数理解析研究所講究録
第899巻 1995年 89-97

プラント配管設計に於ける最短路問題

三菱重工業（株）ｴﾚｸﾄﾛﾆｸｽ事業部　山田康吉
(Yasuyoshi Yamada)
大阪府立大学　数理情報科学　寺岡義伸
(Yoshinobu Teraoka)

1．まえがき

火力発電や原子力発電プラントに於ける配管の果たす役割は重大でありその設計，製作の質や量がプラント全体の質やコストに大きく影響する。近年ＣＡＤの急速な進歩によりプラント配管設計業務の殆どの部分の機械化が達成され，設計や建設作業の効率化になくてはならないものとなっている。しかしながら配管ルートの自動設計は実用化されていない。各種発電プラントの配管が張りめぐらされている場所を観察してみると，単位㎡当たり平均直径数10㎝のパイプが複数本通過している所が広範囲に亘っている。それほどまでに高密度の設計が要求される中で，図面や画面を基に干渉チェックを考慮に入れ，設計を進めていく事は至難の技である。その上，高密度な配管配置を設計図面から読み取り，頭の中で空間状況をイメージし最短路を想定する事は非常な経験と時間

を要する。図－1に或る発電プラントの配管例を示す。その配管が如何に複雑か，又空間の管理がいかに困難かが理解出来るであろう。設計者がＣＡＤシステムと言えども目視に頼らねばならない理由は配管ラインを取りまく空間をデータベースとしてモデル化され得なかったためである。そのため自動設計は殆ど不可能に近い問題であった。

我々は配管ラインや機器のみならず，配管ライン周りの空間をもモデル化し，配管ＣＡＤ用に統合モデルを構築した。プラント空間全体を配管ラインが部分空間に分割すると考える。その部分空間の3次元的隣接関係をグラフにて表現し，巾乗法を用いて配管ラインの最短路問題の解法を行った。数少ない配管設計の最短路問題に関するレポート[(1),(2)]で空間の取扱はプラント機器や建屋構造物により定義された空間のみで，配管ラインの空間への影響は考慮されていない。本論文ではその統合モデルに基づく最短路問題解法について報告する。

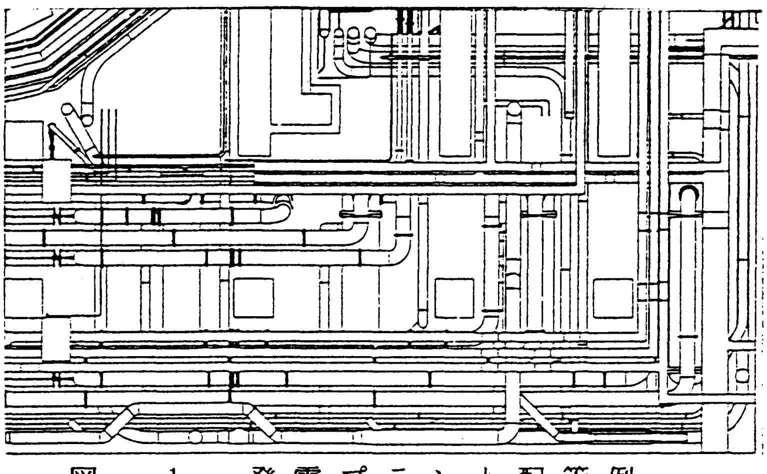


図 ―1　発電プラント配管例

2．プラント配管設計統合モデル　：　W

配管設計CADで取り扱う配管プラントの統合モデルの数理表現について以下に示す。

$$W=(P,\ E,\ V,\ F,\ V_A,\ V_B,\ V_C,\ V_D,\ V_a,\ V_b,\ V_c,\ V_d,\ V_e,\ V_f,\ V_g,\ V_h) \quad (1)$$

P，E：全配管ラインの頂点及び辺全体の集合（後述）

V　　：領域直方体全体の集合（後述）

$V_A \sim V_D$：配管ライン辺と直方体との関係関数

$V_a \sim V_h$：配管ライン頂点と直方体との関係関数

配管ラインの単位を機器出口ノズルから機器入口ノズルまでを1ラインとし識別のためライン番号が付される。基本設計では，配管ラインの中心線を決定し続いてラインの口径や部品が肉付けされて行く。故に配管モデルもその中心線（1本線）のラインをモデルの中核としグラフにて表現する。即ち各ラインは部品点（頂点）及び部品点間を結ぶライン片（辺から構成されるとする。部品点を簡単のために端点，曲がり点及び分岐点から成るとする。P，Eの詳細は次の通り。

$$P：全配管ラインの頂点の集合=(p_{ij} \mid j=1\cdot\cdot n_{pi},\ i=1\cdot\cdot n_l) \quad (2)$$

$$E：全配管ラインの辺の集合=(e_{ij} \mid j=1\cdot\cdot n_{ei}\ \ i=1\cdot\cdot n_l) \quad (3)$$

ここで　L_i：i番目の配管ライン，

p_{ij}：L_iライン上の頂点，e_{ij}：L_iライン上の辺

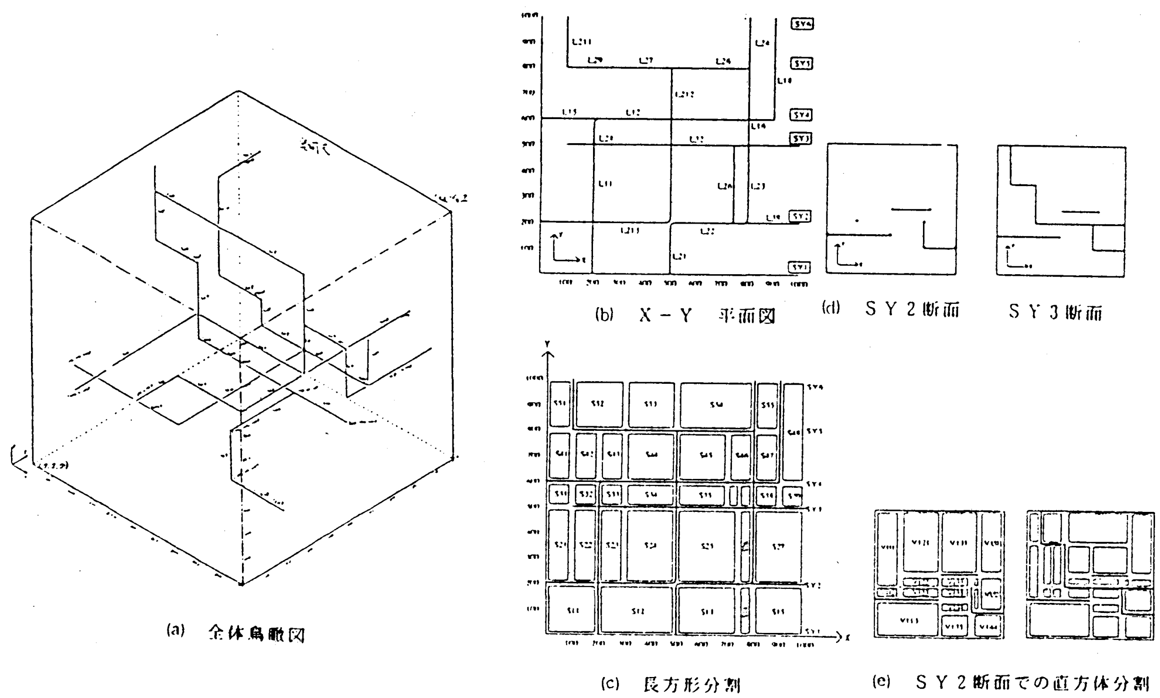
n_l：配管ライン総本数，

n_{pi}：L_iラインの頂点数，　n_{ei}：L_iの辺数，

n_p：頂点総数，　n_e：辺総数。

領域直方体Vとは配管ライン辺又は頂点によりプラント空間が分割され細分されることにより形成される部分空間を言う。形状を直方体とし，その6つの境界面はプラント座標系XY YZ及びZX面のいずれかに平行とする。図－2に図解する。

①(a)の配管ラインの平面図(b)を作成する。



図－2　領域直方体説明図

②平面図(b)上に現れる全ての頂点を用い，その各頂点が長方形の頂点となる様に長方形を設定する。（図－2(c)）

③各長方形単位にZ－X断面を設定しZ方向の頂点座標を境として領域直方体を設定する。（図－2(d)，(e)）

3．領域直方体3次元隣接関係グラフ

配管ラインの自動設計を行う場合，直方体の隣接関係が明確にモデル化されている事が重要である。即ち，プラント内の或る位置でどの方向にどれだけのスペースが存在するのかをシステムが認識出来ていなければならない。このスペースについての情報，即ち領域直方体の隣接関係の情報をグラフにて表現しモデル化する。

$$G_V = (P_V, E_V) \tag{4}$$

ここにP_V：個々の領域直方体を表す節点の集合，

E_V：2領域直方体同志が隣接している時，その2領域直方体節点間の隣接関係を示す弧の集合。

このグラフを3次元隣接関係グラフ（3-D R-グラフ）と言う。又，隣接の方向情報（上下，左右及び前後）をより明確にモデル化するため隣接関係弧を次の直和にて表現する。

$$E_V = E_{X+} \cup E_{X-} \cup E_{Y+} \cup E_{Y-} \cup E_{Z+} \cup E_{Z-} \tag{5}$$

ここにE_{X+}，E_{Y+}，E_{Z+}：3軸＋方向に隣接する弧の集合，

E_{X-}，E_{Y-}，E_{Z-}：3軸－方向に隣接する弧の集合。

この3-D R-グラフの特徴は両方向性有向グラフであり，かつ節点につながる弧の次数は制限を持たせられない事である。

4．配管ライン最短路問題のための3-D R-グラフ

3-D R-グラフを配管ラインの最短路問題に適用するに当たり，次の様なルート設計条件を加味して構築を行う。

①配管設置不可能な領域，即ち機器や建屋諸設備の存在する領域直方体節点の削除。又それに連なる弧を削除する。

②パイプが通過する2つの直方体間の隣接している共通の長方形面（以降隣接共通面と言と言う）が配管を通すだけの充分な面積でない時，隣接関係弧は削除する。

次に新設配管ラインの通過点及び経路の距離の概念を明確にするため，節点の位置及び節点間距離を定義する。配管ラインは必ず直方体の節点を通過するものとし，節点の位置は領域直方体の重心位置とする。

$$p_i^v = (x_i^v, y_i^v, z_i^v) = (x_{Gi}, y_{Gi}, z_{Gi}) \quad (6)$$

ここに x_G, y_G, z_G は直方体の重心位置

又，2つの隣接関係にある直方体間 p_{vi} 及び p_{vj} の距離 d_{ij} を次の様に定義する。

$$d_{ij} = |x_i^v - x_j^v| + |y_i^v - y_j^v| + |z_i^v - z_j^v| \quad (7)$$

隣接関係弧の取捨選択要領について詳述する。隣接する2つの領域直方体の共通隣接面を新設配管が通過出来るかどうか

のチェックのために次の様な判定関数を導入する。新設配管の直径でこの関数を用いて判定し，可ならば，隣接関係弧としてグラフに残し，不可ならば関係弧を削除する。この様に補正を行い最短路問題解法のためのグラフが構築される。

判定関数 F_d を次の様に定義する。

$$F_d = \mathrm{Min}\{t_d - r_{dmax} - r_p,\ t_l - r_{lmax} - r_p,\ t_2 - r_{2max} - r_p\} \tag{8}$$

ここに t_d ：隣接面の対角線長さ，

t_l ：隣接面の長辺長さ，t_2 ：隣接面の短辺長さ，

r_{dmax}：隣接面に在る配管ライン部品点の中の最大管半径，

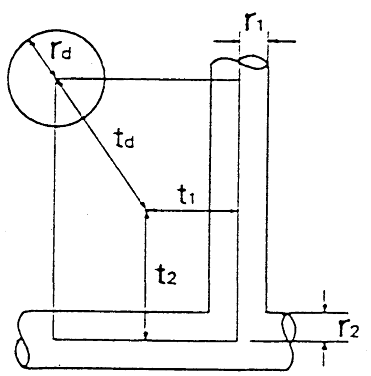
r_{lmax}：隣接面長辺上に在る配管ライン辺の中の最大管半径，

r_{2max}：隣接面短辺上に在る配管ライン辺の中の最大管半径，

r_p ：新設配管の管半径。

次に一例を図－3に示す。

隣接面に配管ライン辺及び頂点が混在する場合



$$F_d = \mathrm{Min}\{t_d - r_d - r_p,\ t_l - r_l - r_p,\ t_2 - r_2 - r_p\}$$

図－3　判定関数説明図

4．最短路問題の解法

既に何本かの配管ラインが敷設されている場所に新たに一本のラインを次の条件を満たし，始点から終点まで引く問題を考える。

①既設の配管ラインに干渉しない。

②ラインの経路総長さが最短である。

③最短路が複数存在する場合，曲がりが少ない経路を選ぶ。

最短路解法の手順は次の通り。

STEP-1：機器や建屋の存在する領域直方体は削除。又，その直方体と隣接する直方体間の隣接関係弧を削除。

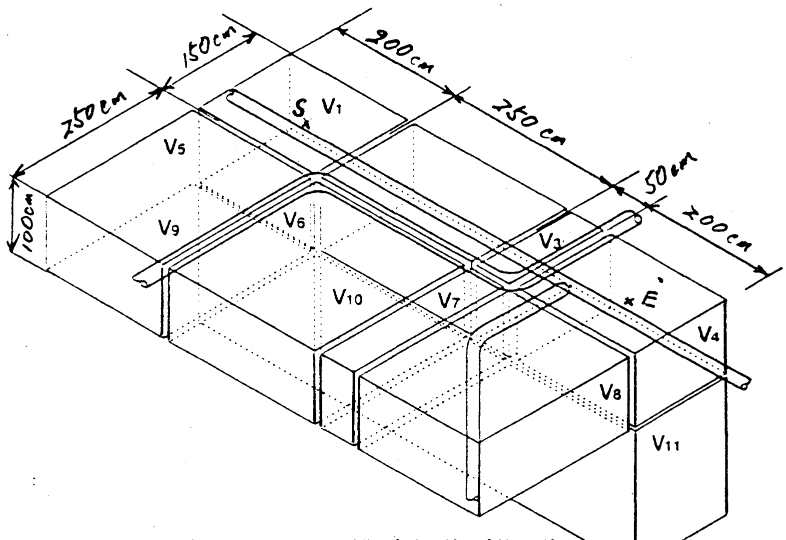
STEP-2：共通隣接面に判定関数を適用し，新設配管の直径の値で計算し関数の値が0か負であればその弧を削除

STEP-3：STEP-2で出来た3-D R-グラフを用いて隣接直方体間距離行列を求める。

STEP-4：隣接直方体間距離行列を用いて巾乗方により始点から終点までの最短路を計算する。

例題として図－4の始点Sから終点Eまでの最短路を求める。但し，L_1の直径を20cm，L_2の直径を60cmとし新設配管の直径を60cmとする。上記STEP-1,STEP-2の計算の上，STEP-3の11個の直方体間の距離行列の結果を次に示す。

$$
\begin{vmatrix}
0 & 225 & \infty & \infty & 200 & \infty & \infty & \infty & 150 & \infty & \infty \\
225 & 0 & \infty & \infty & \infty & 200 & \infty & \infty & \infty & 150 & \infty \\
\infty & \infty & 0 & 125 & \infty & \infty & 200 & \infty & \infty & \infty & \infty \\
\infty & \infty & 125 & 0 & \infty & \infty & \infty & 200 & \infty & \infty & 175 \\
200 & \infty & \infty & \infty & 0 & 225 & \infty & \infty & \infty & \infty & \infty \\
\infty & 200 & \infty & \infty & 225 & 0 & 150 & \infty & \infty & \infty & \infty \\
\infty & \infty & 200 & \infty & \infty & 150 & 0 & 125 & \infty & \infty & \infty \\
\infty & \infty & \infty & 200 & \infty & \infty & 125 & 0 & \infty & \infty & \infty \\
150 & \infty & \infty & \infty & \infty & \infty & \infty & \infty & 0 & 225 & \infty \\
\infty & 150 & \infty & \infty & \infty & \infty & \infty & \infty & 225 & 0 & 250 \\
\infty & \infty & \infty & 175 & \infty & \infty & \infty & \infty & \infty & 250 & 0
\end{vmatrix}
$$



図－4　最短路例題

計算の結果，最短路は2つ存在する。

その1　$p_{v1} \rightarrow p_{v2} \rightarrow p_{v10} \rightarrow p_{v11} \rightarrow p_{v4}$　曲がり3個

その2　$p_{v1} \rightarrow p_{vP} \rightarrow p_{v10} \rightarrow p_{v11} \rightarrow p_{v4}$　曲がり2個

いずれも最短総長さは800 cm。よってその2を最短路とする。

5．あとがき

以上の説明でご理解頂いたように理論と解法アルゴリズムはいたって簡潔，簡明である。この手法を配管設計ＣＡＤに組み込み，配管ライン設計のための有力なツールとした。今後更に各種機能を追加し効率化に努める。

文献

(1) G. E. Wangdahl, “Minimum Trajectory Pipe Routung“ Journal of Ship Research, pp46-49, Vol118, No.1(1974)

(2) 好永俊昭：“３次元プラントレイアウト計画ＣＡＤシステム“，日立評論，pp325-330, Vol.118, No.4(1986)