河川ポンプ設備予備品管理手法の考察

国土交通省　関東維持管理技術センター
（関東技術事務所　施設技術課）

1．はじめに

河川ポンプ設備は、多くの機器によって構成されており、致命的な機器や部品が排水運転に際して故障すれば、排水量の低下あるいは排水不能となる可能性がある。このような致命的な機器・部品については、予防保全を前提とした適切な管理に努めているが、機械設備の故障を「完全に防止」することは現実的に不可能であり、危機管理の観点から発生した場合の方策を検討しておく必要がある。危機管理の観点では、故障した部品の予備品が現場にあるかないかで修復に要する時間に大きな影響を与える。

河川ポンプ設備の予備品については、機械工事共通仕様書（案）（国土交通省総合政策局公共事業企画調整課）に標準的な部品が明示されているが、関東維持管理技術センターでは、河川ポンプ設備の諸条件を勘案した上で、信頼性工学に基づく予備品のあり方を考察した。本報告は、その概要についてまとめたものである。

2．基本的な検討手順

予備品とは、設備に故障が発生したときあるいは不具合が発生したときに、迅速に修復することを目的として、現場で管理する予備の部品である。しかしながら、各ポンプ設備の構成機器あるいは仕様は様々であり、現場での予備品管理は実態に合わせて柔軟に対応しているが、合理的な方法が確立しているとは言えない状態である。

そこで次の手順により、当該手法について考察を行った。

1）実態調査

平成26年度に、関東地整管内の河川ポンプ設備（タイプ・規模の異なる5排水機場）の予備品実績を調査し、実態をまとめた。

2）予備品の考え方の整理

実績を踏まえ、予備品に求められる考え方と課題について整理した。

3）具体的選定方法の考察

前項で整理した考え方に基づく具体的な予備品の選定方法について考察を行うとともに、今後の技術的課題について明らかにした。

3．実態調査

関東技術事務所において、予備品の実態調査を行うことができた5機場についての調査結果を次のとおり示す。

3.1　機場の基本スペック

調査した機場の主ポンプ仕様及び原動機種は以下のとおりである。なお、本報告における機場名は仮称である。

1）TJ10 排水機場

主ポンプ：φ1500mm立軸斜流ポンプ（5m³/s）× 2台

主原動機：ディーゼル機関2台

主な特徴：セラミック軸受を採用した標準的機場

写－1　TJ10 排水機場

2）TJ5排水機場

主ポンプ：φ1200mm横軸斜流ポンプ（2.5m³/s）× 6台

主原動機：ディーゼル機関6台

主な特徴：標準的横軸ポンプ形式、二次冷却方式採用

3）TJ6 排水機場

主ポンプ：φ1350mm立軸斜流ポンプ（4.95m³/s）× 2台

主原動機：ガスタービン機関2台

主な特徴：無水化機場

4）K1排水機場

主ポンプ：φ1000mm立軸斜流ポンプ（2.5m³/s）× 2台

主原動機：ディーゼル機関2台

主な特徴：ディーゼル機関はラジエータ方式

5）E19排水機場

主ポンプ：φ4600mm立軸渦巻斜流ポンプ（50m³/s）× 3台

：φ3600mm立軸渦巻斜流ポンプ（30m³/s）× 1台

：φ3000mm立軸渦巻斜流ポンプ（20m³/s）× 1台

主原動機：ディーゼル機関5台

主な特徴：大規模機場、二次冷却方式採用

3.2　共通仕様書（案）に規定のある予備品

調査対象機場の調査結果を確認するにあたり、機械工事共通仕様書（案）（以下「共通仕様書（案）」という）に明示されている予備品を表－1にまとめた。

表－1に示す予備品は、殆どが点検時等に使用するパッキン、シール、エレメント等や突発的に故障するランプ、ヒューズ、継電器等の消耗品が主体であるが、原動機の吸排気弁・燃料噴射ポンプ、ポンプ設備の軸封部品など故障すれば機器に致命的な影響を与える部品も一部ではあるが選定されている。（着色部分）

表－1　共通仕様書（案）に明記される予備品一覧

機器区分	形式	予備品	数量
主ポンプ	立軸(軸流・斜流)ポンプ	軸封部用パッキン	1台分
	横軸(軸・斜流)ポンプ	軸封部用パッキン	1台分
		自動グリスポンプ用ベルト	1台分
	横軸(渦巻)ポンプ	軸封部用パッキン	1台分
		自動グリスポンプ用ベルト	1台分
	水中モーターポンプ	メカニカルシール	1台分
主ポンプ用原動機	ディーゼル機関	吸気弁仕組	1気筒分
		排気弁仕組	1気筒分
		ピストンリング仕組	1気筒分
		始動弁(付属の場合)	1台分
		燃料噴射ポンプ仕組	1気筒分
		燃料噴射ノズル仕組	1気筒分
		燃料高圧管仕組	1台分
		燃料フィルタエレメント	1台分
		潤滑フィルタエレメント	1台分
		シリンダヘッドパッキン	1台分
		排気マニホールドガスケット	1台分
		冷却水連絡管用パッキン	1台分
		温度計(排気用、冷却水用、潤滑油用)	各1台分
		予備品箱	1台分
	ガスタービン	点火栓	1台分
		燃料こし器エレメント	1台分
		潤滑油こし器エレメント	1台分
		予備品箱	1台分
	電動機(水中ポンプ用以外)	ブラシ	1台分
監視操作制御設備及び電気設備	系統機器盤	ランプ、制御回路ヒューズ	現用の10%
		LEDランプ	現用各種毎に1個
		補助継電器類	現用各種毎に1個
		電力ヒューズ	各種毎に1相(三相分)
		予備品箱	1式

表－2　TJ10排水機場の予備品

TJ10排水機場			
機器名	名　称	機器名	名　称
原動機	吸気弁	原動機（続き）	ヘッドカバーパッキン(下)
	排気弁		潤品箱
	ピストンリング		冷却水連絡管用パッキン
	オイルリング	水中ポンプ用発電機	起動用発電機オイルフィルター
	燃料噴射ポンプ		起動用発電機燃料フィルター
	ノズル		主原動機排気温度計
	ノズルスプリング	操作制御機	補助継電器
	高圧管		パワーリレー
	温度計		タイマー
	弁バネ		ヒューズ(黄ヒューズ)
	Oリング		ヒューズ(爪つき)
	吸気管パッキン		LED表示灯
	排気管パッキン	その他	大型プロジェクター用ランプ
	ライナパッキン		清水槽ボールタップ
	ヘッドパッキン		LPスイッチ
	丸パッキン		SFPモジュール

表－3　TJ5排水機場の予備品

TJ5排水機場			
機器名	名　称	機器名	名　称
原動機	吸気弁仕組	原動機（続き）	シリンダライナゴムバンド
	排気弁仕組		オイルエレメント
	ピストンリング		燃料濾し器エレメント
	オイルリング	操作制御設備	各温度計
	プランジャ仕組		補助継電器
	プランジャスプリング		タイマー
	プランジャノズル		PLC DIセット
	ニードルバルブばね		PLC DOセット
	高圧管仕組		ヒューズ
	燃料吐出弁バネ		管(却断)ヒューズ
	燃料吐出弁バネ仕組		LED表示灯
	始動弁仕組		FIN(フィルター)
	シリンダライナパッキン		配線用遮断器

3.3　予備品の調査結果

各排水機場において管理されている予備品を表－2～6に示す。パッキン等の消耗品については、判断できる範囲で同一カテゴリをまとめて示すとともに、故障すると致命的な影響を与える部品については、表－1と同じ色に着色している。

調査結果より、次のことが分かった。

①各機場とも概ね共通仕様書（案）の規定を満足した部品を揃えている。

②比較的大型のディーゼル機関では、燃料噴射ポンプ・吸排気弁の仕組み品に合わせてプランジャ・弁本体などその構成部品を揃えている事例が多い（表－6参照）

③系統機器については消耗品以外の予備品はない（原動機や減速機周りの配管パッキン類などに限られている）

④致命的な部品の水中軸受やPLCを管理するケースがある（表－3及び表－5参照）

⑤予備品の総数は、機場の設計や規模によって異なり、250個から3000個を超えるケースがある（表－7参照）

⑥形式別では、横軸ポンプより立軸ポンプの方が予備品は多い（表－2、3及び表－7参照）

⑦主原動機はガスタービンの方がディーゼル機関より予備品（特に消耗品）の数が多い。（表－2、4、5及び表－7参照）

※記事・写真等は、（一社）河川ポンプ施設技術協会の許諾を得て転載しています。
記事、画像等の無断転載は一切お断りします。

表－４　TJ6 排水機場の予備品

TJ6排水機場			
機器名	名　称	機器名	名　称
主ポンプ	フローティングリング	原動機（続き）	オイルシール
	フローティングスリーブ		シールリング
	動受スリーブ		フィルタエレメント
原動機	エレメント		ワッシャ
	パッキン	操作制御	補助継電器
	Oリング		タイマー
	点火プラグ		フロートレススイッチ
	点火プラグ用ガスケット		ヒューズ
	燃料噴射ノズル		表示灯
	燃料ノズルインレット		表示灯（ランプカバー）
	ボルト		LED球
	ガスケット		

表－５　K1 排水機場の予備品

K1排水機場			
設備名	名　称	設備名	名　称
主ポンプ	動受スリーブ	原動機（続き）	シリンダーヘッドパッキン
	セラミック軸受		吸気弁仕組
	減圧フリッシュ		排気弁仕組
原動機	機関側面パッキン		排気管パッキン
	冷却水連絡管（Oリング）		関冷油温度計
	分配弁取付パッキン		冷却水温度計
	冷却水連絡管用Oリング		Vベルト
	アンチセンパーパッキン		排気温度計500℃
	過給機入口用排気温度計		温度計用パッキン
	冷却水温度計		ライナーパッキン
	温度計オイルクーラー用		クランクケースドアパッキン
	冷却水出口温度計		冷却水出口パッキン
	L．Oクーラー温度計		分配弁取付パッキン
	燃料ポンププランジャー		冷却水連絡管用Oリング
	燃料ポンプスプリング	監視操作制御設備	ヒューズ
	燃料吐出弁		LED球
	燃料ポンプスプリング		タイムリレー
	燃料量調エレメント		補助リレー
	燃圧管		リレー
	始動弁仕組		タイマー
	自動始動弁用パネ		リレーソケット
	燃料ポンプ仕組み		タイマーソケット
	燃料コシ器仕組		ヒューズ
	ピストンリング		電球
	燃料高圧管（補）		ETカートリッジ
	燃料噴射ポンプ		PLC

表－６　E19 排水機場の予備品

E19排水機場			
機器名	名　称	機器名	名　称
原動機	各部管パッキン	原動機（続き）	燃料噴射弁用ガスケット
	潤滑油		燃料噴射弁用集合
	各部用パッキン		燃料噴射用ノズル
	各部用Oリング		燃料噴射ポンプ用集合
	ガスケット		燃料用ノズル
	LOHCポンプ仕組		燃料弁ノズルナット用銅パッキン
	メロケース		燃料ポンプノズルソケット
	消耗パッキン		燃料弁パネ
	各インジケータ用パッキン		燃料弁ボディー用ガスケット
	オイルシートパッキン		燃料弁ボディー用ゴムパッキン
	Oリング		燃料弁ユニット組
	過給機用パッキン		燃料弁用ノズル
	過給機下蓋品用		燃料弁用パネ
	各軸受用平滑品用		燃料ポンプ吐出弁
	調速抽調ピンバーパネ		燃料ポンプ吐出弁用銅パッキン
	キーストリング		燃料ポンプ吐出弁用パネ
	スリーブパネ		燃料ポンプ吐出弁用パネ
	ギヤケースOリング		燃料ポンプ用ガスケット
	吸気管ガスケット		燃料ポンプ用ゴムパッキン
	吸気弁用パネ		燃料ポンプ用銅パッキン
	吸気弁用パネ		燃料ポンプ用銅パッキン
	吸気弁本体		燃料ポンプ用銅パッキン
	吸気弁ノーマル		燃料ポンプ用銅パッキン
	吸気弁用Oリング		燃料ポンプ用銅パッキン
	燃焼ガス吸管		燃料ポンプ用銅パッキン
	燃料ポンプ用銅パッキン

消耗品については主ポンプや主原動機本体周りの部品以外の規定はないため、ここではその必要性について検討する。

消耗品に関して重要な視点は、これら消耗品を要する部品交換等の作業が通常の点検工程内で完了するか否かである。消耗品は、市場に流通していて価格も安く調達しやすい部品が多いので、当該部品を必要とする作業時間が長い場合（例えば分解に時間を要する機器内部の消耗部品）は、その作業時間内にフレッシュな部品を調達できてしまう。

従って、共通仕様書（案）に規定がない系統機器の範囲において、通常の点検作業（2～5日程度）内に作業が完了する部品が予備品として相応しいと考え、その範囲は次のとおりとした。

①ガスケット、パッキン類

使用されている配管径毎に必要最低枚数を用意する。水槽、ポンプ、バルブ、計器、フローサイトなどの接続部に使用されているものは、当該機器を取り外すときに必要となる。機器の取り外しを想定する場合、同規格当たり最低2枚は必要となる。

- 冷却水配管　• 燃料配管
- 潤滑油配管　• 空気配管

ガスケット及びパッキンの規格は、「JIS B 2404　管フランジ用ガスケットの寸法」などの関連規格とメーカ規格等を充分勘案したものを選定する。

②ボルト、ナット、ワッシャー類

各系統機器の配管ライン及び致命的機器の取付部で、腐食環境にある箇所や振動が発生しやすい箇所などについて、1ユニット（当該箇所に使用されている本数）が必要と考える。

これらの判断は、定常的に実施する点検・整備の結果判断すべきものであり、腐食・緩みなどの故障モードが点検で確認された実績をよく確認して選定すべきである。

③電気品

遮断器、電磁接触器や保護回路を含む電磁開閉器については、補助継電器や小さなヒューズに比べ使用電流が高いため比較的高価な部品である。これらの盤内部品については消耗品として取り扱えるかシステム上の評価が必要である。遮断器類は、冗長性がない各ラインの単独機器である場合には、予備品を検討するべきと考えるが、故障の発生が突発的でなおかつ保存性の問題もあるので、他の重要部品と合わせて統計的データに基づき、時間計画保全の精度を上げる等の管理手法を検討すべきものである。

5.2 FMEAの実施

重要な予備品候補を信頼性工学の観点で検討・抽出する方法として、FMEA（Failure Mode and Effects Analysis；故障モード影響解析）を用いることとし、その結果を基に、その他市場性等の条件について追加調査を行って予備品の具体的検討を行った。

FMEAは、システムを構成する機器・部品に故障が発生した場合に、その故障が設備全体に与える影響を解析し、システムにとって致命度の高い機器を明確にする解析手法である。

FMEAは、まず解析したいシステムを構成機器・部品に分解しなければならないが、詳細に分解するほど重要な部品を特定しやすい反面、業務量が増大し、評価する技術力・情報量が必要となる。

当センターでは、土木研究所報告No.217「河川ポンプ設備の信頼性と経済性を考慮したマネジメント手法に関する研究」（2011.1）に準拠し部品を区分した。次に重要なことは、部品に発生する故障を引き起こす「故障モード」を明らかにし、その原因を関連づけることである。故障モードとは、故障原因そのものではなく、故障原因からもたらされる不具合事象の様式の分類であり、故障とその原因を関連づける事象である。この関係を図－2に示す。

原因（故障モードの原因）→ 故障モード → 故障（故障モードの影響）

図－2　原因、故障モード、故障の関係

FMEAの評価は、各機器・部品に起こりえる故障を列挙した上で、発生した場合の「システムへの影響度」「故障モード発見の容易性」「故障発生頻度」という3要素を総合的に評価し、致命度を求める。具体的な評価は、各項目とも下記のとおり4段階（4点法）で表すこととしている。

FMEAは、一般的に技術改善すべき部品の抽出に用いるが、4点法においては、2を超える（特に2.3以上）部品について改善を図り、故障等級を低下させる取組を行う。この概念から、本評価指標は、「4」「3」は「無視できないレベル」、「2」「1」は「許容できるレベル」という目安で設定している。

【システムへの影響度：E】

機器又は部品に故障が発生した際に、システムに与える影響の度合いを評価する。

4：当該部品が故障すると重故障

3：当該部品が故障すると軽故障

2：当該部品が故障しても軽微な影響

1：影響なし（事後保全でよいもの）

【故障モード発見の容易性：F】

機器又は部品に発生する故障モードの発見の容易性について評価する。

4：事実上発見が難しいもの

3：定期整備のように分解しないと発見できないもの

2：年点検レベルで発見できるもの

1：月点検（管理運転）レベルで発見できるもの

【故障発生頻度：R】

機器又は部品に発生故障モードが発生する頻度を評価する。故障発生頻度の評価は、年点検及び月点検の実施項目及び点検間隔に基づき許容できるレベルを算定した上で実施したい。

しかし、現状では部品レベルの詳細な故障情報の集約が困難であることから、目安として把握している全国機場を対象とした機器・部品の故障情報（土木研究所報告No.217「河川ポンプ設備の信頼性と経済性を考慮したマネジメント手法に関する研究」（2011.2）及び当センターにおける追加調査結果）を基に、延べ供用時間（供用されている個数×供用時間）に対する故障発生頻度を算定し、部品の種別ベースで発生頻度を概ね3等分する範囲を求め、故障情報がない場合（故障がない場合を含む）と合わせ、次のとおり4段階で評価した。

4：0.1×10^{-6}（1/H）以上

3：0.05×10^{-6}（1/H）以上0.1×10^{-6}（1/H）未満

2：0.05×10^{-6}（1/H）未満

1：0あるいは故障情報がない部品

本指標は、全故障件数を担保したものでないため非常に小さい数値となっている。よって本数値は、FMEAで致命度を算定する上での指標としてのみ活用するものである。

最終的に、各部品の重要度を「致命度」として次の式で定義する。

$$致命度 = \sqrt[3]{E\times F\times R}$$

当該計算結数値が高い部品ほど3つの要素の影響を強く受ける部品であるといえる。

本考察では、セラミック軸受を採用した標準的な設計であるTJ10排水機場を事例としてFMEAを実施した。

構成部品を300に分けて評価したところ、致命度が2.3以上の部品は140種に達した。当該結果に基づき、致命度が高い2.9以上の上位部品を表－9に示す。本事例では、部品毎に複数考えられる故障と故障モードについて代表的1項目を表示している。

関東地整管内で発生した他機場の故障事例にある「ガスタービン用PLC」「コラム型水中ポンプ」は本システムには含まれず、「変圧器」「ディーゼル機関付冷却水ポンプ」は統計的には故障発生頻度が低いため致命度は低くなった。また、このシステムに使用されているその他のPLCについては、設計上冗長性があるため致命度は低くなっている。

表－9に示す部品を含め、140種に及ぶ部品全てを予備品とすることは不経済で現実的ではない。表－7に示すとおり、現状でも多数の予備品を管理しているため、危機管理を考慮しながらも使用される可能性が著しく低い部品を排除したい。よって本考察においては、復旧に掛る日数、市場性、費用、部品の保存性等の諸条件について評価を行った。

表－9　TJ10排水機場のFMEA結果（抜粋）

機器・部品区分	詳細部品名	故障	故障モード	システムへの影響度：E	故障モード発見の容易性：F	故障発生頻度：R	致命度
主軸及び軸受	水中軸受(セラミック)	回転不良	セラミック損傷	4	3	4	3.6
インペラ	羽根車	排水能力の低下	腐食	4	3	4	3.6
機関本体関係	潤滑油	原動機停止	折損	4	3	3	3.3
機関本体関係	クランクピンメタル	出力低下	破損	4	3	3	3.3
機関本体関係	吸・排気弁	作動不良	破損	4	3	3	3.3
燃料系統(機関)	燃料噴射ポンプ	燃料噴射せず	コントロールラック故障	4	2	4	3.2
無停電電源装置	蓄電池	電圧不良	断線	4	2	4	3.2
直流電源盤	蓄電池	電圧不良	断線	4	2	4	3.2
機関本体関係	過給機	出力低下	タービン欠損	4	2	4	3.2
消音器・排気管	排気管	排気不能	火災	3	3	3	3.0
吐出弁	本体	止水不全	変形	3	3	3	3.0
吐出弁	電動機	作動しない	電子回路基板故障	3	3	3	3.0
電動装置(除湿機)	減速機	作動不良	歯車損傷	3	3	3	3.0
機関本体関係(発電機)	ピストン	原動機停止	カーボン付着	4	3	2	2.9
機関本体関係(発電機)	ピストンピン	原動機停止	損傷	4	3	2	2.9
機関本体関係(発電機)	ピストンリング	圧縮漏れ	摩耗	4	3	2	2.9
機関本体関係(発電機)	オイルリング	燃焼へのオイル混入	摩耗	4	3	2	2.9
インペラ	羽根車ナット	羽根車脱落	腐食	4	3	2	2.9
冷却水系統	電磁弁	止水不良	電磁石断線	3	2	4	2.9
冷却水系統	電動弁	止水不良	電動機断線・短絡	3	2	4	2.9
計装類	蓄電池	電圧不良	断線	3	2	4	2.9
機関本体関係(発電機)	吸・排気弁	作動不良	破損	4	3	2	2.9
機関本体関係	調速機	原動機回転数不安定	ガバナ軸折損	4	2	3	2.9
主軸及び軸受	軸給水軸封装置	水漏れ	損傷	4	2	3	2.9
発電機	本体	発電しない	断線	4	2	3	2.9
発電機	センサ類	作動しない	断線	4	2	3	2.9
冷却水系統(減速機)	潤滑油冷却器	油温制御不能	配管腐食	4	2	3	2.9
燃料系統(機関)	燃料噴射弁(燃料弁)	燃料噴射せず	ノズル破損	4	2	3	2.9
燃料系統(機関)	高圧管	燃料噴射せず	燃料漏れ	4	2	3	2.9
燃料系統	燃料貯油槽	燃料漏れ	腐食	4	2	3	2.9
潤滑油系統(機関)	潤滑油冷却器	油温制御不能	配管腐食	4	2	3	2.9
機関本体関係	シリンダヘッド	圧縮ガス漏れ	変形	4	2	3	2.9
機関本体関係	ライナ	圧縮ガス漏れ	やぶれ	4	2	3	2.9
機関本体関係	ピストン	原動機停止	カーボン付着	4	3	2	2.9
発電機	軸受	回転不良	ベアリング損傷	4	3	2	2.9
主軸及び軸受	軸継手	トルク伝達不良	ボルトはずれ	4	3	2	2.9
主軸及び軸受	主軸	回転不良	変形	4	3	2	2.9
主軸及び軸受	スリーブ	回転不良	破損	4	3	2	2.9
機関本体関係	ピストンピン	原動機停止	損傷	4	3	2	2.9
冷却装置(機関)	インタークーラ	給気冷却能力低下	フィン腐食	4	3	2	2.9
機関本体関係	ピストンリング	圧縮漏れ	摩耗	4	3	2	2.9
機関本体関係	オイルリング	潤滑不良	摩耗	4	3	2	2.9

5.3　重要部品の評価

表－9に示すTJ10排水機場のFMEAの結果に基づき、その他の諸条件について下記のとおり指標を設け、予備品化に関する評価を実施した。

【FMEAより評価する条件】

- 致命度：致命度が低いものは予備品として不適と判断
  「2.3」以上の部品を選定
- 故障発生頻度：使用する可能性が高いものを評価
  「4」及び「3」の部品を選定

【システム設計により評価する条件】

- 冗長性：二重化されていない機器・部品を優先
  「有」二重化されている
  「無」二重化されていない

【市場調査項目】

- 復旧に要する所要時間：時間が長いものを優先
  所要時間は、部品調達に要する時間と作業時間の和である
- 供給性：市場性を下記の区分で把握
  「受注生産」　受注後に設計し生産する
  「汎用品１」　市場で流通されている標準品
  「汎用品２」　標準品だが市場性が低い
- 保存性：良好なものを選択する
  「G」：良好
  「B1」：保管するには大きい又は重い
  「B2」：機能保持の管理が難しい
- 価格：当該施設の年度保全計画に照らし評価
  「○」：通常の保全サイクルで対応可
  「×」：別途予算化必要

上記条件に基づく評価結果を表－10に示す。

予備品候補の評価は、次のとおりである。

○：予備品とすべき部品

×：予備品にできない、あるいは必要性が低い部品

▲：高価部品のため他の対応策を検討すべき部品

△：細分化した構成部品で再評価すべき部品

共通仕様書（案）で規定されている部品は緑で縁み掛けした。概ね評価結果を総括すると以下のとおりである。

①共通仕様書(案)で規定されている原動機の部品のうち、発電機用主原動機の燃料噴射ポンプ、吸・排気弁については故障発生頻度が低く、かつ二重化されたシステムであるため上位に評価されない。これらを予備品とするメリットは、出水時の故障における復旧時間の短縮であり、機場の稼働実績（1洪水当たりの運転時間等）

表－10　重要部品の予備品評価

機器・部品区分	評価部品名	故障発生頻度(R)	致命度	復旧までの所要時間	冗長性(二重化)	供給性	保存性	経済性	予備品候補
主軸及び軸受	水中軸受(セラミック)	4	3.6	約8ヶ月	無	受注生産	G	×	▲
インペラ	羽根車	4	3.6	約10ヶ月	無	受注生産	B1	×	×
燃料系統(補助)	燃料噴射ポンプ	4	3.2	約4ヶ月	無	汎用品2	G	○	○
非常電電源装置	蓄電池	4	3.2	約3ヶ月	無	汎用品2	B2	○	×
直流電源装	蓄電池	4	3.2	約3ヶ月	無	汎用品2	B2	×	×
機関本体関係	過給機	4	3.2	約8ヶ月	無	受注生産	B2	×	△
冷却水系統	電磁弁	4	2.9	約2ヶ月	有	汎用品1	G	○	×
冷却水系統	電動弁	4	2.9	約2ヶ月	有	汎用品1	G	○	×
空気始動系統(発電機機関)	分配弁・電止弁・排気弁	4	2.5	約3ヶ月	有	汎用品2	G	○	○
空気始動系統(機関)	分配弁・電止弁・排気弁	4	2.5	約4ヶ月	無	汎用品2	G	○	○
空気始動系統(機関)	始動弁	4	2.3	約4ヶ月	無	汎用品2	G	○	○
空気始動系統(機関)	浮上電磁弁	4	2.3	約4ヶ月	無	汎用品2	G	○	○
レーキ機構	レーキ	4	2.3	約8ヶ月	無	受注生産	B1	×	×
始動系統	空気圧縮機	4	2.0	約6ヶ月	有	受注生産	B2	×	×
冷却水系統	冷却水用循環ポンプ	4	2.0	約2ヶ月	有	汎用品2	B2	×	×
機関本体関係	連接棒	3	3.3	約8ヶ月	無	受注生産	G	×	▲
機関本体関係	クランクピンメタル	3	3.3	約8ヶ月	無	受注生産	G	×	▲
機関本体関係	吸・排気弁	3	3.3	約3ヶ月	無	受注生産	G	×	○
消音器・排気管	排気管	3	3.0	約5ヶ月	無	受注生産	B1	×	×
吐出弁	本体	3	3.0	約6ヶ月	無	受注生産	B2	×	×
動力伝達装置(除塵機)	減速機	3	3.0	約3ヶ月	無	汎用品2	B2	×	×
機関本体関係	調速機	3	2.9	約8ヶ月	無	受注生産	B2	×	△
主軸及び軸受	無給水軸封装置	3	2.9	約8ヶ月	無	受注生産	G	×	▲
発電機	本体	3	2.9	約10ヶ月	有	受注生産	B1	×	×
発電機	センサ類	3	2.9	約5ヶ月	有	汎用品2	G	○	△
冷却水系統(減速機)	潤滑油冷却器	3	2.9	約5ヶ月	無	受注生産	B2	×	×
燃料系統(補助)	燃料噴射弁(燃料弁)	3	2.9	約4ヶ月	無	汎用品2	G	○	○
燃料系統(補助)	高圧管	3	2.9	約8ヶ月	無	受注生産	G	○	○
燃料系統	燃料貯油槽	3	2.9	約8ヶ月	無	受注生産	B1	×	×
潤滑油系統(補助)	潤滑油冷却器	3	2.9	約8ヶ月	無	受注生産	B2	×	×
機関本体関係	シリンダヘッド	3	2.9	約8ヶ月	無	受注生産	G	×	▲
機関本体関係	ライナ	3	2.9	約8ヶ月	無	受注生産	G	×	▲
ベルトローラ部(コンベア)	チークアップ装置	3	2.6	約8ヶ月	無	受注生産	B1	×	×
レーキ機構	チークアップ装置	3	2.6	約8ヶ月	無	受注生産	B1	×	×
冷却水系統	電動ボールボ	3	2.6	約2ヶ月	有	汎用品1	G	○	×
計装盤	計器	3	2.6	約3ヶ月	無	汎用品2	G	○	△
計装盤	変換器・調節器	3	2.6	約3ヶ月	無	汎用品2	G	○	△
逆流防止弁	弁体	3	2.6	約8ヶ月	無	受注生産	B1	×	×
機関本体関係	クランク軸	3	2.3	約9ヶ月	無	受注生産	B1	×	×
機関本体関係	クランク歯車	3	2.3	約9ヶ月	無	受注生産	B2	×	×
潤滑油系統(補助)	オイルパン	3	2.3	約4ヶ月	有	汎用品2	G	○	○
冷却水系統(発電機機関)	機関付冷却水ポンプ	3	2.3	約3ヶ月	無	汎用品2	G	○	△
燃料系統	燃料移送ポンプ	3	2.3	約2ヶ月	有	汎用品2	B2	○	×
データ伝送装置	計器	3	2.3	約3ヶ月	無	汎用品2	G	○	○
遠方・中央CRT	盤内器具	3	2.3	約3ヶ月	無	汎用品2	G	○	△

や、原動機機種に依存する復旧作業時間を適切に把握しておく必要がある。

②原動機空気系統・燃料系統の弁類及び高圧管については、経済性を考慮した上で予備品として選定すべきと評価した。

③水中軸受は、当該機場で故障実績があるため予備品としたいが、非常に高額であり、他の対策と含め別途検討が必要。

④予備品候補で○となった主原動機の各構成部品については、「JIS F 7601　船舶機関部予備品」の付属書に示される予備品にも含まれている重要部品である。しかし、価格が非常に高価であり、故障原因に基づく予備品以外の対策検討が必要。

⑤主原動機の過給機及び主ポンプの無給水軸封装置については、長期に渡る機能の担保（保存性）と経済性双方に課題があることから、さらに故障実績を解析して、構成部品に細分した評価を実施すべきである。

⑥主原動機の機関付冷却水ポンプは、故障事例もあり予備品として管理すべきであるが、本体と一体化しているので、部品として準備する範囲をさらに検討する必要があると評価した。

⑦計器・センサー類その他盤内器具については、故障情報が充分ではなく、さらに細分化して冗長性の有無、故障実績に基づく候補を評価する必要がある。

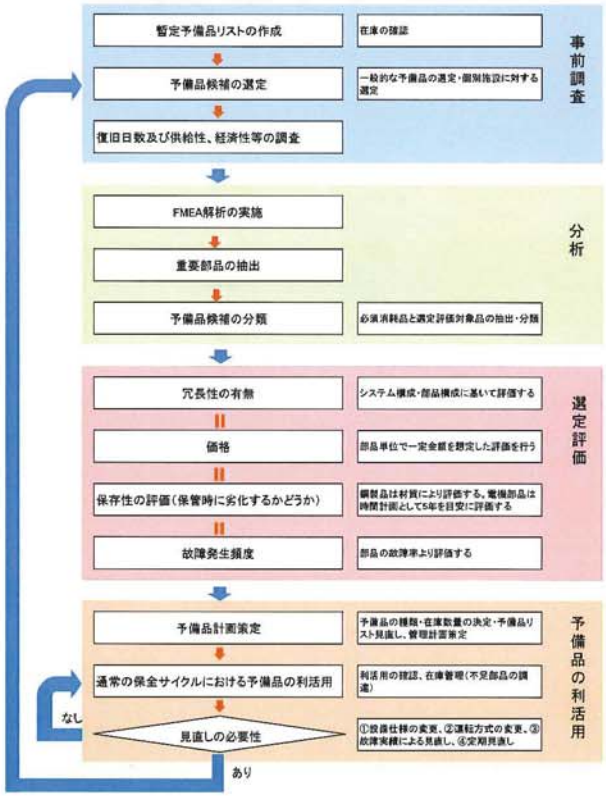
⑧PLCについては、冗長性の有無と価格によって個別に評価が必要であるが、技術開発速度が速いので陳腐化する可能性も考慮しなければならない。

6．まとめ

現在得られる限られた故障データと、一つのモデル機場の設備構成に基づき、FMEAを用いて予備品選定の考察を行った。本来FMEAは、致命度が高い部品を見いだし、致命度を下げる改善方策を検討するためのツールである。今回の考察によって、故障発生頻度、故障実績に基づき予備品を選定すれば、高額部品も対象となることを示したが、この場合においては点検方法、仕様改善、時間計画保全の精度向上などその他の方策と比較検討を行う必要がある。

また、合理的かつ効率的な維持管理の推進には、質の高い維持管理情報の収集・分析が不可欠である。

予備品管理に関する本考察を基に、想定される管理計画策定のフローを図－3にまとめた。今後、複数の河川ポンプ設備の条件において検証を行い、ステークホルダ間で具体的な問題点の洗い出しと改善を図り、運用できるレベルにまとめていきたい。



図－3　予備品計画策定フロー（案）