

1. 3 保全方式の適用

ポンプ設備を構成する機器・部材や部品等は、運転の時間経過とともに摩耗や腐食等の劣化が進行し、性能が低下するため、ポンプの設置目的、機器等の特性、設置条件、操作状況等を考慮し、効率的かつ計画的に機能保全を実施する。

【解説】

(1) 保全方式の分類

保全とは、信頼性用語として「常に使用及び運用可能状態に維持する、又は故障、欠陥などを回復するためのすべての処置及び活動」と定義され、この保全の方式としては、予防保全と事後保全に大別される。

予防保全 (Preventive Maintenance (PM)) は、設備の使用における故障を未然に防止し、設備を使用可能状態に維持するために計画的に行う保全であり、事後保全 (Breakdown Maintenance (BM)) は、設備が機能低下、又は機能停止した後に使用可能状態に回復する保全である。予防保全はさらに、時間計画保全 (Time Based Preventive Maintenance (TBM)) と状態監視保全 (Condition Based Preventive Maintenance (CBM)) に使い分けられ、事後保全は通常事後保全 (Planned Breakdown Maintenance (PBM)) と緊急保全 (Emergency Breakdown Maintenance (EBM)) に分けられる (図1-18)。なお、本手引きにおいては、全ての保全方式において、時間計画保全の一つである点検・整備が必須であることを前提としている。

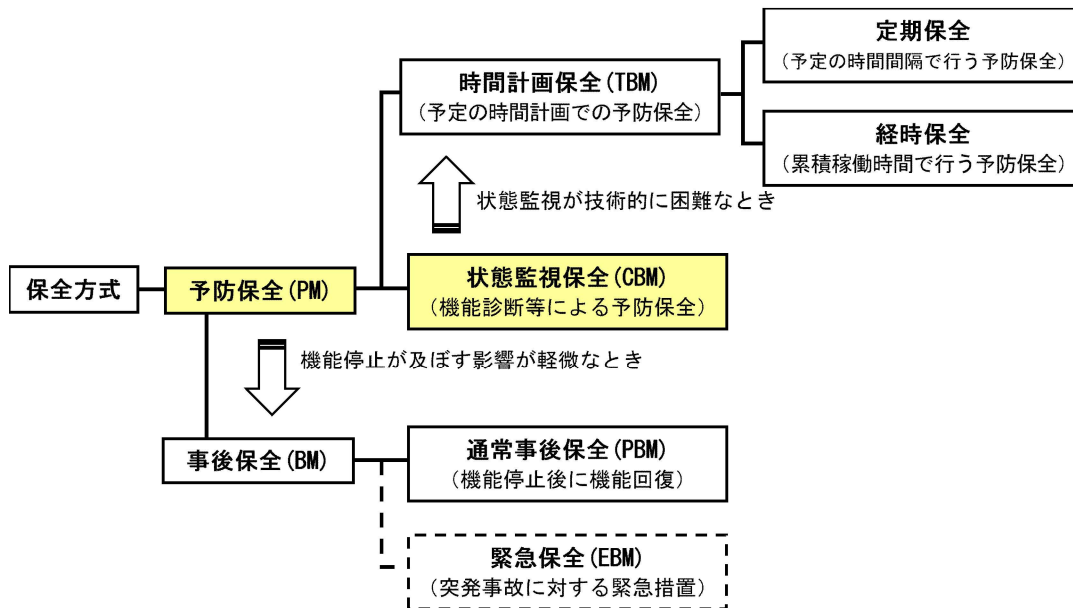


図1-18 保全方式の区分 (JIS Z 8115 : 2019)

(2) 予防保全の考え方

予防保全には、時間計画保全と状態監視保全がある。時間計画保全は、予定の時間計画（スケジュール）に基づく予防保全の総称で、予定の時間間隔で行う定期保全と設備や機器が予定の累積稼働時間に達したときに行う経時保全に大別される。計画的に実施する定期点検（月次点検・年次点検）や定期整備（定期的な部品等の交換を含む）は、時間計画保全に含まれる。状態監視保全とは、運転中の設備の状態を計測装置などにより観測し、その観測値に基づいて保全を実施するものである。常に、設備状態の傾向を監視・分析することにより異常（劣化の程度）の早期発見や、以後の劣化進行の予測を行い、適切な時期に保全を実施することが可能であり、近年では状態監視保全の実績も増えてきている。本手引きにおいては、日常点検、定期点検及び機能診断調査時の測定データによる劣化傾向の把握（傾向管理）も状態監視保全に含めるものとする。

(3) 事後保全の考え方

事後保全は、通常事後保全と緊急保全に分類されるが、通常事後保全とは、管理上、予防保全を実施しないと決めた機器・部材や部品等の性能低下に対する処置をいう。緊急保全とは、管理上、予防保全を行うと定めた機器・部材や部品等の予測が不可能な突発的故障に対する緊急処置をいう。

(4) ポンプ設備の重要度区分と保全方式

ポンプ設備は、ゲート設備と比べても部品点数が多く、構造も複雑な部類に属しているが、通常、保全方式は予防保全（PM）が基本であり、機器・部材等の不具合の兆候を早い段階で検知・監視しながら、その傾向管理を行う状態監視保全（CBM）を行うことが望ましい。

ただし、設備の重要度に応じて事後保全（BM）を適用するなど、保全の合理化を図ることも必要であり、例えば、事故が発生しても被害や復旧費用が少なく、予防保全による機能診断調査を行うよりも事後保全の方が明らかに経済的な設備は、機能診断調査の対象外とすることなどを検討するとよい。

ポンプ設備等の重要度区分と適した保全方式について表1-8に示す。

表1-8 ポンプ設備等の重要度区分と適した保全方式

設備の重要度区分	重要度要素	対象設備の例 ^{※1}	適した保全方式
高	設備が故障し機能を失った場合、国民の生命・財産に影響を及ぼすおそれのある設備	設備の重要度区分「中」に該当し、かつ次の①、②のいずれかに該当するもの。 ①排水ポンプ設備の例 ポンプ場の災害により、地域住民の生命・財産やライフラインに重大な影響を及ぼす ②用水ポンプ設備の例 施設の復旧が困難で、被災により地域の経済活動や生活機能に重大な影響を及ぼす	予防保全（PM）
中	設備が故障し機能を失った	上記①、②に該当しない用排水設備及	予防保全（PM）

	場合、営農を含む社会経済活動に影響を及ぼすおそれのある設備	び除じん設備	又は事後保全 ^{※2} (BM)
低	設備が故障し機能を失った場合、施設管理者の業務に影響が生じるものの、営農を含む社会経済活動への影響が限定的な設備	付帯設備 (クレーン設備、換気設備) など	事後保全 (BM)

※1 対象設備の例は、土地改良事業計画設計基準・設計「ポンプ場」技術書のポンプ場の重要度区分を参考とした。

※2 施設の重要度や地域の要求性能を加味し予防保全か事後保全を決定する。

(5) 点検項目と点検周期の検討

ポンプ設備の機能保全に当たっては、より効率的に取り組む観点から、施設管理者が行う日常点検や定期点検等と連携・調整を図るとともに、設備・部位の重要度、使用条件、使用環境、稼働形態、装置や機器等の特性等を考慮して、適切な保全方式を設定し、点検・機能診断調査項目の抽出や点検周期の合理化を図ることが重要である。

例えば、重要な設備の点検においては、年次点検、管理運転点検、運転時点検を全て行うことが望ましいが、設備の稼働形態が待機系と常用系に分かれる場合、運転時点検の少ない待機系においては、管理運転点検を必須とするなど、点検項目に軽重を付けるとよい。

また、点検周期の検討に当たっては、出水期／非出水期等、期別の稼働形態を加味して点検頻度を定めるなど、点検の合理化を図るとよい。点検周期の例を表1-9に示す。

表1-9 重要度や稼働形態を考慮した点検周期の例

設備の重要度	稼働形態 (※1)	点検周期		
		定期点検		日常点検
		年次点検	管理運転点検	運転時点検
高	常用系	1回/年	—	標準周期
	待機系	1回/年	標準周期 (※2)	稼働時
中	常用系	1回/年	—	標準周期×2 (※3)
	待機系	1回/年	標準周期×2 (※4)	稼働時
低	常用系 / 待機系	1回/年	—	—

※1：常用系は、用水（かんがい）ポンプや常時排水ポンプなど常時稼働する設備

待機系は、洪水時排水ポンプなど常時稼働しない設備

※2：出水（かんがい）期は月1回を標準、非出水（非かんがい）期は2～3か月に1回を標準とする。

※3：運転時点検項目が管理運転点検項目を満たす場合は、管理運転点検を兼ねて運転時点検を行い、その周期は標準の2倍程度に延長可能とする。

※4：設備の重要度区分「高」の標準周期の2倍程度に延長可能とする。

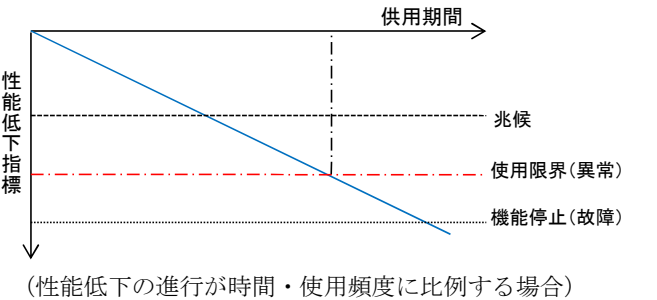
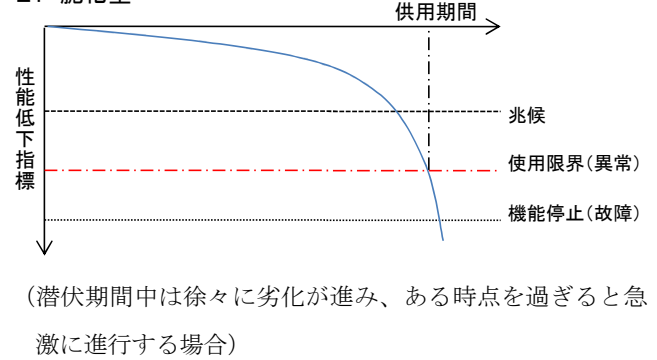
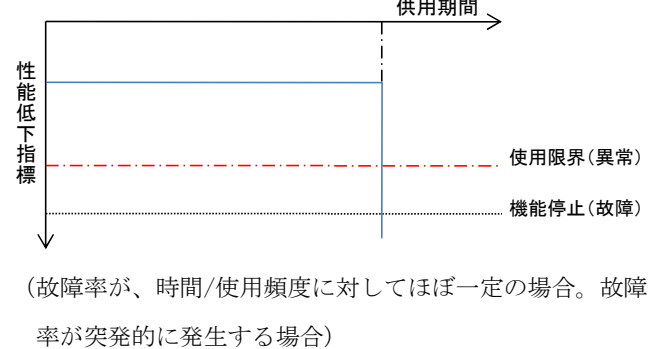
(6) 部位の劣化特性や重要度に応じた保全方式

1) 機器・部材や部品等の劣化特性と保全方式

機器・部材や部品等の不具合の発生は、一般的に経年劣化型、脆化型、突発型に分類される。本図書では、故障の起こりやすさを劣化傾向として取り扱うものとし、劣化傾向に着目すると、それぞれの劣化特性に適応した保全の方式が、表1-10のとおり設定できる。

このため、それぞれの劣化特性に合った保全方式を選択することが必要である。

表1-10 機器・部材や部品等の劣化特性と保全方式

劣化特性	性能低下予測・傾向管理	基本的な保全方式
<p>1. 経年劣化型</p>  <p>(性能低下の進行が時間・使用頻度に比例する場合)</p>	可能	<p>[状態監視保全 C BM]</p> <p>定期点検等によって性能低下の兆候及び進行状況を把握することができるため、状態監視保全を適用する。</p>
<p>2. 脆化型</p>  <p>(潜伏期間中は徐々に劣化が進み、ある時点を過ぎると急激に進行する場合)</p>	可能	<p>[状態監視保全 C BM]</p> <p>定期点検等によって性能低下の兆候及び進行状況を把握することができるため、状態監視保全を適用する。ただし、兆候が現れてから性能低下の進行が急激に進むため注意が必要である。</p>
<p>3. 突発型</p>  <p>(故障率が、時間/使用頻度に対してほぼ一定の場合。故障率が突発的に発生する場合)</p>	不可	<p>故障が突発的に発生することから事前に不具合の兆候を発見・把握することができない。</p> <p>[時間計画保全 T BM]</p> <p>影響度の大きい機器の場合は、定期的な交換・更新を適用し、未然に故障の発生を防ぐ。</p> <p>[通常事後保全 P BM]</p> <p>影響度が小さい機器の場合は、事後保全にて対応する。</p>

(国土交通省「河川用ポンプ設備 点検・整備・更新マニュアル(案)」を参考に整理)

2) ポンプ設備の構成部位毎の重要度と保全方式

ポンプ設備の構成部位毎の重要度に対応する適した保全方式は、表1-11のように整理できる。

これは、設備機能の維持に対して影響度が大きい機器・部品等については、不具合の発生を極力回避するよう予防保全を適用して設備機能を確実に確保する一方、影響度の小さい機器・部品等については、事後保全を適用し、壊れるまで使うことで費用対効果を最大限に得ることを考慮している。従って、通常事後保全で良いと判断した部位については、機能診断調査の対象外とすることも検討する。

表1-11 部位の重要度に適した保全方式の例

部位の重要度	定義	性能低下予測 傾向管理	適した保全方式
A (設備への影響度大)	部位の劣化や破損により、 重大事故や設備の機能停止 につながる部位	可 能	状態監視保全 (CBM) 時間計画保全 (TBM) ※
		不 可	時間計画保全 (TBM)
B (設備への影響度大)	部位の劣化や破損により、 設備の性能低下につながる 部位	可 能	状態監視保全 (CBM) 時間計画保全 (TBM) ※
		不 可	時間計画保全 (TBM)
C (設備への影響度小)	部位の劣化や破損が生じて も、設備の性能低下が限定 的な部位	可 能	通常事後保全 (PBM) 状態監視保全 (CBM) ※
		不 可	通常事後保全 (PBM)

※設備の重要度が高い設備にあつては、性能低下予測が可能であっても重要度A、Bの部位についてはTBMの適用を検討するとともに、重要度Cの部位についてはCBMの適用を検討する。

また、部位に適した保全方式の例に従い、部品の劣化特性を考慮して保全方式を整理すると、表1-12に示すとおりとなる。

なお、ポンプ設備の場合は部位の性能低下が設備全体の機能停止につながるが多いため、状態監視保全 (CBM)、時間計画保全 (TBM) のいずれか、又は両方式を併用する保全方式が基本となるが、ケーシングの塗装 (重要度C) など、他の部位への影響が小さい項目に限って、通常事後保全 (PBM) とするのが適当との考え方で整理した。

表1-12 部位毎の重要度と適した保全方式

機器 名称	形式	部品名称	部位の 重要度	適した保全方式
主 ポ ン プ	渦巻ポンプ	ケーシング	A	CBM (塗装はPBM)
		インペラ	A	CBM
		ライナリング	A	CBM
		主軸	A	CBM
		パッキンスリーブ	A	CBM
		軸受 (ころがり軸受)	A	CBM又はTBM※ ¹
		軸封部 (グランドパッキン)	A	CBM
		軸封部 (無給水軸封装置(メカニカルシール等))	A	TBM
	横軸軸流 (又は斜流) ポンプ (チューブラポンプは 横軸軸流 (又は斜流) ポンプに準じる)	ケーシング	A	CBM (塗装はPBM)
		インペラ	A	CBM
		ライナリング	A	CBM
		主軸	A	CBM
		水中軸受	A	TBM

機器名称	形式	部品名称	部位の重要度	適した保全方式
		水中軸受スリーブ	A	T B M
		外側軸受（ころがり軸受）	A	C B M又はT B M※1
		軸封部（グランドパッキン）	A	C B M
		軸封部（無給水軸封装置（メカニカルシール等））	A	T B M
		パッキンスリーブ	A	C B M
	立軸軸流（又は斜流）ポンプ	ケーシング	A	T B M（塗装はP B M）
		インペラ	A	T B M
		主軸	A	T B M
		水中軸受	A	T B M
		水中軸受スリーブ	A	T B M
		ケーシングライナ	A	T B M
		軸受箱	A	T B M
		外側軸受（ころがり軸受）	A	T B M
		軸封部（グランドパッキン）	A	C B M
	軸封部（無給水軸封装置（メカニカルシール等））	A	T B M	
パッキンスリーブ	A	T B M		
主原動機	かご形誘導電動機	フレーム	A	T B M
		固定子部 （コア、コイル、コイルエンド）	A	T B M
		回転子部（コア、コイル）	A	T B M
		主軸	A	T B M
		軸受（ころがり軸受）	A	C B M又はT B M※1
		すべり軸受	A	T B M
		オイルリング	A	T B M
		スペースヒータ	B	T B M
		リード線	A	T B M
主原動機	巻線形誘導電動機	フレーム	A	T B M
		固定子部 （コア、コイル、コイルエンド）	A	T B M
		回転子部（コア、コイル）	A	T B M
		主軸	A	T B M
		軸受（ころがり軸受）	A	C B M又はT B M※1
		すべり軸受	A	T B M
		オイルリング	A	T B M
		スペースヒータ	B	T B M
		スリップリング	A	T B M
		ブラシ	A	T B M
		リード線	A	T B M
	ディーゼル機関	ピストン	A	T B M
		シリンダヘッド	A	T B M
		クランク軸	A	T B M
		接続棒	A	T B M
		主軸受メタル他	A	T B M
		過給機部	A	C B M
		潤滑油プライミングポンプ	A	T B M
		潤滑油ポンプ	A	C B M
		潤滑油クーラ	A	C B M
		燃料噴射ポンプ	A	C B M
		燃料噴射弁	A	T B M
		調速装置	A	T B M

機器名称	形式	部品名称	部位の重要度	適した保全方式
		内部冷却水ポンプ	A	TBM
		清水クーラ	A	CBM
		始動弁	A	CBM
		分配弁	A	TBM
		塞止弁	A	TBM
		セルモータ	A	CBM
動力伝達装置	減速機	ケース	A	TBM
		歯車	A	TBM
		主軸	A	TBM
		軸受（ころがり軸受）	A	CBM又はTBM ^{※1}

TBM：時間計画保全（信頼性による修繕、取替の標準年数が経過した時点で詳細点検又は分解整備等を実施。）

CBM：状態監視保全

PBM：通常事後保全

※1：軸受部の温度上昇、振動、異常音などを直接計測できる軸受（ころがり軸受）はCBMとするが、運転時間の長い用水ポンプや常時排水ポンプなどの軸受で、交換部品の入手期間が長い場合はTBMも併用する

注）：補機設備（給水、満水、燃料、始動、潤滑油系統の機器等）のうち、共通補機（設計基準参照）で予備機を設けている場合は、PBMとする。

3）使用条件と使用環境の検討

ポンプ設備の寿命は、設備の使用条件（使用頻度による摩耗部の消耗度合や、疲労度合の相違）や使用環境（水質、大気条件等）に影響されるため、これらを考慮し、点検・整備の内容や周期に重みを付けるなど、現場条件にあった対応が必要である。

1. 4 ポンプの性能低下

ポンプ設備を構成する機器・部品等は回転により発熱する部位と水に接触する部位等を有しており、使用時間とともに摩耗や腐食等の劣化の進行により故障が発生し、やがては設備全体の性能が低下する。

【解説】

(1) ポンプ設備の劣化と故障

用水ポンプ設備は、かんがい用水等の必要量を確実に、かつ効率的に送水する設備である。用水ポンプ設備の維持管理が不十分である場合、劣化の度合いが許容範囲を超え、必要なときにポンプが稼働しないおそれがあるのみならず、突発的な故障等によりポンプが停止し、営農に重大な影響を及ぼすおそれがあるため、適切な点検整備、保全を含めた機能保全計画をたてて設備・機器の機能を常に良好な状態に維持しなければならない。

また、排水ポンプ設備は、洪水時の内水排除等を機械排水で行う重要な設備であり、万一設備の機能が損なわれた場合には、湛水による農地や農作物の被害以外に地区内の住居等への被害も生じることとなり、その影響は極めて大きい。従って、排水ポンプ設備においても、適切な点検整備、保全を含めた機能保全計画をたてて設備・機器の機能を常に良好な状態に維持しなければならない。

設備を構成する機器等は、一般的に使用時間の経過とともに、初期故障が多発する時期（初期故障期）、発生率が比較的低位で安定して推移する時期（偶発故障期）、部品が摩耗して再び故障が多発する時期（摩耗故障期）の順に推移する。このような過程を横軸に使用時間、縦軸に故障率をとって示したものを故障率曲線（バスタブカーブ）という（図1-19）。バスタブカーブは、各段階における故障率の傾向を概念的に表したものであり、設備自体の劣化傾向を示しているものではないことに留意が必要である。また、故障率及び信頼度と経過年との関係を図1-20に示す。

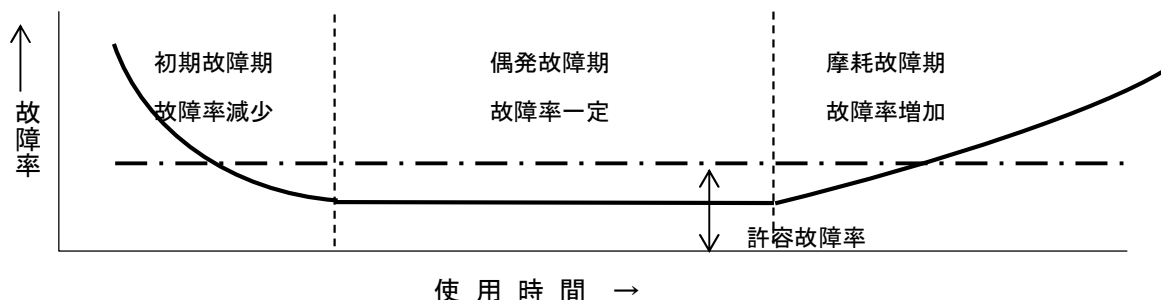


図1-19 使用時間と発生する故障の関係

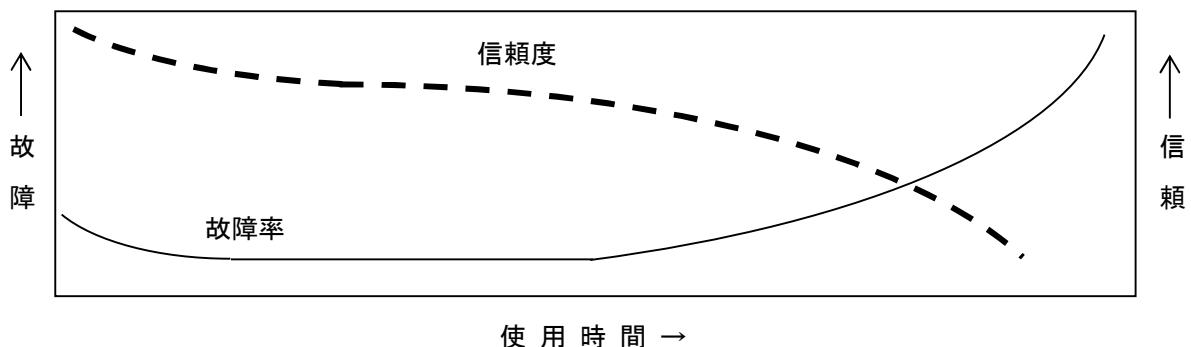


図1-20 故障率、信頼度と経過年の関係

(2) ポンプ設備の劣化特性

ポンプ設備の劣化特性は、代表的な部位ごとに次のように整理される。

1) 経年劣化型

インペラ、ライナリング、スリーブに発生する摩耗や腐食に代表される劣化特性で、材料特性や水質等に影響される。

2) 脆化型

電動機の絶縁抵抗の低下のような劣化特性で、材料の性状変化に起因する。

3) 突発型

セラミック軸受の破損など過負荷や衝撃等により突然発生する損傷を指し、予見は難しい。

(3) ポンプ設備の変状要因と現象

1) 変状要因

ポンプ設備の変状要因には、機械的、熱的、電氣的、環境、複合的要因がある。

変状要因別の代表的変状現象を次に示す。

①機械的要因

疲労破壊の原因である機械的応力、振動等が中心で、これら外的な機械力以外に熱膨張係数の相違による熱ひずみ力等から誘発される。

②熱的要因

化学反応を促進する温度上昇は、素材の劣化の速度を増大し、寿命を短縮する最も一般的な変状要因である。

③電氣的要因

機器素材が電気化学反応による腐食に起因するもので、電気絶縁の低下、熱、機械、化学的な劣化等各種の劣化の原因となる。

④環境要因

自然環境下で強い紫外線の照射により劣化が促進されたり、反応性物質、吸湿による加水分解、微生物による腐食等がある。

⑤複合的要因

一般に、上記各要因が複合して作用する場合が多い。

2) 変状現象

変状現象とその原因を次に示す。

①摩耗

過大荷重、過大振動、相対滑り、異物混入、異物付着、変形、発錆、潤滑不良

②腐食

(a)エロージョン

材料硬さ（硬さ異常）、流速、周速、キャビテーション

(b)全面腐食

使用環境（水分、塩分等）、防錆低下

(c)部分腐食

使用環境（水分、塩分等）、鋭敏化、（オーステナイト系ステンレス鋼の溶接時における組織変化）、デボジットスケール（付着した腐食生成物等）

- (d) 電食
 - 使用環境（水分、塩分、異種金属接触等）
- (e) 環境
 - 紫外線、オゾン、塵埃
- ③変形（歪み、へたり）
 - 温度不均一、材料劣化
- ④緩み・剥離（脱落、移動）
 - 摩耗、腐食
- ⑤焼損（焼付き）
 - 異物混入、保全不良、潤滑不良（潤滑切れ、圧力不足、潤滑剤の不適・劣化）
- ⑥亀裂・破壊（破損）
 - (a) 脆性亀裂・破壊
 - 過大応力、残留応力
 - (b) 延性亀裂・破壊
 - 過大応力
 - (c) 疲労亀裂・破壊
 - 過大繰り返し応力、残留応力、使用雰囲気
 - (d) 応力腐食亀裂・破壊
 - 残留応力、使用雰囲気、隙間腐食、鋭敏化
 - (e) 加工亀裂・破壊
 - 繰り返し応力
 - 紫外線、オゾン、塵埃
- ⑦漏洩
 - 取扱い不良、材料劣化、異物混入、摩耗、腐食、亀裂
- ⑧詰まり・付着
 - 保全不良、液体の仕様不良、取付け不良、機構不良（フィルタ）、異物混入、異物付着
- ⑨振動・騒音
 - (a) 流体的原因
 - 流速分布の不均一、圧力脈動、キャビテーション、カルマン渦、空気吸込み渦、水中渦、空気吸込み、サージング、水撃作用、目詰り
 - (b) 機械的原因
 - 組立不良（芯出し不良、バランス不良、締付け力不足、歯当り不良）、構造・剛性不良（配管反力・モーメント、サポート不良）、異物混入、潤滑不良、危険速度、自励振動、共振、変形、摩耗、基礎・支持台の不良又は劣化、トルク変動（欠相時）、負荷側の不平衡、断線電圧の不平衡、ブラシの接触不良、二次回路の不平衡
- ⑩作動不良
 - (a) 開動作不良
 - コンタミネーション（汚染物、異物の混入）、スティック（カジリ、キズ発生等）、流体圧力異常、駆動装置不良、機構部破損
 - (b) 閉動作不良

弁座の傷、コンタミネーション、スティック、流体圧力異常、駆動装置不良、機構部破損

(c)機械的不良

駆動装置不良、機構部破損

⑪ディーゼル機関始動・作動不良

始動装置不良、燃料ポンプ不良、燃料切れ（燃料劣化）、始動空気圧不足、軸受焼損、吸排気弁不良、シリンダ・ピストン焼損、燃料噴射ポンプ不良、燃料・吸気フィルタ目詰り、排気管・消音器詰り

⑫溶断・断線

過熱、配線不良、締付け不良、不完全投入、過負荷、異常電圧、短絡絶縁破壊、異常電圧、機械的破壊、汚損

⑬接点不良

異常消耗、過負荷、開閉頻度多、チャタリング（リレー接点等が切り替わった直後にばたついて、信号が入・切を繰り返す現象）、腐食性ガス、汚損、接触不良、組立不良、機構部破損、接点脱落、コイル断線、吸引不良、汚損、発錆、異物混入、保全不良、溶着、過熱、過負荷、突入電流大、炭化物付着、接触面荒れ、摩耗

⑭絶縁不良（短絡、漏電）

絶縁低下、汚損、吸湿、焼損、保全不良、絶縁劣化（絶縁物の劣化・亀裂）、振動

⑮電動機始動・作動不良

電源不良（電圧、周波数異常）、断線接続不良、回転子不良、過負荷

⑯塗膜劣化

塗膜の劣化により防食性能や美観保持機能が損なわれる場合があるが、ポンプ設備の機能や性能への影響は少ない。

変状要因別の調査手順及び対策については、「わかりやすい土地改良施設管理入門 用水ポンプ編、排水ポンプ編」等を参照。

3) 変状要因と現象の例

次にポンプ設備の主な装置・機器の変状要因と現象の例を示す。

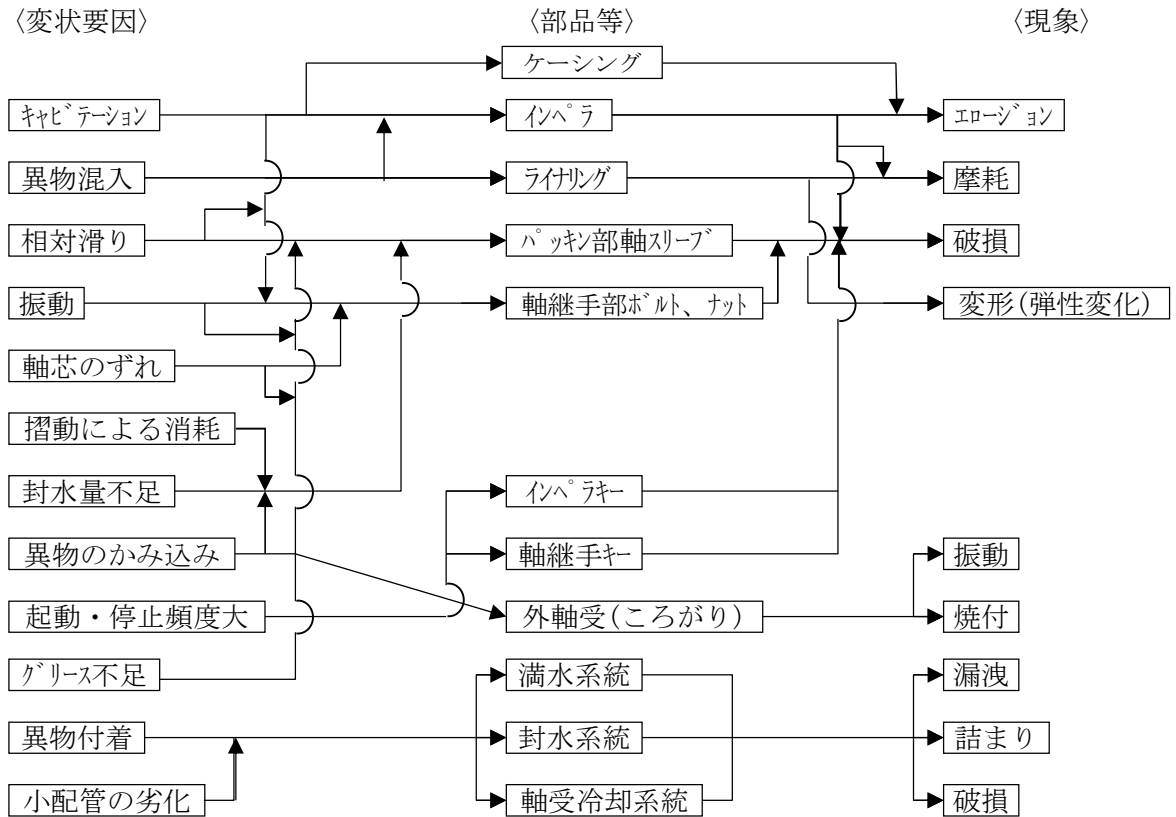


図1-21 両吸込渦巻ポンプの変状例

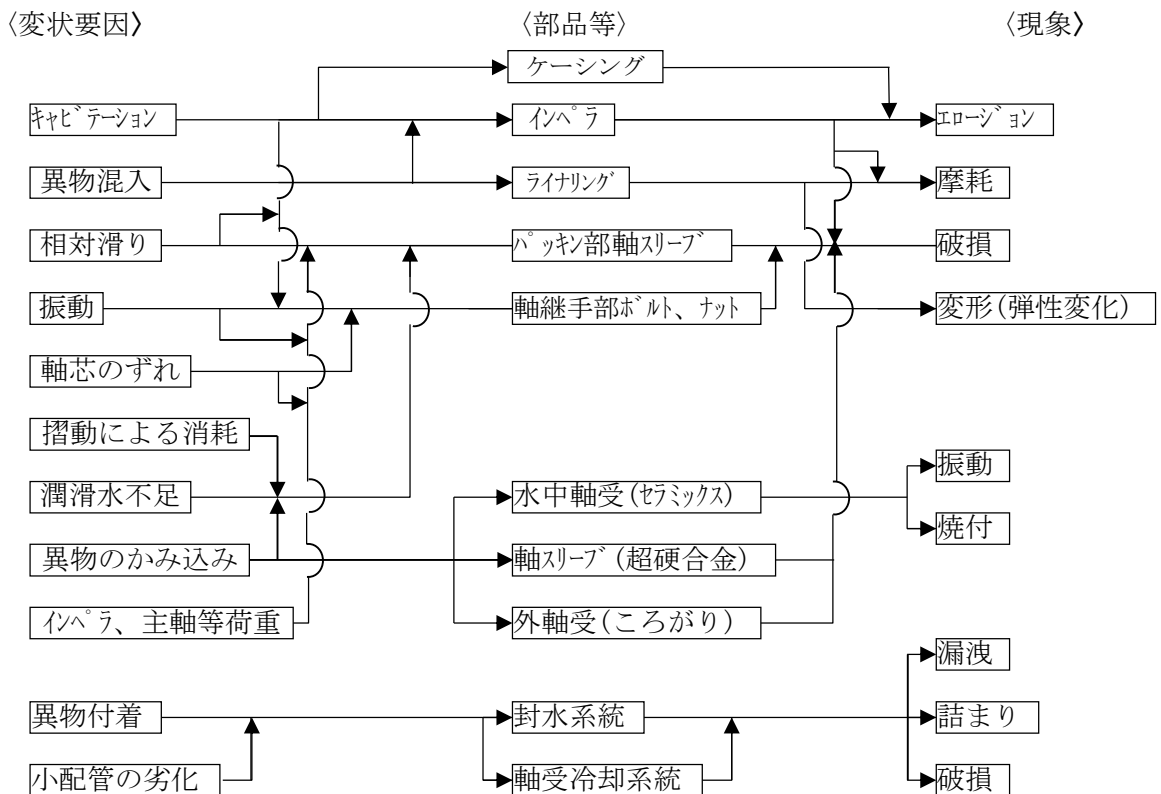


図1-22 立軸軸流・斜流ポンプの変状例

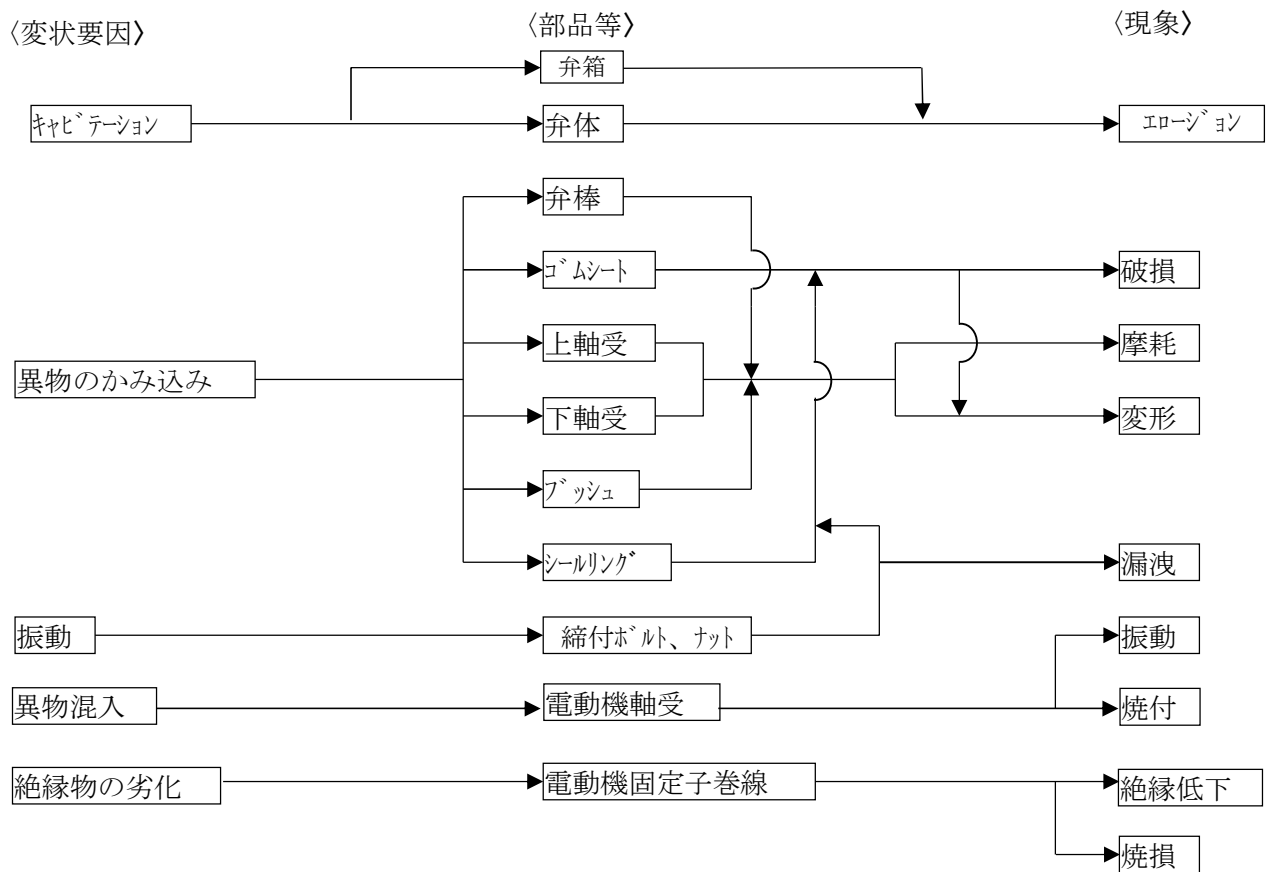


図1-23 電動バタフライ弁の変状例

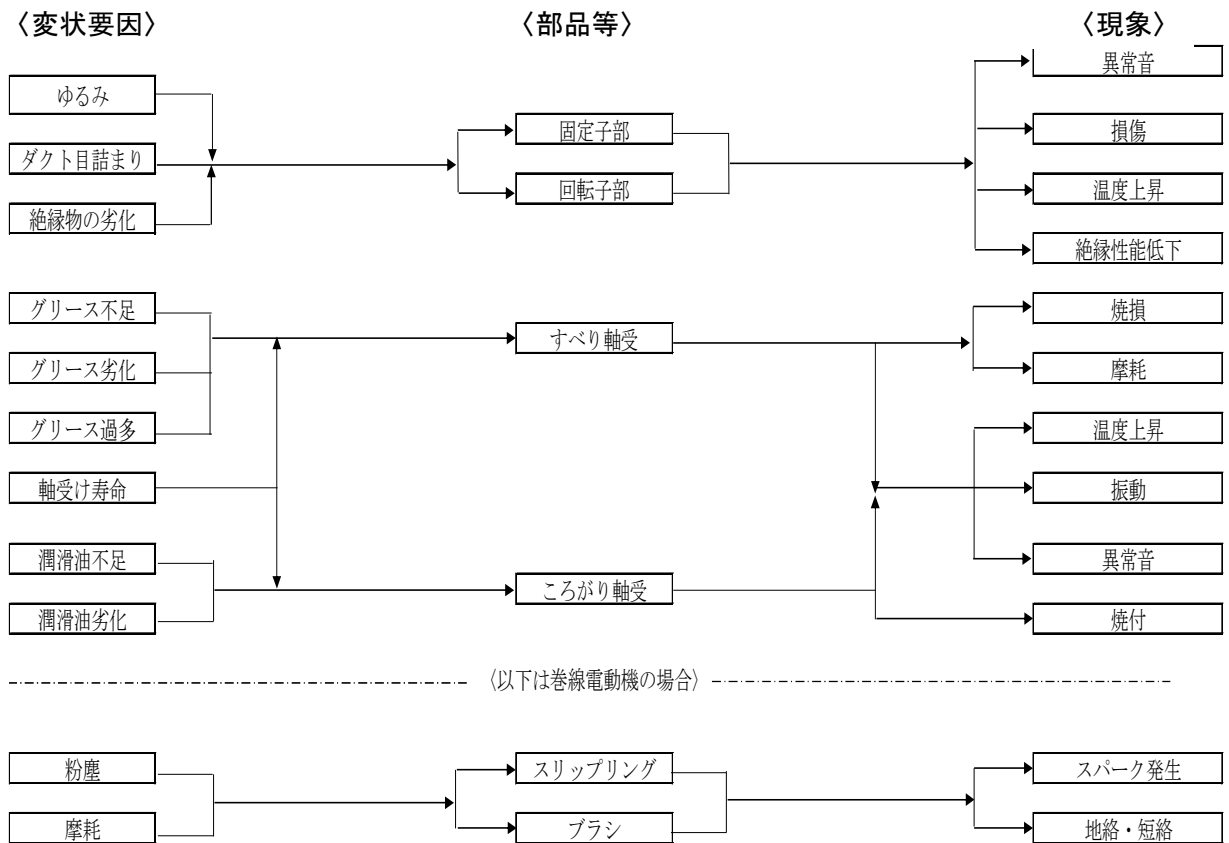


図1-24 電動機主要部の変状例

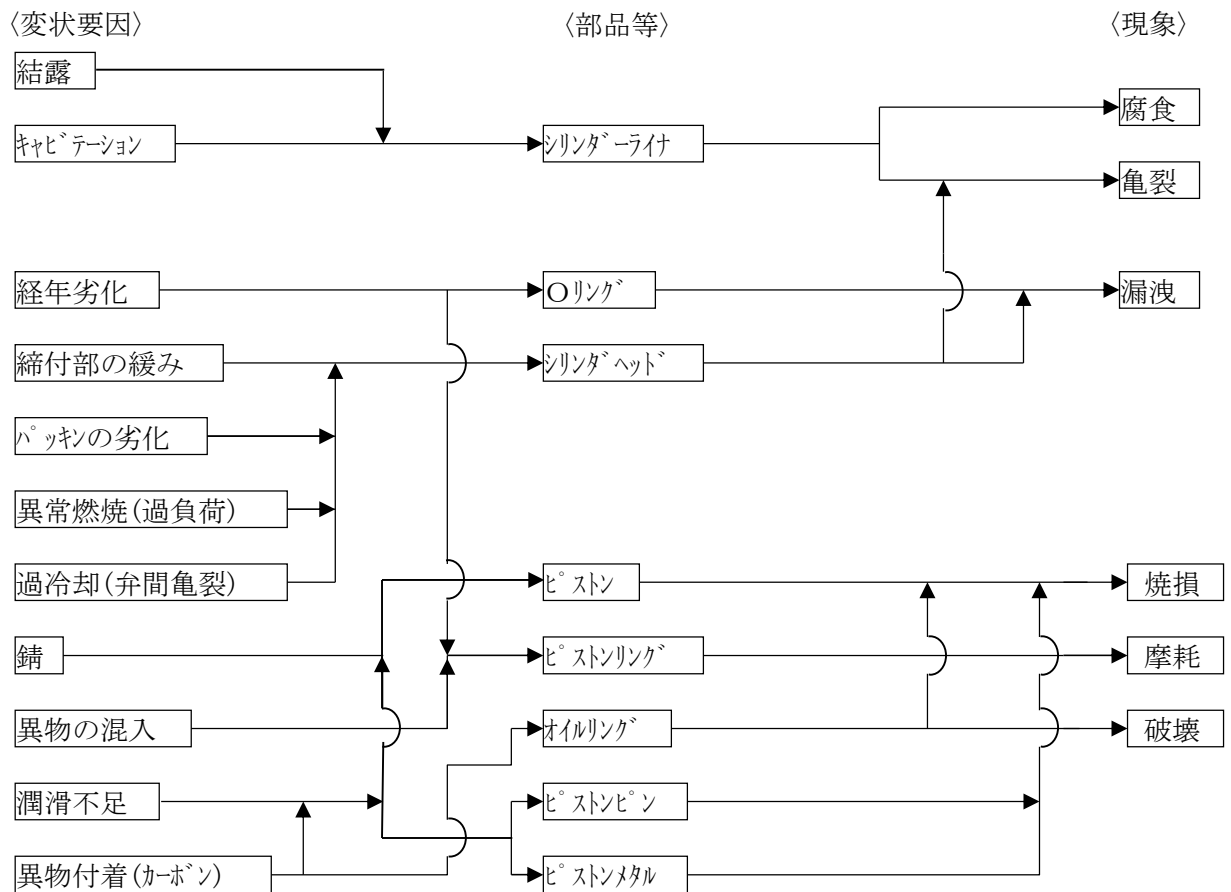


図1-25 ディーゼル機関主要部の変状例

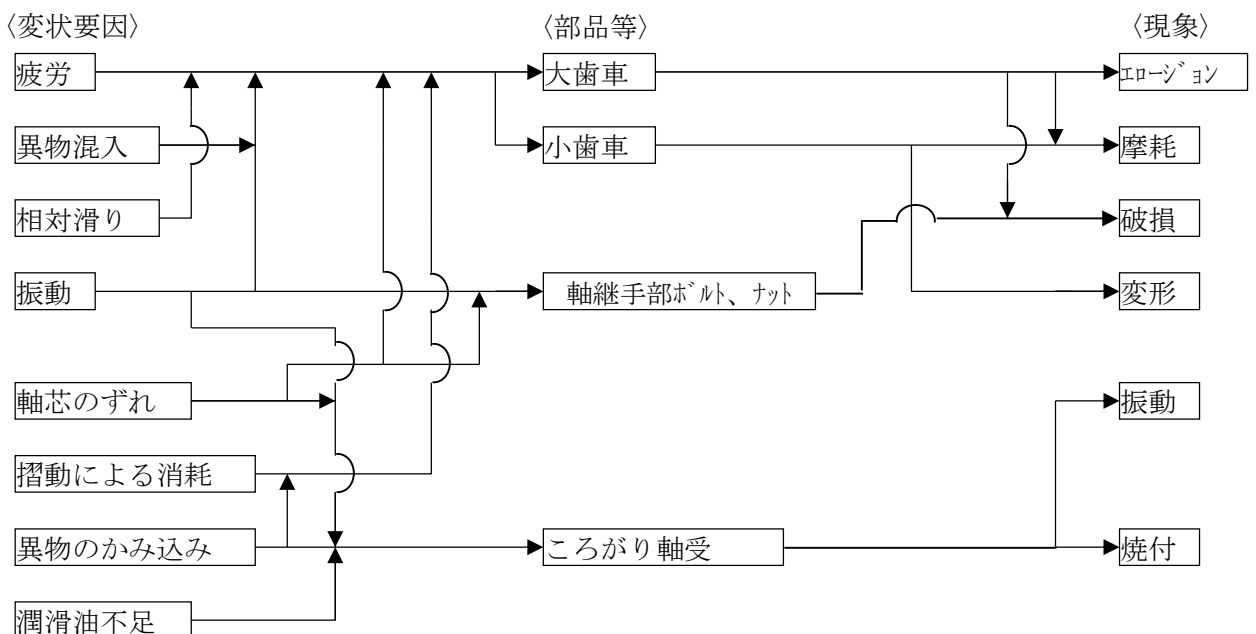


図1-26 平行軸（又は直交軸）歯車減速機の変状例

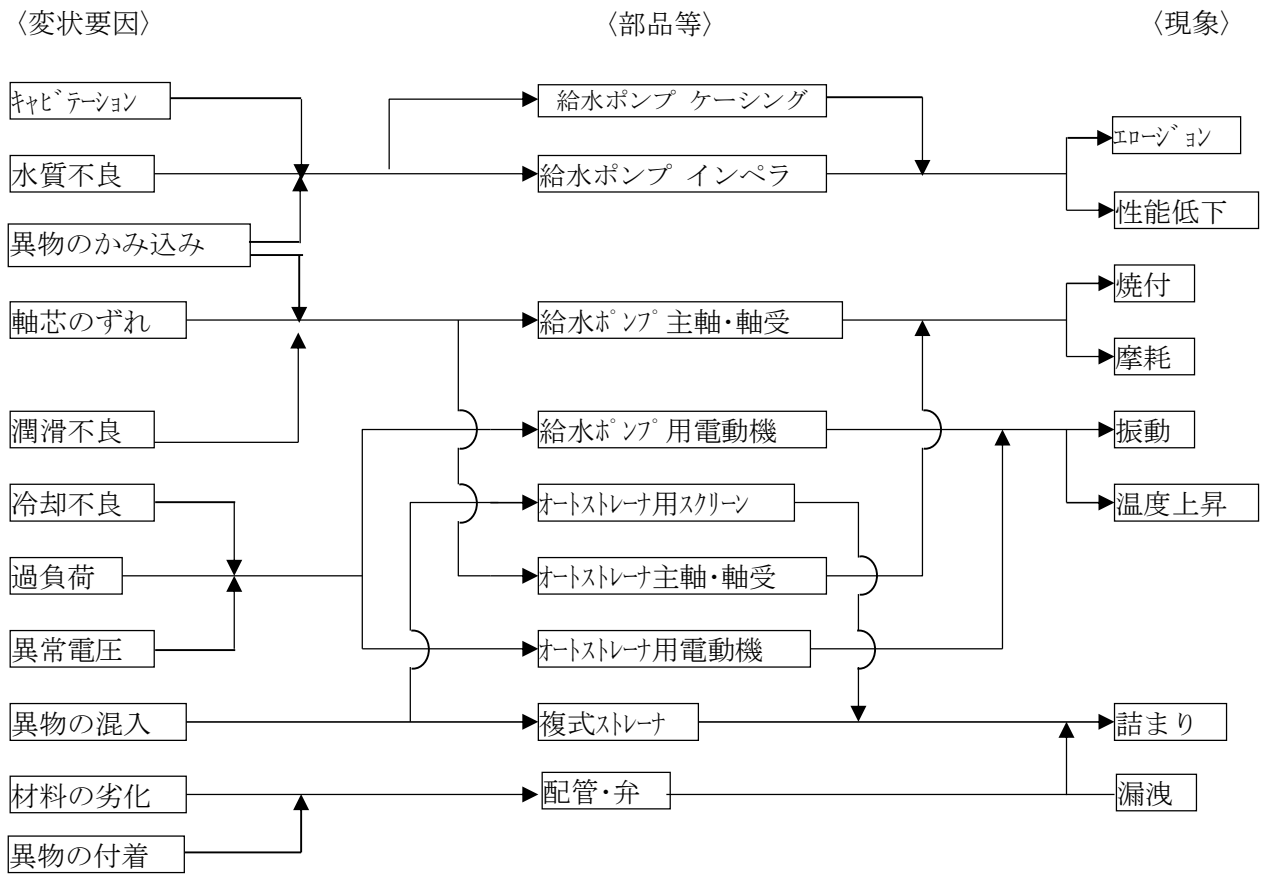


図1-27 補機設備：給水系統の変状例

1. 5 ポンプ設備の機能保全の流れ

ポンプ設備における機能保全は、日常点検に始まり、機能診断調査、機能診断評価を経て、保全対策や点検・整備計画等を含んだ機能保全計画を策定し、リスク管理や農業水利システム全体の視点を考慮しつつ同計画に基づき機能保全対策の実施、再び日常点検、機能診断のサイクルを段階的・継続的に実施するものである。

【解説】

ポンプ設備における機能保全計画策定までの、機能保全の実施手順を図1-28に示す。

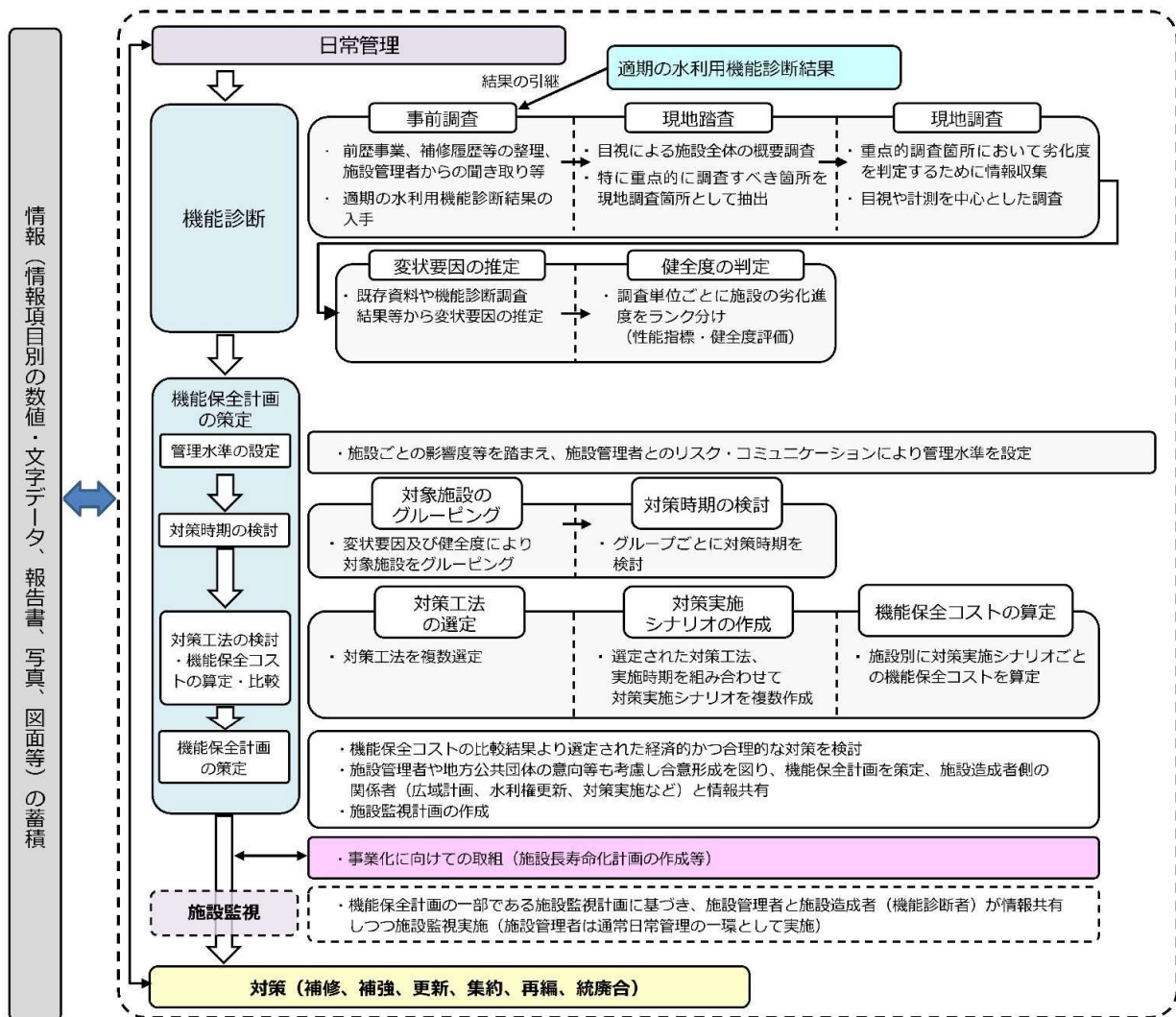


図1-28 機能保全の実施手順