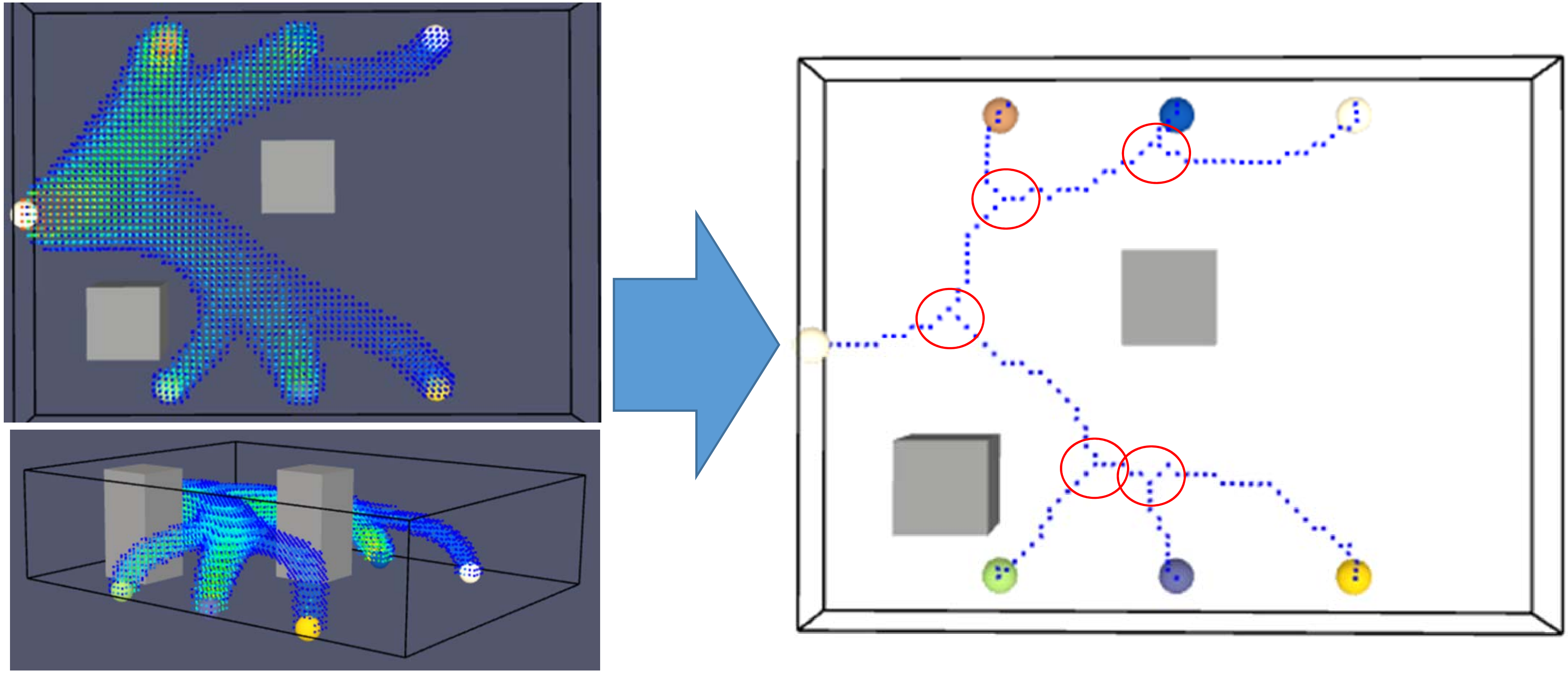
数値流体計算を利用した配管経路の自動設計



九州大学　大学院工学研究院　木村　元

三菱重工船舶海洋株式会社　藤原　祐二

九州大学　大学院総合理工学府　鹿野　浩輝

発表の流れ

1. 研究の背景と目的
2. 提案手法
3. 格子ボルツマン法の説明
4. シミュレーション結果と考察
5. まとめ

研究の背景

造船所では配管の経路設計を行う際、
熟練技術者の経験に頼る場合が多い。
熟練技術者の人口減少が進んでおり、
若手技術者への技術伝承問題が心配される。

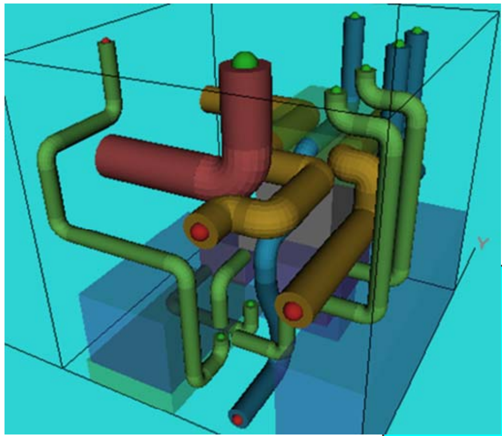
配管経路自動設計の従来手法

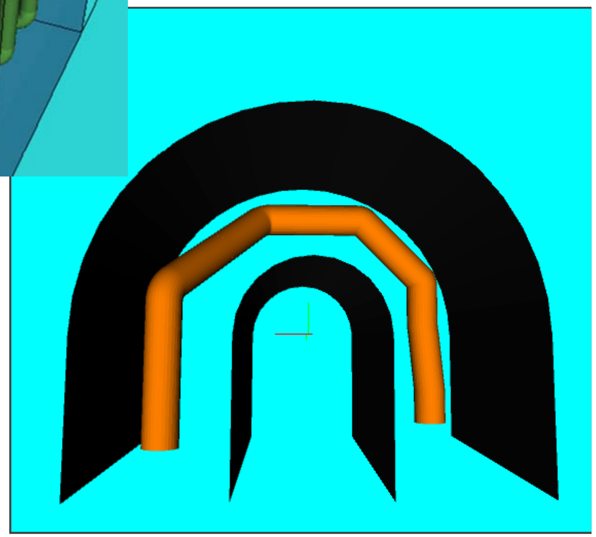
- **船舶分野における配管経路自動設計に関する研究（安藤2015）**
- **Voxel図形の塗り潰しと細線化による配管自動設計に関する研究（2016）**

ダイクストラ法と焼きなまし法により
複数系統の配管の経路を自動設計。

設計対象の空間を格子状に区切り、
格子点を候補点とする。

分岐を含む配管に対応していない。



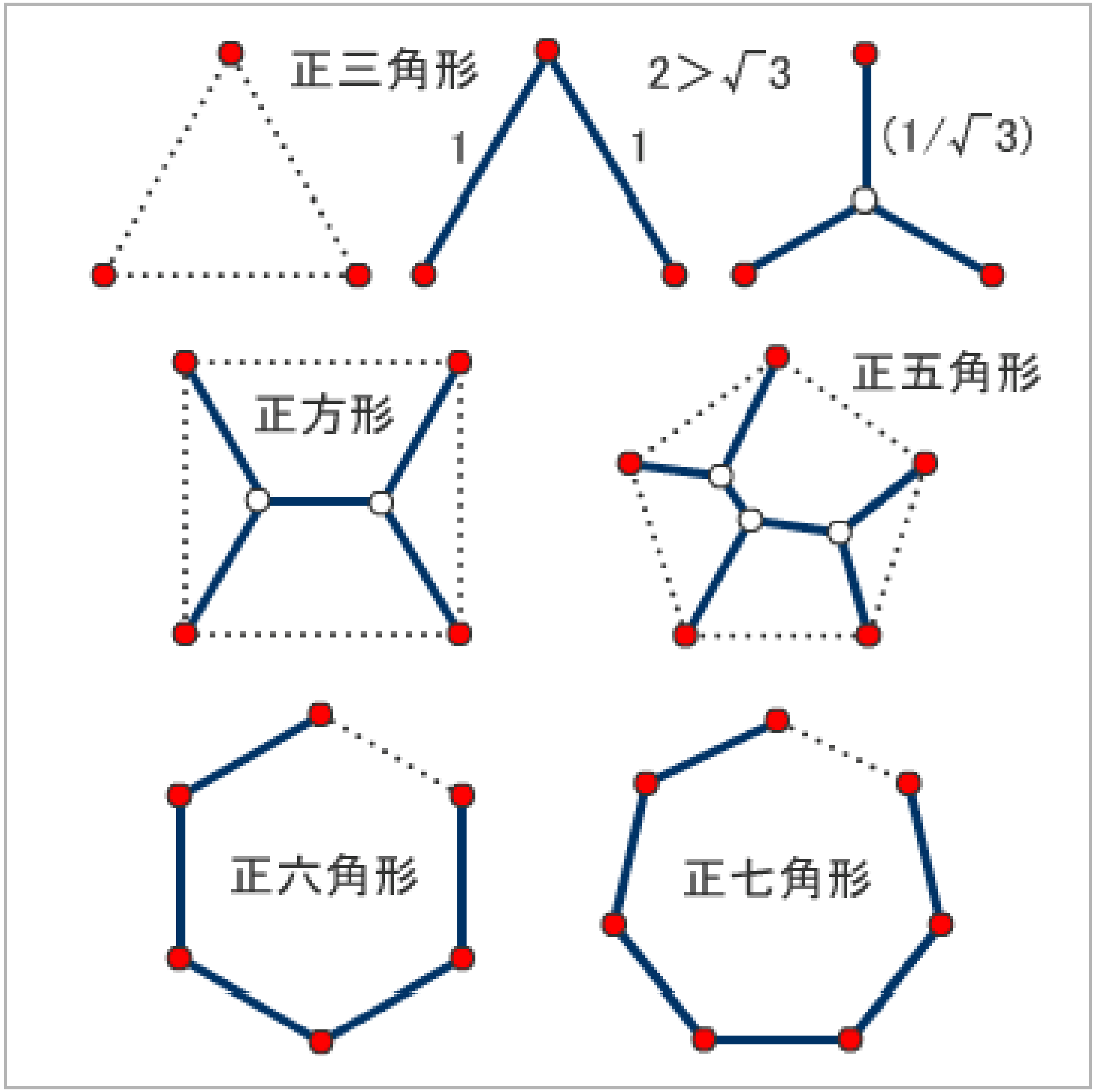


複数の場所を（分岐を含む）最短の

経路で結ぶ問題 ＝ **最小シュタイナー木問題**

分岐を含む配管経路を得る方法は確立されていない

最小シュタイナー木問題



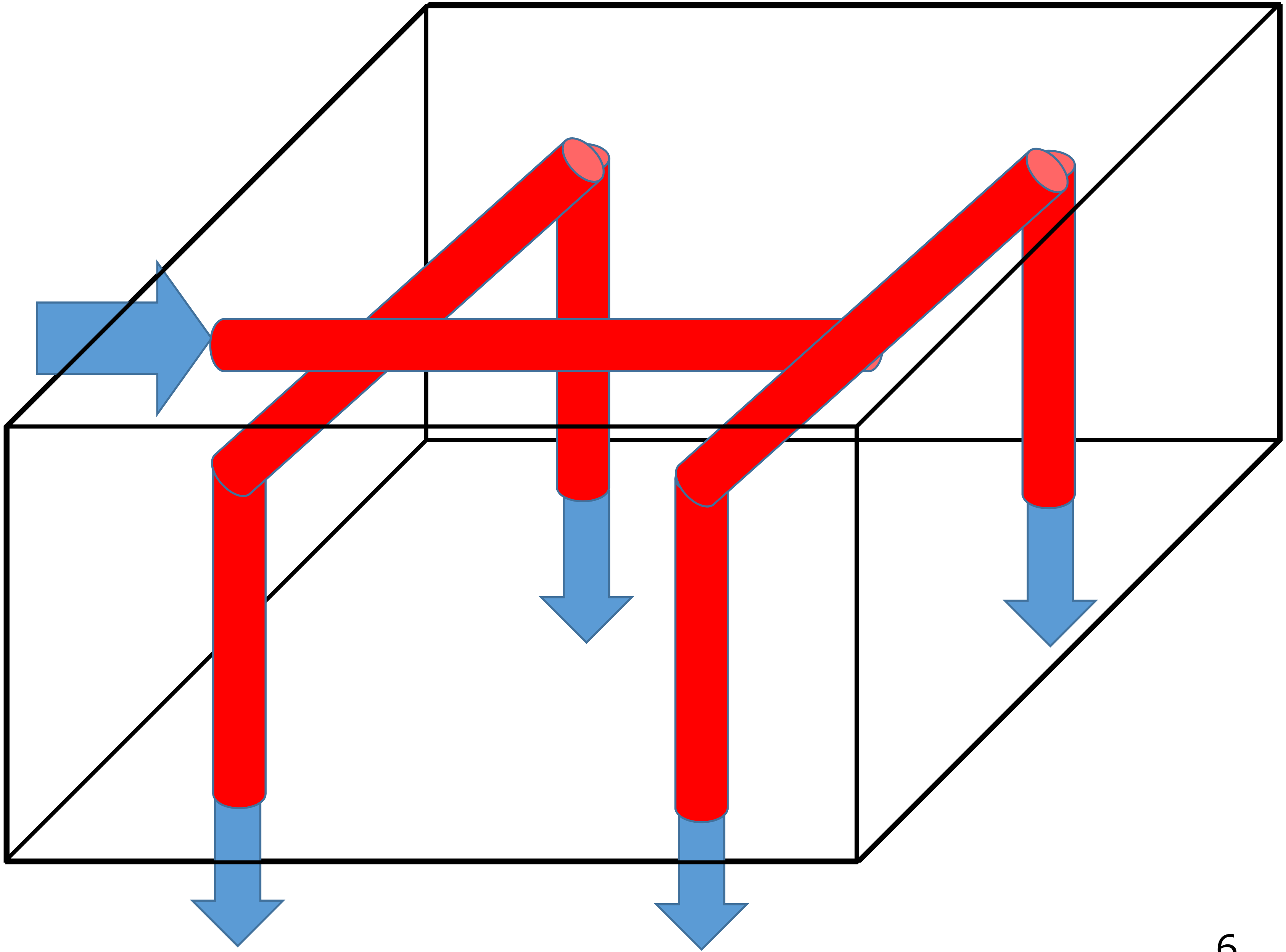
全てのノードを結ぶ最短の
経路を求める
経路は分岐しても良い

最適パスを得るアルゴリズム
は存在しない
（近似解法のみ）

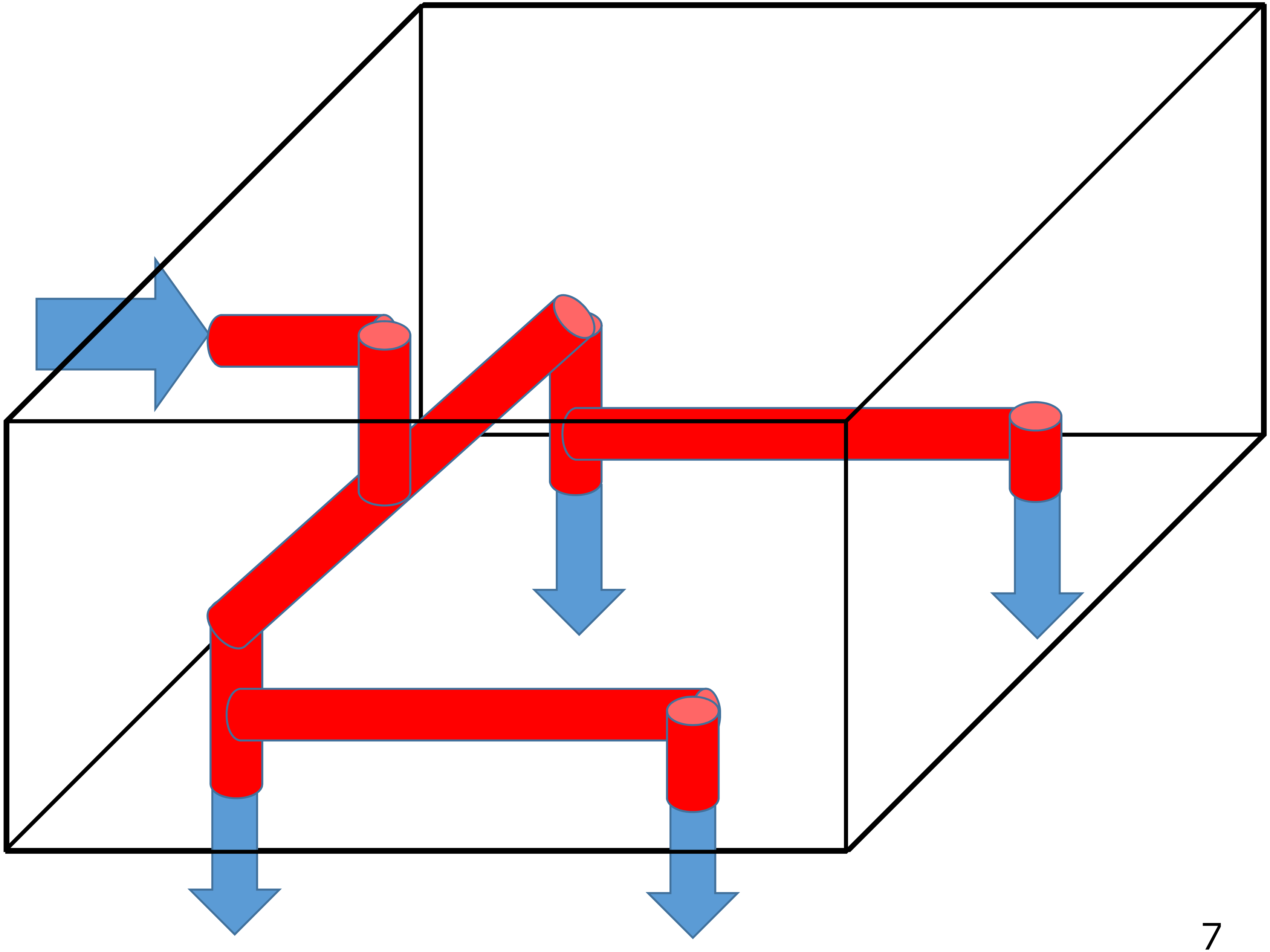
通信路や電路の設計に
利用されるが、
入口と出口がある配管経路
の設計には向かない

http://gascon.cocolog-nifty.com/blog/2008/05/88_a789.html　より図を引用

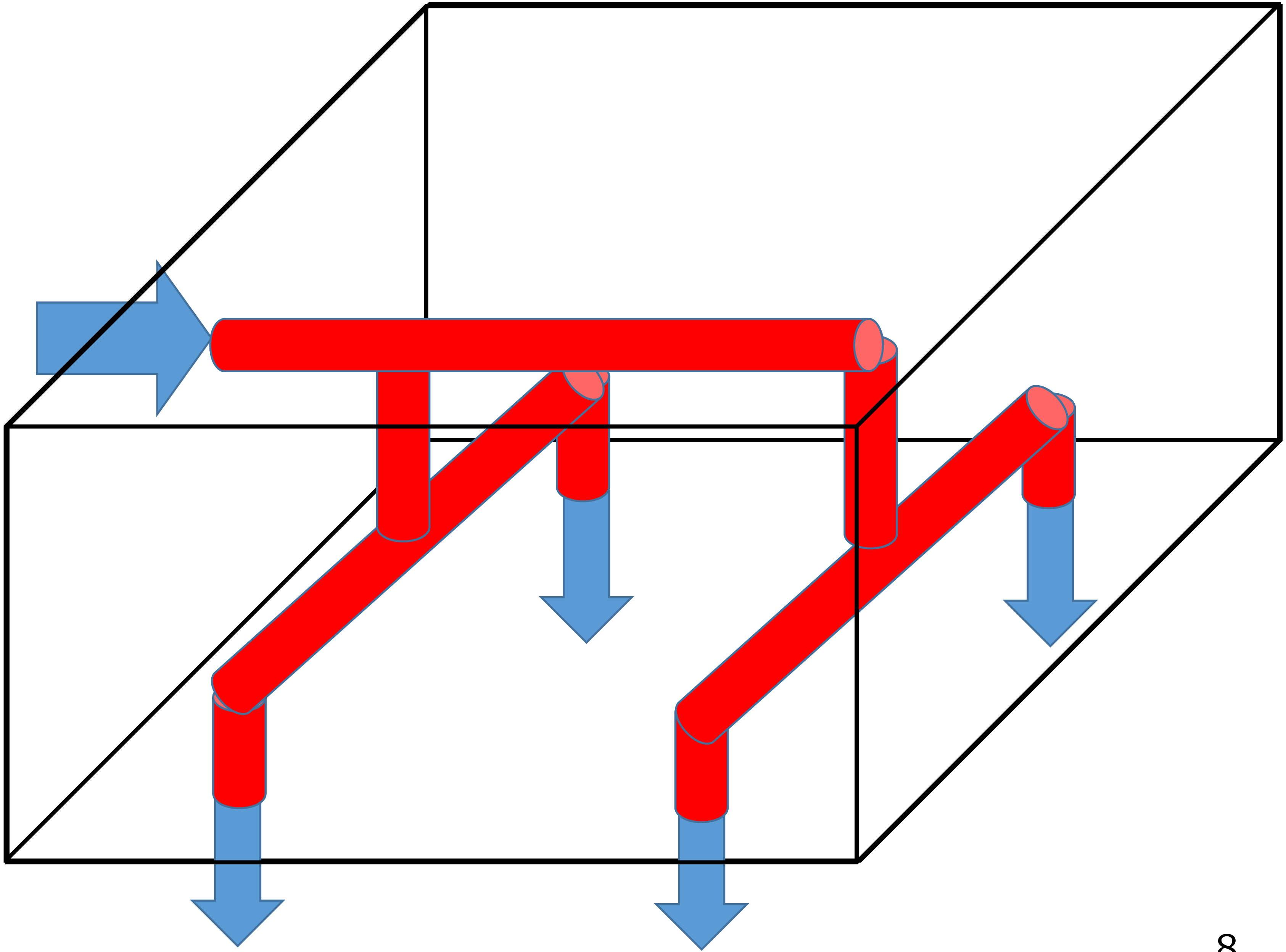
分岐のある配管例



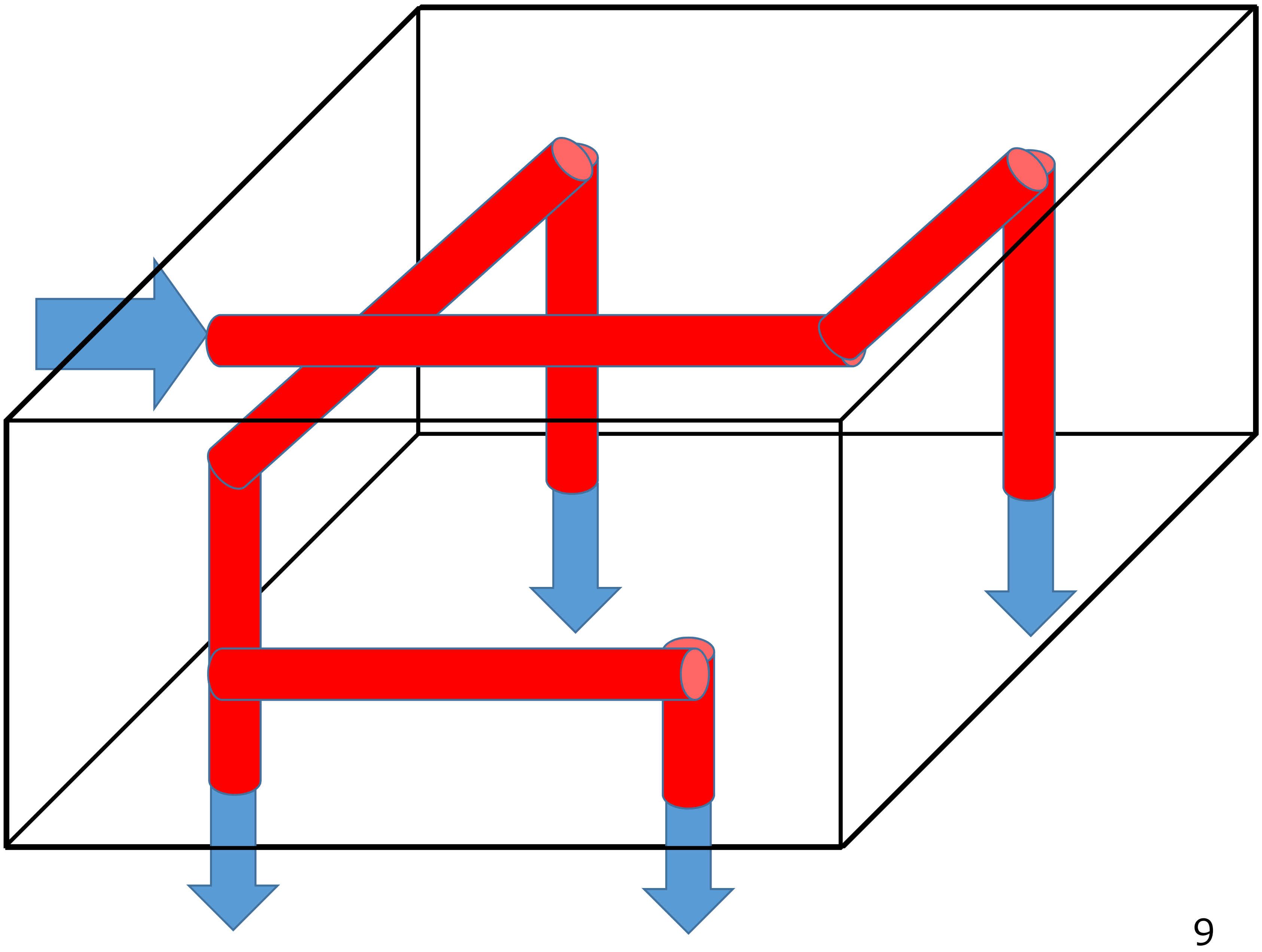
分岐のある配管例



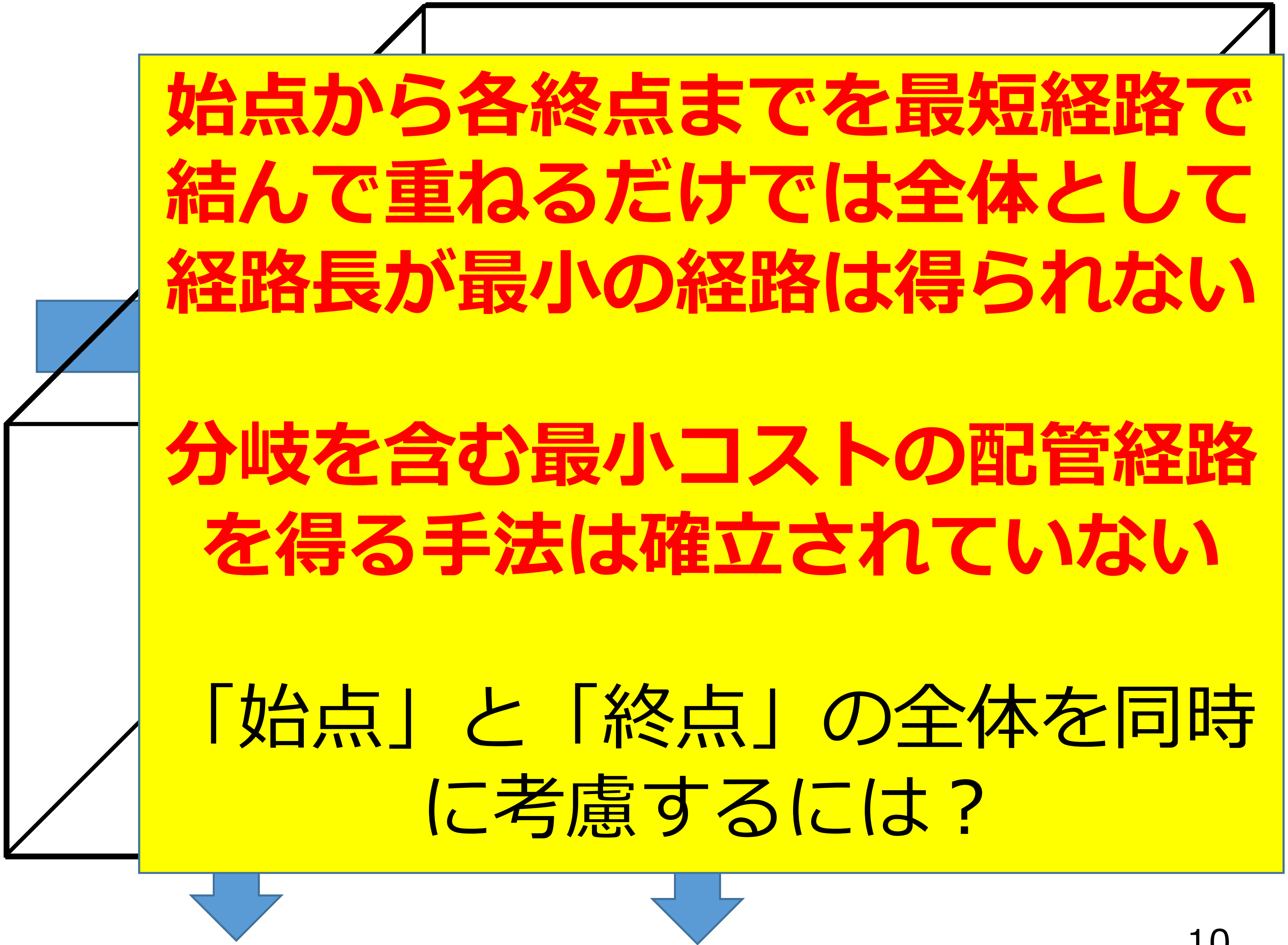
分岐のある配管例



分岐のある配管例



分岐のある配管例



始点から各終点までを最短経路で結んで重ねるだけでは全体として経路長が最小の経路は得られない

分岐を含む最小コストの配管経路を得る手法は確立されていない

「始点」と「終点」の全体を同時に考慮するには？

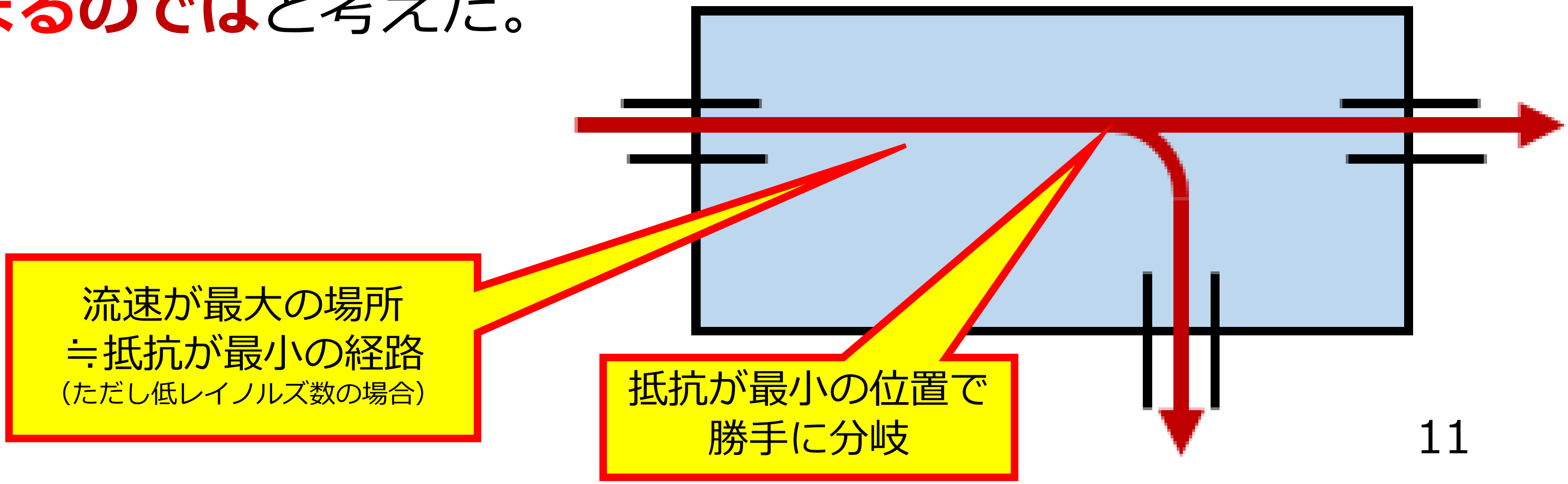
研究の目的

分岐を含む配管経路を自動設計する方法を確立する。

アプローチ

最適な配管の経路は、途中にある障害物の配置や
配管の中を流れる流体の性質によって変わる。

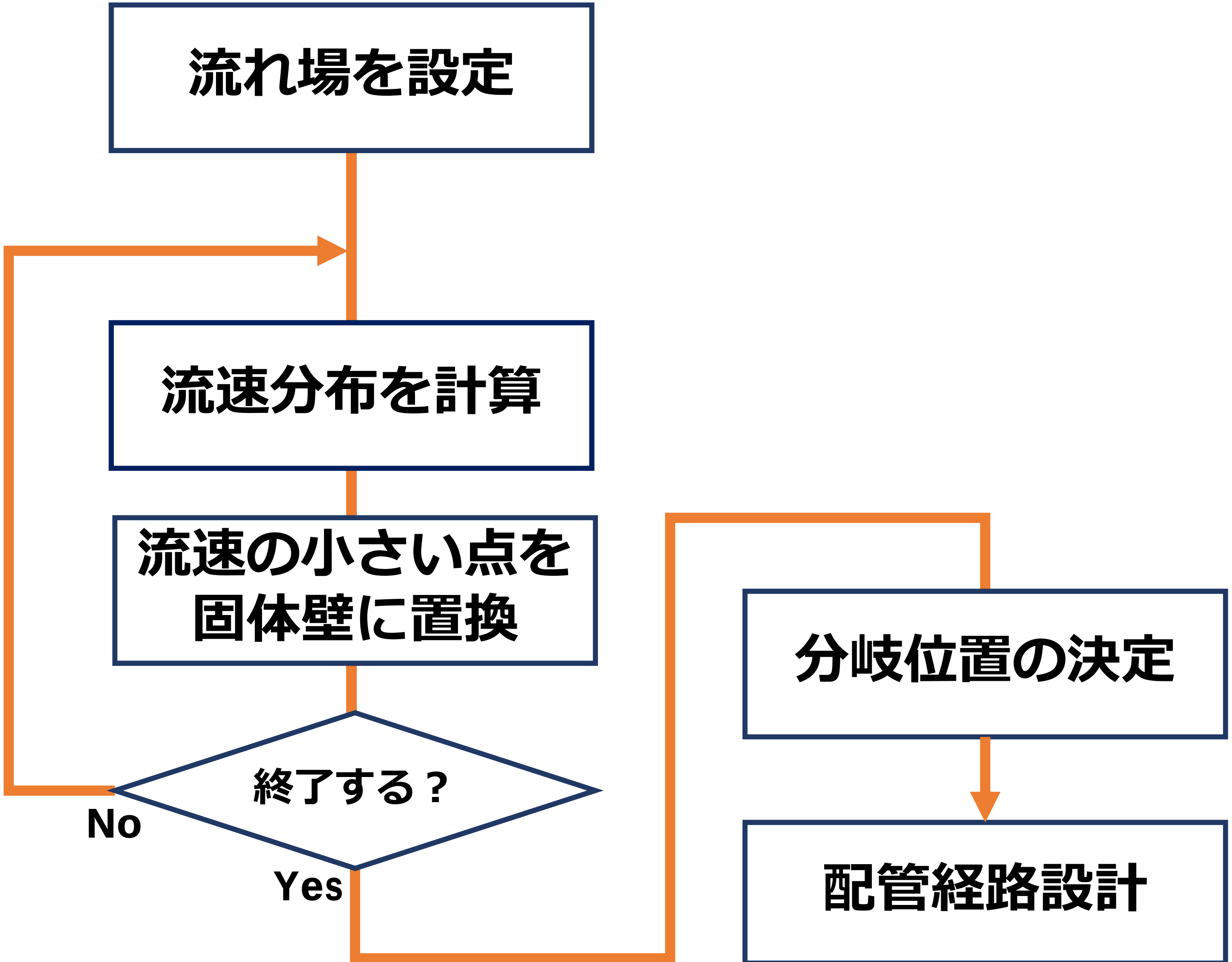
流体を、配管の入口と出口の位置を設定した設計空間に流し込み、流れ場を調べることで、**分岐を含む適切な経路が決まるのではと**考えた。



発表の流れ

1. 研究の背景と目的
2. 提案手法
3. 格子ボルツマン法の説明
4. シミュレーション結果と考察
5. まとめ

提案手法



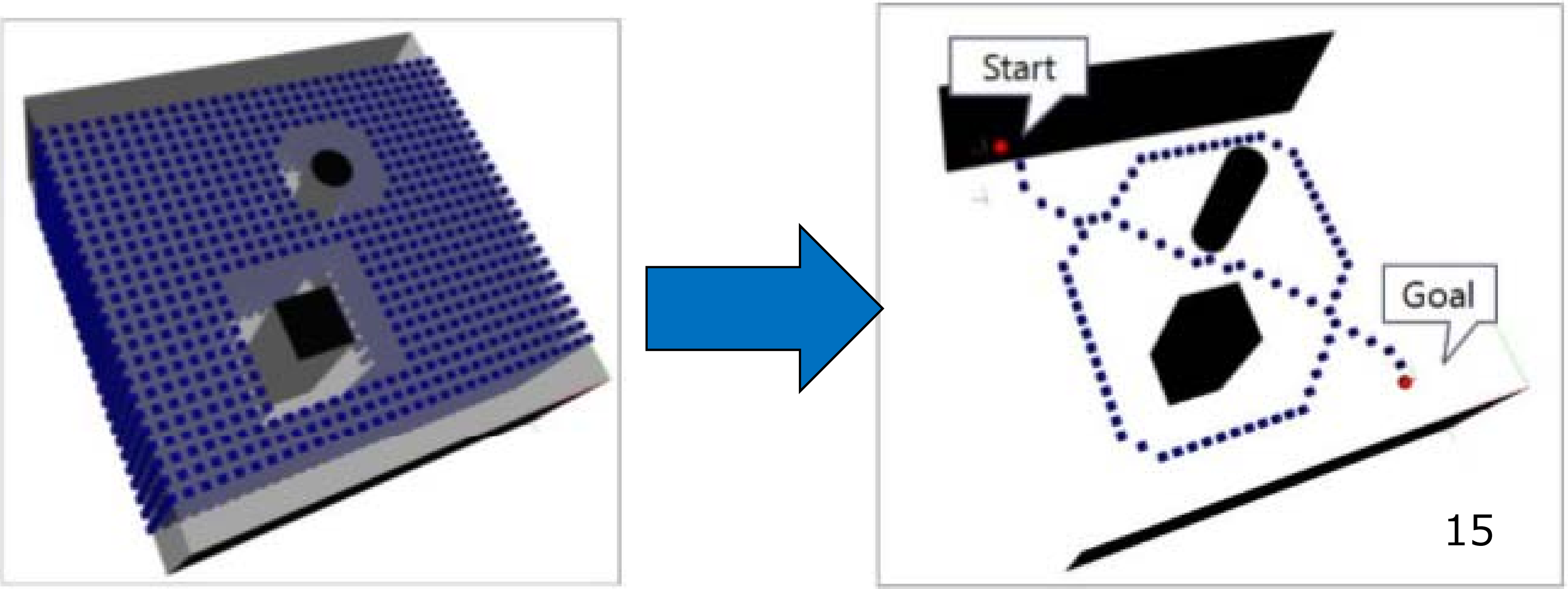
提案手法

1. 設計対象の空間が流体で満たされた状態であるとし、配管の始点と終点の位置に流入口・流出口を配置した**流れ場について流速分布を求める**。
2. 各格子点の流速に注目し、降順に並べ、全格子数の30%の値を**閾値とし、それ以下の流速の格子点を壁に置き換える**。
3. 流速分布の再計算と壁に置き換える処理を何度か繰り返す。
4. **細線化**により分岐位置の決定。

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。

あらかじめ消去可能性を判定するパターンを用意しておき、対象物がパターンと一致した場合、対象画素を消去するという処理を繰り返す。



配管経路獲得処理の流れ

1. 設計対象空間での流れ場を解析

2. 細線化処理

3. 配管経路と分岐の位置関係・接続構造の決定

本手法の特徴：

計算量がパイプの分岐先の数や、設計対象空間に存在する障害物の形や数に依存せずほぼ一定（計算量は流れ場解析に用いる分割数のみに依存）

発表の流れ

1. 研究の背景と目的
2. 提案手法
3. 格子ボルツマン法の説明
4. シミュレーション結果と考察
5. まとめ

格子ボルツマン法の概要

流体を多数の仮想的な粒子の集合ととらえ、
粒子は**並進**と**衝突**を繰り返しながら
規則的な仮想の格子上を動く。

格子ボルツマン法の特徴

- 分子運動論に基づく数値流体計算法。
- 流体を粒子の集合体と仮定する
  粒子速度モデルを用いる。
- 粒子の動きを**BGK方程式**によって再現
- BGK方程式からNS方程式、連続の式を導出できる。

格子ボルツマン法の長所

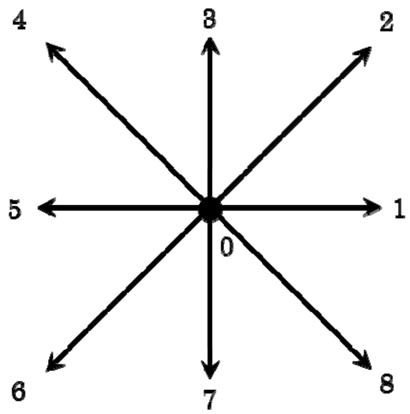
- **多相流を扱える**。

複数系統のパイプを
同時に自動配置可能
になるかも

- 並列計算に向いている。
- 単純なアルゴリズムで計算が高速。

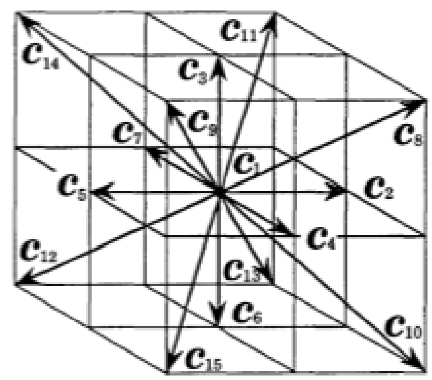
粒子速度モデル

個々の粒子はある決まった速度で格子に沿って動く。



2次元9速度モデル

$c_i = (0,0), (\pm1,0), (0,\pm1), (\pm1,\pm1)$



3次元15速度モデル

$c_i = (0,0,0), (\pm1,0,0), (0,\pm1,0),$
$(0,0,\pm1), (\pm1,\pm1,\pm1)$

格子BGK方程式

$$f_i(t+\Delta t, x + c_i \Delta t) = f_i(t,x) - \frac{1}{\tau}\left[f_i(t,x) - f_i^{(0)}(t,x)\right]$$

f_i ：粒子の速度分布関数
（ある格子点における速度c_iを持つ粒子の密度）

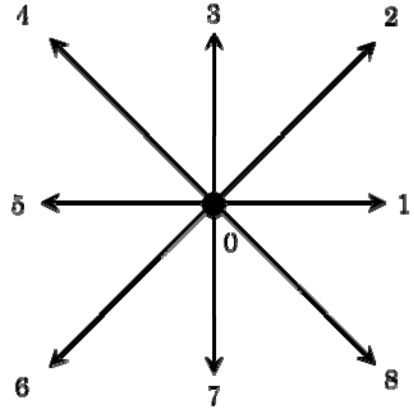
c_i ：粒子の速度

$f_i^{(0)}$ ：局所平衡分布関数

τ ：分布関数が局所平衡分布関数に近づく時間の尺度

各格子点における変数

- 密度　$\rho = \sum_i f_i$



- 流速　$\mathbf{u} = \frac{1}{\rho}\sum_i f_i c_i$

- 圧力　$\mathrm{p} = \frac{\rho}{3}$　(非熱流体モデルの場合)

境界条件

- 壁の境界条件

  …滑りなし壁

- 開口部の境界条件

  …流入口、流出口

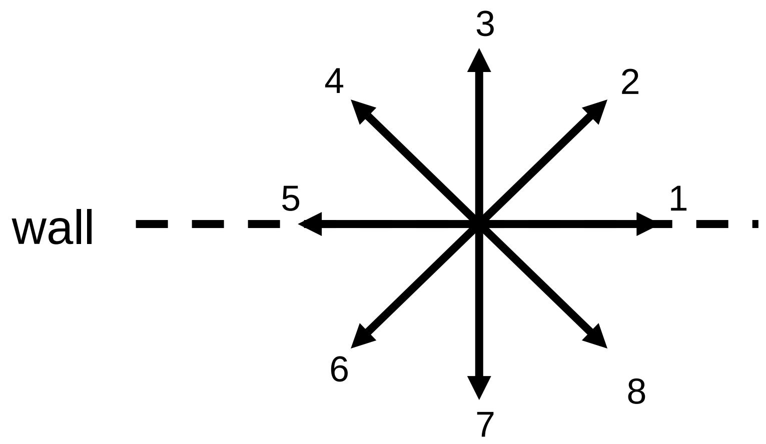
滑りなし壁の境界条件

滑りなし壁の境界に接する流体の流速 $U = 0$

$f_1 = f_5$ と初期化する。

$$\begin{cases} f_6 = f_2 \\ f_7 = f_3 \\ f_8 = f_4 \end{cases}$$

f_i はすべて打ち消しあう。



$$f_2 + f_3 + f_4 = f_6 + f_7 + f_8$$

Bounce-Back条件と呼ばれる。

開口部の境界条件

	速度	圧力
流入口	固定	勾配０
流出口	勾配0	固定

発表の流れ

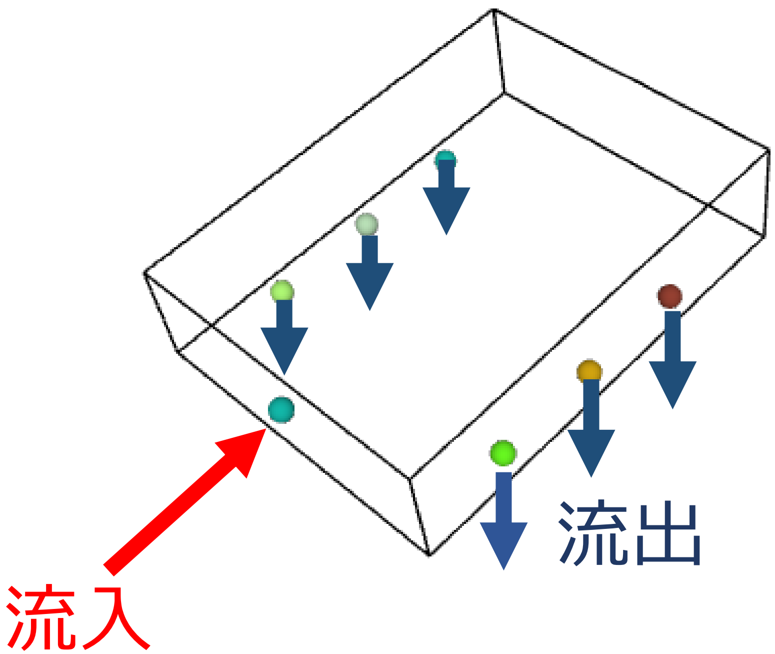
1. 研究の背景と目的
2. 提案手法
3. 格子ボルツマン法の説明
4. シミュレーション結果と考察
5. まとめ

実行環境

- Javaでシミュレータを作成
- ParaViewで3D描画

OS: Windows 10
CPU: Intel Core i7 4770
RAM: 8GB

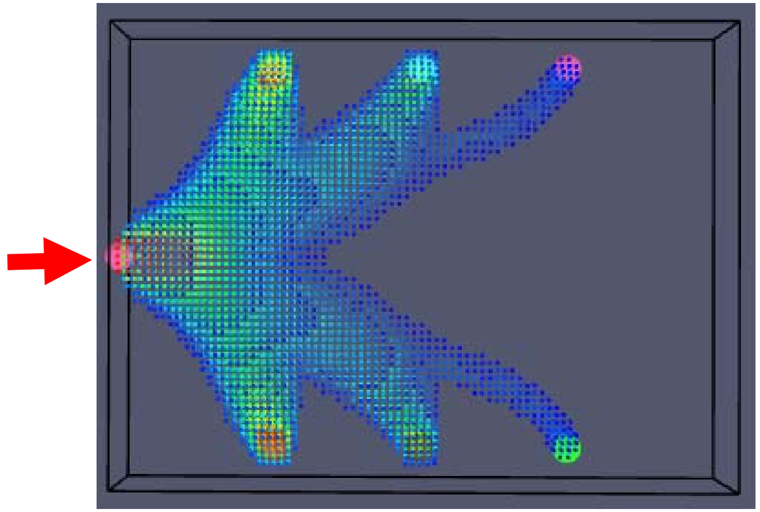
流出口が6個ある空間

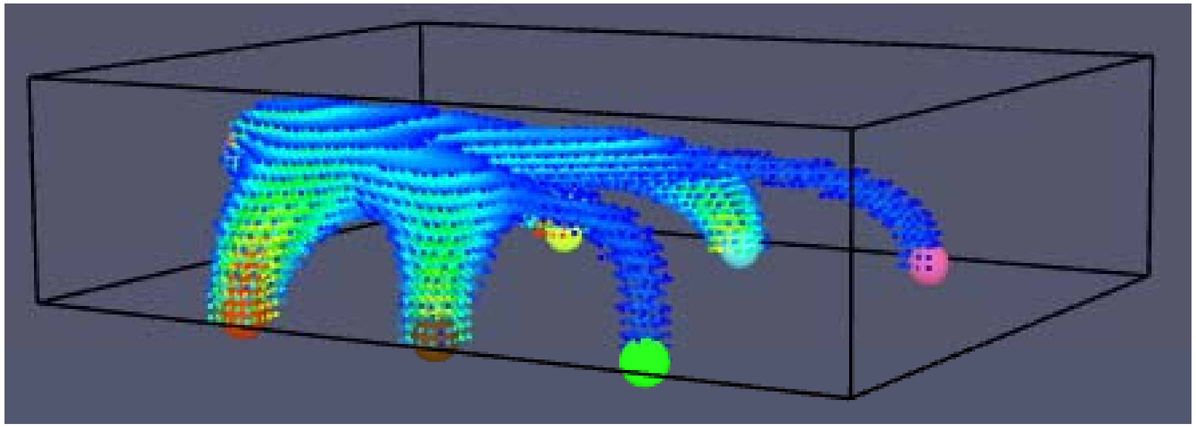


格子数：80×20×60

レイノルズ数が小さい場合

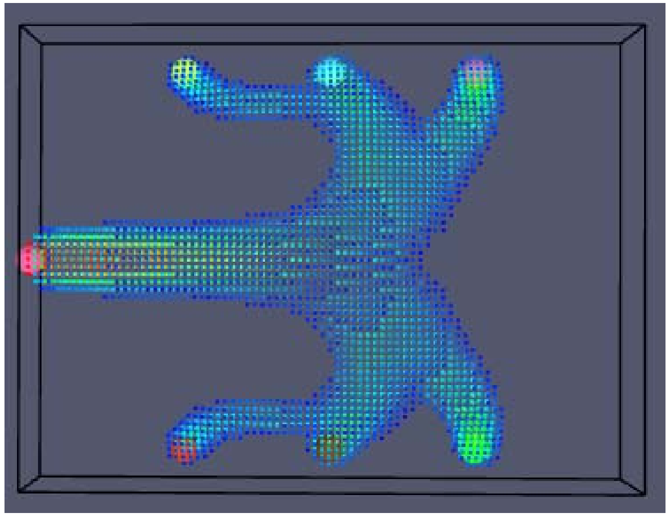
- 流速: 0.0002
- 動粘性係数: 0.4
- 壁に置換: 7回目
- 計算時間: 35分

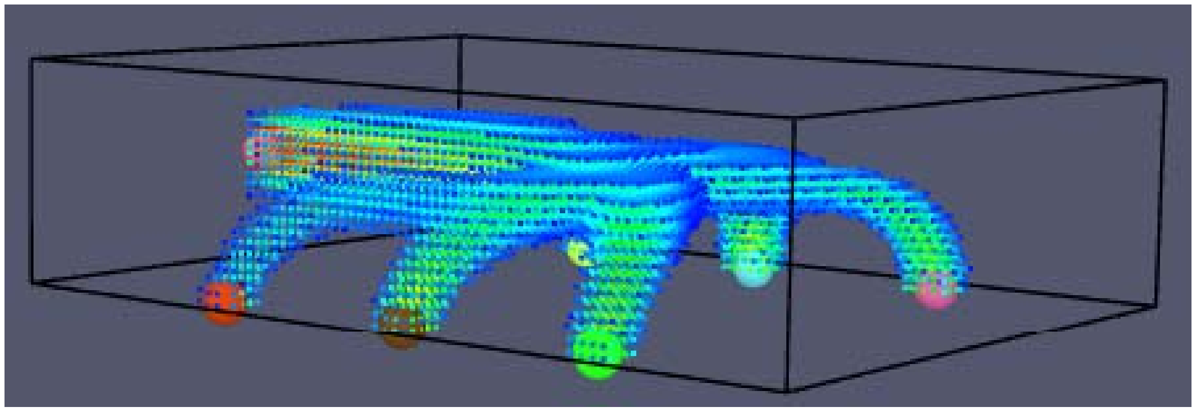




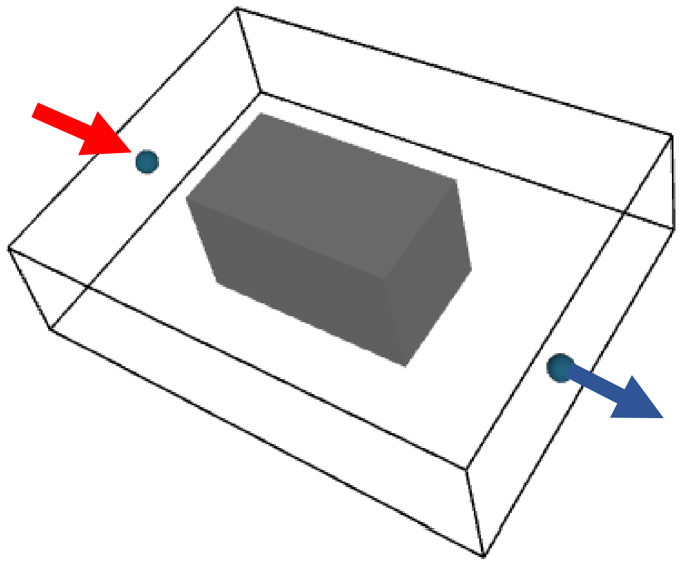
レイノルズ数が大きい場合

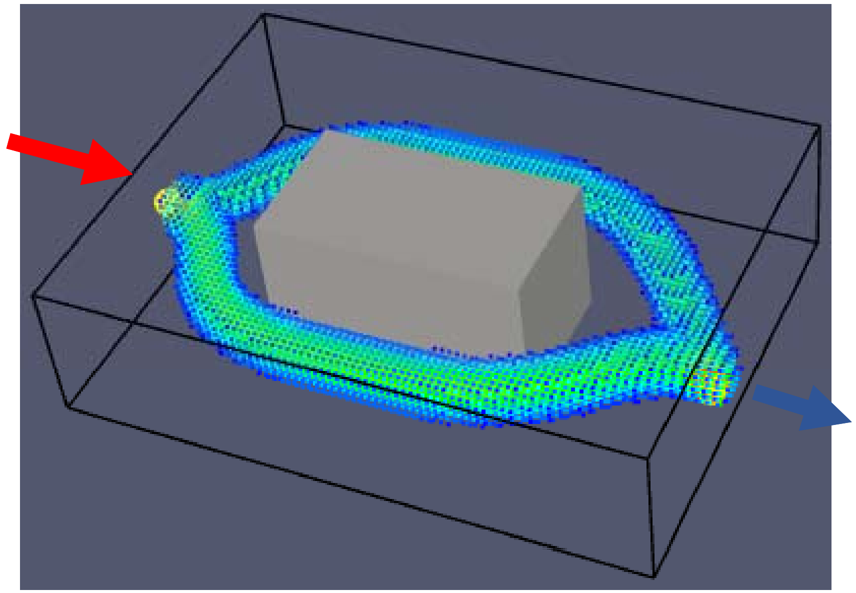
- 流速: 0.5
- 動粘性係数: 0.1
- 壁に置換: 7回目
- 計算時間: 35分





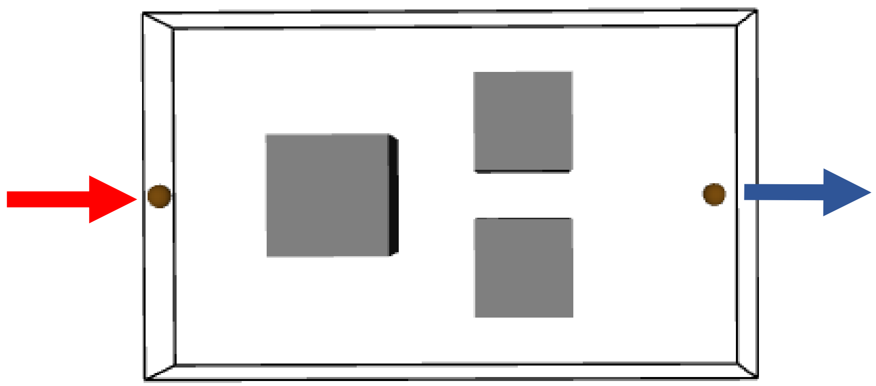
流出口１個と障害物１個がある空間



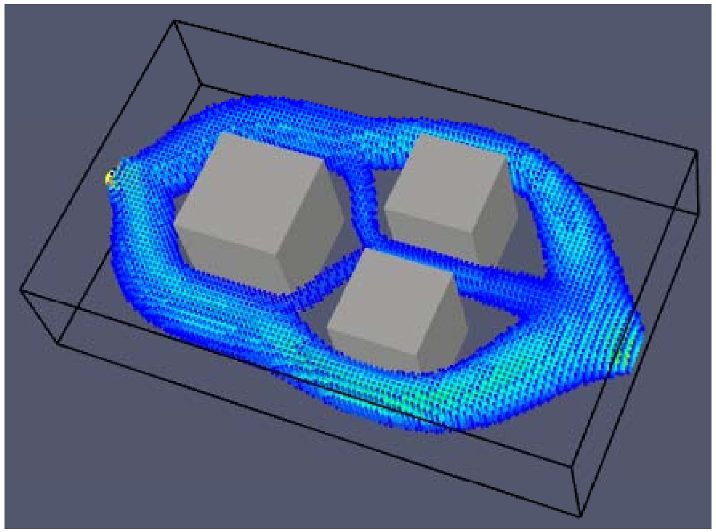


- 流速=0.01
- 動粘性係数=0.1
- 壁に置換: 7回目
- 計算時間: 33分

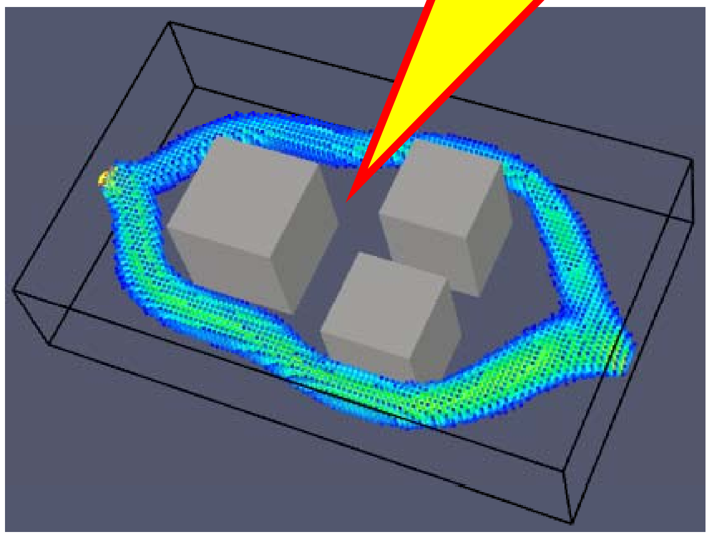
流出口1個と障害物3個がある場合



置き換え処理を繰り返すと最短経路が消える



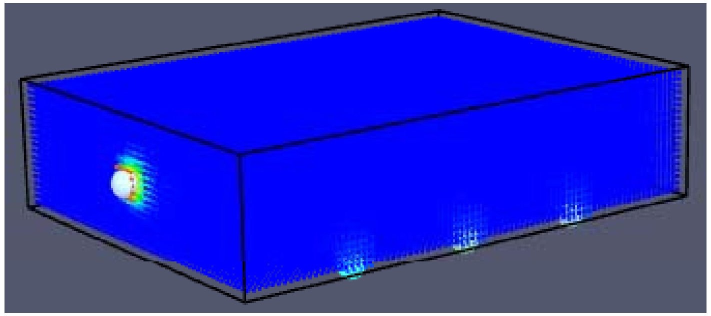
5回目



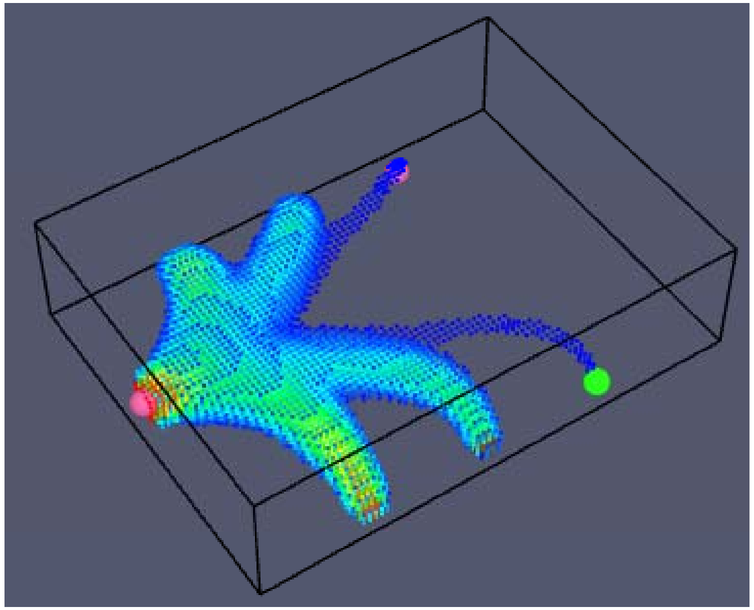
7回目

流出口が6個ある場合

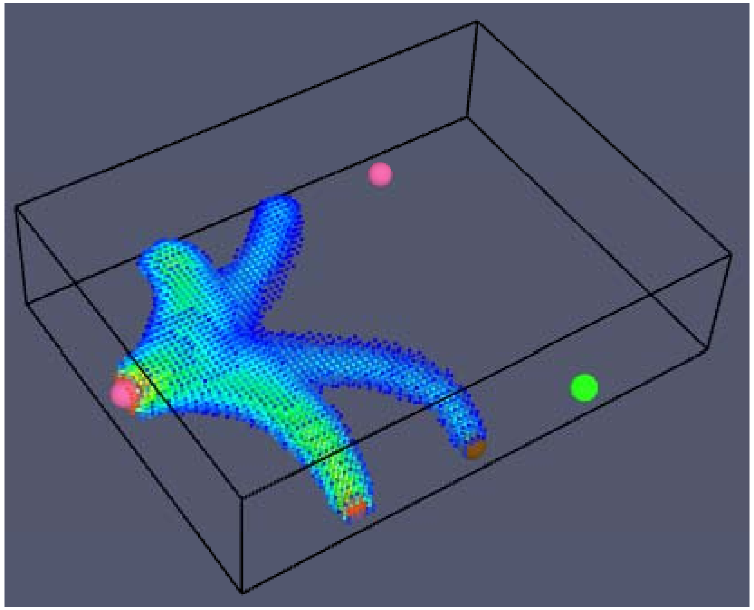
- 流速=0.01
- 動粘性係数=0.1
- 計算時間: （7回）22分
  （8回）24分



壁に置き換える前

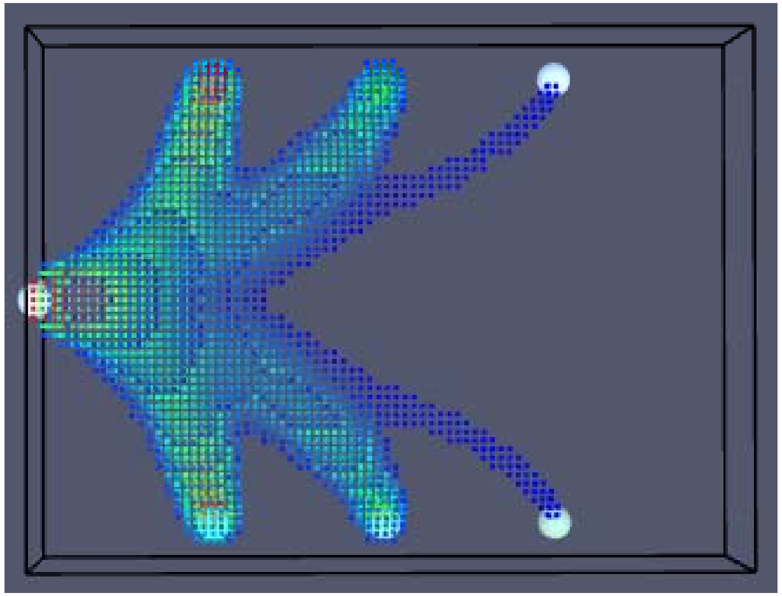


7回目

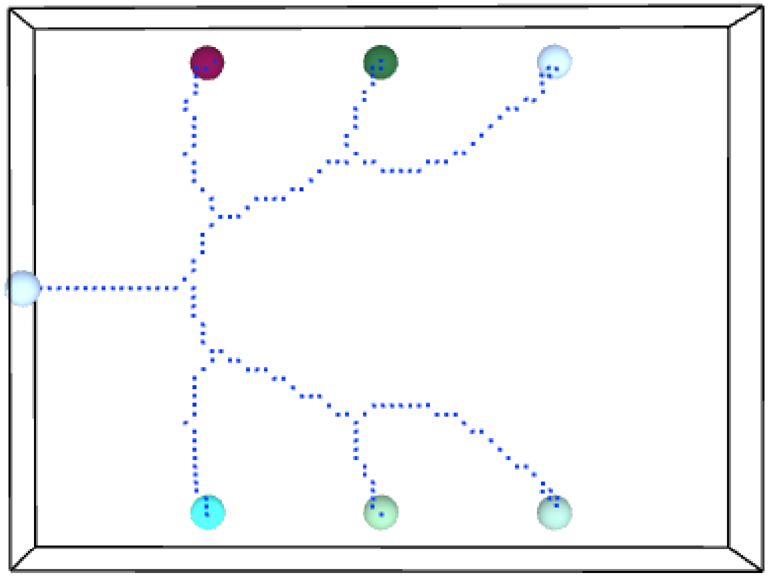


8回目

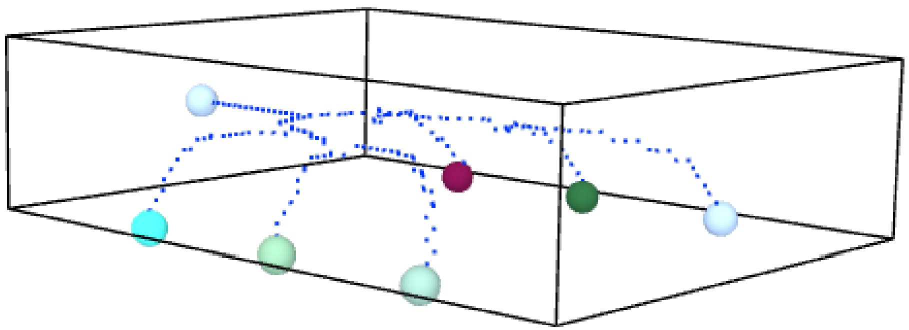
流出口が6個ある場合(細線化)



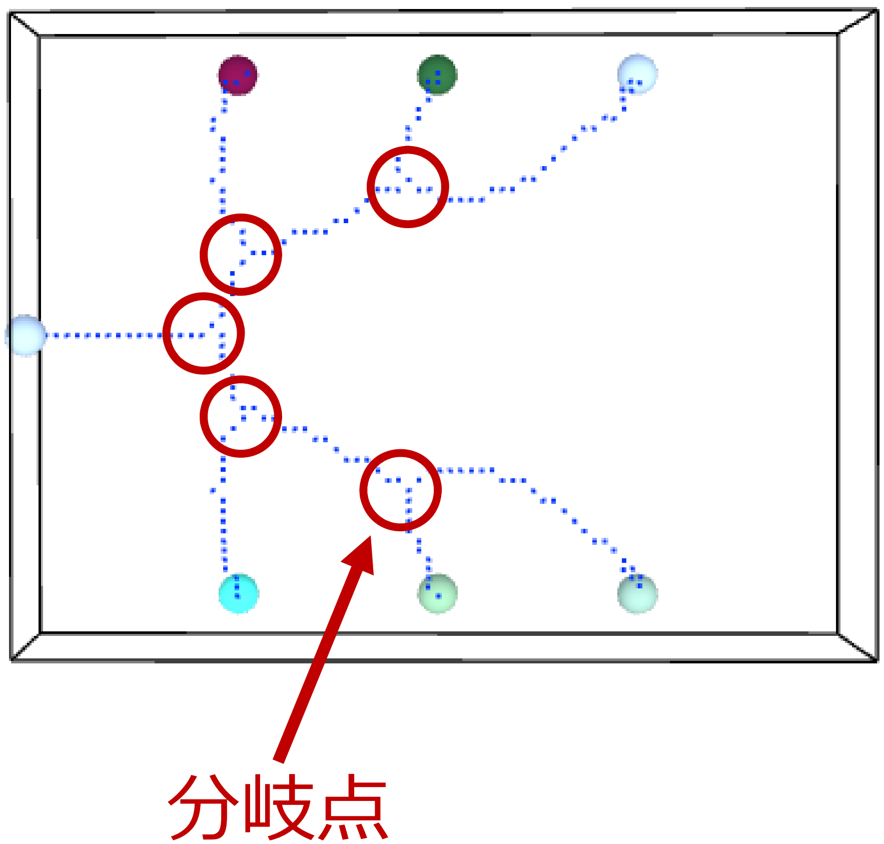
細線化前

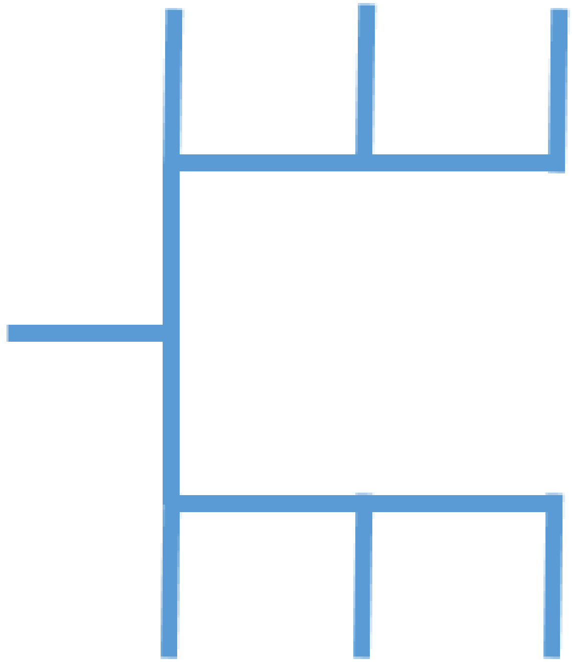


細線化後



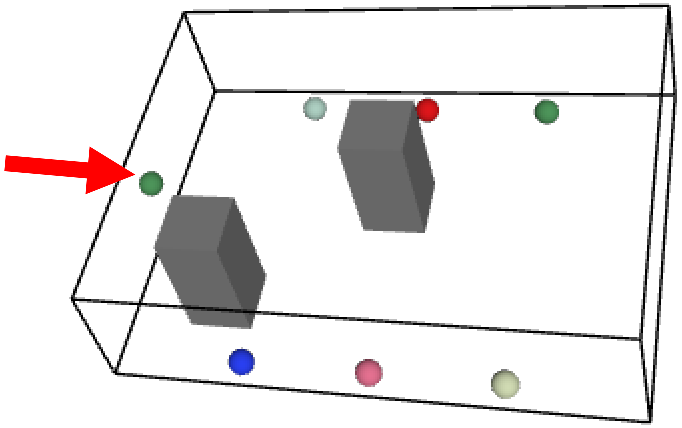
流出口が6個ある場合(細線化)

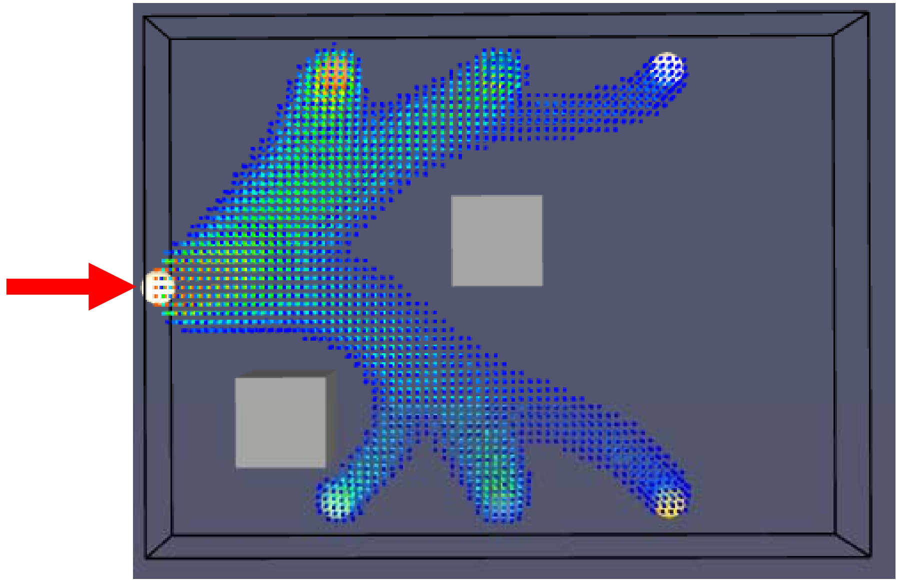




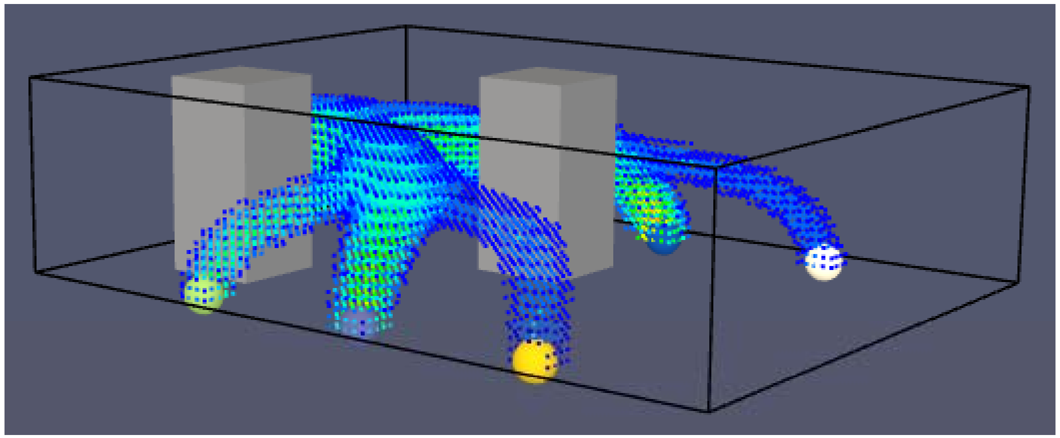
配管の系統図

流出口6個、障害物2個の場合

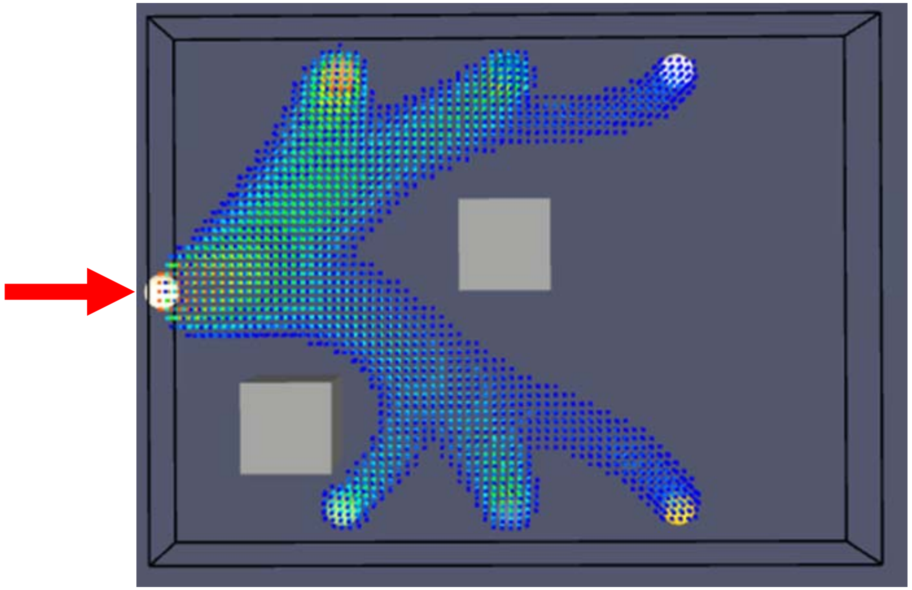




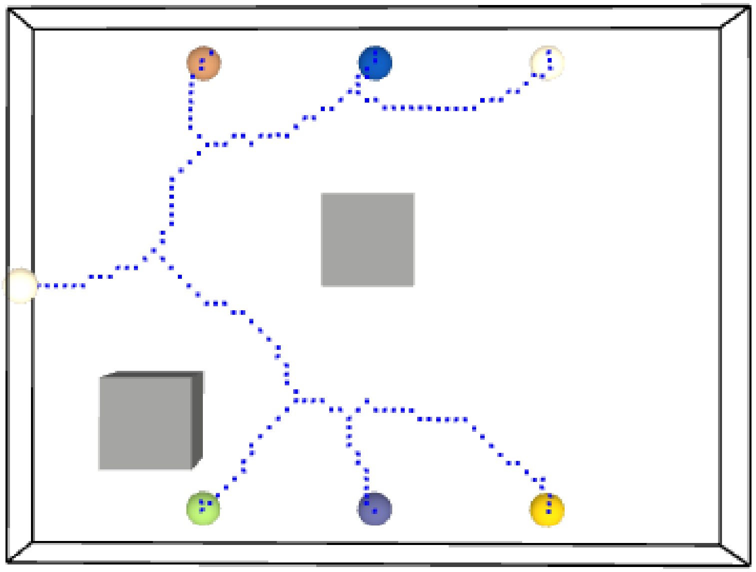
壁に置換：7回目



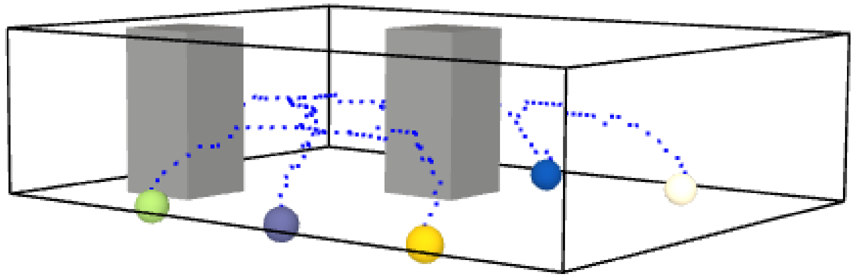
流出口6個、障害物2個の場合(細線化)



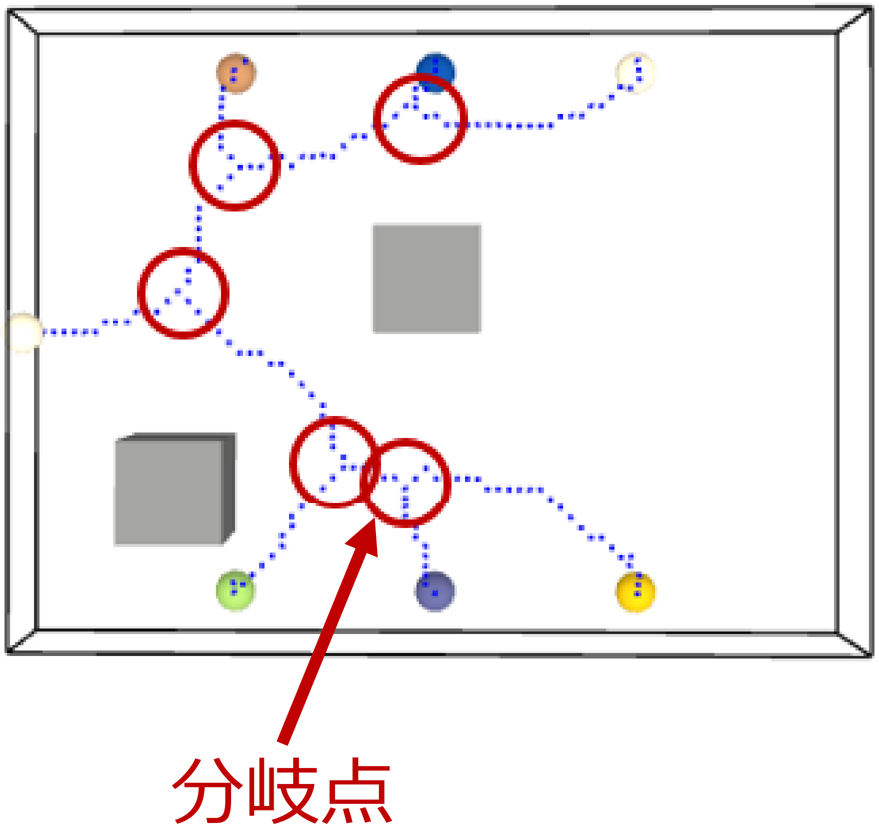
細線化前

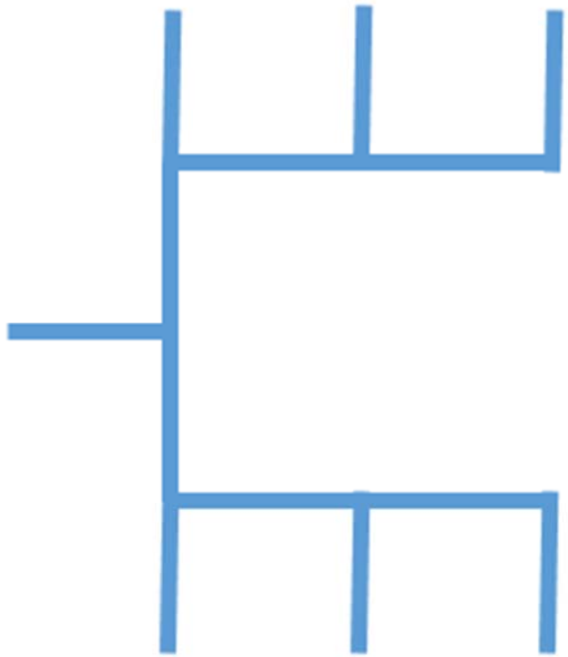


細線化後



流出口6個、障害物2個の場合 (細線化)





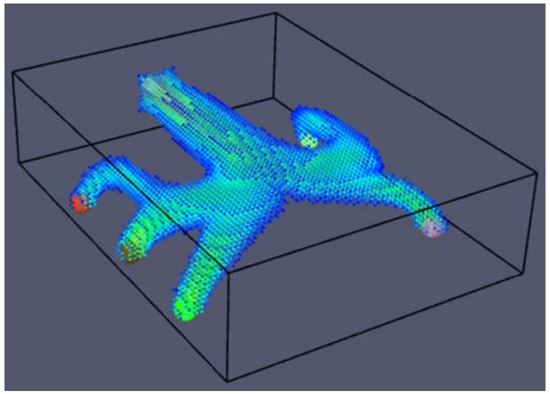
配管の系統図

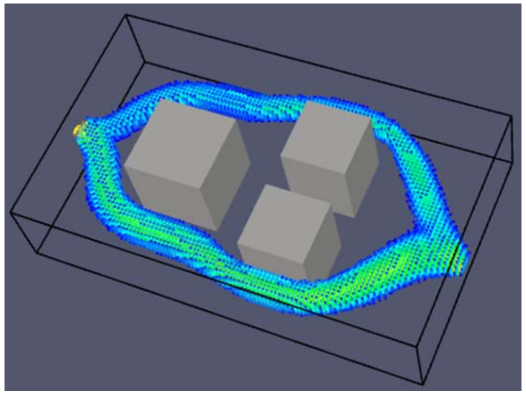
考察

- 壁を置いて再計算を繰り返すうちに、
  分岐先の経路が途切れることがある。

- レイノルズ数を適切に設定する必要がある。

- 経路の候補が複数ある場合、狭い空間の
  経路から消える傾向がみられた。

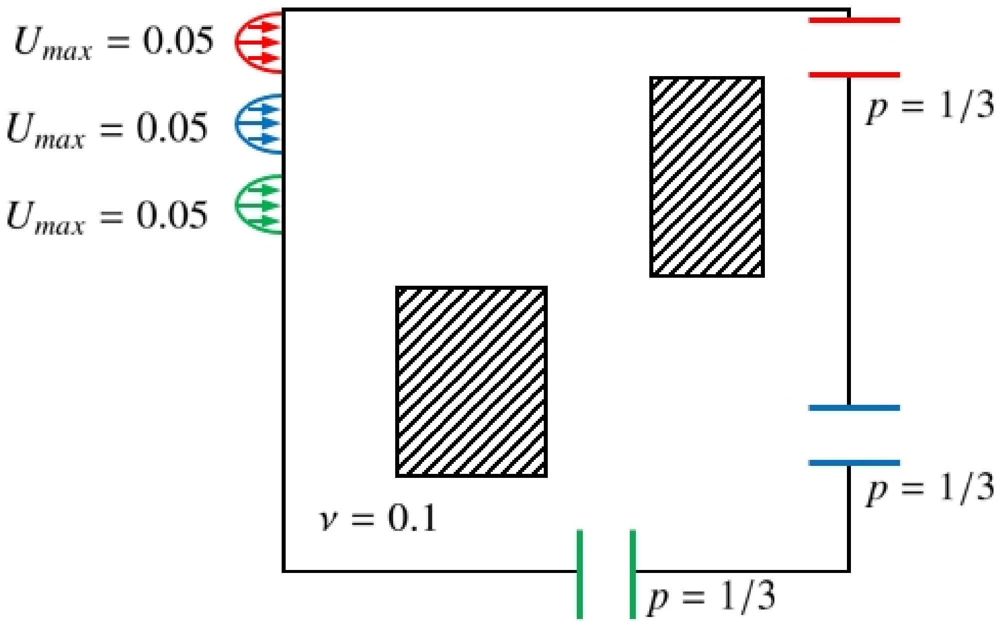


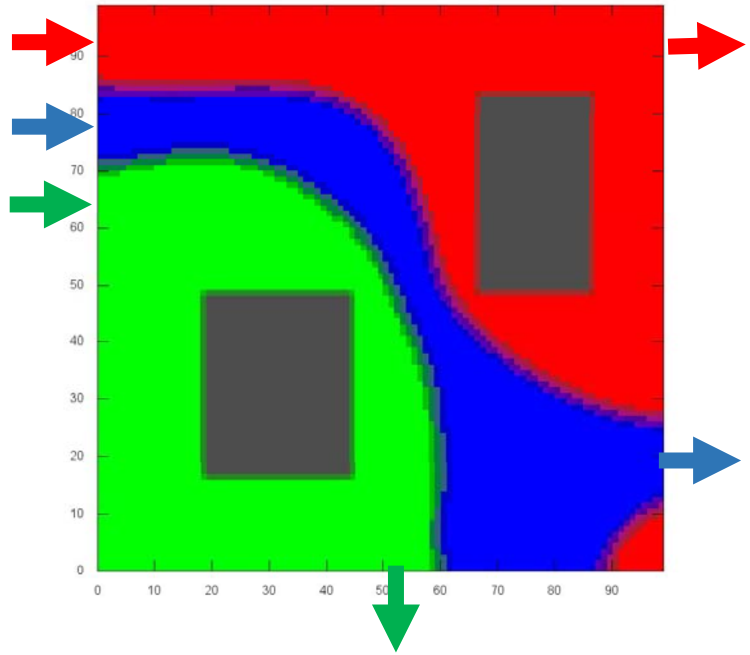


多層流のシミュレーションを利用した複数系統の配管同時設計

流体の出口は、設定した流体のみ流出し、
それ以外の流体に対して壁として働く

成功例：全ての流れの方向がほぼ同じ

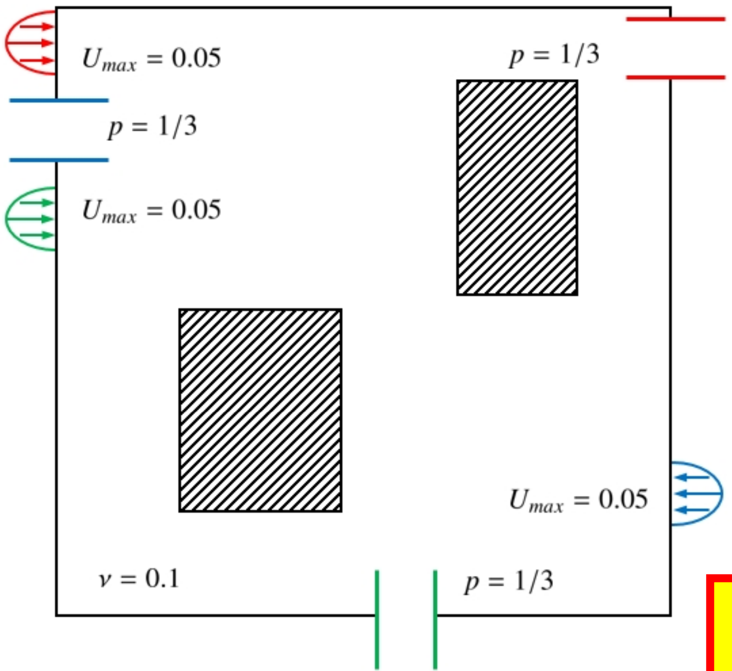


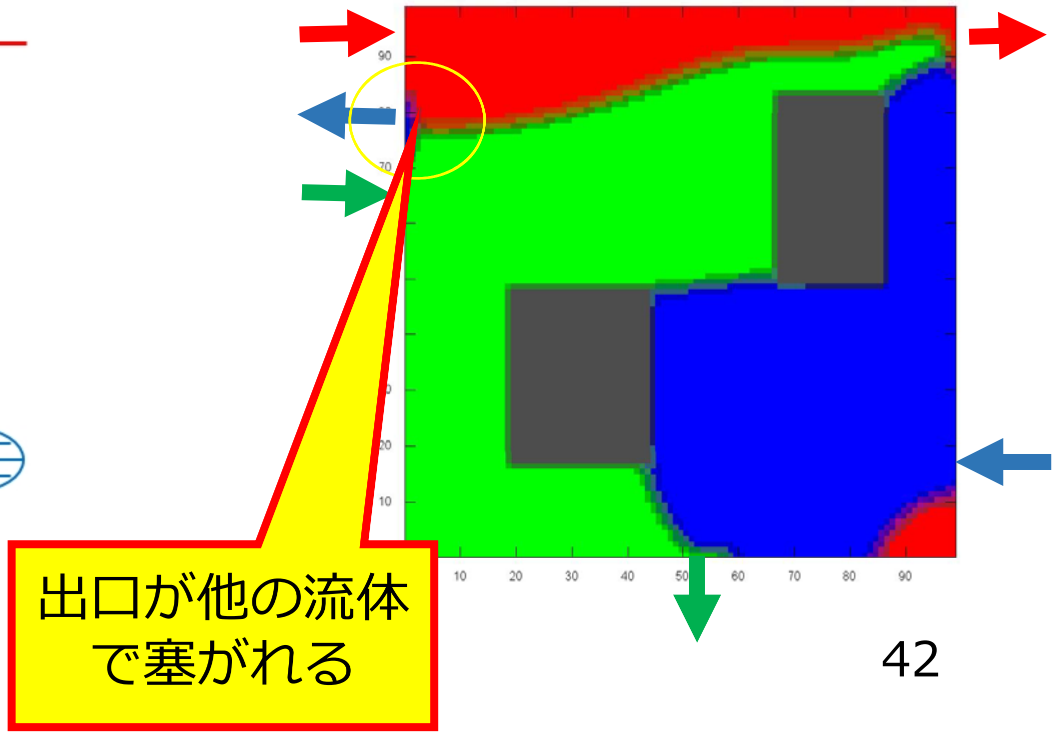


多層流のシミュレーションを利用した複数系統の配管同時設計

流体の出口は、設定した流体のみ流出し、
それ以外の流体に対して壁として働く

失敗例：互いが流れを妨げる方向へ流れる場合





発表の流れ

1. 研究の背景と目的
2. 提案手法
3. 格子ボルツマン法の説明
4. シミュレーション結果と考察
5. まとめ

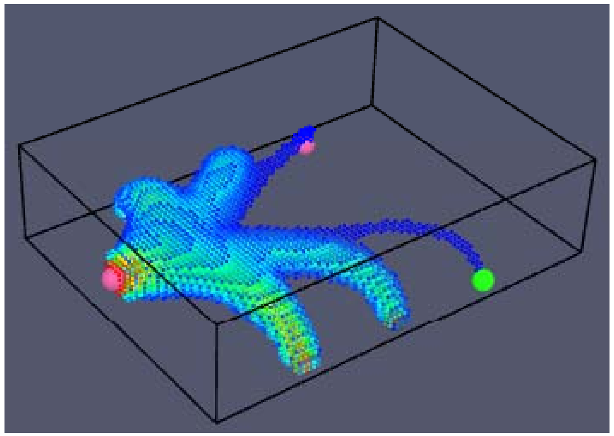
結論

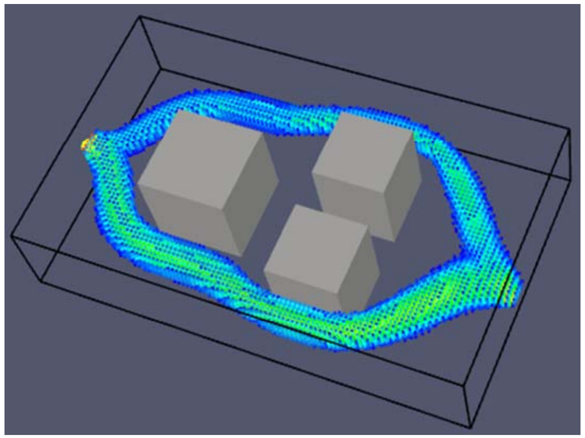
従来の経路探索や組合せ最適化とは異なる、数値流体計算を利用した分岐配管経路の自動設計手法を提案

分岐位置を決定をするのに有用

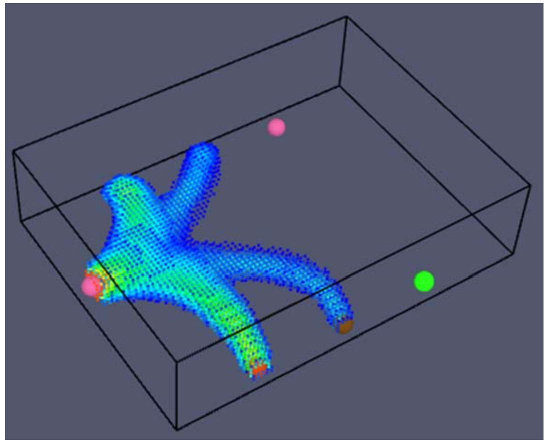
多層流による複数系統の扱いは困難

実用化にむけて解決すべき点が多い。





今後の課題



- 経路の途切れに対する対策
- 配管自動設計プログラムとの連携
- 数値流体シミュレータの妥当性の評価