

エルボおよびベンドを考慮した配管設計アルゴリズム

学生員 安藤 悠人* 正員 木村 元*

An Automatic Piping Algorithm including Elbows and Bends
by Yuto Ando, *Student Member* Hajime Kimura, *Member*

Key Words: Pipe arrangement design, Automatic design system, Plot plan, Bends

1. 緒言

近年造船業界では、情報処理技術の発達に伴い、これを利用することで作業の省力化を図ってきた。しかし配管設計作業は未だ熟練技術者の経験に頼る部分が多く、設計作業の自動化には至っていない。この原因として、先行研究や既存の自動配管システムの経路探索性能が不十分であることが挙げられる。そこで本研究では、配管設計作業の自動化へ向けて、エルボや空間を斜めに通るベンドを用いた配管設計問題をグラフ上の経路探索問題へ帰着することにより最適な経路を見つけ出す新しい手法の提案を行う。

配管設計問題における先行研究では、設計対象の空間を等間隔メッシュに分割し、配管経路探索アルゴリズムにダイクストラ法を適用することで最適な経路を探索するアプローチが多数提案されている^{1,2)}。このアプローチは、各メッシュ毎に異なるコストを設定することにより、作業員用の経路を避けつつ壁際にパイプを配置することが可能になるなどの優れた特徴を有している。これらのアプローチは共通して、パイプを各座標軸に平行に設置するといった定式化を行っている。しかし、配管の配置を各座標軸に平行な3方向のみしか考慮しなかった場合、径の大きなパイプの経路を探索する際に、探索上の制約やコストの観点から見て、空間を斜めに通る経路を考慮したほうが有利な場合がある。このような経路はベンドと呼ばれており、プレス機を使用して1本のパイプを任意の角度で曲げることで工作可能である。既存の先行研究ではベンドを適用した手法は提案されていなかった。

そこで本研究では、よりコスト値の低い設計案の自動生成を目的として、経路中におけるベンドを考慮した定式化手法を提案する。本手法はパイプの経路中に、ベンドを局所的に考慮することで、より実問題に即した配管経路の自動生成を試みる。本論文では、いくつかのシミュレーションを通じて本手法の有用性を検証する。

2. 配管経路設計問題の定式化

配管経路設計を行う際に、以下の条件を仮定する：

【設計対象空間】パイプを配置可能な空間の範囲が予め与えられているものとする。本研究ではこの空間を直方体に限定している。

【対象とするパイプ】本問題設定では、分岐を持たず、かつ始点から終点まで直径が変化しない1本のパイプを

対象とする。複数パイプを設計対象とする場合は配置を終えた他のパイプを障害物とみなして1本のパイプの経路設計を繰り返すので、本条件は実用上差し支えない。

【パイプの配置可能な方向】パイプは、局所的に使用されるベンド部分を除いて、直方体の設計対象の各辺に平行な方向へ配置されるものとする。また、進行方向を変える際はJIS規格に対応した90度のエルボを使用するものとする。配管設計においては、保守管理や工作の容易さ、およびパイプ支持や機器配置の都合上、上記の設定が基本となっている。

【パイプの始点・終点・直径】対象とするパイプの始点の位置座標とそこからパイプが伸びている方向ベクトル、および終点の位置座標とそこからパイプが伸びている方向ベクトルが与えられているものとする。またパイプの直径も予め与えられている。

【障害物の幾何情報】設計対象空間内に存在する構造部材や機器などの位置情報が与えられているものとする。設計対象のパイプは、これらと交差あるいは内部を通ることを許されない。

【通路空間】乗組員用通路として使用すると予想される設計対象空間内での領域が予め与えられているものとする。この領域内へパイプを通すことは、極度な迂回経路となる場合を除いて、極力回避しなければならない。

【パイプブラック空間の支持】予めパイプを通すことを前提として用意された空間や、パイプブラックが設置しやすい天井付近や壁付近の空間が支持されているものとする。このような空間を本研究では「パイプブラック空間」と呼ぶ。設計対象のパイプは、あまり遠回りにならない限りこのパイプブラック空間を通ることが望ましい。

以上の条件のもとで、以下のパラメータを探索する：

【パイプの経路】設計対象である直径が変化せず、分岐の無い1本のパイプの始点と終点を結ぶ経路は、途中のエルボとベンドの座標リストで表される。

パイプ経路の設計目標は、以下のとおりである：

- 1) パイプ長が短いこと
- 2) エルボおよびベンドの数が少ないこと
- 3) 通路空間中を通ることを極力回避すること
- 4) 遠回りにならない限りパイプブラック空間を通ること

この配管設計問題を単目的最適化問題へ定式化するため、パイプの長さに比例したコスト、エルボおよびベンドのコスト、通路空間やパイプブラックを通る場合のコストをそれぞれ与えておくものとする。パイプ経路探索アルゴリズムは、上記コストの合計が最小になる最適な経路を探索する。

* 九州大学大学院工学研究院海洋システム工学部門

原稿受付（学会にて記入します）

春季講演会において講演（学会にて記入します）

©日本船舶海洋工学会

3. 配管経路探索アルゴリズム

3.1 対象空間のメッシュ分割によるグラフ表現

本研究では経路探索アルゴリズムとして、先行研究で提案しているダイクストラ法を適用したアルゴリズムを使用する。このアルゴリズムでは配管経路探索問題を重み付きグラフ（ネットワーク）上の経路探索問題に帰着させることで最小コストの経路を探索している。また、このアルゴリズムは、設計対象空間を格子状に分割する際に、重み付きグラフの接点を特徴付ける状態量として、格子分割した各格子の位置座標に加え、その格子を通るパイプの方向を考慮することにより、格子間隔がパイプの直径に依存しないと優れた特徴を有しており、本研究では先行研究での配管経路探索アルゴリズムをエルボだけでなくベンドも考慮する仕様に拡張している。

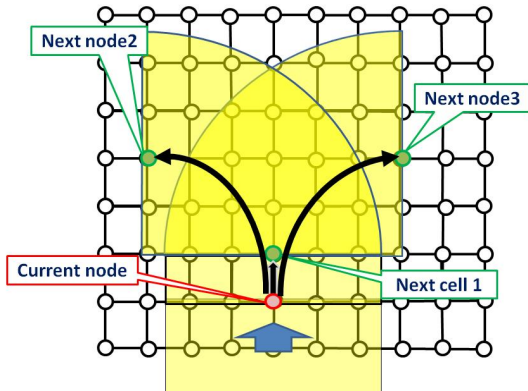


Fig. 1 A grid partitioning net work model in case of straight pipes and elbows

Fig. 1 は経路探索中において、直進およびエルボを設置して左右に方向を変える場合のノード間の遷移先例を示している。Fig. 1 の Current node で示されているノードは、探索中のパイプが下方から現在そのノードまで伸びていることを示している。パイプは Current node で示されたノードの下方にある長方形であり、空間を分割したメッシュの幅よりも大きな直径を有している。本手法では Current node におけるノードの位置座標およびパイプの方向をダイクストラ法で扱う1つの状態量とする。Current node から直進する場合に移動可能なノードは、パイプの進行方向に沿って1つ先に位置している Next node1 である。この場合は、パイプをメッシュの寸法分だけ伸ばすことに相当するので、その距離に比例したコストが加算される。さらに Current node から直進した場合に障害物との干渉判定が行われ、干渉しないと確認された場合、新たな遷移先候補となる。次に、エルボを経由して左右に曲がる場合での遷移先ノードは Next node2 および Next node3 で示されている。これらのノードは、直管およびエルボを設置することで遷移可能な最も近い位置に存在し、これらのノードでのパイプの方向は左右に変化する。これらのノードを探索する際にも直進時と同様の干渉判定が行われる。さらに、コストとして Current node から Next node までのマンハッタン距離にエルボに応じた値を付与する。以上のような処理を行うことで Current node からの遷移先ノードを獲得していく。遷移先のノードまでの距離をその都度計算していくので、空間を分割しているメッシュ幅が等間隔でなくとも処理が可能である。

3.2 ベンドのグラフ表現方法の提案

本手法では、先行研究では考慮されていなかったベンドを経由した場合の遷移先例も探索している。まず、ベンドをグラフ表現するにあたり、Fig. 2 で示しているようにベンドを3つのパーツに分割して考える。

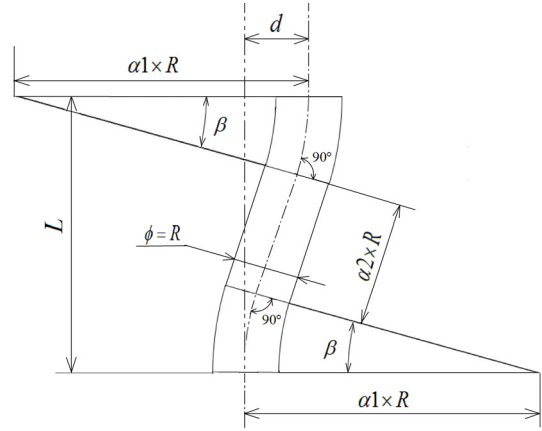


Fig. 2 A bend part composed of three primitives

ここでベンドの工作上的な制約から決まる曲げ半径係数 $\alpha1, \alpha2$ 及び設計上の要求から決まる d を与えることで、ベンドの曲り角度 β を以下の式で求める。

$$\beta = \arcsin\left\{\frac{d - 2 \times \alpha1 \times R}{\sqrt{(2 \times \alpha1)^2 + (\alpha2)^2}}\right\} + \arcsin\left\{\frac{2 \times \alpha1}{\sqrt{(2 \times \alpha1)^2 + (\alpha2)^2}}\right\} \quad (1)$$

さらに、式(1)により与えられた β を用いて、ベンドの設置に必要な最小の距離である L を以下の式より求める。

$$L = (2 \times \alpha1 \times R \times \sin\beta) + (\alpha2 \times R \times \cos\beta) \quad (2)$$

ただし、本研究では $\alpha1 = 5, \alpha2 = 0, d < R$ と設定した。

本手法は、式(2)により求めた L 以上の距離に存在し、かつ最も近い場所に位置するノードに対してベンドの適用も考慮しながら経路探索を行う。

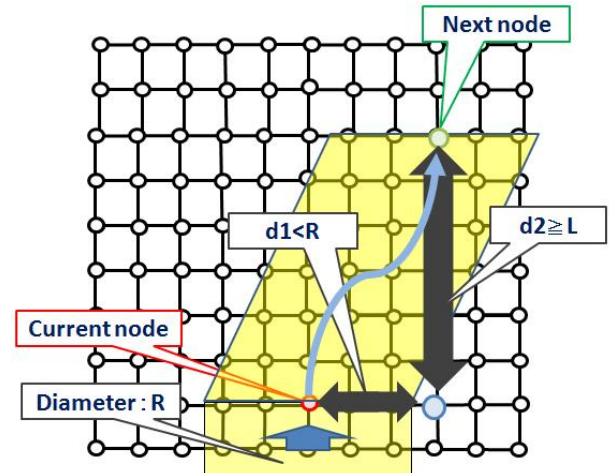


Fig. 3 A grid partitioning net work model in case of bends

Fig. 3は2次元空間におけるベンドを経由した場合の状態遷移の例である。Fig. 3のCurrent nodeで示されたノードは、探索中のパイプ経路が下方から上方へ伸び、現在そのノードまで伸びていることを示しており、またパイプはメッシュの幅より大きな径を有している。このCurrent nodeから右にずれるベンドを経由して到達するノードがNext nodeである。Next nodeを探索する際に、ベンドを配置する空間中に障害物があるかどうかの干渉判定を行い、物理的に配置可能な場合のみ、これらのノードをリンクで結んでネットワークを構成していく。このリンクには、エルボを適用する場合と同様に、ノード間を接続したパイプの長さやベンドに応じたコストを寄与する。

4. 計算機シミュレーション実験

4.1 実験設定

本手法の動作を確認するため、x座標 0~16m, y座標 0~3m, z座標 0~3mの空間内に障害物として10個の障害物を配置した。パイプの始点は座標(0.5, 1.75, 1.5)でありx軸正方向へ伸びる。パイプの終点は座標(15.75, 1.5, 1.5)でありx軸正方向からパイプが伸びてきて終点の座標にて止まる。この設計対象空間を0.25m間隔で格子分割し、始点・終点および障害物の位置を変化させずに、パイプの直径のみを変化させた場合にどのような経路が獲得されるのかについて確認する。パイプの直径は格子間隔以下の0.2mのほか、格子間隔以上である0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9mの計8種類について扱う。また、単位長(1m)をコスト1とし、エルボのコストとしてはパイプ長に相当するコストに加え、エルボ1つあたりにコスト0.1を加算した。またベンドのコストについても同様にパイプ長に相当するコストに加え、ベンド1つあたりにコスト0.3を加算した。よってエルボ、ベンドを極力使用しない最小コストでの経路の獲得が期待できる。

4.2 実験結果

計算環境は、OSにWindows-Vistaを使用し、CPUはIntel Core2 Duo 2.5Ghz, メモリーは2.00GB, プログラム言語はJava version 1.6を用いた。本手法で獲得された経路をFig. 4~Fig. 11に示す。また、経路中のエルボの数、ベンドの数、始点から終点までのコスト合計、経路探索に要した時間についてパイプの直径ごとにTable1にまとめた。経路中にベンドの出現が確認されたのは、直径がそれぞれ0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.9mの場合であり、これらの解は本手法によって初めて得られたものである。またパイプ直径が格子間隔以下である0.2mの場合は、その他の場合と比較して数倍の探索時間が必要であることが確認された。

Table 1 Features of obtained solutions

Diameter [m]	Num. of Elbows	Num. of Bends	Total Costs	Time [s]
0.2	9	0	17.9	1285
0.3	7	1	19.0	447
0.4	7	1	19.5	387
0.5	8	1	19.6	373
0.6	7	1	21.5	80
0.7	9	0	22.4	68
0.8	9	0	22.4	63
0.9	14	1	26.7	45

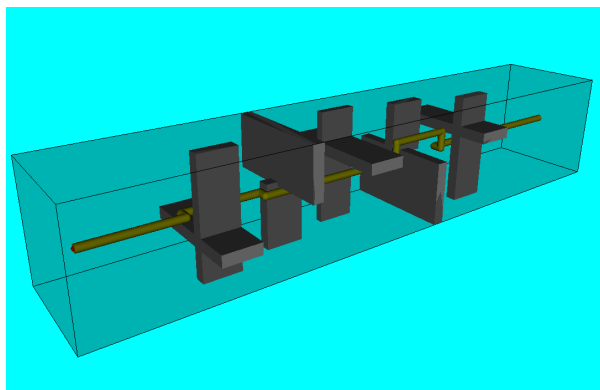


Fig. 4 An obtained route with 0.2(m) diameter of the pipe

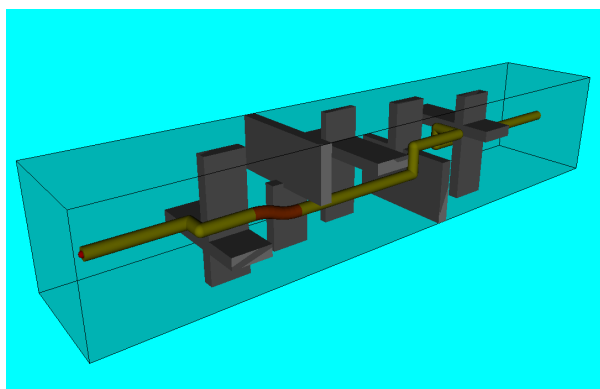


Fig. 5 An obtained route with 0.3(m) diameter of the pipe

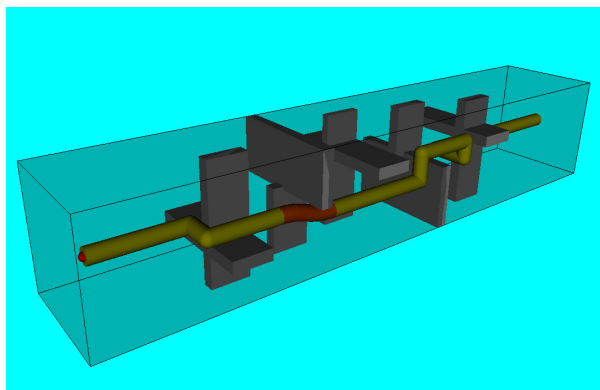


Fig. 6 An obtained route with 0.4(m) diameter of the pipe

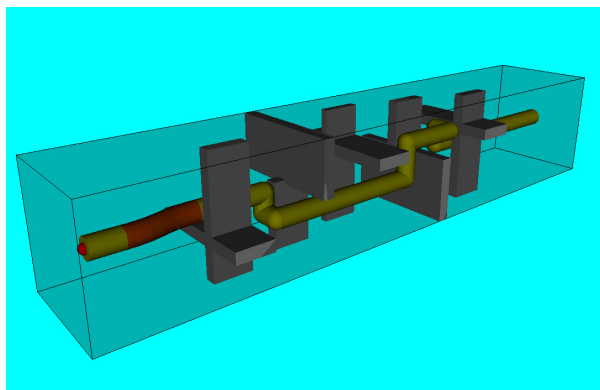


Fig. 7 An obtained route with 0.5(m) diameter of the pipe

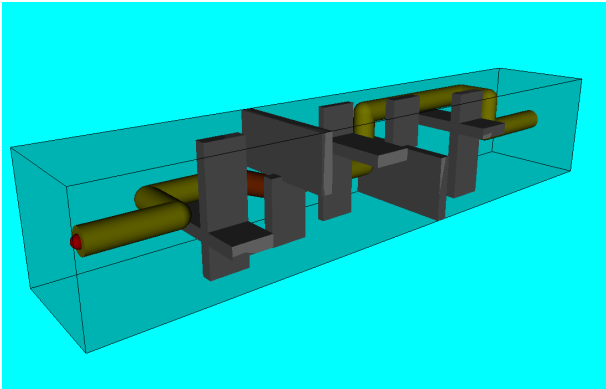


Fig. 8 An obtained route with 0.6(m) diameter of the pipe

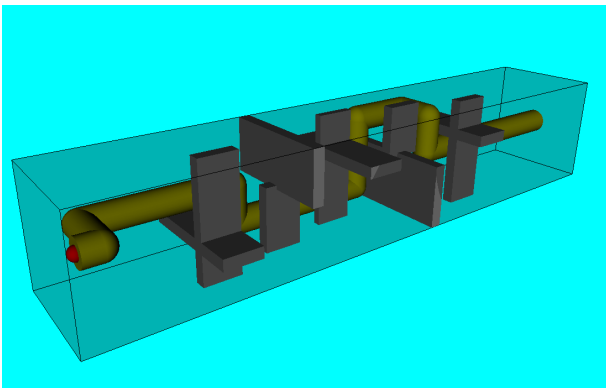


Fig. 9 An obtained route with 0.7(m) diameter of the pipe

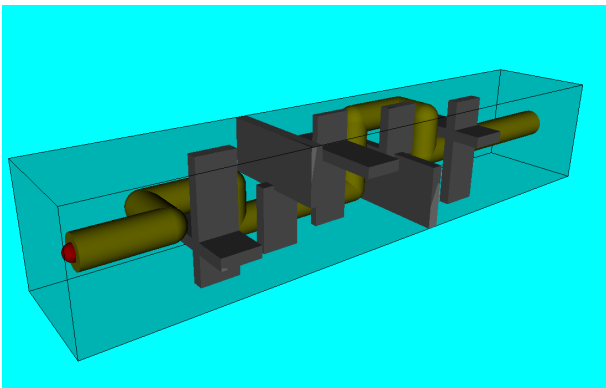


Fig. 10 An obtained route with 0.8(m) diameter of the pipe

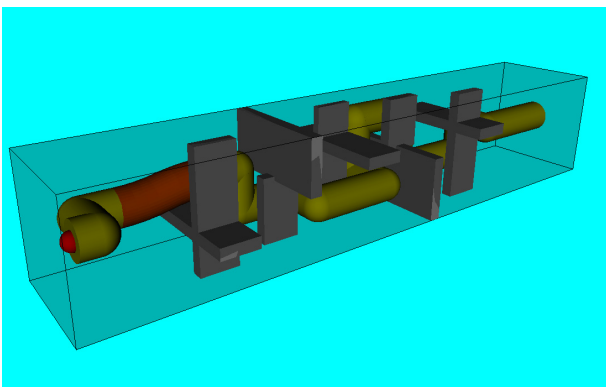


Fig. 11 An obtained route with 0.9(m) diameter of the pipe

5. 考察

5.1 実験結果について

Fig. 5～Fig. 8 および Fig. 11 の配管経路中において、オレンジ色で示されている部分がベンドであり、従来手法では得られなかった解である。また Table. 1 よりパイプの直径が大きくなるにつれて経路の総コストが大きくなっていることが確認された。よってこの実験により本来はU字型もしくは、大きく迂回していた経路に対して、ベンドを適用することにより各パイプ直径に応じた制約条件を満たす最適な経路を獲得することが確認された。またパイプの直径が小さくなるにつれて経路探索時間が増加していることが Table 1 より確認できる。これはパイプの直径が小さくなることで、設計対象空間内での経路探索を行う領域が増加したためであると考えられる。よってパイプの直径が小さい場合の処理時間短縮を目的とした配管経路探索アルゴリズムの改良を計画している。

5.2 経路探索時における問題について

本実験とは異なった実験条件下で、Fig. 12 のようなパイプが自身と干渉した解が得られるケースが確認された。このような経路は実現不可能であるので、パイプが自身と干渉している解が得られた場合、その解を自動的に除去するようなアルゴリズムの改良が必要である。

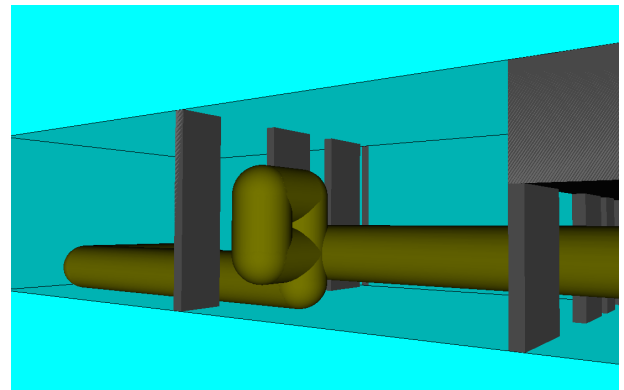


Fig. 12 An obtained self interfering route

6. 結言

本論文では、配管設計作業の自動化に向けて、障害物が多数存在する複雑な空間内で分岐の無い1本のパイプの最適な経路を見出すため、ベンドを経路中に考慮する手法を提案した。提案手法をJavaプログラムに実装し、パイプの径を変化させた簡単な例題へ適用することで、それらのパイプの各直径に応じた最適解が得られることを検証した。

参考文献

- 1) Asmara, A. and U. Nienhuis: Automatic piping system in ship, proceedings of the 5th International Conference. on Computer and IT Application(COMFIT), Mar. Ind. 2006. Leiden.
- 2) 木村 元：ダイクストラ法を用いた配管設計アルゴリズム, 日本船舶海洋工学会講演論文集, Vol. 11, pp. 121-124, 2010年11月.