



用水路管理システム

Development of Irrigation Channel Management System

笹谷 俊久^{*1}
sasaya Toshihisa

中田 二郎^{*2}
Nakata Jirou

篠崎 和美^{*2}
Shinozaki Kazumi

五十嵐 絵美^{*3}
Igarashi Emi

あらまし

「水」は水田や畑を潤し、水道用水として使われるなど生活基盤として重要な資源である。わが国では水資源を無駄なく有効に利用するため、農林水産省 / 水資源開発公団 / 自治体が中心となり、用水路を建設し管理している。

富士通(株)と当社では、用水路を集中管理する「用水路管理システム」を数多く納入した実績がある。

今回はその経験を生かし、よりお客様のニーズに応えられる高性能なシステムを開発した。

このシステムは、最新のハード/ソフト/ネットワーク技術を駆使し、高速でストレスのない操作性と多彩な回線対応という柔軟性を実現している。

Abstract

Water is an important resource as a living infrastructure for paddy and other fields. It is also used as tap water. In our country, to make good use of water, the Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries, Water Resources Development Public Corporation and self-governing communities take the lead in constructing and managing irrigation channels.

Fujitsu Ltd. and our company have experience in supplying many management systems that intensively manage the irrigation channels.

Now, both companies have developed a higher performance system that can meet the requirements of our customers by putting our combined experience to good use.

This system realizes high-speed operability without stress and flexibly supports various lines.

* 1 富士通(株)トランスポート事業本部 複合システム事業部 第一システム部

* 3 社会システム事業部 第一システム部

* 2 富士通コミュニケーションシステムズ(株) 第三サービス・ソリューション部

1. ま え が き

農林水産省 / 水資源開発公団や各自治体などが管理する農業 / 水道用水路は、安定した供給を確保するため24時間常に監視し、必要に応じてゲート（水門）の開閉やポンプの制御により水量の調整を行っている。その管理範囲は数十kmにも及ぶため、安全で迅速、効率的な集中監視システムの導入が進められている。

富士通(株)と当社では、得意とするテレメータ / テレコントロール、情報処理技術によって、これまでも多くの用水路管理システムを納入してきたが、急速に広がりつつある伝送路の高速化（ブロードバンド化）にいち早く対応するため、信頼性が高く、

より高速でコストパフォーマンスの高い、新しいシステムの開発を行った。

2 . 用水路管理の紹介

本編に入る前に用水路管理について紹介する。

図1は基本的な用水路の一例である。

河川からは頭首口により取水する。頭首口は河川をせき止め、水位を上昇させ取水するもので、ダムに近い役目をする。取水した用水はポンプやゲートにより、需要先（水田、畑、水道）に対して適量を供給する。

3 . 市場ニーズと開発テーマ

用水路管理は機側操作制御盤（現場のゲート横）

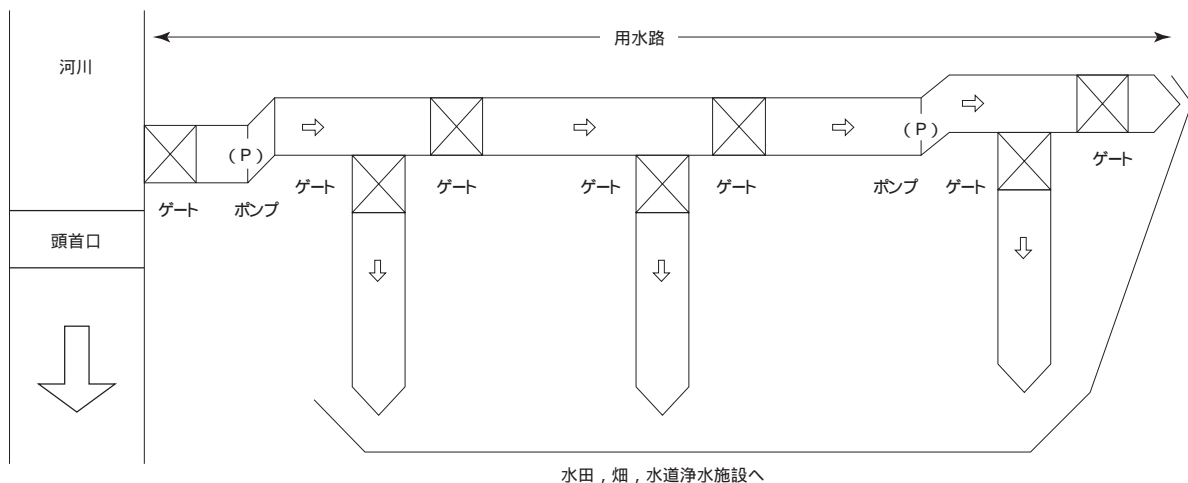


図1 基本的な用水路



図2 用水路施設（頭首口）

と同様の操作性を求められ、遠隔制御による集中監視でもこれに変わりはない。

例えば、ゲート操作の場合、開度値を見ながら操作し、停止スイッチを押した瞬間にこの数字が止まることを期待する。一般的に集中遠隔監視の場合は、伝送遅延、パソコンなどの処理時間によって数秒間の遅延があり、これまではお客様のニーズを満たすことができなかった。

また、用水路管理システムは長年納入した実績があり、多くの設備が全国で稼働している。これらの更新も考慮する必要があるため、新設の高速回線だけでなく、既設の回線にも対応できる柔軟なシステムでなければならない。

本開発ではこれらの課題を解決するために、次のテーマに取り組んだ。

- 1) 機側操作制御盤と変わらない操作ができ、レスポンスがよくストレスのない遠隔制御の実現。
- 2) 既設更新にも容易に対応できる柔軟な回線選択。

4. 開発の内容

4.1 システム概要

図3に基本的なシステム構成を示す。

システムは、ポンプやゲートの機側操作制御盤に設置する「被管理施設」とそれらを集中監視する「中央管理所」で構成している。

被管理施設は無人運用となり、中央管理所からは最大80か所の監視制御が可能な設計となっている。

被管理施設には「施設情報伝送装置」が置かれ、中央管理所からの指令によってポンプなどの制御を行うと同時に、水位などのセンサ情報を返送する。

中央管理所は被管理施設と情報のやりとりをする「中央情報伝送装置」、データ演算やファイリングをする「水管理サーバ」、操作や表示をする「操作端末」などで構成している。

そのほか、お客様のニーズによって、日報などの帳票や画面のハードコピーをとるプリンタやグラフィックパネル表示盤などが設置される場合もあるが、容易に追加が可能である。

被管理施設と中央管理所は遠隔地となるため、通信インフラの整備状況を踏まえて最適な回線を選択する。最も一般的な通信インフラであるNTT回線を利用することもあれば、画像監視が併設される場合には、SDH^{注1)} (Synchronous Digital Hierarchy)

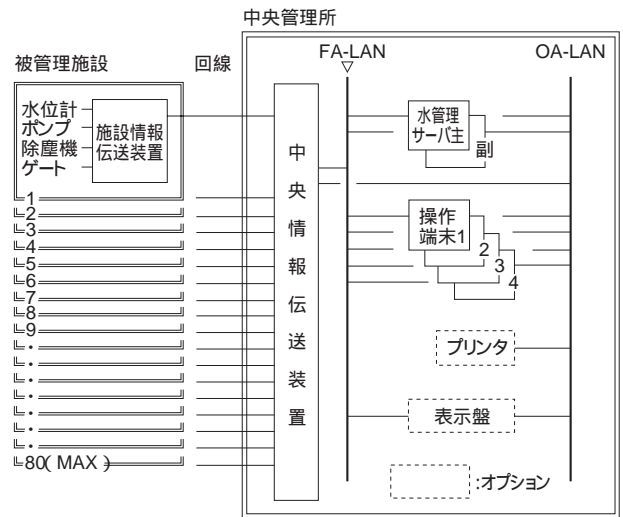


図3 システム構成



図4 システム構成機器（中央）



図5 システム構成機器（施設）

注1) ITU勧告のデジタル多重化規則に準拠した伝送方式（装置、ネットワークを示す場合もある）

などにより光ファイバを利用した高速大容量の回線を新たに構築する場合もある。

4.2 解決手段

テーマ解決の手段を次に示す。

4.2.1 ストレスのない遠隔操作の実現

遠隔制御を極力意識させない操作性を確保するためには、2秒以内のレスポンスが必要である。

これは、一般的なゲートの動作速度が2秒あたり1cmであり、目標の開度に正確に停止させるためのレスポンスである。

2秒以内のレスポンスを確保するための各装置間のデータ受け渡し目標時間を設定した。制御を行うには操作端末 中央情報伝送装置 施設情報伝送装置 現場設備、折り返して、現場設備 施設情報伝送装置 中央情報伝送装置 操作端末のようなルートとなるため、それぞれの受け渡し時間はハード/ソフト共に高速性を追求した。

1) 通信

被管理施設と中央管理所間での課題は、通信回線を通じて中央情報伝送装置に集まってくる大量のデータを、いかにして受信するかであった。

リアルタイム性を確保するため、各施設から頻りに送られるデータは、中央ではms単位の受信間隔になるため、非常に高速な処理が要求される。一つのデータはそれほど大きくはないが、頻りに送られてくるデータを処理するため、通信処理機能の充実したCM3000を採用した。

この装置は富士通(株)と当社が共同で開発した装置で、現場の各種センサと処理装置(パソコンなど)を結ぶ収集装置として優れた能力を有しているほか、シーケンサ機能も併せ持っている。

今回は最大10個のマルチCPUとし、80施設まで対応できるようにした。

2) 中央管理所のネットワーク

中央管理所内のネットワークにはイーサネット(LAN)を採用している。

イーサネットは事実上の国際標準となっており、パソコンなどの情報機器をはじめ、多くの製品がそのインタフェースを備えており、柔軟で拡張性のあるシステム構築が可能となる。

今回のシステム開発において、ハードウェア

としてのイーサネットは支障なく決定したが、操作レスポンスを確保するための方法には、多くの検討を要した。

OA機器で用いられる最も一般的なプロトコルであるTCP/IPは、相手方に届いたことが確認できるため、確実なデータの授受が可能であるが、送り先が多数ある場合にはそれぞれにデータを転送する必要がある。

用水路管理システムでは、中央情報伝送装置から水管理サーバや操作端末などの複数(最大20)の相手方に高速周期でデータを送出しなければならない。このためms単位での送出しになり、ネットワーク負荷、装置処理速度ともに限界を超えてしまう。

一方、FAなどに多用されているプロトコルであるUDP/IPは、シンプルな構成のため頻繁なデータ伝送に向いている。さらに、ブロードキャスト機能によって全か所への一斉データ転送が可能で、今回のシステムには最適である。ただし、衝突によりデータの消失があり得るため、対応策が必要であった。

そこで、図3のようにイーサネットをFAとOAの二つのLANに分離した。FA-LANはUDP/IP専用とし、それ以外のデータはOA-LANとすることで、FA-LANの負荷を軽くした。さらに、データ送出を1か所(中央情報伝送装置からのブロードキャストのみ)にすることで、UDP/IPの欠点である衝突によるデータ消失を回避した。

4.2.2 回線選択の柔軟性の確保

最新の高速回線だけでなく、既設更新や高速回線を引けない末端局のことも考慮にいったシステムが求められる。光ファイバ網の整備も含めた大型事業はもちろんあるが、なるべく既存回線の利用が条件である既設更新事業への適用も重要である。

これらのことを考慮して以下の回線に対応できるシステムとした。

光ファイバ

SDH

NTT専用回線(帯域品目3.4kHz)

自営メタル回線

これらの回線に対応でき、しかも共通したイン

タフェースになることを目標とした。インタフェースを共通化することで回線を意識しない柔軟なシステム構築が可能となるだけでなく、コストパフォーマンスの向上、保守の容易さなどのメリットが生まれる。

1) 物理層インタフェース

物理層のハードウェアとしてはCCITT V.24 / V.28を基本とし、これに回線種別に応じてモデムなどを組み合わせるものとした。

このインタフェースは通常RS-232Cと呼ばれ、国際的な標準仕様の一つであり、接続できる多くの製品が市場に整っている。この中から回線にあった製品を選定することが可能であり、適用できる回線の幅が広がる。

回線種別ごとの接続方法は以下のとおりである。

光ファイバ：RS-232Cで接続する光モデムを使用して通信を行う。SM、GIなどいくつかの種類があるが、一般的な光ファイバにはすべて対応可能である。

SDH：V.24 / V.28 ノードに接続する。SDHのインタフェース標準ノードの一つであり、問題なく接続できる。

NTT専用回線：RS232Cで接続する通常のモデムを使用する。

自営メタル回線：NTT専用線と同じモデムを使用する。

2) プロトコル

回線通信プロトコルはHDLC^{注2)}(High Level Data Link Control Procedure)を採用した。

HDLCは回線通信の中ではもっとも先進的な手順であり、高い信頼性と柔軟性を兼ね備えており、次のような特長がある。

優れた符号誤り検出

通信においてはノイズ混入による符号誤り(ビット化け)は当然考慮しなければならない。

特に今回開発したシステムの場合には、符号誤りによってゲートの誤動作などがあると、大切な水資源の損失につながるばかりでなく、水田/畑の冠水など最悪の場合には人命にも関わるため、重要である。

符号誤り検出機能において、HDLCは生成多項式を使ったCRC^{注3)}(Cyclic Redundancy Check)方式の高度な誤り制御を備えているため、安心して使用していただけるシステムを構築することができる。

任意のデータパターン伝送

HDLCは任意のデータ長、ビットパターンが伝送できるため、今回のように監視制御する施設が多様な場合に適している。

例えば、水位局ではBCD 4桁 1量のみに対して、大型の揚水機場になれば、ポンプ、バルブ、ゲートの合計が20を超える場合もある。

また、水位、開度、回転数などの数値データのほか、ON / OFF、故障などの状態信号や制御信号などがあり、任意のビットパターンが伝送できるHDLCは非常に扱いやすい。

ポーリング方式にも対応

本システムの拡張機能として、無線回線(70MHzや400MHz帯の単一无線)やNTT公衆回線網も想定しているが、この場合ポーリング方式の制御/収集が不可欠である。HDLCはポーリング方式にも対応しているため容易に拡張できる。

3) 伝送速度

伝送速度は9600ビット/秒を基本とした。その概略理由を以下に述べる。

伝送量から算出

データ伝送間隔および最大のデータ量から、必要な伝送速度を9600ビット/秒以上と算出した。

伝送回線の制約

回線ごとの最大伝送速度は次のとおりである。

- a) 光ファイバ：Mビット/秒(メガビット)
以上の伝送が可能であるが、光モデム、RS-232Cインタフェースの限界から19200ビット/秒以下。
- b) SDH：19200ビット/秒以下。
- c) NTT専用回線：帯域品目3.4kHz(S)の用途は9600ビット/秒以下。
- d) 自営メタル回線：モデム性能によるが、通常は19200ビット/秒以下。

注2) ハイレベルデータリンク制御手順

注3) 巡回冗長符号による誤り検出方式

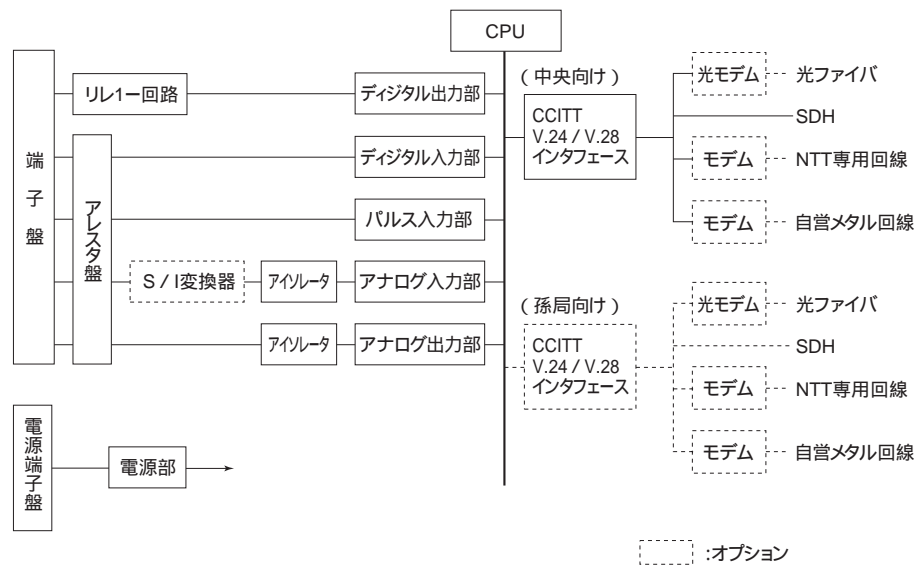


図6 施設情報伝送装置 機能ブロック

表1 施設情報伝送装置の主要諸元

項目	内容	
適用回線	光ファイバ (SMまたはGI) SDHネットワーク NTT専用回線 (帯域品目3.4kHz) 自営メタル回線 (4W)	
適用施設	揚水機場, 排水機場, 制水門 (CHゲート) 水位局, 頭首口など用水路管理施設	
伝送プロトコル	HDLC	
伝送速度	9600ビット/秒 (200ビット/秒 ~ 19.2kビット/秒に対応)	
周囲条件	温度: -10 ~ +40 (0以下はヒーター使用) 湿度: 40 ~ 85%	
入力電源	AC100V (UPSによる無停電化が可能)	
筐体	形態	自立型
	寸法	屋内: 570(W) × 650(D) × 2350(H) 屋外: 1252(W) × 652(D) × 2026(H)
	(mm)	

以上の検討にて、9600ビット/秒を基本の伝送速度としたが、既設回線がNTT帯域品目3.4kHz (Sではない場合)では、4800ビット/秒以下、また無線回線では耐ノイズ性が要求されるため、更に伝送速度を下げる必要がある。

一方、大規模施設では19200ビット/秒の必要性もあるため、200ビット/秒から19200ビット/秒の範囲で対応できるものとした。

4.3 装置仕様

4.3.1 施設情報伝送装置

施設情報伝送装置は、通信回線により中央情報伝送装置と接続され、中央からの制御情報をゲートやポンプなどの現場施設に出力すると同時に、

現場設備のゲート開度や水位計、監視計測情報を入力し中央へ伝送する。さらに、孫局に対する中継機能も併せ持っている。

図6に機能ブロック、表1に主要諸元を示す。

1) 構成

CPU: 全体動作を司る中央処理部

CCITT V.24 / V.28インタフェース: 中央情報伝送装置または孫局との通信部。回線種別に対応しモデムなどを付加する。

デジタル出力部: ゲートなどへの制御信号を出力

リレー回路: 接点信号 (無電圧 / 有電圧) への変換

デジタル入力部: ゲート開度, SVなどの接点信号を入力

パルス入力部: 雨量, 電力パルスなどのパルスを入力

アナログ入力部: 4 ~ 20mAなどのアナログデータを入力

アナログ出力部: 4 ~ 20mAなどのアナログデータを出力

アイソレータ: 現場施設と電氣的に分離する回路

S / I変換器: シンクロ (セルシン) 信号の変換部

アラスタ盤: 雷などのサージ吸収部

端子盤
電源部
電源端子盤

2) 機能概要

通信機能

中央情報伝送装置または孫局装置とHDLC
プロトコルで通信する。

デジタル入力機能

現場設備からデータを定間隔ごとに入力し
て次の処理を行う。

- a) フィルタリング：2度読み照合を実施，
データ変化時の誤読を防止。
- b) パリティ検定：BCDコードの各桁パ
リティを検定。
- c) BCD検定：BCDコードが0～9の範囲
であることを確認。
- d) スケール検定：入力値があらかじめ定め
た範囲であることを検定。
- e) 偏差チェック：急激な変化を起こした値
を異常値として棄却する検定。
- f) 標高変換：水深水位を標高値に変換。
- g) 平滑処理：水位は波浪，流量は振動によ
る影響を移動平均で除去。

アナログ入力機能

現場設備から計測情報（4～20mA）を入
力し次の処理を行う。

- a) スケール変換：項目ごとに決められた工
学値に直線変換（例：0～300cm）。
- b) 標高変換：水深水位を標高値に変換。
- c) 平滑処理：水位は波浪，流量は振動によ
る影響を移動平均で除去。
- d) 補正処理：全閉で0%，全開で100%な
どに補正。

パルス入力機能

パルス信号を積算してBCD4桁とする処
理を行う。

制御機能

中央情報伝送装置からの制御信号を現場設
備に出力する。

- a) 開／閉，増／減制御：制御信号を1秒間
出力。
- b) 設定値制御1：設定値を出力後，書込ス
トローブ信号を1秒間出力。

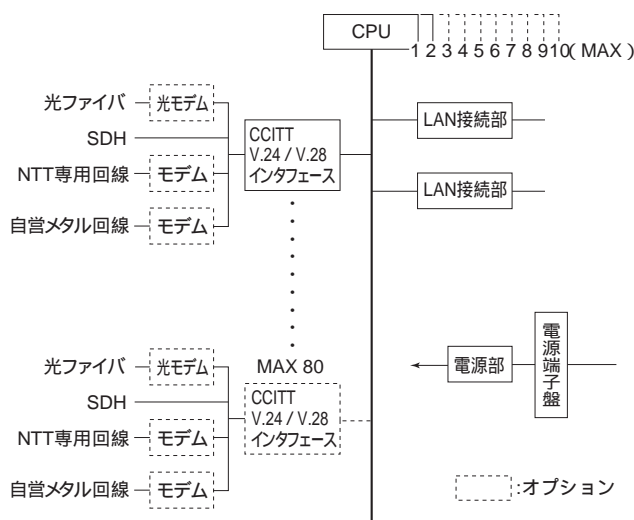


図7 中央情報伝送装置 機能ブロック

表2 中央情報伝送装置の主要諸元

項目	内容	
適用回線	光ファイバ（SMまたはGI） SDHネットワーク NTT専用回路（帯域品目3.4kHz） 自営メタル回線（4W）	
適用施設	中央管理所	
伝送プロトコル	HDLC	
伝送速度	9600ビット/秒 （200ビット/秒～19.2kビット/秒に対応）	
ネットワーク	UDP/IPおよびTCP/IP IEEE802.3 10BASE/T	
周囲条件	温度：0～+40 湿度：40～85%	
入力電源	AC100V	
筐体	形態	自立型
	寸法（mm）	570(W)×650(D)×2350(H)

- c) 設定値制御2：中央からの設定値になる
まで，現場設備に制御信号を出力。制御の
安全を計るため，中央に設定値を送り返し
て確認後の開始指令で動作する。
 - d) 設定値制御3：設定値制御2の動作に加
え，出力にインターバルを設けるステップ
制御（ゲート動作による急激な流量変化を
回避）。
- 保守支援
保守コンソール（ノート型パソコン）を接
続して次の機能を実現する。
- a) ユニット状況，通信状況の表示
 - b) 入出力データ，送受信データの表示
 - c) 設定値定数の表示，設定
 - d) 情報の記憶指示と取り出し

e) プログラムの修正，追加

4.3.2 中央情報伝送装置

中央情報伝送装置は，通信回線により接続された施設情報伝送装置と，中央管理所内ネットワークであるLANとのデータ交換をする。

図7に機能ブロック，表2に主要諸元を示す。

1) 構成

CPU：全体動作を司る中央処理部。通信回線（施設数）に応じて最大10実装。

CCITT V.24 / V.28 インタフェース：施設情報伝送装置との通信部。最大80回線分を実装。

LAN接続部：FA - LAN，OA - LAN用の2式を実装。

電源部

電源端子盤

2) 機能概要

通信機能

施設情報伝送装置とHDLCプロトコルで通信する。

a) 受信機能：施設（最大80）から送られてくる監視情報を記憶部に格納。

b) 送信機能：操作端末より通知される制御情報を指定の施設へ送信。

c) 配信機能：施設から別の施設へデータを配信。

d) 時刻校正機能：施設情報伝送装置の時刻を校正，ログ時刻を正確化。

LAN送受信機能

中央管理所内ネットワークと通信する。

a) 監視情報転送：通信機能にて記憶部に格納した監視情報を，UDP / IPのブロードキャスト手順でLANに送信。

b) 制御情報受信：操作端末からの制御情報をTCP / IPで受信し，通信機能部へ転送。

c) 時刻校正機能：水管理サーバとの時刻同期。

d) 通信状態監視：水管理サーバとパケットを定期送受信，通信状態を監視。

e) 休止局処理：操作端末で設定した休止項目に対する制御，監視を休止。

保守支援

保守コンソール（ノート型パソコン）を接

表3 水管理サーバの主要諸元

項目	内容	
ネットワーク	UDP / IPおよびTCP / IP 100BASE-TX / 10BASE-T	
CPU	Pentium 850MHz	
メインメモリ	768MB	
ハードディスク	9.1GB x 3	
ディスプレイ	15.0型TFTカラー液晶または15型CRT 1024 x 768ドット	
OS	Windows NTServer4.0	
周囲条件	温度：+ 10 ~ + 35 湿度：20 ~ 80%	
入力電源	AC100V	
筐体	形態	タワー型
	寸法(mm)	307(W) x 700(D) x 474(H)

Windowsは，米国Microsoft Corporationの米国およびその他の国における登録商標です。

表4 操作端末の主要諸元

項目	内容	
ネットワーク	UDP / IPおよびTCP / IP 100BASE-TX / 10BASE-T	
CPU	Pentium III 550MHz	
メインメモリ	512MB	
ハードディスク	10.2GB x 3	
ディスプレイ	18.1型TFTカラー液晶または21型CRT 1280 x 1024ドット	
OS	Windows NT4.0	
周囲条件	温度：+ 5 ~ + 35 湿度：20 ~ 80%	
入力電源	AC100V	
筐体	形態	デスクトップ型
	寸法(mm)	425(W) x 437(D) x 180(H)

続して次の機能を実現する。

- a) ユニット状況，通信状況の表示。
- b) 入出力データ，送受信データの表示。
- c) 設定値定数の表示，設定。
- d) プログラムの修正，追加。

4.3.3 水管理サーバ

中央情報伝送装置からのデータを入力し演算処理を実施，操作端末などに通知する。

表3に主要諸元を示す。

1) 機能概要

機場データ入力処理：中央情報伝送装置からの監視情報を入力してバッファに格納。

リアルタイム演算処理：短時間周期で演算，操作端末などに通知。

定時演算処理：1分，10分，正時，日 / 月 / 年報集計演算および上昇下降判定。

警報管理：履歴の格納および通知。

システム管理：二重化，時刻を管理。

4.3.4 操作端末

各施設の操作および状態を表示する。

表4に主要諸元を示す。

1) 機能概要

機場データ入力処理：中央情報伝送装置からの監視情報を入力しバッファに格納。

即時系画面：制御指令のほか最新データ、施設状況図などを表示。

時系列画面：時系列表やグラフなどを表示。

印字機能：日/月/年報，操作/警報記録を印字。

5. む す び

用水路管理システムは広域であり，特に「リアルタイム性」が要求される。

また，管理範囲が広域であるがために「データ数が多く」，これをリアルタイムで処理することによって生じる「ネットワークの負荷」，「CPUの負荷」を，いかにクリアするかがポイントであった。

今回の開発では，情報伝送装置の素材として，シーケンス制御と通信系を得意とするCM3000を採用

した。さらに，LANのプロトコルにUDP/IPを選択することなどによって課題を克服し，操作レスポンスが早く，ストレスのない用水路管理システムを実現した。

今後は，更なる「現場と同様の操作環境」を提供するため，画像（ゲートや水路の監視），音声（ポンプ動作音や放送）などを融合したマルチメディア化について検討を進める所存である



[開発者] 前列左から，笹谷，五十嵐，
後列左から，篠崎，中田