

# 水力発電所無人構内巡視支援システム

— 関西電力株式会社黒部川第四発電所 —

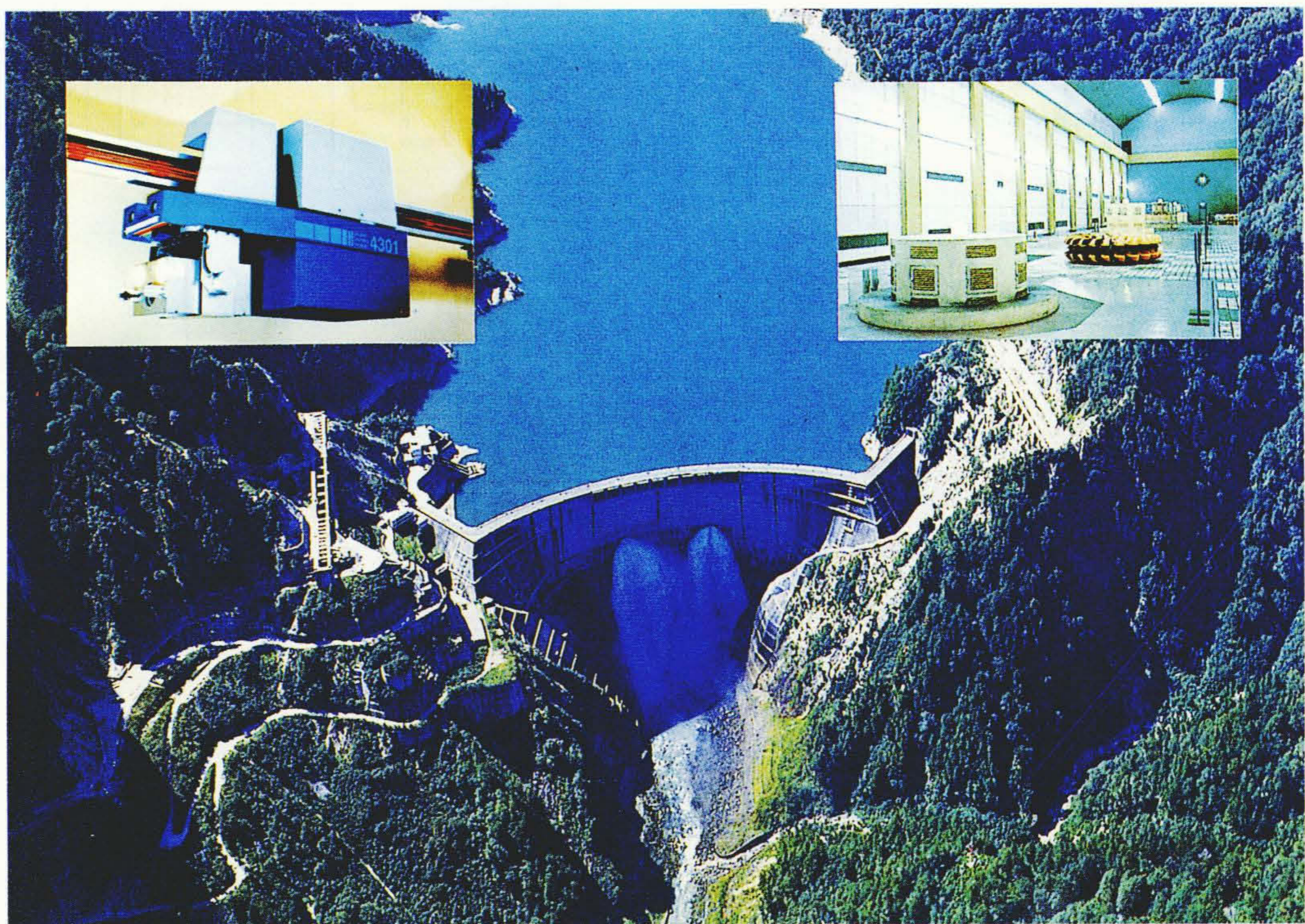
Maintenance Patrol Support System for Hydraulic Power Stations

野坂孝範\* *Takanori Nozaka*

西岡 淳\*\* *Atsushi Nishioka*

赤枝 聡\*\*\* *Satoshi Akaeda*

難波周二\*\*\*\* *Shūji Namba*



黒部川第四ダムにおける関西電力株式会社黒部川第四発電所(右上)と構内巡視ロボット(左上)  
無人化の発電所構内を走行して機器の異常を早期発見する巡視ロボットなどを含めた構内巡視支援システムにより、発電所の定期巡視を自動化し、大幅な省力化を図った。

関西電力株式会社黒部川第四発電所は、最大出力35万5,000 kWで国内でも最大級の水力発電所である。国内の主な発電所が無人による運転を行っているが、この発電所はその重要性から有人による運転、保守が行われていた。しかし、保守員が常駐する場所から遠く離れていること、居住環境の問題などから有人で運転、保守を行うことは運転員に多くの負担となりつつあることから、この発電所でも無人化計画が立てられた。

発電所の無人化に伴い、発電所内の機器異常に対する保護装置、保安装置のシステムの見直し、従来

人間の五感によって行われてきた機器異常の早期発見が重要になってくる。

そのため、これらの問題を解決し、無人の発電所で日常点検の支援と、災害発生時の状況把握を目的とした水力発電所構内巡視支援システムを開発し、実用化した。

このシステムの導入により、無人の発電所でも人間が点検を行うのと同等の監視が可能となり、保守の負担を軽減しながら、発電所の信頼性を維持することができるようになった。

\* 関西電力株式会社 北陸支社 \*\* 日立製作所 大みか工場 \*\*\* 日立製作所 日立工場 \*\*\*\* 日立電子株式会社 ビデオシステム事業部



## 1 はじめに

関西電力株式会社は、業務効率化の観点から水力発電所の無人化を進めており、現在では500 kV変電所、大型の揚水式水力発電所を除くほとんどの水力発電所および変電所が遠隔制御化されている。今回、関西電力株式会社黒部川第四発電所(以下、黒部川第四発電所と言う。)についても業務の効率化と遠隔地勤務の解消を図ることを目的として、遠隔制御化(無人化)を実施することとなった。

黒部川第四発電所は、周囲を高さ3,000 m級の山々に囲まれた黒部峡谷の奥深くに位置しているため、ふもとの関西電力株式会社新愛本制御所(以下、新愛本制御所と言う。)から保守員が通うには、夏季は3時間、冬季は10時間をも要する。しかし、この発電所は重要な電力供給源ということから、これまで有人での運転、保守が行われてきた。

無人化にあたっては、発電所トータルの信頼度を少なくとも現状以上とする対策を講ずる必要がある。そのため、黒部川第四発電所ではその対策の検討手法として、FMEA(Failure Modes and Effects Analysis)によって機器部品レベルまで踏み込んだ故障モードを抽出し、運転に支障となる故障モードについて、

- (1) 異常の発見に要する時間(C1)
- (2) 異常発生から重大事故に至るまでの時間(C2)
- (3) 異常の発生頻度(C3)

を指標とした信頼度の定量的評価を行った。

そして、無人にした場合の信頼度が有人時からどの程度低下するか、またこれらを有人時のレベルにまで引き上げるには、どの部分にどのような対策を講じたらよいかを導き出した。

結果として、巡視ロボットの採用による異常発見時間の短縮などによって有人時以上の信頼度を確保でき、無人化が実現した。

ここでは、黒部川第四発電所の無人構内巡視支援システムについて述べる。

## 2 システムの概要

### 2.1 システム構成

このシステムの目的は、無人発電所の毎日の構内巡視を人間に代わってロボットが行い、機器の異常を初期段階で発見すること、万が一プラントに火災などの異常が発生したときに情報収集を行い、運転員が常駐する新愛本制御所へその情報を送ることである。

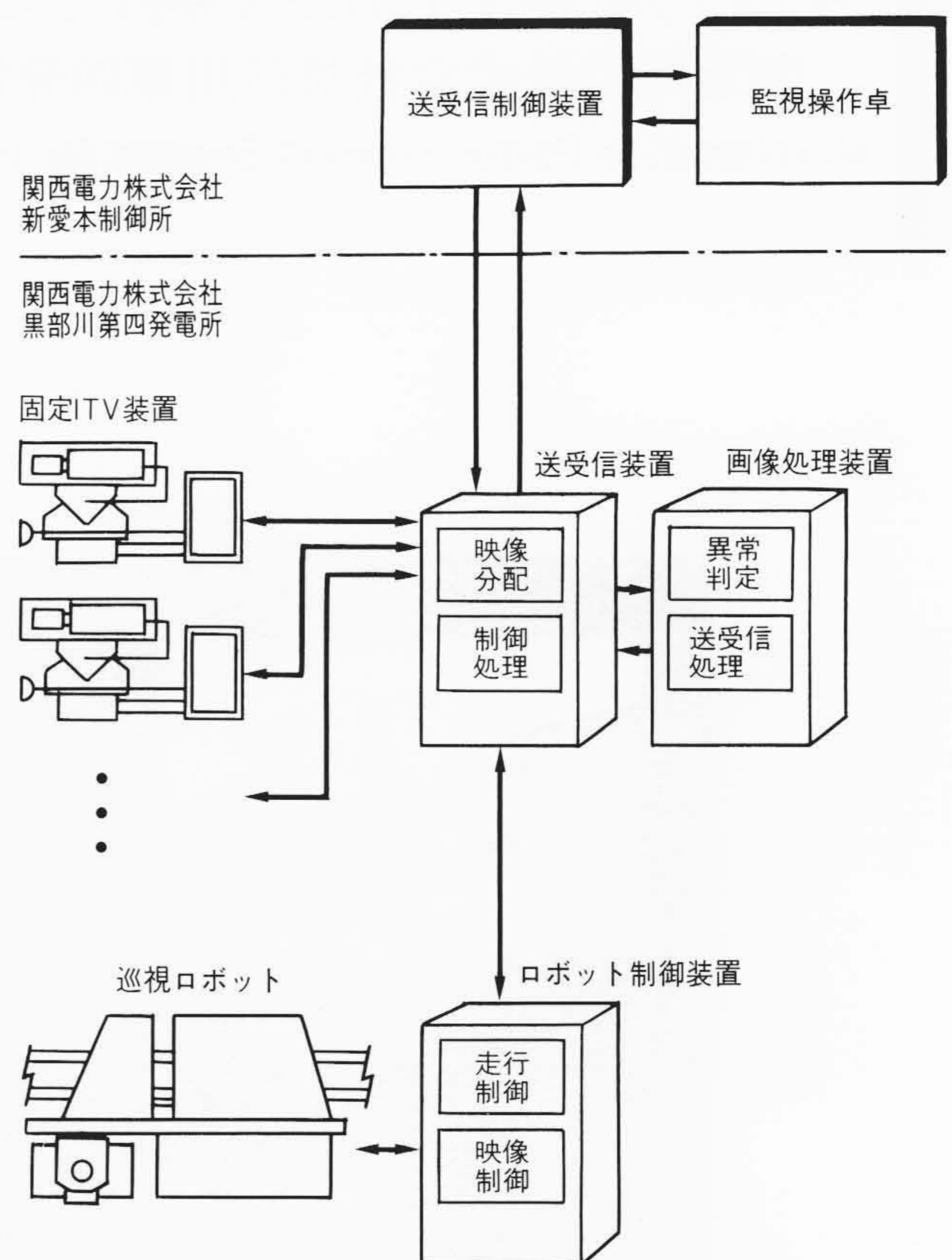


図1 構内巡視支援システム構成 巡視ロボットと固定ITVを監視対象の環境に応じて適宜配置し、これらの映像を画像処理装置で処理して機器の異常の有無を検知する。

このシステムの構成を図1に示す。

上記の目的を達成するため2種類のカメラを構内に配置した。一つは、構内に設置したレール上を自由に移動でき、ズーム機能を備えたITV(工業用テレビジョン)カメラを搭載した巡視ロボット(以下、ロボットと言う。)であり、もう一つは、壁や天井などに固定された、旋回、ズーム機能を備えたITVカメラ(以下、固定ITVと言う。)である。ロボットと固定ITVは監視対象となる機器の環境などから適宜配置を決めた。ロボットは監視対象機器が集中している場所に配置し、固定ITVは監視対象機器が分散している場所やレールの敷設が困難な場所を中心に計34台を配置した。

ロボットと固定ITVにより、構内のすべての主要機器の映像をとらえることができ、その映像は送受信制御装置を経由して、約30 km離れた運転員の常駐する新愛本制御所でリアルタイムで送ることができる。

さらに、ロボット、固定ITVが撮影した機器の画像から漏油、漏水を自動的に検出することができる画像処理装置を採用し、これをロボット、固定ITVと組み合わせることによって、毎日の巡視を自動化した。これによ



て、無人化後の巡視点検業務に大幅な省力化を図ることができた。

以下に、各装置の機能の概要について述べる。

## 2.2 送受信制御装置

送受信制御装置は、黒部川第四発電所と新愛本制御所の2か所に設置され、発電所設置のロボット、固定ITV、画像処理装置と、新愛本制御所設置の監視操作卓とを結ぶインタフェース機能を持つ。また、発電所設置の送受信制御装置は、ロボット、固定ITV、画像処理装置のホストコントローラでもあり、映像信号の選択、分配やロボット、34台の固定ITVと画像処理装置の制御を行う。

ロボット、固定ITVは新愛本制御所の監視操作卓の操作パネルから簡単に操作でき、ロボットの移動、固定ITVの切り替え、旋回、ズームなどの操作により、欲しい構内情報(音と映像)がリアルタイムで得られる。

毎日定時に行われる自動巡視は、あらかじめ設定した監視目標へ巡視ロボットを移動し、または固定ITVを順次切り替え、その映像を1か所ずつ画像処理する。画像処理装置が機器の異常を検出すると、新愛本制御所へ警報するとともに、異常を検出した監視目標の映像をリアルタイムで送信する。これによって、新愛本制御所の運転員、保守員が機器の状態を改めて確認することができる。

また、送受信制御装置は、防災設備と連動して火災や侵入者を感知した場合は発生場所付近の固定ITVを自動的に選択し、その映像を新愛本制御所へ送ることにより、火災などの災害発生時の初期対応を可能としている。

## 2.3 巡視ロボット

巡視ロボットは、監視対象となる機器が集中しているフロアに設置した。ロボットはモノレール式で固定ITV

と集音マイクロホンを搭載しており、構内の映像と音を新愛本制御所から監視できる。ロボット位置、カメラの角度(左右および上下方向)、ズーム量は新愛本制御所からモニタを見ながら簡単に操作できる。また、あらかじめ設定した番号を新愛本制御所から選択すると、自動的にその番号に対応したロボットの位置、カメラの角度、カメラのズーム量を制御し、監視目標をとらえる。

自動巡視の主な監視対象は、圧油装置、圧油アクチュエータ部、給水ポンプなどの27か所とした。それらの監視対象をとらえるための最適なロボットの位置、カメラの角度、ズームの量はあらかじめロボット制御装置に登録してあり、自動巡視時は送受信制御装置からその番号を順次設定することによって巡視が進行する(図2参照)。

また、安全性も考慮し、ロボットの前後にある超音波センサにより、障害物があったときは自動的にその手前で停止する機能を備えている。

巡視ロボットの主な仕様を表1に示す。

## 2.4 固定ITV

固定ITVは、発電機室、入口弁室、変電所、開閉所、送電線引き出し口のほか、巡視ロボットが入り込めない複雑な場所などに計34台を設置した。固定ITVでとらえたカラー映像は、送受信制御装置で任意のカメラ1台を選択し、新愛本制御所および配電盤室、防災センターのモニタ装置へ送られる。

定期巡視で漏油、漏水を監視するための固定ITVは、あらかじめ設定された位置へズーム、旋回をさせるプリセット制御機能を持ち、送受信制御装置から所定の番号を設定することによって自動的に監視目標をとらえる。また、新愛本制御所の操作パネルからカメラ番号と監視対象の番号を設定することにより、カメラを操作するこ

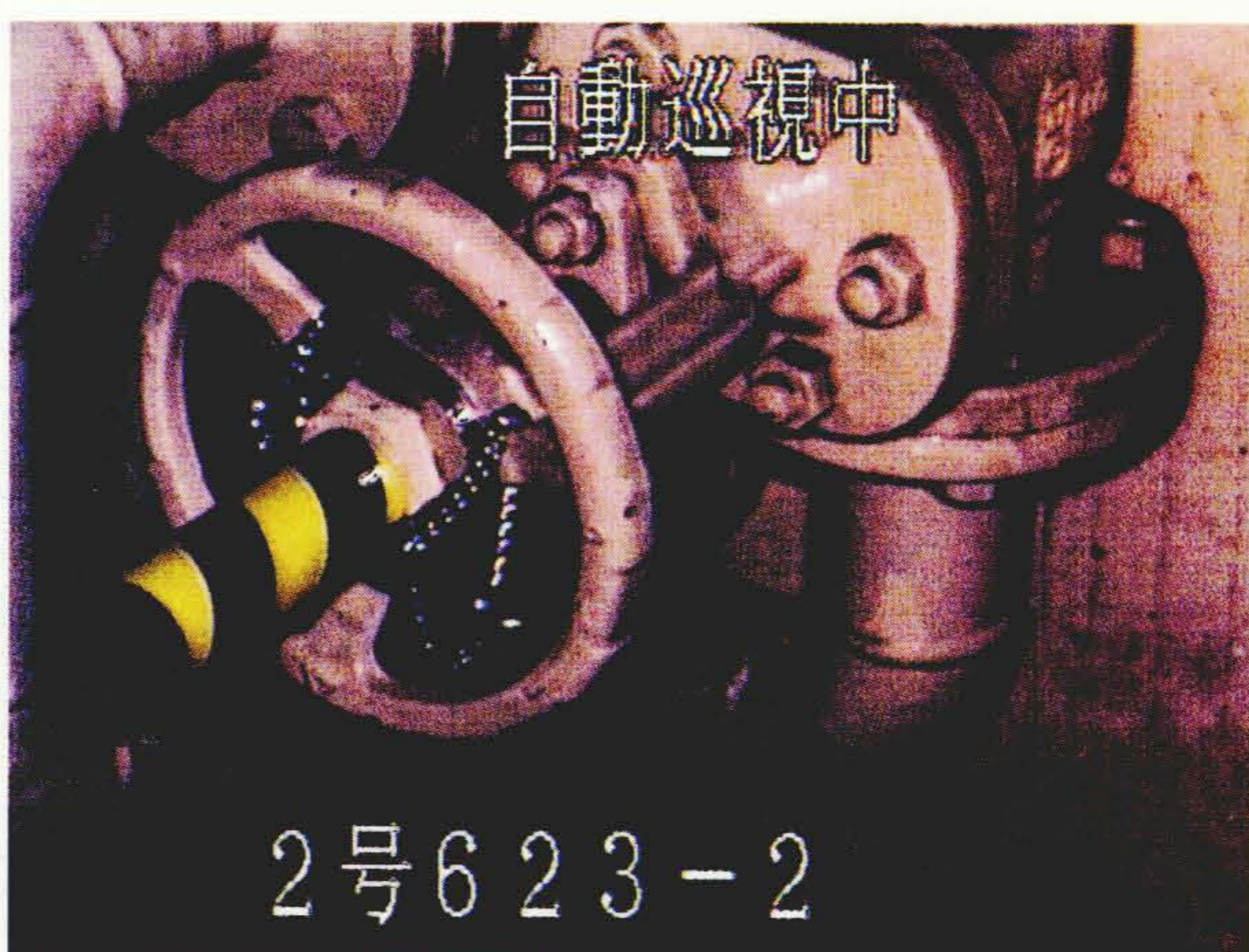
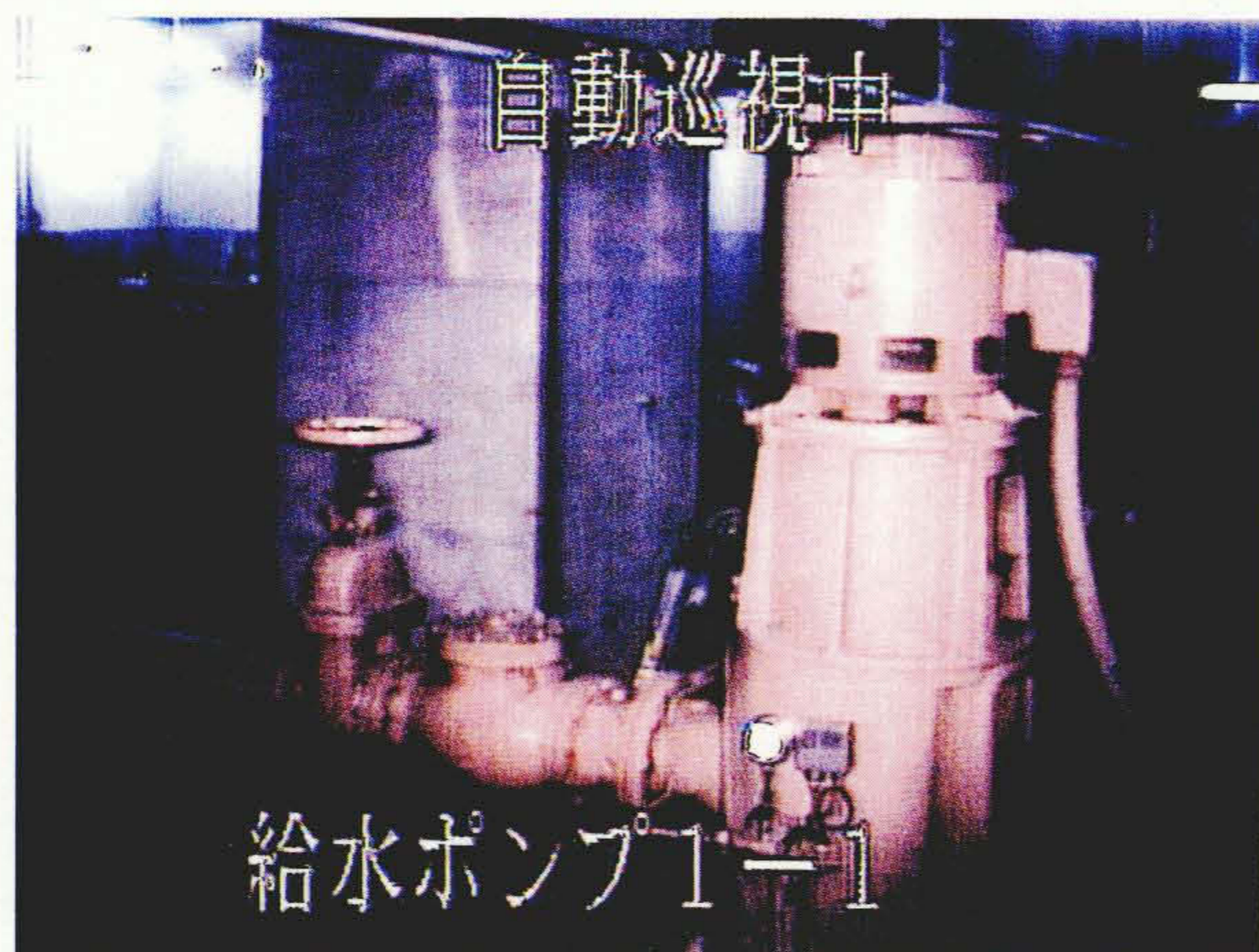


図2 自動巡視中の画像 撮影位置を順次切り替えてそれぞれ画像処理を行う。



表1 巡視ロボット仕様 走行制御, カメラ制御ともに高い精度を達成している。

項	目	仕	様															
走	行	速	度	40 m/min														
		曲	り	半	径	水平1 m, 垂直1.5 m												
		こ	う	配		最大斜度30度												
		停	止	精	度	± 2 mm以内												
カ	メ	ラ	回	転	パ	ン	:	左	右	170度								
					チ	ルト	:	上	30度, 下	50度								
			回	転	精	度	±0.2度											
		ズ	ー	ム	最大10倍													
マ	イ	ク	ロ	ホ	ン	100~10,000 Hz												
供	電	方	式	ト					ロ	リ	線							
通	信	方	式	密					結	合	無	線	方	式				
バ	ッ	テ	リ	ー	停					止	時	200 m	ま	で	走	行	可	能

ともできる。自動巡視に用いない固定ITVは手動でズーム、旋回操作を行う。

### 2.5 画像処理装置

画像処理装置は、毎日定時に行われる自動巡視時に、人間に代わって機器異常の判断を行う。

画像処理による異常検出の方法は2種類あり、一つは小さい範囲(40 cm×40 cm程度)を高い精度で監視する方法であり、もう一つは広い範囲(1.5 m×1.5 m程度)を監視する方法である。

高い精度で行う監視は、水滴、油滴の落下を検出するもので、ノイズ除去、特徴抽出、マスク処理を行ったのち、1サンプリング目の画像と以降の画像とを所定回数比較演算する。その積算結果が監視対象ごとに定める所定の判定値を超えた場合に、その監視対象が異常であると判断する。

広い範囲を監視する方法は、あらかじめ正常時の画像を加工した形で記憶しておき、それと監視時の画像とを比較演算し、その結果が所定の判定値を超えた場合に、その監視対象が異常であると判断する。ただし、この監視方法は広範囲を監視できる反面、小さな変化を検出できず、精度は前記の方法から若干落ちる。

ある監視対象にどちらの(あるいは両方の)監視方法を

適用するかは、監視対象の環境などから決定した。その結果、すべての監視対象55点について高精度の監視方法を採用し、そのうち10点には2種類の監視方法を平行して処理することとした。

この監視方法によって、1滴毎1秒程度の滴下を検出し、異常を検出したときは送受信制御装置を経由して、新愛本発電所に警報出力する。

巡視ロボット、固定ITVと画像処理装置の組み合わせによって、運転員が毎日の巡視時にモニタを監視する必要がなくなり、大幅な省力化を図ることができた。

### 3 現地試運転結果

このシステムは、画像処理機能を持っており、その処理点数が53点と多いため、固定ITVカメラのプリセット制御と、巡視ロボットの走行・停止制御については、高速かつ高精度の制御が必要である。また、画像処理を行うために巡視ロボットの設置高さを、本体下部の床面高さが約1.6 mと低い位置にしたので、人間に対する安全性(非常停止機能などの保護機能)についても重要なポイントとなる。さらに、操作性に優れ、だれでも容易に操作ができなければならない。

現地試験では、以上の基本性能および安全性能を重点に検査を実施した。試験結果はいずれも良好な結果を得て、所期の目標を達成することができた。

今後は、このシステムが無人発電所の信頼度向上に対して十分機能しているかどうかを、運転保守上の面からも検証していく必要がある。

### 4 おわりに

このシステムは、関西電力株式会社と日立製作所の共同研究を経て、実用化された。現地試験も所期の目標を達成することができ、遠隔制御化された現在も順調に稼働中である。

この論文が水力発電所だけでなく、他の分野での無人化、省力化計画の参考になれば幸いである。

### 参考文献

- 1) 伊藤, 外: 水力発電所巡視ロボットの開発, 平成2年電気学会産業応用部門全国大会
- 2) 伊藤, 外: 水力発電所の所内巡視ロボット, 第4回 ADVANTY SYPOSIUM ビークルオートメーション技術研究会
- 3) 妹尾, 外: 投影ヒストグラム法による状態変化検知での高感度化手法, 平成5年電気学会産業計測制御研究会