

芦木 達雄
T. Ashiki

本木 唯夫
T. Motoki

中丸 正
T. Nakamaru

最近の新都市開発例から、基盤整備におけるシステム技術として上水道、下水道、共同溝管理の監視制御システムについて、その特長と最新の技術動向を紹介する。

上水道システムは、ファジィ推論を適用した配水末端圧力制御（配水ポンプ回転数制御）を実現し、昼と夜の用水量差に合わせた良好な制御応答が得られた。下水道システムでは、クライアントサーバシステムを基本とし、オープン化を加味した高機能監視制御システムを実現した。また共同溝管理システムでは、共同溝の保全と上下水道、電力、ガス、通信などの占用者へのサービスを中心とした充実したシステムを提供した。

This paper describes the characteristics of and trends in new technologies for water and sewage plants as well as underground utility supply duct control systems, as system technologies for infrastructure in the latest urban development projects.

In the field of water systems, we have realized the control of water supply end pressure by means of a fuzzy control system, and have obtained good control response corresponding to the differences in day and night water volumes. In the field of sewage systems, we have constructed a supervisory control system with high-level functions incorporating a client-server system, open architecture, and other features. And in the field of underground utility supply duct control, we have constructed a system enabling the maintenance of equipment and the provision of services for occupants such as a public utility operating a water and sewage plant, an electric power company, a gas company, and a communications provider.

1 まえがき

新都市の開発においては、都市に暮らす人びとの安全と快適な生活を提供するために、基盤整備が重要な位置付けとなってくる。

基幹設備として電力、ガス、上下水道、中水、通信、さらには共同溝といった設備が考えられるが、それぞれ土木建築、機械設備、電気設備といったシステムが含まれる。電気設備は大きく受変電システム、電動力応用システム、監視制御システムに細分化されるが、ここでは最近の新都市開発例から当社が担当した上水道、下水道、共同溝設備のなかで、特に技術進歩が著しい監視制御システムの実施例について以下に述べる。上水道ではファジィを応用した自動制御を給水所システムに組み込んだ。下水道ではクライアントサーバシステムを基本とした高機能監視制御機器を下水処理場に納入した。共同溝管理システムでは安全性の確保、サービス機能の充実などを目的としたシステム構築を行った。

2 上水道監視制御システム

2.1 給水所監視制御システム

2.1.1 システムの特長 給水所システムは、既存の浄水場から送水される水を一度配水池に受水し、ポンプによ

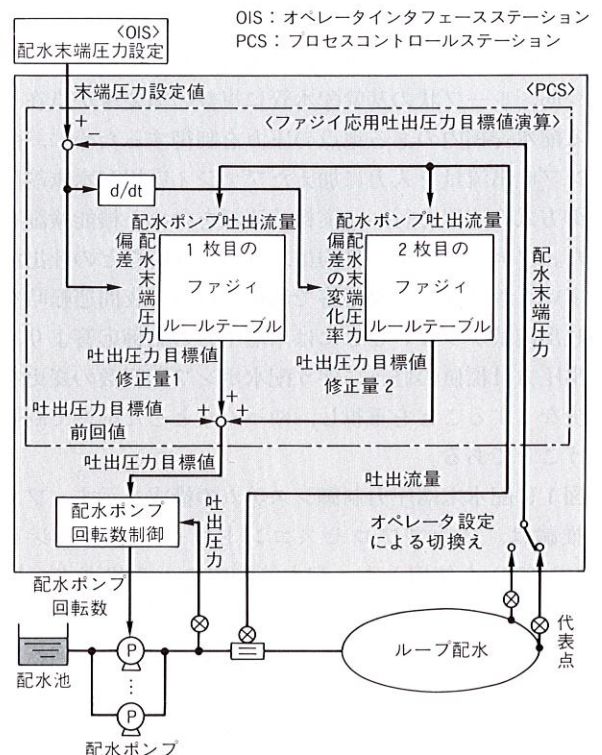


図1. ファジィ応用配水末端圧力制御システムの構成 配水末端圧力偏差と吐出流量を二つのルールテーブルに入力し吐出圧力目標値を出力する。

Configuration of water supply end-pressure control system incorporating fuzzy control system

り直接配水するものである。都市型給水所の特徴でもある昼と夜の使用水量の差を制御するため、配水後使われない水を配水池に戻すループ送水や、給水所をバイパスする直送ルートなどがある。給水所は無人機場であり、上位給水所から遠隔制御されるため、徹底した自動制御を図っている。

主な自動制御内容は受水流量制御、配水末端圧力制御、帰水流量制御、次亜塩素素注入量制御などがある。

受水流量制御は配水池のバッファ効果を有効に使用し、一定受水を目的として上位給水所に与える圧力変動を極力少なくするように、受水調整弁の開度制御を行うものである。帰水流量制御は、夜間など水量が少ない時間帯にポンプのミニマムフロー領域にならないようループ送水により帰水するもので、一定量を帰水するよう帰水調整弁の開度制御を行う。次亜塩素素注入量制御は、混和池残塩計をフィードバック信号とした補正制御である。配水末端圧力制御は、ループ送水上に設置した末端圧力伝送器の信号をフィードバック信号とし、吐出圧力制御の補正制御を行うもので、今回はファジィ推論を適用した。

以下に配水末端圧力制御の詳細について紹介する。

2.1.2 配水末端圧力制御システム 上水道における配水圧力制御は、配水管網への直接給水のため、きめ細かい運用と制御が望まれている。配水管網内のある一点の圧力を制御する際、非線形な制御応答が求められる場合があり、この場合はファジィ応用技術の適用が有効である。

今回、ループ状の基幹配水管に複数の需要家が点在している配水管網内のある地点の圧力を制御するために、配水ポンプ吐出流量を入力に加えたファジィ応用配水末端圧力制御方式の適用を行い、実機試運転を含めた機能検証を行った。ファジィ制御の目的は、昼の運転時などの吐出流量が多いときは速やかな応答で制御を行い、夜間運転時などの吐出流量が少ないときには末端圧力の制御応答よりも、吐出圧力目標値の修正に伴う配水ポンプ回転数の変更を極力少なくすることを重視し、ゆっくりとした応答で制御を行うことである。

図1に配水末端圧力制御システムの構成を示す。ファジィ推論は、分散型プロセスコントロールステーション(PCS4000)を使用した。配水管網内のある代表点の圧力(末端圧力)を基に配水ポンプの吐出圧力目標値を演算し、演算された吐出圧力目標値に従って配水ポンプの回転数制御を行う。

ファジィ応用吐出圧力目標値演算の入力は、配水ポンプ吐出流量、配水末端圧力設定値、末端圧力偏差および偏差の変化率である。これらの情報を基にファジィ推論では、2枚のルールテーブルにより吐出圧力目標値修正量1および修正量2を演算し、これらの和を吐出圧力目標値の前回値に加算することにより吐出圧力目標値を演算する。

配水ポンプ吐出流量

	PB	PS	Z	NS	NB
PB	PB (R1)	PB (R2)	PM (R3)	PM (R4)	PS (R5)
PS	PM (R6)	PM (R7)	PS (R8)	PS (R9)	Z (R10)
Z	Z (R11)	Z (R12)	Z (R13)	Z (R14)	Z (R15)
NS	NM (R16)	NM (R17)	NS (R18)	NS (R19)	Z (R20)
NB	NB (R21)	NB (R22)	NM (R23)	NM (R24)	NS (R25)

(a)吐出圧力目標値修正量1を求める
ファジィルールテーブル

配水ポンプ吐出流量

	PB	PS	Z	NS	NB
PB	PB (R1)	PB (R2)	PM (R3)	PM (R4)	PS (R5)
PS	PM (R6)	PM (R7)	PS (R8)	PS (R9)	Z (R10)
Z	Z (R11)	Z (R12)	Z (R13)	Z (R14)	Z (R15)
NS	NM (R16)	NM (R17)	NS (R18)	NS (R19)	Z (R20)
NB	NB (R21)	NB (R22)	NM (R23)	NM (R24)	NS (R25)

(b)吐出圧力目標値修正量2を求める
ファジィルールテーブル

P : Positive N : Negative Z : Zero
S : Small M : Medium B : Big
()内はルールNo.を表す。

図2. ファジィルールテーブル 吐出圧力目標値修正量1, 2を求める。

Fuzzy rule table

図2に2枚のファジィルールテーブルを示す。ファジィ応用配水末端圧力制御システムの機能検証として、ステップ応答試験、外乱応答試験を行った。試験結果を図3および図4に示す。吐出流量が多い場合と少ない場合の比較では、両試験とも応答時間は吐出流量が多いときは速い応答、吐出流量が少ないときはゆっくりとした応答で制御を行っていることが確認できた。さらに、それぞれの試験結果とシミュレーション結果とを比較すると、応答時間はほぼ一致しており、良好な制御となっていることがわかる。

図5は、ファジィ応用配水末端圧力制御のオペレータインタフェースステーション(OIS6000)の監視画面を示す。

ファジィ推論状況をオペレータが監視できるようにするために、ルールテーブル上でのプロセス水位表示や、メンバシップ関数の現在位置表示、各種パラメータの設定機能などを一つの画面上にわかりやすく表示することにより、マンマシンインタフェースの充実を図った。

2.2 上水道共同溝システム

給水所から配水されるループ状の幹線配管は後述する共同溝内に敷設され、弁類、圧力、流量センサが16か所にわたり点在している。それぞれをブロックごとに分けりモー

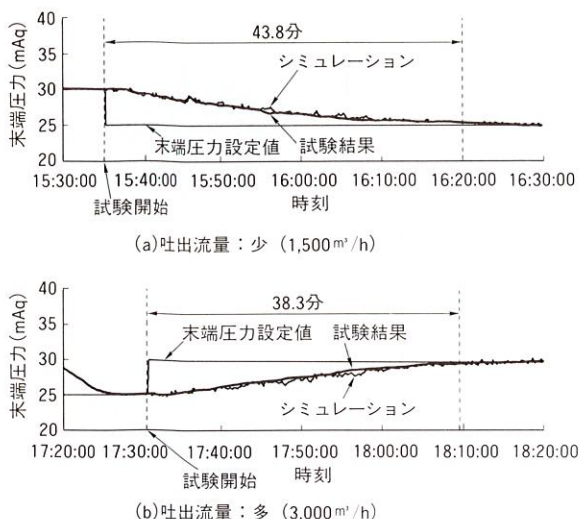


図3. ステップ応答試験データ 応答時間は吐出流量多く吐出流量少であり、シミュレーション結果とよく一致し良好な制御となっている。

Step response test data

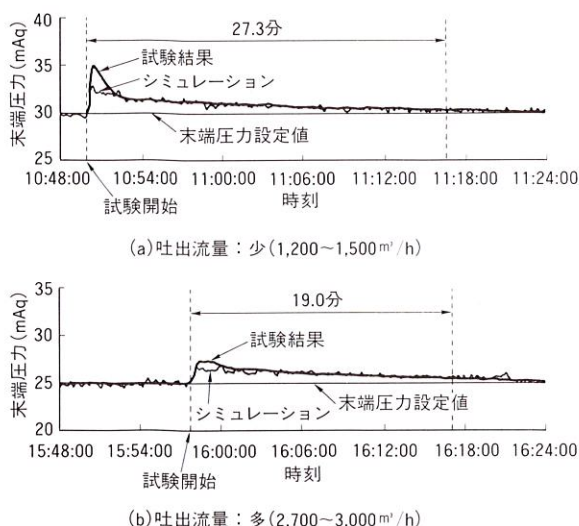


図4. 外乱応答試験データ 応答時間は吐出流量多く吐出流量少でありシミュレーション結果とよく一致し良好な制御となっている。

Noise response test data

トステーションを設置し、給水所とは高速長距離光伝送装置で信頼性向上のため1対1で接続されている。図6は共同溝内に設置されたリモートステーションの一例である。

3 下水道監視制御システム

3.1 概要

近年、下水処理プラントを取り巻く環境が大きく変化している。従来の汚水処理、雨水排除機能に加え、処理水の

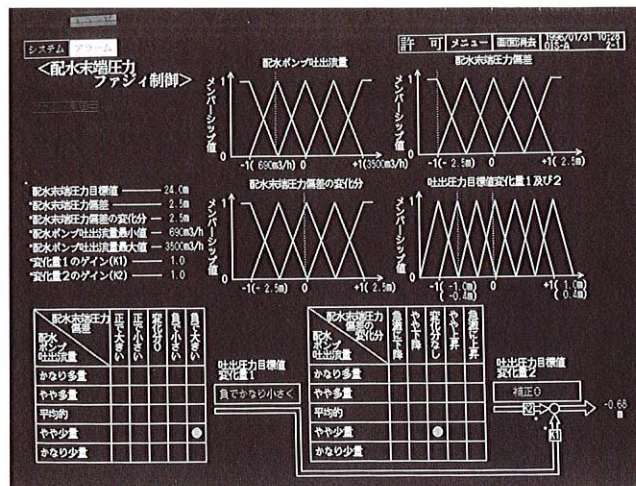


図5. CRT ファジィ制御監視画面 ファジールールテーブルおよびメンバシップ関数の推論状況を表示した。

Example of fuzzy control system display

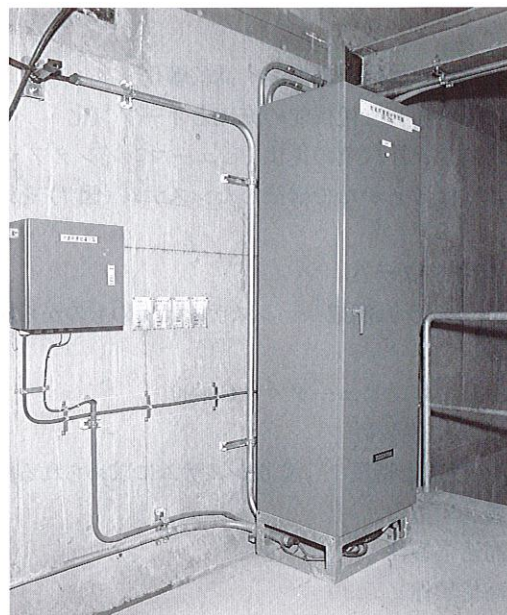


図6. 共同溝内リモートステーション設置例 共同溝内環境に対応した盤仕様である。

Example of remote station setting in underground utility supply duct

再利用、下水管渠(きよ)を利用した広域ネットワーク化、上部空間の利用、維持管理環境の充実などが求められている。このような環境の下で、下水道監視制御システムとはどうあるべきかを最新の都市型処理場の例で、システム構築のポイントを紹介する。

3.2 中央監視制御システムの考えかた

中央監視制御システムは次のコンセプトが求められている。

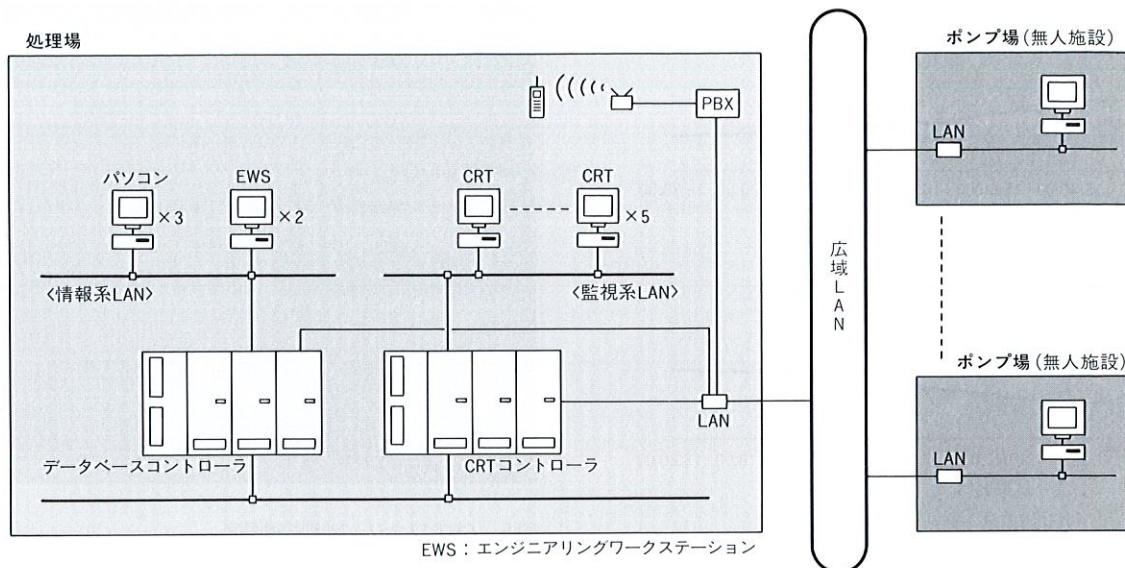


図7. 下水処理場システムの構成 監視用計算機，情報処理計算機，広域LANから構成されている。
Configuration of sewage-water treatment plant system

- (1) 監視操作機能の高機能・高信頼化
- (2) 情報処理・支援機能の充実とオープン化
- (3) 快適な操作環境の提供（ヒューマンインタフェース）

このような考えかたで構築したシステム（図7）を以下に示す。

3.3 監視システム

3.3.1 システム構成 システムは次のものから構成されている。

- (1) 産業用コンピュータ G8090 1組
- (2) CRT監視装置 5台

3.3.2 機能と特長 監視システムに求められる機能は次のとおりである。

- (1) 高速応答性
- (2) 高信頼性
- (3) 操作性の向上

上述の機能を実現するために、監視システムはクライアントサーバシステムで構成した。産業用コンピュータ G8090 は二重化し、データサーバとして機能する。CRTはコントローラをもち、サーバからデータを取込み表示、更新などを行うクライアントの機能をもつ。この構成により、従来以上に高信頼性と高速応答性を実現した。

また、CRTの表示操作については、タッチパネルを採用したほか、独自のデザイン設計を行って見やすく、操作しやすい環境を実現した。

3.4 情報処理システム

3.4.1 システム構成 システムは次のもので構成されている。

- (1) 産業用コンピュータ G8090 1組

- (2) EWS AS4080 3台
- (3) パソコン J3100 PV2 4台
- (4) 帳票用プリンタ 2台

3.4.2 機能と特長 情報処理システムに求められ機能は次のとおりである。

- (1) 維持管理上必要なデータの高速な引出し
- (2) データの加工，保存が容易
- (3) 日常業務に対する適切な支援

上述の機能を実現するために監視制御システム同様、クライアントサーバシステムで構成し、パソコン、EWSはクライアントとしてユーザオープンな環境を提供している。以下に情報処理システムの機能を述べる。

- (1) 帳票作成支援システム 下水処理プラントで作成する帳票の作成をパソコンで行う。サーバからのデータを、Microsoft Excel^(注1)などの汎(はん)用表計算ソフトウェアで加工する。また、ユーザオープンとなっており、フォーマット、項目演算の定義などをユーザが容易に行えるようになっている。
- (2) 情報管理システム EWSで長期間のトレンド、メッセージの表示、印刷を行う機能、データを光磁気ディスク(MO)に保存させる機能をもつ。
- (3) 運転支援システム 次の機能をEWSで実現した。
 - (a) 流入量予測 曜日、天候、各種イベント情報などからニューロを用いて流入量を予測する。
 - (b) 水質支援 水質データを用いてデータ間の相関図の作成や、制御の良・不良を診断する(図8)。

(注1) Microsoft Excelは、Microsoft社の商標。

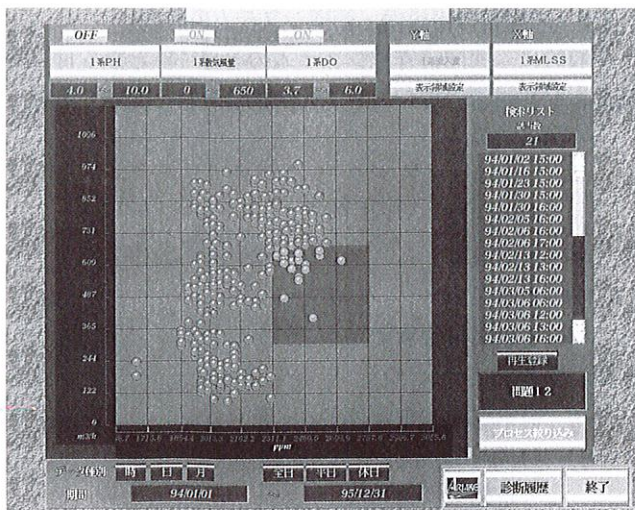


図8. 運転支援システム画面例 3D グラフの採用により、データ間の相関、運転状況が把握できる。

Example of operator support system display

- (4) 維持管理システム パソコンで故障報告書、機器台帳などの作成を支援する。このシステムもユーザオープンとなっており、ユーザがデータの追加、変更などを容易にできるようになっている。

3.5 ITV 監視システム

3.5.1 構成 システムの構成は次のとおりである。

- (1) ITV モニタ ワイドバズーカ 3 台
- (2) 液晶操作卓 1 台
- (3) リモコン操作装置 1 台
- (4) 制御装置、カメラ 1 式

3.5.2 特長 ITV 監視システムは、画像圧縮技術の進歩によりここ数年急速に変化しているが、今回はマンマシンインタフェースの充実を目的としシステムを構築した。モニタには2分割ワイドバズーカを3台使用して最大6機場の同時表示を可能とし、さらに1画面を4分割し1機場当たり4台、最大24台のカメラ映像を同時表示可能とした。操作部は液晶タッチパネルを採用し、また同一の操作をリモコンでも行えるようにして操作性を向上させている。

3.6 監視室総合デザイン

監視室は操作環境の向上を図るために総合デザイン検討を行った。次世代の監視室のコンセプトを“環境-人間-機器-運用”の調和に置き、レイアウト計画、照明計画、フロアのデザイン、事務机や椅子の選定など監視室のすべてを計画した(図9)。

3.7 光伝送による広域ネットワーク

光伝送によるネットワークを用いて下水道設備間の広域ネットワークを構築するシステムが増えているが、今回も下水処理場と周辺の無人ポンプ場間で共同溝内に敷設した光ファイバケーブルを利用してネットワークを構築した。



図9. 中央監視室 総合デザインを実施した監視室。快適な操作環境を提供している。

Control room

構成は、図10のようになっており、データ系とITV系を分けたネットワークになっている。データ系は伝送処理装置LX7100(伝送速度100Mbps)によるループLANでプラントデータと内線電話の処理を行う。伝送データ量を考慮して、ITV系は映像データを処理場と1対1で接続した。

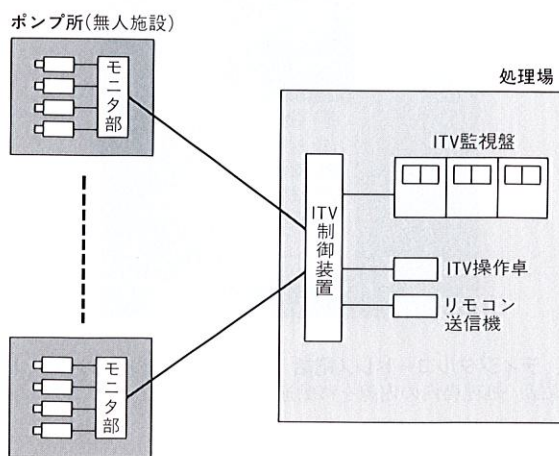


図10. ITVシステムの構成 遠方のポンプ場と処理場は光ファイバケーブルで1対1で接続されている。

Configuration of ITV system

3.8 電話設備

処理場内の電話設備は図11のとおりとなっている。最新のデジタル交換機PBXを採用し、場内および無人ポンプ場の内線を収納している。

場内の主要電気室には標準電話機を設置し、監視室、事務室には多機能電話機を納入したほか、業界初のデジタルコードレス電話(PHS)(図12)を導入した。携帯電話機により、場内のどこからでも内線通話が可能である。

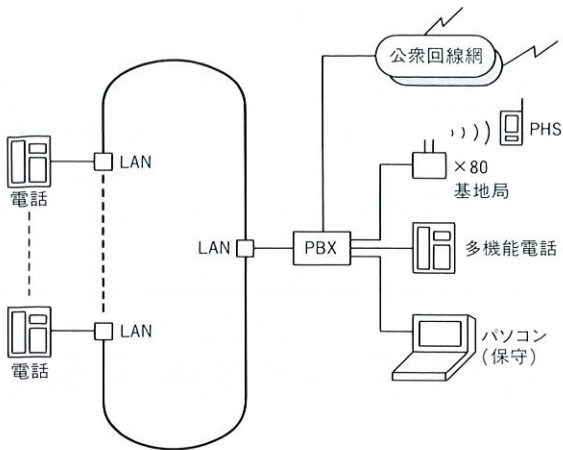


図 11. 電話通信システムの構成 PBX、デジタル多機能電話のほか、事業所内コードレス電話を採用した。

Configuration of telecommunications system



図 12. デジタルコードレス電話 業界初採用のデジタルコードレス電話。処理場内の内線を移動通信可能とした。

Digital cordless telephone

4 共同溝管理システム

4.1 共同溝管理システムの目的

共同溝内には、上下水道配管、電力ケーブル、ガス管、ゴミ収集管、通信ケーブル、地域冷暖房熱供給管など都市のライフラインが収容されており、内部で事故が発生した場合には都市機能が麻痺(ひ)し、社会活動の停滞を引き起こす恐れがある。また、配管・ケーブルなどの収容物の保全・管理の省力化が求められている。そこで、共同溝管理システムには、共同溝の保全と上下水道、電力、ガス、通信などの占有者へのサービスの機能が求められている。

4.2 共同溝付帯設備・管理システムの構成

一般的に、共同溝管理システムの管理対象となる付帯設備および共同溝管理システムの構成は次のとおりである。

- (1) 付帯設備
 - (a) 受配電設備
 - (b) 照明設備
 - (c) 換気設備
 - (d) 排水設備
 - (e) 占有者電源設備
- (2) 管理システム
 - (a) 設備監視制御システム
 - 自動火災報知器
 - 酸素欠乏・有害ガス検知システム
 - (b) 防災設備
 - 防犯・安全・利便設備
 - 入出溝管理システム
 - 侵入者検知システム
 - 避難誘導・放送設備
 - 連絡・通報設備
 - (c) 課金システム
 - (d) 機器管理システム

4.3 システムの機能構成

共同溝を管理するために必要な機能について説明する。

4.3.1 設備監視制御 付帯設備の状態監視および溝内環境異常時における付帯設備の運転制御を行う。溝内環境異常には、火災、温湿度上昇、酸素欠乏、有害ガス発生などがある。

4.3.2 防災 溝内の火災監視および酸素欠乏・有害ガス監視を行う。センサには熱、煙、酸素、可燃性ガス、一酸化炭素、硫化水素を検知するものなどが用いられている。

4.3.3 防犯 換気口の破壊、ドアやグレーチングの不正解錠による侵入者を監視し、連絡通報設備との連携により、関係部署(機関)に対応を求める。

4.3.4 安全・利便 異常発生時には在溝者の安全を確保するための警報(放送・警告灯)および避難誘導を行い、正常時には在溝者間の連絡、管理者から在溝者への連絡を行う。

4.3.5 課金 設備監視制御システムおよび入出溝管理システムのデータを基に、動力・照明の電気料金および排水の下水道料金算出のための基本データを占有者ごとに計算する。計算方法は、管理者によって異なり、特に標準的なものはない。

4.3.6 機器管理 付帯設備および管理システムの保全に必要な機器台帳および保守履歴などを作成する。

4.4 共同溝管理システムの具体例

現在まで建設されている共同溝は、総延長距離が数百 m から数十 km に及ぶものまでである。当然、その規模、管理レ

ベルにより共同溝管理システムの構成は異なる。

図 13 に、中規模のシステム、図 14 には大規模のシステムのセンタ部分の構成例を示す。

4.5 当社の共同溝管理システムの特長

当社は、総延長約 3 km の小規模な共同溝から約 16 km の大規模な共同溝までの施工実績をもっている。また、施工範囲は受変電設備、照明設備、換気制御盤、排水制御盤といった付帯設備からセンタ設備に至る電気設備全般の実績

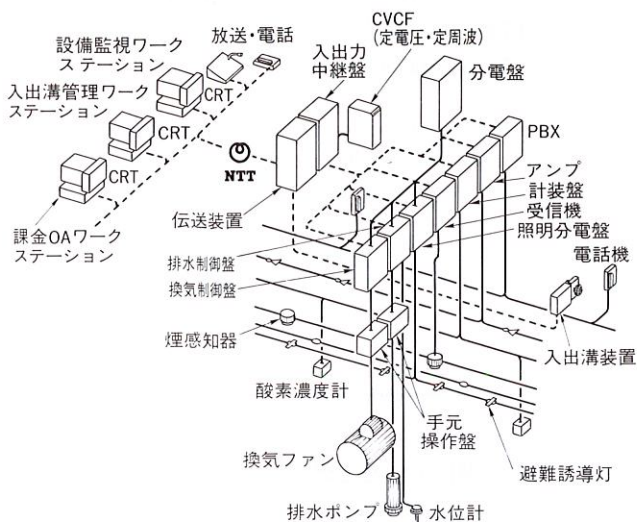


図 13. 中規模共同溝の付帯設備・管理システムの全体像 一般的な中規模共同溝の付帯設備および管理システムの構成とそれらの関係を示す。

Configuration of utility equipment and management system for mid-size utility conduit

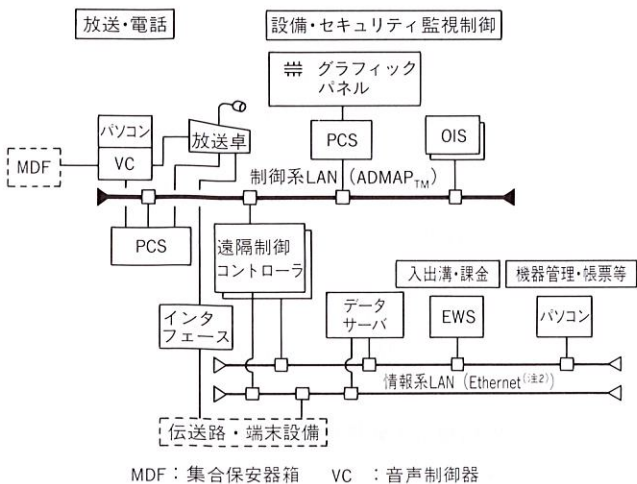


図 14. 大規模共同溝の管理システム (センタ設備) 大規模な共同溝管理システムのセンタ設備の構成を示す。

Configuration of center system for large-size utility conduit

(注 2) Ethernet は、富士ゼロックス㈱の商標。

がある。これまでの実績を基に当社の保有技術をまとめること次のようになる。

- (1) 規模に応じた柔軟なシステム
- (2) 付帯設備、端末設備からセンタ設備までスルーしてバランスのとれたシステム
- (3) 信頼性、セキュリティの高いシステム
- (4) 操作環境に優れたセンタ設備
- (5) 設備管理、課金など業務支援系含めたコンサルテーションを提供

5 あとがき

最近の新都市開発の実施例から、基盤整備におけるシステム技術として、上水道ではファジィを応用した自動制御技術、下水道ではクライアントサーバシステムを基本とした最新の監視制御システム、共同溝管理システムでは安全性の確保、多業種占有者へのサービスを主目的としたシステム構築、といった点を中心に紹介した。これからは新都市開発が進むにつれシステムの大規模化対応、高機能化、さらには省力化に伴う自動化の推進、といったニーズが高まるものと考えられる。

今後は、マルチメディア技術の導入や、オープン化、ダウンサイジングの流れのなかでさらなるシステムアップを図り、これらの問題に対応する柔軟なシステムを構築していきたい。

文献

- (1) 宮島康行, 他: 制御用エキスパートシステムのルールベース構築支援システム, 電気学会全国大会, 672, pp.6-157-158 (1991)
- (2) 津末まり子, 他: 分散型エキスパートシステムの浄水場への適用, 電気学会全国大会, 671, pp.6-155-156 (1991)
- (3) 芦木達雄, 他: 上下水道プラントにおける分散型 AI 制御システム, 東芝レビュー, 47, 5, pp.377-381 (1992)



芦木 達雄 Tatsuo Ashiki

官公システム事業部公共システム技術第一部。
上水道プラントのシステムエンジニアリング業務に従事。
Government & Public Corporation Systems Div.



本木 唯夫 Tadao Motoki

官公システム事業部公共システム技術第二部主務。
下水道プラントのシステムエンジニアリング業務に従事。
Government & Public Corporation Systems Div.



中丸 正 Tadashi Nakamaru

官公システム事業部環境・都市システム推進担当都市システム技術主査。都市システムのエンジニアリング業務に従事。電気学会、空気調和・衛生工学会会員。
Government & Public Corporation Systems Div.