

上下水道システムの信頼性と予防保全

Upgrading Reliability and Preventive Maintenance for Better Operation of Water and Wastewater Systems

小野寺 傑* Takeshi Omodera
 森 俊二* Shunji Mori
 古河雅澄** Masasumi Kokawa

上下水道システムの信頼性向上と予防保全のニーズは、プラントの巨大化、複雑化により、いっそう高まりつつある。このため、監視制御システムではユニット思想による分割構成、分散システム、多重構成などシステム構成上の対策と、構成要素自体の高信頼度対策が必要である。特に最近、電子応用機器が悪環境下に設置される例が多く、ガス、湿度による防食対策が重要となってきた。更に、ポンプ設備の保守運転や自動点検による機器の予防保全法、故障波及シミュレータによる故障範囲推定法など新技術が開発され、システムのトータル信頼度がますます向上されつつある。

1 緒言

全国的な都市化と生活環境整備のニーズから、上下水道システムは急速な普及をみせているが、

- (1) 地理的に広域化している(広域水道、流域下水道)。
- (2) 処理能力が巨大化している。
- (3) 水量、水質の悪化により制御システムは高級化、複雑化している。
- (4) 維持管理要員の量的、質的制約が多い。
- (5) 設置場所、投資資金及び運転コストの制約が厳しい。
- (6) 設備の拡張、改善が長期に継続するにもかかわらず、プロセスの停止は許されない。

という特異性がある。このため、上下水道用制御システム(以下、制御システムと略す。)では、

- (1) 制御システムの障害によってプラントが無制御、無監視の状態に陥らないこと。

- (2) 万一の障害発生時にはプラントがフェイルセーフ状態となること。
 - (3) バックアップなどの代替機能、手段が完備していること。
 - (4) 予防保全機能により、プリメンテナンスが可能なこと。
 - (5) 予測技術によりプロセス変動が予測できること。
 - (6) 緊急時、異常時の処置ガイダンスができること。
- が必要である。すなわち、制御システムやそのコンポーネントの信頼性向上策、プラント機器、制御システムを含む予防保全策、マンマシン性の向上が不可欠となる。

2 システムの高信頼度設計

システムの信頼度向上策を図1に示す。

一般に上下水道のプロセスそのものは、処理系列の複数系列化、あるいはポンプ、ブロワの複数台並列設置、変電所トランスの複数バンク設置などにみられるように、経験的に信頼度向上策を図っている。しかし、これらの機能を発揮させるために制御システムの信頼度が十分保証されなければ無意味となる。反面、信頼度とコストの関係は、信頼性を得るためのコストは指数関数的に増加し、不信頼度による損失コストを含む運用コストは逆に低下する。両者の総合コストの最低点が最適信頼度ということが出来る。

2.1 システム信頼度向上手段

システム信頼度向上手段として、システム技術を導入してシステム全体の信頼度向上を図る技術と、システム構成要素自体の信頼性を確保する技術とが必要である。

(1) ユニット思想構成

上下水道設備は、水処理プロセス、汚泥処理プロセスとも複数系列の構築が一般的であるが、系列にまたがる共通部をもっている(制御電源、ポンプ補機、ブロワ補機、脱水機、焼却設備の共通補機などがこれに当たる)。共通部をもつプラントでは、

- (a) 共通部のトラブルがプロセスの全停止につながる。
- (b) 共通部の停止ができないことから、保守点検、改造が困難となる。

制御システムの構成も同様で、共通補機用や共通回路用のコントローラは極力省き、プラント号機別コントローラに分

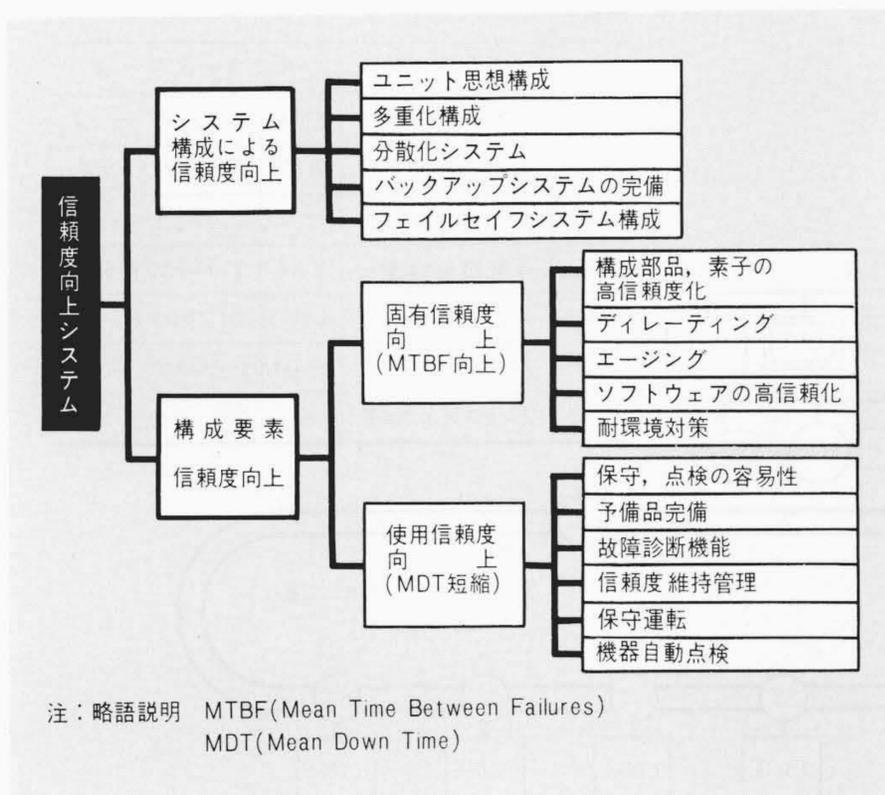


図1 システムの信頼度向上策 システムの信頼度向上のためには、システム構成上と構成要素の固有信頼度及び保全機能がバランスしていなければならない。

* 日立製作所大みか工場 ** 日立製作所システム開発研究所 工学博士

表1 共通部の分割法 共通部は信頼性、保守性上ネックになりやすい。信頼性の観点からは、ユニット方式が望ましい。

	ユニット方式(ユニット思想)	二分割方式	二重化共通方式	一重共通方式
構成				
利点	信頼性が最も高い。	片系停止して保守点検可能。	予備系共通部の保守点検可能。	コストが安い。
弱点	コストが高い。	片系共通部ダウンでその系統停止。	切換部の停止, 保守点検が不能。切換部故障対策が必要。	共通部ダウンで全面停止。共通部停止状態での保守点検不可。
適用例	大容量ポンプ, 補機 ブロワ, 補機 自家発電 焼却炉	プラント主機 ポンプ補機 ブロワ補機 制御電源 脱水機補機	変電所 ポンプ補機 ブロワ補機 制御電源 脱水機補機	変電所 ポンプ補機 ブロワ補機 制御電源 脱水機補機

割設置するユニット構成が望ましい。表1に共通部の分割方法の比較を示すが、プラントの重要度、ダウン時の影響度、故障頻度、コストなどの総合評価で分割構成が決められる。定量的検討例としてPLC(シーケンスコントローラ)の分割法とその信頼性について、以下に説明する。

PLCの一つであるHISEC-04のMTBF(平均故障間隔)は、入出力点数256点、コアメモリ4k語で約 3.5×10^4 時間、MDT(平均故障時間)は0.5時間である。これを1台のポンプと1台のPLCで制御する場合と、複数台のポンプを1台のPLCで制御する分割法について、全ポンプ運転不能となるMTBFは表2に示すとおりとなる。分割を多くするほど、全数停止となる確率が飛躍的に改善されることが分かる。

(2) 多重化システム構成

多重化システムとは、ある機能がダウンしたときに他の装置により同一の機能を果たすシステムを言う。

多重化システムは信頼度向上の有効な手段であるが、コストも高くなるので適用には十分な経済評価を加え、致命的なシステムダウンに至る部分を重点に行なう。具体例として、沈砂池、着水井の水位計の二重化や、ポンプ、ブロワの1台ごとに一人制御ユニットを設け、ポンプ、ブロワの多重化と一人制御の多重化を同時に実現するなどがある。

(3) 分散化システム構成

分散化システムとは、機能を分散させておき、その一部がダウンしてもダウン範囲をローカライズすることにより他は

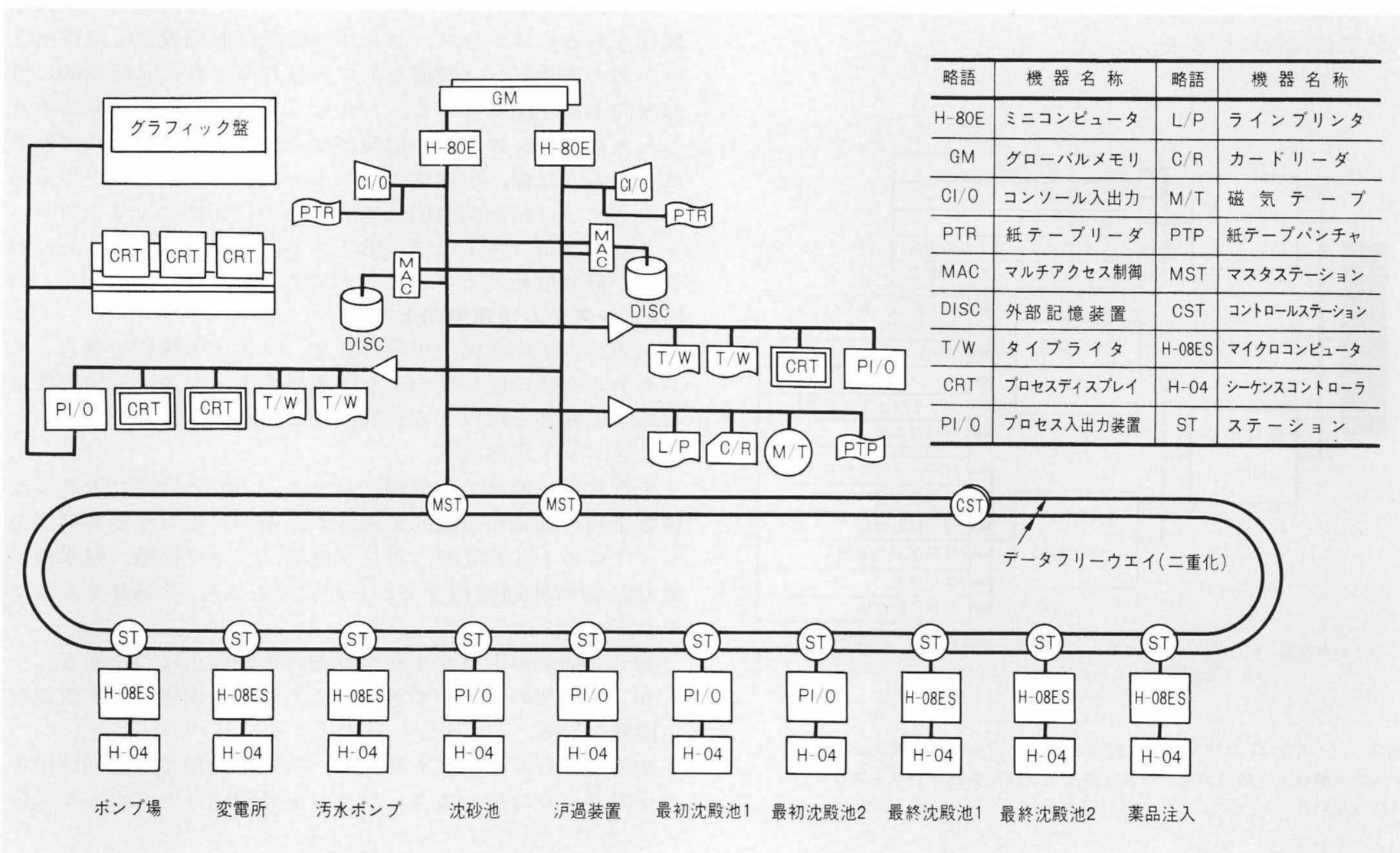


図2 分散システム“AQUAMAX-S80F”構成図 大規模下水処理場用監視制御システムで、中央計算機、データウェイの二重化及びローカル制御部の分散化により高信頼度を追求したシステムである。

表2 シーケンスコントローラ分割時のMTBF シーケンスコントローラを分割することにより、プラントの全面停止となる機会は大幅に低下する。

構成	計算式	MTBF (h)
	$MTBF_1 = MTBF_0$	3.5×10^4
	$MTBF_2 = \frac{2\lambda + \mu}{\lambda^2}$	2.55×10^8
	$MTBF_3 = \frac{3\lambda^2 + 3\lambda\mu + \mu^2}{\lambda^3}$	1.8×10^{14}

注： $\lambda = \frac{1}{MTBF}$ $\mu = \frac{1}{MDT}$
 λ (故障率) μ (修理率)

正常に機能するシステムを言う。

計算機を中核とする集中制御では、

- (a) システム異常時の被害度拡大と対応策の困難
- (b) プロセス情報集中化による配線費などのコスト上昇
- (c) 保守、拡張性のネック
- (d) 応答性、操作性の低下

の問題点を内包している。これに対し、分散形、特にネットワーク形分散制御システムでは、制御の最適性からはやや劣るが集中形の欠点を解決する性質をもち、マイクロコンピュータ、伝送技術の普及に伴い、急速な導入が実現されつつある。図2にネットワーク分散形監視制御システム“AQUAMAX-S 80F”の構成を示す。

(4) バックアップシステム

バックアップシステムとは、ある機能がダウンしたとき、代替装置によりレベルの低い機能を果たすシステムを言う。

(a) 操作場所、操作モードのバックアップ

どの場所でどのような操作、制御を行なうべきかは、運転信頼度確保の上で重要な事項であるが、必要最小限の場所とモード数にとどめることが必要である。例えば、中央自動制御不能時は中央手動操作で、中央操作不能時は現場操作でそれぞれバックアップできればよい。必要以上に操作場所や操作モードを増やすと、切換回路が複雑となり逆に信頼性が低下する。図3に操作場所と操作モード切換方式のパターンを示す。

(b) コントローラのバックアップ

図4は、PLC又はマイクロコントローラのDO(接点出力)のバックアップ回路である。コントローラ正常時は、(a)回路X、Yにより(b)回路88を入、切して連動運転を行なう。異常時はX、Yどちらにも指令を出さず、回路88をホールドさせておき、切換器により機側操作でバックアップする。

図5にDDC(直接計算制御)のバックアップ法を示す。上下水道プラントでは、制御装置異常時は弁開度、ポンプなどの回転数を異常時直前の状態に保てば、圧力、流量は急激に変化しない特性をもち、ほとんどの場合、DDC下位にバックアップ用プロセス量制御ループを設ける必要はなく、簡素な構成が可能である。

(5) フェイルセーフシステム構成

フェイルセーフシステムとは、機器や装置の異常時、シス

パターン	場所 場所数	機側	現場監視室	中央監視室
1	1(機側単独のみ)	CS		
2	2	43R CS		CS
3	3	43R ₁ CS	43R ₂ CS	CS

パターン	モード	モード図
1	手動のみ	CS
2	自動-手動 (複数機器対象)	43A (自動) CS CS
3	自動-手動 (機器1台ごと)	43A ₁ 1号 (自動) CS 43A ₂ 2号 (自動) CS
4	連動-単独 (複数機器対象)	43A (連動) CS CS
5	連動-単独 (機器1台ごと)	43A ₁ 1号 (連動) CS 43A ₂ 2号 (連動) CS

注：略語説明
 CS(制御閉閉器), 43R(操作場所切換器), 43A(制御モード切換器)

図3 バックアップを考慮した操作場所と制御モードパターン シンプルな切換方式として信頼度を損わないことが必要である。

テム全体が安全側に動作するシステムを言う。

上下水道では、ポンプ、電動弁などは現状をホールドさせることがフェイルセーフとなる。制御システムでの制御電源喪失時に安全側に動作させることもフェイルセーフである。例えば、ポンプ軸受の冷却水電磁弁などは電源喪失で開方向とし、制御電源喪失で冷却水断水に至ることのないようなフェイルセーフ構成が必要である。

2.2 装置固有信頼度向上策

装置固有信頼度の評価尺度として、MTBFがある。システムを構成するコンポーネントは、LSI化による部品点数の大幅低減、実装プラグインの大形化によるコネクタ、配線数の低減、部品単位のディレーティング、エージングなどにより、電子機器のMTBFは大幅に向上しつつある。

2.3 装置使用信頼度の向上策

使用信頼度の評価尺度としてMDTがある。MDTを低減させる手段として、保守点検の容易性、故障診断方式の採用、自

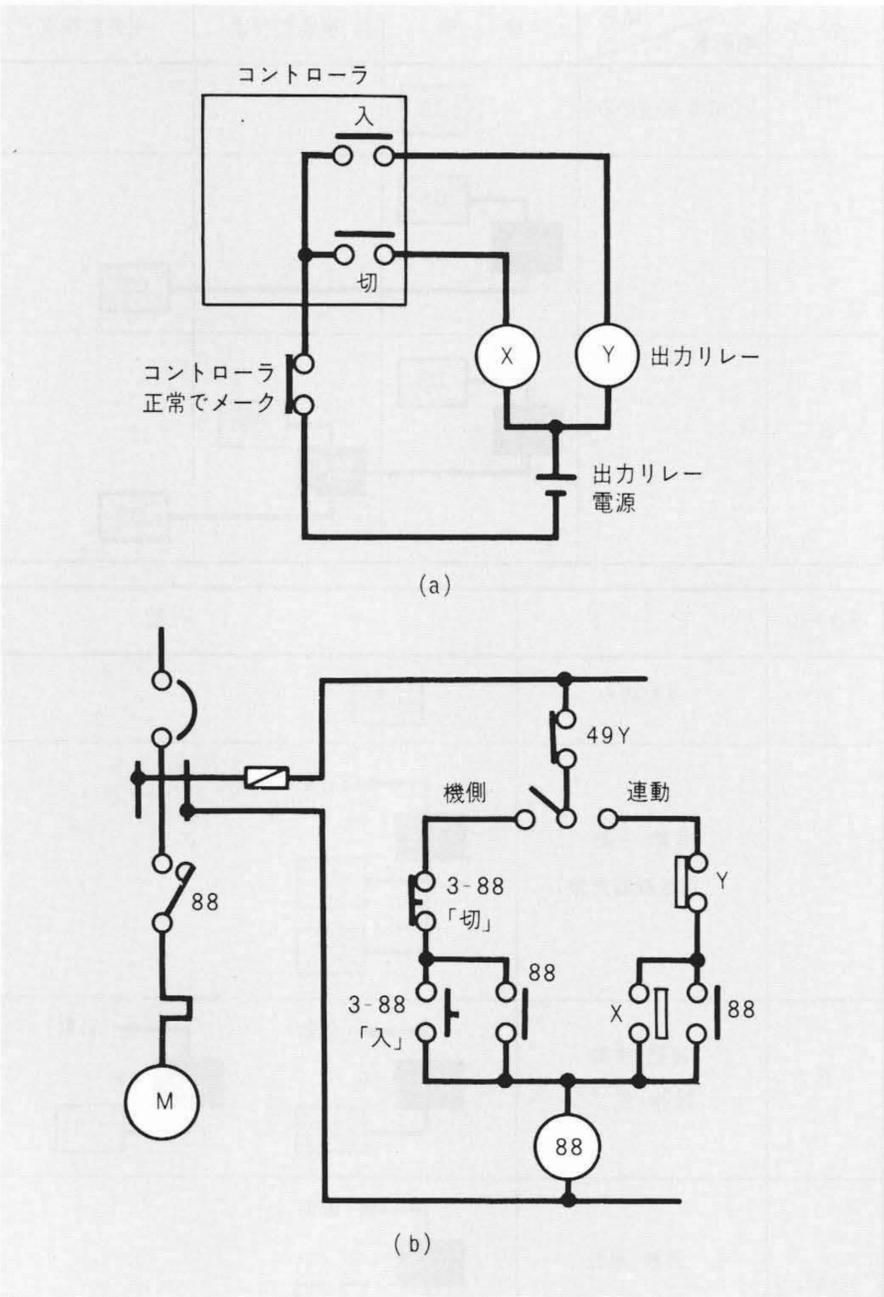


図4 暴走保護とバックアップ シーケンスコントローラ異常時、機器の暴走を防ぐため、出力リレー回路は常時「断」としておく。遠方操作不能のとき、機側操作が可能ないようにバックアップ回路を設けている。

動点検方式の採用、信頼度管理システムの確立などが必要である。保守点検を容易にするためには、装置のユニット化、ビルディングブロック化、チェックランプ、チェック端子の装備、故障部分・要因の細分化表示及び故障時の点検ステップのオペレーションガイダンスが必要となる。故障診断、自動点検方式は、計算機を利用して故障現象から故障箇所の予測、故障時の現象記録、トレースバック、異常点の自動摘出を行なうものである。更に信頼度管理システムの確立のためには、保守点検要員の電子応用技術の習得、点検機材の整備と管理、予備品の在庫管理、故障発生時の分析、予防保全方法の徹底などが必要である。

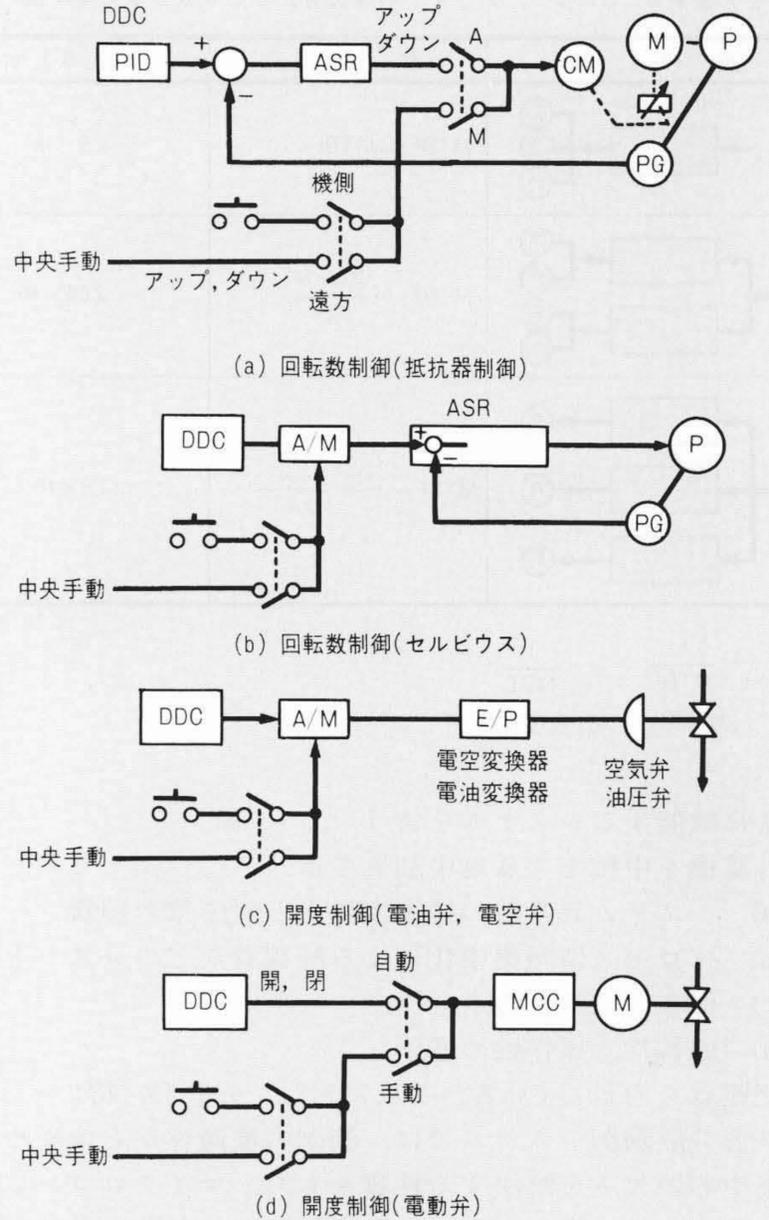
2.4 耐環境対策、保守運転及び自動点検

以上、種々の構成要素信頼度対策を述べたが、最近、上下水道システムで特に重要となってきた問題と対策について、次に詳述する。

2.4.1 耐環境対策

上下水道プロセスを対象とする電気、計装品は、腐食性ガス、温度、湿度、塵埃などの環境に耐えるものでなければならない。特に、下水処理場では霧囲気が問題となる。

電子制御機器が霧囲気によって障害に至る要因と原因、及び対策を表3に示す。また、ある処理場の腐食性ガス発生状況の実測データ例を表4に示す。下水処理場での発生ガスは、下水の複雑な生物・化学反応により発生し、季節、温度、下水量、流入水質により濃度が大きく変動する。その主なガス



注：略語説明
 DDC(計算機制御装置) A/M(A/Mステーション)
 ASR(速度制御装置) E/P(電空変換器)
 A(自動モード) MCC(モータコントロールセンタ)
 M(手動モード) M(電動機)
 PG(速度検出器) P(ポンプ)

図5 DDCのバックアップ 対象プロセスの駆動様式によりDDCのバックアップ方式も異なる。

は、アンモニア(NH₃)、硫化水素(H₂S)、塩素(Cl₂)、メチルメルカプタン(CH₃SH)、トリメチルアミン((CH₃)₃N)、硫化メチル((CH₃)₂S)、スチレン(C₈H₈)、アセトアルデヒド(CH₃CHO)などがある。これらのガスと金属材質の腐食の関係は、表5に示すように湿食と乾食に分類される。湿食とは湿度が一定値以上で急激に腐食が進行するもので、乾食とは低湿度でも腐食が発生するものを言う。金属材質の腐食には次に述べるような傾向がみられる。

- (1) 湿食性ガスは相対湿度60~70%以上から腐食が発生する。乾食性ガスは低湿度でも腐食が発生するが、相対湿度60~70%から増大する。
- (2) 結露が腐食を進行させる。
- (3) 金属表面のガス流速が大きいと、腐食の進行が速い。

以上の特質を考慮して、制御装置には種々の対策が施されている。

2.4.2 保守運転

図6は、昭和51年に発生した17号台風時の全国の排水ポンプ設備のトラブル分析結果を示すものである。これから分かることは、機械設備、とりわけ補機関係のトラブルが目立っている。排水機場や下水処理場の雨水ポンプは、降雨時の出

表3 雰囲気による障害原因と対策 電子機器の信頼性向上策として、環境、特に雰囲気に対しタフネスさが要求される。

要因	原因	対策例
温度	素子の小形化、高密度化により半導体ジャンクション温度が高くなり、温度ストレスによる故障率が高くなる。	ディレーティング 強制空冷 フロンガス冷却
湿度 塵埃	イオン性塵埃が基板上に堆積し、高湿度のもとで絶縁抵抗が、回路部品の誤動作レベル以下に低下する。	スペースヒータ ワニスコーティング モールド化 フィルタ付密閉筐体
腐食性 ガス	相対湿度とガス濃度により、部品のリード線端子、接点及びコネクタ部の腐食が発生進行し、接触不良、断線を招く。	ワニスコーティング 耐食性材めっき 密閉筐体 フィルタ

表4 処理場の腐食性ガス、湿度及び温度の実測値 腐食性ガス(硫化水素、アンモニア)など、下水処理場の雰囲気はシステムの設置環境として極めて厳しい。

場所	温度(°C)	湿度(%)	硫化水素(H ₂ S)(ppb)	アンモニア(NH ₃)(ppb)
中央監視室	18	65	1以下	1以下
プロワ室	21	77	1以下	1以下
沈砂池室	19	65	12	820
地下管廊	21	89	2	15
最終沈殿池室	21	63	1	30

注：ppb = 10⁻³ppm

表5 腐食性ガスと材質の乾食、湿食の分類 材質の腐食はガス濃度と湿度に関係するので、防湿対策も重要である。

	亜硫酸ガス(SO ₂)	硫化水素(H ₂ S)	塩素(Cl ₂)	アンモニア(NH ₃)	メチルメルカプタン(CH ₃ SH)
銅(Cu)	×	○	×	×	○
鉄(Fe)	×	×	×	×	×
銀(Ag)	×	○	×	×	○

注：○(乾食), ×(湿食)

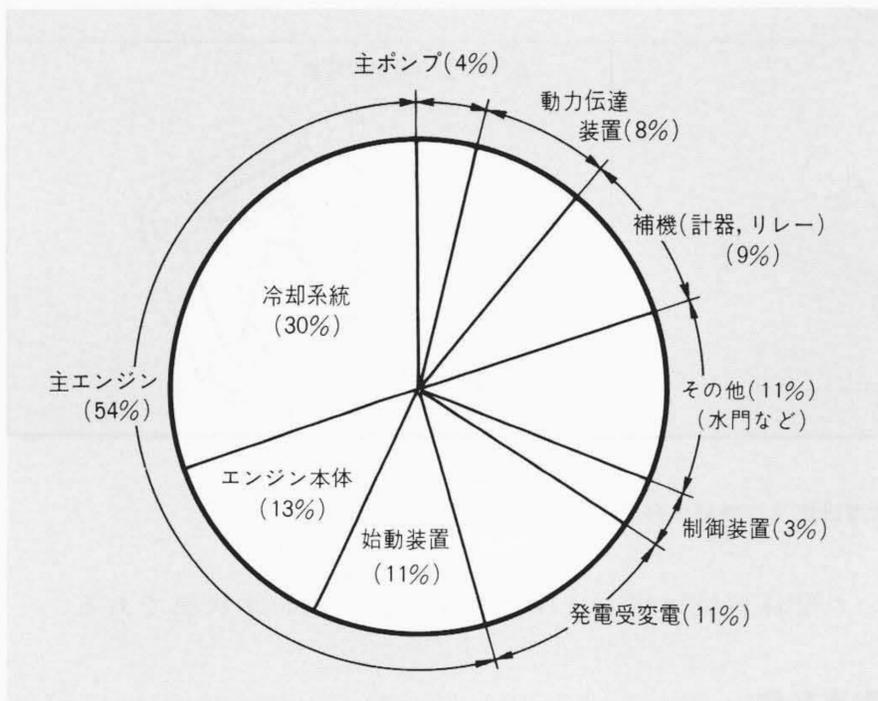


図6 排水ポンプ設備のトラブル実績データ 機械側補機関係の故障が多い。事前チェックができれば、ほとんど防止できる。

水排除を目的としているため、普段から出水時に機能を発揮できるように、保守運転によりトラブルの事前検出と保守が必要である。同図では、エンジン本体の試運転だけでは13%しかカバーできないことになり、エンジン、ポンプを含む全プラントの保守運転が必要であることが分かる。

ポンプ設備の信頼性向上には、初期故障期間から長期安定期へ速やかに移行させることである。このため、定期的、長

時間の試験運転が重要となる。図7はポンプ設備の保守運転法を示したものである。保守運転といえども、実運転に近い状態で運転する方法が最も効果的である。この意味から空転運転方法が最も望ましいが、ポンプは完全露出状態で運転するので、水による潤滑、冷却ができないためポンプ側の羽根車、ケーシングライナの対策が必要である。

2.4.3 機器自動点検

保守運転は種々の制約があり、実現困難な場合がある。

制御システムの一部模擬機能を付加して、機器の自動点検を行なう方法について述べる。これは機器の予防保全と、運転保守員のトレーニングの意味ももつものである。

図8は、計算機又はPLCによる自動点検例である。この場合でも模擬信号は極力最低限にとどめ、実信号による点検が予防保全上効果的である。図9はシミュレータによるポンプ起動シーケンスのチェック例で、実際に電動機を駆動せず、起動渋滞検出を行なうものである。

3 故障波及シミュレータ(FPS)

上下水道プラントの大規模、複雑化により、故障発生ポテンシャルが高くなっている一方、無人運転プラントのニーズが出始めている。従来の予防保全技術としてFTA(Fault Tree Analysis)が試みられていたが、FPS(Failure Propagation Simulator)では、(1)故障発生後の経過時間とその

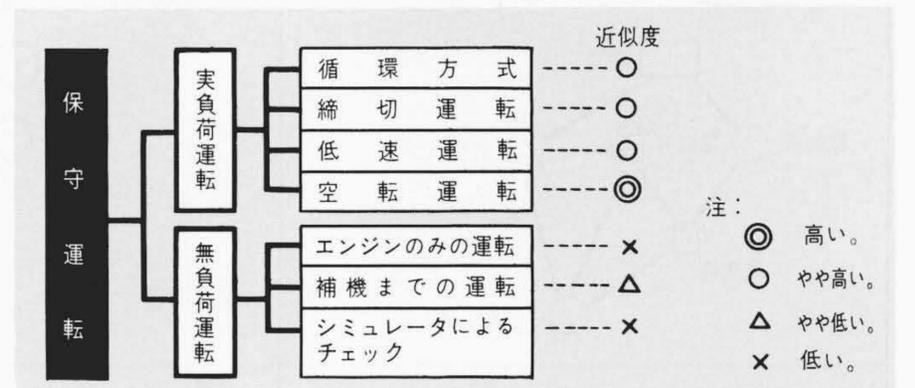


図7 ポンプの保守運転法 保守運転では制約条件が多いが、実運転に最も近い空転運転が望ましい。

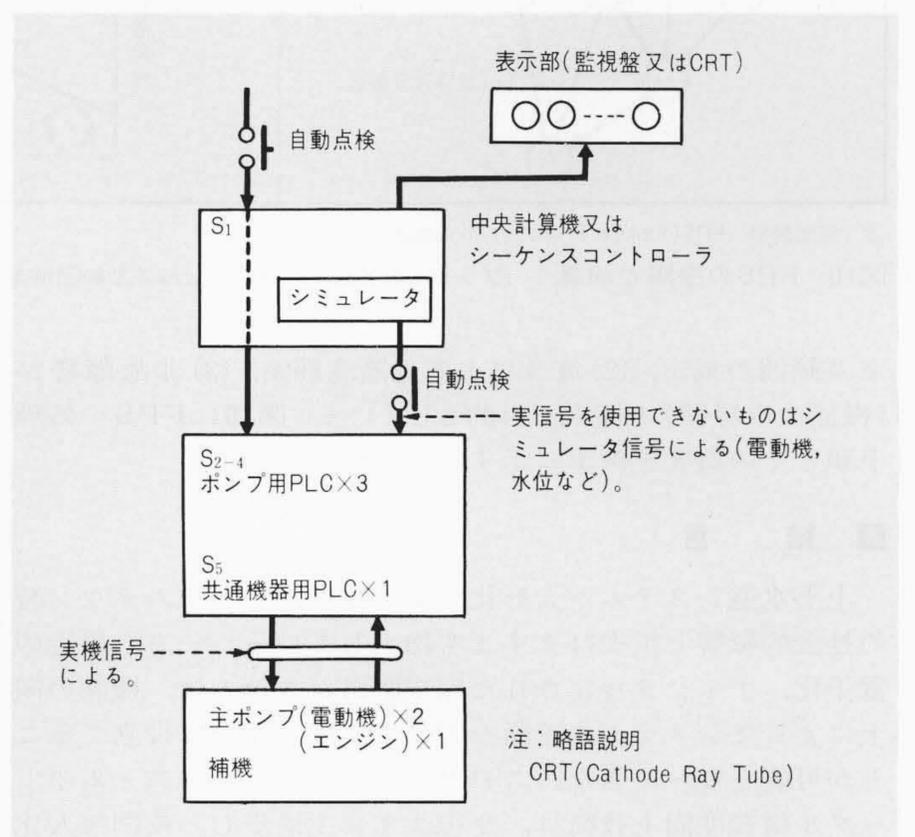


図8 自動点検構成図 PLC又は計算機内にシミュレータ機能を付加し、実信号がない場合でも自動点検が可能となる。

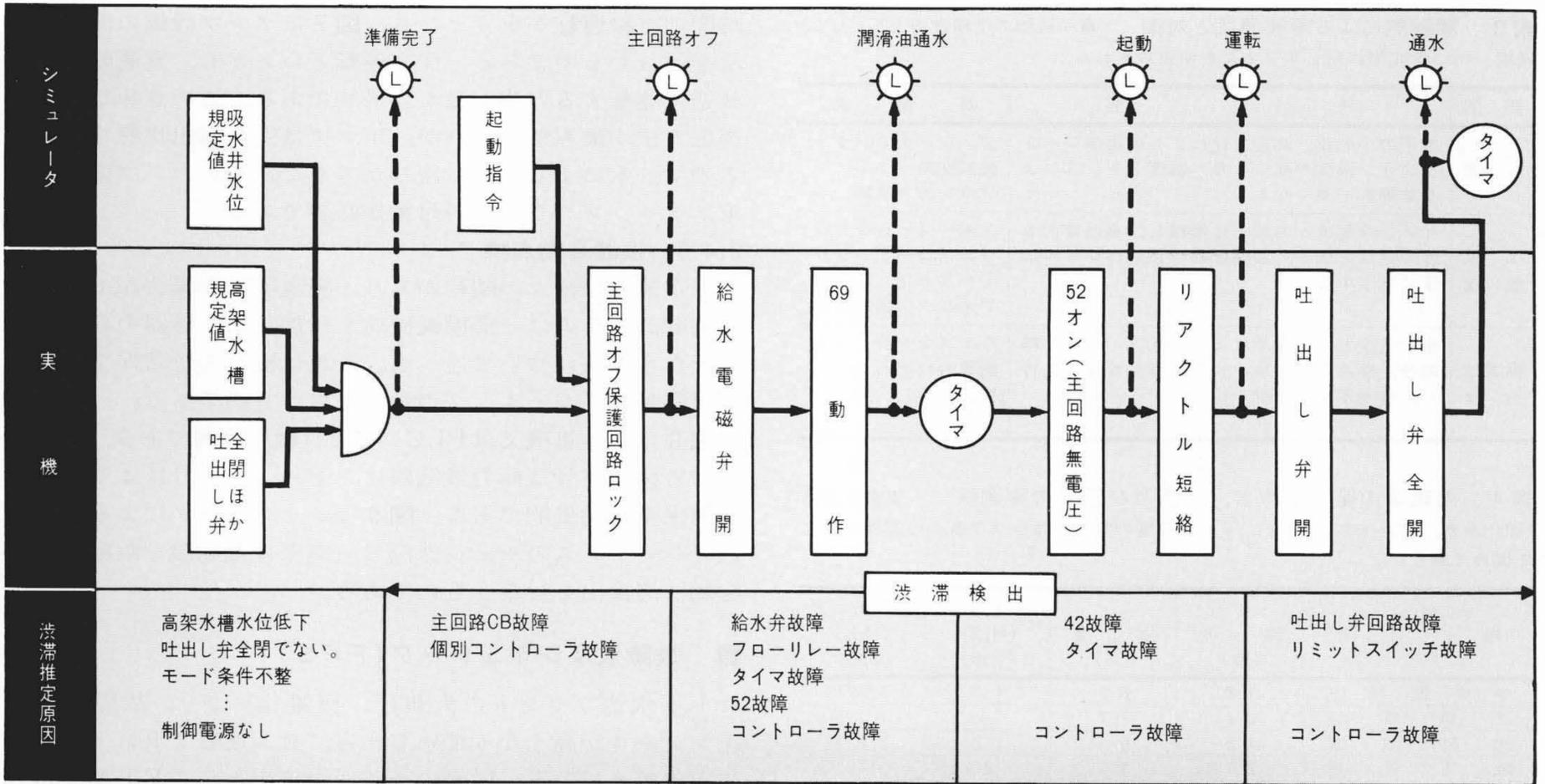
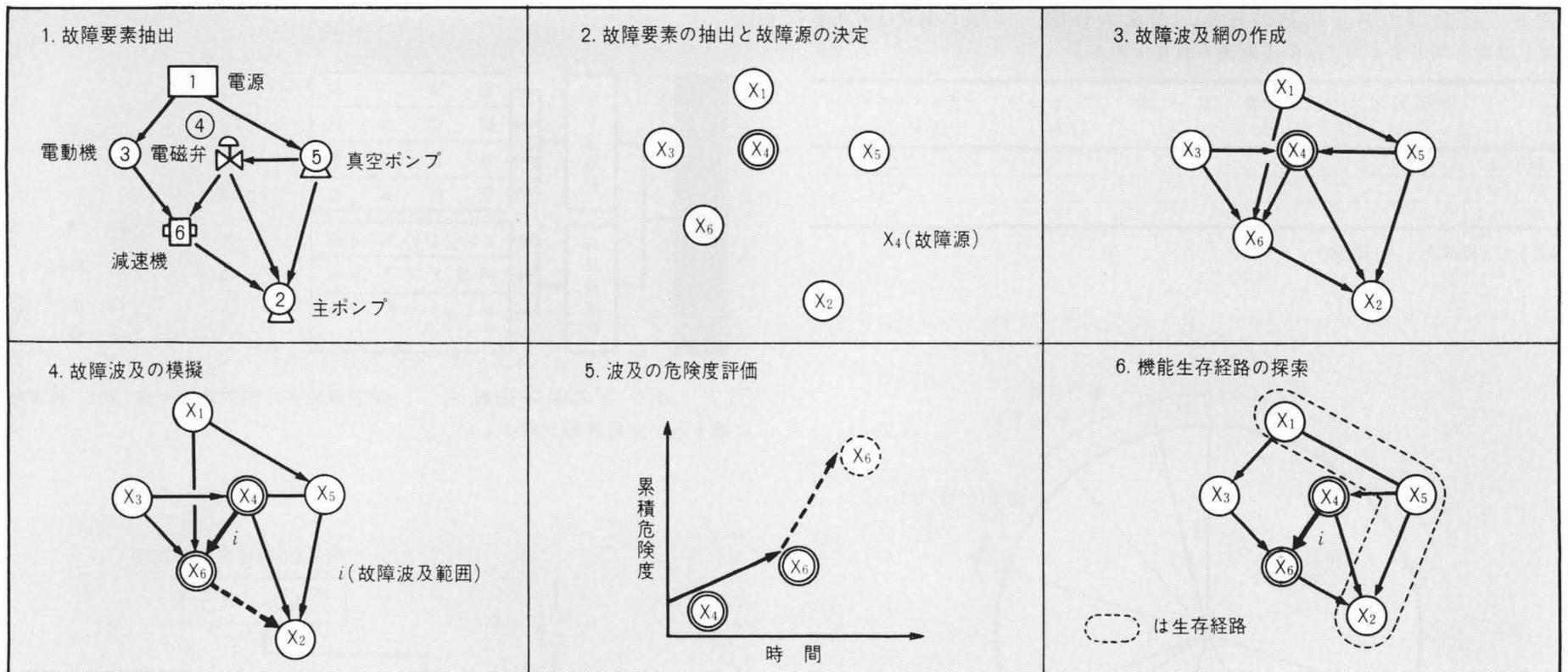


図9 シミュレータによる起動シーケンスチェック例 電動機駆動ポンプで電動機を回転できない場合の渋滞自動チェック法である。



注：略語説明 FPS(Failure Propagation Simulator)

図10 FPSの手順と演算 プラントの各故障要素から故障波及範囲推定、危険度評価及び機能生存経路探索を行なう。

波及範囲の推定、(2)波及による危険度評価、(3)非故障経路(機能生存経路)の探索を目的としている。図10にFPSの処理手順とその概要を簡単に示す。

4 結 言

上下水道システムが大形化するに伴い、システムダウン時の社会的影響と損失はますます増大している。一方、最近の電子化、デジタル化された監視制御システムは、機能の向上によってシステムの診断などによる予防保全に役立てることが可能となってきた。このような背景から、システムのトータル信頼度向上技術は、今後ますます進歩し、夜間無人化プラントの実現へ寄与するものと考えられる。

最後に、信頼性向上技術開発のため、種々御協力をいただ

いた関係各位に対し、深く感謝の意を表わす次第である。

参考文献

- 1) 北川：信頼性の考え方と技術，コロナ（昭53-1）
- 2) 岩城，外：下水処理場の制御，日立評論，59，656～660（昭52-8）
- 3) 永田：上水道プラントにみる予防保全技術の進歩，OHM（'78/12）
- 4) 建電協：揚排水ポンプ設備制御システム調査報告書，別冊2，排水機場の高信頼度設計について（昭54）
- 5) 塩見：異常検出予測技術の現状と将来，オートメーション，Vol. 24，No. 2（昭54-2）
- 6) 古河，外：故障波及過程モデル化の一研究，55年電子通信学会発表論文