

溜りの影響を考慮した自動配管設計

学生会員 安藤 悠人* 正会員 木村 元*

Automatic Pipe Routing To Avoid Air Pockets

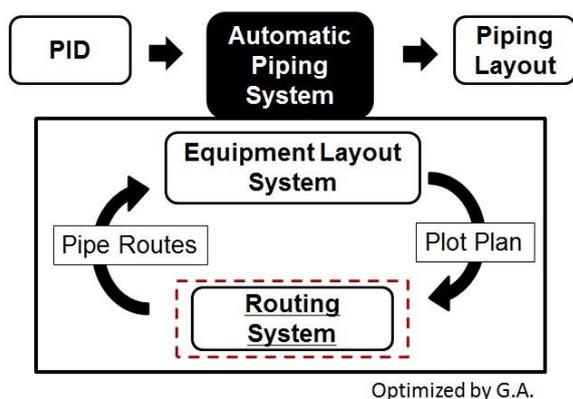
by Yuto Ando, *StudentMember* Hajime Kimura, *Member*

Key Words: Pipe Arrangement, Automatic design, Optimization, Design order, Pocket

1. 緒言

造船の艦装分野では現在、3次元CADを使用し配管の干渉チェック等を行うことで作業全体の効率化を図っている。しかし配管設計作業は複雑な問題を含んでいるため、設計作業に熟練の技術を必要としている。さらに昨今では技術者世代の年齢構成等から考えて、設計技術の伝承問題が発生しており、ベテラン技術者と同等の設計作業を行うシステムが必要であると考えられる。よって本研究では、配管設計作業の自動化へ向けて、経路中の溜りを可能な限り除去するなどの方針に従い、より実用的な配管経路を自動的に生成する新しい手法を提案する。

配管設計では一般的に、主要機器およびバルブなどの接続を表す系統図(PID)から、配管経路および機器の設置される場所を示す配置図を作成する。作成された配置図では、設置される機器の位置と、それらを結ぶ配管経路が最適であることが望まれる。このことより筆者等は配管設計問題とは「機器配置問題」と「経路探索問題」という2つの問題を含んだ多目的最適化問題であると考ええる。機器配置問題では、作業者の消費カロリーに基づいた作業性を評価パラメータとすることで、バルブなどの機器の最適な配置を探索する。一方、経路探索問題では、機器配置問題により配置が決定された機器同士をどのように結べばよいかを検討し、評価パラメータはパイプの総長とエルボの数とする。木村の研究¹⁾では、上記の評価パラメータを含んだ問題へ遺伝的アルゴリズム(G.A.)を使用することで解決を試みている。その際に使用するシステムの簡単なフロー図をFig.1に示す。



* 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

また、Fig.1で示されたシステム中の経路探索問題で使用されるアルゴリズムのみに焦点を絞った研究が先行研究²⁾である。本研究では先行研究²⁾に引き続き、経路探索アルゴリズムにおいて、より実用的な経路を効率的に探索する手法を提案する。

2. 配管経路探索問題

2.1 設計対象となるパイプおよび設置物

経路探索の対象となるパイプは始点・終点を有し、経路途中に直径が変化せず、分岐点を含まないパイプである。通常の配管では経路中に分岐点を含むものが多いが、本研究では先行研究^{1,2)}での手法に従い、分岐点をバルブなどと同じく配置場所が変更可能な機器として考える。このアプローチを適用することで、経路探索問題をより単純化させることが可能であり、最適な配管設計の自動生成を可能としている。また、設計対象となる空間内には、船舶の構造物などが想定される障害物、作業者の通行が想定されている通路空間、配管を集中的に通す空間であるパイプラックが考慮されている。

2.2 配管経路探索アルゴリズム

本研究では配管経路探索問題をネットワーク上の経路探索問題へと帰着させ解決を図っている。ネットワーク上の経路探索問題を解くアルゴリズムとしてはダイクストラ法を使用している。ダイクストラ法はネットワーク上の最短経路を効率よく探索するアルゴリズムである。また、ダイクストラ法では獲得された経路に対して、その経路が最適な経路であることを保証している。Fig.2は経路探索アルゴリズムの流れを簡略化したものである。

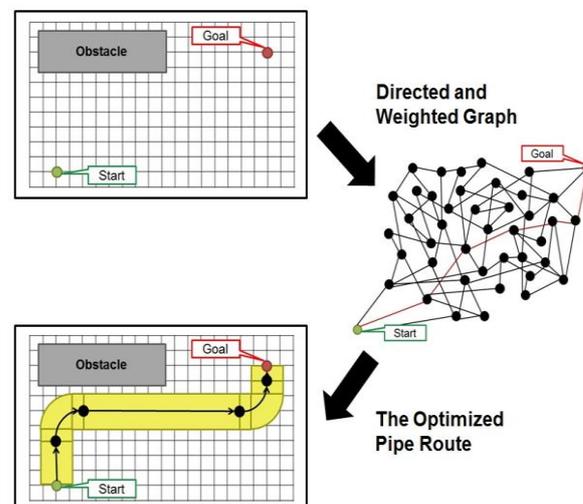


Fig. 2 Flowchart of the routing algorithm

配管経路探索アルゴリズムでは、まず設計対象空間を格子状に分割し、複数の頂点を作成する。さらに、これらの頂点の位置情報と、その頂点でのパイプの向きとを合わせたものを状態量としてネットワークを構築する。このようにパイプの向きを状態量の一つとすることで、格子間隔がパイプの径よりも小さな間隔で設定でき、より正確な配管の経路探索を可能としている。また、ネットワークを構成するリンクに付加される重みの説明は次項にて行う。こうして構築されたネットワークを上記のような特徴を有したダイクストラ法を使用することで最短経路を探索し、最適な配管経路を見つける。

2.3 考慮されるパイプピース

本手法では経路中に使用されるパイプの形状として直管、エルボ、ベンドの3種類を考慮する²⁾。ベンドとは設計対象空間内を局部的に斜めに通るパイプピースのことであり、実際の経路中には頻繁に取り入れられている。ベンドを使用することで、微細な経路変化が可能となり、より実用的な経路が獲得できる。Fig. 3, 4としてそれぞれの場合のノード遷移例を示す。Fig.3で示されているNext Node 1は直管で遷移可能なノード、Next Node 2, 3はそれぞれ左右にまがるエルボで遷移可能なノードを示している。またFig.4のNext Node 4は下方向に移動するベンドで遷移可能なノードとなっている。本システムではノード遷移を行う際に障害物との干渉チェックを行っており、獲得される経路が障害物と接触することはない。ノード遷移に伴うコストは、直管の場合はノード間の距離に比例した値、エルボの場合はノード間のマンハッタン距離とエルボの使用値、ベンドの場合はノード間の直線距離にベンドの使用値をそれぞれ設定している。最終的に、これらのコストとパイプ直径との積がネットワークで使用される重みとなる。よって本システムでは各パイプピースの値段をコストとして設定できる仕様となっている。

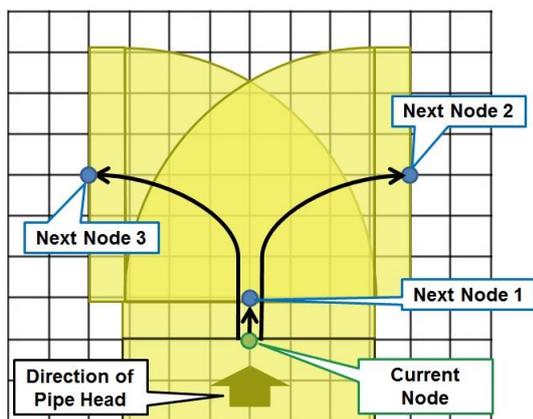


Fig.3 Transition in case of straight and elbows

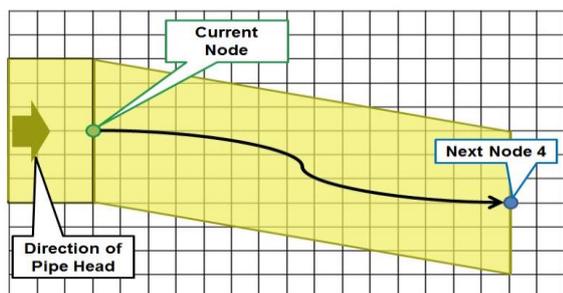


Fig.4 Transition in case of a bend

2.4 パイプバック空間および通路空間の処理

本研究では、パイプを集中的に通すことが目的とされた空間をパイプバック空間と呼称している。実際の配管経路は壁際や、配管専用に設計されたサポートの上を通ることが多く、パイプバック空間はこれらの空間を想定したものである。経路探索アルゴリズム内の処理としては、設計対象空間内に設定されたパイプバック空間をパイプが通過する場合は、ノードの遷移に必要なコストが割引かれるようになっている²⁾。この処理を施すことで、距離的な観点からみると迂回している配管経路を最適解として獲得することが可能となり、実際の配管経路のようにパイプバックへ優先的にパイプを通すことができる。Fig.5としてパイプバック空間を想定した場合の単純な経路の例を示す。Fig.5では配管が最短経路ではなく、迂回しながらパイプバック空間を通過していることがわかる。

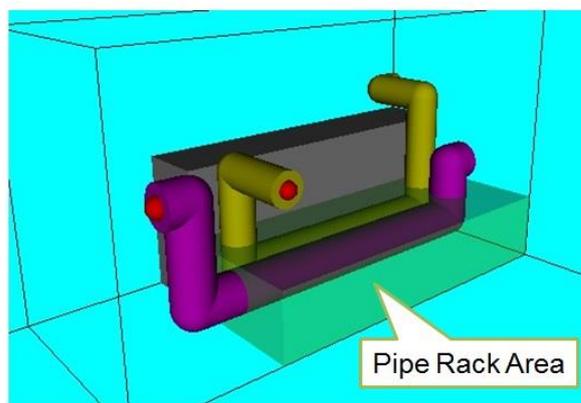


Fig.5 Obtained pipelines with pipe rack area

提案手法では、作業者が通行する空間として通路空間を想定している。通路空間には作業の邪魔とならないように、可能な限り配管が通らないことが望ましい。よって経路探索アルゴリズム中の処理としては、通路空間をパイプが通過する場合は、ノード遷移に必要なコストが増加される仕様になっている²⁾。この処理をすることで、可能な限り通路空間を通らない配管経路を探索することが可能となり、獲得される設計案を現実的なものにできる。

3. 溜りを考慮した経路探索

3.1 溜り

本研究では配管経路の溜りを考慮した自動設計を提案している。経路中の溜りとは配管経路が上下にU字構造となっている部分を意味する。このような形状の配管経路ができた場合、配管を流れる液体・気体の種類によっては排水や気泡がパイプ中に溜まってしまふ恐れがある。よって経路中に溜りがある場合、その位置にドレイン抜きや気体抜きを設置しなければならないが、これらの機器を設置することは費用の面から考えて、配管経路設計では望ましいことではない。ゆえに可能な限り溜りを含まないような配管経路を考案するのが設計者の共通意識となっている。本研究では設計者のこのような設計ノウハウを取り入れる。

3.2 経路探索アルゴリズムでの溜りの処理

提案手法では、溜りを経路中から可能な限り取り除くために二つの探索アルゴリズムを備えている。まず一つの探索アルゴリズムは、高さ方向にU字管が発生しな

いように、経路探索の方向を制限する手法である。このアルゴリズムでは、始点・終点のZ座標を読み込み、始点が終点よりも高い位置にある場合は、探索方向を高い方から低い方だけに制限する。一方で、始点が終点よりも低い位置にあるときは、探索方向を低い方から高い方だけに制限する。このように高さ方向の探索を一定方向に制限することで、経路中にU字形状の発生を防ぐことが可能となる。また、探索方向を制限することで、作成されるネットワークの規模が小さくなることから、この手法を取り入れることは経路の探索時間の削減にもつながる。しかし一方で、この探索手法では複雑な経路に対して経路を発見することが不可能なケースが発生してしまう。そこで本手法では、この高さ方向を制限する探索アルゴリズムで経路を発見できなかった場合、第二の探索アルゴリズムを作動させる。

二つ目の探索アルゴリズムでは、経路探索のネットワークを構築する際に、高さ方向へ遷移するノードに関してはリンクの重みを割増して設定する。このようにZ方向の移動に対して割増されたコストを設定することで、高さ方向へのパイプの移動を抑えることができる。よってこの手法により、獲得された経路中に含まれる溜りの数を最小にすることが可能となる。またこの手法は、上記に記した第一のアルゴリズムとは異なり、Z方向への遷移が複数回必要な複雑な経路に対しても対応可能である。しかし、この手法では高さ方向へ遷移する場合よりも先に、横方向へ遷移する場合を探索することになるので、始点・終点間が遠く離れているような設計条件の場合、探索時間の増加が著しくなるという欠点がある。

3.3 簡易シミュレーション実験

上記で示した二つのアルゴリズムの動作確認を行うために簡単な比較シミュレーション実験を行った。まず初めに、溜りを考慮せずに自動的に経路探索を行うと Fig.6 のような経路が獲得され、図中で Pocket と示されている部分が溜りを意味している。Fig.6 で示しているような配管経路では、経路中に溜りが発生しており、実際の設計現場では好ましくない設計案になっている。次に、同様の実験条件下で溜りを考慮した自動経路探索を行った場合での獲得経路を Fig.7 として示す。Fig.6, 7 を比較すると、経路中から溜りが除去されていることが分かる。Fig.7 で示している経路は、パイプ長の観点からみると最短ではないが、コストの面からみると最適な経路となっており、実用的な設計案である。

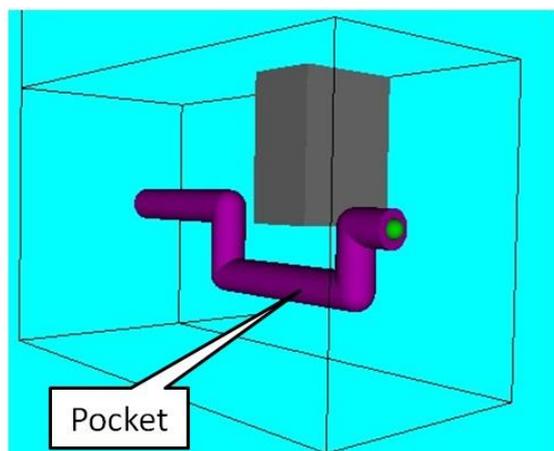


Fig. 6 An obtained pipe route with a pocket

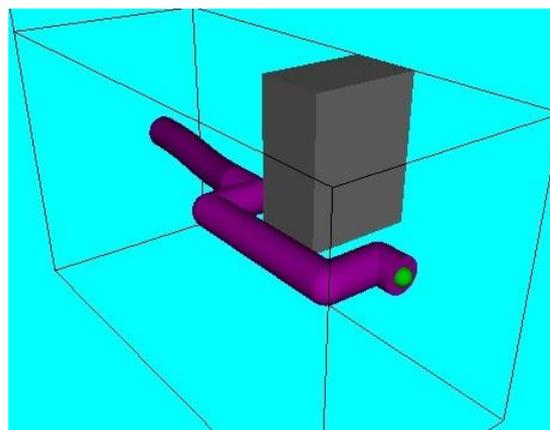


Fig. 7 An obtained pipe route to avoid a pocket

3.4 設計手順

実際の配管設計では複数の経路を設定しなければならない。配管は距離、パイプ直径、流れる液体、材質など様々な種類が存在するが、どの経路から設計していくかは設計者によって異なる。そこで本手法では設計対象空間内に複数の経路が存在する場合、パイプ直径の大きい配管から経路探索を行う手法を採用している。パイプ直径の大きいものから設計していく手法は、設計者の中では基本的に適用されているものであり、妥当な設計手順であると考えられる。提案手法では、パイプ直径の大きいものから探索し、探索終了後に次のパイプ経路を探索する。またパイプ直径の同じものはランダムで選んだ順序で経路探索を行う。このような設計手順に従っていることから、最終的に獲得される設計案が序盤に設定した経路設定によって大きく左右されると考えられる。

また、本研究のシステムでは情報の入出力の形式としてXML (Extensible Markup Language) ファイルを使用している。XMLの優れた特徴としてデータ構造などが比較的人間にも解読しやすく、他のデータ形式への変換も容易であることが挙げられる。なお、本システムでは獲得された配管経路を視覚的に分かりやすくするため、出力ファイルをX3Dと呼ばれる3次元モデルへ変換している。

4. シミュレーション実験

4.1 実験設定

提案したシステムの動作を確認するためにシミュレーション実験を行った。設計対象空間はX, Y, Z方向に6[m]の立方体であり、障害物3つ、通路空間3つ、パイプラック空間2つを設定する。また、経路探索を行う経路は合計で12本であり、それぞれパイプ直径が0.6[m]のものが2本、0.4[m]のものが4本、0.3[m]のものが6本の経路探索を行う。

4.2 実験結果

計算環境は、OSにWindows7を使用、CPUにはIntel Core i7 3.4GHz、メモリーは8.00GB、プログラム言語はJava 1.7を使用した。本手法で獲得された経路を Fig.8 に示す。パイプ径が0.6[m]の配管は黄色、0.4[m]は青色、0.3[m]は緑色で表示されている。また、周囲より色が濃くなっている部分はベンドを示している。なお障害物は灰色、通路は透明な青色、パイプラック空間は透明な緑色でそれぞれ示されている。Fig.8 で示されている設計案を獲得するのにおよそ20分を必要とした。

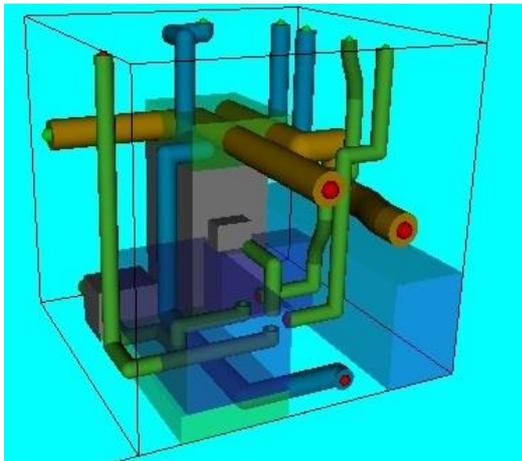


Fig. 8 Obtained pipelines in the simulation

5. 考察

5.1 実験結果について

本実験では探索時に高さ方向の探索を制限したことから、先行研究²⁾の場合よりも少ない探索時間で解を見つけることができ、以前のシステムよりも探索性能が向上していることが確認できた。しかし、諸言で記したように、本システムは今後、G.A.を利用した新たな評価システムと接続させる方針であり、さらに探索時間を短くすることが必要である。この問題の解決法として、探索アルゴリズムとしてダイクストラ法ではなく、探索時間の短いA*アルゴリズムに変更することなどが考えられる。

また本実験より、各パイプの制約条件を満たしつつ、可能な限りパイプ空間を通過していることも確認された。一方、本実験を複数回繰り返すことで、序盤に設計されたパイプの経路がもたらす影響についても確認することができた。Fig.9はその影響を示している経路の一部分を拡大したものである。

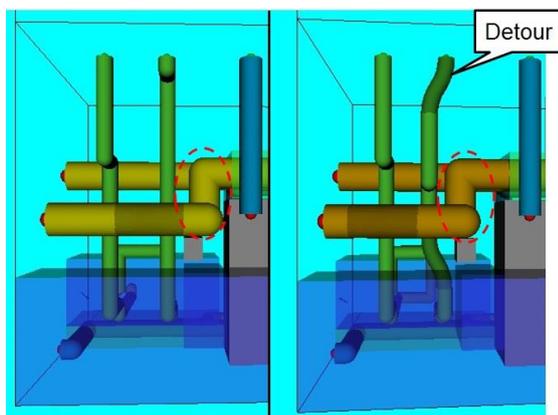


Fig. 9 Difference between two results

最適解ではFig.9左側のように、縦に通過する緑のパイプは直管とエルボのみで構成できる。しかしFig.10右側に注目すると、横に通過している太いパイプのエルボの位置(図中の赤丸)によって、後に探索される緑色の配管経路が大きく迂回していることが確認できる。これは本システムでは最適解が複数ある場合、複数の最適解からランダムに一つ選んでいるためである。この例の場合、太いパイプの経路探索をする段階では、エルボの位置は左右どちらにずれていても最適解となるが、後々の探索の結果、エルボはできるだけ図中の右に位置しなければ

ならないことが判明している。よって、複数の最適解の中からユーザ自身が一つもしくは複数の経路案を選択できるような仕様を検討する必要がある。

5.2 コスト値について

本システムでは探索を行う評価値としてパイプのコストを設定しており、そのコストとはパイプピースの値段を想定している。しかし、パイプ空間を通過することでの割引率や、溜りを考慮するために設定した高さ方向への遷移に対する割増率などの影響により、コストの妥当性が疑わしきものになっていると考えられる。よって今後、どの程度の割引率や割増率が配管設計にとって実用的なのかを検討していく必要がある。

5.3 工作性の評価

造船分野における配管設計は、プラントでの配管設計とは異なり、完成した図面の配管経路が実際に工作可能なかどうかを十分に検証しなければならない。これは造船分野では配管経路が船殻に囲まれており、プラント等の配管経路よりも空間的な制約条件が厳しいためである。そのため、船舶では配管の割り付けや、フランジの位置などの決定をベテラン技術者が行っているのだが、今後、設計の自動化へ向けて、本システムでも工作性を評価するような新たなシステムの検討が必要である。

5.4 船殻への対応

本手法では配管経路をベンドの部分を除き、X, Y, Z方向のみを考えている。これは配管経路のメンテナンスなどを考慮した場合、実際の配管設計でも経路の方向は限定されているので、妥当な設計規則であると考えられる。しかし、船舶の分野では主にエンジンルームなど多数の配管が存在している箇所では、船殻が湾曲している場合がほとんどである。よって、本システムを実問題へ対応させるためには、船殻に沿った配管経路の探索が可能となるような新たな探索手法が必要となる。

その他にも、今後の課題として、獲得された配管経路の安全性の評価や、経路中の圧力損失を示すシステムの追加などが挙げられる。

6. 結言

本論文では、配管設計作業の自動化へ向けて、配管の自動経路探索をより実用的なものにする手法を提案した。提案手法では、経路中の溜りやパイプ空間、通路空間考慮している。また、それらをJavaプログラムで実装することで最適解が得られることを確認し、本システムの自動設計能力について検証を行った。

謝 辞

本研究は、日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究(B) 課題番号 23360388 より補助を受けた。

参 考 文 献

- 1) 木村元：機器配置およびパイプの分岐を扱う配管自動設計システム，日本船舶海洋工学会論文集，第14号，2011，pp.165-173.
- 2) 安藤悠人，木村元：エルボおよびベンドを考慮した配管設計アルゴリズム，日本船舶海洋工学会論文集，第15号，2012，pp. 219-226.