

Voxel 図形の塗り潰しと細線化による 配管自動設計に関する研究

正会員 木村 元*
学生会員 佐多 広海**

学生会員 慶田 航**

Automatic Piping Arrangement Design Using Filling and Thinning Operations in Voxel Space

by Hajime Kimura, Member

Kou Keida, Student Member

Hiromi Sata, Student Member

Key Words: Pipe arrangement, Automatic design, Voxel fill, Voxel thinning, pipe routing, X3D

1. 緒 言

造船業界の配管設計作業は未だに熟練技術者の経験に頼る部分が大きく、設計作業に膨大な時間を要している。近年では各造船所とも熟練者の確保が困難になってきており、若手技術者への技術伝承問題も発生している。特に配管経路の設計作業は艤装設計における作業時間の大きな割合を占めており、船舶の設計作業全体の効率化を検討するうえで重要な課題である。以上のことから、配管設計作業を省力化するシステムの必要性は日増しに高まっていると考えられるが、配管設計問題は未だ学術的な検討が十分に行われた分野ではなく、未だに配管設計を自動的に行う実用的なシステムは存在していない。本研究では配管自動設計システムの構築に向けて、船殻の曲がりに対応することやより複雑な形状の障害物の回避など、実用に即した問題設定での配管経路探索を行う手法について検討する。先行研究¹⁾においては、配管方向が直交座標系のみという点と、設計空間が対象とするパイプに対して大きい場合探索に非常に時間がかかるという点で非実用的であった。そこで本研究では Voxel 図形処理を利用することによる計算時間の短縮と、船殻の曲がり等に対応した配管設計を行う手法を検討する。

2. 配管自動設計システムの概要

本研究は木村の提案する自動配管設計システム²⁾に関するものである。システムは大きく分けて前半の経路点候補生成処理、後半の配管経路探索処理の2つの処理で構成される(Fig. 1)。前者の目的はパイプの有望な経路となりうる経路点候補を設計対象空間に配置することである。後者の目的は前者で配置した経路点候補で構成されるネットワークにおいて、よりコストの小さい配管経路の探索を行うことである。

本研究では処理前半部分にて経路点候補を配置するために、対象空間を1辺が任意長の立方体でメッシュ分割し、Voxel 図形処理を用いることを特徴とする。

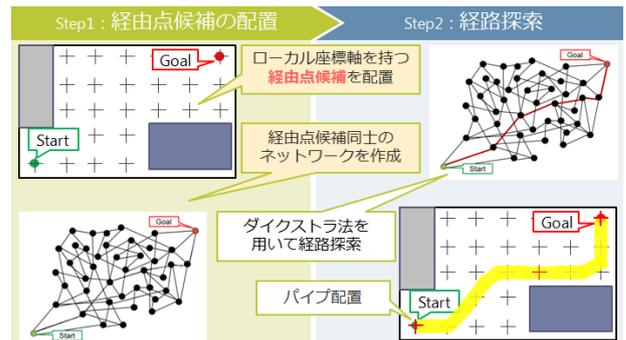


Fig. 1 The process of the proposed piping arrangement system.

3. Voxel 図形処理による経路点候補の生成

3.1 概要

本研究で使用する配管経路探索アルゴリズムは、経路点候補を節点として構成されるネットワークからダイクストラ法を用いてコストが最小となる経路を探索する。ただ、経路点候補を多く配置すればより多くの解を得ることができる反面、経路点候補が増えるほど経路探索にかかる時間が長くなっていく。そのため経路点候補は必要最低限の配置に留め、無駄な経路点候補の配置をできる限り減らす必要がある。そこで本研究では、設計対象空間におけるパイプの配管経路のトポロジを考えることで経路点候補の配置場所を判定することを提案する。ここでのトポロジとは、設計対象空間における大まかな配管経路候補を指す。トポロジを参考に経路点候補を配置することで、袋小路のようなパイプの通り得ない無駄な場所に配置することを防ぐことができる(Fig. 2)。

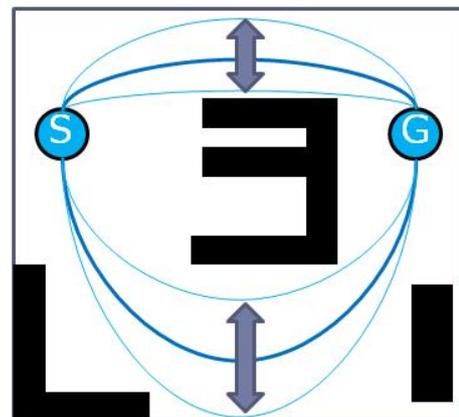


Fig. 2 Topology of the routing space.

* 九州大学 大学院工学研究院海洋システム工学部門

** 九州大学 大学院工学府海洋システム工学専攻

原稿受付 (学会にて記入します)

秋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

2次元平面においてこのような処理を機械的に行うための方法として、細線化に代表される画像処理で使われている技術を用いるものがある。Fig. 3はその流れを簡単に示したものである。与えられた空間の障害物以外の部分を塗りつぶし、それを1画素幅にする(細線化)ことでその空間のトポロジを得ることができる。本研究では、トポロジを得るための手段としてVoxel図形処理を用いる。Voxelとは、volume(体積)とpixel(画素)を組み合わせた混成語である。先行研究で行っていた設計対象空間を等幅のメッシュに区切るという処理はまさしくVoxel図形化処理であり、先行研究の自動配管システムにおけるダイクストラ法などの経路探索法とも容易に併用することができる。

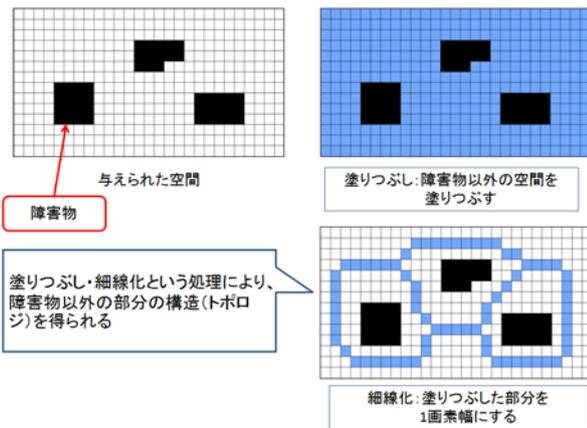


Fig. 3 Outline of the process of getting the topology.

3.2 Voxel図形の塗りつぶし処理

障害物を配置した空間にパイプが通るかどうかの判定として塗りつぶし処理を行う。まずパイプの始点と終点の位置情報を入力する。パイプの始点を起点として、パイプ径と同じ径の球が障害物と干渉せずに置ける位置に対して塗りつぶしを行う。塗りつぶしが行われなかった場所はパイプが通れないことを示す。また、塗りつぶし処理後に終点まで塗りつぶされているかを確認することでパイプが始点から終点まで到達できるかの判定ができる。

3.3 Voxel図形の細線化処理

先行研究では、設計空間をメッシュ状に分割した格子点全てを経由点候補として経路探索をしているために、探索に非常に時間がかかり非実用的であった。本研究では塗りつぶし処理後のVoxel図形に対して細線化処理を行い、経路候補点を限定することによって探索時間を大幅に短縮することを目指す。細線化とは幅を持つ線分を1画素の線幅に変換する処理のことを言う。Fig. 4に2次元の図形での細線化処理の例を挙げる。細線化処理を行うと下図のような「ひげ」と呼ばれる枝状のノイズが生じる。



Fig. 4 Thinning examples

細線化処理では標準的なパターンマッチング³⁾を用い

ている。塗りつぶされたVoxelを1、それ以外のVoxelを0として、消去可能性を判定するパターンを用意し、上下左右前後方向からラスタースキャンを行う。パターンとマッチした場合、対象画素を消去する(0に置き換える)という処理を繰り返すことにより細線化を行う。Fig. 4が上から塗りつぶし前、塗りつぶし後、細線化後の処理結果の例である。

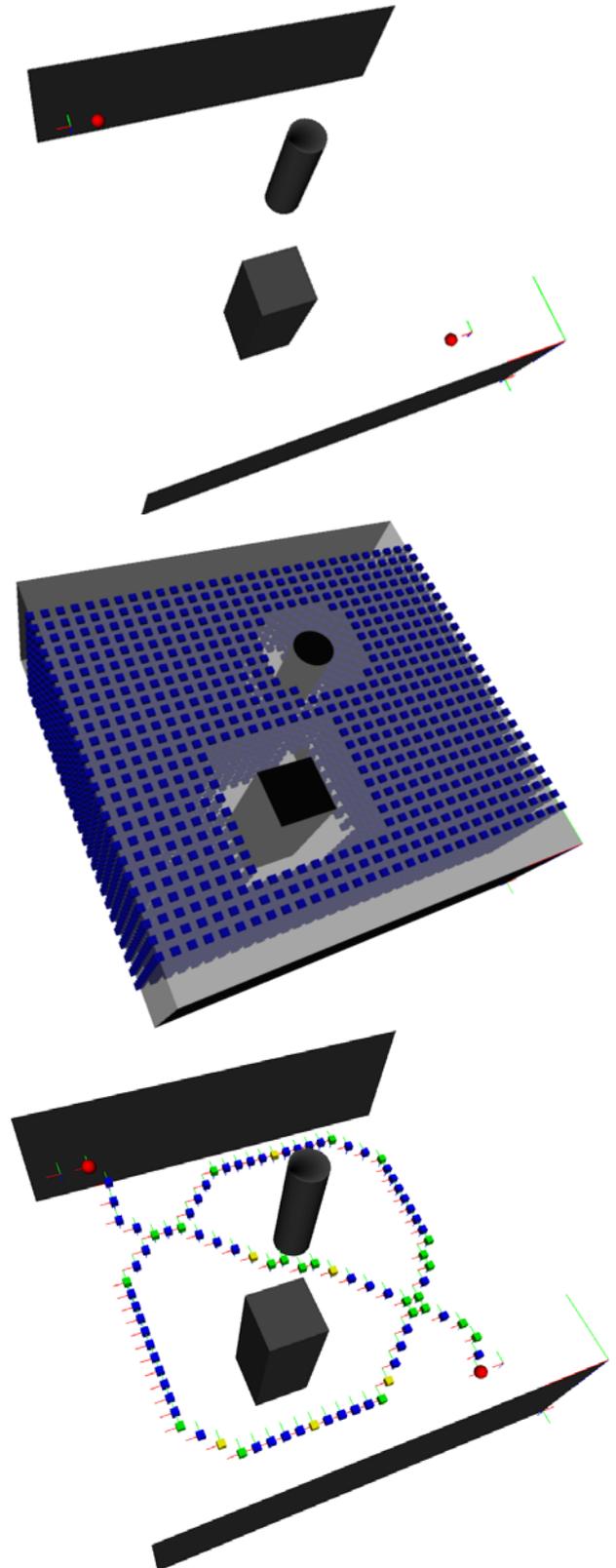


Fig. 5 A Filling result and a thinning result.

また、本研究では消去可能性を判定するパターンを追加することで袋小路等経路として成立しない点に関しては、細線化結果が残らないように改良を加えた (Fig. 6).

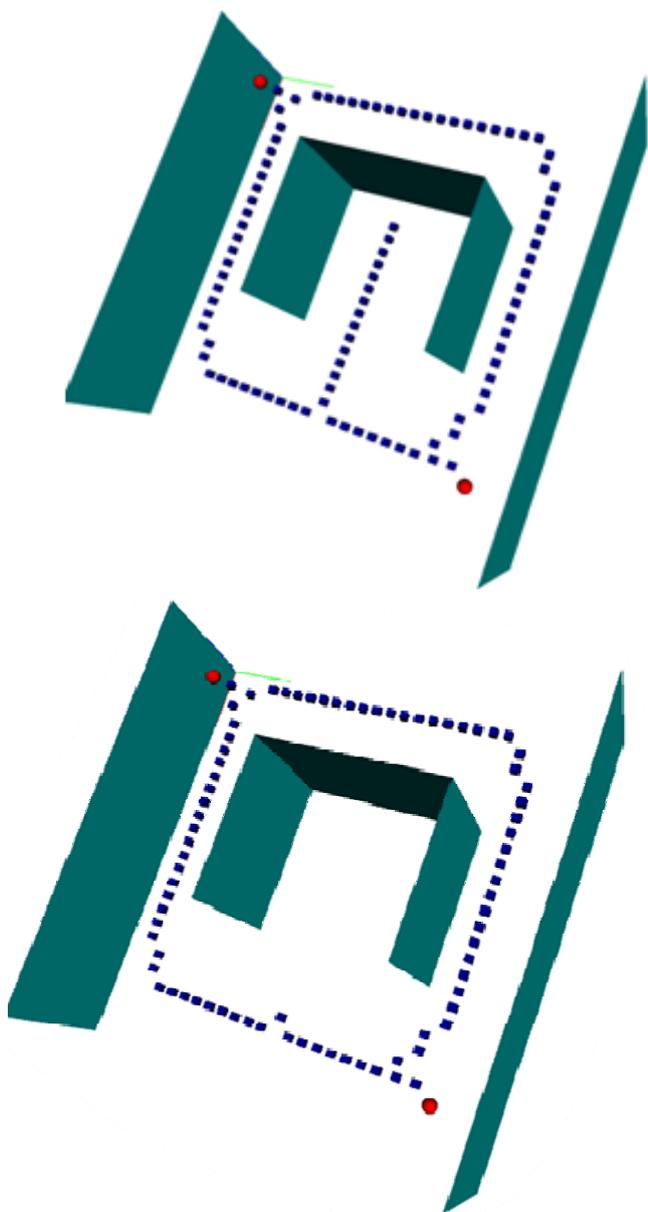


Fig. 6 Erasing a dead end.

4. 特徴点に関する処理

細線化によって得られた結果は、複数の線分によって構成される図形と捉えることができる。そこで、“分岐”や“折れ曲がり”などの特徴点 (keynode³⁾) を抽出し、それらを結んで Key Node Graph⁴⁾ を作成する (Fig. 7)。Key Node Graph から線分の位置ベクトルを得られるため、後の経路点候補の配置に細線化結果をより効果的に用いることができるようになる。

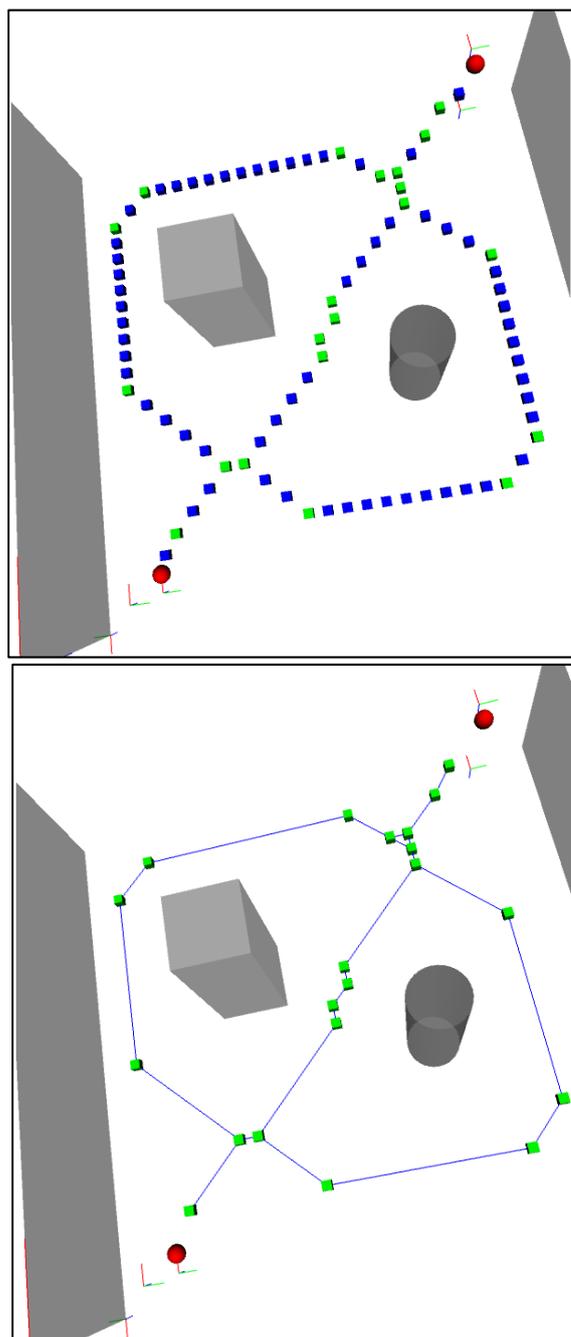


Fig. 7 Extraction of keynodes and a KeyNode Graph.

5. 経路点候補の生成

経路点候補とは、ダイクストラ法による経路探索の際にグラフのノードとなるものである。位置座標の他に、その点におけるパイプ配管方向を指定する相対座標軸を状態量として持っているのが特徴である。先行研究では全ての経路点候補において相対座標軸を絶対座標軸と平行に配置していた、しかし本研究では先述の特徴点に関する処理結果に応じて、狭隘空間において相対座標軸を適切な方向に回転することで、より良い経路探索結果を得る (Fig. 8)。狭隘空間の判定方法としては、塗りつぶし処理にも用いた球と障害物の干渉判定を用いる。用いる球の直径はパイプ径などを考慮して初期値を決める。その後直径を徐々に小さくし、keynode 間においてどの Voxel が障害物との距離が最も小さいかを判定する。

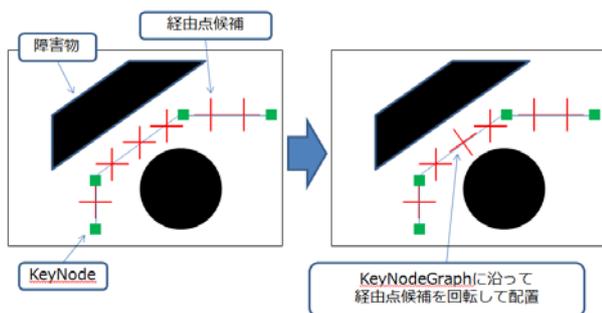


Fig. 8 Result of the extraction of key nodes and a key node graph.

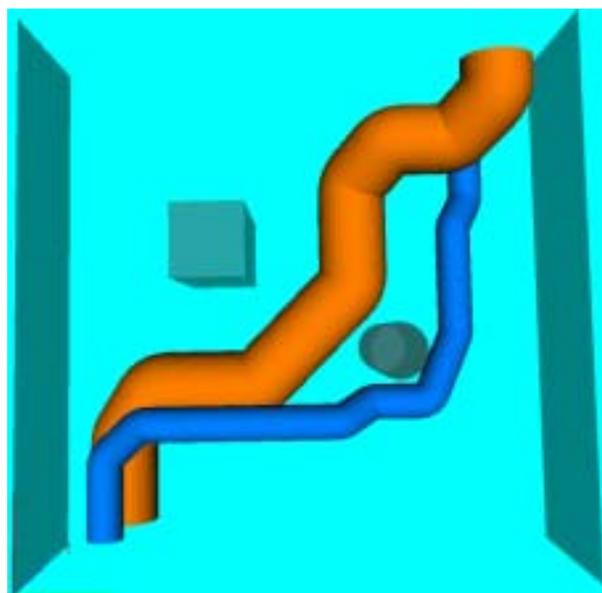
6. シミュレーション結果

本研究では設計対象空間をいくつか用意し、シミュレーション実験を行った。パイプコストに関してはパイプ直径を ϕ 、パイプの長さ L として、 $\phi \times L$ を用いている。初めに2本のパイプの経路探索を行った。経路点候補の配置を

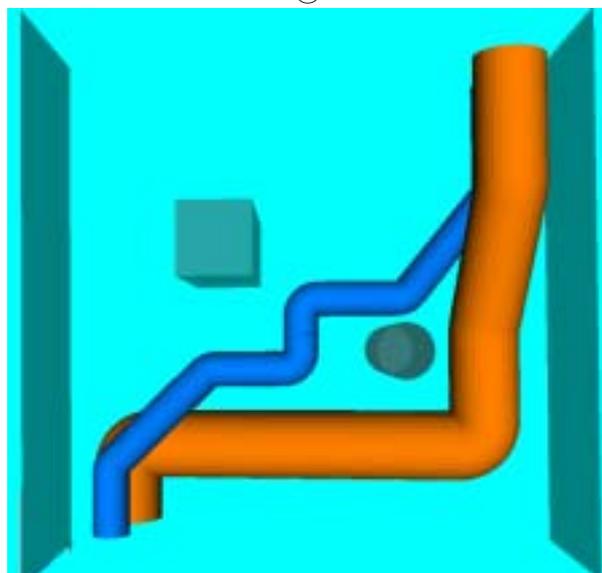
- ① 配管可能な格子全てに配置
- ② 細線化結果を基に、回転をさせずに配置
- ③ 細線化結果を基に、狭隘区間では回転させたものも配置

の3パターンに分けて探索を行った。尚、③においては、②における経路点候補も残しつつそれに加える形で経路点候補を配置した。

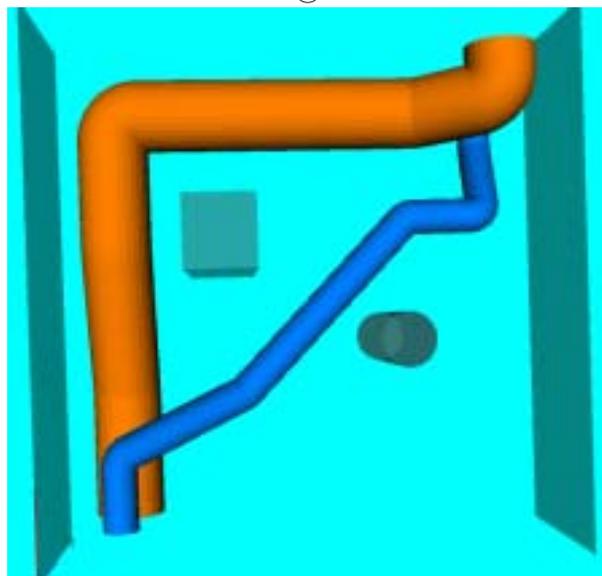
Fig. 9が処理結果である。実験①、②と実験③の結果を比較すると、前者の青のパイプが障害物の間を通る際にエルボを用いて配管されているのに対し、後者ではエルボを使用せずに障害物の間を配管することができているのが分かる。Table. 1は経路点候補の数、探索時間、パイプコストを実験ごとにまとめたものである。パイプコストを見ると、実験①が他と比べて大きくなっている。実験①では経路点候補をほぼ全ての格子に配置しているためこの実験での最適解、つまり最短経路を得られる可能性は高いが、同時に解候補が多くなるという問題もあるため局所解に陥った可能性がある。実験②と③ではパイプコストに若干減少が見られ、より短い経路が探索できていることが分かる。探索時間を比較すると、本研究の手法を用いた実験②、③では30秒以内に探索が終了しているのに対し、やはり経路点候補の多い実験①では他と比べて非常に長い時間がかかっている。また、実験②と③に関しては経路候補点が多いにもかかわらず計算時間は12秒短い結果となっている。これについては回転させた経路候補点を配置したことによる無駄なエルボの解消が、パイプ同士の干渉をしない経路の獲得を容易にしたからであると考えられる。パイプコストもわずかだが大きいことを考えると、非常に短い時間でより良い結果が得られた本研究の手法が有効であることが分かった。



①



②



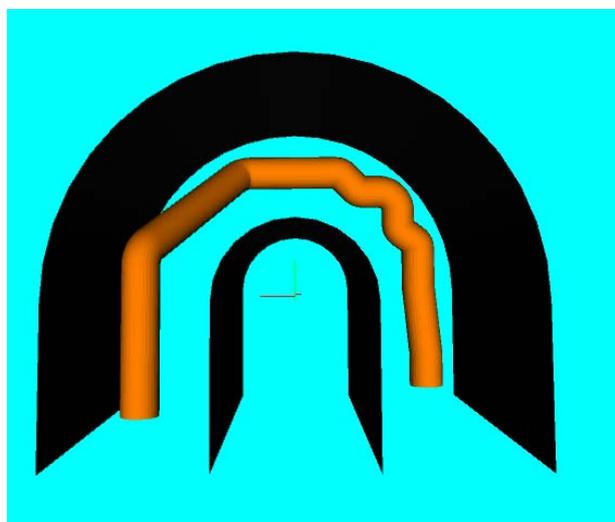
③

Fig. 9 Results of the simulations.

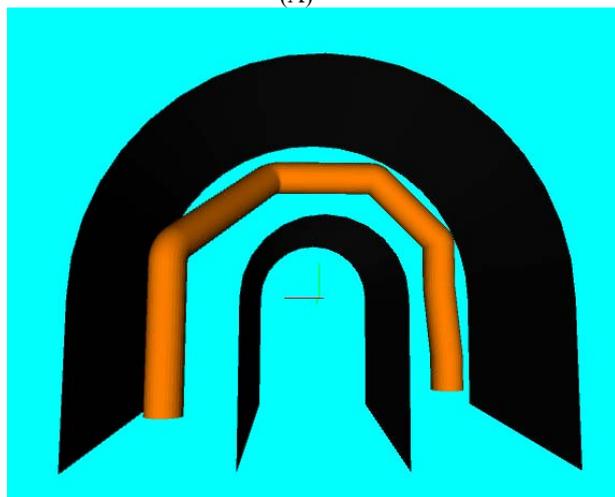
Table 1 Results of the simulations.

実験条件	パイプ No.	経路点候補の数	パイプコスト	探索時間
従来の手法	1	7143	26785	5638 秒
	2	8441	27164	
合計			53949	
細線化のみ	1	108	27833	21 秒
	2	104	24779	
合計			52612	
細線化+回転	1	111	28998	9 秒
	2	107	23271	
合計			52269	

次に、曲面狭隘空間でのシミュレーション実験を行った。Fig. 10(A)が経路点候補を回転せずに配管、Fig. 10(B)が経路点候補を回転させて配管した処理結果である。



(A)



(B)

Fig. 10 Piping arrangement results of the previous method (A) and the proposed method (B).

今までの回転しない経路点候補生成では Fig. 10(A)のようにパイプが少ない距離で何度も曲がるような経路を獲得してしまっている。しかし、本研究の手法では経路

点候補を回転させて配置することにより、パイプの曲がりの少ない経路を獲得することができた。狭隘な空間にも本研究による手法による配管設計は有効である事がわかった。

7. 結 言

本研究では Voxel 図形処理を用いてパイプの自動配管システムにおける経路点候補の配置手法を提案し、計算時間を数百分の一に縮めるなど有効性を示した。今後の課題としては、パイプサポートや作業用通路、施工性や機器操作性も考慮した経路点候補の配置が挙げられる。

参 考 文 献

- 1) 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, pp.219-226, 2012.
- 2) 木村 元: パイプサポートや曲がり船殻に対応した配管自動設計に関する研究, 日本船舶海洋工学会講演会論文集 Vol.22 (2016年5月26~27日, 福岡県中小企業センター, 福岡市) 講演予定.
- 3) K.Palágyi, A.Kuba: A 3D 6-subiteration thinning algorithm for extracting medial lines, Pattern Recognition Letters 19 (1998) 613-627.
- 4) K.Xu, R.Fu, L.Deng, Y.Ou, X.Wu: A Fast Robot Path Planning Algorithm Based On Image Thinning, International Conference on Intelligent Robotics and Applications (2010) 548-557.