

〈研究発表〉

WEMS（Water-treatment Energy Management System）の開発

南部 耕¹⁾，高橋 宏幸²⁾，鳥本 慎也³⁾

¹⁾メタウォーター(株) 事業戦略本部 R&D センター 新事業開発部 制御技術開発グループ
 (〒101-0041 東京都千代田区神田須田町1-25 JR 神田万世橋ビル E-mail: nambu-ko@metawater.co.jp)

²⁾同上 (E-mail: takahashi-hiroyuki@metawater.co.jp)

³⁾同上 (E-mail: torimoto-shinya@metawater.co.jp)

概要

省エネ法に基づく特定事業所にも指定される上下水処理プラントにおける運転の高効率化やコストダウンなどを目指した省エネ，創エネ，蓄エネの取り組みは，それぞれが独立した機能により実施されているのが現状である。今回は，それらの取り組みを連動させ，更なる相乗効果を創出する統括マネジメント業務を考案したので報告する。

キーワード：多変量解析，モデル予測，最適化，エネルギーマネジメント

1. はじめに

本コンセプトは，平成23年国土交通省 B-DASH プロジェクトにおいて中浜下水処理場で実証実験された (Fig. 1)，上下水処理プラント全体の最適なエネルギーの需給バランスを目指した運転を支援するエネルギーマネジメントシステムの開発に関するものである。

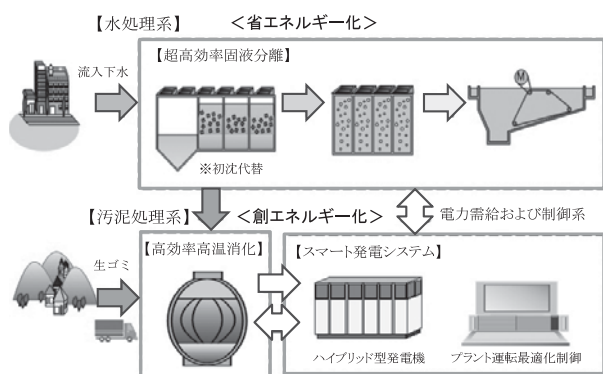


Fig.1 23B-DASH

近年の上下水処理プラントのエネルギー源は，ポンプや送風機等の動力や監視制御システムから熱源となるヒーターに至るまで，ほぼ電力に依存しており，その消費量は省エネ法に基づく特定事業所に指定される。その義務として5年平均で年間1%以上の原単位縮減に取り組んでいるが，例えば，下水道統計でも見られるように，その縮減効果も横ばいとなっており限界に来ていることが伺える。

インバータ制御方式の導入，高効率機器への取替や

運転方法の見直し等の省エネの取組，消化ガス発電や太陽光発電の導入など再生可能エネルギーの有効活用による創エネの取組，従来廃棄していた余剰エネルギーの備蓄や深夜時間帯への負荷シフトなどの蓄エネの取組など，それぞれが独立した制御方針や運転計画に基づき実施されている (Fig. 2)。

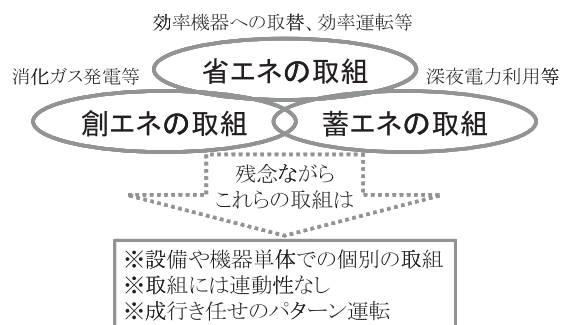


Fig. 2 取組の限界

筆者らは，上下水処理プラントにおける運転の高効率化やコストダウンなどを目指した省エネ，創エネ，蓄エネの取組の乗効果を最大化するため，それらの取組を有機的に連動させた制御方法とその処理ロジックを考案し，システムとして開発した。本論は，システムの機能構成と処理フローの概要を報告するものである。

2. 取組の課題と解決策

水処理プラントにおける制御方式は，機器のオン・オフ制御やPID制御などで代表される古典制御理論

を用いた制御方式、プロセス制御などで代表される近代制御理論を用いた高度制御方式が設備毎に導入されている。それらの制御範囲は、機器個別もしくは設備単位に留まっており、次のような問題がある。

2.1 省エネの取組

具体例として単なる需要ピークのカットを目的としたデマンド制御機能には、事前に設定した制御対象設備の停止操作であることと、その監視周期が30分単位であることから、以下の課題がある。

- ① 制御量過不足等の制御ミスの可能性大
- ② 停止設備の補完稼働の的確なシフト先までを予測・探索するのが困難

2.2 創エネの取組

具体例として再生可能エネルギー、特に自然エネルギー発電の導入の場合は、発電の成行運転もしくは負荷追従運転の選択となることから以下の問題がある。

- ① 風力や太陽光の発電出力は天候依存で不安定
- ② PCS出力抑制運転で発電出力に無駄が発生

2.3 蓄エネの取組

水位差を利用した水池（井）による仕事量の備蓄と、熱や電気エネルギーそのままもしくは他のエネルギーに変換した備蓄の仕組みがある。具体例として蓄電池の場合には、パターン運転もしくは負荷追従運転の選択により以下の問題がある。

- ① 蓄電率と充電/放電の計画管理が困難
- ② 夜間の突発的な需要ピーク時に充電することも考えられる危険性（ピーク対応逆効果）

2.4 連動した取組による解決策

単独の取組では前記のような問題が発生するが、各取組を組み合わせることで、課題をある程度解決することができる。

① 省エネ+創エネの取組

負荷制御と発電出力制御の2つの対策を組み合わせることによりきめ細かな対応が取れるとともに、対応できる負荷変動幅の拡大が期待できる。但し、依然として制御の周期はデマンド監視の30分毎で、目先の対応になる課題は依然として残る。

② 省エネ+蓄エネの取組

創エネと同様に負荷ピーク時に負荷変動に合わせて蓄電池の放電、逆に、負荷低下時にまとめて充電することで、負荷のピークカットとともに負荷の平準化も実現する。但し、蓄電池の運転は、負荷追従運転もしくはデマンド制御機能の支配下に入る必要があるため、蓄電池の使用目的に制限が付

けられ、更には、SOC (State of Charge : 充電率) の管理も困難になる課題は依然として残る。

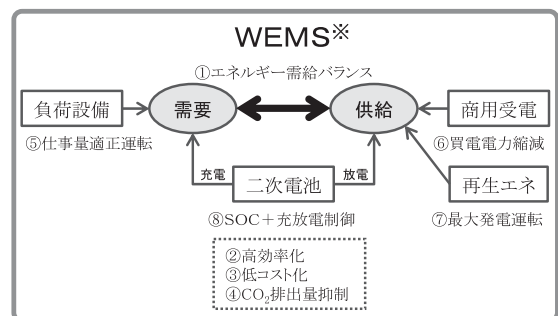
③ 創エネ+蓄エネの取組

発電機出力追従運転により、出力が規定値を下回る場合に蓄電池の放電、逆に、上回る場合に充電することで、PCS出力の一定運転が実現する。また、負荷変動も加味した電力系統の連系点における潮流追従運転も可能である。但し、前項同様他の機能の支配下に入ることによる弊害、SOC管理の困難、充放電が頻繁になることによる蓄電池寿命の短縮につながる課題が依然として残る。

3. 水処理プラント全体を統括マネジメントする仕組 (WEMS) の必要性と狙い

以上のように、単純な単独の取組の課題解決のため、組み合わせの取り組みを導入すると、解決するには複雑で難解な課題が残る。例えば、水処理プラントは、上流の処理から下流の処理へと処理が一連であることから、機器単独の稼働停止などの制約条件だけではなく、群管理やパターン運転など設備や機器間の連動制御も必要になる。このように、制御対象の設備や機器単独での制御だけではなく、水処理プラント全体の設備や機器の稼働状況を正確に把握し、プラント全体の運転状態を将来にわたり最適に保つ制御が必要になることが分かる。

Fig. 3 で示すように、プラント全体の①エネルギー需給バランスを保ちつつ、②高効率化、③低コスト化、④CO₂排出量抑制、⑤適正な仕事量の実現などの最適化目的を達成し、各種取組の最大効果を引き出すリアルタイムな運転制御と運転計画の立案のためには、人のノウハウとスキルによる対応だけでは到底困難であることも分かる。



※省エネ、創エネ、蓄エネが抱える課題を解決しつつ、重み付けした①～⑧の目的を同時に達成させるモデル予測・最適化制御をサポートする。

※省エネ、創エネ、蓄エネが抱える課題を解決しつつ、重み付けした①～⑧の目的を同時に達成させるモデル予測・最適化制御をサポートする。

Fig. 3 WEMSの狙い

4. 統括マネジメントの要素操作

プラント全体の統括マネジメントは、電力の場合、実質的な数値目標として使用電力料金と基本料金の削減を目指しつつ、プラント全体の運転の効率化、低コスト化、省力化、最適化、負荷の平準化、的確化を、以下の業務を通じて実現する必要がある。なお、業務の流れは Fig. 4 に示すとおりで、本業務の実績がプラントの過去実績として取込まれる循環型になる。

4.1 プラントの現状分析

日々発生する大量のプラント運転実績データをマイニング(多変量解析)し、過去の運転実績パターンから良い結果と悪い結果を把握する。次に、運用方法と運転制約条件及び設備と機器の状態を把握し、モデル予測及び評価関数及びシミュレータモデルの生成に必要なデータを抽出する。なお、良い結果と悪い結果とは、最適化の目的に設定した項目の目標値との差(偏差)の大小によるものである。

4.2 将来予測

過去実績を教師データとして学習し、将来の運転状態を予測する。データマイニング結果にもとづきプラントの予測モデルを生成し、プラントの長期/短期将来の運転を予測する。過去の良い結果と悪い結果から将来の状態が的確に予測できる。

4.3 最適化制御

将来に向かって最適な運転状態を維持する。データマイニング結果に基づき最適化評価関数を生成、設定した最適化の目的に合わせた運転状態に制御する。過去の良い結果もしくはそれ以上の目標値を設定し、その状態を近づけることである。

4.4 シミュレーション(模擬演習)

プラントの動静を模擬する。プラントを模擬したモデルは、運用計算や運転訓練用シミュレータ、最適化制御手順などの実施精度の確認に活用する。

4.5 運用計画

的確な設備投資計画(アセットマネジメント)を実現するため、運転や作業計画、設備更新や取替計画などの各種計画を策定する。

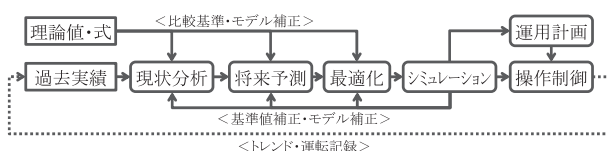


Fig. 4 業務の流れ

5. 統括マネジメントシステム

5.1 記録・統計・分析機能

プラントの過去の運転実績データを基に、設備や機器の稼働実績、運転状況、健全状態を分析し、把握する。運転実績データはまた、過去と現在から未来の状態変化を推定する基本データになる。なお、Fig. 5 で示すように、システムにおけるデータの流れについても Fig. 4 で示した業務の流れと同様に制御の実績がプラントの運転実績記録とトレンドデータとしてシステムに取込まれる。

5.2 多変量解析機能

統計解析手法を用いたもので、今回は、一般の分析、解析業務にも活用できる機能と共有化を図った。

① 相関解析

2変数間にどの程度、直線的な関係があるかを数値で表す分析で、処理時間のラグタイムも考慮した説明変数候補の抽出がポイントである。

② 主成分分析

多種類の説明変数(定量的データ)があっても目的変数はないときに、これらの説明変数をとりまとめて総合指標となる変数(定量的データ)を作ることで、今回は、説明変数の候補を寄与率80%以上の主成分に圧縮することがポイントである。

③ 重回帰モデル分析

線形パターンのモデル化の可能性を確認する。

④ ニューラルネットワークモデル分析

非線形パターンのモデル化の可能性を確認する。

⑤ クラスタリング分析

固定パターンのモデル化の可能性を確認する。

5.3 多元的モデル予測機能

重回帰、ニューラルネットワーク、クラスタリングの3つの手法を用いて、前日実績、過去年同日実績、類似日実績に基づき、年間もしくは季節別にパターンを分類し、それぞれの組み合わせにより18種類の一

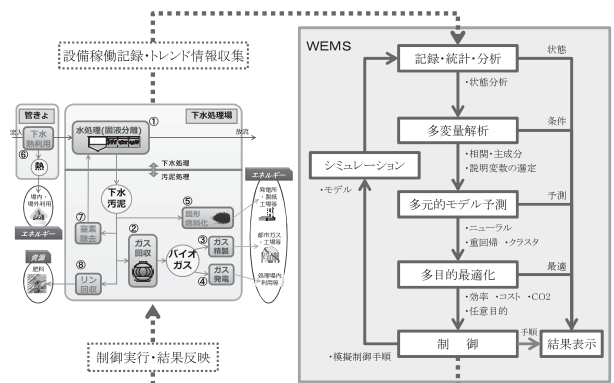


Fig. 5 システム構成(機能フロー)

次予測モデルを生成する。なお、各予測モデルには、モデル生成時の予測精度が付与される。次に、当該予測日の諸条件を加味し、二次予測により一次予測値を一つに絞込む。なお、予測モデルはプラントの状態変化に対応し、逐次パラメータのチューニングによりモデルをリフレッシュすることが必要である。

5.4 多目的最適化機能

ある運転制約条件のもと、監視・制御の対象となる設備や機器類の最大効率運転、最低コスト運転、最大CO₂抑制運転、その他、仕事の目標値維持運転(処理水質、風量、水量、熱量など)、また、電気や熱などのエネルギー需給バランス運転などの目的(数値目標)をバランスよく実現する運転制御のことである。

$$\begin{aligned}
 H = & [\alpha h(\text{予備力}) + \beta h(\text{効率}) + \gamma h(\text{コスト}) \\
 & + \sigma h(\text{CO}_2) + \delta h(\text{仕事量}) + \dots] \\
 & + \text{PF}(\text{罰関数, 制約条件}) \quad (1)
 \end{aligned}$$

重み係数: $1 = \alpha + \beta + \gamma + \sigma + \delta + \dots$

式(1)で示すように多目的評価関数Hは、目的関数h(目的)と罰関数PFで構成し、また、各目的関数は重み係数と制御対象機器の設定値との積に定数を加えた式、罰関数は制御対象機器の動作制限を定義する制約条件式で構成している。なお、制御対象機器の設定値は、PSO (Particle Swarm Optimization: 粒子群最適化)やDE (Differential Evolution: 差分進化)手法を用いて、評価関数の最適解として求める。

5.5 シミュレータ機能

プラントの模擬機能で、用途により模擬する設備と機器類の定義の詳細を決定する。ブロックダイアグラム方式やモデリカ言語を活用しモデルを構築している。

5.6 制御機能

既に個別最適化された設備や機器へは、プラント全体を見据えた最適化のための設定値や運転目標値などの設定指令を出し、個別最適化制御されていない設備や機器へは、プラント全体の最適化の中で起動や停止などの制御指令を出力する。なお指令手順については、シミュレータにより適否を確認することができる。

5.7 運用計画機能

最適化制御手順に基づく運転計画や作業計画、シミュレーションによる設備の劣化診断に基づく設備更新計画や取替計画などの各種計画策定に必要な根拠データを提供する。

6. ま と め

これまでの個別の取組の問題点とそれらを統合することによる相乗効果について Fig. 6 にまとめた。

2.1~2.3 項で示した省エネ、創エネ、蓄エネの個別の取組の問題点に対し、2.4 項で示したそれらを連動した取組による解決策を行うことで、所定の効果は得られるものの、やはり課題は残ってしまう。

これらの相乗効果を引き出すため WEMS には 3~5 項で示した一連の高度な処理が要求され、プラントで異なる設備構成や運転方法などに配慮し、導入時にはシステムやデータベースのカスタマイズ及びその導入効果の検証が必要である。加えて、設備や機器の運転方法の一部見直しも必要になる場合がある。

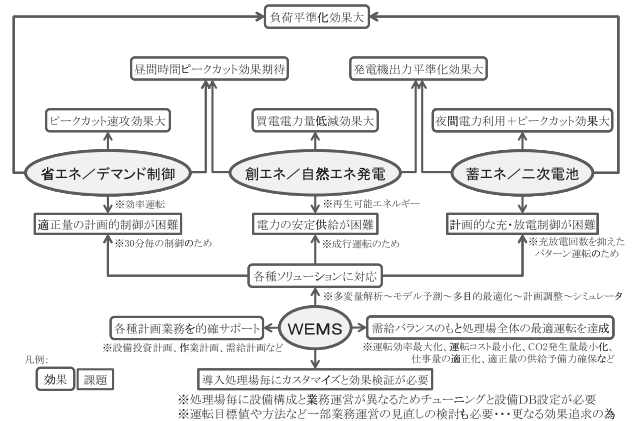


Fig. 6 各取組の相乗効果

参考文献

- 1) 国土交通省 国土技術政策総合研究所下水道研究部下水処理研究室: B-DASH プロジェクト No.1 「超高効率固液分離技術を用いたエネルギーマネジメントシステム導入ガイドライン」
- 2) (公)日本下水道協会: 下水道統計