工場レイアウトに関する研究*
(相互関連ダイアグラム作成法の開発)吉本一穂*¹, 広瀬文*¹, 溝口達也*²A Study on Facilities Layout
(New Algorithm of Drawing "Relationship Diagram")

Kazuho YOSHIMOTO, Aya HIROSE, and Tatsuya MIZOGUCHI

Facilities layout ranks as one of the most important problem in industrial engineering. It is usual to assume that the facilities of some system are to be laid on a flat region such as a factory floor or building site. This paper discusses how to draw up the Relationship Diagram which holds an important position in the technique of the layout planning. This developed algorithm eliminates any trial and error in the existing algorithm of drawing up the Relationship Diagram using the property of "Suuryouka-Yonrui".

Key Words: Production System, Facilities Layout, Relationship

1. 緒 言

不的確な工場レイアウトは運搬工の増加や無駄なスペースを生じさせ、その結果製造原価の上昇を招きかねない。また一度設置された設備の移設には多大の費用がかかる。このような背景より好適な工場レイアウト作成の必要性が生じ従来より多くのレイアウト技法、例えば Hillier の入替法⁽¹⁾、S. L. P.⁽²⁾、ALDEP⁽³⁾、CORELAP⁽⁴⁾、グラフ理論を用いた技法^{(5)~(7)}などが開発されているが適用の前提条件の厳しさゆえ実務での応用という観点に立った場合、問題点を有したものが多い。実務でよく用いられかつ他の数理的技法の基本となっている技法に S. L. P. があるが、その主要ステップである「相互関連ダイアグラム作成」に存在する試行錯誤がその適用を難しくしている。本報ではこの点に着目、経験がそれほどないレイアウト技術者であっても容易に処理することのできる方法を数量化第 IV 類(例えば文献 8)を用いて開発した。

2. 相互関連ダイアグラムについて

2.1 S. L. P. の普遍的レイアウト技法として開発された S. L. P. は図 1 のごとき手順を有している。「物の流れ」「相互関係」の分析を基礎にアクティビティを点、関係概念を線で表した相互関連ダイアグラムを作成、面積条件を付加したうえ、現実的な修正・制約条件を加えレイアウト案を作成する手順であ

図 1 S. L. P. のパターン

* 昭和 62 年 11 月 3 日 北陸信越支部北陸地方学術講演会において講演、原稿受付 昭和 62 年 5 月 1 日。

*¹ 正員、早稲田大学理工学部 (〒160 東京都新宿区大久保 3-4-1)。

*² 学生員、早稲田大学大学院。

る。

2・2 S. L. P. と相互関連ダイアグラム 本報の研究対象である図1のBox 3の「相互関連ダイアグラム」は、図1のBox 1, 2で「物の流れ」と「相互関係」を分析、近接性表示に基づいた図2のごとき相互関連図を作成。次いで、相互関連図の近接法(A~U, X)に着目、強い関係を有するアクティビティ同志を近づけて配置することで作成する。その際、視覚化の補助としてアクティビティの内容を示すシンボルマークを用いて表示、また「絶対に近づけるべき-A」という関係を4本線で、「重要-E」の関係を3本線、Iを2本線、Oを1本線、「遠ざける-X」の関係を〜線で結び合う。

その具体的方法は、近接性の強いアクティビティ同志を隣接させる必要性から、図3に示すごとくAの関係を最優先して割付け。

次いで、E, I, O, U, Xの順に関係概念を付加していくが、作成にあたっては近接法の強いアクティビティ同志を極力近づけ、しかも近接法の強い関係すなわち本数の多い関連線同志は重ならないように配置しなければならないが、この過程は試行錯誤によらざるを得ないため熟練したレイアウト技術者の多大な努力が必要となる。

図2に示した相互関連図をインプット情報としたと

図2 相互関連図

図3 Aの関係の割付け

き、最終的に得られる相互関連ダイアグラムを示すと図4のごとくなる。なお、電話⑩はどこにでも配置できると判断し除去した。

2・3 相互関連ダイアグラム作成上の問題点 すべてのアクティビティが互いに関係を有する完全グラフの場合、関係概念を示す線の総本数(N)はアクティビティの数をnとすると式(1)の関係を有している。

$$N = \frac{n(n-1)}{2} \dots\dots\dots (1)$$

一方、関係概念を示す線が互いに重なり合わない状態、すなわち極大平面グラフが描ける条件は式(2)である。

$$N = 3n - b \dots\dots\dots (2)$$

式(1)、(2)からできる連立方程式(3)を解くと、

$$\frac{n(n-1)}{2} = 3n - b \dots\dots\dots (3)$$

$$n^2 - 7n + 12 = 0$$

$$(n-3)(n-4) = 0$$

すなわち、nが3および4の場合しか理想的な相互関連ダイアグラムが描ける保証はなく、アクティビティが5個を超えるレイアウト問題では完全グラフでなくとも関係概念を示す線が重なり合う可能性が生じ、S. L. P.で行っていたごとき熟練レイアウト技術者の試行錯誤によって相互関連ダイアグラムの形を整える必要が生じる。この試行錯誤が相互関連ダイアグラム作成ステップを難しいものとしているとともに、その概念は非常に有効なものの数理的技法開発上の障害となっている。

3. 開発した技法

3・1 基本的な考え方 従来の相互関連ダイアグラム作成時に存在した試行誤差を除去することを目的に、相互関係図表で示された近接性の強弱をインプットして、数量化第IV類を用いてアクティビティの類似度行列を作成、それをもとに固有値(λ_n)、固有ベクトル

図4 最終的な相互関連ダイアグラム

ル (Z_n) を算出。類似アクティビティを近接した形で n 次元空間に布置する。

相互関係ダイアグラムすなわち平面に布置した図面を得る工夫として、 X 軸に任意の 1 次元を割り付け、 Y 軸に残りの $(n-1)$ 次元を割り付けることで、合計 nP_2 個の代替案を得る。

得た nP_2 個の相互関係ダイアグラムの中には、ほとんどの場合、試行錯誤で得た案に非常に類似した案が含まれている。 nP_2 個の案の中から、具備すべき条件を満たしかつ設計イメージに合致したものを選択、以降のレイアウト案作成に用いる。

3.2 開発した技法の概略フロー 数量化第 IV 類を用いレイアウト対象であるアクティビティを n 次元空間に布置、平面に写像し相互関係ダイアグラムを得る技法を開発したが、その概略フローを示すと図 5 のごとくである。

4. 開発した技法の実際

4.1 実際例 開発した技法を電子部品の設計加工、組立を行っている工場のレイアウト問題に適用し

図 5 開発した技法の概略フロー

その有効性を示した。この工場の概略工程を示すと図 6 のごとくである。

図 7 にインプット情報である相互関連図を示したが、10 個のアクティビティをめぐる相互関係を「物の流れ」「人の移動」「設計上の要因」に着目して把握。五段階の A~U の近接性で示したものである。

数量化第 IV 類を用いるために、近接性評定値 A~U を表 1 に示す数量値に置換する。

4.2 固有値、固有ベクトル 開発した技法の特色は数量化第 IV 類を用いたアクティビティの n 次元空間への布置、そして平面への写像による相互関係ダイアグラムの作成であるが、図 7 の近接性情報をインプットとした場合の固有値と固有ベクトルを示すと表 2 のごとくである。

4.3 相互関連ダイアグラム この例では 10 個の

表 1 相互関連 (近接性) の数量値

VALUE	FIGURE
A	10
E	8
I	4
O	2
U	0

図 6 製造工程図

図 7 相互関連図

表 2 固有値と固有ベクトル

Activity		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Eigenvalue		0.000	-22.19	-31.33	-45.26	-53.76	-55.64	-62.57	-74.83	-107.5	-130.8
Eigenvector	1	0.316	0.117	0.343	-0.475	0.703	-0.043	-0.199	0.047	-0.026	-0.049
	2	0.316	0.123	0.307	-0.076	-0.463	-0.705	-0.142	0.219	-0.045	0.018
	3	0.316	0.734	-0.584	-0.055	0.009	0.011	0.098	0.042	-0.051	0.031
	4	0.316	-0.004	0.024	0.325	0.050	0.022	-0.101	-0.061	0.815	-0.333
	5	0.316	-0.004	0.078	0.374	0.054	-0.081	-0.150	-0.747	-0.390	-0.097
	6	0.316	0.103	0.292	-0.177	-0.463	0.690	-0.258	0.070	-0.091	-0.034
	7	0.316	-0.226	-0.098	0.520	0.221	0.076	-0.057	0.606	-0.355	-0.121
	8	0.316	-0.575	-0.548	-0.442	-0.124	-0.073	-0.128	-0.088	-0.013	-0.166
	9	0.316	-0.095	0.204	-0.097	-0.043	0.057	0.899	-0.042	-0.041	-0.147
	10	0.316	-0.172	-0.019	0.104	0.055	0.044	0.040	-0.045	0.200	0.900

表 3 アクティビティの面積条件

ACTIVITY	VOLUME
1 Magt. Dep	150
2 Design Dep	100
3 Reffer Center	50
4 Testing	150
5 Inspection	100
6 Utility	50
7 Part W.H.	150
8 Products W.H.	200
9 Cafeteria	100
10 Assy. Dep	450

図 9 選択した相互関連ダイアグラム

図 8 相互関連ダイアグラム（例）

アクティビティのレイアウト問題を扱っており、10次元空間に布置したアクティビティを相互関連ダイアグラム、すなわち平面に写像するために、 X 軸に任意の1次元を割り付け、残りの(10-1)次元を Y 軸に割り付けることで ${}_{10}P_2 (=90)$ 個の代替案を得る。相互関連ダイアグラムの段階で各アクティビティ間のユークリッド距離の合計が短い案、例えば図8のごとき案を得たとしてもレイアウト案作成の段階で付与する面積条件によっては必ずしも好適なレイアウト案が得られないことが経験上知られている。平面に適度に開いた、しかも相互関連ダイアグラムが具備すべき3条件すなわ

図 10 位置関係を示した概略レイアウト

ち、

- (1) 近接性の強いアクティビティ同志を近づける。
- (2) 関係概念の強い近接法を示す線分が重なり合わない。
- (3) 遠ざけるべきアクティビティ同志が離れていること。

を満足した案を選択する必要がある。この選択方法に

図 11 全体レイアウト案

については、人工知能を用いた研究を進めているが、この例では図9に示した案を熟練したレイアウト技術者の判断により選択した。

4・4 工場レイアウト案の作成 数量化第IV類の応用を試みて開発した本報の技法によって作成、そして選択した図9の相互関連ダイアグラムのアクティビティの位置関係を極力尊重したうえ、表3で与えられた各アクティビティの面積条件を考慮し、全体レイアウト案を作成する。図10に概略レイアウト案と相互関連ダイアグラムの関係を示したが面積条件を加えたため、アクティビティの位置関係の多少の変更はあるものの大概、図9の姿を反映している。図11に、職場名を記した全体レイアウト案を示した。この面積条件付与の方法については、著者らが開発したCADアルゴリズム⁽⁹⁾を用いている。

5. 結 言

試行錯誤に頼らざるを得なかった従来の相互関連ダイアグラムの作成方法に対し、数量化第IV類を応用することで、アクティビティの類似度行列を作成、それを基に類似したアクティビティを近接した形で n 次元空間に布置、それを平面に写像することで相互関連ダイアグラムを得る新たな方法を開発した。開発した方法は、 nP_n 個の代替案をCRT画面上に提示することができ、従来の試行錯誤によって得る案を十分にカバーしている。従来の相互関連ダイアグラム作成時にあった試行錯誤を除去するとともに、電算化したアルゴリズムは多くの数理的レイアウト技法の一部分として有効に活用できることが望まれる。

文 献

- (1) Hillier, F. S., Quantitative Tools for Plant Layout Analysis, *J. I. E.*, XIV, No. -1, (1963), 33.
- (2) Muther, R., *Systematic Layout Planning*, (1963), 5・1~5・2, Industrial Education Institute, Boston.
- (3) Seehof, G. M. and Wayne, D. E., Automated layout Design Program, *J. I. E.* 18, No. 12(1967), 690.
- (4) Lee, R. C. and Moore, J., CORELAP, *J. I.*, 18, No. 3(1967)195.
- (5) 吉本・ほか1名, 機論, 46-401, C(昭55), 122.
- (6) 吉本・中井, 機論, 45-400, C(昭54), 1434.
- (7) 吉本・中井, 直線型設備配置技法, 日本経営工学会誌, 32-1(昭56)29.
- (8) 河口, 多変量解析入門II, (昭55), 99, 森北出版.
- (9) 溝口, 工場計画に関する研究—グラフ理論を用いたレイアウト技法の開発—, 早稲田大学理工学部工業経営学科卒業論文, (昭62)第4章.