

〈研究発表〉

水道施設の統合監視支援システムの開発

中川 香織¹⁾, 小笠原 直輝¹⁾, 小泉 賢司¹⁾, 小熊 基朗¹⁾

¹⁾ ㈱日立製作所

(〒100-8280 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 E-mail:kaori.nakagawa.vb@hitachi.com)

概要

厚労省及び総務省による水道広域化推進プラン策定により、複数施設・複数地域を一か所で監視制御する統合監視が各地で増えると予想される。本研究では統合監視の現場における監督員向けに、多数の水道施設の運用状況を容易に把握可能とする技術を研究した。この技術は監督員が運用中リアルタイムに注視すべき現象を抽出し関連情報を出力する機能と、過去の運用状況を確認・評価するための情報を出力する機能で構成される。本発表では上記技術で出力可能となった情報の詳細と、本研究による水道業務上の効果について報告する。

キーワード：統合監視, 広域連携, 運用ログ分析, 手動操作, アラーム

原稿受付 2024.7.9

EICA: 29(2・3) 114-118

1. はじめに

国内の水道事業では労働者不足、税金収入の減少などにより、安定的な上下水道サービスの維持が課題となっている。厚生労働省と総務省は水道サービスを将来も継続するための施策の一つとして「水道広域化推進プラン」を策定した¹⁾。水道広域化とは、水道事業者（市町村、企業団及び一部事務組合など）がこれまでの運営地域を超えて連携あるいは一体的に水道事業を推進するものである。具体的な取り組みとしては、経営統合や、浄水場などの複数施設の統合運用などがある。経営統合は個々の事業体の経営状況の差異から実現困難な場合も多いが、複数施設の統合運用はそれに比べ実現性が高く、施設の更新費用削減や運営効率化などの効果が期待できる。このような背景より今後水道事業において統合運用が進んでいくと予想される。本研究ではその中でも浄水施設の統合運用に着目し、広域に点在する浄水場やポンプ場などといった浄水施設を一括で監視制御（以下、統合監視と呼ぶ）を支援する技術について検討した。

統合監視が導入されることで各浄水施設を担当する操作員と全体を管理する監督員の2つの業務に分かれるものと想定した。各業務内容は以下である。複数人の操作員は各担当の浄水施設の監視制御を行う。操作員は監視制御システムを用いて各施設の監視データをリアルタイムに観察し、正しく設備が稼働していることを確認する。もし監視データが異常やその兆候を示した場合は、操作員がマニュアルやノウハウを基に適切な操作を行い異常回復あるいは回避させる。一方、監督員は各操作員が正しく業務遂行できているか、各施設で重大故障・災害などの非常事態が発生しないか

などを把握する。また監督員は過去の監視制御の履歴を振り返り、人材育成や地域の水運用計画、施設の修理・更新計画などを実施する。

ここで、操作員に向けた監視制御支援の技術は（産業プラント一般として）多数研究・開発されている^{e.g.2)}。しかし統合監視の監督員にとって必要となる、多数の施設の状態を短時間で一括把握する技術は見受けられない。そこで本報告では、監視制御対象全エリアにおける浄水施設の日常運用に関するデータを処理し、監督員にとって有益な情報として提供する技術の研究について報告する。

2. 統合監視支援技術

2.1 研究課題と研究方針

統合監視の監督員は、監視制御対象全エリアすべての運用状況を把握する必要がある。ここで運用とは日々の監視制御業務ことを指す。しかし、エリア内には多数の施設が存在し、それらは運用ノウハウが異なるため以下の課題が存在する。

課題A：監督員が運用中に発生した問題点を即座に把握することが難しい

課題B：エリア全体を考慮した将来計画の検討作業が複雑になる

この課題を解決するため以下の研究技術を設定した。

【研究技術A】

エリア内の重要な問題のみ抽出して可視的に表示することで運用状況を一元的に把握可能となる技術
操作員のための運用関連情報全てを監督員が現実時間内で把握することは不可能なため、エリア全域の操作員の運用状況の概要（監督員が注視すべき現象）のみ

リアルタイムで抽出し、短時間で把握できるよう可視化する。

【研究技術 B】

エリア全体の運用履歴を振り返り、将来の水道計画の検討を容易にする技術

検討作業効率化のため、膨大な運用関連情報の中から自動的に運用方針決定や将来計画に有用な情報を算出・評価した上、可視化する。

2.2 提案技術

研究技術 A, B を目的として設計・構築した監督員向け統合監視支援技術を説明する。

入力データは施設内の機器制御結果を示す操作データ、機器のその時の状態（設定内容、アラームなど）を示すメッセージデータ、施設内に多数設置されているセンサから得られる監視データ（水位、塩素濃度、電流など）の3種類がある。これらデータはそれぞれ実運用中リアルタイムデータとして得られるものとログデータとして保存されるものとに分けられる。

Fig. 1 は統合監視支援技術の全体像を模式的に示した図である。**Fig. 1** に沿って本技術を説明する。

・研究技術 A, B 両方に対応

① 運用特徴モデル生成機能

運用ログデータを入力として、過去の通常運用における特徴を表現した5種類のモデルを作成する (**Fig. 1** 内①)。本モデルは以下②④の機能において運用中の状況が通常状態であるかを比較・評価するために用いる。この運用特徴モデル生成は実運用前に実施する。

・研究技術 A に対応

② リアルタイム運用情報分析機能

実運用中、リアルタイムの各種データと運用特徴モデルと比較して、操作や監視データ挙動に通常状態と異なる“監督員が注視すべき現象”を特定し、その情報を出力する (**Fig. 1** 内②)。

③ リアルタイム運用情報可視化機能

リアルタイム運用情報分析機能で出力した監督員が注視すべき現象の情報を画面表示する (**Fig. 1** 内③)。

・研究技術 B に対応

④ 運用履歴情報分析機能

各種ログデータと運用特徴モデルを比較し、過去の手動操作を定量評価したり、過去のアラームの影響範囲を算出するなど、過去の運用状況を確認・評価するための情報を作成し出力する (**Fig. 1** 内④)。

⑤ 運用履歴情報可視化機能

運用履歴情報分析機能で出力した過去の運用状況を確認・評価するための情報を画面表示する (**Fig. 1** 内⑤)。以降、(1)～(5)にて上記各機能の詳細を説明する。

(1) 運用特徴モデル生成機能

本機能では、各種ログデータを入力として、過去の通常運用における特徴を表現した5種類のモデルを生成する。以下 I～V で5種類のモデルのそれぞれの内容と生成手法を説明する。

I. 同時アラーム数頻度モデル

ある同施設内における同時時間帯に発報したアラーム数の頻度分布である。

II. アラーム・操作対応モデル

アラーム発報中に統計学的有意な頻度で実施された操作を抽出し、対応表にしたもの。

III. 操作量・監視データ対応モデル

ある1種類の監視データと対応する操作を実施した際の操作量と操作実施後の該当監視データの増加 or 減少のパターンを学習し表にしたものである。生成方法は、まずある監視データに対しアラーム・操作対応モデルから対応する操作を取得する。次に該当監視データの対応操作実施時の操作量方向 (例：ポンプ回転数減 or 増) に対する操作後の監視データ挙動 (例：水位減 or 増) のパターンの統計的有意なものを学習対象データから抽出し、表にまとめる。

IV. 監視データ変動モデル

ある監視データが過去に取りうる傾きの頻度分布である。生成方法はまず、ある1種類の分析対象とする全時間の時系列監視データに対し、区分線形関数のトップダウン法³⁾を用い監視データを複数線分で

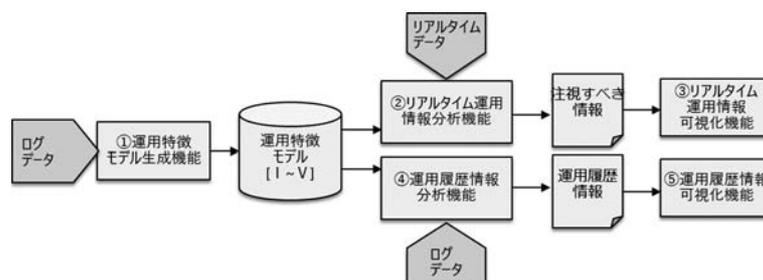


Fig. 1 Functional Flow of Technology for Integrated Monitoring Support System

近似を行う。次に近似を行った複数線分の線分一つ一つの傾きを算出し、傾き値の頻度分布を作成する。

V. 監視データ回復モデル

監視データ値悪化時（特にアラーム時）に回復操作を行った後、操作が効果を表すまでの時間の頻度分布と、効果が表れ監視データが回復傾向となる際の傾きの頻度分布との2つの頻度分布から成る。

(2) リアルタイム運用情報分析機能

本機能は、実運用中に操作や監視データ挙動が通常状態と異なる“監督員が注視すべき現象”を特定し、その情報を出力するものである。

監視制御業務は大きく定常時と非定常時に分けられる。定常時は自動制御やマニュアル化された定型操作が実施される。一方非定常時では操作員による個別判断による操作内容決定・実施を行うため、操作員のスキルにより対応内容やその後の結果に違いが発生する可能性がある。そのため適切な対応と正常な結果を監督員が注視する必要がある。よって、本研究における“監督員が注視すべき現象”は非定常時の以下を設定する。

・アラーム発報、監視データ悪化に関する現象

a. 同時間帯発報アラーム数増加

リアルタイムのメッセージデータから現在発報中アラームの情報を抽出し、同時間帯発報数が同時アラーム数頻度モデルの事前に設定した閾値より多数発報していることを検出した場合、[同時間帯発報アラーム数増大のメッセージ/発報アラーム数/該当施設情報]を出力する。

b. 重大アラーム発報

リアルタイムのメッセージデータから現在発報中アラームの情報を抽出し、予め操作員等によって設定された重大アラームが検出された場合、[重大アラーム発報のメッセージ/重大アラーム名称/該当施設情報]を出力する。

c. 急な監視データ値変化

リアルタイムの各種監視データを観察し、監視データ変動モデルの上限下限を超えた傾きを検出した場合、[監視データ急変のメッセージ/該当監視データ名称/該当施設情報]を出力する。

・正しい手動操作実施の有無

d. 操作未実施（放置アラーム）

リアルタイムのメッセージデータから現在発報中アラームの情報を抽出し、その後一定時間以内にアラーム・操作対応モデルを参照し、該当施設内に対し操作が実施されていないことを検出した場合、[操作未実施のメッセージ/該当アラーム名称/該当アラーム対応操作名/該当施設情報]を出力する。

e. 操作内容ミス

リアルタイムのメッセージデータから現在発報中アラームの情報を抽出し、その後該当施設内に対し何かしらの操作が実施されたことを確認したうえで、アラーム・操作対応モデルからその確認した操作が該当アラームに対応した操作か否かを判断する。もし該当アラームと対応した操作でないことを検出した場合、[操作内容ミスのメッセージ/該当アラーム名称/該当アラーム対応操作名/該当施設情報]を出力する。

f. 操作量ミス

リアルタイムのメッセージデータから現在発報中アラームの情報を抽出し、その後該当施設内に対し何かしらの操作が実施されたことを確認したうえで、アラーム・操作対応モデルからその確認した操作が該当アラームと対応した操作であることを確認する。さらに、リアルタイムの監視データの現在の変動方向（増加 or 減少）を観察し、操作量・監視データ対応モデルから、実施操作の操作量が反対方向であることを検出した場合、[操作量ミスのメッセージ/該当アラーム名称/該当アラーム対応操作名/正しい操作量/該当施設情報]を出力する。

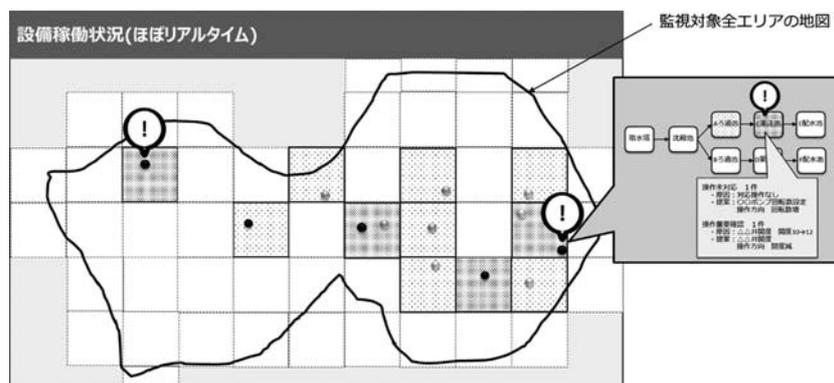


Fig. 2 An Example of Real-time Visualization Screen

・手動操作後の運転回復状況

g. 監視データ値未回復

リアルタイムのメッセージデータから現在発報中アラームの情報を抽出し、正しい操作内容・操作量で対応したことを確認したのち、リアルタイムの監視データの現在の変動と監視データ回復モデルとを比較する。この時リアルタイム監視データの挙動が監視データ回復モデルの作用時間より十分に長い時間経過後においても、回復傾向の傾きより緩やかな挙動あるいは現状維持・悪化していることを検出した場合、[監視データ未回復のメッセージ/該当アラーム名称/該当アラーム対応操作名/該当施設情報] を出力する。

(3) リアルタイム運用情報可視化機能

(2) リアルタイム運用情報分析機能が出力した運用中に発生した注視すべき現象を、監視画面上に可視化する機能である。可視化画面案の一例を Fig. 2 に示す。

予め設定した注視レベルに合わせて対象エリアを色別に表示するほか、強調アイコンをポップアップさせてより注意喚起する。さらにより詳細に観察したいエリアをクリックすると、エリア内の施設のマップに遷移し、各施設・設備ごとの詳細情報を確認できる。

(4) 運用履歴情報分析機能

本機能は、各種ログデータから過去の運用状況に関する情報を把握しやすい形式に処理して出力する機能

である。各施設やサイトごとのアラーム数や故障回数などの基本的な統計情報を出力する。しかし、基本的統計情報では得られない情報も存在するため、本機能では更に非定常時の運用に関わる以下2種類の情報について定量的評価を行い出力することとした。

h. 過去の手動操作の妥当性の評価情報

操作員の個別判断で行われた過去の手動操作の“良し悪し”(妥当性)を評価する。評価方法は、アナログデータ悪化時の手動操作のタイミングと手動操作後のアナログデータの挙動に基づいて手動操作を7パターンに分類し (Fig. 3) 妥当性を評価するものである。

i. 過去のアラームの影響情報

あるアラーム発報させた現象が原因となり、他のアラーム発報を引き起こす現象「連鎖アラーム」の過去運用中の頻度を示した情報である。連鎖アラームの特定方法は、アラーム A が発報中に統計的有意に別の特定のアラーム B が発報する場合、この2つのアラームには因果関係があると考え、アラーム A が影響しアラーム B が発報したと判定する手法である。

(5) 運用履歴情報可視化機能

(4) 運用履歴情報分析機能が出力した過去の運用状況に関する情報を、画面上に可視化する機能である。可視化画面案の一例を Fig. 4 に示す。Fig. 4 左では過去の手動操作の妥当性の評価情報を月ごとに比較・表示し、閲覧者が環境改善や教育必要性などを検討する

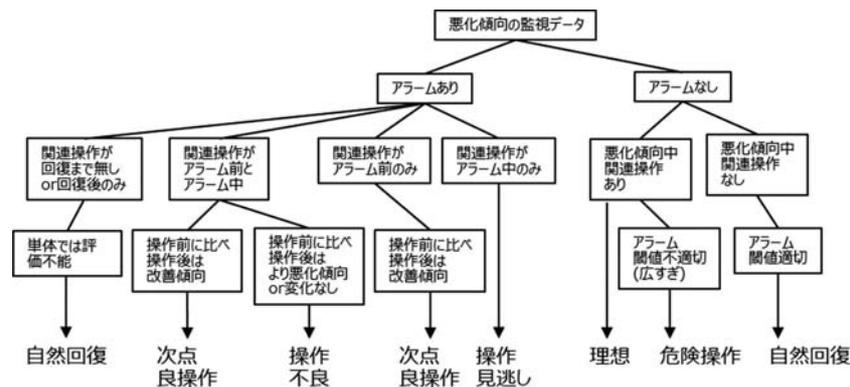


Fig. 3 Pattern Tree to Evaluate Manual Operations



Fig. 4 An Example of Historical Visualization Screen

材料としている。また Fig. 4 右では、過去の連鎖アラームを模式図で示し、アラーム対応優先度を検討する材料としている。

3. 出力結果と評価

監督員向け統合監視支援技術は現在構想段階であり、2の内容を設計し、そのうち①②④の実装を行い第一段階の評価として②④の出力結果の評価を行った。今回は先行的な研究のため、運用の特徴を取り入れて模擬的に作成した5か月分の操作データ・メッセージデータ・監視データを入力データに用いた。データの規模はデータ中の施設数30、全操作種類数102、のべ操作数8022、監視データ数163である。

また、④ h. 過去の手動操作の妥当性の評価情報についてはある1対の監視データと操作データを用いた。出力結果の評価方法は検出結果中②④で定義した情報を正しく抽出できている件数を算出する方法とした。ここで情報を正しく抽出できているか否かは目視によるデータ確認を行った。

②の出力結果は、a. 同時帯発報アラーム数増加、b. 重大アラーム発報については研究要素が低いため本報告では割愛し、c~fについて実施した。その結果、c. 急な監視データ値変化11件、d. 操作未実施11件、e. 操作内容ミス0件、f. 操作量ミス2件を検出した。評価のため各検出結果について目視によるデータ確認をした。

c. 急な監視データ値変化の11件についてデータを目視で確認したところ、10件については構想通り急激に監視データ値が0に近づいたり、通常の変動を有意に超えていることを確認した。しかし1件は通常の変動と相違がないと確認した。監視データの線分近似の手法を改良するなど実装ロジックを再検討する必要がある。

d. 操作未実施については11件全てアラーム発報中に対応操作が実施されていないことを目視で確認し機能の目的を達成した。しかし実際の現場では意図をもって対応操作がなされていない（操作しなくても自然回復を予想など）可能性も考えられ、今後実データを利用した実験で操作未実施の真意を検証したい。

f. 操作量ミス検出については2件とも監視データの増・減の挙動に対してそれをより顕著にする方向の操作が検出されており、機能の目的を達成した。これもd.と同様に実データを利用した実験で現場の意図を反映した情報が出力できているか検証する。

④の出力結果のうちh.過去の手動操作の妥当性の評価情報の出力結果として、アラーム発報中操作51件中48件と、アラーム発報中ではない操作50件中31においてはFig. 3の評価パターンに当てはまった。残りの19件の操作は、操作後監視データの回復がみられないものである。これが現状維持のための操作か、あるいは対象監視データ回復の目的以外の操作であったのか、実データによる検証が必要である。また、i.過去のアラームの影響情報について出力結果を確認したところ、そのうち82%は1対のアラームに関連性ありと認めた。

4. ま と め

統合監視向け技術として、運用中リアルタイムに監督員が注視すべき現象を抽出する機能と、過去の運用状況を確認・評価するための情報を出力する機能の設計及び実装を行った。また上記の情報の可視化手法について検討した。その上で情報出力結果から機能上は目的を達成したことを確認した。一方で操作員や監督員が考える“注視すべき現象”を抽出できているか否については実データを用いた評価・検討の必要があり、今後は可視化機能を実装し全体システムとして実評価を行いたい。

参考文献

- 1) 厚生労働省：「水道広域化推進プラン」の策定について、
https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/0000087512_00001.html
- 2) 仲矢実：操業革新を実現するミラープラント、横河技報、Vol.156, No.11 (2013)
- 3) 山村清隆：多変数関数を一変数関数の和で表現するアルゴリズム、信学技報、CAS93-51.152, NLP93-40, pp.167-82 (1993)