

## 水処理プラントにおける装置配置設計自動化に関する取り組み

Fracta Leap (株) \*請川 克之 UKEGAWA Katsuyuki  
Fracta Leap (株) 村井 真也 MURAI Shinya

### 1. はじめに

#### 1.1. 背景および目的

世界の水需要は人口増加や経済発展などの影響により増加傾向にあると同時に、気候変動により降水量の地域的および時間的な偏りが大きくなる傾向にある。そのため、2050 年には地球人口の 50%にあたる 50 億人ほどが水不足の被害を受ける時代へと向かっている[1]。

工業用水は生活用水の使用量に対して 2 倍以上となっており、今後も需要が増加することが予想されている[1]。淡水の利用が限られている中で持続的な水ソリューションが求められており、工業用水を利用する工場などでは、一度使用した水を再利用する回収利用が進んでいる。しかしながら、これらを実現する水処理プラントは、処理構造が複雑であり、設計および運用コストが高いという問題がある。

そこで我々は、まずは工業用水が利用される工場などの水処理プラントをターゲットに、デジタル変革に取り組んでいる。

#### 1.2. プロジェクト概要

水処理における DX と AI・IoT 製品の開発プロジェクトとして、国内業界最大手の栗田工業(株)とパートナーシップを結び、メタ・アクアプロジェクトを 2020 年に発足した[2]。水処理プラントの設計と運転に対し、自動化・最適化による高速化・効率化・低コスト化を目指したアプリケーションを共同開発している。

水処理プラントの設計に対しては、複雑で業務インパクトが大きな以下の設計・計画を対象とし、各アプリケーションを連携可能な仕組みを開発している：1) 目的の水質と水量を生成するための水処理プロセスを決める装置構成設計、2) 各装置位置を決める配置設計、3) 工事のスケジュール設計。それぞれに対して最適化アルゴリズムを活用しており、本稿では配置設計に関する取り組みについて紹介する。

### 2. 水処理プラントにおける配置設計

#### 2.1. 配置設計方法の現状と問題点

現状は設計者が手動で配置設計を行っており、装置形状を紙で切り取ったものを方眼用紙上に並べて配置を検討する、CAD を使用するといっ

た方法が行われている。配置検討の上では、工事のコストや実現性、運転管理のしやすさなど複雑で多岐に渡る条件を考慮する必要があり(2.2 節参照)、煩雑で作業量が膨大である。

そのため、問題点として、設計を行えるのが一部の経験豊富な設計者に限られ、その設計者に業務が集中してしまうことや、限られた時間内での設計のため、様々な配置案の比較検討が困難であることが挙げられる。

#### 2.2. 設計時に考慮必要な主な条件

水処理プラントにおけるインシャルコストの内訳として配管コストの割合が高いため、配管コスト(≒配管長さ)を抑えた配置を目指すことが基本となる。その上で、主に以下の条件を満たす必要がある。

1. 各装置は、決められた敷地内に配置する
2. 特定の装置同士を必ず隣接した配置とする(平面上での隣接と、垂直での隣接あり)
3. 特定の装置群は、屋外のみまたは屋内のみに配置可能
4. 防災の都合上、プラントを直線上に通過する通路を確保する(配管を束ねて乗せる台である「配管ラック」の下を通路として活用可能)
5. 敷地内外への水の出入り口(取合点)と繋がっている装置は、その近くに配置する
6. 各装置のメンテナンススペースを確保する
7. 配管が多く繋がっている装置は、配管ラックに面するように配置する
8. コンクリート水槽は、任意の水槽形状をとることができる(ただし、幅などに様々な条件あり)
9. 工事タイミングを考慮して、物理的に搬入工事可能な配置とする必要あり

### 3. 配置設計自動化の概要

#### 3.1. アプリケーション概要

ユーザーの操作性を重視したアプリケーションを目指して開発を行なっている[3]。アプリケーションには 2 種類あり、1 つは装置グループ単位での配置検討を目的としたもので、もう 1 つは個々の装置単位での配置の微調整を目的としたものである。まず前者のアプリケーションで凡そ

の配置を設計し、その後、後者のアプリケーションで微調整を行う。後者については、CAD データとして自動出力できる機能もあり、現状の設計者の業務にスムーズに連動できるようにしている。

装置グループ単位での配置検討を目的としたアプリケーションでは、大きく2段階のアルゴリズムを使用している。まず装置グループ単位での大雑把な配置を算出し、次にその結果を用いて個別の装置の具体的な配置を算出する。個別の装置の配置算出については、ユーザーが装置グループ位置を変更しながら検討することをストレスなく実施できるようにするため、リアルタイムで算出可能なアルゴリズムを開発している。

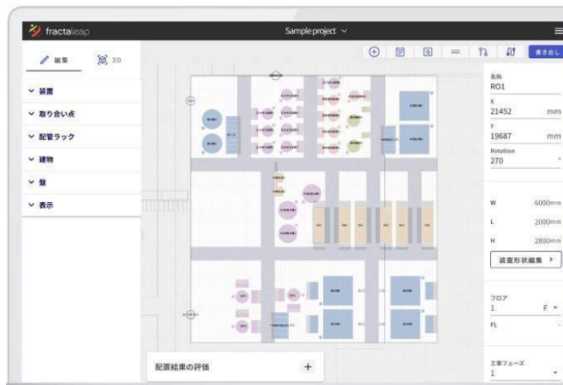


Fig.1 自動配置アプリケーション画面

### 3.2. モデル概要

#### ➤ 変数

各装置の配置位置と、配管ラックの本数および位置を変数とする。

#### ➤ 目的関数

配管で繋がっている各装置間の距離の総和に、一部の緩和した条件のペナルティ値を加算した値を最小化する。

#### ➤ 制約条件

現時点では、2.2 節に記載した条件の内、1 から 7 までを満たすモデル（一部を緩和条件）としている。装置グループ単位での大雑把な配置に対しては、1 から 6 までを主に緩和条件として考慮している。

### 3.3. アルゴリズム概要

関連研究としては GA などのメタヒューリスティクスを活用したものや、限定された条件で数値最適化を活用したものが見られる[4]。

これまでに幾つかの方法を試してきたが、現状では以下の方法を採用している。

- 装置グループ単位での大雑把な配置の算出

については、空間を大雑把に区切り、各空間への装置グループをどの辺りへ割り当てるかという問題として、Gurobi の利用と開発したメタヒューリスティクスを併せて活用

- 個別の装置の配置算出については、greedy 法をベースとしたアルゴリズムを開発し、リアルタイムでの解の算出を実現

## 4. 効果検証

設計者に対し、同じプラントの設計を従来の方法で行なうグループと、アプリケーションを活用して行うグループにランダムに分け、それぞれの設計時間を計測するとともに配置結果の評価を実施する予定である。推定効果として、設計業務量が 6 割削減、設計期間は 4 割短縮される見込みである。

## 5. おわりに

水処理プラントにおける配置設計の自動化は難易度が非常に高く、業界内で実運用可能なアプリケーションは未だ存在していない。我々はその先駆けとして取り組んでおり、現在は β 版を設計者に利用してもらい始めている。設計者からは好評を得ているが、まだ難易度の高い課題が残っており、アルゴリズムを含めてアプリケーションの改善および見直しを継続して実施している。

将来の水不足課題の解決に貢献していくためには、本プロジェクトを含めて取り組むべきことは多い。引き続き水不足課題への取り組みに注目して頂くと共に、共感して参加される方々が増えることを強く望んでいる。

## 参考文献

- [1] WWAP/UN-Water, “The United Nations world water development report 2018: Nature-Based Solutions for Water,” UNESCO, 2018.
- [2] 栗田工業(株), 「メタ・アクアプロジェクト プレスリリース」, <https://www.kurita.co.jp/aboutus/press200820.html>, 2020. (2023 年 1 月 6 日閲覧)
- [3] Fracta Leap(株), 「自動配置アプリケーション β 版 プレスリリース」, <https://prtime.s.jp/main/html/rd/p/000000012.000075296.html>, 2022. (2023 年 1 月 6 日閲覧)
- [4] H Hosseini-Nasab, et al, “Classification of facility layout problems: a review study,” *Int’l Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 94, pp.957–977, 2018.