

令和3年(第21回)海上技術安全研究所研究発表会

設計品質の向上に向けた 配管設計の不具合自動検出手法の開発

産業システム系 谷口 智之
ジャパン マリンユナイテッド株式会社 吉富 祐介

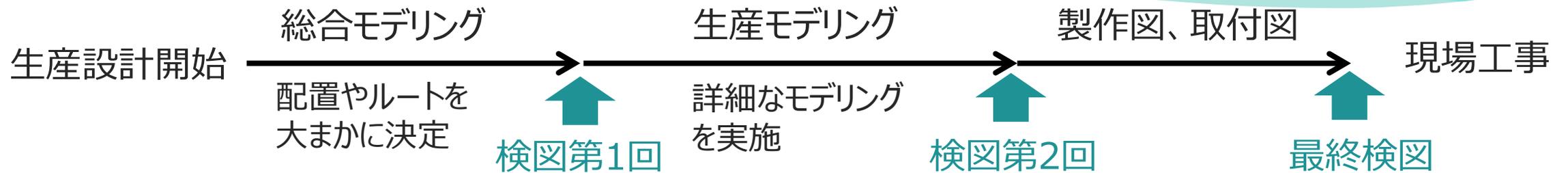


本日の内容

1. 研究背景
2. システムの全体概要
3. 配管系とグラフ表現
4. 部分グラフ同型による検出手法
5. 計算結果
6. まとめと今後

1. 研究背景

－ 配管設計の品質担保



検図作業

- ・ 図面等の品質の確保、手戻りや不具合防止のため極めて重要
- ・ 建造工程が進むに従い、設計ミス等による手戻りはインパクト大。

1. 研究背景

－ 検図の課題

(1) 膨大かつ複雑化する設計ルール

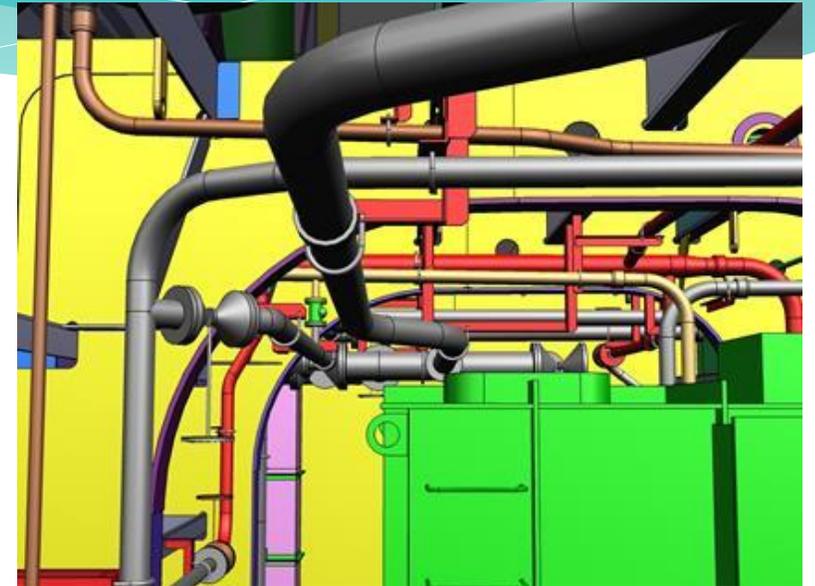
- ・数百もの規則・基準・チェックリストを参照しながら設計
- ・建造船の高度化、規則・基準の複雑化

(2) 膨大な実績情報の有効活用

- ・「膨大な情報」を処理する余裕が無く、宝の山が掘り出せていない。

(3) 熟練者の不足

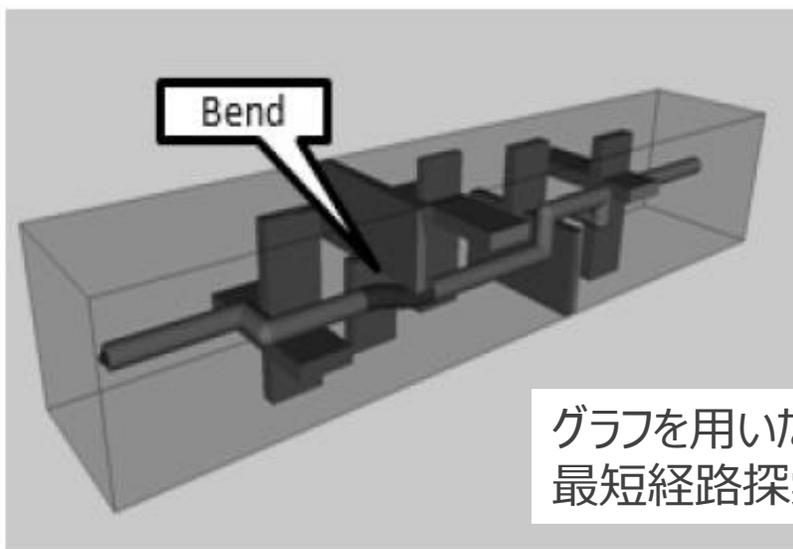
- ・限られた設計期間内での正確な検図はベテランのノウハウそのものであり、育成には時間がかかる。



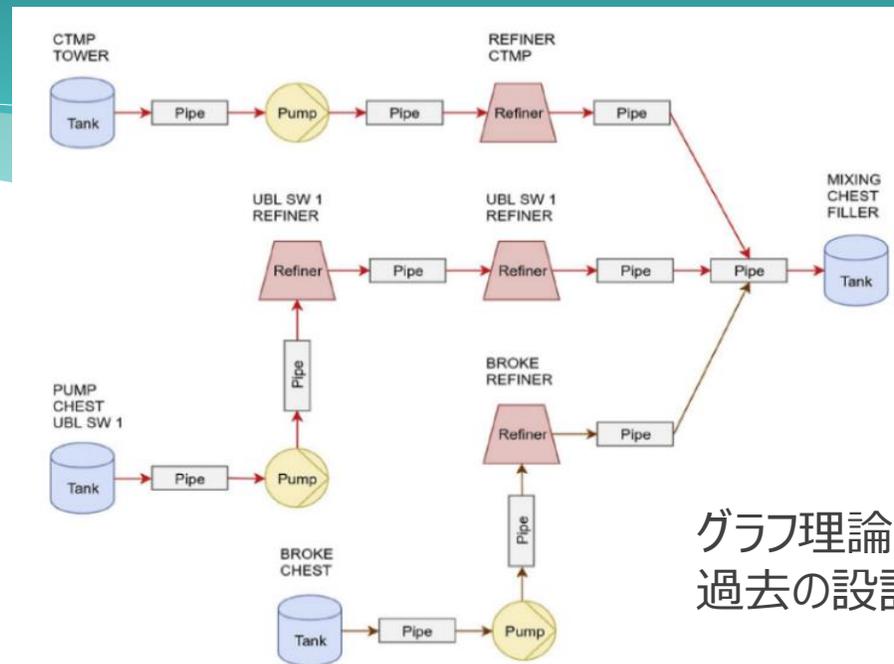
目視やノウハウ依存の検図作業に対するAI，ICT技術等を活用した設計支援

1. 研究背景

— 関連研究と本研究



エルボおよびバンドを考慮した配管設計アルゴリズム: 安藤悠人, 木村元, 2012



Applying graph matching techniques to enhance reuse of plant design information: Miia Rantala, Hannu Niemistö, Tommi Karhela, 2019

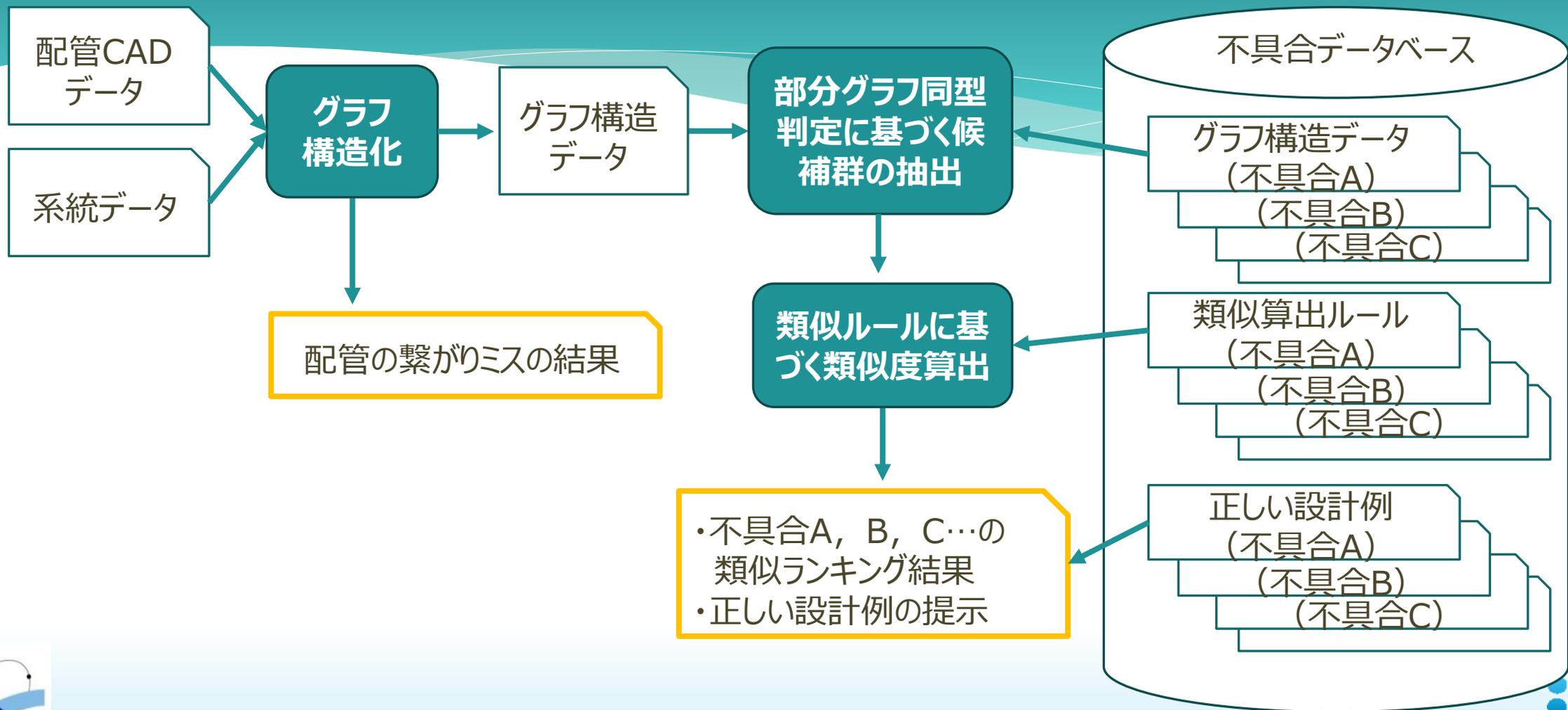
- 過去に経験した設計不具合に関するデータは存在
- それと近い設計を検出することで、設計不具合の検出を実現できるのでは？

⇒ グラフ理論に着目、過去の不具合と類似する設計を検出する手法

本日の内容

1. 研究背景
2. システムの全体概要
3. 配管系とグラフ表現
4. 部分グラフ同型による検出手法
5. 計算結果
6. まとめと今後

2. システムの全体概要

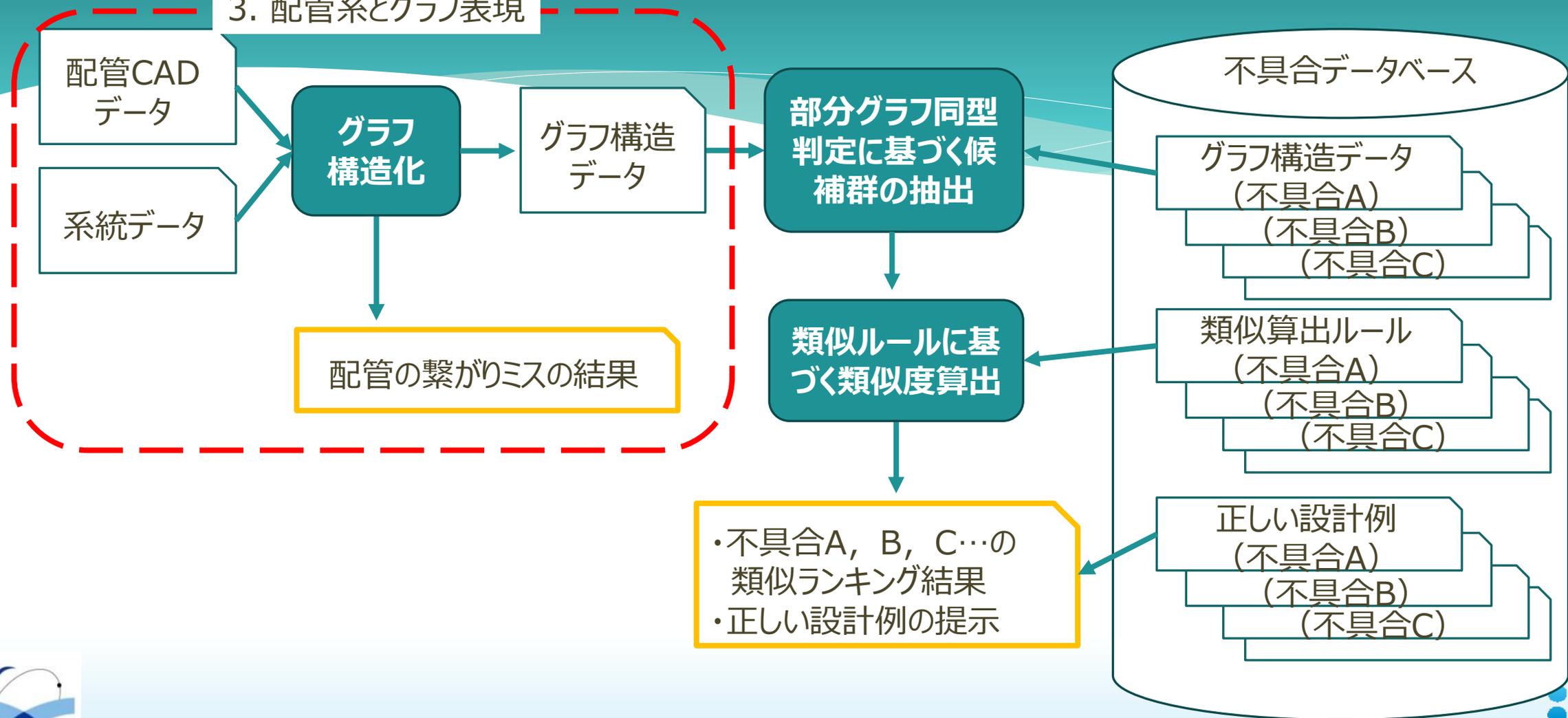


本日の内容

1. 研究背景
2. システムの全体概要
3. 配管系とグラフ表現
4. 部分グラフ同型による検出手法
5. 計算結果
6. まとめと今後

2. システムの全体概要

3. 配管系とグラフ表現



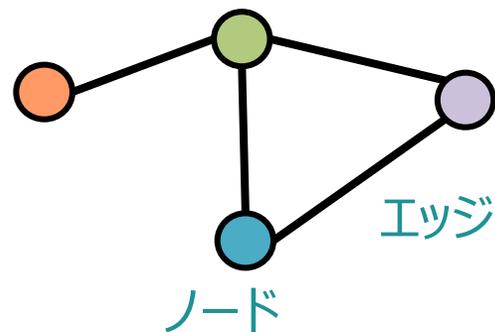
3. 配管系とグラフ表現

– グラフ表現

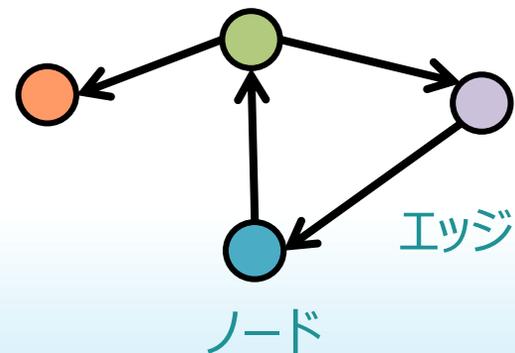
$G = (V, E)$: 頂点・ノードの集合 V とそのノード間の辺を定義するエッジ E で構成される集合の組

※Reinhard Diestel, Graph Theory

無向グラフ G

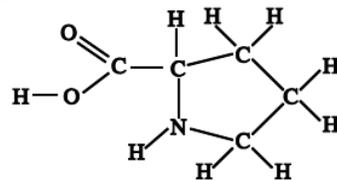


有向グラフ G



分子構造のグラフ表現

Chemical graph



feature vector/
kernel method ↓

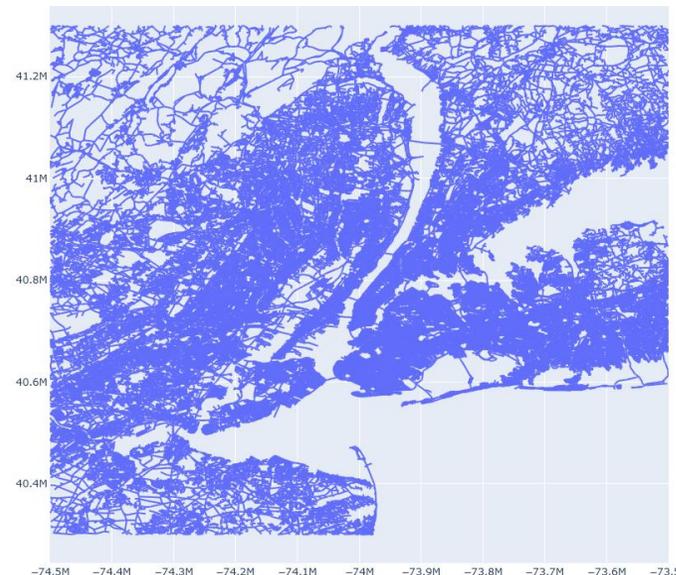
↑ pre-image

Feature vector

C	N	O	H	CC	CN	CO	CH	NC	NN	...	HO	HH
5	1	2	9	8	2	3	7	2	0	...	1	0

Comparison and Enumeration of Chemical Graphs, Tatsuya Akutsu, etc., 2013

交通網 (ニューヨーク周辺)



9th DIMACS Implementation Challenge - Shortest Paths

3. 配管系とグラフ表現 - グラフ表現

プラント配管のグラフ表現 (無向グラフ)

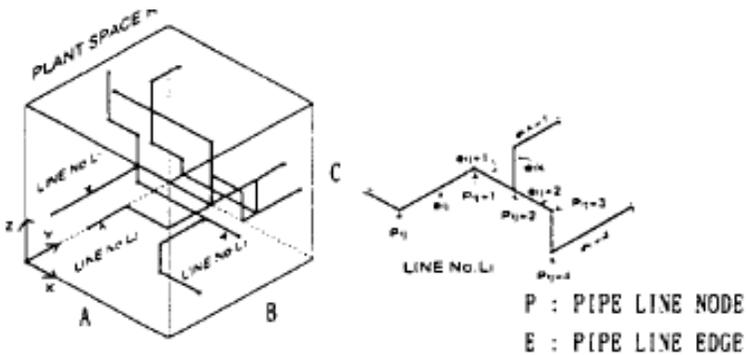
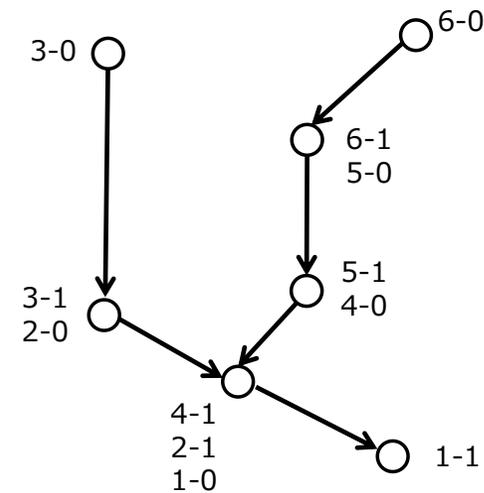
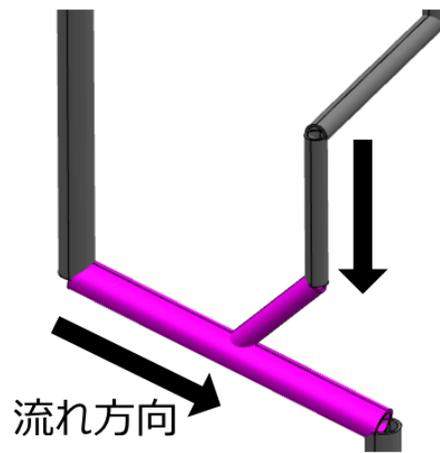


図 1 プラント座標系と配管ライン説明図

プラント配管CADにおける空間の取り扱い（基本モデルとその応用）,山田康吉ら, 1995

【本研究】造船における配管系のグラフ表現



有向グラフ

ノード

- 管一品の中心線における端部の座標値
- 区画名
- 口径 など

エッジ

- ベクトルなど

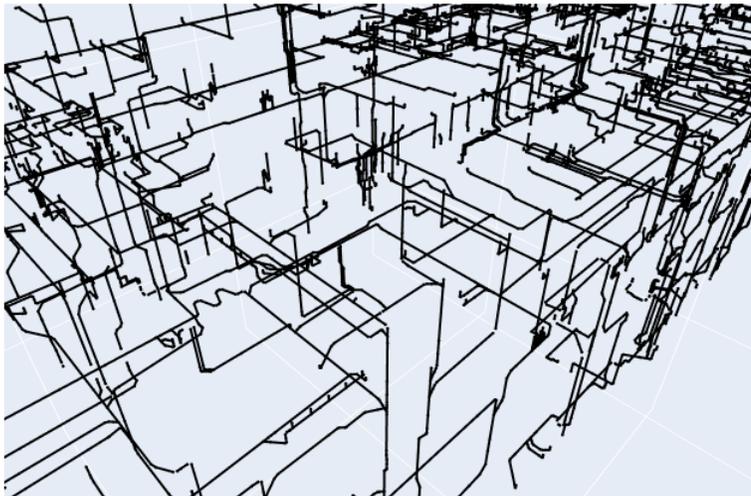
配管系の繋がりと流れの向きを有向グラフとして定義
(流れの向きが設計不具合に大きく関与する)

3. 配管系とグラフ表現

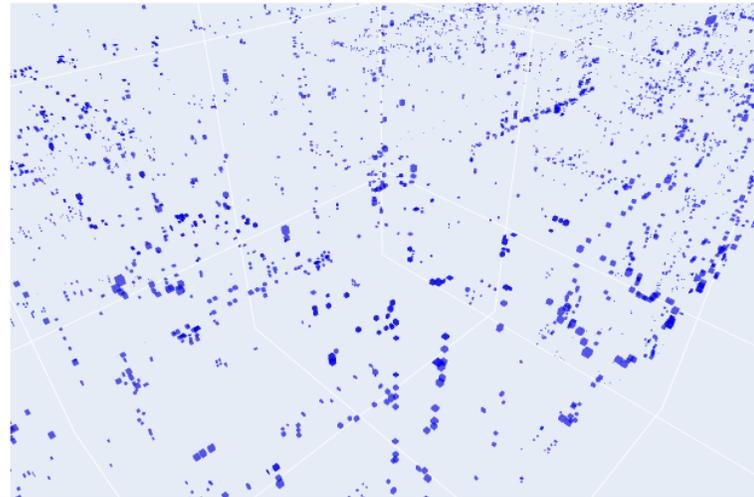
ー 非グラフ構造データのグラフ構造化

非グラフ構造データとして使用するもの（インプットデータ相当）

①配管設計系のCADデータ



管一品毎のライン



形状パーツ

- ・エルボや弁，機器など
- ・今回はバウンディングボックスで代用

②システムデータ

F_NAME	GS_ID	ゴール1	ゴール2	シンボル名
SD POINT				
ゴール	SD-G022			舷外吐出
ゴール	SD-G023			舷外吐出
ゴール	SD-G024			舷外吐出
スタート	SD-S001	SD-G001	なし	エアコン
スタート	SD-S002	SD-G001	なし	エアコン
スタート	SD-S003	SD-G001	なし	シンク
スタート	SD-S004	SD-G001	なし	手洗器
スタート	SD-S005	SD-G001	なし	排水口金物
スタート	SD-S006	SD-G001	SD-G002	エアコン
スタート	SD-S007	SD-G001	なし	ユニットバス
スタート	SD-S008	SD-G001	なし	通気管
スタート	SD-S009	SD-G001	SD-G002	エアコン
スタート	SD-S010	SD-G001	SD-G002	エアコン
スタート	SD-S011	SD-G001	SD-G002	洗面台
スタート	SD-S012	SD-G001	なし	排水口金物(浴槽)
スタート	SD-S013	SD-G001	なし	排水口金物(浴槽)
スタート	SD-S014	SD-G001	なし	浴槽

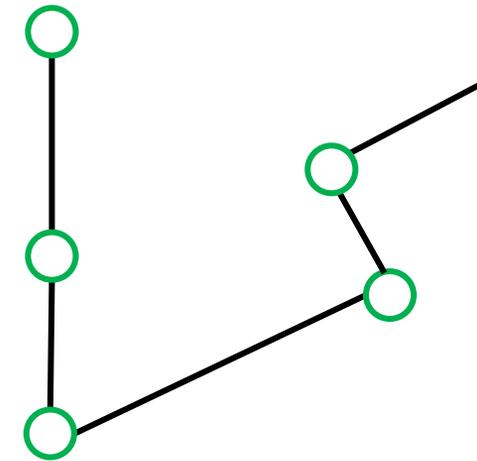
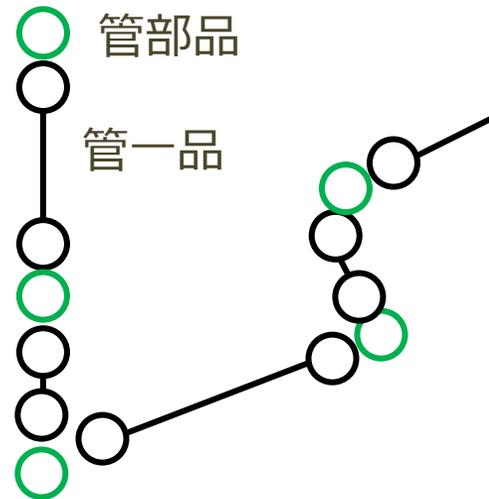
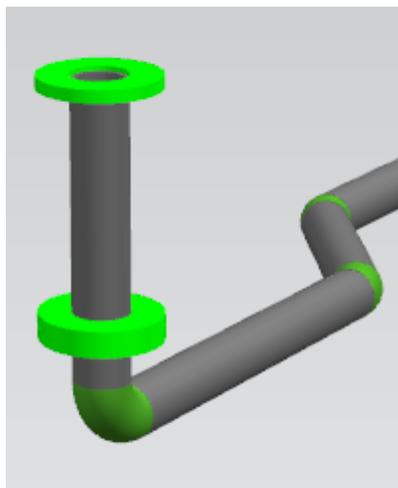
始点と終点の連結情報

- 例) 洗面台A ⇒ 船外吐出口A
浴槽A ⇒ 船外吐出口A

3. 配管系とグラフ表現

ー 非グラフ構造データのグラフ構造化

- Step1 : 配管設計系CADデータより, グラフのノードとエッジを生成
- Step2 : 指定する半径R範囲内に存在する場合は, 1つのノードとして縮約する.
- Step3 : 形状パーツの内部に他の点が存在する場合は, 1つのノードとして縮約する.



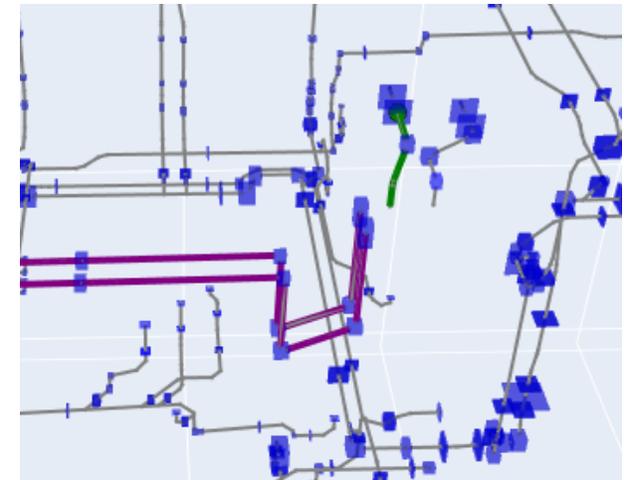
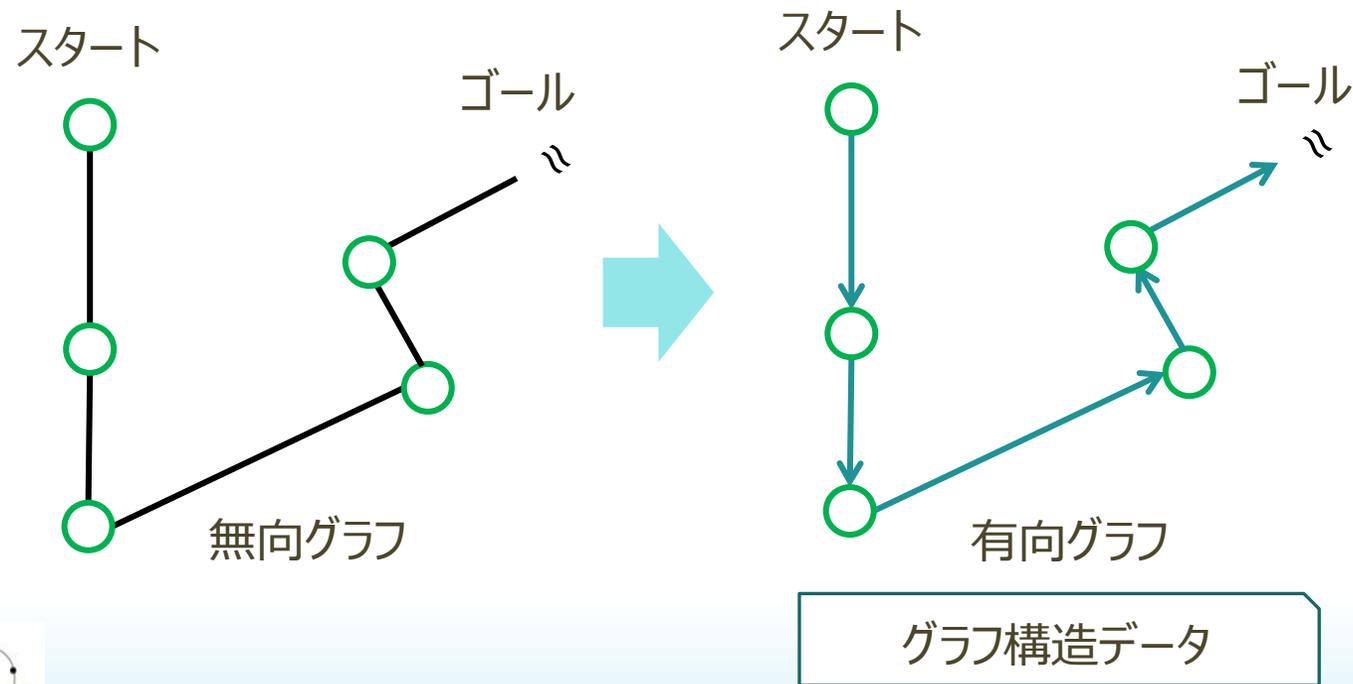
この時点では無向グラフ

3. 配管系とグラフ表現

ー 非グラフ構造データのグラフ構造化

Step4 : Step1~Step3で構築した無向グラフに対して, スタート点とゴール点に相当するノードを検索し, その2点間のノードをつなぐ最短経路を, ダイクストラ法*を用いて検索する. 結果の経路の順に流れの向きを付与し, 有向グラフを構築する. また, 双方向の流れも許可する.

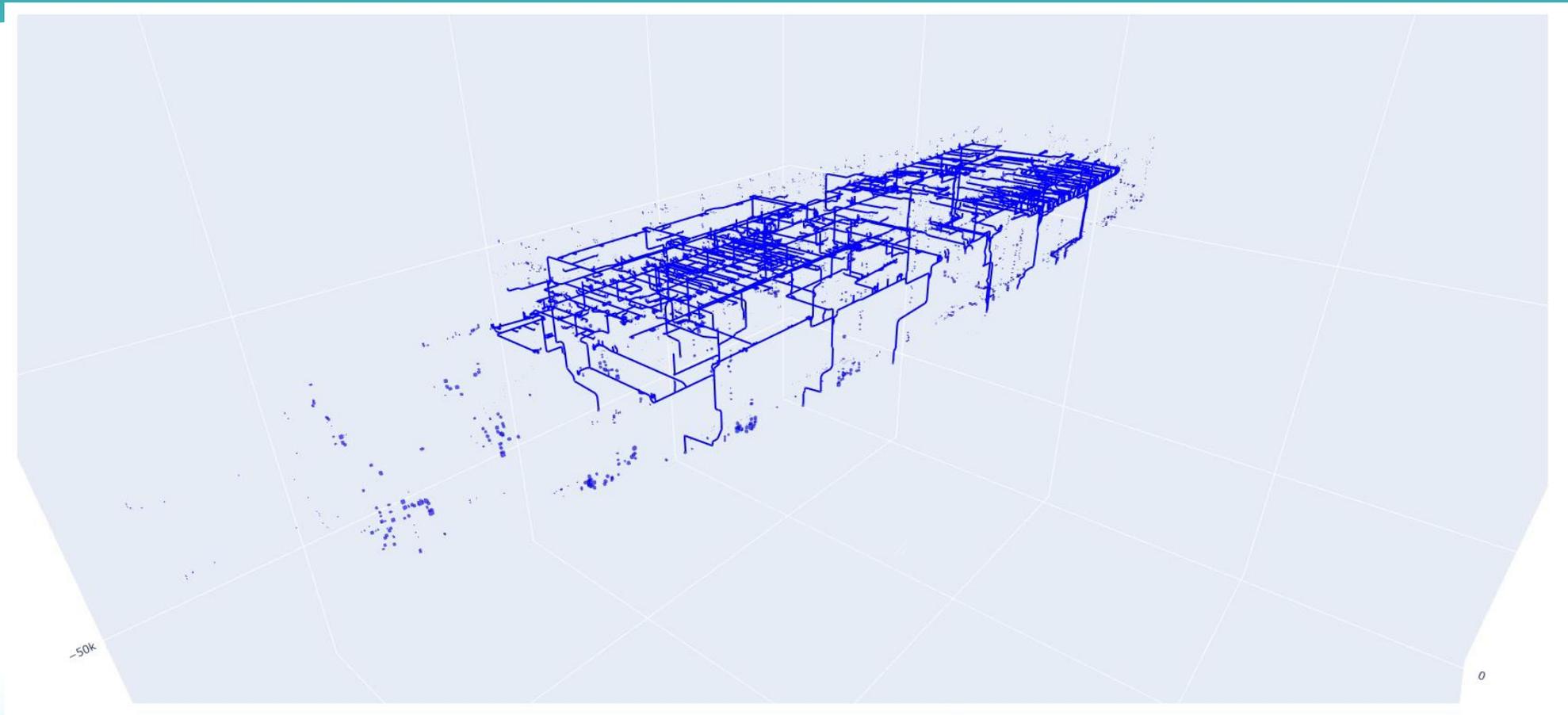
* A note on two problems in connexion with graphs, E. W. Dijkstra, Numerische Mathematik, vol.1, 1959



スタートとゴール間の接続が存在しない

配管の繋がりミスの結果

3. 配管系とグラフ表現 - 非グラフ構造データのグラフ構造化

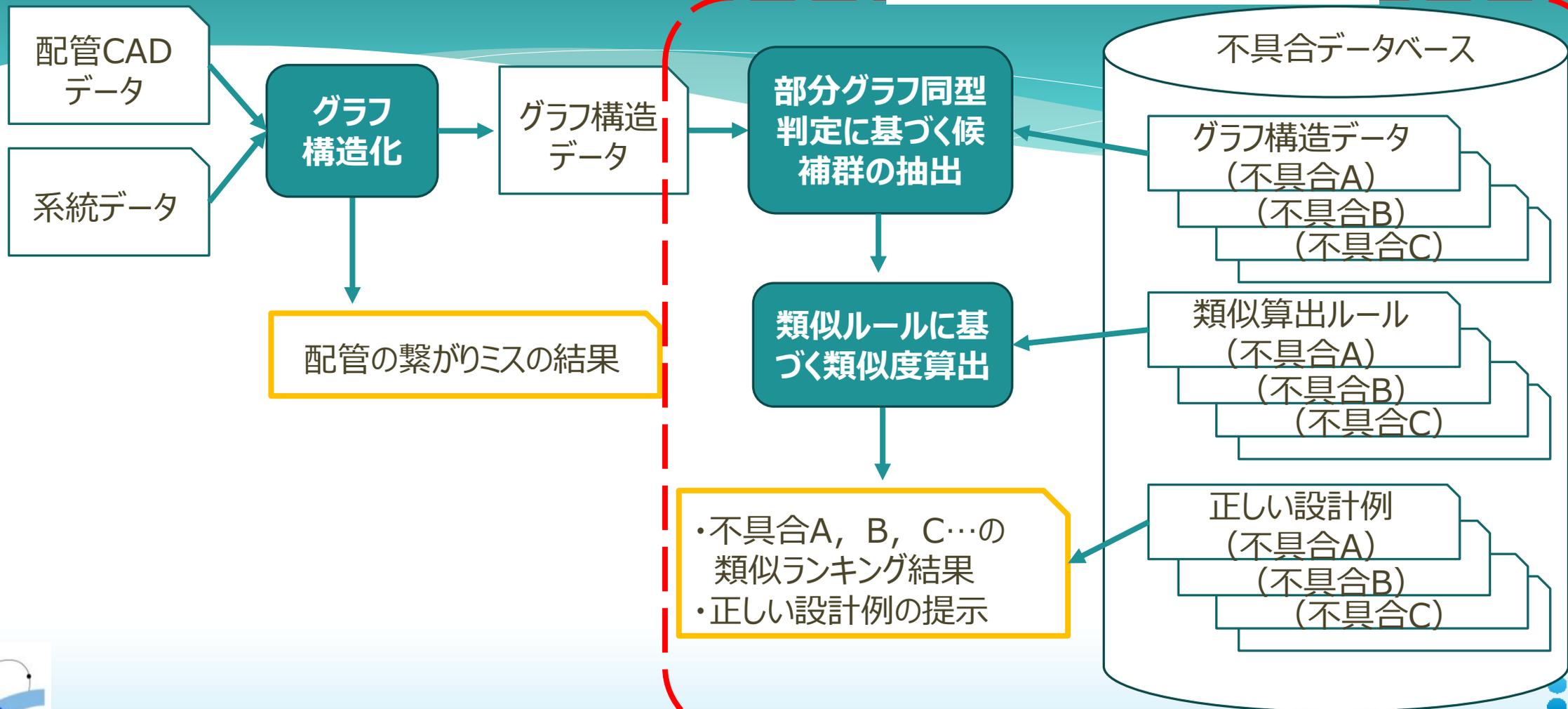


本日の内容

1. 研究背景
2. システムの全体概要
3. 配管系とグラフ表現
4. 部分グラフ同型による検出手法
5. 計算結果
6. まとめと今後

2. システムの全体概要

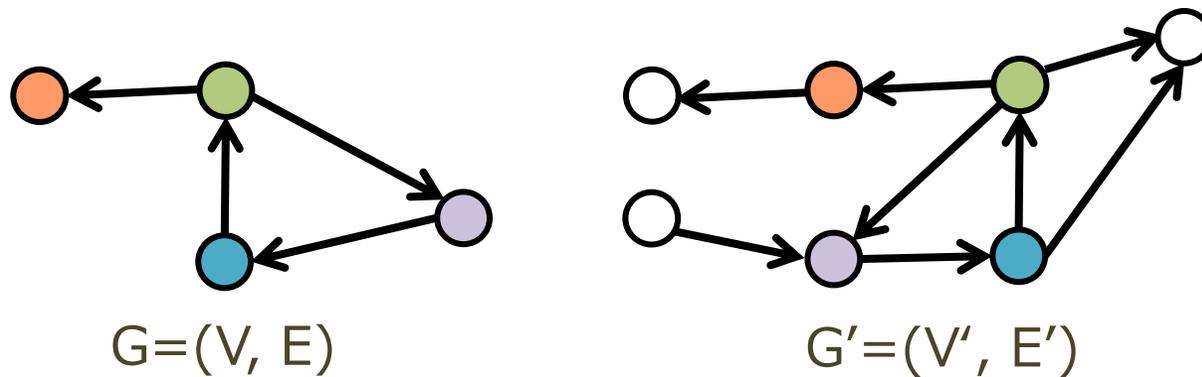
4. 部分グラフ同型による検出手法



4. 部分グラフ同型による検出手法

– 部分グラフ同型とは？

G の任意の2つのノードとその2つで構成されるエッジに対して、ある単射写像 f を用いて G' のノードとエッジに写像できる場合、 G と G' が同型と呼ぶ。



単射写像 $f: V \rightarrow V'$ が存在
 $x, y \in V, xy \in E$
 $f(x)f(y) \in E'$
 $\Rightarrow G$ は G' の部分グラフ同型

設計案のグラフの中から不具合のグラフとして部分同型であるグラフを抽出 *

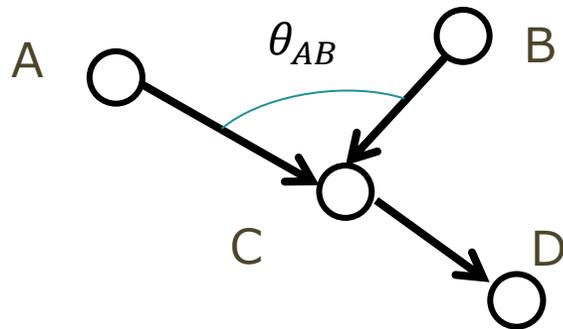
* The design and analysis of computer algorithms, Alfred V. Aho, John E. Hopcroft, Jeffrey D. Ullman, Addison-Wesley Publishing, pp84-86, 1974

4. 部分グラフ同型による検出手法 - 類似度算出ルール

例) 不具合A: 逆向きの合流

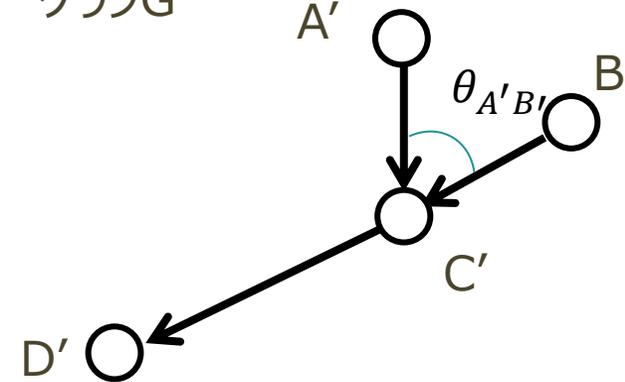
グラフ構造データ (不具合A: 逆向きの合流)

グラフG



部分同型グラフ (設計中のグラフ構造データから)

グラフG'



部分グラフ同型

$A \Leftrightarrow B'$
 $B \Leftrightarrow A'$
 $C \Leftrightarrow C'$
 $D \Leftrightarrow D'$

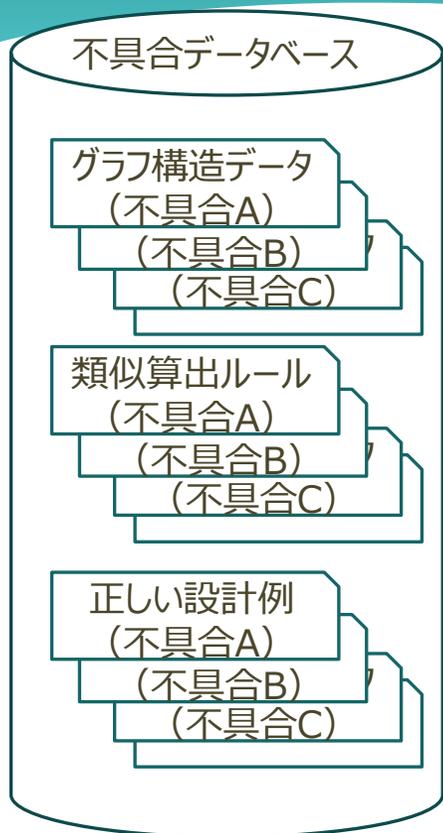
類似算出ルール (不具合A)

$$\text{類似度} = \begin{cases} 1.0 & \text{if } \theta_{AB} > 90^\circ \\ 0.0 & \text{else} \end{cases}$$

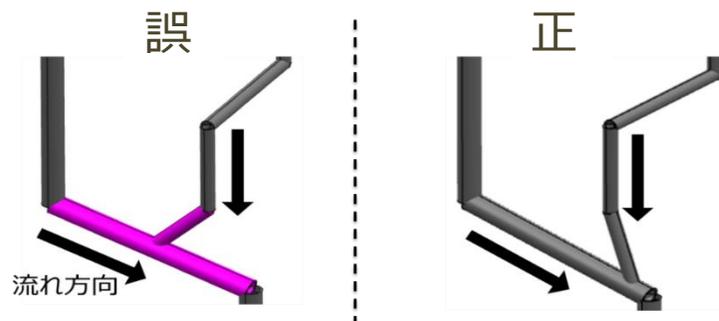
類似度 = 0.0

A'とB'が入れ替わったパターンの同型も存在するが, 類似度の高い方を採用

4. 部分グラフ同型による検出手法 - 不具合データベース



不具合A：逆向きの合流

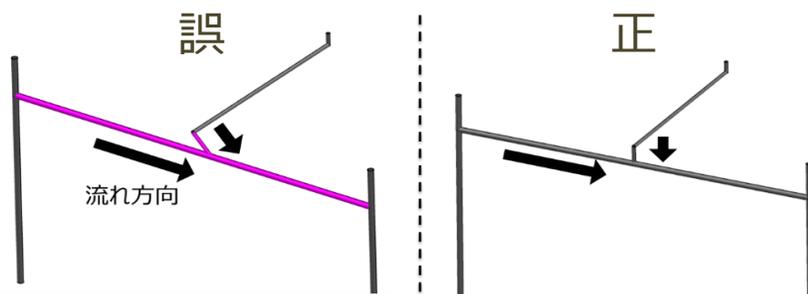


$$\text{類似度} = \begin{cases} 1.0 & \text{if 合流角度} > 100^\circ \\ 0.0 & \text{else} \end{cases}$$

許容範囲を考慮

不具合B：機能的水平配管*への誤った接続

※2つ以上の排水経路がある水平配管



$$\text{類似度} = \begin{cases} 1.0 & \text{if 水平部が存在 \& 分岐角度が} 100^\circ \text{以上} \\ 0.0 & \text{else} \end{cases}$$

不具合データを追加することで、検出できる不具合の種類を拡張できる。

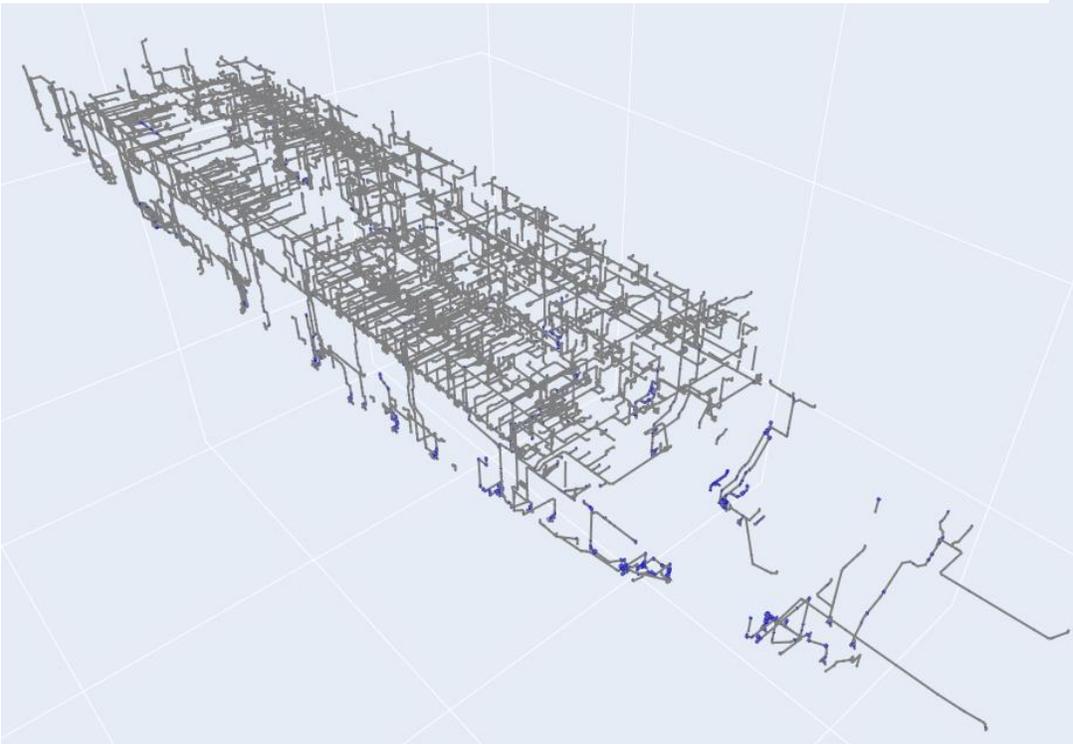
本日の内容

1. 研究背景
2. システムの全体概要
3. 配管系とグラフ表現
4. 部分グラフ同型による検出手法
5. 計算結果
6. まとめと今後

5. 計算結果

ー 計算対象と条件

対象とした設計案（排水管系統のみ）



<対象>

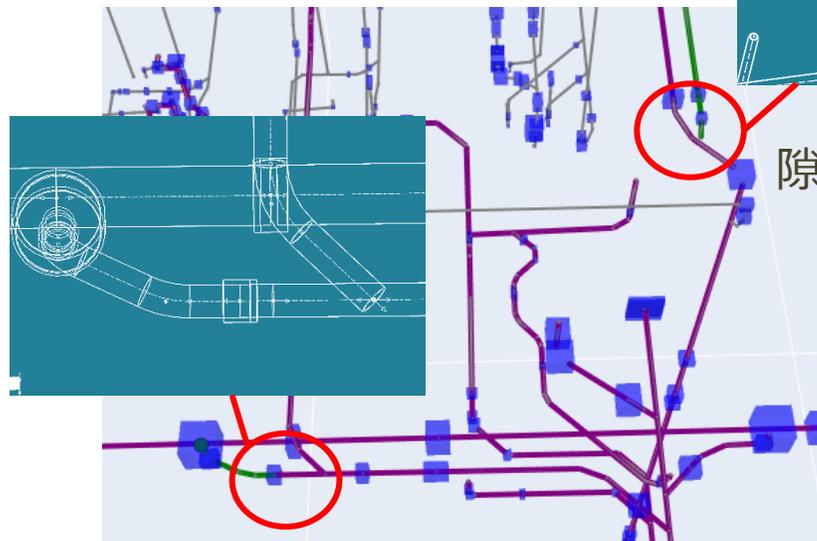
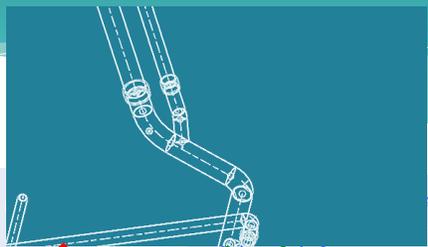
- 1隻分の排水管系統
- 管一品の本数は約2万本

<評価>

- 不具合を人為的に作成し，検出結果と比較
 - 不具合A：2箇所
 - 不具合B：4箇所
- 作成した不具合以外は正しいものと仮定
- 配管の繋がりミスは，検出結果をベテランが評価

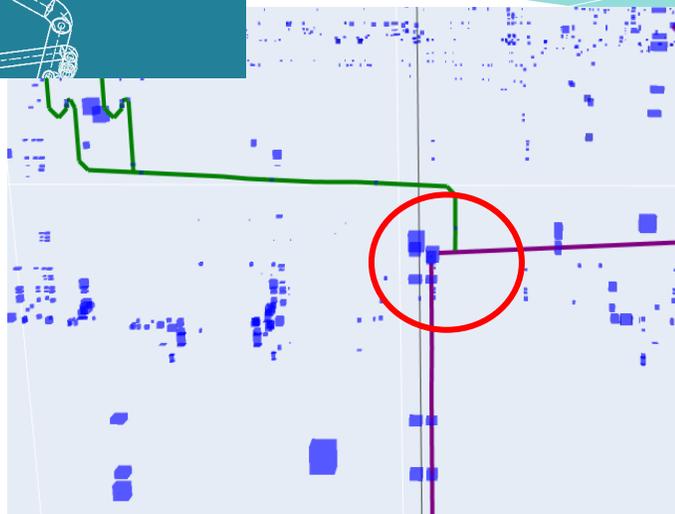
5. 計算結果

ー 配管の繋がりミス

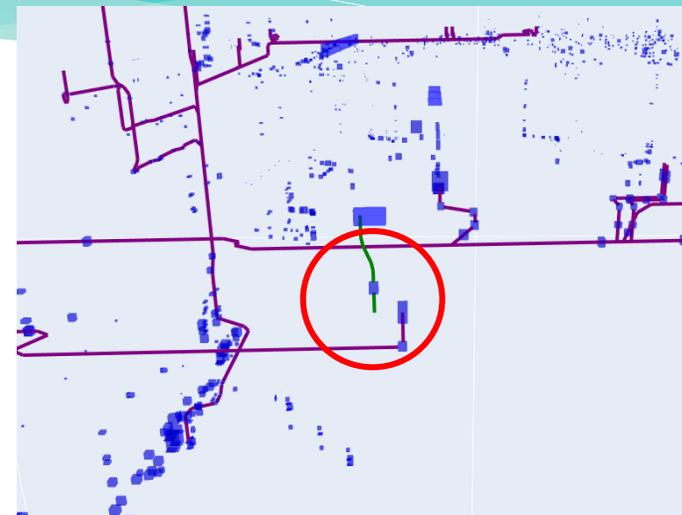


隙間

取り合い部のめり込み



接続位置での分割がない



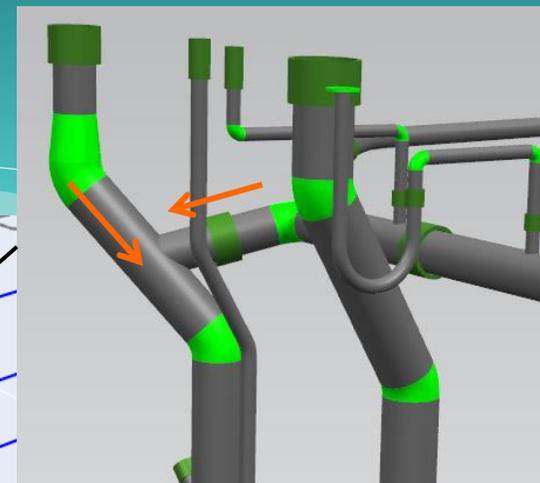
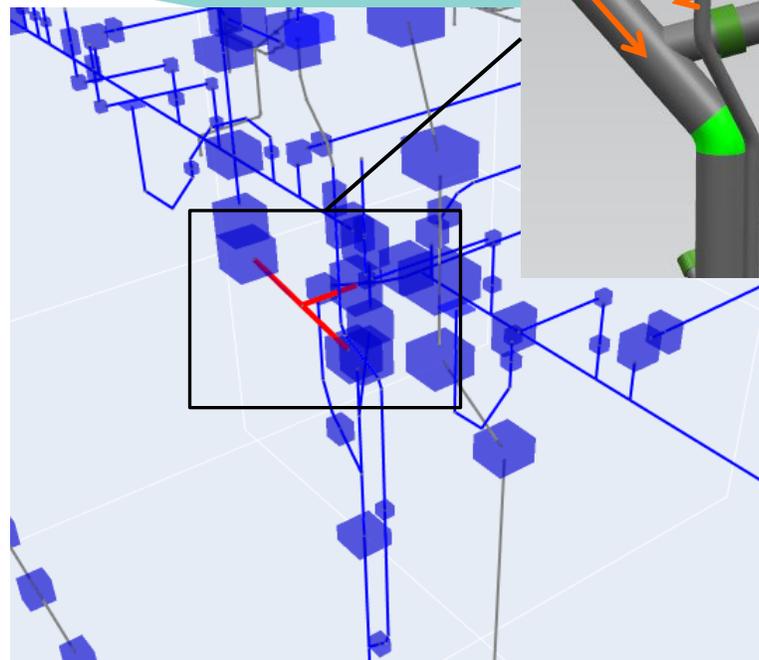
ずれ

接続が存在しないスタート点とゴール点の組合せ：70

⇒ ほぼすべて正しく検出されていた。（3DCADからのデータ変換不良は除く）

5. 計算結果

– 不具合A：逆向きの合流



	不具合	正常
検出	2	0
不検出	0	670

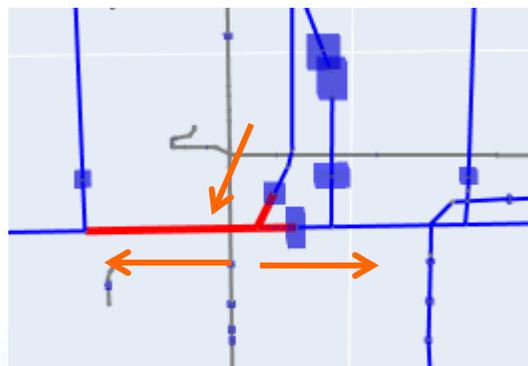
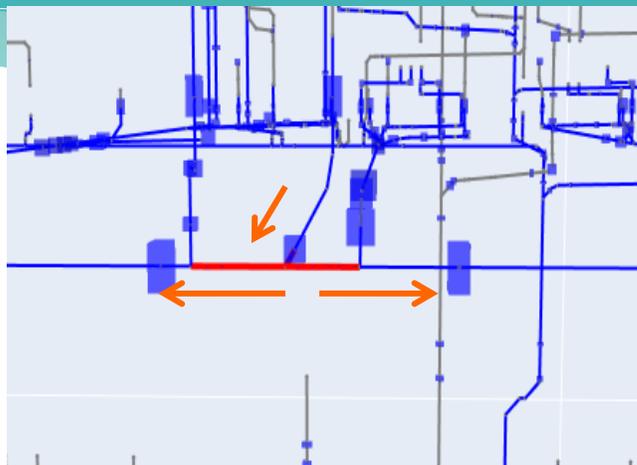
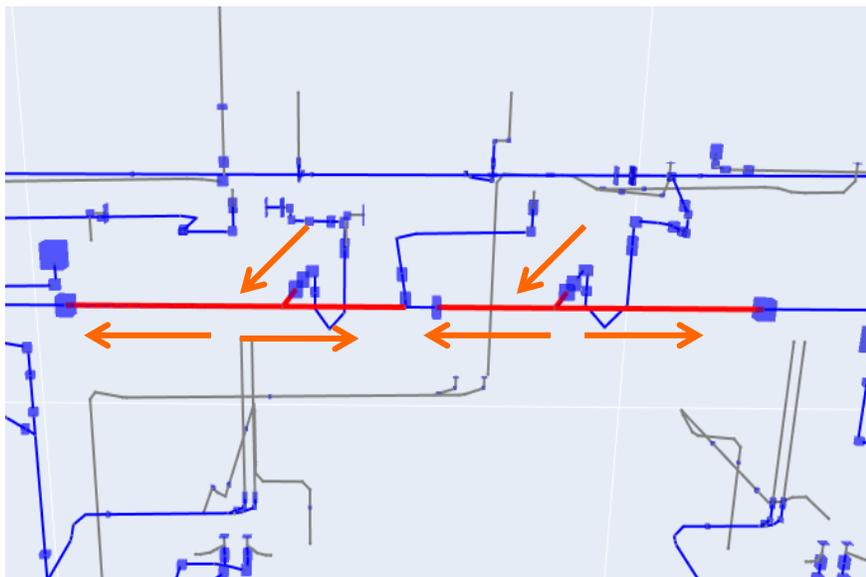
注意！：ルール構築に用いたデータでの結果

本手法で検出された不具合箇所（赤：検出された配管系 青：その他配管系）

人為的に作成した2つの不具合を正しく検出

5. 計算結果

– 不具合B：機能的水平配管への誤った接続



	不具合	正常
検出	4	0
不検出	0	245

注意！：ルール構築に用いたデータでの結果

人為的に作成した4つの不具合を正しく検出



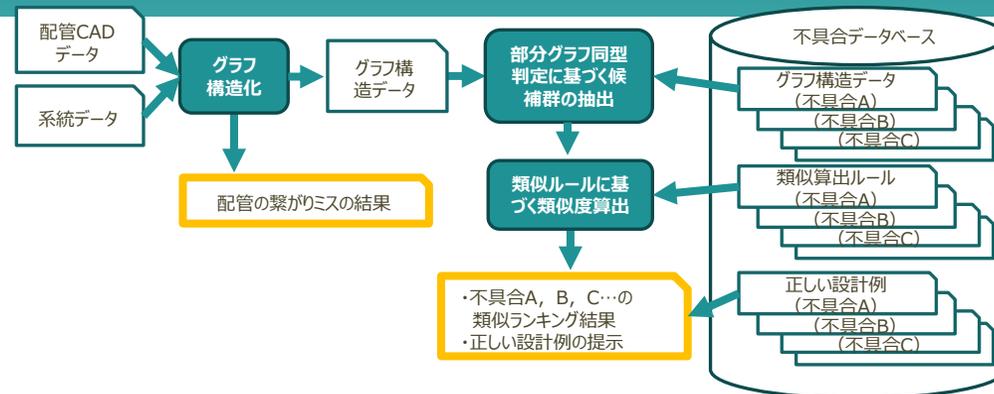
本手法で検出された不具合箇所（赤：検出された配管系 青：その他配管系）



6.まとめと今後

部分グラフ同型に基づく類似不具合の検出手法

- ・造船における配管系のグラフ表現と変換法
- ・配管の繋がりミスを検出
- ・部分グラフ同型に基づき不具合箇所を推定
- ・1隻の排水管系統にてその有効性を確認



不具合データベースを拡張中

名称	説明
1 不具合A	枝が逆Y字
2 不具合B	機能的水平配管にY字枝。T字形が正
3 不具合C	機能的な水平配管が過去実績20m超
4 不具合D	機能的水平配管への枝管に落差がない。枝は上からが正
5 不具合E	機能的水平配管がジグザグに曲がっており水の滞留が懸念される。20m未満であるものの不具合。
6 不具合F	機能的水平配管の一部に傾斜を取ってしまっており、実質両側から水が落ちることが出来ず不具合
7 不具合G	枝がY字につながっていない
8 不具合H	二重トラップになっており排水不良
9 不具合I	排水管の傾斜不足
10 不具合J	空調装置上部ドレンUシール必要
11 不具合K	空調装置下部ドレンUシール不要
12 不具合L	空調装置上下部のドレン接続は上部ドレンUシールの下流
13 不具合M	Uシール下流側の方が高い

<今後>

- ・他船に対する実証と効果検証
- ・不具合データベースの拡充, より複雑な不具合に対する検証
- ・正解の設計例の効果的な提示

<謝辞>

本研究は国土交通省の海事産業の生産性革命 (i-Shipping) におけるi-Shipping(design)の一環で令和元年から令和2年度までに実施したものである。関係各位のご協力に深く感謝いたします。