the case where some shapes and directions of departments are not changeable. The proposed method is based on the interaction diagram which shows adjacent relationships between departments. Through numerical examples, steps of the algorithm are shown and the effectiveness of the solution for the problem that has unchangeable departments under twenty percentage of all departments is examined.

Key Words: Plant Layout, Block Layout, Departments with Different Areas, Interaction Diagram

1. 序 言

工場レイアウトに関する従来の研究では, すべての職場の面積と形状が同一という前提条件に基づくもの[1]や, すべての職場の面積が異なり, かつそれらの形状の変更が許されるものとした場合[2][3][4]が数多く取り扱われている。

しかし, 最近の工場レイアウトでは, 工場建設のコストを削減し, 生産性を上げるために, すべての職場を一つの大きな建物(工場建屋)に納めることが要求される。その上に, 各職場の面積が異なり, その一部の職場の形状あるいは配置向きの変更, そして職場間に隙間の存在が許されないケースも多々存在している。このようなレイアウト問題に対して, 上述の諸法を適用することは困難であり, 新しい解法が必要となる。

そこで, 本研究では, 建物の面積と形状が限定されており, 各職場の面積が異なり, かつその一部の職場の形状または配置向きの変更が許されない条件下での工場レイアウト問題を取り扱う。従来法のように中心部から周りへ職場を配置する方法では, 中心となる職

場の配置場所を決めにくく, 職場間に隙間が生じる恐れがある。そのため, 新たな「回」字型の配置手順を考案するヒューリスティックな職場レイアウト法を提案する。

提案法は, 各職場を形状と配置向きの条件によって, 3種類(I, II, III型)に分類し, 各職場の面積を整数値で与える。配置作業を容易にするために, III型の職場を, 単位面積をもつ正方形のブロック数に換算する。そして, 職場間の位置関係を示す相互関連ダイアグラムを入力データとして与え, その中のすべての職場を, 外回りから中心部にかけて「回」字型の配置層に分割し, 最外回り層から職場を配置する。提案する「回」字型配置法によって, 中心職場の配置場所を決めにくい問題点を解消し, 矩形で与えられた建物内に, 隙間なく, 職場形状の整ったレイアウト案が得られる。数値例を解いて, 得られる解の有効性を示す。

2. 問題の定式化

2.1 前提条件と記号

- (1) 職場を M_i ($i = 1, 2, \dots, m$) で表し, その数 m は与えられているものとする。
- (2) 各職場の面積 $M A_i$ ($i = 1, 2, \dots, m$)

* 原稿受付 平成5年10月21日。

*¹ 正員, 岡山大学工学部 (〒700 岡山市津島中3-1-1)。*² 学生員, 岡山大学工学部。

表 1 職場の形状条件

Type	Change of shapes	Change of directions
I	否	否
II	否	可
III	可	可

はそれぞれ異なり、整数値として与えられている。

- (3) 職場には、形状と配置向きの変更がいずれも不可能な I 型、形状の変更だけが不可能な II 型、および形状と配置向きの変更がいずれも可能な III 型の 3 種類がある (表 1)。I 型の職場は、機械設備の大きさと生産の流れの制限があるので、職場の形状と配置向きの変更が許されない。II 型の職場は、機械設備の大きさの制限があるが、生産の流れの制限がないので、職場の形状の変更だけが許されない。III 型の職場は、機械設備の大きさと生産の流れの制限がないから、形状と配置向きの変更が許される。三種類の職場のうち、形状変更の不可能な I、II 型の職場を全体の約 2 割以下とする。
- (4) I、II 型の職場の形状は矩形であり、その両辺の長さは整数値として与えられている。
- (5) 職場 M_i 、 M_j 間の近接関係は、近接性要求度 (R_{ij} ; $i \neq j$) で表され、事前に与えられている。それは、物の流れ、人員の流れおよび輸送量などを考慮に入れているものとする。
- (6) 建物の総面積は、各職場の面積の合計に等しい整数値で、その形状は矩形として与えられている。
- (7) 職場間の隣接関係を示す相互関連ダイアグラムは与えられているものとする。それは、上記の前提条件 (5) の職場間の近接性要求度に基づいて、QAP 問題を解く従来法を用いて作成されているものである。
- 相互関連ダイアグラムの外形は、文献 [5] のような直交座標上において、建物の形状と同一の矩形あるいはそれに類似した矩形である。
- (8) 工場を構成するすべての職場は、与えられた建物内に配置されるものとする。
- (9) 形状と配置向きの変更が可能な III 型職場は、単位面積をもつ正方形のブロックに分割し、ブロックの集合体として配置する。
- (10) 建物内の通路、壁および柱の面積は各職場の面積に含まれているものとする。現段階では、それらの配置は考慮しない。

2.2 本研究の目的

すべての職場の面積が異なり、かつその一部の職場の形状や配置向きの変更が許されないレイアウト問題に対して、CORELAP 法 [2] のように中心から回りへ職場を直接に配置する方法では、建物 (工場建屋) 内に重なりや隙間がなく、職場形状の整ったレイアウト案を得るのは極めて困難である。

一方、すべての職場を同一面積の正方形にする従来法では、最適解あるいは準最適解の相互関連ダイアグラムが得られるが、異なる面積と形状を考慮に入れないため、実用性に乏しいと言わざるを得ない。

また、従来の研究では、職場 M_i 、 M_j 間の近接性要求度 R_{ij} と重心点距離 D_{ij} の積の総和

$$G = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n R_{ij} D_{ij} \quad (1)$$

の最小化を評価尺度としているものが多い。その評価尺度に基づいてレイアウトを作成する際、あまりに評価尺度を重視し過ぎると、得られるレイアウト案では、近接性要求度 R_{ij} の大きい職場間の重心点距離 D_{ij} を短くするために、極端に職場の形状が崩れてしまったり、職場間に重なりや隙間が生じたりする恐れがある。このようなレイアウト案の場合、たとえ評価尺度が良くても実用性に乏しい案と言わざるを得ない。実際の工場では、近接性要求度 R_{ij} の大きい職場間は、隣接していれば物の流れは確保されるので、それ以上職場の形状を崩してまでも重心点距離を短くする必要はない。

そこで、本研究では、上述の諸問題点を克服するために、2.1 の前提条件 (1) ~ (10) に基づいて、与えられた相互関連ダイアグラム上の職場間の隣接関係を守りながら、すべての職場が矩形 (長方形または正方形) あるいはそれに近い形状となる実用的なレイアウト解法を提案する。

なお、本研究は、特定の工場レイアウト問題に限らず、汎用な工場レイアウト問題の解決を目指している。工場を構成する各職場は (それぞれワークステーションと同等の意味をもつものとする。)、機械設備のほかに、作業エリア、加工材料置き場 (臨時倉庫) および通路などのスペースを含んでいる。したがって、ほとんどの職場の形状が変更可能であると考えている。また、提案法によって得られるレイアウトは、最終的な詳細レイアウトではなく、工場を建てるための基本的なレイアウトである。

3. 解 法

本報文では、2. で定義したレイアウト問題を解く

ために、与えられた相互関連ダイアグラム上のすべての職場を外回りから中心部にかけて「回」字型の層に分け、矩形で与えられた建物（工場建屋）内に、最外回り層から、Ⅰ、Ⅱ型およびグループでⅢ型の職場を配置する手順を考案し、さらに、ヒューリスティックなルールを設けてⅢ型の職場のグループ分けおよび各グループ内にブロック単位でⅢ型の職場の配置を行う方法を提案する。

3.1 「回」字型配置層の設定 与えられた相互関連ダイアグラム上のすべての職場を、図1のように外回り層、内回り層および中心部といった「回」字型の配置層に分割する。外回り層の定義は、上下左右の4方向のうち1つ以上の方向に隣接する職場をもたない職場の集まりとし、 L_1 で表す。例えば、図2(a)の職場 M_1 は、上下左右の4方向に他の職場があるので、外回り層には含まれない。次に、 L_1 の内側に隣接する職場の集まりを L_2 とし、以下同様に、外回り層から第 i 番目の層を L_i ($i = 1, 2, \dots, n-1, n$)で表し、中心部まで配置層を分ける（図2(b)）。

3.2 職場のグループ分け 表1に示されている3種類（Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ型）の形状条件の職場をもつ工場レイアウト問題に対して、単に形状と配置向きの変更が可能であるⅢ型職場の形状を個々に修正しながら配置していくと、不整形な形状の職場をもつレイアウト案になってしまう。そこで、同じ配置層に属し、かつ建物の同一の辺付近で隣接する複数のⅢ型職場は、4隅およびⅠ、Ⅱ型職場の存在を考慮して、個々のグループを構成する。 L_i 配置層の j 番目のグループを G_{ij} で表す。各配置層におけるⅢ型職場のグループ分けは、専門家の経験による決定ルールを用いて行う。なお、Ⅰ、Ⅱ型の職場は、グループに含まず、単独に取り扱うことにする。

〔職場のグループ分けルール〕

〔ルール1〕 同一配置層の各辺（隅を含む）に連続に並んでいるⅢ型職場は、同一のグループを構成する。

〔ルール2〕 各配置層の隅にあるⅢ型職場が、一方の辺にⅠまたはⅡ型職場と隣接し、もう一方の辺にⅢ型職場と隣接する場合、隅のⅢ型職場を、ⅠまたはⅡ型職場の存在しない辺のグループに含める（図3(a)）。

〔ルール3〕 各配置層の隅にあるⅢ型職場の両側に2つ以上のⅢ型職場がある場合、隅にあるⅢ型職場は、その両隣の近接性要求度 R_{ij} の

図1 「回」字型配置層の設定

図2 相互関連ダイアグラムの「回」字型分割

図3 グループ分けの例

大きい職場との重心点距離 D_{ij} が短くなるようにグループを構成する（図3(b)）。

〔ルール4〕 各配置層の隅にあるⅢ型職場の両側にそれぞれ1つのⅢ型職場が隣接し、さらにⅠまたはⅡ型職場が続いている場合、次のようにグループを構成する。ⅠまたはⅡ型職場に隣接するⅢ型職場の面積が、いずれも

I または II 型職場の面積より大きければ、隅の III 型職場は、両側の III 型職場のうち、面積の小さいほうとグループを構成する（図 3（c））。I または II 型職場に隣接する III 型職場の面積が、いずれも I または II 型職場の面積より小さければ、そのうちの面積の小さい III 型職場を隅に移動して、ほかの 2 つの III 型の職場とグループを構成する（図 3（d））。I または II 型職場に隣接する III 型職場のうち、片方の III 型職場の面積が I または II 型職場の面積より小さければ、その職場は隅の III 型職場とグループを構成する。

ルール 1 を設定した理由は、1 つのグループに 1 つの矩形の面積を取って、グループ単位で配置することにより、不整形な職場が避けられ、配置作業が容易になるからである。

ルール 2 は、隅の III 型職場だけで構成されるグループを配置すると、I または II 型の職場との間に隙間が生じることがあるので、それを避けるためである。

ルール 3 は、ルール 1 に基づいて、与えられた相互関連ダイアグラムによる職場の相互関係を最大限に守るためである。

ルール 4 は、隅の III 型職場と I または II 型の職場の間に挟まれている 1 つの III 型職場の面積の大小によって、その III 型職場が不整形になったり、職場間に隙間が生じたりすることがあるので、そのような実用性に欠ける配置を避けるためである。

3.3 グループ分けの調整 各グループに属する III 型職場を配置する際に、2 辺の長さの差が余りにも大きすぎて、職場の形状が極端に細長くなると、職場内に機械設備が入れなくなったり、生産に必要なスペースが確保できなくなったりしてしまうケースもある。そのような事態を避けるために、職場の辺長率の概念を導入して、次のように III 型職場のグループ分けを調整する。

グループ $G_{i,j}$ に属する職場の面積の合計 $GA_{i,j}$ をグループ長さ $GL_{i,j}$ （ $G_{i,j}$ が占める建物の辺の長さから、その辺上に占める I または II 型の職場の長さを減じた値）で除した値を四捨五入し、整数値としてのグループ幅 $GW_{i,j}$ を求める。各グループ $G_{i,j}$ の実面積 $GA_{i,j}$ とそれぞれのグループの配置面積 $GL_{i,j} \times GW_{i,j}$ との差 $GA_{i,j}^*$ （正または負の整数）は、後述するように、隣接する内回り層の配置の

際に調整する。

各グループに属する III 型職場が、矩形として配置できたと仮定すると、その 2 辺の長さは、例えば、図 4 に示す職場 M_i のように、縦方向の長さは、グループ幅と同じ $GW_{i,j}$ となり、横幅は、職場面積 MA_i を $GW_{i,j}$ で除した値 ML_i となる。ここで、職場 M_i の 2 辺の比率を辺長率 H_i と呼び、

$$H_i = \begin{cases} GW_{i,j} / ML_i & (GW_{i,j} < ML_i) \\ ML_i / GW_{i,j} & (GW_{i,j} \geq ML_i) \end{cases} \quad (2)$$

と定義する。すべての職場の辺長率 H_i は、

$$H_i \geq H^* \quad (0 < H^* \leq 1) \quad (3)$$

となるように調整する。 H^* は、各職場内での機械設備の配置および作業エリアに要求される職場の幅を確保するために、事前に与えられた辺長率の限界値である。 H^* よりも小さい辺長率 H_i をもつ職場 M_i が存在し、 M_i が式（2）の条件（ $GW_{i,j} < ML_i$ ）を満たすとき、辺長率 H_i が H^* より小さい職場をもつ辺に対して両側の辺に属する職場の総面積を比べる。総面積の大きい職場をもつ辺から図 5 のように、対象とする辺に職場を移動させる。そして、新しくグループ分けを行い、すべての III 型職場の辺長率が条件を満たすまで上述の操作を繰り返して、最終的なグループ分けを完了する。式（2）の条件（ $GW_{i,j} \geq ML_i$ ）を満たすとき、この時点では、上記のグループ分けの修正は行わず、後述する「III 型職場の配置ルール」の〔ルール 4〕によって配置する。

3.4 I、II 型およびグループの配置 本研究のレイアウト問題に対して、従来の中心部から外回りへの配置手順では、中心部の配置位置が決めにくく、職場間に隙間が生じる恐れがある。そこで、「回」字型の配置層の最外回り層 L_i に属する職場を、与えられた建物の最外周から配置していく手順をとる。その手順は次のとおりである。

形状条件に制約がある I、II 型の職場が層内にある場合は、優先して配置位置を決める。II 型の職場は、上下左右に隣接する職場のなかで、近接性要求度 $R_{i,j}$ の強い職場との重心点距離 $D_{i,j}$ が短くなるように、配置向きを変えて配置する。形状と配置向きの変更の可能な III 型職場は、建物内に隙間が生じたり、中心部が虫食い状態になって配置できない職場がでてくること

図4 III型職場の形状

図5 グループ分けの調整

図6 グループ面積の受け渡し

を避けるために、次のようにグループ単位で調整して配置する。グループに属するⅢ型職場の面積の合計 $G A_{i,j}$ を、前述のようにグループ長さ $G L_{i,j}$ で除し、さらに、四捨五入によって、グループ幅 $G W_{i,j}$ を求める。次に、 $G L_{i,j} \times G W_{i,j}$ の配置面積をとり、グループに属するⅢ型職場の幅を統一して配置する。そのグループの実面積 $G A_{i,j}$ と配置面積 $G L_{i,j} \times G W_{i,j}$ との差 $G A_{i,j}^*$

$$G A_{i,j}^* = G A_{i,j} - G L_{i,j} \times G W_{i,j} \quad (4)$$

は、隣接する内回りのグループの実面積 $G A_{i+1,j}$ に仮に合算して調整する。すなわち、図6のように、内

回り層に属するグループ $G_{2,i}$ のグループ面積は、 $G A_{2,i} + G A_{i,j}^*$ として扱い、その職場グループの配置を行う。

また、最中心部 L_i 層にⅠまたはⅡ型職場がある場合は、その職場の配置位置を決めるために、その職場に隣接する L_{i-1} 層のⅢ型職場の中で、ⅠまたはⅡ型職場との近接性要求度 $R_{i,j}$ の大きいⅢ型職場の属するグループを優先して配置する。次に、そのグループに接するように、 L_i にあるⅠまたはⅡ型職場を配置する。 L_{i-1} の残りのグループは、 $G L_{i,j}$ または $G W_{i,j}$ を基準にして配置し、最後に L_i に属するⅢ型職場を残りの面積に配置する。

3.5 Ⅲ型職場の配置ルール すべてのⅠ、Ⅱ型の職場およびⅢ型職場グループの配置が終われば、各グループに属するⅢ型職場を個々に配置する。その配置作業は以下の決定ルールによって行われる。

[Ⅲ型職場の配置ルール]

[ルール1] 外回りのグループ $G_{i,j}$ ($i, j = 1$) に属する職場から配置する。

[ルール2] グループ内の各職場は、そのグループの4隅のなかで、建物の中心部から最も離れた位置を始点として、グループ幅に沿って、ブロック単位で配置する。

[ルール3] Ⅲ型職場グループの実面積 $G A_{i,j}$ とそのグループの配置面積 ($G L_{i,j} \times G W_{i,j}$) の値が一致せず ($G A_{i,j}^* \neq 0$)、かつ $G A_{i,j}^* < 0$ のとき、そのグループの内回りに隣接するグループに属する最も面積の大きい職場の配置面積を拡張し、整数化したグループ幅 $G W_{i,j}$ に関わりなく、 $G A_{i,j}^*$ のブロック数の面積を付け加えて配置する。 $G A_{i,j}^* > 0$ のときは、そのグループに属する最も面積の大きい職場の配置面積を拡張し、 $G W_{i,j}$ に関わりなく、 $G A_{i,j}^*$ のブロック数を配置する。

[ルール4] ブロック単位の配置によって職場の配置場所が2つに分かれる場合、または辺長率の条件を満たさない場合、隣接する他の配置層に属する職場との近接性要求度 $R_{i,j}$ を比べ、 $R_{i,j}$ の大きい職場との距離 $D_{i,j}$ が短くなるように、その職場の部分ブロックを上下左右で入れ換えて、一カ所にまとめる。

ルール1、2は、建物内にすべての職場を配置するために外回りから職場を埋めていくという本研究の目

図7 グループ面積の調整

図8 形状の修正

的を達成するためである。

ルール3を設定した理由は、例えば、図7に示すように、式(4)で与えられたグループ $G_{i,j}$ の実面積と配置面積との差 $GA_{i,j}^*$ が負で、その内回りに接するグループ $G_{i+1,j}$ に属する最も面積の大きい職場を M_i とすると、 M_i の位置に $GA_{i,j}^*$ のブロック数を与えることによって、 $G_{i,j}$ の実面積と配置面積を一致させるためである。

ルール4を設定した理由は、面積の小さい職場に対し、ルール1のように配置していくと、2つの部分に分かれたり、辺長率の条件(式(3))を満たさない職場の形状が極端に細長くなったりするので、そのような実用性に欠ける配置を避けるためである。

3.6 Ⅲ型職場の形状の修正 図8の(a)のように隣接する2つの職場間を区切る境界線が一直線でない場合、その噛み合っている部分のブロック数を実数面積の比率で計算し、図8の(b)のように直線を引く。そうすることで、Ⅲ型職場の形状をより整ったものにする。

3.7 アルゴリズム

- [手順1] 建物の総面積と形状、各職場の面積と形状、辺長率の限界値 H^* 、職場間の近接性要求度および相互関連ダイアグラムのデータを入力する。[手順2]へ進む。
- [手順2] 与えられた相互関連ダイアグラム上の節点に対応するすべての職場を「回」字型の複数の配置層に分け、外回り層から第 i 番目

の層を L_i ($i = 1, \dots, n-1, n$) とする。 $i = 1$ として、[手順3]へ進む。

[手順3] L_i 層に属するⅢ型職場を複数のグループに分け、 $GA_{i,j}$ 、 $GL_{i,j}$ 、 $GW_{i,j}$ 、 ML_i および $GA_{i,j}^*$ の値を求める。[手順4]へ進む。

[手順4] 各グループにおけるⅢ型職場の辺長率 H_i をすべて求め、与えられた辺長率の限界値 H^* よりも小さい値をもつ職場があれば、[手順5]へ。すべての職場が H^* よりも大きい値で、 $i = 1$ であれば[手順6]へ。 $i < n-1$ であれば[手順7]へ。 $i = n-1$ であれば[手順8]へそれぞれ進む。

[手順5] 辺長率の条件を満たさないⅢ型職場をもつグループに対し、職場のグループ分けの調整を行う。[手順3]へ戻る。

[手順6] 各グループの $GA_{i,j}$ 、 $GL_{i,j}$ 、 $GW_{i,j}$ および ML_i の値を基に、Ⅰ、Ⅱ型の職場および各グループの配置を行う。 $i = i + 1$ として[手順3]に戻る。

[手順7] 各 $GA_{i,j}$ に、各グループに隣接する L_{i-1} のグループにおける $GA_{i+1,j}^*$ の値を加えたものをグループ面積として扱い、[手順6]と同様に、Ⅰ、Ⅱ型の職場および各グループの配置を行う。 $i = i + 1$ として[手順3]へ戻る。

[手順8] L_n (中心部)に、Ⅰ、Ⅱ型の職場がなければ、[手順7]と同様に、 L_{n-1} の配置を行う。 L_n にⅠまたはⅡ型の職場があれば、その職場を優先して配置する。[手順9]へ進む。

[手順9] 各グループに属するⅢ型職場をⅢ型職場の配置ルールに従って配置する。

[手順10] 3.6節のⅢ型職場の形状の修正を実行する。得られたレイアウト案が解である。

(終了)

4. 数値例と考察

4.1 数値例 提案法がより大きな問題を解決する有効性を示すために、乱数による大規模な工場レイアウト問題を作成して、解法の手順を説明する。数値例のデータは以下の如く。

- 職場数は30である。
- 各職場間の近接性要求度は表2に示されている。
- 図9に示されている相互関連ダイアグラムは、表2の近接性要求度を用いてコンピュータによる入

表2 近接性要求度表

No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
1	0	0	9	5	7	1	7	3	3	1	4	0	5	2	3	9	1	4	5	0	1	3	5	0	2	2	0	3	9	1	7
2	0	0	6	6	9	7	1	7	5	1	4	4	8	0	9	7	9	5	4	9	1	4	1	7	8	1	1	6	1	7	8
3	9	6	0	3	4	4	3	0	3	4	0	5	7	1	0	3	7	1	1	1	8	6	9	7	3	3	9	0	9	0	9
4	5	6	3	0	2	3	3	6	7	4	8	9	3	4	5	9	5	2	4	9	1	0	7	1	9	0	1	0	6	6	6
5	7	9	4	2	0	9	3	0	6	1	0	3	0	6	4	0	5	8	5	7	2	4	7	3	6	5	6	2	0	0	0
6	1	7	4	3	9	0	1	0	0	7	9	1	5	2	7	9	5	9	5	3	2	0	8	8	3	5	6	8	9	2	8
7	7	1	3	3	1	0	4	4	7	8	8	5	8	0	4	6	1	5	3	1	8	1	7	6	2	6	5	4	9	9	9
8	3	7	0	6	0	0	4	0	1	6	4	9	5	5	8	6	1	6	5	7	1	6	1	6	4	5	0	6	8	1	1
9	3	5	3	7	6	0	4	1	0	6	5	2	9	1	6	1	8	0	7	5	5	7	7	9	0	4	5	4	3	1	1
10	1	1	4	4	1	7	7	6	6	0	5	4	8	7	7	8	0	8	1	4	5	9	8	3	9	3	3	7	6	9	9
11	4	4	0	8	0	9	8	4	5	5	0	5	0	6	5	7	3	8	6	5	4	4	8	1	3	7	1	3	0	8	8
12	0	4	5	9	3	1	8	9	2	4	5	0	7	7	9	0	6	7	2	8	9	0	3	1	0	7	1	9	2	1	1
13	5	8	7	3	0	5	5	5	9	8	0	7	0	8	0	5	7	3	3	1	0	1	8	6	4	6	8	2	0	0	0
14	2	0	1	4	6	2	8	5	1	7	6	7	8	0	1	5	0	8	3	5	0	4	8	7	9	6	0	3	8	1	1
15	3	9	0	5	4	7	0	8	6	7	3	9	0	1	0	5	7	9	6	1	4	2	3	4	5	9	3	4	4	8	8
16	9	7	3	9	0	9	4	6	1	8	7	0	5	5	5	0	2	4	8	6	9	8	2	8	9	3	6	5	2	0	0
17	1	9	7	5	5	5	6	1	8	0	3	6	7	0	7	2	0	7	6	6	6	0	9	5	5	1	1	3	2	6	6
18	4	5	1	2	8	9	1	5	0	8	8	7	3	8	9	4	7	0	7	9	4	3	4	5	8	8	2	4	5	2	8
19	5	4	1	4	5	5	5	5	7	1	6	2	3	3	6	8	6	7	0	7	3	3	5	8	8	8	4	3	8	8	8
20	0	9	1	9	7	8	3	7	5	4	5	8	1	5	1	6	6	9	7	0	3	3	6	9	8	3	8	2	9	6	6
21	1	1	8	1	2	2	1	1	5	5	4	9	0	0	4	9	6	4	3	3	0	2	7	7	7	5	3	3	4	3	3
22	3	4	6	0	4	0	8	6	7	9	4	0	1	4	2	8	0	3	3	3	2	0	0	2	8	7	6	1	1	1	1
23	5	1	7	7	8	1	1	7	7	8	6	3	8	8	3	2	9	4	5	6	7	0	0	0	9	8	1	6	1	7	7
24	0	7	7	1	3	8	7	6	9	3	1	1	6	7	4	8	5	5	8	9	7	2	0	0	3	4	7	1	0	2	2
25	2	8	3	9	6	3	6	4	0	9	3	0	4	9	5	9	5	8	8	8	7	9	9	3	0	7	3	0	5	0	0
26	2	1	3	0	5	5	2	5	4	3	7	7	6	6	9	3	1	8	8	3	5	7	8	4	7	0	7	2	9	3	3
27	0	1	3	1	6	6	0	5	3	1	1	8	0	3	6	1	2	4	8	3	8	1	7	3	7	0	7	4	7	4	4
28	3	6	9	0	2	8	5	6	4	7	3	9	2	3	4	5	3	4	3	2	3	6	6	1	0	2	7	0	9	9	4
29	1	1	0	6	0	9	4	8	3	6	0	2	0	8	4	2	2	5	8	9	4	1	1	0	5	9	4	9	0	6	0
30	1	7	9	6	0	2	9	1	1	9	8	1	0	1	8	0	6	2	8	6	3	1	7	2	0	3	7	4	6	0	0

図9 相互関連
ダイアグラム

図10 建物

表3 職場のデータ

Dept.	Type	Area	Shape
M ₁	Ⅲ	1 4	
M ₂	Ⅲ	1 5	
M ₃	Ⅲ	2 4	
M ₄	Ⅰ	2 4	4 × 6
M ₅	Ⅱ	8	2 × 4
M ₆	Ⅰ	1 2	3 × 4
M ₇	Ⅲ	1 8	
M ₈	Ⅲ	6	
M ₉	Ⅲ	2 8	
M ₁₀	Ⅲ	4 0	
M ₁₁	Ⅲ	1 2	
M ₁₂	Ⅲ	2	
M ₁₃	Ⅲ	2 0	
M ₁₄	Ⅲ	1 2	
M ₁₅	Ⅲ	6	
M ₁₆	Ⅰ	3 0	5 × 6
M ₁₇	Ⅲ	4 0	
M ₁₈	Ⅱ	1 5	5 × 3
M ₁₉	Ⅲ	2 0	
M ₂₀	Ⅲ	8	
M ₂₁	Ⅲ	3 2	
M ₂₂	Ⅲ	7	
M ₂₃	Ⅲ	1 4	
M ₂₄	Ⅲ	9	
M ₂₅	Ⅱ	1 5	5 × 3
M ₂₆	Ⅲ	8	
M ₂₇	Ⅲ	9	
M ₂₈	Ⅲ	1 8	
M ₂₉	Ⅲ	1 0	
M ₃₀	Ⅲ	4	

れ替え法で作成したものである。

d. 各職場の面積と形状条件は表3に示されている。

e. すべての職場を配置する建物の総面積（ブロック数に換算した値）と形状は、図10に示されているように20×24の矩形である。

〔手順1〕データとして、図9に示す相互関連ダイアグラム、図10に示す建物の総面積と形状、表2に示す近接性要求度および表3に示す職場数 m 、各職場の形状条件と面積、辺長率の限界値 H^* （0.2とする）などを入力する。〔手順2〕へ進む。

〔手順2〕与えられた相互関連ダイアグラム上のすべての節点を、図11のように「回」字型の配置層に分ける。〔手順3〕へ進む。

〔手順3〕最外回りの配置層 L_1 に属するⅢ型職場を図12に示すように6つのグループに分けて、各 $G A_{1,j}$ 、 $G L_{1,j}$ 、 $G W_{1,j}$ 、 $M L_{1,j}$ 、および $G A_{1,j}^*$ の値を求める（表4）。〔手順4〕へ進む。

〔手順4〕各グループに属するⅢ型職場の辺長率 H_i を求める。すべての職場が限界値 H^* の条件を満たしているので、〔手順6〕へ進む。

〔手順6〕Ⅰ、Ⅱ型の職場および各グループの配置を行う（図13）。 $i = i + 1$ として、〔手順3〕へ戻る。

〔手順3〕 L_1 の配置層を図14のように、4つのグループに分ける。〔手順4〕へ進む。

〔手順4〕各グループに属するⅢ型職場の辺長率を求める。すべての辺長率が、限界値 H^* の条件を満たしており、また L_1 は中心部の1つ外回りの層なので、〔手順8〕へ進む。

〔手順8〕 L_1 の4隅の1つがⅠ型の職場 M_{16} なので、優先して配置する。また、中心部にⅠ型の職場 M_4 があるので、それに隣接するグループ $G_{2,4}$ を配置し、 M_{16} と $G_{2,4}$ に接するように M_4 を配置する。さらに、 L_1 にⅡ型の職場 M_5 があるので、その配置位置を決めるために $G_{2,1}$ を $G W_{2,1}$ を基準に配置し、 M_5 を L_1 と $G_{2,1}$ に接するように配置する。そして、 $G_{2,2}$ は $G W_{2,2}$ を基準に、 $G_{2,3}$ は $G L_{2,3}$ を基準に配置する。最後に、残りの面積に M_{28} を配置する（図15）。〔手順9〕へ進む。

〔手順9〕各グループに属するⅢ型職場を外回り層から配置していく（図16）。

〔手順10〕Ⅲ型職場の形状を修正する。得られたレイアウト案が解である（図17）。（終了）

図 1.1 配置層の分割

図 1.2 L_1 のグループ分け表 4 L_1 のデータ

Group	Dept.	$GA_{1,j}$	$GL_{1,j}$	$GW_{1,j}$	$GA_{1,j}^*$	ML_i
$G_{1,1}$	$M_{1,4}$	62	14	4	+6	3
	$M_{2,9}$					2
	$M_{1,6}$					9
$G_{1,2}$	$M_{2,9}$	28	7	4	0	2
	$M_{1,6}$					5
$G_{1,3}$	M_7	18	5	3	+3	5
$G_{1,4}$	$M_{1,8}$	20	6	3	+2	2
	M_1					4
$G_{1,5}$	M_8	68	14	5	-2	5
	$M_{1,1}$					3
	$M_{2,1}$					6
$G_{1,6}$	$M_{2,9}$	45	16	3	-3	5
	$M_{1,2}$					1
	$M_{1,3}$					7
	$M_{2,7}$					3

図 1.3 L_1 の配置 図 1.4 L_2 のグループ分け 図 1.5 L_1, L_2 の配置

図 1.6 修正前のレイアウト案

図 1.7 最終レイアウト案

4.2 考 察 本解法の有効性および解の性質を考察するために、職場数 24, 30, 36 の問題を作成し、以下のように数値実験を行った。

まず、表 5 に示すように、各問題の I, II 型職場数の初期設定をそれぞれ 2, 3, 3 として配置を行う。次にランダムに III 型職場を 1 つずつ I または II 型職場に変えて、すなわち I または II 型職場を 1 つずつ増やして配置を行い、配置不能になるまでその作業を繰り返す。

表5 24, 30, 36 職場のレイアウト案における評価

Problem number	m	f m	f m / m (%)	adjacent relations			shapes	
				p d	P L	P L / p d (%)	R E	R E / m (%)
1	24	2	8.3	38	37	97.4	23	95.8
2		3	12.5		37	97.4	22	91.7
3		4	16.7		37	97.4	22	91.7
4		5	20.8		35	92.1	22	91.7
5		6	25.0		33	86.8	23	95.8
6		7	29.2		30	78.9	22	91.7
7		8	33.3		30	78.9	22	91.7
8		9	37.5		30	78.9	22	91.7
9		10	41.7		impossible			
1	30	3	10.0	49	48	98.0	29	96.7
2		4	13.3		48	98.0	29	96.7
3		5	16.7		49	100.0	28	93.3
4		6	20.0		49	100.0	26	86.7
5		7	23.3		47	95.9	28	93.3
6		8	26.7		47	95.9	28	93.3
7		9	30.0		47	95.9	28	93.3
8		10	33.3		impossible			
1	36	3	8.3	60	58	96.7	35	97.2
2		4	11.1		58	96.7	35	97.2
3		5	13.9		59	98.3	35	97.2
4		6	16.7		57	95.0	31	86.1
5		7	19.4		56	93.3	31	86.1
6		8	22.2		56	93.3	30	83.3
7		9	25.0		56	93.3	30	83.3
8		10	27.8		56	93.3	33	91.7
9		11	30.6		56	93.3	31	86.1
10		12	33.3		impossible			

m : 職場の総数

f m : I, II 型職場の数

p d : 与えられた相互関連ダイアグラム上で隣接する職場の組数

P L : 得られるレイアウト上で隣接する職場の組数

R E : 2 個以下の矩形で構成される職場の数

返した。相互関連ダイアグラム上の隣接する職場間の組数に対して得られたレイアウト案との比率および全職場数に対する2個以下の矩形から構成される職場数の比率を求め、定量的な評価の基準とする。

表5に示すように、I, II型職場の数が増えても、90%前後の職場は整った形状(2個以下の矩形で構成される職場)で配置されていることがわかる。これは、本解法で提案したように、「回」字型配置層を分割し、各層ごとに隣接するIII型職場をグループ単位で配置する手法の効果が現れていると言える。

また、職場の面積を考慮しない相互関連ダイアグラム上での職場間の隣接関係と得られるレイアウト上の隣接関係を比較すると、I, II型職場の数が増えると隣接関係を満たさない職場の組も増えている。これは各職場の面積の大小によって多少隣接関係が崩れてしまうこともあるからである。またI, II型職場が増えることで、辺長率を満たさないIII型職場が存在する可能性が大きくなり、その職場を配置層内で移動して辺長率を調整するので、隣接する配置層に属する職場との隣接関係が崩れてしまうからである。

I, II型職場を増やして配置不能となったのは、複

数のI, II型職場が集中してしまい、その周辺に隙間が生じたためである。

以上の考察をまとめると、I, II型職場を増やしていくと最後には、配置不能になることは明かであるが、I, II型職場が全体の約20%以下の問題に本解法を適用すれば、職場間の隣接関係も職場の形状も十分満足な結果が得られるであろう。

5. 結 論

本研究では、一部の職場の形状の変更と配置向きの回転が許されない場合の、異なる面積をもつ職場を、矩形の建物内に配置する問題を対象に、実用的なレイアウト案を得るための解法を提案した。すなわち、与えられた相互関連ダイアグラムに基づいて、建物の最外周から中心部にかけて職場を配置するアルゴリズムを示した。また、数値例を提案した解法で解き、形状条件に制約のあるI, II型職場の数が、全体の20%以下の問題であれば、実用性のあるレイアウト案が得られることを示した。

文 献

- [1] 邵 忠, 宮崎茂次, 太田 宏: "リンク生成による相互関連ダイアグラム作成法(工場レイアウト設計に関する研究(第1報))", 日本経営工学会誌, pp.260-267, Vol.43, No.4. (1992).
- [2] Lee, R.C. and Moore, J.M., "CORELAP-Computerized Relationship Layout Planning", Jour. Ind. Engg., pp.195-200, Vol.8, No.3, (1967).
- [3] Buffa, E.S., Armour, G. C. and Vollman, T. E., "Allocating Facilities with CRAFT", Harvard Bus. Rev., pp.136-156, March-april, (1964).
- [4] 邵 忠, 宮崎茂次: "リンク法による異なる面積を持つ職場の配置(工場レイアウト設計に関する研究(第2報))", 経営工学会, 平成4年度春季大会予稿集, pp.173-174.
- [5] 野村陽司, 邵 忠, 宮崎茂次: "リンク法に基づくルールベース・レイアウトプランニング", 第4回インテリジェントFAシンポジウム講演論文集, pp185-188, (1993).
-