

# 排水機場の操作制御方法標準化に関する調査

## 1. 調査目的

排水機場は、河川の内水氾濫による被害軽減を目的として整備される施設である。これは、内水を排水するポンプとこの動力源である原動機、これらの異なる回転速度を調整する減速機が作動することで排水機場の目的を達成する。これが連続的に長時間作動し続けられるためには、自家発電設備、各種系統機器設備、除塵設備など付帯的な機器の一体的な運転は不可欠である。

排水機場を構成するこれら機器を、操作員の負担を大幅に軽減しつつ一体的に作動させ、また重大故障の回避も担っているのが監視操作制御設備である。これは、操作員と各機器との間に入るマン・マシンインターフェースにあたるため、操作員の作業を効率化しつつ精神的ストレスを抑えられる機能と性能が重要である。しかし、これを追求すると、監視操作制御設備は高機能・高価格になるとされる。また、これが故障した場合には、操作員の負担が一気に増大し対応が困難となることの懸念がある。

現在、各排水機場の監視操作制御設備に同じものは存在していない。技術基準に一般的な考え方は示されているが、設計を統一化する具体的な記述はされていない。これは、技術の進歩や施設毎の特性などを適切に設計へ反映できるための配慮と思われ、長年施設毎の部分最適により設計施工されてきたことから、この結果になったものと考えられる。

現代の操作員や点検技術者、施設管理担当者は、業務の効率化から複数の施設を担当している場合が多い。このため、運転や維持管理における人のミスが懸念される。

この問題の解決方法は、監視操作制御設備を統一的なものへ変更することである。今後、機器の劣化や機能的陳腐化などに対する計画的な更新は必須であることから、このタイミングが問題解消に最適である。この時、施設毎の違いを解消する方法と、更新予算の低減が必要であるが、現在これらの対策はない。

本課題は、排水機場における延命・維持管理コストの縮減、維持管理に関わる人材の確保・育成、信頼性の確保と危機管理の向上を目的として、監視操作制御設備の更新に適用する標準的な操作制御方法について調査するものである。

## 2. 調査概要

本課題の初年度となった令和元年度は、操作制御方法の標準化へ効率的に取り組むため、既設排水ポンプ設備の実態を把握し、この結果から標準化を図る範囲を明確にするため7つの類型を設定、このうち排水ポンプ台数が最多となる類型について、標準設計（原案）を作成した。

また、操作制御と一体的に設計される監視において効率的な運転と効果的な点検を実現するため、自動モニタリング技術の調査も併せて実施した。

## 2. 1 操作制御方法標準化の方針整理

操作制御方法標準化の基礎資料として、関東地方整備局が管理している排水機場37施設のポンプ設備（主ポンプ104台）を対象に、操作制御方法の標準化に必要な内容の実態調査を行った。

操作制御方法の標準化の進め方は、対象施設を類型に分けこれに対応する標準設計を検討するものとした。また、標準設計の数を可能な限り少なく、標準設計に対応可能な施設数は可能な限り多くすることで、操作制御方法の標準化による効果を高めることとした。

その実現に向け、各施設の詳しい機器構成、監視操作方法及び制御回路や設置年数を一覧表に整理し、特徴を把握できるようにした。そして、この検討を円滑かつ効率的とするため、実態調査結果から標準化及び標準化に向けた施設運用やポンプ設備に関する問題点・課題を整理し対処方針を検討した。

操作制御の標準設計は、類型ごとに作成することを基本とし、37施設の調査結果から類型数が最小となる方法を検討しとりまとめた。制御に着目した類型を設定するため、各施設の始動条件、重故障・軽故障項目を調査し一覧表に整理した。

施設数最大の類型に該当する施設について、「揚排水ポンプ設備技術基準・同解説（H27.2）」（以下「ポンプ技術基準」）の制御フロー、始動条件、重・軽故障との相違を整理し、その要因について、ポンプ技術基準の変遷や施工メーカーの相違等の分析を行った。

そして、操作制御標準設計（原案）を作成するために、現行の無水化・簡素化技術を踏まえ1つの基本構成を設定すると同時に、この対象施設数を最大化するために派生を設定した。

図-1に設定した類型とそれぞれの施設数及び主ポンプ台数の関係を示す。

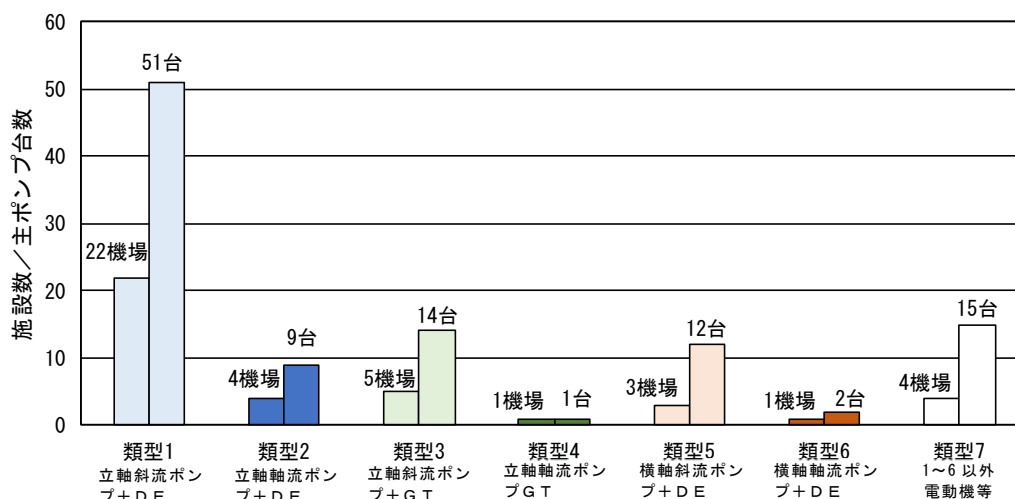


図-1 調査対象の類型結果

## 2. 2 モニタリング技術の調査検討

排水運転中の不具合予兆を発見するための、適切かつ確実な運転監視と、ポンプ設備及びゲート

設備の状態監視（オンライン監視）の実現を目指し、オンラインモニタリングに関する技術を調査した。

まず、モニタリングする計測項目を調査した。今後の調査を漏れなく効率的に実施するため、項目は考えうる最大とした。令和元年度は主原動機にディーゼル機関を用いているポンプ設備を対象として、不具合に気付く可能性のある計測項目に着目した。この結果、現在すでにセンサで計測している項目、新設工事や分解整備などを含む修繕工事と点検における計測項目、FMEAにおいて故障検知可能な項目、ディーゼル機関製作者の管理推奨項目等とした。

次に、オンラインモニタリングに必要となる計測、通信、表示、保存の機能を担う技術・製品の調査を行った。調査では、オンラインモニタリングの導入実現性を確認するため、モニタリングシステムのコスト（インシヤルコスト及びランニングコスト）、施工性及び取扱いの容易性を評価した。さらに、調査した技術の中から、実現性の高い技術として後付可能で安価なモニタリング用の無線センサ（電池内蔵）を2社選定し、実際の排水機場の管理運転により試行し、技術の導入実現性について検証を行った。

そして、モデル施設によるモニタリング信号点数を算定した。これは、操作制御設備にモニタリング機能を付加した場合の影響を概ね把握するためであり、モデル施設を3施設選定し算定した。

## 2. 3 操作制御標準化設計（原案）作成

該当施設数が最も多い類型について、操作制御方法の標準設計（原案）として操作制御方法標準設計の主要部分の基本的な考え方（骨子）を作成した。

なお、試作は、各技術基準等に基づき作成することを基本としたが、対人並びに設備の安全性、危機管理等の関係から、各技術基準等によりがたい場合は、メーカヒアリングや技術基準の発行元へのヒアリングを踏まえたうえで技術基準等に適合しないことを明記した。

まず、始動条件、重故障の標準項目について次の検討を行い決定した。

- ・ポンプ技術基準と既設を比較し、インターロック項目等に相違のある項目を整理
- ・ポンプ技術基準と異なるまたは無いインターロック項目等に対して、メーカヒアリングを行い考え方を整理
- ・運転を行うことによる致命的な重大故障、運転継続可否への影響を検討
- ・ポンプ技術基準と標準設計（原案）の違いを整理

そして、構成機器動作の標準フローについて次の検討を行い、機器動作順序を決定した。

- ・揚排水ポンプ基準の制御フロー参考図に対して、既設制御フローに相違のある項目を整理
- ・詳細な機器仕様を調査、メーカから情報収集を行い検討
- ・揚排水ポンプ基準と標準化設計（原案）の違いを整理

上記の検討を踏まえ操作制御フロー図を作成した。

また、操作制御に用いる部品の選定方法等の標準化を視野に、製品の特性・特徴、国内メーカの動向、これまでの実績などを調査し、コスト、寿命、交換部品の入手性・故障時対応の容易性などをとりまとめた。

### 3. 調査結果

#### 3. 1 排水機場ポンプ設備の実態調査

##### (1) 実態調査結果整理

現実的な操作制御標準設計（原案）の作成には、設備構成や装置形式による制御の違いの特徴を把握することが重要である。なお、ポンプ技術基準に規定されていない事項を既設とした根拠は完成図書へ残されていなかった。このため、施工メーカーへの確認も想定し、把握する項目と着目点を表－1のとおり整理した。

そして、施設毎に抽出した整理項目の内容を一覧表に整理した。この抜粋を表－2に示す。

表－1 制御の違いを明確にするための項目と着目点

項目	着目点
ポンプ型式	・立軸、横軸による制御の違い ・軸流、斜流、渦巻きによる制御の違い
口径・1台当たり吐出量	・規模による制御の違い ・一般的な鑄鉄製のポンプとコンクリートケーシングの制御の違い
原動機型式・出力	・ディーゼル機関、ガスタービン、電動機による制御の違い ・規模による制御の違い
吐出し弁	・バタフライ弁、コンクリートケーシング機場のゲート弁、サイフォンにより設置されていない機場の制御の違い
主ポンプ/水中軸受	・無水化機場と旧式の注水をしている施設の制御の違い
動力伝達装置/減速機型式	・直交軸、平行軸、遊星の故障項目の相違を含めた制御の違い
動力伝達装置、クラッチ型式	・クラッチ無し、遠心クラッチ、油圧クラッチ、流体継手による制御の違い
系統機器設備/冷却方式	・水冷と空冷の違い。水冷の場合でも旧式の二次冷却と簡素化されている管内クーラ、別置きラジエータ等による制御の違い
系統機器設備/始動方式	・空気始動とセルモータ始動による制御の違い
操作方式	・多くは連動だが、単独しかない機場、自動も行っている機場の違い
吐出ゲート	・吐出ゲートがインターロック項目に含まれているか否かを調査検討するにあたり、排水の吐出樋管が、強制排水樋管の場合と切替ゲートの自然流下・強制排水兼用施設の制御の違い
完成年月	・年代による制御の違い。背景として技術基準かメーカーの設計思想か調査、検討
ポンプメーカー	・ポンプメーカーによる制御の違い
原動機メーカー	・同一ポンプメーカーにおいて原動機メーカーが異なる事による制御の違い
減速機メーカー	・同一ポンプメーカーにおいて減速機メーカーが異なる事による制御の違い
電機メーカー	・同一ポンプメーカーにおいても電機メーカーが異なる事による制御の違い

表－２ 実態調査結果（抜粋）

番号	事務所名	施設名	設置台数	号機	ポンプ型式	口径(mm)	1台当たり吐出量(m <sup>3</sup> /s)	原動機型式	出力(kW)	吐出弁	水中軸受	動力伝達装置		冷却方式	始動方式	操作方式
1	TJ河川事務所	TJ1	2	1	立軸斜流	2000	10	ディーゼル	883	バタフライ弁	セラミックス	直交軸	流体継手内蔵	管内クーラ	空気始動	中央運動
				2	立軸斜流	2000	10	ディーゼル	883	バタフライ弁	セラミックス	直交軸	流体継手内蔵	管内クーラ	空気始動	中央運動
2	TJ河川事務所	TJ2	6	1	横軸斜流	1200	2.5	ディーゼル	346	バタフライ弁	ホワイトメタル	横軸遊星	遠心クラッチ	二次冷却	空気始動	中央運動
				2	横軸斜流	1200	2.5	ディーゼル	346	バタフライ弁	ホワイトメタル	横軸遊星	遠心クラッチ	二次冷却	空気始動	中央運動
				3	横軸斜流	1200	2.5	ディーゼル	346	バタフライ弁	ホワイトメタル	横軸遊星	遠心クラッチ	二次冷却	空気始動	中央運動
				4	横軸斜流	1200	2.5	ディーゼル	346	バタフライ弁	ホワイトメタル	横軸遊星	遠心クラッチ	二次冷却	空気始動	中央運動
				5	横軸斜流	1200	2.5	ディーゼル	346	バタフライ弁	ホワイトメタル	横軸遊星	遠心クラッチ	二次冷却	空気始動	中央運動
				6	横軸斜流	1200	2.5	ディーゼル	346	バタフライ弁	ホワイトメタル	横軸遊星	遠心クラッチ	二次冷却	空気始動	中央運動
3	TJ河川事務所	TJ3	2	1	立軸斜流	1350	4.95	ガスタービン	410	バタフライ弁	特殊樹脂	遊星3段	直結	空冷	セルモータ	中央運動
				2	立軸斜流	1350	4.95	ガスタービン	410	バタフライ弁	特殊樹脂	遊星3段	直結	空冷	セルモータ	中央運動
4	TJ河川事務所	TJ4	4	1	横軸遠心	1300	3.3	電動機	220	仕切弁	—	平行軸横軸	直結	空冷電動機	二次抵抗	機側単独
				2	横軸遠心	1300	3.3	電動機	220	仕切弁	—	平行軸横軸	直結	空冷電動機	二次抵抗	機側単独
				3	横軸遠心	1300	3.3	電動機	220	仕切弁	—	平行軸横軸	直結	空冷電動機	二次抵抗	機側単独
				4	横軸遠心	1300	3.3	電動機	220	仕切弁	—	平行軸横軸	直結	空冷電動機	二次抵抗	機側単独
5	TJ河川事務所	TJ5	5	1	立軸斜流	2000	10	ガスタービン	883	バタフライ弁	ゴム	遊星2段+平行1段	直結	空冷	セルモータ	中央運動
				2	立軸斜流	2000	10	ガスタービン	883	バタフライ弁	セラミックス	遊星2段+平行1段	直結	空冷	セルモータ	中央運動
				3	立軸斜流	2000	10	ガスタービン	883	バタフライ弁	ゴム	遊星2段+平行1段	直結	空冷	セルモータ	中央運動
				4	立軸斜流	2000	10	ガスタービン	883	バタフライ弁	セラミックス	遊星2段+平行1段	直結	空冷	セルモータ	中央運動
				5	立軸斜流	2000	10	ガスタービン	883	バタフライ弁	ゴム	遊星2段+平行1段	直結	空冷	セルモータ	中央運動

## (2) 問題点・課題と検討方針

実態調査の結果より問題点や課題を整理し、操作制御標準設計（原案）における検討方針を決定した。

### 1) 効率的な方法による検討

37 施設の設備構成、制御内容は多種、多様であることがわかった。この設計根拠を全て明らかにすることは現実的でない。このため、設計根拠を明らかにするのではなく、制御目的をある程度絞り込むことで検討の効率化を図ることとした。

例えば、排水ポンプ設備を分類する場合に使われる一般的なキーワードは、ポンプ形式や原動機形式などの「形式要素」、吐出量などの「規模要素」、設備の簡素化や信頼性向上対策などの「構造要素」、設置時期などの「時間要素」などである。この中で、「構造要素」だけが設備台帳に記載がない。ただし、今回は実態調査において構造要素である「設備構成」を把握できたことから、これと「制御方法」を関連付けて整理し、類型化の方針を決めることとした。

### 2) 1つの標準設計が対象とする範囲

標準化の効果を高めるため、設定する類型数を適切に絞ったうえでこの中から施設数が最も多いタイプの標準設計（原案）をとりまとめることにした。しかし、同一類型にさまざまな制御方法の混在が想定されるため、標準化の進め方の決定が必要となった。

そこで基本構成（設備・装置・機器・部品）を設定し、それに派生する構成を整理して、標準設計（原案）を検討する事で、さまざまな制御方法に対応することとした。

### 3) 機器更新の多様な実施方法への適用

設置から 30～40 年以上経過する施設が全体の約 7 割を占めることから、多くの施設で主原動機をはじめとした主要機器の更新予定があると想定される。この更新方法やこれに伴う変更等の範囲により既設設備の操作制御方法をどの程度標準へ近づけられるかが異なる。

技術的背景の調査は、既設設備を対象として制御に関する設計思想の実態を把握し、将来的に標準設計を活用できるよう、既設の古い主要機器は基準に基づいて現行の危機へ更新する

と想定し、それに合わせて関連機器も更新すると想定することで標準の機器構成として検討する方針とした。

### 3. 2 操作制御方法の類型化

#### (1) 類型の設定

類型の設定は、調査対象の「設備構成」と「制御方法」を整理する方法が考えられる。設備構成は実態調査において整理済みであることから、ここでは制御方法の整理を行った。具体的には「制御フロー」、「始動インターロック」、「重故障・軽故障」について調査した。整理結果の概要を表-3に示す。

これより、特に原動機形式は、始動インターロック、重故障・軽故障の項目に明確な違いがあり、同一の類型とするのは困難と考えられる。

一方、減速機形式及び冷却方式は、多種・多様で始動インターロックにも違いはあるが、一つの標準設計に対して「派生の構成」とすることとした。

この考え方からポンプ形式と原動機形式から、表-4に示す7類型を設定した。

そして、令和元年度は、対象が最も多い「類型1：立軸斜流ポンプ・ディーゼル機関駆動(22 機場、51 台)」について操作制御標準設計（原案）をとりまとめることとした。

表-3 始動インターロック、重故障・計故障の整理結果概要

ポンプ形式	立と横軸、斜流と軸流の違いあり。それ以外の相違が多数
原動機形式	ディーゼル、ガスタービン、電動機の違いあり。それ以外も多数。
減速機形式	流体継手、油圧クラッチ、直結の違いは全体的には部分的
冷却方式	管内クーラ、ラジエータ、二次冷却の違いは全体的には部分的
技術基準に示されていない項目	ポンプ技術基準に示めされている16項目に対し、示されていない項目は47あり多い。

表-4 7類型の設定

類型	ポンプ形式・原動機形式	施設数	主ポンプ台数
類型1	立軸斜流ポンプ・ディーゼル機関駆動	22 機場	51 台
類型2	立軸軸流ポンプ・ディーゼル機関駆動	4 機場	9 台
類型3	立軸斜流ポンプ・ガスタービン駆動	5 機場	14 台
類型4	立軸軸流ポンプ・ガスタービン駆動	1 機場	1 台
類型5	横軸斜流ポンプ・ディーゼル機関駆動	3 機場	12 台
類型6	横軸軸流ポンプ・ディーゼル機関駆動	1 機場	2 台
類型7	タイプ1~6以外（電動機駆動等）	4 機場	15 台
合 計		37 機場	104 台

## (2) 制御フロー、インターロック、重故障の相違整理

類型 1 (立軸斜流ポンプ・ディーゼル機関駆動) について、技術基準と実際の制御に違いが見られた。さらに、違いのあり方も施設によって異なっていたことから、この傾向を調査した。

### 1) 機器構成の違い

類型 1 の機器構成を把握にするため、設備・機器構成ツリー図 (図-2) を整理した。

ツリーでは、類型 1 に分類された施設で用いられている機器や部品が多種であることがわかる。標準設計の適用効果を高める方法の 1 つとして、操作制御方法の種類は少なくすることが有効と考えられるため、機器の構成と操作制御の関係を、以下の視点で整理した。

- ・制御フローの共通点と相違点
- ・インターロックおよび重故障の共通点と相違点
- ・既設が施工された時期の技術的な背景

その結果、要素毎に代表的な 1 つの構成を「基本構成」と位置付け、その他の構成を「派生」とする方法を採用した。

基本構成は、各要素の一番多い形式をもととしたが、動力伝達装置はクラッチ無しと、流体継手別置きが同数で一番多く、なおかつこれらは設置からの経過年数が 30 から 40 年以上経過している装置のため、更新後の形式を油圧クラッチ内蔵減速機と想定して選択した。

ディーゼル機関を更新する場合、近年は過給機による高出力・小型の機種を選定する傾向にあり、この機種では主ポンプの初動に必要なトルクを確保するため、クラッチを設ける場合が多い。クラッチと同様の役割を担う流体継手は、大出力または回転数制御を行う場合に採用されている。大型ポンプでは流体継手内蔵減速機 (複合減速機) の採用事例も多いが、中・小型ポンプでの採用事例は少ない。よって、中・小型で既に多く採用されている油圧クラッチ内蔵減速機を標準とした。基本構成を以下に示す。

#### ■基本構成

- ・主ポンプ：立軸斜流ポンプ (無水化)
- ・主原動機：ディーゼル機関 (管内クーラ冷却、空気始動)
- ・減速機：油圧クラッチ内蔵型
- ・その他：吐出し弁 (電動蝶型弁：コンクリートケーシングでない)

この結果、類型 1 の全施設について、標準設計 (原案) の適用を可能とした。

### 2) 同一機器構成における操作制御の違い

機器構成が同一であっても、操作制御は異なることが明らかとなった。この要因として考えられる、施工メーカ、機器製造メーカ、排水機場の建設時期それぞれを分析した。その結果、技術基準との相違に関しては、明確な違いを確認することはできなかった。しかし、設備の建設・改良時期とその当時の技術基準、ディーゼル機関の技術変化と建設時期においては相関が見られた。

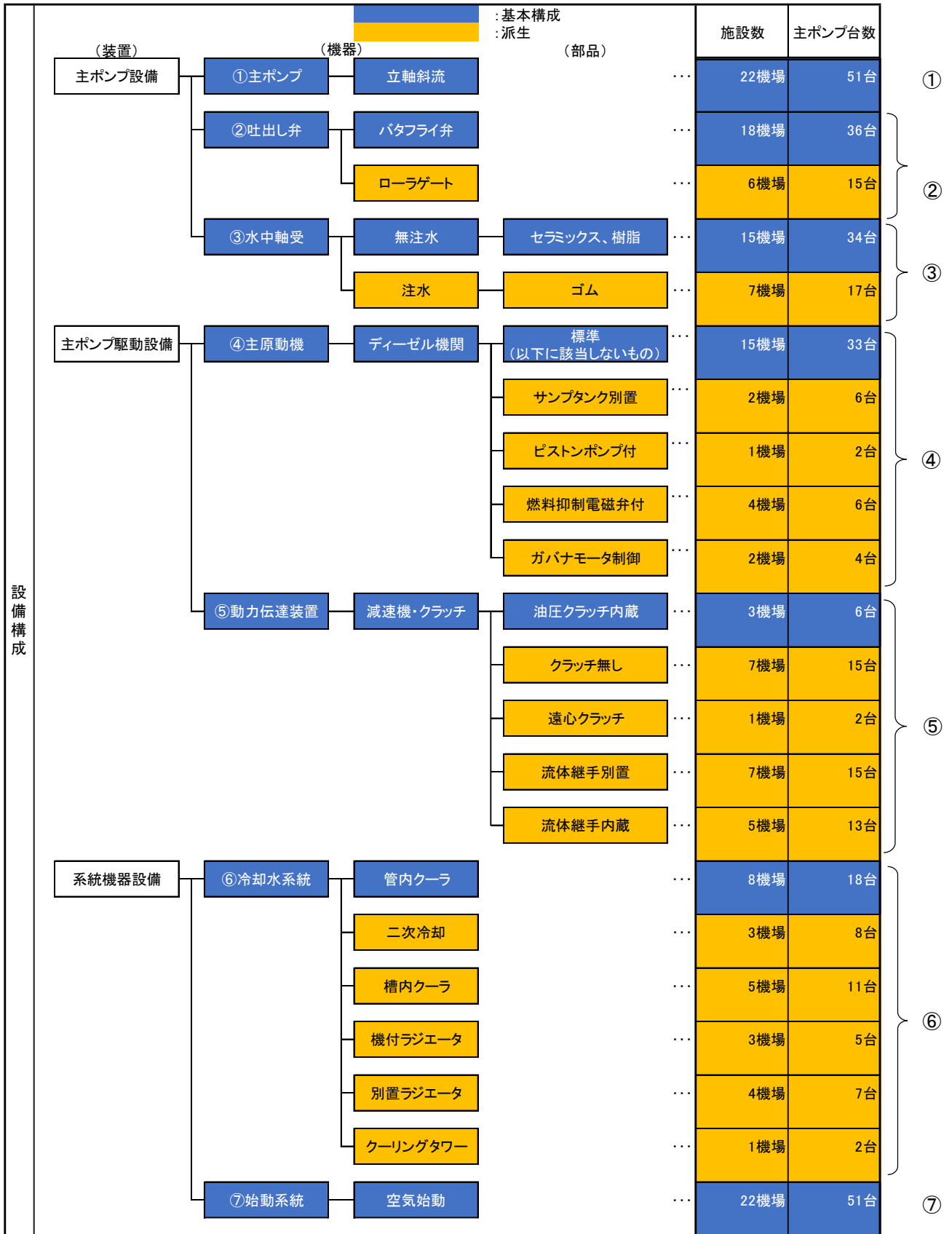


図-2 設備・機器構成ツリー図 (類型1・基本及び派生)



### 3. 3 モニタリング技術の調査検討

#### (1) モニタリング項目の調査と整理

モニタリングの実施が考えられる項目を、各種計測項目から抽出した。これには計器やセンサの追加を伴うことから、2段階整備が有効と考えた。整備順序の考えを整理した状態監視の目標レベルを表-5に、モニタリング項目と整備段階を表-6に示す。なお、整備段階は、既にモニタリングできている項目と、計器の追加などの改良が必要な項目で4ケースに分類した。

表-5 整備順序の目標レベル

目標レベル	レベル内容
段階1	<ul style="list-style-type: none"> <li>優先度の高いモニタリング項目</li> <li>重故障・軽故障項目の計測値を状態監視</li> </ul>
段階2	<ul style="list-style-type: none"> <li>最大限のモニタリング項目</li> <li>項目の選定にあたり機器製造・分解整備、据付工事、点検で計測される項目を対象とし実現性のある項目を選定する。</li> </ul>

表-6 モニタリング項目（ディーゼル機関）

計測項目	技術基準		状態監視 ガイドライン	施工管理基準	モニタリング信号	
	重故障	軽故障			段階1 モニタ リング項目	段階2 モニタ リング項目
回転速度	○		○	○	○	○
軸受温度				○		○
軸受振動			○	○		○
潤滑油圧力	○		○	○	○	○
潤滑油温度（入口・出口）	○		○	○	○	○
潤滑油量				○		○
潤滑油性状分析			○			○
冷却水温度（入口・出口）	○		○	○	○	○
冷却水量	○				○	○
冷却水圧力			○	○	○	○
給気圧力			○	○	○	○
給気温度				○		○
排気温度			○	○	○	○
過給機入口温度			○			○
過給機出口温度						○
過給機注油圧力						×
過給機停止所要時間			○			×
燃料噴射時期			○			×
燃料油給油圧力						×
燃料噴射ポンプバック目盛			○	○		○
燃料ハンドル目盛						×
燃料消費量				○		○
燃焼最高圧力						×
調速機指針				○		×
気筒毎排気温度			○			○
気筒爆発圧力						×
初期潤滑油ポンプ絶縁抵抗			○			×
始動時間			○			○
停止時間			○			○
圧力減少度(始動圧力)				○		×
デフレクション			○	○		×
水平度				○		×
排気管出口騒音				○		×
本体振動				○		○
初期潤滑油ポンプ電流値					○	○

- ケース1 : 重故障・軽故障項目のうちアナログ値として現在モニタリングしている項目
 ケース3 : 重故障・軽故障項目のうち、現在モニタリングしていない項目
- ケース2 : 重故障・軽故障には関係しないが、現在モニタリングしている項目
 ケース4 : 状態監視ガイドライン、施工管理基準（案）、点検・整備時に計測している項目

## (2) ハードウェアに関する技術の調査

オンラインモニタリングに必要となる計測、通信、表示、保存の機能を担う技術・製品について調査した。ポンプ設備のオンラインモニタリングに利用できる「機器に後付で設置可能、センサからの送信データを機場内に設置した無線受信機で受信可能、計測値は振動（速度・加速度）等のデータ計測が可能」な技術を5件抽出した。（表－7）

計測技術の新技術としては、目視点検の自動化技術（アナログメータをカメラで撮影し数値化する）が2件見られた。また、においを感知する新技術を応用して、空気濃度の検出により摩耗などの異常を検出する技術が見られた。

表－7 自動モニタリングの候補技術

No	技術名称	概要	検出可能事項	導入費用	施工性	取扱の容易性
1	無線ネットワーク型設備診断システム・ニアライン MD-910	振動センサと子機—中継器—親機を Wi-Fi 接続し、親機と既設管理システムをオンラインで結び、設備の計測データを定期的（1回/日）に収集する	振動（速度・加速度）	個別対応	センサから子機の区間は配線工事が必要	PC 及びクラウドサーバで容易にデータ管理が可能
2	振動モニタリングシステム FaCiLiIoT スターターキット	安価に設備の振動モニタリングが始められる振動センサ・ルーター・閲覧管理アプリ	振動（加速度・温度）	19.8万円/年（スターターキット）	測定対象物にマグネット固定のみ無線接続	専用 GUI ソフトで検知データ分析と異常判定ができる
3	TR-COM 回転機械簡易モニタリングシステム	ワイヤレス簡易センサとスマホ（無料アプリ）をBluetooth接続で、振動、温度のトレンド管理、FFT 管理が可能	振動加速度、速度、温度	7万円/個（センサのみ）	測定対象物にマグネット固定のみ無線接続	スマホ（専用無料アプリ）とクラウドサーバでデータ管理が可能
4	Sushi Sensor	無線振動センサ（表面温度・速度・振動加速度）とクラウド環境により設備状態の傾向管理を実現	振動 圧力 温度	7.8万円/個（センサのみ）	測定対象物にマグネット固定のみ無線接続	PC 及びクラウドサーバで容易にデータ管理が可能
5	小型オンラインオイル清浄モニター	油圧ライン中の異物粒子数の増減をリアルタイムで簡易計測するモニタリングシステム	測定粒子径 4, 6, 14, 21 um(c) ISO-MTD 準拠	10万円/個	油圧ラインに加工が必要	PC 及びクラウドサーバで容易にデータ管理が可能

## (3) オンラインモニタリングの試行

近年、IoT はプラントにも急速に拡大している。この一つに後付けが容易なモニタリング用無線センサの登場がある。これを排水機場へ適用することにより、モニタリングの課題解決が期待される。そこで、次の3つの項目を満足する技術を排水機場の管理運転において試行することとした。

- ① 振動、温度のオンラインモニタリングが可能
- ② 各装置や配管への後付け設置が容易

③ センサと無線機能が一体で電源を内蔵、受信装置の設置も容易

この結果、2種の技術を選定した。この技術概要を図-3に、試行結果を表-8に示す。

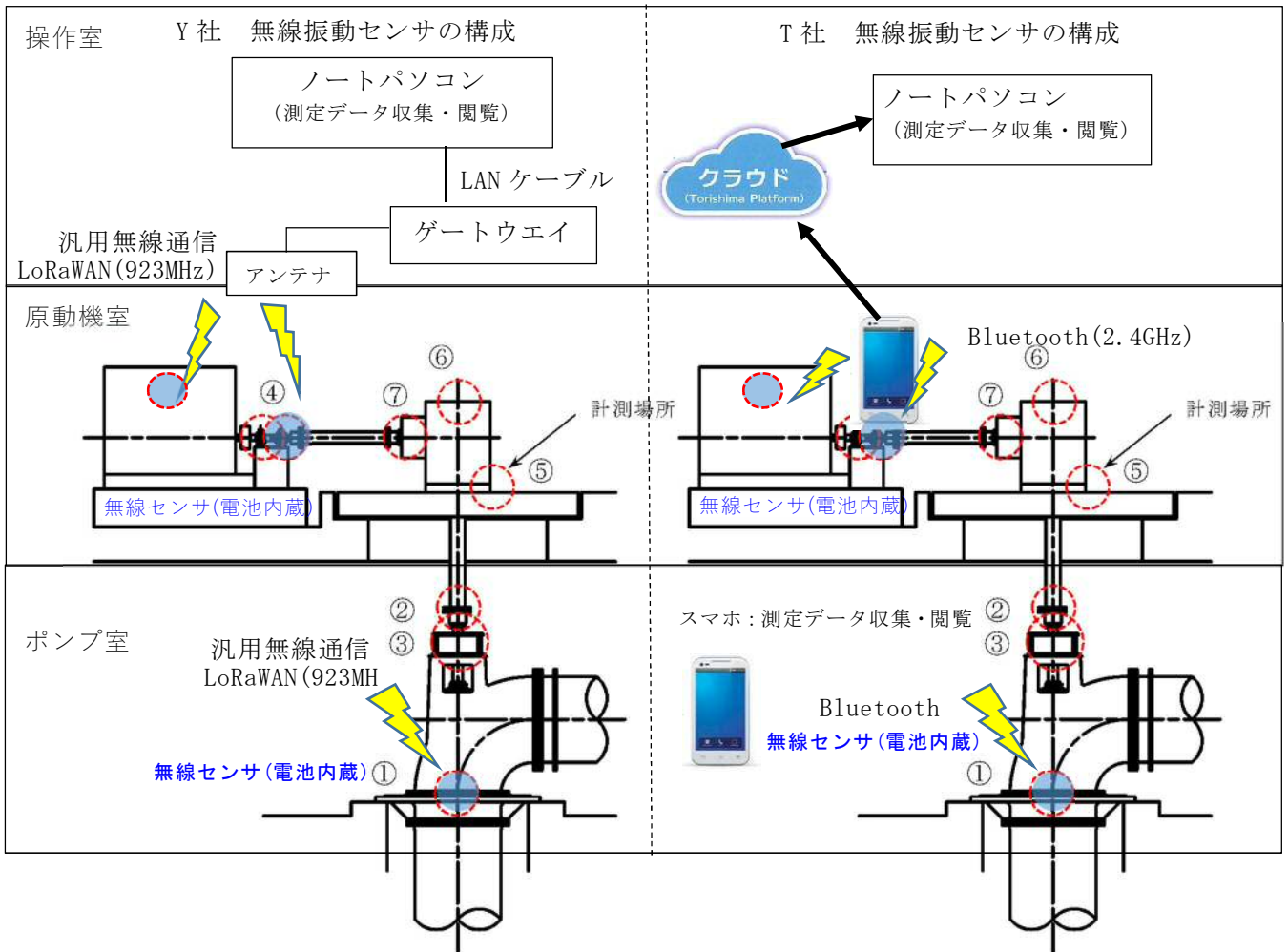


図-3 試行システム概略構成

表-8 モニタリング技術の試行結果

評価項目	Y社センサ	T社センサ
通信エリア	無線通信規格 LoRaWAN は機場内問題なし、コンクリート壁を通信出来ないがアンテナで可能 ○	Bluetooth は数メートルの範囲のみ。機場内に多数のアンテナが必要となり適さない。 △
取付具合	いずれも小型で設置しやすいが、機器カバー、取付の曲面により設置できない箇所もあり、導入にあたり、センサ設置を設計段階で計画すると有効活用できるものと考えられる。	
計測値	振動計測値はハンディー式振動計とおおむね同等、計測サイクルは改造により変更可能 ○ (温度、圧力の計測も可能)	振動計測値はハンディー式振動計と比較し Y センサよりは開きがあるものの利用可能。計測サイクルは 1 時間 (固定) △ (自動 FFT 内蔵は有効)
課題	電池寿命が短い、波形が取得できない	通信距離が短く中継アンテナ必要、データ収集サイクルは変更不可、電池寿命が短い

#### **(4) モデル施設によるモニタリング信号点数の把握**

操作制御設備にモニタリング機能を付加した場合の影響を概ね把握するため、代表的な3施設を選定し、これについて表-6をもとにオンラインモニタリングを行う項目数と信号点数を算定した。このうち最も施設規模が大きいAK4排水機場の結果を次に示す。

運転時における監視の充実を図る「段階1」は、「優先度の高い項目」と「重故障・軽故障項目の計測値」について計測を自動化するものである。現在、センサにより計測できている項目は24あり、内訳は重故障・軽故障項目が12、これ以外も12であった。そして、現在センサにより計測していない重故障・軽故障項目は19あった。よって、段階1に該当するモニタリング項目数は43項目、この信号点数は80点となり、センサの設置は19項目について必要となる。

モニタリングの完成形にあたる「段階2」では、運転時の監視に加え状態監視の充実を図るものである。状態監視ガイドライン、施工管理基準(案)および点検時・整備時に計測している項目は34であった。段階1にこれを加えモニタリングの全体項目数は77、この信号点数は208点となった。

この規模の自動計測を実現するのに、製品価格と配線工事が不要な点で実証試験を行った振動センサ等は有力と考えられる。

### **3. 4 操作制御標準化設計(原案)作成**

#### **(1) 始動インターロック項目の検討**

類型1におけるインターロックの標準案は、一般的な機械設備とは異なり、防災の観点から排水運転の始動性を優先し、次の2条件に合致する項目は始動条件から除外することとした。

- ・直ちに故障しない
- ・始動後の運転継続が可能

また、始動条件によっては、機器構成や冷却水系統が膨張タンクを循環するかバイパスするかにより、始動条件へ追加すべき場合とさらに除外可能な場合も考えられるため、標準(案)では条件を付してさらに絞り込むこととした。標準案を表-9に示す。

#### **(2) 重故障項目の検討結果**

類型1における重故障項目の標準案では、機器が直ちに故障しないと考えられる項目は除外し、重故障項目を絞り込むこととした。標準案を表-10に示す。

#### **(3) 構成機器動作順序の検討結果**

中央連動操作における排水運転時の機器動作順序を検討した。標準案を表-11に示す。

表－9 始動インターロック（始動条件）の標準案

番号	始動条件項目	揚排水ポンプ基準 (H27.2)	標準（案）
1	吸水槽水位規定以上	○	○
2	膨張タンク・高架水槽水位規定以上	○	△ 冷却水を膨張タンクに戻す配管系統 において始動条件とする
3	空気槽圧力規定以上	○	×
4	燃料小出槽油面規定以上	○	×
5	吐出し弁規定開度	×	△ ローラゲートの場合はゲート全開を 始動条件とする
6	他のポンプが始動中でない	○	△ 自家発電機容量に余裕がない場合は 始動条件とする
7	重故障が発生していない	○	○
8	軽故障が発生していない	○	×
9	各切換開閉器が所定位置にある	○	○
10	自然流下ゲート開度	×	×
11	吐出樋門ゲート開度	×	×

○：始動条件とする    ×：始動条件としない    △：条件のとき始動条件とする

表－10 重故障項目の標準案

番号	重故障項目	揚排水ポンプ基準 (H27.2)	標準（案）
1	吸水槽水位異常低下	○	○
2	スラスト軸受温度異常上昇	○	○
3	潤滑水量不足	○	○
4	歯車減速機潤滑油圧異常低下	○	○
5	内燃機関過速度	○	○
6	内燃機関潤滑油温度上昇	○	×
7	内燃機関潤滑油圧異常低下	○	○
8	内燃機関冷却水量不足	○	○
9	内燃機関冷却水温度異常上昇	○	○
10	燃料小出槽油面異常低下	○	○

○：重故障項目とする    ×：重故障項目としない

表－１１ 構成機器動作順序（始動時）の標準案

番号	揚排水基準の連動始動フロー	設計思想	基準と標準（案）との違い
①	機関初期潤滑油ポンプ始動	機関の始動に先立ち機関内の軸受等を潤滑するため、最初に初期潤滑油ポンプを運転する。	違いなし
②	減速機初期潤滑油ポンプ始動	減速機の始動に先立ち減速機内の軸受等を潤滑するため、最初に初期潤滑油ポンプを運転する。	違いなし
③	始動電磁弁開	潤滑油の圧力スイッチが動作したことを確認した後、始動電磁弁を開ける。	違いなし
④	始動電磁弁閉	機関が始動し、低速度まで回転数が上昇したことを確認した後、始動電磁弁を閉じる。	違いなし
⑤	機関初期潤滑油ポンプ停止	機関の回転数が低速度まで上昇すると機付ポンプにより潤滑油の供給が可能のため、機関初期潤滑油ポンプを停止する。 なお、機関規定速度まで上昇すると初期潤滑油ポンプと機付の潤滑油ポンプが並列運転となり、安全弁または初期潤滑油ポンプに不具合が生じる。	揚排水ポンプ基準では、機関の回転数が規定速度まで上昇してから機関初期潤滑油ポンプを停止している。
⑥	減速機初期潤滑油ポンプ停止	機関の回転数（＝減速機の回転数）が規定速度まで上昇すると機付ポンプにより潤滑油の供給が可能のため、減速機初期潤滑油ポンプを停止する。	違いなし
⑦	減速機クラッチ用電磁弁開	機関の回転数が規定速度まで上昇し、かつクラッチ作動油圧が規定値となったことを確認し、クラッチ用電磁弁を開く。	油圧クラッチ内蔵減速機については参考フロー無し
⑧	吐出し弁開	機関の回転数が規定速度まで上昇したことを確認し、吐出し弁の開動作を行う。	違いなし
⑨	吐出し弁全開	吐出し弁が全開になったところで始動動作を終了する。	違いなし

(4) 操作制御フロー図のとりまとめ

排水機場の制御フローの調査とメーカーヒアリングにより、最適な制御フローの標準案をとりまとめた。この始動フローを図-4に示す。

※赤字：揚排ポンプ技術基準との相違箇所を示す。相違内容は表-11参照。

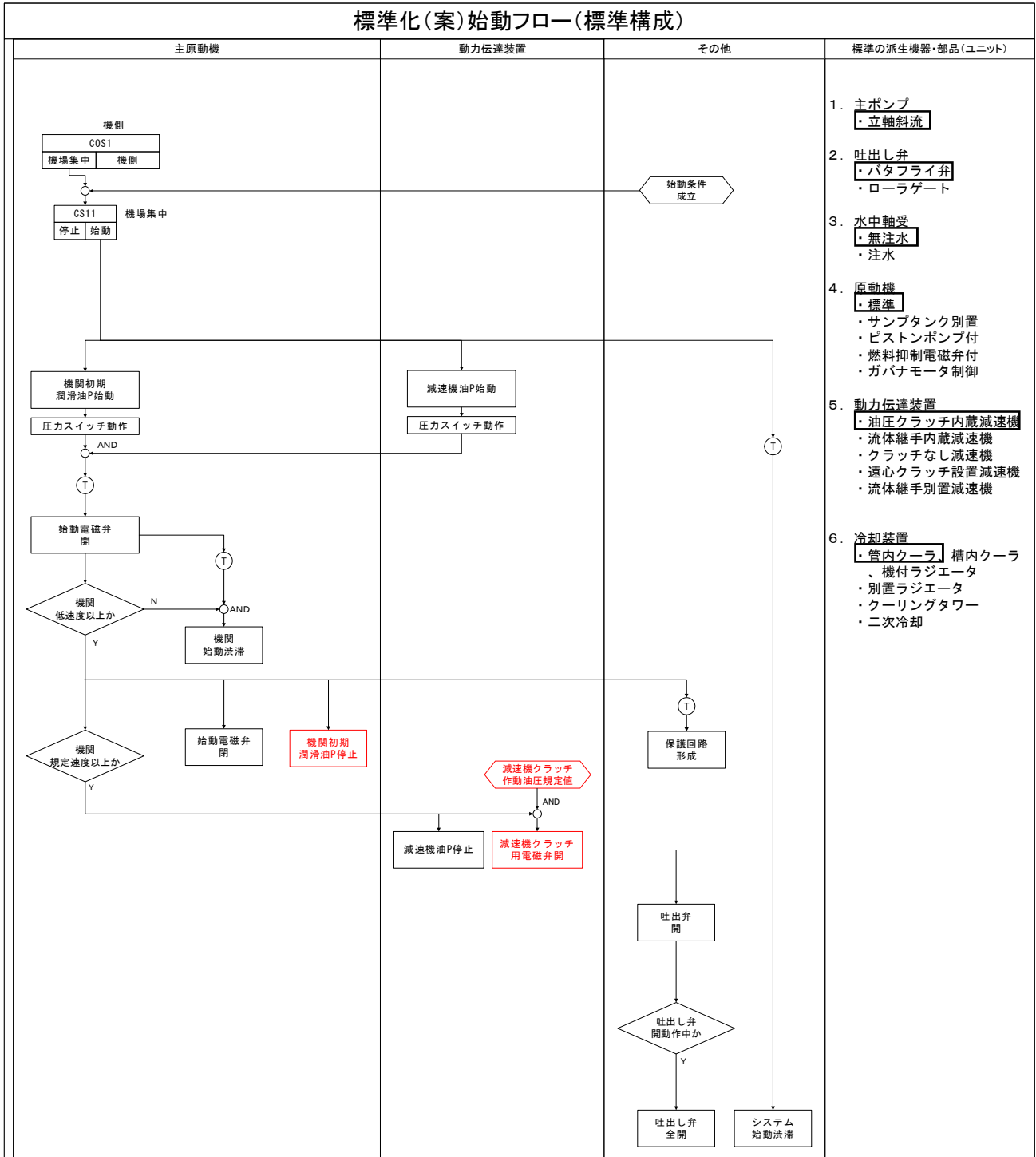


図-4 制御フロー(始動時)の標準案

**(5) 使用部品等の検討結果**

排水ポンプ設備の制御回路に用いられる主な部品は、電磁継電器（リレー）、PLC(programmable logic controller)、アナログ計器（警報接点用）、フローリレー、水位計、温度計、圧力計などが挙げられる。

PLC は製造メーカーの推奨寿命は概ね 10 年で、また製造メーカーが公開していないプログラム言語が使われる製品では、これに精通した技術者は限られるため、緊急事後保全による交換では復旧までに時間を要することも知られている。

そこで、令和元年度は PLC を経済性と故障対応の観点から、各排水機場で使用している PLC のメーカー、型番を調査し、PLC の調達しやすさと価格を踏まえた標準仕様を検討した。PLC 製造各社にプログラム、調達期間、取替時間、取替費用、汎用性を調査した結果を表－12 に示す。

PLC を調査した結果、IEC61131-3 (JIS B 3503) に準拠したいわゆる汎用 PLC を使用している機場と、メーカー独自のプログラムを用いた PLC を使用している機場が存在した。専用コントローラを使用している場合、納期が 2～3 ヶ月以上かかり、メーカー専用のプログラムで製作されており、メーカー系列の技術者が交換対応する必要があるとのことであった。

これらから、中小規模の機場は汎用 PLC を標準として使用することが、維持管理に適していると考えられる。ただし、大規模機場については、汎用 PLC の適用が困難であるメーカーもあるため、信号数に応じて PLC の仕様検討が必要である。

**表－12 PLCメーカーのヒアリング結果**

メーカー	プログラム	調達期間	取替時間	取替費用	汎用 PLC への更新
M1	汎用	即日	1日	数十万	可能
O	汎用	即日	1日	数十万	可能
K	汎用	即日	1日	数十万	可能
T	専用	2～3ヶ月以上	1～2日 メーカー系列の 専門技術者の 対応が必要	コントローラ1 台あたり100万 ～150万円程度	システム全体の更新を検討する 必要あり。 E1等の大規模施設には汎用PLC 適用できない。
S	専用	即日	1～2日	数百万円以上	システム全体の更新を検討する 必要あり。 大規模施設には汎用PLC適用で きない。
M2	専用	9ヶ月	1～2日	数百万円以上	システム全体の更新を検討する 必要あり。 大規模施設には汎用PLC適用で きない。
H	汎用	即日	1日	数十万	可能
	専用	2～3ヶ月以上	1～2日	数百万円以上	システム全体の更新を検討する 必要あり。 大規模施設には汎用PLC適用で きない。



## 4. 考察

### 4. 1 始動インターロックにしない項目の明記

令和元年度の調査では、現行技術基準には無い始動インターロックの整理を行う中で、運転継続の障害になる要因は、現行技術基準における「その他重要なもの」として始動インターロックとする方針で検討を行った。しかし、「その他重要なもの」に位置づけしようとした始動インターロック項目の一部に、この条件が原因となり排水ポンプの始動不能リスクの存在が判明した。

よって、これまでの技術基準において記述されてこなかった始動インターロックとすべきでない項目についても、操作制御標準化の中で検討を深めるべきではないかと考える。

### 4. 2 始動インターロックと重故障における「その他重要なもの」の具体化

技術基準に示されていない項目を整理したところ、その要因は基準には示されていない装置・機器等が多いが、その他に、基準の変更により抽出されている項目もあった。

本業務において1つの類型について検討を行ったが、「その他重要なもの」についても標準的な設計を検討し設定することで、維持管理の向上につながる可能性が考えられる。

そのため、「その他重要なもの」について、操作制御の標準設計を適用していく段階において取り扱い方法などについてより深く検討する事が必要と考える。

### 4. 3 始動渋滞の軽故障及び制御フロー図と展開接続図(制御リレー回路図)

現行技術基準において始動渋滞は軽故障となっている。この場合、排水ポンプの始動行程中に始動電磁弁が開状態を保持することから、ディーゼル機関が何らかの不適合事象により運転状態に入らなければ、ディーゼル機関は発生振動が大きい低速でのエアランを継続し、始動空気槽は圧縮空気を喪失する恐れがある。

これについて、施工メーカ各社の対応を調査したところ、軽故障ではあるが機関始動電磁弁は閉とする制御としているメーカと、開状態を継続する制御としているメーカに分かれた。

また、閉とする場合も制御フロー図には軽故障の表記のみで、機関始動電磁弁を閉じる制御は記載されておらず、展開接続図(制御リレー回路図)にのみ記載されていることもあるかもしれないとのことであった。

前述の懸念を払拭し、運転時の本来持つべき始動性の確保と機器の長寿命のため、始動渋滞は制御フローに加え、展開接続図(制御リレー)についても確認し、この点を明確にする必要があると考える。

また、その他に制御フロー図には示されてない制御があるかについて、調査を行い必要に応じて操作制御標準設計への反映を検討する必要があると考える。

#### 4. 4 標準設計（原案）の検証方法

令和元年度は、類型の検討において標準設計に対応可能な施設数が多くなるよう設定し、このうち最も該当施設数が多い類型1（立軸斜流ポンプ・ディーゼル機関）について標準設計（原案）を作成した。

今後、実際の排水機場への適用には信頼性などの検証は欠かせないが、これは既存の排水機場に対して机上で標準設計を適用することで、標準設計の問題（機器故障や信頼性低下）が生じないか検証できるものとする。

#### 4. 5 使いやすい標準設計に向けた類型の統合

令和元年度は、主ポンプ形式と原動機形式の組合せにより類型を設定したが、これら複数の類型を一つの類型として統合できる可能性があると考えられる。

斜流ポンプと軸流ポンプの大きな違いは、表-14に示す始動時の全閉始動か全開始動かの違いであり、また、立軸ポンプと横軸ポンプの大きな違いは、始動時の満水操作の有無であることから、それぞれ条件付きにすることで類型統合の可能性が考えられる。令和元年度は、技術基準に基づき操作制御方法の違いを比較するに留まったが、今後、該当施設の操作制御方法を横並びにすることによる類型統合の可能性について検討したい。

表-14 技術基準における斜流ポンプと軸流ポンプの相違点

相違点		斜流	軸流
始動フロー	吐出弁の開操作 タイミング	原動機が規定速度まで上昇し、クラッチがつながった時点で吐出弁全開操作を行う	原動機の始動前に吐出弁全開操作を行う
停止フロー	吐出弁の閉操作 タイミング	停止指令がでると最初に吐出弁全閉操作を行う	クラッチが切り離され、原動機が低速度以下となってから吐出弁全閉操作を行う
始動条件	吐出弁規定開度	始動条件でない	始動条件に含まれる
重故障項目		相違なし	
機器構成		相違なし	

#### 4. 6 オンラインモニタリングの試行運用

令和元年度は、後付け可能で安価なモニタリング用の振動・温度の無線センサについて、TK2 排水機場のディーゼル機関単独の管理運転で試行を行った。その結果、排水機場の状態監視において、不具合傾向にある箇所の重点監視に適用することも有効であると考えられる。

今後、この実用化にあたり、試験的に排水機場にセンサを1シーズン通して仮設し、実排水、管理運転によるデータを収集し検証する事が有効と考えられる。IoTの進化は今後も続くと予想されることから、安価で高性能なセンサの登場が期待されるため、早期の検証により経験を積み重ねる

ことが有効と考える。

#### 4. 7 維持管理性を向上するための PLC の適用

令和元年度の調査において、PLC は大別して、どのような企業、技術者でも扱うことのできる汎用 PLC と、特定メーカー系列しか扱えないメーカー専用 PLC が使用されていることが判明した。

汎用 PLC は中規模程度までの排水機場において適用されており、この特徴は、機能に制約はあるが、共通規格に準拠する他社製品との連携も可能で、比較的安価、プログラム言語等の情報が公表されているため取替の調達期間も短い。これに対してメーカー専用 PLC は大規模な排水機場を中心に適用されており、この特徴は高機能・高価で取替の調達期間は数か月と長い。

全ての排水機場へ汎用 PLC の適用が理想的であるが、製品性能の関係から処理点数に制約があるため、大規模排水機場では要求性能に十分でないことが考えられる。一方、汎用 PLC が十分適用可能と考えられる中規模排水機場においてもメーカー専用 PLC を使用されている場合もあった。

よって、処理能力から汎用 PLC の適用の可能性が考えられる機場については、次の更新時期を目安として、汎用 PLC 化の実現性を検討し可能であれば汎用 PLC を適用する事で、操作制御に用いる部品の標準化を図り、コスト・寿命・交換部品の入手性・故障時対応の容易性等の向上が可能になると考える。

#### 5. 今後の計画

令和元年度の調査で管内の排水機場の操作制御に関する実態を把握することができた。更にその実態調査の結果を基に管内排水機場を7つの類型に分類し、そのうちの一つである類型1（立軸斜流＋ディーゼル機関）の操作制御標準設計（原案）を作成した。

令和2年度は、作成した操作制御標準設計（原案）を机上で実際の排水機場に適用して問題点等を検証し、操作制御標準設計（原案）を見直した操作制御標準設計（案）をとりまとめる予定である。また、操作制御標準設計が適切に現場へ実装されるために、操作制御標準設計を適用する際に参考となる操作制御標準設計の解説（素案）を作成する必要があると考える。

担当課 施設技術課