

1-2 下水道用監視制御システム標準化調査その2

建設部 設備設計課 吉田 典生
高橋 肇

1. はじめに

水再生センター・ポンプ所用の下水道用監視制御システムは、制御対象となる揚水・水処理設備に合わせて、システム設計・仕様作成・発注をしている。また、監視制御システムは大規模かつ複雑なシステム構成なため、それに対応できる固有の装置（制御装置、構内通信装置及び監視制御プログラム）及び技術を駆使して構築されている。このためにメーカー間での互換性や拡張性等、柔軟性に乏しいシステムとなっている。

一方、昨今の情報通信技術の発展は目覚ましく、計算機及び通信装置において、処理能力と信頼性が大幅に向上している。また、監視制御用のソフトウェアにおいては、共通のソフトウェアを利用しながらシステムを構築する手法が広まりつつある。通信網や電力システムの監視制御が、その主な先行事例である。これらの分野では情報モデルが共通化対象の1つとなっている。情報モデルとは、監視制御対象（例：水再生センターにおけるポンプ）を部品化しソフトウェアの仕様として表したものである。このような状況から、汎用の装置あるいは共通的なソフトウェア仕様を利用することで、より簡潔で効率的なシステム構築が期待できる。

本調査は、下水道用監視制御システムが現在有する信頼性を維持しつつ、基本ソフトウェア(OS:Operating System)を含む中央・ローカル監視制御設備に対するオープン（汎用）技術の適合性並びに監視制御用ソフトウェアの標準的構成、汎用標準通信プロトコルの適合性等に関する調査・分析・検討し、下水道用監視制御システムの標準的な仕様を定めるものである。

2. 調査概要

本調査は、平成14年度から16年度にかけて行うものである。本章では、平成14、15年度に行った、水再生センターにおける揚水・水処理施設用監視制御システムの調査・検討を以下に示す。

2.1 平成14年度の調査概要

(1) 要求条件の整理

監視情報の伝送や制御操作の応答時間、処理時間、また信頼性、保守性、拡張性などに関して、下水道用監視制御システムへの要求条件を整理し、明確化した。

(2) 技術動向調査

監視制御システムに関わる一般的技術（コンピュータ技術、デジタル計装制御技術、通信技術、ソフトウェア技術など）について、標準化及び製品動向を調査し、下水道用監視制御システムへの適用可能性を評価した。

(3) 下水道用監視制御システムの現状

納入実績のあるメーカー及び各水再生センターに対しアンケート調査を行い、下水道用監視制御システムの運用状況や新技術適用状況などを把握した。

(4) ハードウェア・ソフトウェア・構内通信網のオープン化に関する検討

監視制御システムにおける中央監視制御設備（クライアント／サーバやパーソナルコンピュータ（PC）水平分散方式などの計算機システム構成、入出力・表示装置、OSを含む）やローカル制御設備（プロセスコントローラ、シーケンサ）のオープン化の方向性を明らかにした。

ソフトウェアについては、中央監視制御設備及びローカル制御設備それぞれにおける監視データの標準化や、ソフトウェア部品の共通化の方向性について明らかにした。

構内通信網については、汎用の標準通信プロトコルと通信装置の妥当性をオープン化の観点から確認し、適用範囲を定めた。

2.2 平成15年度の調査概要

(1) ハードウェア及び制御LANの標準化調査

デジタル計装制御技術の動向を踏まえ、汎用ハードウェアや汎用プロトコルの活用など、水再生センター・ポンプ所への適合性を標準化の観点から調査した。

(2) 監視制御装置のソフトウェア構成標準化調査

水再生センター・ポンプ所の典型的な仕様を整理し、オブジェクト指向に基づいたソフトウェアを設計した。設計にあたっては、標準的な記述法を使用した。

また、人間にとって可読性があり、かつ、コンピュータにも取り扱いが容易なデータ記述形式であるXML（eXtensible Markup Language）について、監視制御分野での適用事例を調査した。

(3) 監視制御システム標準仕様の調査

上記(1)及び(2)の調査結果に基づき、下水道用監視制御システムにおける標準仕様を策定した。

3. 下水道用監視制御システム標準化調査

本章では、水再生センターにおける監視制御システムの全体構成を説明した後に、平成15年度に調査・検討した、各構成要素において汎用装置あるいは技術が適用可能であるかについて述べる。

3.1 監視制御システムの構成

水再生センターにおける監視制御システムの一般的な構成を図1に、各構成要素の概要を表1にそれぞれ示す。

近年構築されたシステムでは、中央監視制御設備にUNIXワークステーションと同等な仕様をもつ機器が使用されている。そこで利用されているソフトウェアは、水再生センターごとに設計されている。プロセスコントローラは、要求される処理能力の高さや入出力点数の多さに対応するように設計された装置が用いられている。シーケンサは、汎用のPLC（Programmable Logic Controller）と呼ばれる装置が主に用いられている。

一方、ネットワークは、メーカー独自の様々な通信方式が使用されている。

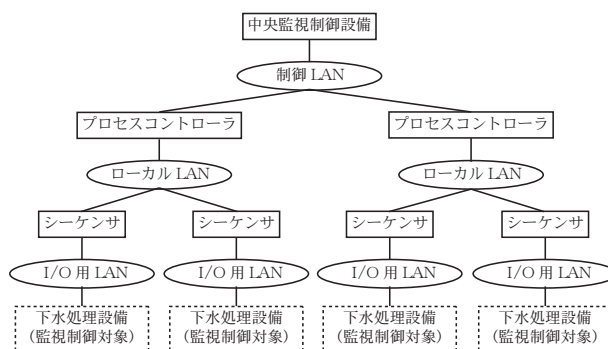


図1 監視制御システムの構成

表 1 監視制御システムを構成する要素（機器）の概要

要素	概要
中央監視制御設備	集中管理を行うための設備。監視用画面・計算機・ソフトウェアから構成される。
プロセスコントローラ	まとまった単位における下水処理設備の監視制御を担う。
シーケンサ	下水処理用の装置に対するシーケンス制御を担う。
制御 L A N	中央監視制御設備とプロセスコントローラ間の通信を担う。
ローカル L A N	プロセスコントローラとシーケンサ間の通信を担う。
I / O 用 L A N	シーケンサと下水処理設備間の通信を担う。

3. 2 汎用技術の適用調査

ここでは、前節で紹介した構成要素ごとに、汎用装置／技術の適用可能性を示す。

中央監視制御設備では、現在でも UNIX ワークステーションと同等な仕様をもつ機器が採用されていることに加え、工業規格に準拠していない汎用計算機でも 24 時間 365 日連続稼働をうたった製品が登場しているため、基本ソフトウェア（OS）を含めたハードウェアに対し、汎用装置及び技術を適用できる環境が整っている。一方、ソフトウェアについては、汎用的な製品が存在するわけではないが、1 章で述べたように、他分野において監視制御用情報モデルを活用した実績があることから、下水道分野での情報モデルを確立することができれば、共通的な仕様を指定することが可能な状況にある。

プロセスコントローラのハードウェアに関しては、汎用 P L C の性能が向上していることから、処理能力及び入出力点数に応じて、汎用 P L C を利用できる場合がある。シーケンサにおいても同様に、汎用 P L C を指定できるが、より汎用的な指向を目指すために、P L C に関する規格、P L C の一般情報（JIS B3501）、装置への要求事項及び試験（JIS B3502）、プログラミング言語（JIS B3503）を採用することも視野に入る。ここでは、仕様が定められている。ただし、P L C に搭載される具体的なソフトウェアについては、処理内容が下水処理設備の特徴に依存すること、異なるベンダの P L C 間で相互運用性が確保されていないことから、共通的な仕様を規定することが困難である。

制御 L A N については、T C P / I P（Transmission Control Protocol/Internet Protocol）や Ethernet といった汎用通信プロトコルを活用することが可能である。これは、情報の送受信端となる汎用の計算機と P L C が対応可能であることや、監視制御用として規格化され支配力を持っている技術が存在しないことによる。一方、ローカル L A N 及び I / O 用 L A N については、現在様々な規格が乱立しており、しかもシステム構築者によって得意とする技術が異なることから、汎用技術を特定することが得策ではない状況にある。

以上をまとめると、汎用技術や共通的な仕様を指定可能な領域は次の 4 つに絞ることができる。

(1) 中央監視制御設備のハードウェア

- (2) プロセスコントローラ及びシーケンサ（以下、併せてローカル制御設備という）のハードウェア
- (3) 制御 LAN
- (4) 中央監視制御設備のソフトウェア（情報モデル）

4．汎用技術に基づく仕様の方向性

ここでは、3．2節で示した4つの構成要素について、汎用技術に基づいた仕様の方向性について述べる。

4．1 中央監視制御設備のハードウェア

中央監視制御設備のハードウェアについては、基本ソフトウェア（OS）が備えるべきAPI（Application Programming Interface）と信頼性に関する要求事項を定める。APIを指定するのは、将来的な監視制御用ソフトウェアの互換性を確保する基盤とするためである。

一方、信頼性については、適切な部品及び構成を採用した計算機を導入できるような指標を与える点が必要である。

なお、CPUやメモリ容量等処理能力については、技術革新が早いことと使用するソフトウェアによって要求される能力が異なることから、設計段階でシステム構築者が自由に選択できるよう、詳細仕様には含まないこととした。

基本ソフトウェア（OS）のAPIについては、1996年版のPOSIX.1の準拠を指定することが有望である。POSIX.1とは、基本ソフトウェア（OS）がアプリケーションプログラムに対して提供する機能と呼び出すための方法（API:Application Programming Interface）に関する規格である。1996年版のPOSIX.1では、（アプリケーションに対する）システムインタフェース、リアルタイム拡張、スレッドに関する規格が定められている。これによって、商用UNIX及び大半のLinuxについては採用可能となる。Microsoft Windowsについても、POSIX.1対応のためのパッケージであるSFU（Windows Services for Unix）を利用することによって、採用可能な選択肢となる。したがって、システム構築者は得意とする技術を活かせる基本ソフトウェア（OS）が選択可能となる。

一方、信頼性については、MTBF（平均故障間隔:Mean Time Between Failure）を定める。例えば、10,000時間を超える製品であれば利用可能とする。近年では、ビジネスサーバ用に設計された汎用計算機であれば、この程度のMTBFを実現することが可能であるため、導入可能な機種が増加する。

4．2 ローカル制御設備のハードウェア

ローカル制御設備に用いるハードウェアに対しては、JIS B3501～3503の適用指定が有力である。これによって、使用環境に対する特性やプログラミング言語が指定される。現在国内では、JIS B3501～3503に準拠した様々なPLCが製造・販売されている。したがって、システム構築者は適切な規模及び特性を持ったPLCを選択することが可能となる。

また、プロセスコントローラやシーケンサとして用いるべきPLCのグレードを指定することが考えられる。これにより、プロセスコントローラといえども、処理能力及び入出力点数などの条件が満たされれば、汎用的なPLCを用いることも視野に入る。

4．3 制御 LAN

制御LANのプロトコルには、TCP・UDP／IP／Ethernetの活用が有力である。これらの技術はインターネットにて広く普及しているため、豊富な選択肢を実現すること

が可能である。これらは、監視制御用の通信技術としても適用検討が進められている。

一方、制御LANの構成装置には既に様々な選択肢が存在する。しかも、技術革新の早い分野であることから、排他的な指定を行うべきではない。参考までに、現時点ならば、制御LANの規模・利用方法・トラフィックの点から、STP（Spanning Tree Protocol）または、高速STPを備えるイーサネットスイッチによってネットワークを構成することが、費用対効果の点から優れている。

4.4 中央監視制御設備のソフトウェア

監視制御用ソフトウェアの仕様として、下水処理を行う電動機やポンプなどを表す情報モデルを作成した。図2には、一例として、污水ポンプ設備向けに設計されたオブジェクトとその包含関係を示す。本モデルの設計にあたって配慮した点とその方策は、以下のとおりである。

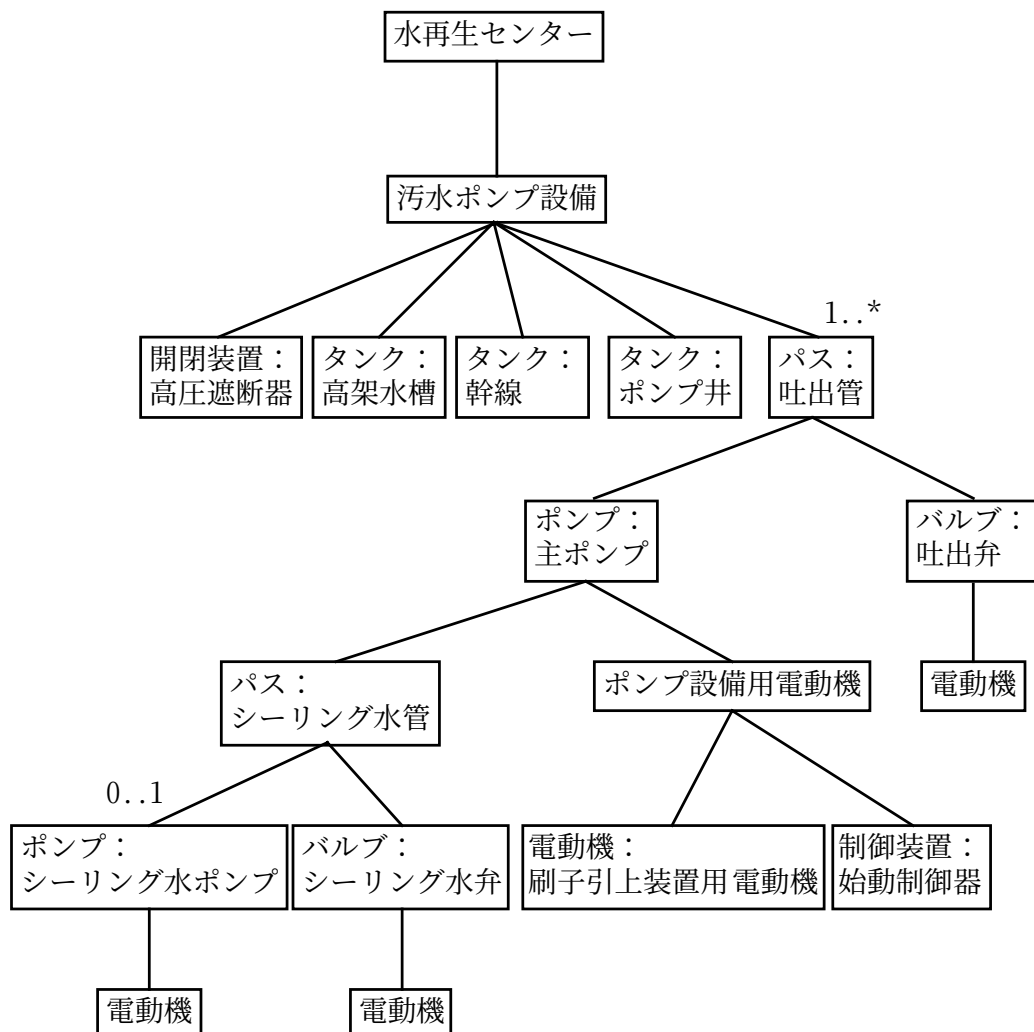


図2 污水ポンプ設備における包含関係

- (1) 異なる水再生センターでも共通に利用できるよう、変更が頻繁に発生する部分（変更可能なオブジェクト）と、長期間再設計が不要な部分（持続的オブジェクト）を分離し、持続的オブジェクトに対し影響なく、変更可能なオブジェクトの再設計を可能とした。
- (2) 情報モデルの成熟度を高めるために、電力系統の監視制御に用いられる情報モデルを可能な限り利用した。
- (3) ソフトウェア開発者によって仕様の解釈が異なることを最小限にするため、オブジェクトの検索や命名に関する方法を指定した。
- (4) 今回の下水道用監視制御における情報モデルにおいては、包含木の構成及びオブジェクトの特定方法を共通化の対象とし、基本機能の開発量削減を目指した。

本節では、情報モデル一般の概要を示すとともに、標準的な仕様を作成する対象を整理する。続いて、下水道用情報モデルの設計方針を示し、今回設計した代表的な下水道用情報モデルについて述べる。

4.4.1 情報モデル

監視制御対象となる設備などをオブジェクト指向に基づいて表したソフトウェア部品の集合を情報モデルと呼ぶ。情報モデルの設計には、再利用や拡張の容易な方法を提供するオブジェクト指向技術を活用する。

標準的な仕様を作成する対象を明確にするために、中央監視制御設備に用いられる監視制御プログラムを、図3に示すような4種類に分類する。

- (1) 「画面」用ソフトウェア：ディスプレイや監視盤上に図面・ボタン・メニューなどを表示し、運転員からの操作を受け付ける。
- (2) 「監視制御処理」用ソフトウェア：運転員の業務に即した処理手順を有し、画面からの指示や通信部からの情報に基づく処理を行う。
- (3) 「内部データ管理」用ソフトウェア：中央監視制御設備用コンピュータにおけるデータを保存・管理する。
- (4) 「通信部」用ソフトウェア：ローカル制御設備との通信を担う。

上記のような分類とした理由は、ソフトウェアの変更・拡張範囲を限定することにある。すなわち、長期間固定的に利用できるソフトウェアと短期間で変更される可能性のあるソフトウェアを分離することによって、ソフトウェアの変更や拡張を短期間で変更されるソフトウェアでのみ実現することとする。さらに、運転員の業務に関する要求に基づいて構築できるソフトウェアと、共通化されない(シ

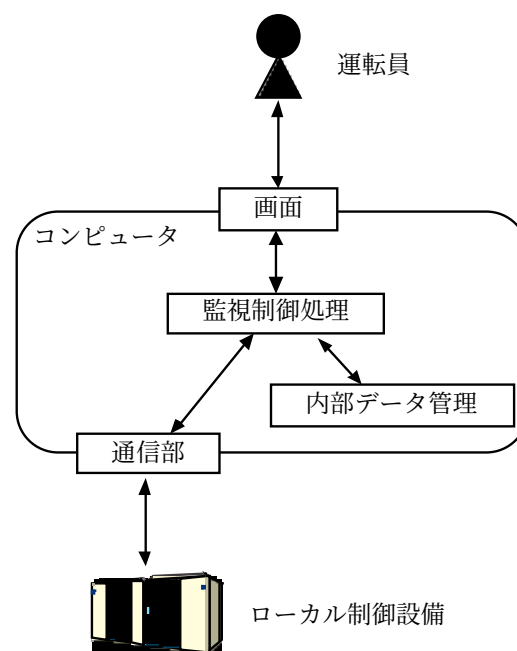


図3 中央監視制御設備用コンピュータにおけるソフトウェアの分類

システム構築者依存の) 技術を考慮して構築されるソフトウェアを整理することによって、システム構築者固有の技術へ対応可能とするとともに、業務の立場から設計したソフトウェアが、複数のメーカーに対応できるようにする。

この考え方は、I. ヤコブソンによって考案されたBCEモデル (Boundary-Control-Entity model) に基づいている。基本思想としてBCEモデルを採用することにより、設計変更に対する柔軟性を確保しやすくする。BCEモデルとは、以下の3種類にオブジェクトクラスを分類して設計するモデルである。

- (1) Boundary : 設計対象と外部との境界に位置し、情報交換の役割を担う。再設計が最も頻繁に発生する。
- (2) Control : オブジェクトの連携にかかわり、具体的な機能を提供する。機能変更に伴う再設計要求が発生する。
- (3) Entity : 設計対象内部で用いられる実体を表す。一度設計されると長期間利用される。

このBCEモデルを中央監視制御設備の情報モデルに適用すると、図4に示すような構成となることが考えられる。

各クラスの概要は、次のとおりである。

- (1) 境界クラス: Boundary に対応する。ユーザインタフェースや他システムとのデータ交換を担う。
- (2) 制御クラス: Control に対応する。監視制御機能を実現する。
- (3) 内部クラス: Entity に対応する。監視制御対象となる装置の特徴をモデル化する。
- (4) 通信モジュールクラス: Entity と Boundary の2つに対応する。ローカル制御設備との通信を担う。

このうち、内部クラスにおいて、属性(オブジェクトクラスが有するデータ)及びメソッド(オブジェクトクラスが提供する処理)について、詳細仕様を定めるべきである。制御クラス及び通信モジュールクラスは、運転業務や監視制御対象の違いにより具体的な処理内容が異なることから、最低限備えるべきメソッドとその書式が仕様作成の対象となる。一方、境界クラスの共通的な仕様を定めるためには、入出力の整理が必要である。

図5に、試作した中核となるオブジェクトクラスを、標準的な記述法であるUML(Unified Modeling Language)のクラス図によって示す。ここでは、四角が1つのオブジェクトを表す。実線や破線はクラス間の関係を表す。クラスにおいて「<<内部>>」や「<<制御>>」等と示されているのは、BCEモデルとの対応を示している。

監視制御対象となる下水処理装置は、すべて下水道用装置クラスから派生する。他の装置を内包したり従属させたりする場合には、下水道用装置収容クラスから派生する。

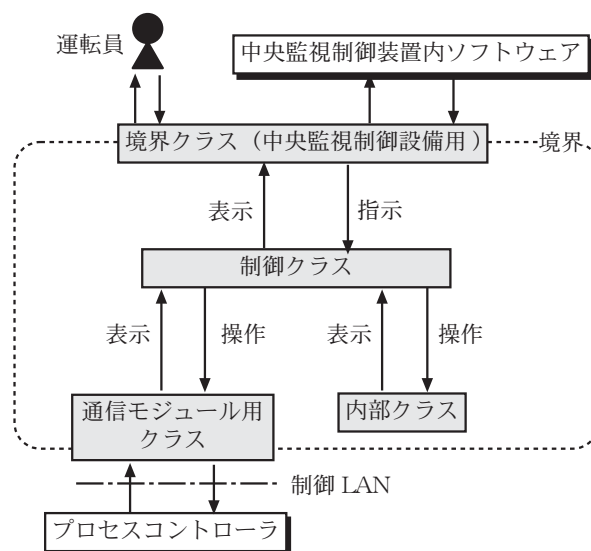


図4 クラス設計に対するBCEモデルの概要

