

土 木 研 究 所 資 料

機械設備の信頼性評価に関する調査研究(第二報)

平成 13 年 2 月

国土交通省土木研究所
材料施工部機械研究室

Copyright © (2001) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

建設省は、平成13年1月6日付けで国土交通省に再編

機械設備の信頼性評価に関する調査研究（第二報）

機械研究室	室長	江本 平
	室長	村松敏光 ¹⁾
	室長	吉田 正 ²⁾
	研究員	森下博之 ³⁾
	研究員	服部達也
	研究員	田中和嗣
	研究員	小林 誠 ⁴⁾

要旨：国土交通省では、排水ポンプ設備に代表される河川管理用機械設備の機能確保のため、信頼性工学を導入した信頼性確保の方法と定量的評価手法の研究・開発を行っている。本調査資料集は、全国 252 の排水ポンプ設備を対象に実施した信頼性フィールドデータの収集解析結果、さらに現在検討・導入が進められている集中管理システムの信頼性評価の基礎的資料をとりまとめたものである。

キーワード：機械設備、FTA、信頼性工学、設計、維持管理

- 注 1) 現 (財)先端建設技術センター 普及振興部長
2) 現 関東地方整備局国営アルプスあづみの公園工事事務所長
3) 現 関東地方整備局東京国道工事事務所環境整備課長
4) 現 関東地方整備局利根川下流工事事務所佐原工作出張所技術係長

はじめに

わが国では、梅雨、台風期の豪雨に加え、地形が急峻で低地に市街地等が多いため、洪水等による水害が発生しやすい。このため人命と社会財産を守るために設置される河川管理施設の重要性は高い。排水ポンプ設備等の機械設備は、河川管理施設の一部としての機能を有しており、重要な役割を担っている。近年の設備数の増加により、その重要性は益々高まっている。そのため、万一、設備本体の本来の機能が喪失または低下するような故障が発生した場合、周辺地域に与える影響は甚大である。これら機械設備の大きな特徴として、作動して始めて要求される機能を発揮する点があり、このため機械設備の“故障”には、操作盤のパイロットランプから機械設備本体に至るまで、その発生の可能性が潜在しており、設備の信頼性確保のために適切な点検・維持管理が実施されてきている。

国土交通省では、治水事業等の進歩に伴い、排水ポンプ設備等の機械設備が増加する状況を踏まえ、これら機械設備の機能を確保するため、各設備の設計、維持管理についての技術基準や要領等の整備を進めつつ、合理的な維持管理方法を検討している。従来、機械設備の信頼性向上のための設計や維持管理の方法は、関係技術者のノウハウや経験の積み重ねに基づいた定性的な評価に頼っていた。しかし、原子力発電所や航空機のように、故障の発生が致命的な影響を与える設備等をはじめとして、「信頼性工学」を応用した定量的な信頼性管理が一般化している情勢も踏まえ、これまでに、信頼性工学の導入による信頼性確保の方法と定量的評価手法の研究・開発を行ってきた。

一方、河川管理施設の管理・操作においては、熟練作業員の減少等による要員の確保が困難になっている。そのため、設備の信頼性を確保しつつ、迅速かつ効率的に運転操作を行う方法が必要とされており、その方法として、一定地域にある一連の施設を監視・制御できる集中管理システムが期待されている。しかし、この方法は、施設の機能を発揮させるための機器点数が増え、システムが複雑化するとともに、運転操作の機能が一部に集中するために、一ヶ所の故障が複数施設の管理に影響を及ぼす可能性を有している。そこで、集中管理システムについても、その信頼性確保の方法と評価の方法が必要となっている。

このような情勢を踏まえ、本調査は、前報の開発結果を補足するために、排水ポンプ設備についての信頼性フィールドデータの収集と解析を行い、さらに、新たに集中管理システムについても、信頼性評価に向けた基礎的資料の収集を行ったものである。

目 次

はじめに

1. 総論	1 - 1
1. 1 研究目的	1 - 1
1. 2 信頼性の検討体系と本研究の内容	1 - 2
2. 排水ポンプ設備の信頼性データ	2 - 1
2. 1 信頼性フィールドデータの収集	2 - 1
2. 2 信頼性フィールドデータによる信頼性解析	2 - 12
3. 集中管理システムの信頼性評価	3 - 1
3. 1 集中管理システムの信頼性データの収集	3 - 1
3. 2 集中管理システムモデルの信頼性評価	3 - 8
4. 今後の信頼性フィールド調査について	4 - 1
4. 1 故障の調査	4 - 1
4. 2 故障事例の再整理	4 - 2
4. 3 問題点の抽出	4 - 3
4. 4 今後の調査方法に関する提案	4 - 4
5. まとめ	5 - 1
おわりに	5 - 2

1. 総論

1.1 研究目的

(1) 機械設備の検討

排水ポンプ設備等の機械設備は、河川管理施設の一部としての機能を有しており、重要な役割を担っている。この機械設備の重要性は、近年の設備数の増加により、益々高まっている。その一方で、熟練作業員の減少等により、管理・操作のための要員確保が困難になっており、出水時の管理体制の確保等が課題となっている。そのため、設備の信頼性を確保しつつ、迅速かつ効率的な運転操作を行う方法が必要とされている。

これまでに、機械設備の信頼性確保のために、信頼性工学の導入による検討を行っている。機械設備は、作動して始めて機能を発揮する設備であるため、必要なときになって故障が発生する可能性が潜在している。信頼性工学による検討は、これらの可能性を含めた機械設備の信頼性を定量的に評価し、合理的な設計・管理手法により信頼性を確保しようとするものである。

これまでに開発した信頼性工学に基づく機械設備の信頼性確保の方法を補足するために、排水ポンプ設備についての信頼性フィールドデータの収集と解析を行い、信頼性評価の基礎的資料の収集を行った。

(2) 集中管理システムの検討

河川管理施設の運転操作を迅速かつ合理的に実施する方法として、複数の排水機場を総合的に管理する「集中管理システム」が期待されている。さらに、「集中管理システム」を用いることにより、機器の状態のオンライン傾向管理に基づく異常兆候の早期発見やメンテナンス部門への自動通報が可能となる事も考えられ、故障が発生した場合の復旧時間を最小限に抑えることが可能となる。

その一方で、「集中管理システム」は施設の機能を発揮させるための機器点数が増え、システムが複雑になると共に、そのシステムの故障時には複数施設の管理に影響を及ぼす可能性を有している。そこで、「集中管理システム」についても「信頼性確保」及び「評価」の方法が必要となっている。

そこで、「集中管理システム」の信頼性を検討するための基礎資料として信頼性フィールド調査やメーカーへのアンケート調査と解析を行い、信頼性評価の基礎的資料の収集を行った。

1.2 信頼性の検討体系と本研究の内容

排水ポンプ設備等の機械設備の信頼性を検討する場合の工程は、一般的に図 1-2-1 のような体系になる。

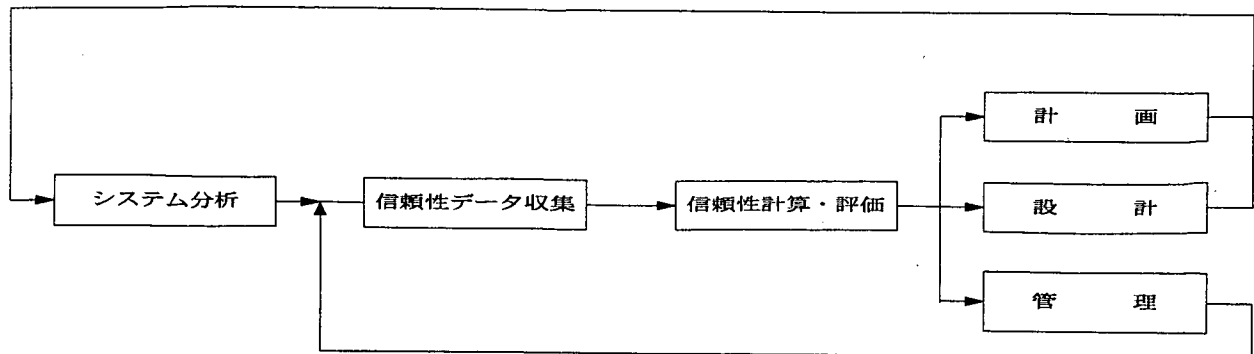


図 1-2-1 信頼性検討のフロー

この中で、信頼性データを蓄積すべき要素分割レベルを規定するシステム分析と、要素毎に正確な信頼性データを蓄積することが最も重要である。しかし、信頼性データの蓄積には長期間を要するのが一般的である。これは、部品の故障率(信頼性)を統計的に把握するには少なくとも 10 回以上の故障データを必要としているためで、通常、5 年から 10 年を要する。本研究は、排水ポンプ設備についての信頼性フィールドデータの収集と解析を行い、さらに、新たに集中管理システムについての信頼性確保の方法とその評価方法を検討するとともに、信頼性評価の基礎的資料の収集を行ったものである。本研究の内容を以下に示す。

(1) 排水ポンプ設備の信頼性フィールドデータの収集と解析

河川管理施設の 1 つであるポンプ設備について、信頼性向上のための「信頼性評価」、「保全計画立案」等の基礎資料を得るために、設備の信頼性フィールドデータの収集、解析を行った。

信頼性フィールドデータは、国土交通省各地方整備局、北海道開発局が管理する河川用排水ポンプ設備を対象とした調査により収集した。調査対象設備は、256 機場であり、詳細情報の欠落があった機場分のデータを除外した 252 機場のデータを用いて解析を行った。

(2) 集中管理システムの信頼性評価の基礎資料作成

集中管理システム信頼性評価のための基礎資料を作成することを目的として、集中管理システムの各構成機器の M T B F (Mean Time Between Failure: 平均故障間隔)を検討した。

2. 排水ポンプ設備の信頼性データ

2.1 信頼性フィールドデータの収集

本業務で対象としたフィールドデータは、建設省各地方建設局、北海道開発局および沖縄総合事務局が管理する河川用排水ポンプ設備全数とし、データの期間は1989年より1997年度までの9年間である。

2.1.1 収集データの概要

各地方建設局・北海道開発局が管理する河川用排水ポンプ設備のうち調査対象機場総数は252機場に及び、その管理区分別内訳は下図のとおりである。

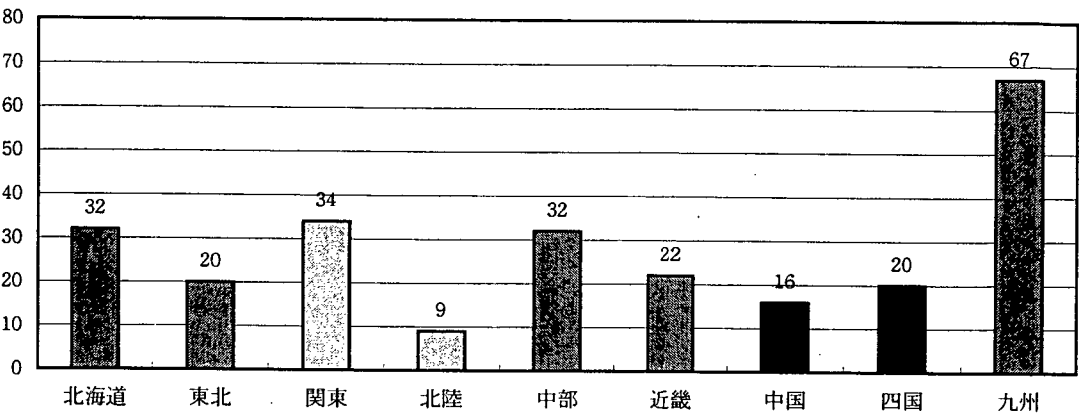


図 2-1-1 地建別調査対象機場数

調査対象機場を5年間隔の設置年度で区分すると以下のような分布となる。

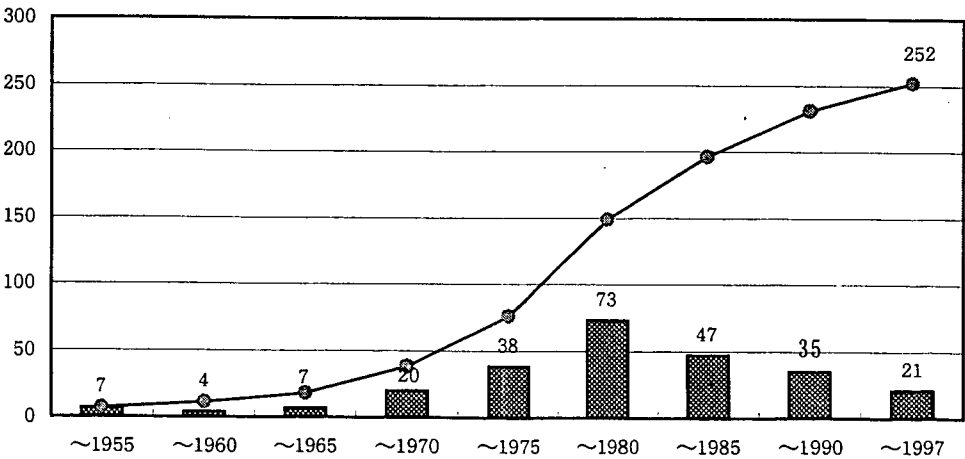


図 2-1-2 設置年度別調査対象機場数 *折れ線は累積数

排水機場に設置されているポンプには、横軸斜流・軸流ポンプ、立軸斜流・軸流ポンプ及び渦巻ポンプがあり、その割合を図 2-1-3 に示す。

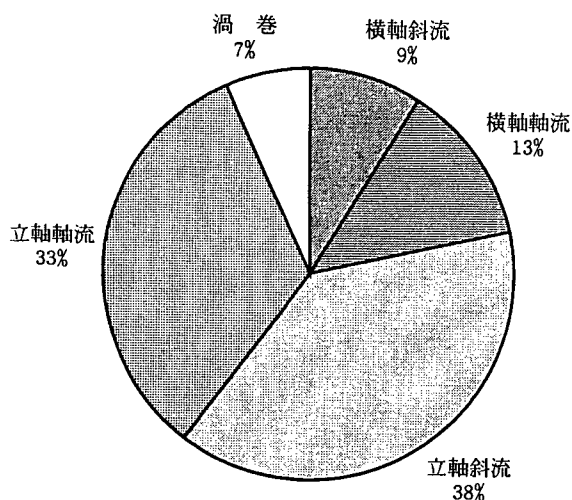


図 2-1-3 ポンプ形式別調査対象機場

排水ポンプ設備に用いられているポンプ口径は 250mm～4600mm と広範囲に亘るが、口径 1000mm～1700mm の範囲がポンプ全数量の約半数を占めている。

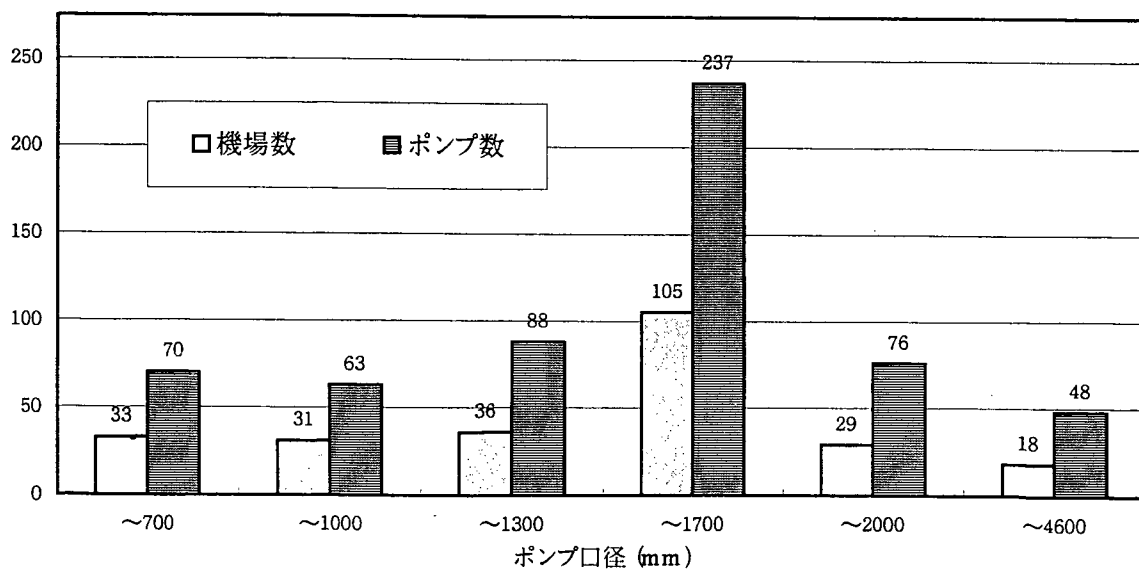


図 2-1-4 ポンプ口径別調査対象機場

2.1.2 データの分析

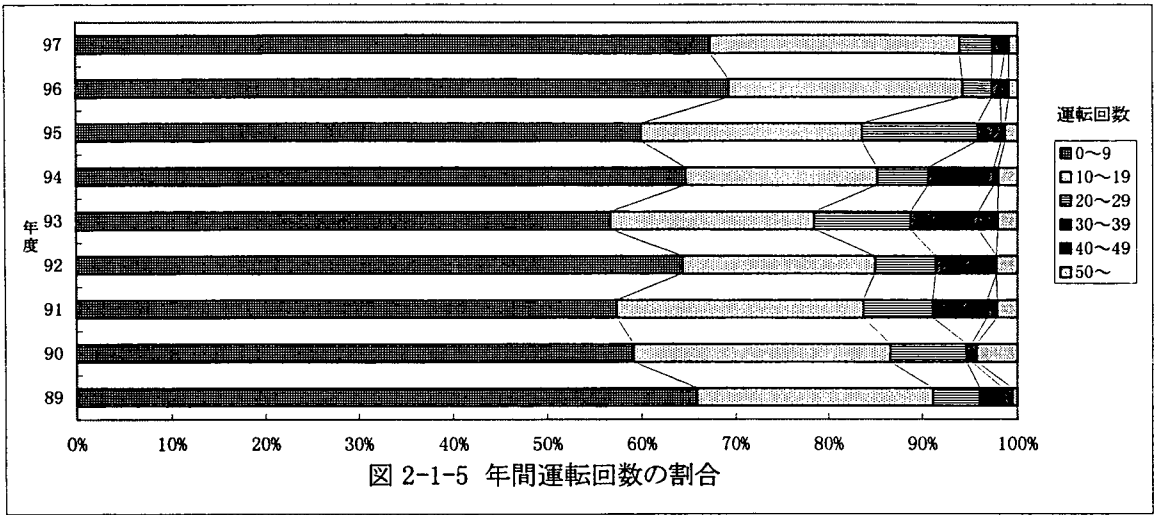
(1) 故障の発見

収集したデータより、故障の発生、発見に重要な関係にあると思われる運転回数、発生した故障の程度及び故障発見時の状態について整理を行った。

1) 年間運転回数

各排水機場毎の運転回数のデータから、排水機場の年間運転回数がどの程度あるかを、年度毎に比率で示したものが図 2-1-5 である。年間運転回数 10 回未満の機場が全体の 6 割を占め、回数が増えるほど機場数は減少する。また 9 年間の傾向にあまり変化は見られない。

尚、ポンプ毎の年間運転回数のデータは収集されていない。



2) 故障の程度

前回調査（1990 年 3 月）の故障の程度の定義を表 2-1-1 に、今回調査の故障の定義を表 2-1-2 に示す。

表 2-1-1 前回調査での定義

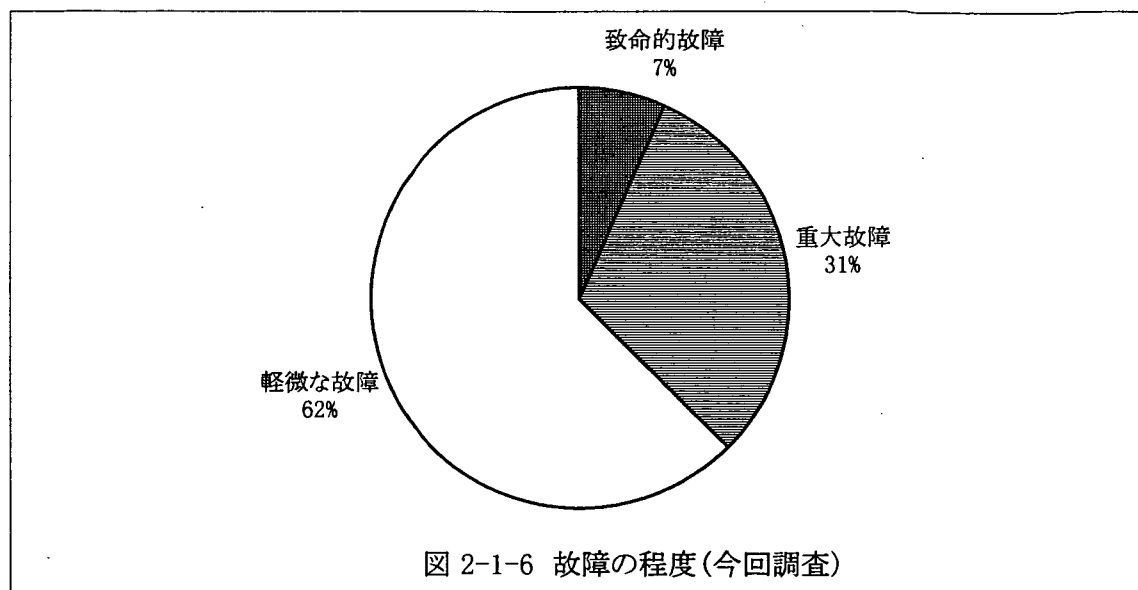
種 類	定 義
致命故障	ポンプ設備の機能を失う故障
重故障	運転を継続すると致命故障に至る故障
軽故障	しばらくの間運転継続しても支障ない故障
部分故障	運転にほとんど支障ない故障

表 2-1-2 今回の定義

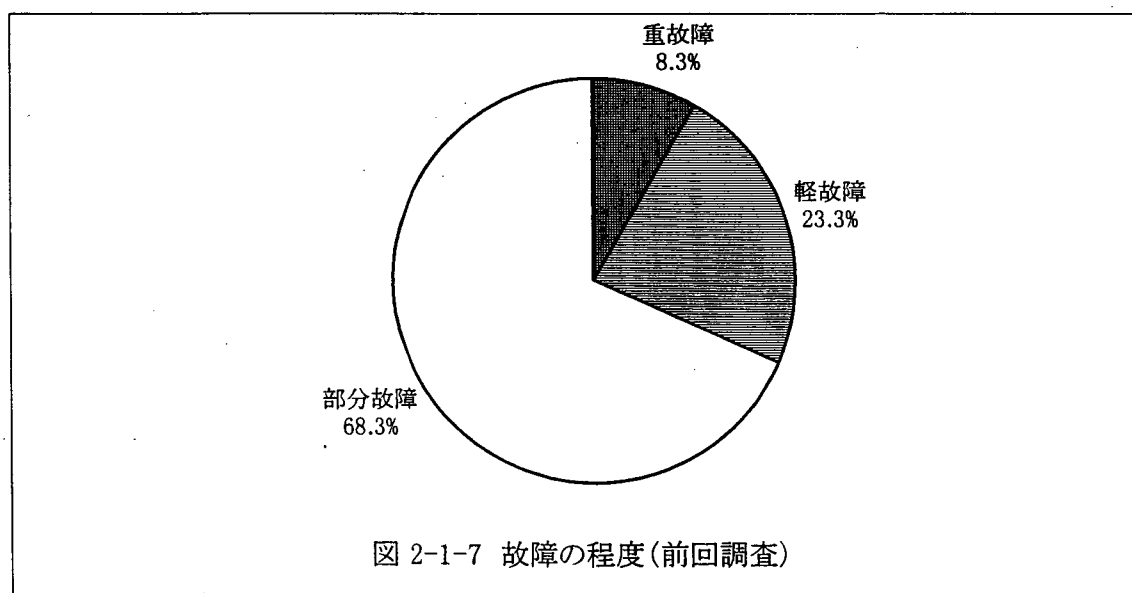
種 類	基本事象	記 事
致命的故障	システムの排水機能喪失	・冗長性のない機械系及び動力系の故障または、動力系を制御する制御系の故障により運転不能。 ・機械的運転に係わらず運転不能。 ・機械的運転のみ可能であるが、極めて短時間に主機（ポンプ、原動機等）に重大なダメージ（損傷、亀裂等）を与える故障により運転不能。 ・主機の運転不可能な振動の発生等。
重大故障	短時間の運転可能 設定条件の変更により運転可能	・冗長性のある機械系及び動力系の故障または、動力系を制御する制御系の故障（機側盤からの運転を含む）。 ・現場での応急的な運転操作条件の変更により運転可能。 ・補機に重大なダメージを与える故障または振動の発生等。 ・運転を継続すると短時間に主機に重大な故障を与える故障。 ・機械的運転による運転可能（エンジン始動用電磁弁の故障等）。 ・一定時間内であれば運転可能。
軽微な故障	運転継続可能	・継続運転可能であるが、運転終了後故障箇所の点検が必要。（補機の振動、騒音等）

前回と今回では調査の方法及び故障の定義が異なるため、調査結果の厳密な比較は困難であるが、結果的には次に示すように同様の傾向が得られている。

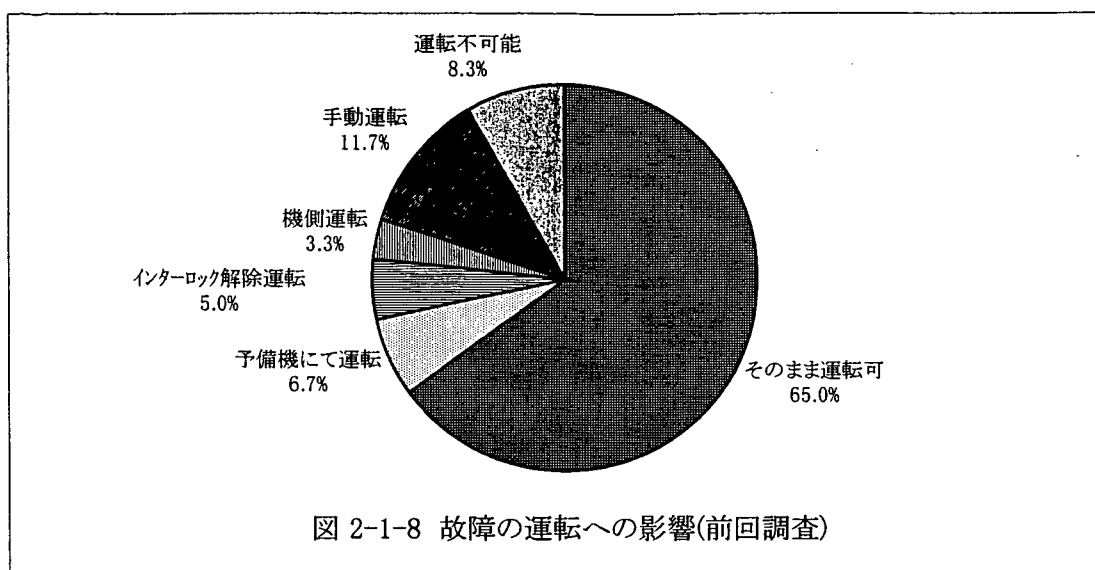
今回調査の故障程度の比率を図 2-1-6 に示す。排水機場の機能喪失を意味する「致命的故障」は 7%である。故障発生後も設定条件の変更により運転可能又は短時間の運転可能の意味である「重大故障」と、継続運転可能な「軽微な故障」が 90%以上を占めている。



前回調査における故障の程度の評価を図 2-1-7 に示す。表 2-1-1 の前回調査の故障の定義では「致命故障」が挙げられているが、評価には表れていない。

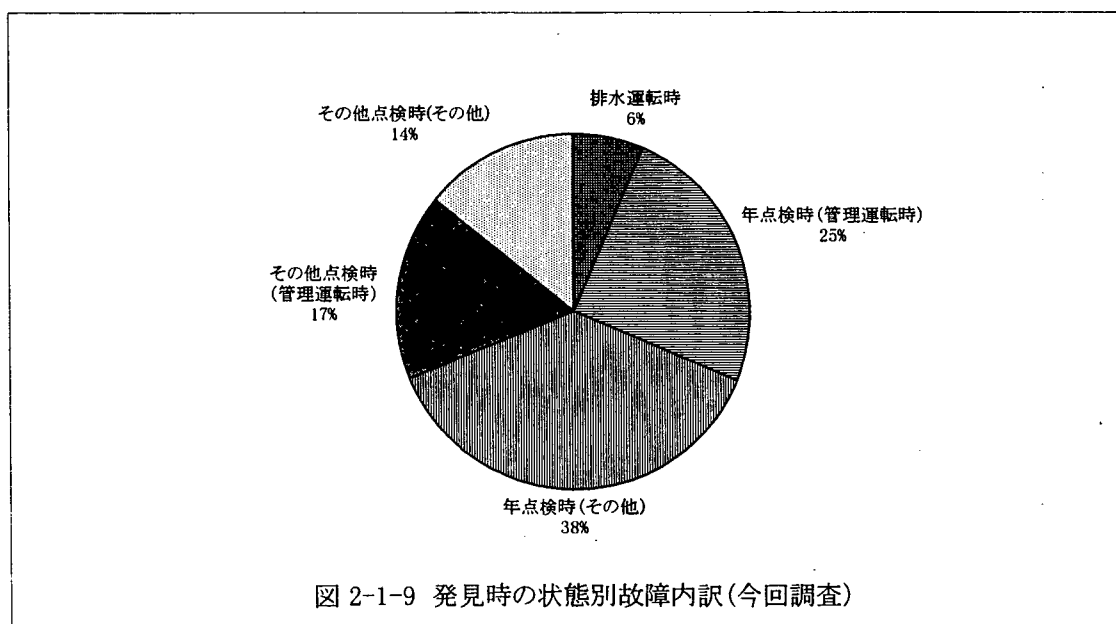


前回調査における故障の運転への影響の評価を図 2-1-8 に示す。運転不可能な故障が 8%、手動運転・機側運転・インターロック解除運転・予備機運転により運転可能な故障が 27%、そのまま運転可能な故障が 65%であった。



3) 発見時の状態

ここでは今回調査の致命的・重大故障のデータを対象とし、故障発見時の状態を図 2-1-9 に示す。排水運転時に発見されたものが 6%、年点検時に発見されたものが 63%、その他の点検時が 31%であり、点検は故障発見に効果があると言える。



(2) 故障の概要

ここでは致命的・重大故障を対象として、収集された故障データについて故障件数をもとに分析を行う。

1) システムの区分

システムの分類を表 2-1-3 に示す。

表 2-1-3 システムの分類

大区分	中区分	小区分
主ポンプ	主ポンプ	
	主配管	
	継手	
減速機	本体	
	給油装置	
主原動機	ディーゼルエンジン	本体・その他
		燃料噴射系
		空気配管系
		燃料供給系
	ガスタービン	
	エンジン始動装置	
	電動機	
操作・制御設備	発電機	
	発電機用ディーゼルエンジン	
	発電機用ガスタービン	
	始動装置	
	操作制御設備	
補機設備	清水冷却器	
	ストレーナ	
	原水ポンプ	
	取水（井戸）ポンプ	
	冷却水ポンプ	
	真空ポンプ	
	その他ポンプ	
	空気圧縮機	
	弁類	
除塵設備	除塵機本体	
	その他	
	水平コンベア	
	操作制御設備	

注1) 今回調査の操作制御設備には、前回の自家発・センサー・盤類が含まれ、前回調査では自家発は主原動機に含まれている。

注2) 前回調査の電磁・電動弁は、今回では主原動機・操作制御設備・補機設備の中に分類されている。

2) 故障の装置別内訳

故障の装置別内訳を図 2-1-10 に示す。主原動機が 38%と最も多く、さらに補機設備（20%）、操作制御設備（19%）と続く。この傾向は前回調査にほぼ近い割合である。

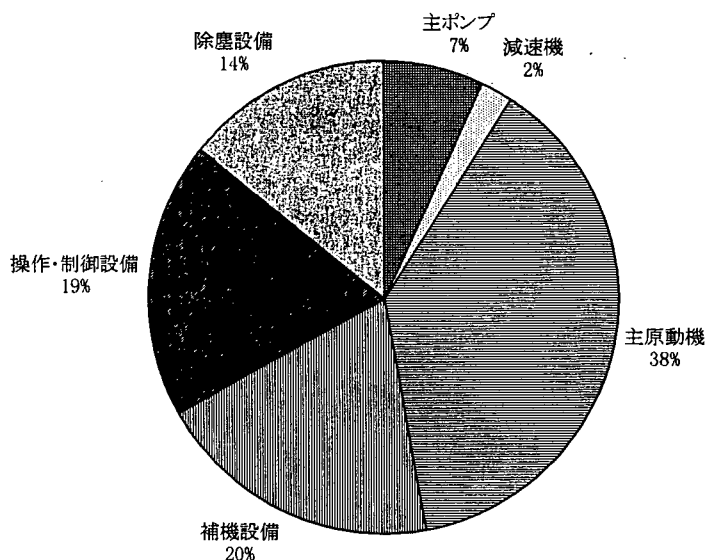


図 2-1-10 故障の装置別内訳(今回調査)

今回調査のシステム区分と前回調査とは異なっているため、前回の区分に合わせた機器の装置別内訳を図 2-1-11 に示す。自家発を操作制御設備から主原動機に移し、電磁・電動弁を主原動機・操作制御設備・補機設備から独立させた。図 2-1-12 に示す前回調査と今回では、主原動機及びセンサー・盤類で装置別の比率に差が生じている。

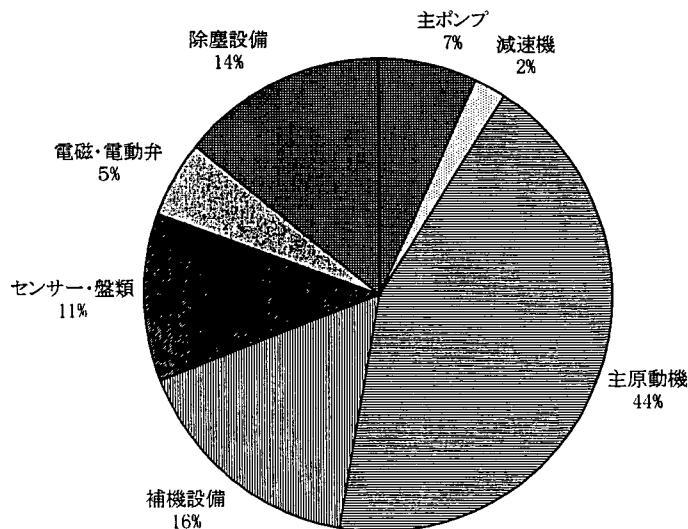
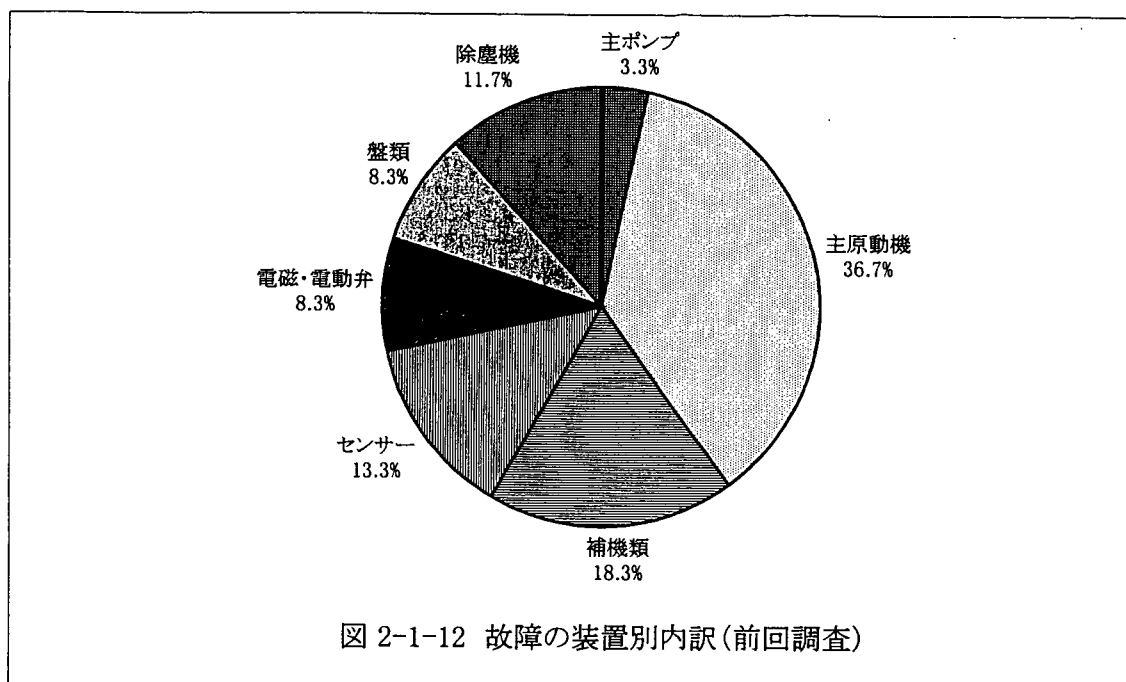


図 2-1-11 故障の装置別内訳(今回調査-2)



故障データの調査と分析の目的は、排水機場設備の構成に基づいて、どの系統に弱点があるか、どの系統を合理化・簡素化することが排水機場の信頼性向上に寄与するかを見出し、その系統の合理化・簡素化の方向性を定めていくことにある。

弁類等の補機類を、エンジン等の主機から分けて区分すると、主機本来の弱点が見えにくくなるため、主機直属の補機は、主機に含めた方が良いと考えられる。今後のデータの活用方法、合理化検討の観点からは図 2-1-11 の分類よりも、設備・系統としての分析を行っていくことが有効であると考えられる。

以降の検討は、表 2-1-3 に示す今回調査のシステム分類に従って、今回調査のデータを対象に行う。

3) 主ポンプ故障内訳

主ポンプの故障内訳を図 2-1-13 に示す。主ポンプ設備（主ポンプ、配管、継手）のうち主ポンプ本体が 64%である。

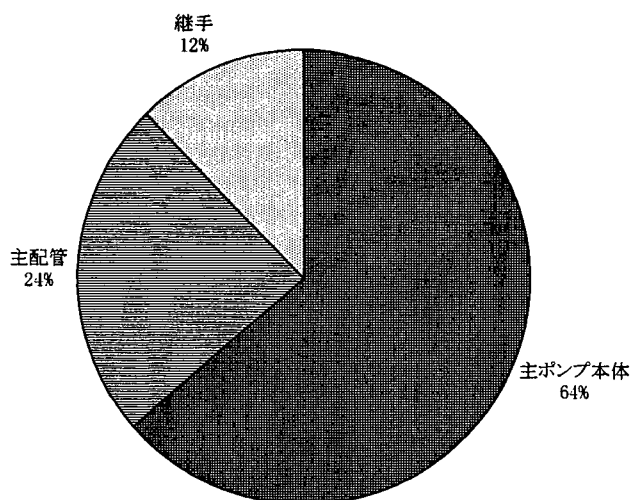


図 2-1-13 主ポンプ故障内訳

4) 減速機故障内訳

減速機の故障内訳を図 2-1-14 に示す。減速機故障では、給油装置関係が本体故障を上回っていることが分かる。

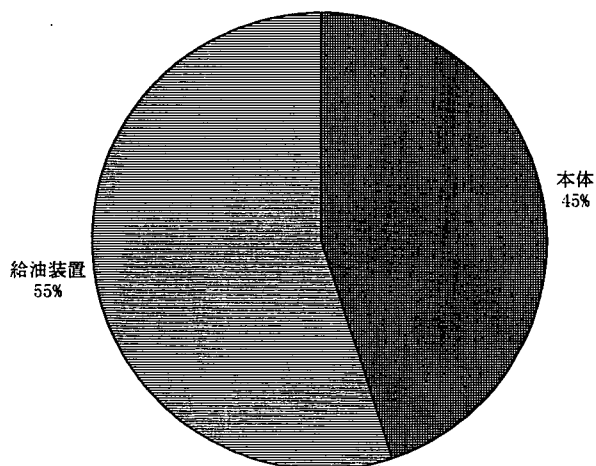
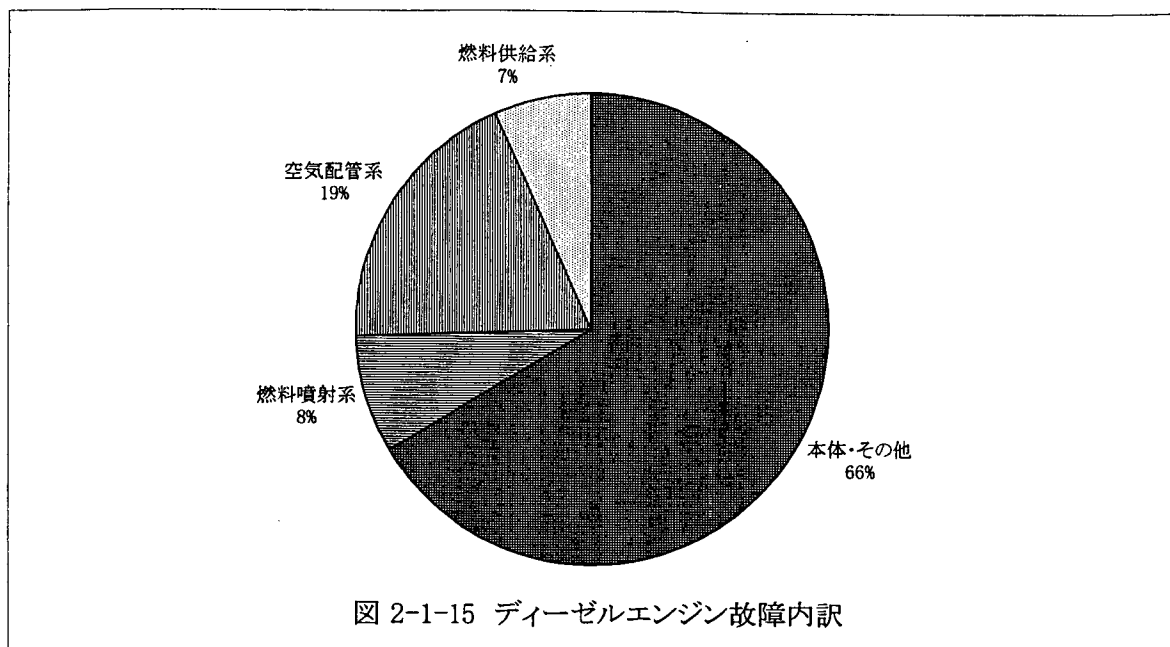


図 2-1-14 減速機故障内訳

5) ディーゼルエンジン故障内訳

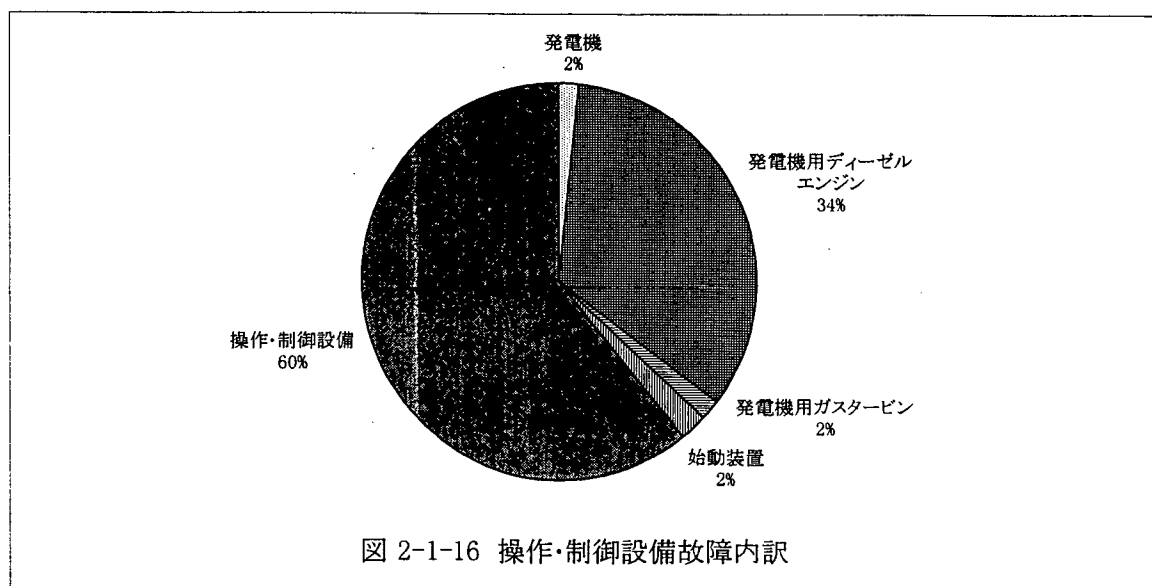
主原動機の設置台数は、ディーゼルエンジンが 87%、電動機が 11%、ガスタービンが 2%となっており、故障もディーゼルエンジンの件数が大部分を占めているため、図 2-1-15 にディーゼルエンジンについての故障内訳を示す。エンジン本体が最も多く 66%、次いで空気配管系が 19%である。



6) 操作制御設備故障内訳

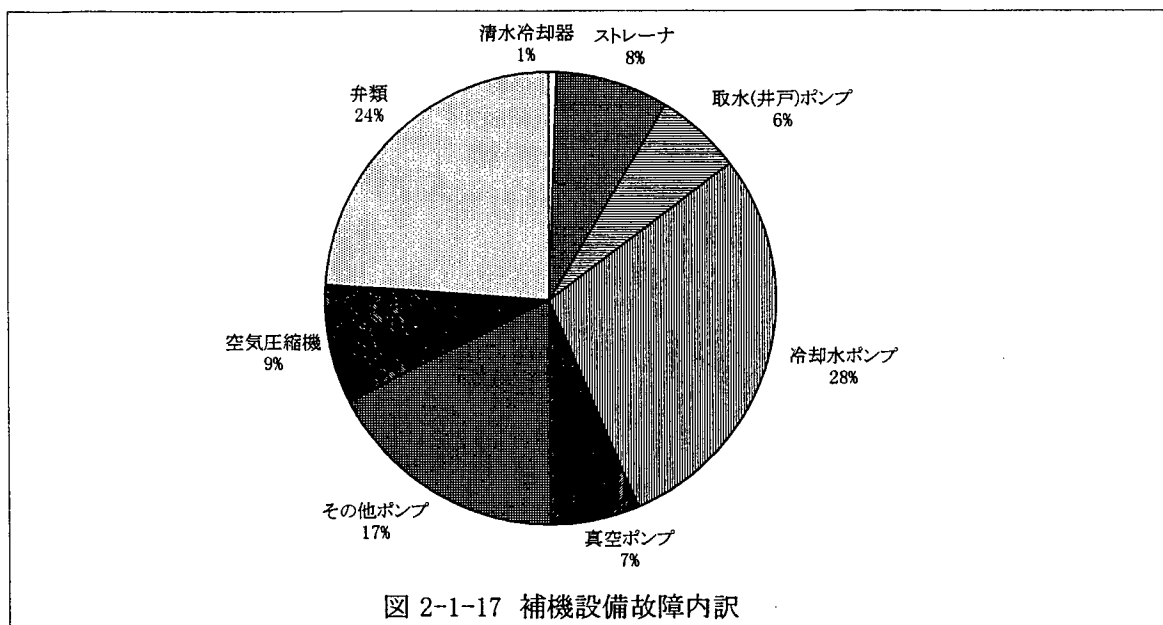
操作制御設備の故障内訳を図 2-1-16 に示す。内訳における操作・制御設備とは、センサー、スイッチ、リレー類及び盤類のことである。

発電機用の駆動機設置台数は、ディーゼルエンジンが 98%、ガスタービンは 2%である。



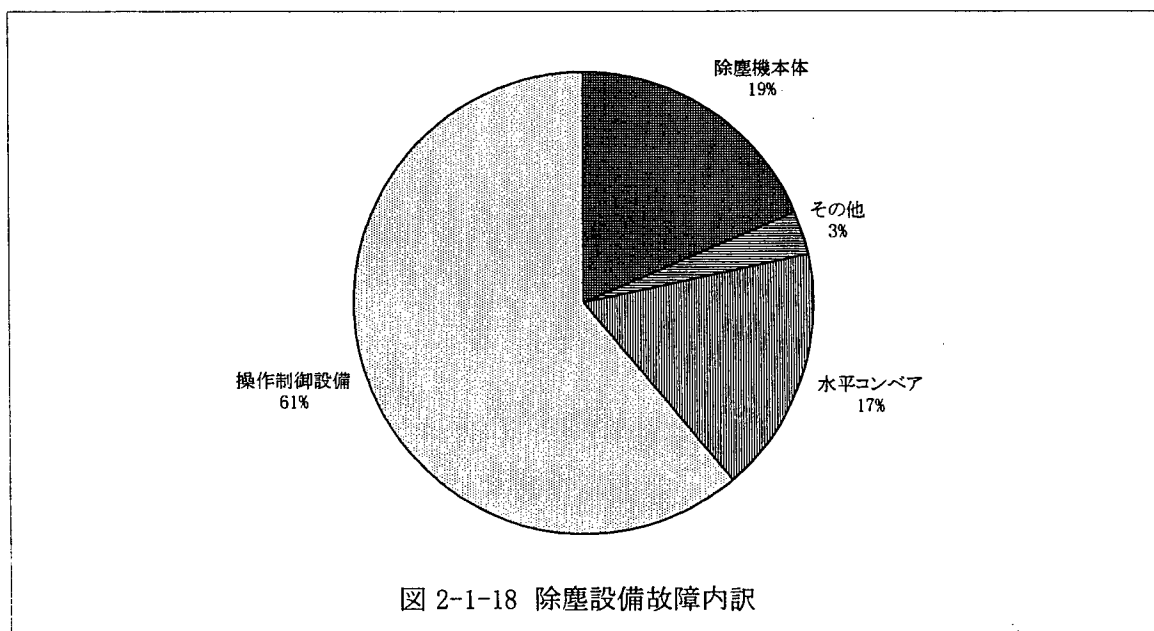
7) 補機設備故障内訳

補機設備の故障内訳を図 2-1-17 に示す。冷却水ポンプが 28%と最も多く、次いで弁類 24%、空気圧縮機 9%となっている。



8) 除塵設備故障内訳

除塵設備の故障内訳を図 2-1-18 に示す。除塵機本体は19%で、水平コンベア 17%と同程度である。リミットスイッチや配線用遮断器等の操作制御設備が 61%と大部分を占めている。



2.2 信頼性フィールドデータによる信頼性解析

2.2.1 故障率の算出

(1) 故障率の算出方法

1) 故障件数

故障の程度が 1 (致命的故障) 及び 2 (重大故障) であり、整備形態が、4 (関連部品の故障に伴い故障はしていないが交換が必要となった場合) 及び 5 (故障を伴わない定期的な交換) を除いたものをフィールドデータとした。この結果、総故障件数は 938 件である。

2) 排水ポンプ設備の各構成機器の故障率 λ_{in}

故障率 λ_{in} の算出については、基本的には供用時間当りの故障回数を求めるため、次のようにして求めた。

まず、各構成機器毎に調査期間中に 1 件以上の故障が報告されたものについては、

$$\begin{aligned}\lambda_{in} &= \frac{\text{調査期間中の当該構成機器の延故障回数 (台・回)}}{\text{調査期間中の当該構成機器の延供用時間 (台・hr)}} \\ &= \frac{\text{全機場における調査期間中の当該構成機器の故障件数 (台・回)}}{\sum \{ (\text{機器 } k \text{ の当該構成機器の数量}) \times (\text{機器 } k \text{ の調査日数}) \times 24 \} \text{ (台・hr) }}\end{aligned}$$

で示される λ_{in} を当該構成機器の故障率と定義して、各構成機器毎に算出した。

また、調査期間中 1 件も故障が報告されなかった構成機器については、上式に従えば $\lambda_{in} = 0$ と算出されるが、故障物理上、故障率 0 ということとはあり得ない。このような統計学上故障率が 0 と計算される場合は、真の故障率の 60%信頼率による推定区間の上端値に相当する値を採用する方式が提案されているため、本調査研究でもこの方式によることとした。(*) これによれば λ_{in} は、

$$\begin{aligned}\lambda_{in} &= \frac{1}{3} \times \frac{1}{\text{調査期間中の当該構成機器の延供用時間 (台・hr)}} \text{ (台・回)} \\ &= \frac{1}{3} \times \frac{1}{\sum \{ (\text{機器 } k \text{ の当該構成機器の数量}) \times (\text{機器 } k \text{ の調査日数}) \times 24 \} \text{ (台・hr)}} \text{ (台・回)}\end{aligned}$$

として与えられる。

*) 参考文献 ; Everett L.Welker, et al./

Estimating the Exponential Failure Rate from Data with No Failure Events

2.2.2 信頼性解析

(1) F T 図によるアンアベイラビリティ検討

機器の故障率は、前節までで述べた過去 9 年間（1989 年～1997 年）の故障調査で収集されたフィールドデータを基に算出するものである。

ここでは、算出された各機器の故障率を用いて、排水機場の信頼性を検討するものである。

1) F T 解析への故障率適用

ここでの FT 解析は、排水機場における排水機能の不確かさ（アンアベイラビリティ）を各機器の故障率を使って計算するものである。

FT 解析で注目するのは機能の喪失であるから、各機器の故障率を取り上げるだけでなく、複数の機器が複雑に関わりあうことの影響を含めて、排水機能の不確かさを考えなければならない。つまり、故障調査で分類した各機器毎の故障率に加えて、制御系も含め機能別に分類された FT 図に基づき FT 解析を実施する。

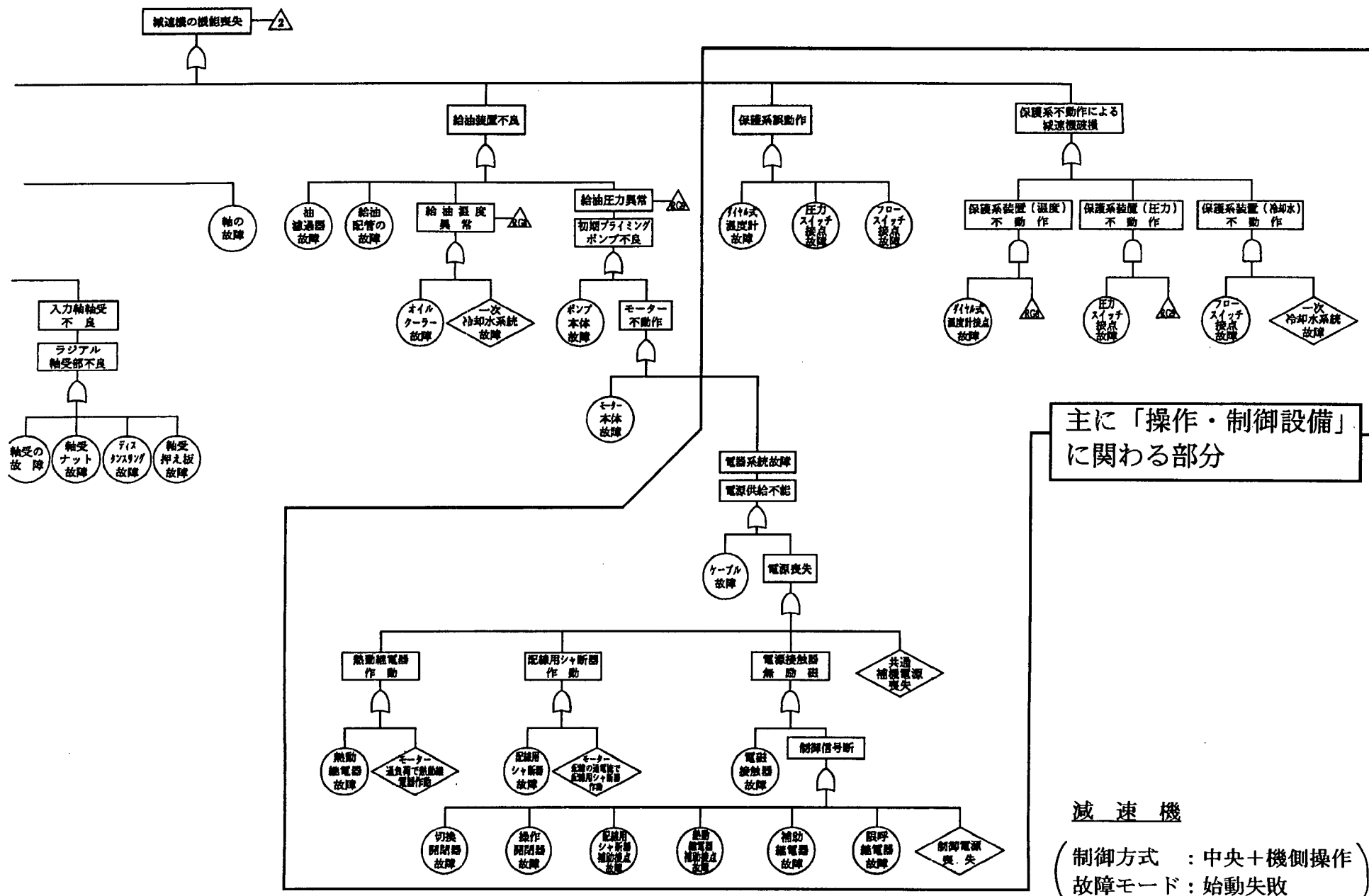
一見、故障調査の部品分類と FT 図中の部品分類には隔たりがあるように見える。しかしこれは、排水機場内の機器部品を機器毎に分類したものと、機能別に分類したものと違いであり、部品の分割レベルは同等である。従って前節までで算出された故障率を FT 解析に適用することができるのである。

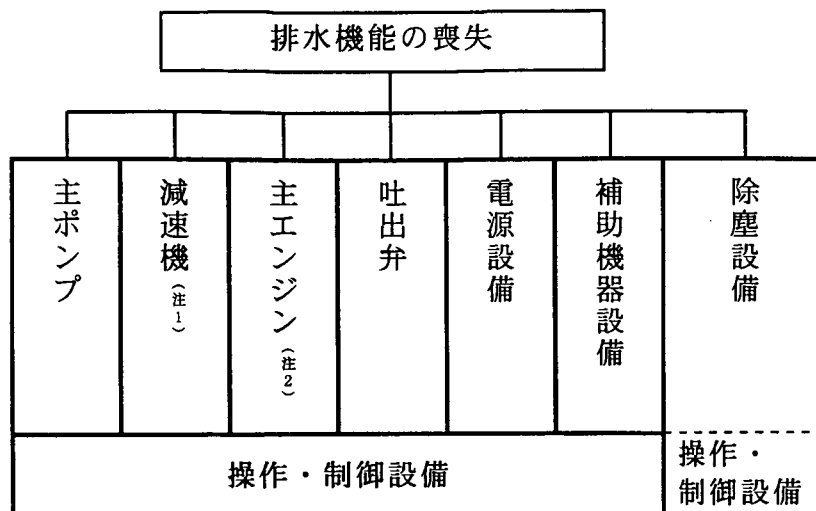
2) 具体例

減速機では機械部品で構成されているため、故障調査の機器分類はその範囲で分類している。しかし、排水機能喪失の原因としては、機械構成部品だけでなく操作・制御設備等も複雑に絡み合っている。そのため、FT 解析では「減速機」の機器・部品以外の「操作・制御設備」について故障率を参照し、解析を実施している。（図 2-2-1 参照）

この様に「操作・制御設備」については、「操作・制御設備」単独での FT 図は存在しないものの、他の機器で「操作・制御設備」故障時の影響を含んでいる。（図 2-2-2 参照）

図 2-2-1 FT 図具体例
2-14





は、故障調査での分類を示す

(注 1) 給油装置を含む

(注 2) 始動装置、燃料供給系、吸気配管系、冷却器系、潤滑油系の各機器を含む

図 2-2-2 FT 図の簡易構成図

(2) 解析条件の整理

1) 排水機場構成

信頼性解析を行う排水機場構成を、以下の2ケースとした。

ケース1 : ディーゼルエンジン駆動 + 二次冷却方式

ケース2 : ガスタービン直接駆動 + 空冷減速機

2) 操作方式

ポンプ設備の操作方式として、ケース1、ケース2共、中央+機側操作：中央盤だけでシステムの運転を試みたが、運転不能のときには現場の機側盤で運転を行う方式とした。

3) 信頼性評価尺度

各機器の不信頼性の評価尺度として、アンアベイラビリティを用いた。

また、排水ポンプ設備の定量的信頼性評価計算は、FTAの手法を用いて以下に示す条件の下で計算した。

①故障は機器のみに発生するものとし、運転員による操作ミスはないものとする。

②各機器の故障率は一定で、偶発故障のパターンに従うものとする。

(寿命の初期や末期特有の故障を含めると故障率が時間の関数になるなど、一般的でなくなる。)

③機器は待機中にも故障する。

④機器の故障は、点検によって全て検出することができ、故障していた機器は修理によって完全に修復されるものとする。

⑤起動に対する最小要素機器のアンアベイラビリティは、点検間隔での平均値として次式で与える。

$$\bar{a}_{ln} = \frac{1}{2} \lambda_{ln} \cdot T$$

$\bar{a}_{ln}$: 起動に対する機器のアンアベイラビリティ

λ_{ln} : 待機状態における機器の故障率

T : 点検間隔 (H r)

始動失敗に関する機器の故障率 λ_{ln} は、1989～1997に収集した調査データを用いた。

また寄与率は、システム全体の故障に対する各機器の影響度を示す尺度であり、次式で定義するアンアベイラビリティ寄与率を用いた。

$$\text{アンアベイラビリティ寄与率} = \frac{\text{当該サブシステムのアンアベイラビリティ}}{\text{システム全体のアンアベイラビリティ}} \times 100 (\%)$$

(3) 解析対象機場と構成機器の整理

解析対象とするポンプ設備として、全国的に見て多い形式・規模の設備を選んだ。
表 2-2-1 に対象とするポンプ設備の概要を記す。

1) ガスタービン駆動の場合

主原動機がディーゼルエンジンからガスタービンに代わることによって、補助機器設備が大幅に簡素化される。ガスタービン駆動の場合、上表のうち冷却水系統、空気系統（セルモータによる起動が可能となる）がなくなることで、設備全体の信頼性の向上につながる事が予想される。

表 2-2-1 解析対象とするポンプ設備の概要

構成機器			概略フロー図
ケース 1	主ポンプ	立軸斜流二床式	
	主原動機	ディーゼル機関	
		圧縮空気始動	
		水冷式	
	減速機	直交軸傘歯車	
		水冷式	
	吐出弁	電動蝶形弁	
	逆流防止弁	フラップ弁	
	井戸ポンプ	深井戸式 水中モータ	
	潤滑ポンプ	立軸渦巻	
ケース 2	二次冷却水ポンプ	立軸渦巻汚水	
	所内排水ポンプ	立軸渦巻汚水	
	燃料移送ポンプ	歯車形	
	自家発電機	ディーゼル機関駆動 水冷式	
	主ポンプ	立軸斜流二床式	
	主原動機	二軸式 ガスタービン	
	減速機	直交軸傘歯車 空冷式	
	吐出弁	電動蝶形弁	
	逆流防止弁	フラップ弁	ケース 1 : ディーゼルエンジン駆動＋二次冷却方式
	燃料移送ポンプ	歯車形	
	自家発電機	ディーゼル機関駆動	
	主ポンプ	立軸斜流二床式	
	主原動機	二軸式 ガスタービン	ケース 2 : ガスタービン駆動＋空冷減速機
	減速機	直交軸傘歯車 空冷式	
	吐出弁	電動蝶形弁	
	逆流防止弁	フラップ弁	

(4) 解析結果

ポンプ起動に対する各機器のアンアベイラビリティとその寄与率でシステム全体の信頼性を評価する。従来機場と無水化機場における解析結果の比較を表 2-2-12 に示す。

表 2-2-2 排水ポンプ設備のアンアベイラビリティと寄与率
(点検間隔 30 日の場合)

機器名称	ディーゼルエンジン駆動		ガスタービン駆動	
	アンアベイラビリティ	寄 与 率	アンアベイラビリティ	寄 与 率
主ポンプ	0.224×10^{-3}	2.6 %	0.224×10^{-3}	5.2 %
減速機	0.156×10^{-3}	1.8 %	0.156×10^{-3}	3.6 %
ディーゼルエンジン	4.086×10^{-3}	46.9 %	-----	-----
ガスタービン	-----	-----	1.630×10^{-3}	37.7 %
吐出弁	0.070×10^{-3}	0.8 %	0.070×10^{-3}	1.6 %
電気設備	0.382×10^{-3}	4.4 %	0.382×10^{-3}	8.8 %
補助機器設備	3.020×10^{-3}	34.7 %	1.098×10^{-3}	25.4 %
除塵設備	0.764×10^{-3}	8.8 %	0.764×10^{-3}	17.7 %
システム全体	8.702×10^{-3}	100.0 %	4.324×10^{-3}	100.0 %
故障発生頻度	115 回の起動に 1 回		231 回の起動に 1 回	

ディーゼルエンジン駆動の寄与率では、主原動機と補助機器設備が大部分を占めている。一方、ガスタービン駆動では主原動機自体のアンアベイラビリティが下がっているだけでなく、冷却水系統・空気系統を無くしてシステムが簡素化されたことで、補助機器設備のアンアベイラビリティは低減されている。この結果システム全体のアンアベイラビリティも、ディーゼルエンジン駆動と比べ下がり、信頼性が向上している。各駆動方式の機器別寄与率を図 2-2-3、2-2-4 に示す。

また、前回調査ではデータブック参照等による故障率を用いていたこと、故障の定義が異なること等の理由により、前回調査結果との比較は行わなかった。

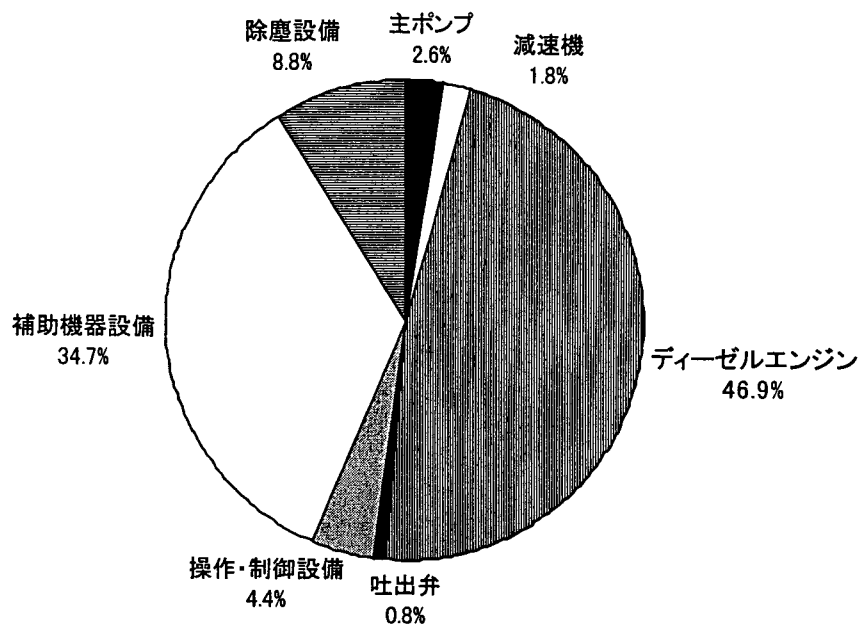


図 2-2-3 機器別寄与率(ディーゼルエンジン駆動)

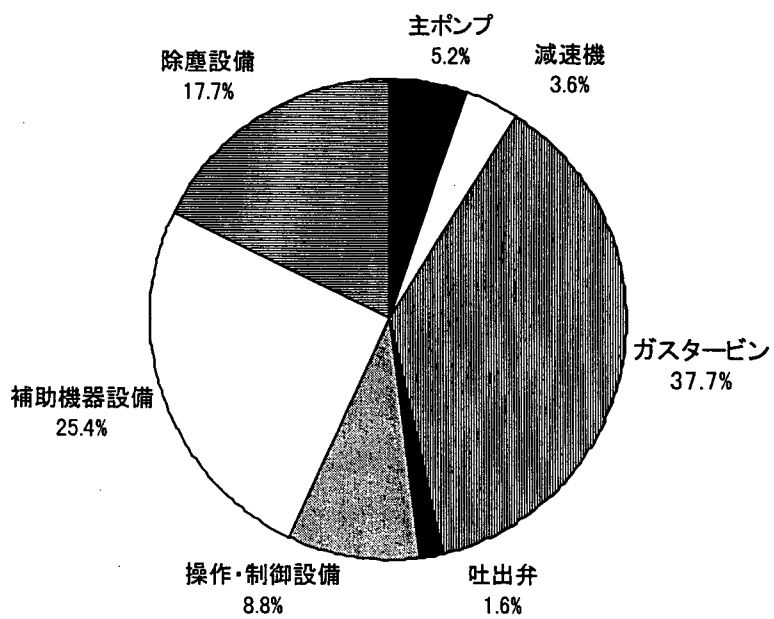


図 2-2-4 機器別寄与率(ガスタービン駆動)

3. 集中管理システムの信頼性評価

3.1 集中管理システムの信頼性データの収集

3.1.1 基礎調査

集中管理システム構成機器の信頼性データ（故障率）を定量化するに当たり、利用できる既存の故障データ、信頼性データの有無を、政府機関、学会関係、民間企業等を対象に調査した。

調査結果は、以下のとおりであった。

- 1) 集中管理システムに関する信頼性データ・故障データは無い。
- 2) 電子部品レベル（素子等）のデータは有るが、機器・装置レベルのものは無い。
- 3) 類似データは有るが、一般には非公開である。

このことから各種機関、団体等のデータから集中管理システムに関する故障率等の定量化を行うことは困難であると判断し、独自の調査により算出することとした。

3.1.2 平均故障間隔（MTBF）データの収集

機器の信頼性データは、平均故障間隔（MTBF）で公表されることが多く、また故障率はMTBFの逆数として求められるため、以下の3通りの方法によりMTBFの調査を行った。

1) 既存集中管理システムの故障実績（フィールドデータ）調査

既納入の集中管理システム、運転支援システム、遠方監視操作制御システム等の使用機器のフィールドにおける故障のデータを収集した。

2) 日本国内電機メーカーに対する調査

モデルシステムのFT図に示された機器単位の仕様書を提示し、その機器毎にMTBF値の算出を依頼し、収集した。

3) 国内外機器メーカーのカatalog記載のMTBF値を調査。

インターネット上でMTBFと機器名をキーワードとし、海外、国内メーカーのカatalogを入手し、カatalog記載のMTBF値を抽出した。

3.1.2.1 既存集中管理システムの故障実績（フィールドデータ）調査

(1) 調査方法

以下の調査方法により調査を行った。

1) 調査対象

以下のシステムのうち、データの入手が可能なもの。

- ・対象施設 : 建設省・農林省・自治体管轄の揚排水機場、ポンプ場、上下水道プラント等
- ・対象システム : 運転支援システム、集中管理システム、遠方監視操作制御システム等

2) 調査項目

- ・システム概要 : プラント名、システム名、構成機器リスト、据付年度、機器数
- ・機器別故障情報 : 故障機器、故障または更新発生年度、故障内容または更新理由、処置(修理/交換)

3) 調査方針

① 全体方針

- ・システムの稼働時間は、常用/非常用の区別はせず、設置後常時通電状態とみなして算出する。（但し、データの不明期間は明確にし、稼働時間から除く。）
- ・機能低下に伴う交換は、故障には含まないものとする。

② 機器個別方針

- ・DCS、シーケンサは、カード単位で調査を行う。
- ・DCS、シーケンサは、運転支援システムや集中管理システムとして納入されたもののみ対象とし、制御用に納入されたものは本調査からは除く。
- ・ケーブルは、盤間や機器間を結ぶもののみ調査する。
- ・冷却ファンは、監視操作卓や盤に設置されているものを対象とし、パソコンに付属しているものは対象外とする。

4) 調査フォーマット

以下の2種類の様式とした。

- ・様式1 : システム構成

新設時のシステム構成を構成機器単位で記入。

- ・様式2 : 修繕・更新・設備追加履歴

様式1の機器単位で、1件ずつ記入。

(2) データ処理方法

1) 機器種類別に総稼働期間と故障件数を集計し、平均故障率、MTBFを算出した。

$$\cdot \text{平均故障率} = \text{故障件数} / \text{総稼働時間} \quad [1/h]$$

$$\cdot \text{MTBF} = \text{総稼働時間} / \text{故障件数} \quad [h] \quad (= 1/\text{平均故障率})$$

但し、ここではシステムの構成機器を一般の電気品と同様に故障発生時期が指数分布となるランダム故障と仮定し、MTBFを平均故障率の逆数として算出している。

故障0件の機器については、平成元年度土木研究所資料^{*1}の考え方に従い、次式にて算出した。これは、真の故障率の60%信頼度推定区間の上端値に相当する値を採用する

方式である。

$$\cdot \text{故障0件の平均故障率} = (1/3) / \text{総稼働時間} \quad [1/h]$$

$$\cdot \text{故障0件のMTBF} = 3 \times \text{総稼働時間} \quad [h] \quad (= 1/\text{平均故障率})$$

また、出水期のみ通電する以下の機器については、MTBF算出時の総稼働時間を暦時間の1/2とした。

対象機器：計算機システム(但し、ミニコン・EWSは除く)

その他に属する各機器(但し、卓または盤は除く)

(3) 調査結果

・対象システム数 : 44 システム (内訳を表 3-1-1 に示す。)

・調査期間 : 1988 年～1997 年の 10 年間

・対象機器数 : 31 種類 / 全 3543 点

・総故障件数 : 79 件

(故障した機器：18 種類、故障しなかった機器：13 種類)

*1 故障0件の機器の平均故障率算出についての参考文献

・“機械設備の信頼性評価に関する調査研究”

建設省土木研究所機械研究室, H2 年 3 月

・“Estimating the Exponential Failure Rate from Data with No Failure Events” Everett L. Welker, et al.

表 3-1-1 調査対象システムの分類

(1) 納入先別内訳

納 入 先 分 類	件 数	備 考
建設省	28 件	
自治体	13 件	
水資源開発公団	2 件	
その他	1 件	空港公団
計	44 件	

(2) システム別内訳

シ ス テ ム 分 類	件 数	備 考
運転支援システム	27 件	
集中管理システム	9 件	
遠方監視操作制御システム	7 件	
その他	1 件	データロガー
計	44 件	

(3) 用途別内訳

用 途 分 類	件 数	備 考
雨水排水	31 件	
揚水/雨水排水兼用	4 件	
監視親局	3 件	出張所、役場等
揚水	2 件	農業用水
取水	1 件	
その他	3 件	廃水処理、汚水中継
計	44 件	

3.1.2.2 日本国内電機メーカーに対する調査

(1) 調査方法

1) 調査対象

調査を依頼した国内電機メーカー 5 社のデータを採用した。

2) 調査項目

集中管理システムモデルの機器・仕様に相当する各社製品の信頼性データ、MTBF。

3) 調査方針

解析対象システムの構成機器と同等の機器についてのMTBFの提出を依頼した。

(2) 調査結果

MTBF 値の算出方法については各メーカー独自の手法を用いているため、数値の大小の差が見られ、特に、下記に示すように理論値と実績値のどちらを基本に算出するかで大きく異なる結果となった。（一般に理論値は実績値に比べかなり小さい値となる）

各メーカーの算出方法の例を下記に示す。

- ・ MIL 規格等に基づいて算出した理論値を基に、過去の納入事例の実績値を加味させて調整。
- ・ DUMMER の故障率^{*1}を用い、それにはないものは MIL 規格を用いて構成要素を積み上げて算出（理論値）。
- ・ 社内、海外などで報告されたデータにそれぞれの環境条件を考慮して決定。
- ・ 市場実績値
など

* 1 : DUMMER (ダンマ) の故障率

DUMMER 氏（英国王立レーダ研究所）によって提唱された電子部品（トランジスタ等）の故障率。

3.1.2.3 国内外メーカーのカatalog記載のMTBF調査

(1) 調査方法

構成機器毎にメーカーカatalogからMTBFを調査した。方法は、インターネット上で各機器の名称、およびMTBFあるいはMTTR（平均修復時間）をキーワードとして各社のスペックシートを検索して行った。

検索キーワードとした機器名は以下の通りである。

- ・コンピュータ（ワークステーション、FAパソコン、OAパソコン）
- ・冷却ファン
- ・プリンター（レーザプリンタ）
- ・CRT
- ・電源装置（DC POWER）
- ・ハードコピー装置
- ・CCTV（ITV）
- ・モデム
- ・HDD（HARD DISK）
- ・ネットワーク機器（イーサネット機器等）
- ・無停電電源装置（UPS）
- ・シーケンサ（高機能型、DCS含）
- ・プロジェクタ（背面投影型）
- ・光通信機器

(2) 調査結果

調査対象メーカーは国内外としたが、国内メーカーのデータは著しく少なく、収集されたのは大部分が国外メーカーのデータとなった。別の見方をすれば、この調査で得られたMTBFは、世界的な技術のレベルを示すものであるといえる。

各社カatalogシート上のMTBF（あるいはMTTR）は、実績値、設計値、保証値、期待値等各種あると考えられる為、その区別ができないため同じベースの情報として取り扱うものとし、平均値をメーカーカatalogのMTBFとした。

ただし、今回の集中管理システムモデルの機器仕様と、調査した機器仕様は完全には一致していないため、このカatalog調査のMTBFの使用はあまり好ましくない。

3.1.3 故障率の算出

フィールドデータの調査、電機メーカーへの調査、及びインターネットによるメーカーカタログ調査の3通りの調査によるMTBFの値は、かなりの違いが見られる。

この違いは次の要因によるものと考えられる。

1) メーカーカタログ調査

メーカーの公表する数値は、保証値とするか期待値とするかによって大きな違いがでると考えられる。公表されたMTBFの数値が小さいのは、メーカー側が製品のバラツキや保証等の要因を考慮し、安全サイドに設定しているためと思われる。

2) 電機メーカー調査

各社の回答値には大きな差があり、数値の根拠を確認したところ以下の回答を得た。

① MTBFの小さなメーカーの回答

MIL規格等に基づいて算出した理論値である。

② MTBFの大きなメーカーの回答

MIL規格等に基づいて算出した理論値に、過去に納入した類似設備のフィールドデータを加味したものである。

理論値は実績値に比べ小さな値になる。

3) フィールドデータ

主に揚・排水機場を対象にした実績値であり、自社のフィールドデータを加味して回答してきた電機メーカーのMTBFと近似するものが多い。

また、フィールドデータの稼働時間は最少の機器でも5年（4万時間）以上であり、機器の信頼性を評価する上で十分な時間を経過しているものであると考えられる。

以上からMTBF・故障率の算定には、フィールドデータが適当であると判断した。

ただしフィールドデータにないものについては、電機メーカーあるいはカタログ調査結果の大きい方のMTBF値を採用するものとした。

なおフィールドデータには、設置機器数・故障件数が少ない機器もあることから、今後もデータを蓄積しMTBF・故障率の精度を高めていく必要があると考える。

3.2 集中管理システムモデルの信頼性評価

集中管理システムの信頼性評価を行うモデルを構築するに当たり、集中管理システムとして実稼働している荒川第一調節池管理設備を参考にした。荒川第一調節池管理設備は、調節池内の 2 カ所のポンプ場と 3 カ所のゲートを光ネットワークを介して管理所より遠方集中管理するものであるが、モデルでは、管理所から排水機場 1 カ所と河川ゲート 1 カ所を集中管理するものとした。なお、機器構成及び機能は荒川第一調節池管理システムと同一と考えた。

3.2.1 モデルのシステム概要

F T 解析モデルのシステム概要を下記に示す。

(1) 主要施設

親局：管理所 1 ケ所

子局：排水機場 1 ケ所、河川ゲート 1 ケ所

施設概要を図 3-2-1 に示す。

(2) 操作方式

管理所からの遠方手動操作、遠方個別自動制御及び遠方総合自動制御。

(3) システム構成

システム構成を図 3-2-2 に示す。

(4) 伝送路

光ケーブルの二重化ループ構成。

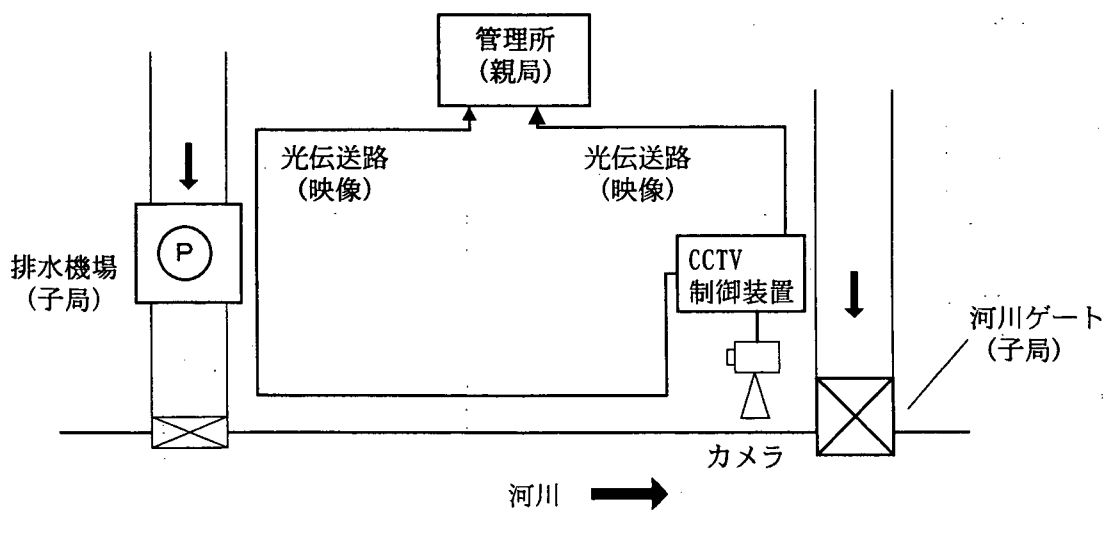


図 3-2-1 F T 解析モデルの施設概要

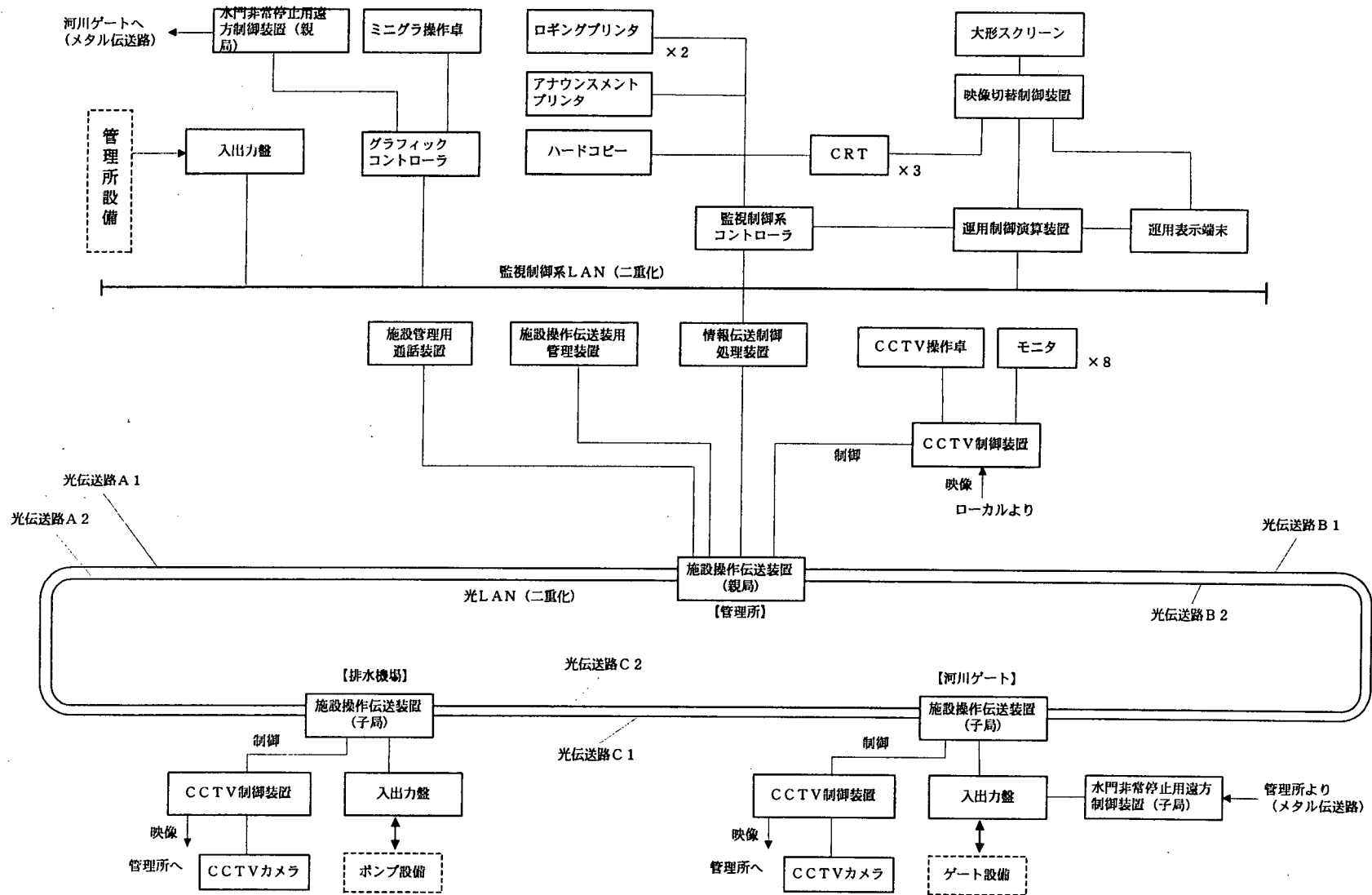


図 3-2-2 集中管理システムの信頼性解析モデルのシステム構成図

3.2.3 アンアベイラビリティ／寄与率の計算

モデルについて、前節で調査・決定した平均故障率データを用いて、アンアベイラビリティ及び個々の機器の寄与率の解析を行った。

(1) 解析方法

集中管理システムモデルのF T図を作成し、このF T図に対して、個々の構成機器別にアンアベイラビリティ(=平均故障率[1/h]×修理時間[h])を算出し、F T図のAND/OR条件に従って、サブシステム、全体システムのアンアベイラビリティを算出した。

さらに、各構成機器のアンアベイラビリティが、全体システムのアンアベイラビリティに寄与する割合を寄与率として算出した。

アンアベイラビリティと寄与率の計算方法を図 3-2-3 に示す。

なお、各機器の故障率は、前節で調査した結果を使用しているが、調査対象外とした受配電設備の機器故障率については、平成元年度土木研究所資料(調査資料集)のデータを引用した。

(2) 解析結果

本解析により、モデルシステムについての全体のアンアベイラビリティと、各構成機器の寄与率が得られた。

モデルシステム全体のアンアベイラビリティ： 1.95×10^{-3}

表 3-2-1 に寄与率の大きい機器について、寄与率と故障等級の一覧をまとめた。

故障等級Ⅰの機器では、カード枚数の多いAⅠ、DⅠ等の入力部、また故障等級Ⅱの機器では、画像伝送装置、F Aパソコン、E W S等で構成される制御部の寄与率が高いことがわかる。

故障等級Ⅰの機器が入力部以外に上位に現れていない理由は、対象モデルシステムにおいては、既に重要機器の二重化等の信頼性向上策が実施されているためと考えられる。

(アンアベイラビリティ及び寄与率の計算方法)

① アンアベイラビリティ

システムのアンアベイラビリティは、そのFT図の基本事象のアンアベイラビリティから出発して逐次上位事象のアンアベイラビリティに至るまで、次式を用いてボトムアップ的に算出する。

・ORゲート $P = P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n$

・ANDゲート $P = P_1 \times P_2 \times P_3 \times \dots \times P_n$

P_i : 機器 i のアンアベイラビリティ

② 寄与率

機器の寄与率 (I) の計算は、以下の式を用いる。

$I_i = Q_i / P_s$

P_s : サブシステムのアンアベイラビリティ

Q_i : 機器 i のアンアベイラビリティ

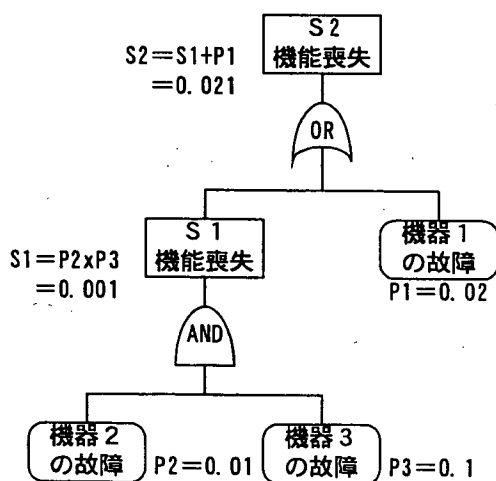
また、FT図上では、次式のように与えられる。

$I_A = P_A / P_s$

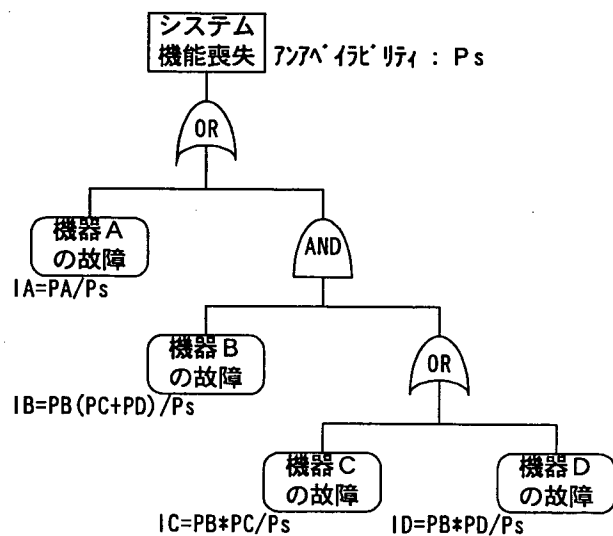
$I_B = (P_B(P_C + P_D)) / P_s$

$I_C = P_B P_C / P_s$

$I_D = P_B P_D / P_s$



① アンアベイラビリティ計算例



② 寄与率の計算例

図 3-2-3 アンアベイラビリティ及び寄与率の計算方法
(平成元年度土木研究所資料(調査資料集)より)

表 3-2-1 モデルシステムにおいて寄与率の高い機器

順位	機器名	寄与率	累積寄与率	故障等級	備考
1	A I カード 機場子局/伝送設備/入出力盤/A I 入力部	18.4 %	18.4 %	I	50 枚 OR
2	画像伝送装置 親局/C C T V 設備/C C T V 制御装置	11.8 %	*53.8 %	II	
2	画像伝送装置 機場子局/C C T V 設備/C C T V 制御装置	11.8 %		II	
2	画像伝送装置 ゲート子局/C C T V 設備/C C T V 制御装置	11.8 %		II	
5	F A パソコン 親局/伝送設備/施設操作伝送装置用管理装置	9.1 %	*72.0 %	II	
5	F A パソコン 親局/C C T V 設備/C C T V 操作卓/制御部	9.1 %		II	
7	ミニコン・EWS 親局/運用監視制御設備/運用制御演算装置/C P U	4.4 %	76.4 %	II	
8	A I カード ゲート子局/伝送設備/入出力盤/A I 入力部	3.7 %	80.1 %	I	10 枚 OR
9	C R T 親局/監視制御系統/C R T 系統/C R T	3.3 %	83.4 %	II	3 台 OR
10	A I カード 親局/運用監視制御設備/入出力盤/A I 入力部	2.9 %	86.3 %	II	8 枚 OR
11	ミニコン・EWS 親局/運用監視制御設備/運用表示端末	2.7 %	89.0 %	II	
12	D I カード 機場子局/伝送設備/入出力盤/D I 入力部	2.1 %	91.1 %	I	
13	U P S 親局/電源設備/無停電電源装置	1.3 %	*95.0 %	I	
13	U P S 機場子局/電源設備/無停電電源装置	1.3 %		I	
13	U P S ゲート子局/電源設備/無停電電源装置	1.3 %		I	

(* : 同一順位の他の機器を含めて、その順位までの総和を累積寄与率として示す)

4. 今後の信頼性フィールド調査について

4.1. 故障の調査

(1) 機械設備について

「信頼性向上に関する調査」（以下信頼性調査という）は、排水ポンプ設備の信頼性評価及び保全計画立案等の基礎資料を得ることを目的として、以下の方法により 1989～1997 年までの 9 年間に渡り実施された。

- 1) 各地方建設局、北海道開発局、および沖縄総合事務局が管理している排水ポンプ設備を対象とする。
- 2) 調査は毎年実施する。
- 3) 調査表記入者は設備管理者とする。
- 4) 機場を新設した場合及び既設備において設備の増設、取り壊し、更新等があった場合、設備概要調査表を作成する。
- 5) 4)において補助継電器盤、機側盤等の電気設備は調査対象としない。
- 6) 機場を新設した場合及び既設備において設備の増設、取り壊し、更新等があった場合、機器数量調査表を作成する。
- 7) 故障または定期的な部品等の交換をした場合、故障データ調査表を作成する。
- 8) 7)において対象設備は、主ポンプ設備、除塵設備の 2 種類に分類され、操作制御設備は各々に含まれる。
- 9) 7)において整備形態としては、予防保全および事後保全共に対象とする。
- 10) 7)において故障程度は、重故障、軽故障で分けせず、設備の状態に応じて「致命的故障」、「重大故障」、「軽微な故障」の 3 段階に区分けする。

(2) 集中管理システム

集中管理システムに関する故障率の算出に当たり、以下の 3 通りの方法により M T B F の調査を行った。

- 1) 既存集中管理システムの故障実績（フィールドデータ）調査
- 2) 日本国内電機メーカーに対する調査
- 3) 国内外機器メーカーのカatalog記載の M T B F 値を調査

調査の結果、M T B F ・故障率の算定には、フィールドデータが適当であると判断した。ただしフィールドデータに無いものについては、電機メーカーあるいはカatalog調査結果の大きい方の M T B F 値を採用する。

4.2 故障事例の再整理

1990年3月に提出された「機械設備の信頼性評価に関する調査資料集 平成2年3月（土木研究所資料 No. 20、部内資料第56号）」の資料-3 機器に係わるフィールドデータ〔機器の故障率〕に対して、1989～1997年にかけて実施した調査結果を反映し、以下の点について見直しを行った。

1) F T解析への故障率適用

F T解析は、排水機場における排水機能の不確かさ（アンアベイラビリティ）を各機器の故障率を使って計算するものである。

F T解析で注目するのは機能の喪失であるから、各機器の故障率を取り上げるだけでなく、複数の機器が複雑に関わりあうことの影響を含めて、排水機能の不確かさを考えなければならない。つまり、故障調査で分類した各機器毎の故障率に加えて、制御系も含め機能別に分類されたF T図に基づきF T解析を実施する必要がある。

一見すると、故障調査の部品分類とF T図中の部品分類には隔たりがあるように見えるが、これは排水機場内の機器部品を機器毎に分類したものと、機能別に分類したものとの違いであり、部品の分割レベルは同等である。

従って、算出された故障率をF T解析に適用することができる。

具体例として、減速機では機械部品で構成されているため、故障調査の分類は減速機の機械構成部品の範囲で分類している。しかし、排水機能喪失の原因としては、機械構成部品だけでなく操作・制御設備等も複雑に絡み合っている。そのため、F T解析では「減速機」の機器・部品以外の「操作・制御設備」についても故障率を参照し、解析を実施している。

この様に「操作・制御設備」については、「操作・制御設備」単独でのF T図は存在しないものの、他の機器で「操作・制御設備」故障時の影響を含んでいる。

4.3 問題点の抽出

信頼性調査を調査の効率化、収集データの精度向上、更新時期判定への利用、及び調査目的である故障率算出の観点から見た場合、以下の問題点があると考えられる。

(1) 設備概要調査票

電気設備を対象としていない。

(2) 設備機器数量調査票

- 1) 制御用計算機、P C (プログラマブル コントローラ)、C C T V等の新技術に対応していない
- 2) 機場を新設した場合及び既設備において設備の増設、取り壊し、更新等があった場合のみ機器数量調査表を作成するため、機器数量が不明確である。

(3) 故障データ調査票

- 1) 制御用計算機、P C (プログラマブル コントローラ)、C C T V等の新技術に対応していない
- 2) 対象設備の分類区分のレベルが統一されていない。
- 3) 操作制御設備が主ポンプ設備、除塵設備に重複している。
- 4) 構成機器N o. が通しで付けられているため、機器の追加等をした場合、他の機器N o. の変更が必要となる。
- 5) 主ポンプ軸封装置、冷却水配管等の機器コードのない部品がある。
- 6) 故障原因、故障モード、使用年月等の故障率算出に活用されていないデータがある。
- 7) 故障分類分けのレベルの認識を統一する必要がある。
- 8) 集中管理システムのF T図のトップ事象が「主ポンプの揚水不能」ではなく、「集中管理システムの機能喪失」であり、調査の時に注意が必要である。

(4) L C C (ライフ サイクル コスト)の観点

整備、更新費用等を考慮していない。

4.4 今後の調査方法に関する提案

信頼性調査では、設備の信頼性評価及び保全計画立案等の基礎資料を得るため、1989年より継続して排水ポンプ設備のフィールドデータを収集してきたが、4.1.2に示したように幾つかの問題点がある。一方、1996～1997年度に建設省技術研究発表会（機械設備のライフサイクルマネジメントに関する研究）では、機械設備LCC評価のための基礎データの必要性を提案した。

以上を踏まえ、今後の調査方法に関する提案を表4-4-1に示す。

- 案1 新技術への対応、故障率データの精度向上等を目的に、現状の調査を継続するもので、故障率データの精度向上が図れるが、LCCと調和の取れた調査方法ではない等の問題点がある。
- 案2 新技術への対応、故障率データの精度向上等を目的に、LCC調査の一環で信頼性データを収集するもので、効率的な調査が可能であり、また供用期間の違いによる故障率の傾向が把握できる。
- 案3 信頼性フィールドデータ調査で対応していない機器に関して現状の調査を継続するもので、信頼性データの補完を図れるが、旧データと新データとの比較に問題が出る可能性がある。
- 案4 現状の調査を休止するもので、調査に要する負担がなくなるが、新技術に対応した機器の故障率が評価できない。

以上の提案を調査効率、故障率データの精度向上、新技術への対応および更新時期の判定の観点から評価すると、案2が適当であると思われる。

具体的には、四国地方建設局と北陸地方建設局が提案したLCC調査表をベースに、信頼性データ収集が統合して行えるように変更を行う。変更した調査様式を表4-4-2に示す。

但し、案2に基づく調査においては、以下のことについて注意する必要がある。

- 1) 予備品との交換等、費用が発生しない場合も調査表の記入が必要である。
- 2) 機器の追加、変更がともなう時、機器数量等のデータ収集が必要である。

表 4-4-1 今後の調査方法に関する提案

	案 1	案 2	案 3	案 4
概要	現状調査の継続	LCC調査と統合	現状調査の簡易	調査休止
労力	大	中	小	ナシ
収集目的	● 新技術に関する収集（G/T・管内クーラ） ● フィールドデータの欠けている分を補充 ● 故障率のデータの精度向上	同左	● 過去の信頼性フィールドデータ調査で対応していない機器についてのみデータを収集する。	● 収集目的は達成された ● 9年間の調査で故障件数がない機器があるが、故障率で考えればシステムのアンアベイラビリティに大きな影響を与えない。
収集データ	● 全機場、今後とも同じデータ	● LCC調査の一環で信頼性データ収集	● 限られた機場でデータ収集（新技術適応機場、今後の更新機場） ● 限られた機器	—
メリット	● 故障率データの精度向上	● LCC調査の一環で行うことができ、効率的な調査が可能。 ● 供用期間の違いによる故障率の傾向が把握できる。	● 信頼性データの補充 ● 調査に要する負担が軽減される。	● 調査に要する負担がなくなる。
デメリット	● 今後も続けるには負担が大きい ● LCCと調和の取れた調査方法ではない	● LCCの調査項目が若干増える。	● 旧データと新データとの比較に問題が出る可能性がある	● 新技術に対応した機器の故障率が評価できない。
評価	△	◎	○	○

表 4-4-2 調査様式

年 度	区 分									内 容	内 訳			費 用	更新の理由、他
	LCC					信頼性					システム	機 器	部 品	(千円)	
	維持修繕		更新		設備追加	故障時データ									
	定期	事後	定期	事後		発見時の 状態	設備形態	故障程度	設備供用 時間						

5. まとめ

本調査・研究は、河川管理施設の機械設備の信頼性向上と維持管理の合理化を目的として、信頼性工学に基づく、機械設備の信頼性データの収集と定量的評価を行ったものであり、排水ポンプ設備と集中管理システムを対象に実施した。その結果を以下にまとめる。

(1) 排水ポンプ設備の信頼性フィールドデータ調査結果

建設省各地方建設局、北海道開発局及び沖縄総合事務局が管理する河川用排水ポンプ設備 252 機場について、1989 年から 1997 年までの 9 年間を調査対象期間として、信頼性データの調査を行った。これらの調査結果に基づき、排水ポンプ設備のアンアベイラビリティと寄与率を試算した。その結果、ディーゼルエンジン駆動の寄与率では、主原動機と補助機器設備が大部分を占めていることが示された。また、ガスタービン駆動においても、主原動機と補助機器設備の寄与率は大きいものの、ディーゼルエンジン駆動に比べて、主原動機自体のアンアベイラビリティが低いことや、冷却水系統・空気系統をなくしてシステムが簡素化されたことで補助機器設備のアンアベイラビリティも低減されていることが示された。その結果、ガスタービン駆動は、ディーゼルエンジン駆動に比べて、システム全体のアンアベイラビリティが約 1/2 に低減されており、信頼性が向上していることが示された。

(2) 集中管理システムの信頼性評価の基礎的資料収集結果

集中管理システムの信頼性評価の基礎資料を作成することを目的として、実設備を利用し、集中管理システムのモデルシステムを設定し構成機器を抽出した。さらに、各構成機器のMTBFを、既存設備の故障実績調査、国内電機メーカーへのアンケートによるMTBF調査、国内外機器メーカーのカatalog記載MTBF値などから調査した。さらに、モデルシステムのアンアベイラビリティを計算した。その結果、モデルシステムの場合、重要機器の二重化対策が行われていることから、入力部が弱点であるとの結論になった。

6. おわりに

本調査・研究は、1984 年度から 1987 年度にわたって行われた「機械設備の信頼性評価に関する調査研究」の後を受け、河川管理施設の機械設備である排水ポンプ設備と集中管理設備に関する信頼性データ収集、と信頼性計算・評価を行ったものである。

機械設備は様々な機器によってシステムが構成されており、信頼性評価を行うためには、フィールドデータの収集等による機械設備毎の長期にわたる地道な作業が必要である。

本調査・研究においては、排水ポンプ設備と集中管理システムを対象に実施したが、これらについてさらにフィールドデータの収集を行いつつ、今後、他の機械設備についても調査を行い、各機械設備の信頼性向上のために研究・開発を行う必要がある。

最後に、本調査を行うにあたり、建設省各地方建設局、北海道開発局、沖縄総合事務局をはじめ、多数の関連機関の方々にご協力をいただいた。関係各位に厚く感謝の意を表します。