

## 研究成果報告書

研究開発課題名	トライボロジーを活用した農業用揚排水機の機能診断技術の開発 -リスク及びLCC低減に向けた最適保全管理手法に資する技術開発-
研究総括者	トライボテックス株式会社 技術部 部長 吉田直樹
研究開発組合	トライボテックス株式会社 株式会社ユニオン電子工業
試験研究機関	独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構 農村工学研究所

## 1 事業の実施内容

## 1. 1 事業の背景及び目的

## (1) 事業の背景

基幹的農業用揚排水機場は全国に 2,800 カ所以上あり、農地ばかりでなく、地域の用排水を担う重要な施設である。一方、標準耐用年数を超過した揚排水機場が年々増加し、超過割合は再建設費ベースで 47%となっている。したがって、今後、膨大な揚排水機施設の更新を一斉に行わなければならない事態が発生することが懸念される。

こうした事態を避けるには、補修・改修の優先順位を決定し、適時適切に維持管理を行うことが重要となっている。そのためには、これまで行ってきた「供用年数」を目安とした評価を見直し、施設の状態を的確に診断し、実際に機能が低下している施設から効果的に保守・保全を行う「最適保全管理手法」の確立が必要である。

## (2) 事業の目的

本研究開発は、農業用揚排水機場の機械設備の劣化が進行する前にその兆候を検出し、非分解かつ定量的に診断評価する機能診断技術を開発する。そのために、発電所、下水道分野で適用されているトライボロジー<sup>※1</sup>を活用した潤滑油分析診断技術（以下、「トライボ診断」という。）を活用し、その適用性及び農業用揚排水ポンプ設備の特徴的劣化形態を調査する。さらに、個々の機械設備の状況に応じてトライボ診断を実施するための一次評価技術として、施設管理者が現場で簡易に操作できる簡易機能診断装置を開発し、その普及マニュアルを作成する。

これらを現在行われている施設保全管理技術に組み合わせることにより、調査項目や診断内容の合理化を図る。そして、施設管理者自身が、施設機能の監視・診断を機動的かつ確実に行い、ライフサイクルコスト（LCC）を低減するための新しい戦略的な最適保全管理手法の確立に資する。

※1 トライボロジーは、「相対運動を行いながら相互作用を及ぼし合う表面及びそれに関連する実際問題の科学技術」と定義される。摩擦・潤滑・表面損傷などを取り扱う工学の分野を表す用語である。

## 1. 2 事業の内容及び実施方法

### (1) 調査

#### 1) 劣化モードの分類・整理

##### ①内容

農業用揚排水機場の対象機械設備を選定・抽出し、トライボ診断を実施することによって劣化モードの分類・整理を行い、簡易診断装置開発の基本仕様となるデータ収集を行った。

##### ②実施方法

水利施設を管理する土地改良区、都道府県を対象とし、農業用揚排水機場の機械設備に関する維持管理履歴等のアンケート調査を実施した。それによって、課題や問題点を把握すると共に、分解点検が行われた際の回転・摺動部における劣化状況に関するデータ収集を行った。

次に、アンケート調査結果に基づき、農業用揚排水機場の機械設備区分及び使用環境区分等から、全国を代表する対象機械設備を選定・抽出し、トライボ診断を実施した。対象数は、準備・移動・採取箇所の確認・潤滑剤（以下、「潤滑油とグリース」のことをいう。）採取等に要する時間を考慮し、かつ、統計的に必要と考えられる 70 程度とした。

トライボ診断の結果から、農業用揚排水ポンプ設備に使用されている潤滑剤の劣化状況、汚染状況、更に回転・摺動部の摩耗状況を評価し、主たる劣化モードを分類・整理した。トライボ診断で評価するパラメータは、潤滑油では、動粘度、水分、酸価、塩基価、計数汚染度、質量汚染度、粒度分布、摩耗粒子、SOAP-T 等で、グリースでは、ちょう度、滴点、水分、酸価、摩耗粒子、SOAP-T 等とした。これらにより、劣化状況、汚染状況、更に回転・摺動部の摩耗状況を総合的に解析評価した。

### (2) 簡易機能診断装置の開発

#### 1) 劣化試験

##### ①内容

上述により抽出された農業用揚排水ポンプ設備の劣化モードを再現できる劣化試験方法並びに劣化加速試験機を検討・制作し、試験を実施・評価した。

##### ②実施方法

酸化劣化試験は、対象となる未使用の潤滑剤を強制的に熱酸化劣化させる方法で行った。酸化劣化度合いは、酸価の上昇及び赤外線吸収スペクトルにおけるカルボン酸吸収量の増大を調べることによって評価した。

摩耗試験は、滑り摩擦試験機及び転がり摩擦試験機を改造して行った。凝着摩耗は、滑り摩擦における金属接触により発現させ、疲労摩耗は、転がり摩擦における金属疲れによって発現させた。切削摩耗は、滑り摩擦面並びに転がり摩擦面に対し、油中に投入した硬い異物を侵入させることにより発現させた。それぞれの摩耗形態は、フェログラフィー分析等を用いて評価した。

## 2) 装置開発

### ①内容

簡易機能診断装置は、潤滑剤の性状に関する劣化モードである酸化劣化の発生及び水分の混入を評価できる劣化簡易診断装置と、潤滑油の汚染に関する劣化モードである計数汚染度の増加を評価できる汚染度簡易診断装置、さらに潤滑部の摩耗に関する劣化モードである凝着摩耗・切削摩耗・疲労摩耗の発生を評価できる摩耗簡易診断装置とし、それらについて設計、製作した。

### ②実施方法

劣化簡易診断装置は、減衰全反射結晶を用いた測定法を基本原理とし、必要な波長領域（カルボン酸の吸収波長域）の光のみを透過するフィルタを組み合わせさせた。

汚染度簡易診断装置は、光遮へい効果と光反射効果を組み合わせた粒子検出部とリニアアクチュエータを組み合わせさせた。

摩耗簡易診断装置は、抽出した摩耗粒子を自動で観察するために自動直動ステージと CCD カメラを組合せると共に、ハイパスフィルタによる明るさの影響を回避させた。

## 3) 判定基準（案）策定

### ①内容

潤滑剤の酸化劣化、水分混入、潤滑油の汚染度及び設備の摩耗について、簡易判定基準（案）を策定した。

### ②実施方法

酸化劣化については、基油の酸化劣化がそれ以上進行し難いと判断できる酸価の増加量を劣化の終点とし、水分については、ギヤ油の許容限界濃度を終点として策定した。汚染度については、精密診断における管理基準を基礎に策定した。摩耗については、精密診断で用いる定量評価パラメータである Is 値の基準を基礎に策定した。

## (3) 実証試験

### 1) 実証試験

#### ①内容

簡易機能診断装置を用いた診断結果とトライボ診断結果の比較を行った。

#### ②実施方法

農業用排水機場を 2 箇所選定し、対象機械設備の同じ箇所から連続して採取した潤滑剤をそれぞれの供試料として、簡易機能診断及びトライボ診断を実施した。

トライボ診断結果を基に、潤滑剤の酸化劣化、潤滑油の水分混入、潤滑油の計数汚染度、及び潤滑部の摩耗に関し、それらの進展状態を 3 段階で評価した。その結果と簡易機能診断装置で判定された 3 段階評価結果との一致度を調べることによって、簡易機能診断装置の検証を行った。また、一致度を高めるための改良、及び実証現場で入手した簡易機能診断装置の外観や使い勝手などに対する意見や要望に基づき、簡易機能診断装置の改良を行った。

## 2) 普及マニュアルの作成

## ①内容

普及マニュアルは、農業用揚排水機場の施設管理者が潤滑油診断に基づく設備機能診断を適切に実施するための解説書として作成した。

## ②実施方法

普及マニュアルは、「ポンプ設備の機能診断手法の解説書」並びに「簡易機能診断装置の取扱説明書」を併せて取りまとめた。

## (4) 機能監視

本研究開発では該当無し。

## 1. 3 事業着手時に想定した技術的問題点への対応

技術的問題点	対応
農業用揚排水機場の機械設備の劣化モードが不明であった。そのため、最適な保全管理が行われていない。	水利施設を管理する土地改良区、都道府県を対象として、農業用揚排水機場の機械設備に関する維持管理履歴等の調査を実施し、分解点検が行われたときの劣化状況に関するデータを収集した。さらに、当該施設においてトライボ診断を実施し、農業用揚排水機場の機械設備特有の劣化モードを分類・整理した。
施設管理者自身による機能診断が困難であった。	特別な専門知識がなくても、現地において、安価で簡便に診断でき、一次評価（機械設備の劣化判定）が可能な簡易機能診断装置を開発した。

## 1. 4 事業の実施体制

## (1) 研究開発組合内の役割分担

項目	トライボテックス株式会社	株式会社ユニオン電子工業
調査		
・維持管理履歴等の調査	○	—
・対象設備の選定	○	—
・現地調査及び潤滑剤の採取	○	—
・トライボ診断の実施	○	—
・劣化モードの分類・整理	○	—
簡易機能診断装置の開発		
1) 劣化試験		
・劣化加速試験機の製作	○	—
・劣化モードの再現試験	○	—
・評価	○	—
2) 装置開発		
・潤滑油の劣化判定装置	○	○
・潤滑油の汚染度判定装置	○	○
・機器の摩耗劣化判定装置	○	—

・評価 3) 判定基準（案）の策定 ・劣化モード再現試験 ・評価	○  ○ ○	—  — —
実証試験 1) 実証試験 ・簡易診断の現場実証試験 ・簡易診断の整合性評価 2) 普及マニュアルの作成 ・普及マニュアルの作成	  ○ ○  ○	  — —  —

## (2) 試験研究機関と研究開発組合の役割分担

項 目	農村工学研究所	研究開発組合
調査 ・維持管理履歴等の調査 ・対象設備の選定 ・現地調査及び潤滑剤の採取 ・トライボ診断の実施 ・劣化モードの分類・整理	○ ○ ○ — ○	○ ○ ○ ○ ○
簡易機能診断装置の開発 1) 劣化試験 ・劣化加速試験機の製作 ・劣化モードの再現試験 ・評価 2) 装置開発 ・潤滑油の劣化判定装置 ・潤滑油の汚染度判定装置 ・機器の摩耗劣化判定装置 ・評価 3) 判定基準（案）の策定 ・劣化モード再現試験 ・評価	— — ○  — — — ○  — ○	○ ○ ○  ○ ○ ○ ○  ○ ○
実証試験 1) 実証試験 ・簡易診断の現場実証試験 ・簡易診断の整合性評価 2) 普及マニュアルの作成 ・普及マニュアルの作成	  ○ ○  ○	  ○ ○  ○

## 1. 5 事業の年度計画と実績

項 目	平成 24 年度		平成 25 年度		平成 26 年度	
	上期	下期	上期	下期	上期	下期
調査		■ ■				
簡易機能診断装置の開発			■ ■	■ ■		
実証試験					■ ■	
機能監視	本研究開発では該当無し					

注) ■ は計画、■ は実績。

## 1. 6 研究開発の概要、結果、課題等

## (1) 調査

## 1) アンケート調査結果

東京都、神奈川県、富山県、和歌山県を除く 43 道府県の土地改良事業団体連合会、並びに土地改良区から合計 229 箇所 of 揚排水機場について回答を得た。その内訳は、揚水機場は 109 箇所、揚水ポンプは 238 台、排水機場は 120 箇所、排水ポンプは 291 台である。準備したアンケート調査票は、参考資料として末尾に示す。

## ① 潤滑剤について

図 1 に示す通り、潤滑剤は、揚水ポンプ設備ではグリースが多いのに対し、排水ポンプ設備では潤滑油が多い。これは、原動機に使われている潤滑剤の種類を反映しており、揚水ポンプで使用される電動モータにグリースが用いられていることに起因すると考えられる。

以上から、潤滑油とグリースの両方を評価できる簡易機能診断装置を開発する必要があることが判明した。

また、潤滑剤の交換の時期（頻度）については、不明との回答が最も多く、潤滑剤の交換時期を科学的根拠に基づき判断する手法が望まれる。

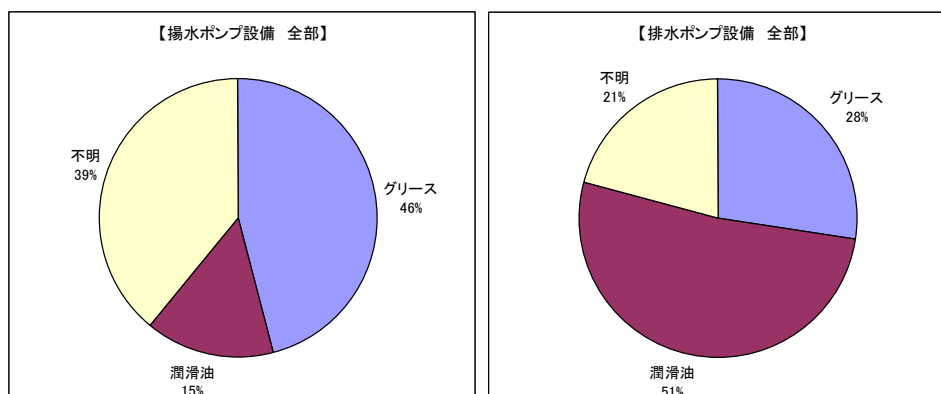


図 1 揚排水ポンプ設備で使用されている潤滑剤の割合

## ②分解点検について

分解点検の実績を有する割合は、揚水ポンプ設備が約 76%で、排水ポンプ設備の約 47%に比べて高い。また、揚水ポンプ設備、排水ポンプ設備ともに、約 1 割が重大なトラブル<sup>※2</sup>を経験していた。

分解点検周期は 10～20 年が最も多く、次回の分解点検予定は、H25 年度の後半以降に集中している。揚水ポンプ設備の分解点検費用は、500 万円未満が約 59%で半数を超えるが、約 22%が 1,000～5,000 万円である。一方、排水ポンプ設備の分解点検費用は、1,000～5,000 万円が約 36%で、5,000 万円を超える設備もあった。

つまり、施設更新のみならず、分解点検が集中すれば全国で高額な保守費用が発生することから、安価な簡易機能診断による点検費用の節減が急務であることが確認できた。

※2 重大なトラブルとは、何らかの不具合によって直ちにポンプ設備を停止せざるを得なかったケースとした。

## ③不具合等について

分解点検の際に見られた軸受の不具合原因は、図 2 に示す通り、約 46%が摩耗によるものであった。その他、異物混入等も含め、軸受の劣化状態変化を傾向管理することによって、軸受不具合の大部分を回避することができると期待される。

また、軸受以外の不具合箇所をポンプ、減速機、原動機、補機、その他で区分した結果、約 64%が回転・摺動部を要するポンプ、原動機、減速機であることが分かった。

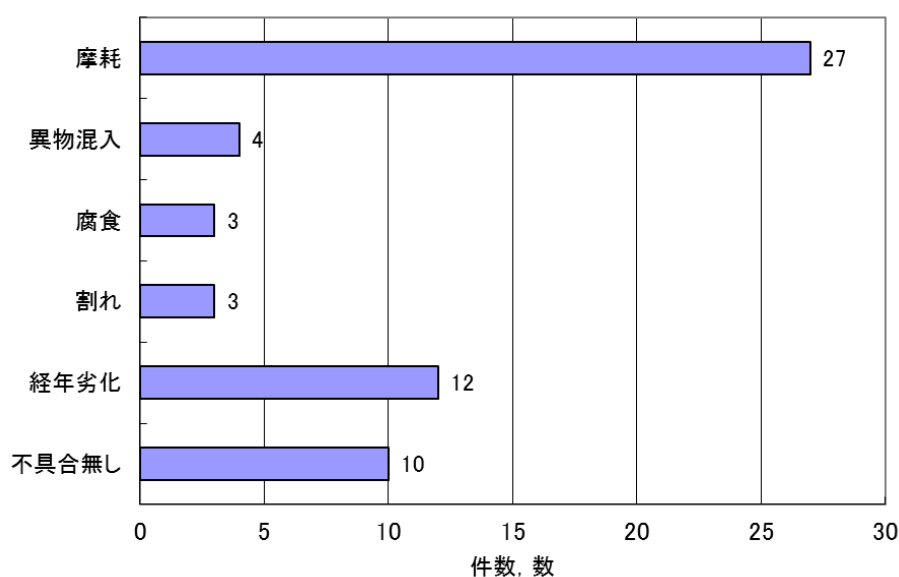


図 2 軸受不具合の原因

重大なトラブルを構成部品等で分類すると、図 3 に示す通り、機能限界が突発的に発生する電気・制御部品を除き、機能レベルが徐々に低下していく劣化進展型の部品類が数多く見られた。これは、部品の劣化が進展する前に補修を行うなど、施設における状態監視保全が非常に重要であることを意味している。

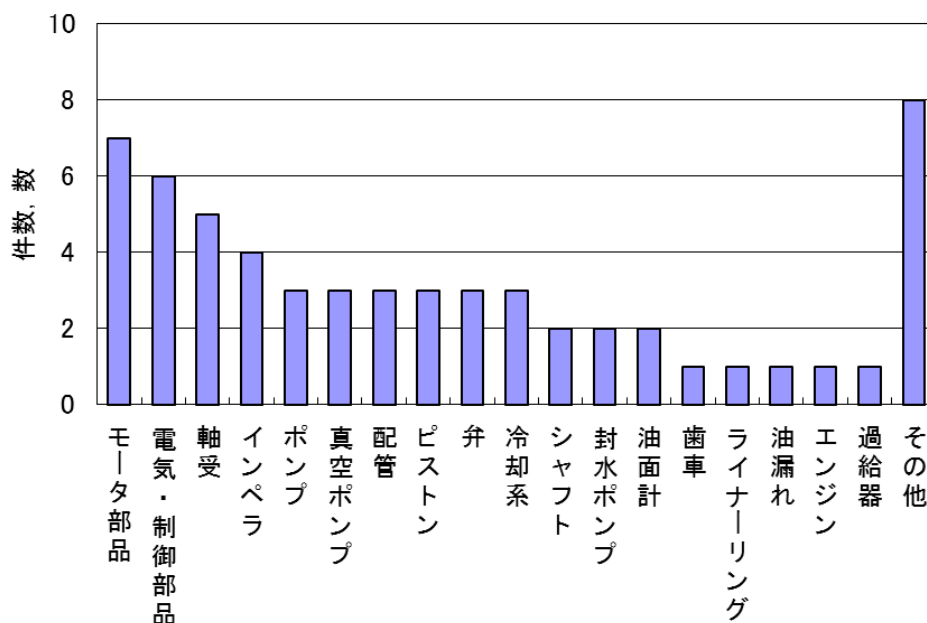


図 3 重大なトラブルの構成部品

#### ④地域的特徴について

気候差等により不具合が発生し易い地域が限定されているか否かを確認したところ、図 4 に示す通り、揚排水ポンプ設備の不具合が発生する地域に偏りはないことが分った。

したがって、揚排水ポンプ設備の劣化モードをトライボ診断によって調査する対象地域は、特に限定する必要はないという結果を得た。言い換えると、トライボ診断にて明らかになる揚排水ポンプ特有の劣化モードは、日本全国の揚排水ポンプにおいて共通と考えて良い。



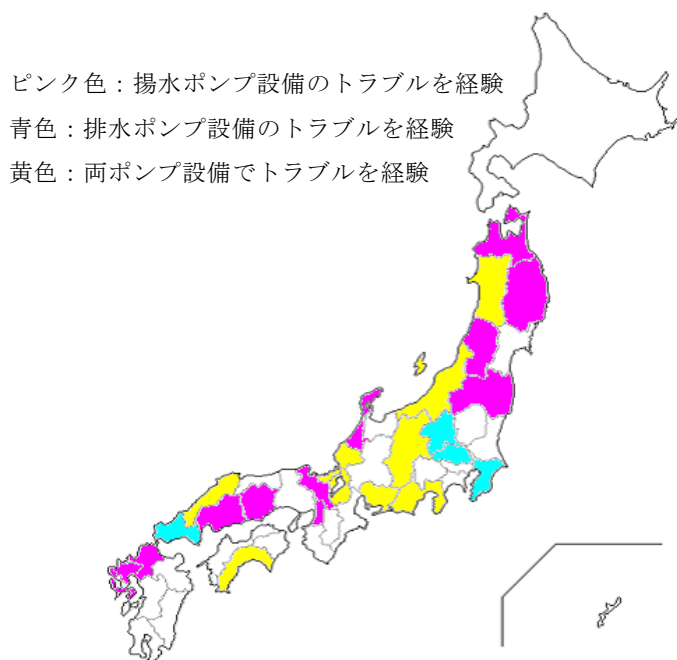


図 4 不具合発生の地域的特徴

## 2) 劣化モードの分類・整理

設備不具合に対する地域的差異・設備的特徴差が特に見受けられなかったことから、琵琶湖干拓大中の湖土地改良区、河北潟干拓土地改良区、及び河北潟沿岸土地改良区における農業用揚排水機場のポンプ設備に対してトライボ診断を実施した。

供試料の採取風景例を表 1 に示す。現在、トライボ診断が実施されている施設状況とは異なる農業用揚排水機場においても、潤滑剤の採取は問題なく行えた。更に、対象機械設備の詳細な機能状態評価（精密診断）が行えたことから、農業用揚排水ポンプ設備に対するトライボ診断の適用性が確認できたと考える。

表 1 潤滑剤の採取風景

<p>a. 潤滑油_ドレンバルブからの採油</p>	<p>b. 潤滑油_戻り配管途中バルブ</p>
<p>c. 潤滑油_点検窓からの採油</p>	<p>d. 潤滑油_給油口からの採油</p>
<p>e. 潤滑油_油面計からの採油</p>	<p>f. グリース_ベアリングからの採油</p>
<p>g. グリース_給脂による採油</p>	<p>h. グリース_排脂口からの採油</p>

トライボ診断を実施した結果、農業用揚排水機場のポンプ設備の特徴的な劣化モードについて、以下のように分類・整理できた。

### ①性状（劣化）

潤滑剤の性状（性能）に関する劣化モードについては、潤滑油では水分の増加（混入）、グリースでは水分の増加（混入）及び硬化と軟化であることが分かった。（図 5）

農業用揚排水ポンプ設備では、グリースは転がり軸受に使用されており、強い遠心力やせん断力は掛からない。したがって、熱の影響によりちょう度に変化したと考えられる。つまり、ちょう度変化は熱による将来的な酸化劣化に繋がる兆候と見なせる。酸化劣化により生成した酸性物質は金属表面を腐食し、激しい摩耗を引き起こす一因となることから、酸化劣化の発生有無を確認する必要があると考えた。

以上により、性状に関する劣化モードは、水分の増加及び酸化劣化の発生と策定した。

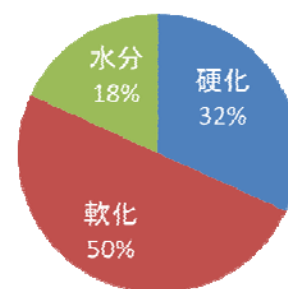


図 5 潤滑剤の性状に関する劣化モード

### ②汚染

汚染は潤滑油に対してのみ想定される評価パラメータであり、潤滑油の汚染に関する劣化モードは、計数值（油中固形物の数）の増加及び質量の増加であることが分かった。（図 6）

また、計数值の増加（78%）は、質量の増加（22%）に比べその割合が非常に高く、主たる汚染に関する劣化モードと判断した。

以上により、計数值の増加を汚染度に関する劣化モードと策定した。

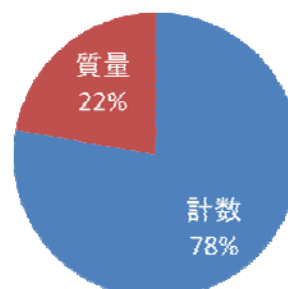


図 6 潤滑油の汚染に関する劣化モード

### ③摩耗

摩耗に関する劣化モードは、凝着摩耗、疲労摩耗、切削摩耗、酸化摩耗、溶融摩耗であることが分かった。（図 7）

ただし、酸化摩耗（4%）や溶融摩耗（1%）については、発生割合から農業用揚排水ポンプにおいては特異的な劣化モードと考えられ、簡易機能診断によって1次評価する劣化モードとしては適切ではないと判断した。

したがって、主として発現していた凝着摩耗、疲労摩耗、切削摩耗を摩耗に関する劣化モードと策定した。

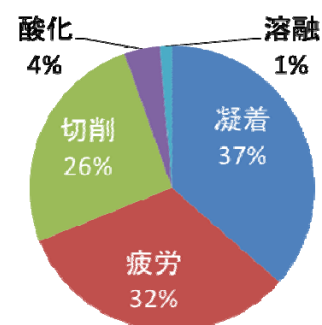


図 7 機器の摩耗に関する劣化モード

以上の結果を劣化モード一覧として表 2 に整理した。

表 2 農業用揚排水ポンプ設備の劣化モード一覧

カテゴリ	劣化モード
性状 (劣化)	酸化劣化の発生、水分値の上昇
汚染	計数汚染度の増加
摩耗	凝着摩耗、疲労摩耗、切削摩耗の発生

## (2) 簡易機能診断装置の開発

一次評価を行うための簡易機能診断装置は、性状 (劣化)、汚染、摩耗の 3 つのカテゴリにおいて、それぞれの劣化モードを評価できる装置を開発する必要がある。本研究開発では、施設現場で使用可能な小型装置にするため、カテゴリ毎に装置 (3 種類の装置) を開発することにした。

### 1) 劣化試験

まず、各簡易機能診断装置の性能を評価するため、各劣化モードを再現できる加速劣化試験を行い、測定用試料を調製した。

酸化劣化を評価するための試料は、各種潤滑剤を銅触媒存在下で酸素を加圧封入し 150℃に加温しながら強制的に加速酸化劣化させることにより調製した。酸化劣化の強度は加温時間を変化させることにより調整した。水分量を評価するための試料は、各種潤滑油に直接水分を投入攪拌し、水分濃度を調整した。汚染度を評価するための試料は、実際の農業用揚排水ポンプ設備に対して実施したトライボ診断に供した試料の中で、比較的汚染度が高かった残油を利用した。摩耗を評価するための試料は、農業用揚排水ポンプ設備で確認された凝着摩耗粒子、疲労摩耗粒子、あるいは切削摩耗粒子を含むものでなければならない。そこで、試料は、既存の摩擦試験装置を改良して加速劣化試験を実施し、凝着摩耗、疲労摩耗、切削摩耗の 3 種類の摩耗形態を発現させることによって調製した。劣化加速試験に用いた摩擦試験機を図 8 に示す。

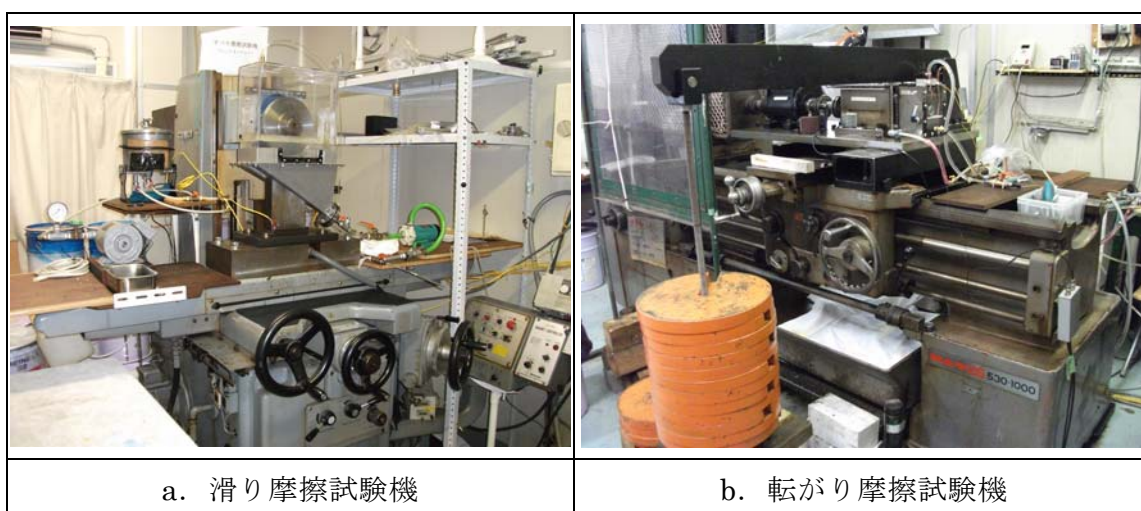


図 8 劣化加速試験に用いた摩擦試験機

## 2) 装置開発

## ①劣化簡易診断装置

潤滑剤が酸化劣化すると有機酸が生成する。その有機酸及び水を構成する官能基の固有振動数（もしくは赤外吸収波長）を利用でき、かつ、分光が不要な赤外線吸収分析装置として開発した。

基本原理として、減衰全反射（ATR）結晶を用いた測定法（以降、ATR法という）を採用した。更に、反射光を目的の波長に絞る、つまり必要な波長領域（酸化劣化ではカルボキシル基（ $-\text{COOH}$ ）の  $1,710\text{cm}^{-1}$  付近、水では水酸基（ $-\text{OH}$ ）の  $3,100\sim 3,600\text{cm}^{-1}$  付近）の光のみを透過するフィルタ（以降、バンドパスフィルタという）を組み合わせることで、簡単な構造で携帯できる程度の小型化を可能にした。なお、投入光量の変化を補正するために、潤滑剤を構成する様々な分子の固有振動領域と無関係な  $2,000\text{cm}^{-1}$  付近のバンドパスフィルタを用意し精度を上げた。

ATR法を用いた劣化簡易診断装置の仕様イメージを図9に示す。

入射した赤外光は、劣化した試料に吸収され光量が低下しながらプリズム内を反射し、バンドパスフィルタを通過した後、電圧値の低下として検出される。電圧の低下量（光量の低下量）と劣化程度との相関により、簡易的に対象試料の劣化程度が評価できる。

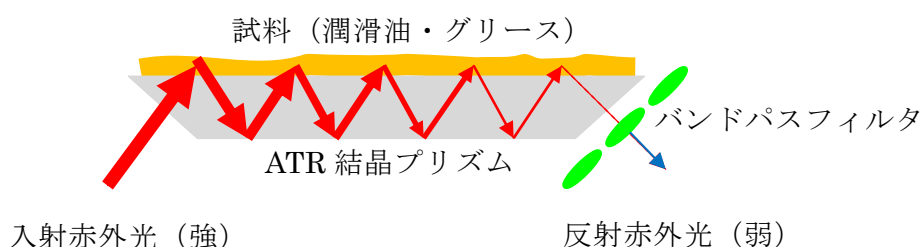


図9 劣化簡易診断装置の原理イメージ

また、携帯できるように、バッテリーでも駆動する仕様とした。なお、劣化診断装置の操作は、パソコンを使わずに装置本体の操作画面で行える。

装置はリチウムイオン電池で駆動し、サイズと重量は表3の通りである。また、劣化診断装置の写真及び指示画面を図10に示す。

表3 劣化簡易診断装置のサイズと重量

幅[mm]	高さ[mm]	奥行[mm]	重量[g]
95	51	195	553

酸化劣化、ならびに水分混入に対する装置の性能評価は、受光電圧値と酸化劣化の進展に伴い増加する酸価の変化量（新品値と酸化劣化品値との差分）、ならびに水分濃度との相関を調査することにより行った。

相関調査の結果、酸化劣化に対する決定係数は、潤滑油に対して0.73、グリースに対して0.77となり、油種毎に評価できる精密分析装置としては低い

値であるものの、あらゆる油種に対して適用できる汎用的な携帯型簡易診断装置としては、満足いく性能と言える。また、水分に対する決定係数は 0.90 となった。



図 10 劣化簡易診断装置と指示画面

## ②汚染度簡易診断装置

計数汚染度評価は、油中の固形粒子の個数を計数する光遮へい式レーザ計測装置が一般的に用いられるが、油中に存在する気泡も光を遮へいするため、計測装置は気泡を除去する（脱泡）機能が付随し、比較的大型で高価である。

今回、光遮へい効果に光反射効果を組み合わせ、油中の固形粒子と気泡を瞬時に峻別できる、トライボテックス株式会社が開発した原理を適用することにより、現場へも持ち込める小型の診断装置を開発した。

その原理について述べる。気泡は潤滑油中において真球に近い形状で存在する。一方、固体粒子は板状や針状などいびつな形状をしているものがほとんどである。そこで、図 11 に示したように、真球に当たった光は、その反射光が左右対称であるが、いびつな形状の場合、光は不規則に反射することを利用し、左右に反射した光が同期するとき気泡と判定して粒子カウントから外す。

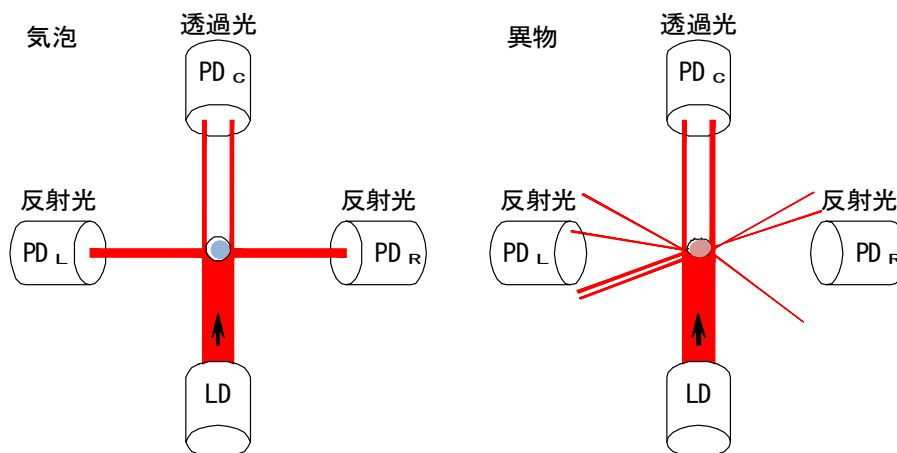


図 11 気泡と粒子（異物）に対する反射光のイメージ

このように、一部遮へいされた透過光強度から粒子の大きさを判別し、反射光の同期レベルから固形粒子か気泡かを区別する。実際には、判別パラメータをコンピュータ上で 3D 解析することによって粒子と気泡を区別する。

本研究開発では、潤滑油を検出部まで運ぶ方法として、図 12 に示すようにシリンジとリニアアクチュエータを使用することにより、油種によらず一定流量、微量油量での測定を可能とした。これにより、油送ポンプや脱泡用コンプレッサーが不要となり、小型化を実現した。また、施設現場からの要望を受け、装置サイズを保持しつつ操作部と指示画面を装置に組み込むことにより、利便性を向上させた。

汚染度診断装置のサイズと重量は表 4 に、また、汚染度診断装置の写真及び指示画面を図 13 に示す。

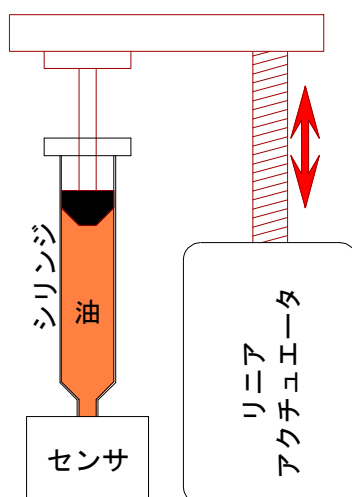


図 12 汚染度診断装置の作動イメージ

表 4 汚染度簡易診断装置のサイズと重量

幅[mm]	高さ[mm]	奥行[mm]	重量[kg]
247	308	226	8.5

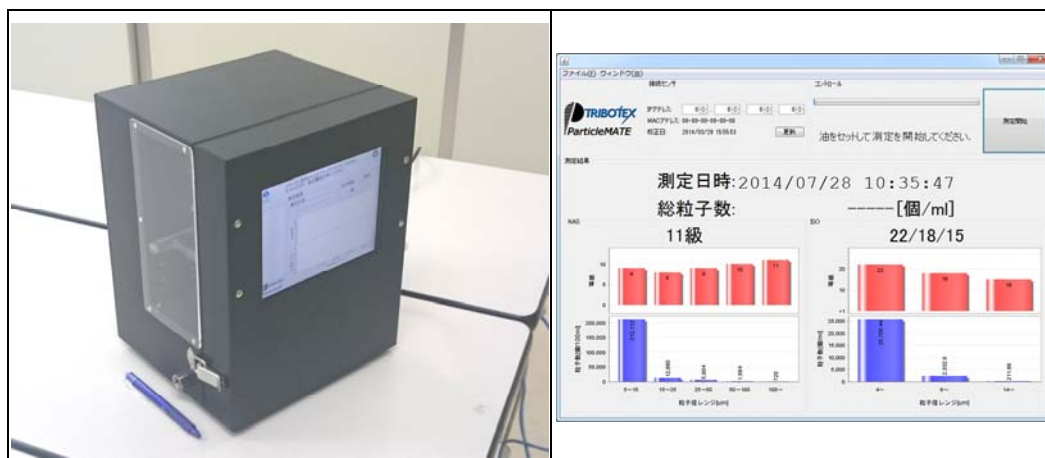


図 13 汚染度簡易診断装置と指示画面

装置の性能評価は、トライボ診断（精密診断）で使用している微粒子計数装置と測定データを比較することによって行った。

その結果、NAS 等級<sup>※3</sup>で最大 2 等級程度異なる場合もあったが、現場で簡易的に診断する装置としては、満足できる性能と言える。特に、試料を手攪拌した後、泡の影響を考慮することなくそのままの状態での測定できることは、施設現場での簡易診断に向いていると言える。

※3 NAS 等級とは、NAS1638 清浄度コードに従うスケール番号。100ml 中の微粒子の数で等級を決める。粒子径を 5~15 $\mu$ m、15~25 $\mu$ m、25~50 $\mu$ m、50~100 $\mu$ m、100 $\mu$ m 以上の 5 段階の粒径範囲に分類し、粒径範囲毎にその数量によって規定された等級で表す。総合等級は、各粒径範囲で最も高い（汚れた）等級とする。

### ③ 摩耗簡易診断装置

摩耗診断では、まず摩耗粒子を潤滑剤中から取り出し、フェログラムスライド（以降、データプレートという）を作成し、観察・測定する必要がある。

トライボテックス株式会社は、データプレートを簡単に作成できる小型軽量の回転式フェログラフィー分析装置（以降、RFA という）を考案しており、今回、RFA で作成したデータプレートを現場で簡単に測定できる装置を開発した。

本研究開発では、自動直動ステージを使用し、観察ポイントを自動で取得できる仕様とすることによって、現場測定者の力量を問わない簡便な方法とした。データプレートの観察イメージを図 14 に示す。



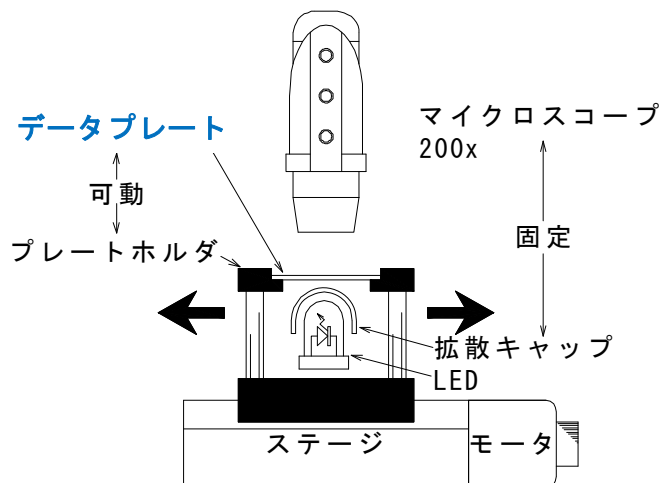


図 14 データプレートの観察イメージ

また、データプレートの画像処理には、二値化の前処理としてハイパスフィルタを導入し、明るさの影響を少なくすることによって、より正確に測定できるように工夫した。

摩耗診断装置のサイズと重量は表 5 に、また、摩耗診断装置の写真及び指示画面を図 15 に示す。

表 5 摩耗診断装置のサイズと重量

名称	幅[mm]	高さ[mm]	奥行[mm]	重量[kg]
既存の RFA <sup>※4</sup>	350	450	200	5.0
ホットプレート	127	97	254	2.3
簡易診断装置	150	200	200	3.0

※4 RFA は、データプレート作成用として使用する。

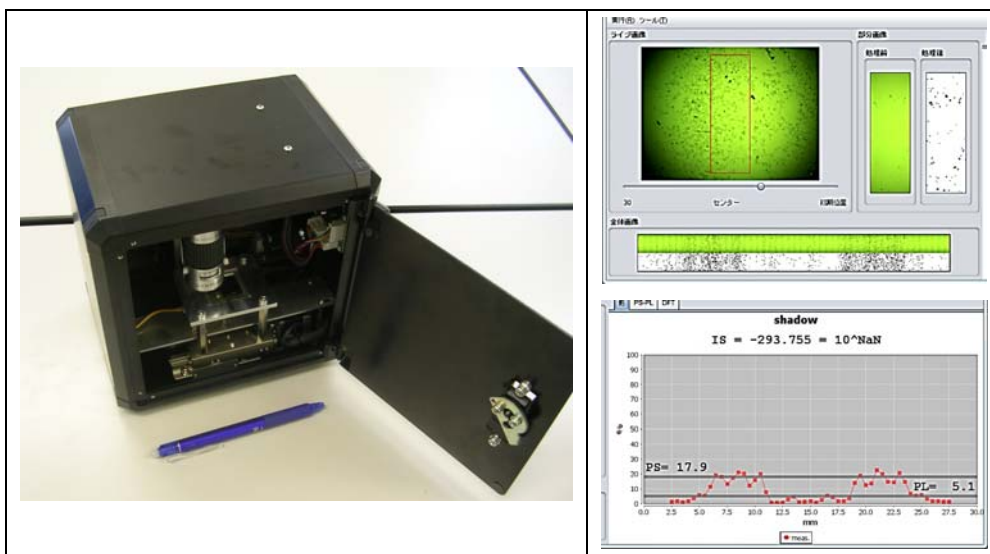


図 15 摩耗簡易診断装置と指示画面

装置の性能評価は、データプレートの中心近くに円形状に補足された比較的大きなサイズの摩耗粒子の光学濃度（以降、CE 値という）と、フェログラフイーによる Is 値（異常摩耗指数）との相関を調査することによって行った。Is 値は、トライボ診断（精密診断）で実施している定量フェログラフイーにおける評価パラメータの 1 つである。Is 値は、その指数部が大きいほど摩耗劣化が進展していることを示し、CE 値も同様に、その数値が大きいほど摩耗劣化が進展していることを示す。

関連調査の結果、決定係数は 0.96 と高く、簡易型の摩耗診断装置として満足いく性能であると評価できる。

### 3) 判定基準（案）策定

各簡易機能診断装置の評価パラメータは、精密診断の評価パラメータに対して十分な相関を持つことから、簡易診断の判定基準（案）は、精密診断で使用する評価パラメータの基準値を基礎として策定した。

潤滑剤は、含まれる添加剤の種類や量で酸化劣化の終点が異なる。そこで、酸化劣化は、基油の酸化劣化がこれ以上進行し難いと判断できる酸価の増加量（未使用潤滑剤との差分）を劣化の終点とし、潤滑油とグリースで判定基準を別に定めた。水分は、ギヤ油の許容限界濃度を終点として定めた。汚染度は、精密診断における評価パラメータである NAS 等級（油中異物濃度のスケール）の上限値を基礎に定めた。摩耗については、精密診断で用いられる定量評価パラメータである Is 値の上限を基礎に定めた。

状態評価は、専門知識が無くても判断できることを前提に、良好を○、注意を△、異常を×で表記する形式とした。但し、取得データ（数値）も表示可能である。尚、良好とは問題がない場合、注意とは軽微な劣化が発生している場合、異常とは劣化が比較的進行している場合と定義した。

## 1. 7 実証試験（現場適用）の概要、結果、課題等

### (1) 簡易機能診断装置の現場実証試験

大中の湖排水機場（滋賀県）及び大秋排水機場（新潟県）のポンプ設備のうち、10 台のポンプ、計 37 箇所の潤滑部位に対して、簡易機能診断装置を現場に持ち込み、デモンストレーションを兼ねて実際に計測を行った。その様子を図 16 に示す。

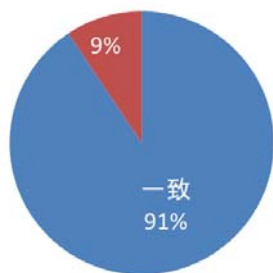
施設現場に 100V の電源と装置台（折りたたみテーブル）があれば、容易に現場で簡易診断ができることが確認できた。



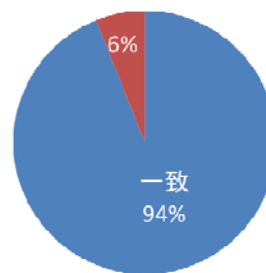
図 16 簡易機能診断装置を用いた現場計測の様子

(2) 簡易診断の整合性評価

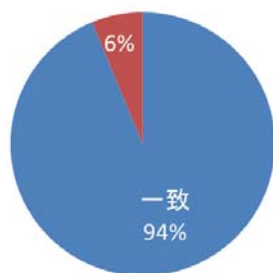
簡易機能診断結果がトライボ診断結果と一致した割合は、図 17 に示す通り、劣化簡易診断で 91%（酸化）及び 94%（水分）、汚染度簡易診断で 94%、摩耗簡易診断で 88%であった。尚、結果比較の詳細は表 6 に示す。簡易機能診断結果がトライボ診断と一致しない箇所を赤字で示した。



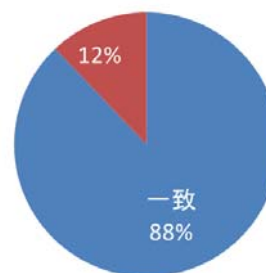
a. 酸化劣化診断



b. 水分診断



c. 汚染度診断



d. 摩耗診断

図 17 簡易機能診断結果とトライボ診断結果の一致割合

表 6 トライボ診断と簡易診断の結果比較

No.	排水 機場	診断対象設備		酸化劣化		水分		汚染度		摩耗		
				トライボ 診断	簡易 診断	トライボ 診断	簡易 診断	トライボ 診断	簡易 診断	トライボ 診断	簡易 診断	
1	大 中 の 湖	第1機場	1号 電動ポンプ	ポンプ すべり軸受	○	○	○	○	○	○	△	△
2		第1機場	1号 電動ポンプ	電動機 C側軸受	○	○	○	△	—	—	×	—
3		第1機場	1号 電動ポンプ	電動機 反C側軸受	○	○	○	○	—	—	△	—
4		第1機場	1号 電動ポンプ	減速機	○	○	○	○	×	△	×	×
5		第1機場	2号 電動ポンプ	ポンプ メタル軸受	○	○	○	○	△	△	△	△
6		第1機場	2号 電動ポンプ	電動機 C側軸受	○	△	○	○	—	—	△	—
7		第1機場	2号 電動ポンプ	電動機 反C側軸受	○	○	○	△	—	—	△	—
8		第1機場	2号 電動ポンプ	減速機	○	△	○	○	○	○	○	○
9		第1機場	1号 エンジンポンプ	ポンプ すべり軸受	○	○	○	○	×	×	△	△
10		第1機場	1号 エンジンポンプ	減速機	○	○	○	○	○	○	○	○
11		第1機場	1号 エンジンポンプ	ディーゼルエンジン	○	—	—	—	—	×	△	△
12		第1機場	1号 エンジンポンプ	ディーゼルエンジン過給機-1	○	○	○	○	○	○	△	○
13		第1機場	1号 エンジンポンプ	ディーゼルエンジン過給機-2	○	○	○	○	△	△	△	△
14		第1機場	2号 エンジンポンプ	ポンプ すべり軸受	○	○	○	○	○	○	○	○
15		第1機場	2号 エンジンポンプ	減速機	○	○	○	○	○	○	○	○
16		第1機場	2号 エンジンポンプ	ディーゼルエンジン	○	—	—	—	—	×	△	△
17		第1機場	2号 エンジンポンプ	ディーゼルエンジン過給機-1	○	○	○	○	○	○	△	△
18		第1機場	2号 エンジンポンプ	ディーゼルエンジン過給機-2	○	○	○	○	○	○	△	△
19		第1機場	3号 エンジンポンプ	ポンプ すべり軸受	○	○	○	○	○	○	○	○
20		第1機場	3号 エンジンポンプ	減速機	○	○	○	○	○	○	○	○
21		第1機場	3号 エンジンポンプ	ディーゼルエンジン	○	—	—	—	—	×	△	△
22		第1機場	3号 エンジンポンプ	ディーゼルエンジン過給機-1	○	○	○	○	○	○	△	○
23		第1機場	3号 エンジンポンプ	ディーゼルエンジン過給機-2	○	○	○	○	○	○	○	○
24		第2機場	4号 エンジンポンプ	ポンプ すべり軸受	○	○	○	○	×	×	×	×
25		第2機場	4号 エンジンポンプ	ディーゼルエンジン	○	—	—	—	—	×	△	△
26		第2機場	4号 エンジンポンプ	減速機	○	○	○	○	○	○	○	○
27		第2機場	4号 エンジンポンプ	ディーゼルエンジン過給機-1	○	○	○	○	○	○	△	△
28		第2機場	4号 エンジンポンプ	ディーゼルエンジン過給機-2	○	○	○	○	△	△	△	△
29		第2機場	5号 エンジンポンプ	ポンプ すべり軸受	○	○	○	○	×	×	×	×
30		第2機場	5号 エンジンポンプ	ディーゼルエンジン	○	—	—	—	—	×	△	×
31		第2機場	5号 エンジンポンプ	減速機	○	○	○	○	○	○	○	○
32		第2機場	5号 エンジンポンプ	ディーゼルエンジン過給機-1	○	○	○	○	△	△	△	○
33		第2機場	5号 エンジンポンプ	ディーゼルエンジン過給機-2	○	○	○	○	×	×	△	△
34	チューブラ機場	チューブラポンプ	減速機	○	○	○	○	○	○	○	○	
35	チューブラ機場	チューブラポンプ	ポンプ すべり軸受	○	△	○	○	×	×	△	△	
36	大秋	第1機場	3号排水ポンプ	2・3号共用圧油集油槽	○	○	○	○	×	×	△	△
37		第1機場	3号排水ポンプ	潤滑油集油槽	○	○	○	○	○	○	△	△

※判定結果は同一であるが、両者の取得データが乖離していたため、敢えて不一致としてカウントした。

ここで、劣化簡易診断において、ディーゼルエンジン油は検証対象外とした。その理由は、油の色相が墨汁のように変化していたため、劣化簡易診断装置の受光電圧レベルが基準に到達せず、測定自体できなかったことによる。なお、油の色相変化は、トライボ診断結果から、油の酸化劣化によるものではなく、ディーゼルスーツ（すす）の混入による影響が大きいと考えられる。

トライボ診断は、専門家が高価な大型分析装置を用いて行う高精度な精密診断との位置付けであるのに対し、簡易機能診断は現場で簡便に診断できる一次評価であることを考慮すると、これらの結果は、簡易機能診断装置がその目的に対して十分な機能を有することを示しているものとする。

また、トライボ診断との比較検証における計測結果の補正のため、並びに農業施設関係者からの要望反映のため、簡易機能診断装置の改良を行った。改良点の概要を表 7 に示す。なお、図 17 の結果は、装置改良後の再測定結果を反映したものである。

表 7 簡易機能診断装置の改良点の概要

装置	不具合、要望など	改良内容
劣化簡易診断装置	水分評価の不一致	水酸基(—OH)用バンドパスフィルタの透過波長域の縮小(透過半値幅の狭小化)
	耐衝撃性の向上	筐体の強度強化
	更なる小型化	再設計による筐体小型化
汚染度簡易診断装置	汚染度が低い場合のバラツキ	シリンジ清浄度の見直し(シリンジの変更)
	更なる小型化	基板見直し及び廃油ビンスペースの排除による筐体小型化
	利便性・操作性の向上	パソコン及び操作部を内部に一体化
摩耗簡易診断装置	特になし	—

## (3) 普及マニュアルの作成

普及マニュアルは、農業用揚排水機場の施設管理者が潤滑油診断による設備機能診断を適切に実施するための解説書として作成した。普及マニュアルは、「ポンプ設備の機能診断手法の解説書」並びに「簡易機能診断装置の取扱説明書」の2部構成とした。

## 1. 8 機能監視の概要、結果、課題等

本研究開発では該当なし。

2 事業の成果

2. 1 成果の内容

(1) 調査

トライボ診断を用いた傾向監視により、軸受不具合等が回避される可能性があること、農業用揚排水ポンプ設備においては、状態監視保全が重要であることを見出した。



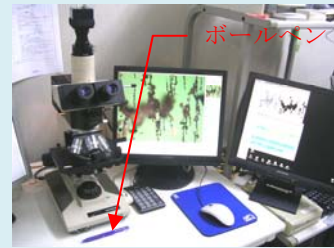

農業用揚排水ポンプ設備の劣化モードを分類・整理することにより、潤滑剤の酸化劣化と水分量、潤滑油中の固形異物濃度、及び摩擦面の凝着・疲労・切削摩耗に特化した傾向監視を行うことが有効であることを見出した。

(2) 簡易機能診断装置の開発

施設現場で計測できる安価で小型の①酸化劣化と水分量の評価に特化した劣化簡易診断装置、②固形異物濃度の評価に特化した汚染度簡易診断装置、及び③機械の摩耗評価に特化した摩耗簡易診断装置を開発した。

これらは、トライボ診断を実施する際、専用の試験室で使用される精密測定装置に比較して小型かつ安価であることに加え、操作が簡便で専門知識も不要であり、農業施設現場での活用が期待できる簡易機能診断装置である。(表 8)

表 8 精密測定装置と本研究開発で開発した簡易機能診断装置との比較

分類	劣化診断	汚染度診断	摩耗診断
精密機器分析装置			
	赤外線分光分析装置	微粒子計数装置	摩耗粒子測定装置
簡易機能診断装置			
	劣化簡易診断装置	汚染度簡易診断装置	摩耗簡易診断装置

(3) 普及マニュアル

潤滑油やグリースの分析に基づく農業用揚排水ポンプ設備の機能診断手法、及び携帯型簡易機能診断装置の使用方法を明記した普及マニュアルを作成した。

(4) 掲載論文

- ・ 農業用ポンプ設備の潤滑油による機能診断における留意点、農業農村工学会誌

- 第 82 卷第 1 号、2014.1、國枝正、水間啓慈、森充広、安藤泰久  
・農業用ポンプ設備の機能保全に関する現状と課題、農業農村工学会論文集第 294  
号、2014.12、國枝正、安藤泰久、水間啓慈、森充広、川畑雅彦

## 2. 2 目標の達成度

### (1) 成果から得られる効果

普及マニュアルに基づき、施設管理者は、本研究開発で開発した簡易機能診断装置を活用した農業用揚排水ポンプ設備の傾向監視を行うことが可能となる。

この一次評価で「注意」あるいは「異常」と判定された場合は、外部専門家にトライボ診断を委託して精密診断を実施し、その結果に基づき対策を実行することができる。これにより、ポンプ設備の高額な分解点検の必要性、あるいは点検時期を科学的に判断しながら、保全管理の PDCA を上手く回すことが可能となり、最適保全管理の道筋を創出する効果が期待できる。

### (2) 従来技術との比較

#### 1) 比較する従来技術

従来の農業用揚排水ポンプ設備の点検は、施設管理者による目視や触診・聴診等の五感診断が中心であった。この方法では、ポンプ設備の劣化進行を定量的に評価することが困難であり、供用年数を目安とした保守・保全に頼らざるを得ない。そこで、トライボ診断を導入し、ポンプ設備の劣化状態を的確かつ定量的に診断することにより、実際に性能が低下している設備から効果的に保守・保全を行う方法が現在試行されつつある。

#### 2) 従来技術に対する優位性

##### ①経済性

本研究開発の成果を利用すれば、ポンプ設備の定常的な分解点検費用、健全な部品の交換費用、突発的な故障による高額な分解整備費用などを節減できる。また、トライボ診断を実施すべきポンプ設備を容易に抽出でき、精密診断費用を縮小することが可能である。これらにより、ポンプ設備の LCC 低減が実行できる。

##### ②工程

本研究開発の成果を利用すれば、ポンプ設備の不具合兆候を早い段階から把握することができるため、設備管理者は、ポンプ設備の稼働状況に即した計画的な補修工程を組むことが可能となる。また、トライボ診断を実施すべきポンプ設備を容易に抽出できることから、揚排水機施設の効率的な更新工程の策定にも寄与できる。

##### ③品質

本研究開発の成果を利用すれば、ポンプ設備の状態を非分解で客観的に把握することが可能となり、施設管理者の力量に依存しない統一された品質を確保できる。また、開発した簡易機能診断装置は、実証試験により正確度の補正がなされており、現場に適する品質を保持している。

## ④安全性

事前に施設管理者はポンプ設備から潤滑剤を採取する必要がある。しかし、既存の排油口等から容易に採取できることから、施設管理者の安全性を従来以上に損なうことはない。また、各装置とも高圧電源は必要なく、安全性は一般的な家電品と変わらない。

## ⑤施工性

試料は既存の排油口等から容易に採取できることから、新たな仕様を追加施工する必要はない。

## ⑥周辺環境への影響

試料を化学反応させたり、気化させたりすることはないため、採油時の不注意による漏油を除けば、周辺環境への影響はない。また、診断に必要な油量は合計で 20ml 以下と極微量であり、使用後の産廃処理量も極めて少ない。

## 2. 3 成果の利用に当たっての適用範囲・留意点

本研究開発の成果の適用範囲は、農業用揚排水機設備であり、機械要素の細目は、ポンプ潤滑部、減速機潤滑部、電動機潤滑部、ディーゼルエンジン潤滑部で、潤滑剤の細目は、潤滑油及びグリースである。

ただし、簡易機能診断装置に関しては、対象設備や機械要素及び潤滑剤の細目に依存しない汎用的な仕様を志向して開発したことから、揚排水機設備以外、例えば農業用ゲート設備や農業用発電設備にも適用可能である。

本研究開発の成果を適正に実施するためには、潤滑剤の採取に留意する必要がある。

具体的には、潤滑剤が攪拌混合され潤滑剤に含まれる情報が均一になっている状態、つまり揚排水ポンプが稼働中、もしくは稼働停止直後に潤滑剤を採取することが望ましい。更に、外部からの異物などを混入させないよう注意が必要である。これらの留意点を適正に習得するために、施設管理者は、一般社団法人日本機械学会の認定資格 ISO18436-4 準拠 機械状態監視診断技術者（トライボロジー）を取得することが望ましい。



### 3 普及活動計画

#### 3. 1 想定される利用者

国営事業所、自治体、各種農業団体、農業法人、農業従事者。

#### 3. 2 利用者への普及啓発等の方法

普及マニュアルの頒布、施設現場でのデモンストレーション、研修会や懇談会、展示会、ポームページ、機関誌、学会等。

主として、普及マニュアルを想定される利用者に頒布し、成果内容を広く伝え認知して頂く。次に、簡易機能診断装置のデモンストレーションを施設現場で実施し、良さを認識して頂く。研修会や懇談会については、例えば、全国水土里ネットが主催する「施設管理コース研修」などで、トライボ診断の農業用施設への導入意義をはじめ、簡易機能診断装置の適用方法を説明した上でデモンストレーションを実施し、理解を深めて頂く。また、特許申請が終了している内容については、農業農村工学会などへ積極的に投稿及び発表を行い、学術的あるいは技術的な普及も図りたい。

#### 3. 3 利用者に対するサポート体制、参考資料等

講習会、実地研修、メールあるいは電話による受付、校正及び調整。

普及マニュアルに簡易機能診断装置の操作方法を明記している。加えて、簡易機能診断装置の導入時には、実地研修を含む講習会を開催し、ひと通りの操作を習得して頂く機会を設ける。トライボテックス株式会社の営業部が保守サポートの窓口となり、保証期間後の故障については、代替器の準備や現地出張修理（有償を予定）を検討する。また、校正や調整は有償で行うが、販売あるいはリース時に保守契約（有償を予定）を結び、校正や調整を定期的に行うことも視野に入れる。校正及び調整はトライボテックス株式会社の技術開発部が担当する。

#### 3. 4 特許・実用新案等の申請予定

##### (1) 申請者予定者

- 1) 独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構 農村工学研究所、  
トライボテックス株式会社
- 2) トライボテックス株式会社

##### (2) 申請予定時期

- 1) 2014年4月18日 特許審査請求（特願 2014-16164）
- 2) 2015年3月 特許申請予定

## 4 研究総括者による自己評価

項 目	自己評価	自己評価の理由
研究計画の効率性・妥当性	A	アンケート調査及びトライボ診断の実施により、劣化モードの分類・整理が効率良く行え、その結果に基づく簡易機能診断装置の設計に繋げることができた。 予想外の劣化モードが発現したが、期間内に全装置を開発できたことから、妥当性のある計画内容であった。 また、実証試験も二箇所の排水機場で実施できた。
目標の達成度	B	劣化簡易診断装置、汚染度簡易診断装置、摩耗簡易診断装置の3種類の簡易機能診断装置を開発できた。 簡易機能診断装置の活用により、施設管理者自身による農業用揚排水ポンプ設備の傾向監視を可能にし、最適保全管理の道筋をつけることができた。 ただし、実証試験のみで簡易機能診断装置に対する現場要望を全て抽出できたとは言い難く、実用の中で発生する要望などを反映し、より良い装置にすべく改良に努めたい。
研究成果の普及可能性	A	研究成果を普及マニュアルにまとめている。また、実証試験を行った際、簡易機能診断装置に対する施設関係者からの評判は良く、実際、引き合いが来ている。また、農村工学研究所が実施した研修会においても、簡易機能診断装置は好評であった旨、報告を受けている。 以上から、普及の可能性は極めて高いと認識する。
総合コメント		
<p>3年という短い研究開発期間で、農業用揚排水ポンプ設備を対象とした3種類の小型簡易機能診断装置を開発することができた。これらの装置は、単に小型で使い易いだけでなく、専門機関等で一般的に使用されている高精度・高額な大型分析装置が測定データのみを表示するのに対し、3段階評価を自動で行える点でも優れている。</p> <p>施設管理者が、本研究成果を農業用揚排水ポンプ設備の最適保守管理手法として活用して頂くために、予診手段としての適用性とトライボ診断についての理解を得られるように努め普及活動を推進していく。また、本研究成果は、他省および一般産業界におけるポンプ設備に対しても適用可能であることから、農業用以外の様々なポンプ設備への適用も図っていきたい。</p>		

注) 評価結果欄は、A、B、Cのうち「A」を最高点、「C」を最低点として3段階で記入する。

## 5 今後の課題及び改善方針

簡易機能診断装置の需要台数を早急に把握し、適正利益が得られる装置販売価格、あるいはリース契約方法などを検討するとともに、製造体制と保守サポート体制を構築することが直近の課題である。

また、施設管理者が、的確に簡易機能診断を実施し、それに続いてトライボ診断を適切に実行するために、潤滑剤の採取方法に関する理解を浸透させる必要がある。

簡易機能診断装置は、その目的に対して十分な性能を有するが、引き続き実証データの収集を行うと共に、実用中に発生する現場からの要望（例えば、摩耗簡易診断装置の更なるコンパクト化による操作性の向上など）をでき得る限り反映できるよう、改良に努めていきたい。加えて、簡易機能診断装置が、農業用ゲート設備や農業用発電設備にも適用可能であることを検証し、研究成果の普及範囲の拡大を目指したい。

## —参考資料—

参考資料として、アンケート調査票を以下に示す。

施設管理者情報	
アンケート記入して頂く団体の情報をご記入下さい。	
【都道府県名】	<input type="text"/>
【団体名】	<input type="text"/>
住所	<input type="text"/>
電話番号	<input type="text"/>
【回答者】 氏名	<input type="text"/>
所属	<input type="text"/>
E-Mail	<input type="text"/>

施設情報						
施設の情報についてお答えください。						
【施設名】	<input type="text"/>					
【供用開始年月】	<table border="1"><tr><td>西暦</td><td><input type="text"/></td><td>年</td><td><input type="text"/></td><td>月</td></tr></table>	西暦	<input type="text"/>	年	<input type="text"/>	月
西暦	<input type="text"/>	年	<input type="text"/>	月		

ポンプ設備情報

ポンプ設備の種類を選択してください。

- <選択肢>  
 1.揚水ポンプ設備  
 2.排水ポンプ設備

--

機器の諸元

機器の諸元についてお答えください。

	1号機	2号機	3号機	4号機	5号機
【質問1】 型式(1) <選択肢> 1.横軸 2.縦軸					
型式(2) <選択肢> 1.斜流ポンプ 2.渦巻ポンプ(遠心ポンプ) 3.軸流ポンプ 4.その他					
【設置(更新)年月】					
【質問2】 吐出能力(m <sup>3</sup> /s)					
【質問3】 ポンプ口径(mm)					
【質問4】 揚程(m)					
【質問5】 原動機の種類 <選択肢> 1.電動モータ 2.ディーゼルエンジン 3.その他					
【質問6】 原動機出力(kW, PS)					

潤滑剤に関する質問

潤滑剤に関してお答えください。

【質問7】 潤滑剤の種類	【号機】	代表として1号機		
	【構成機械】	減速機	インペラ軸受	原動機
<選択肢> 1.潤滑油 2.グリース 3.不明	【潤滑剤の種類】			
【質問8】 潤滑剤の銘柄				
【質問9】 潤滑剤の容量(L又はg)				
【質問10】 潤滑剤を交換した年月				

潤滑剤について問題があれば、具体的に記入してください。

--

(全角200文字、半角400文字以内)

分解点検に関する質問

分解点検に関してお答え下さい。

【質問11】 分解点検の実績についてお答えください。

<選択肢>

- 1.有 :【質問12】へ
- 2.無 :【質問18】へ
- 3.不明 :【質問18】へ

1号機	2号機	3号機	4号機	5号機

【質問12】 分解点検時における「軸受部」の交換有無についてお答えください。

<選択肢>

- 1.交換有り
- 2.交換無し
- 3.不明

1号機	2号機	3号機	4号機	5号機

不具合の内容を具体的に記入してください。

(全角200文字、半角400文字以内)

【質問13】 分解点検時におけ「軸受部以外」の交換有無についてお答えください。

<選択肢>

- 1.交換有り
- 2.交換無し
- 3.不明

1号機	2号機	3号機	4号機	5号機

不具合の内容を具体的に記入してください。

(全角200文字、半角400文字以内)

【質問14】 分解点検の概算費用についてお答えください。

	1号機	2号機	3号機	4号機	5号機
(万円)					
合計 (万円)					

対象機器とその他の内訳がわからない場合は、合計に記入してください。

【質問15】 分解点検の周期の決め方(予定を含む)

<選択肢>

- 1.時間計画保全 :【質問16】へ
- 2.状態監視保全 :【質問17】へ
- 3.事後保全 :【質問17】へ
- 4.特に決めていない :【質問17】へ

1号機	2号機	3号機	4号機	5号機

【質問16】 分解点検の周期についてお答えください。

	1号機	2号機	3号機	4号機	5号機
(年)					

【質問17】 次回分解点検の予定

1号機	2号機	3号機	4号機	5号機

【質問18】 過去にあった機器の重大なトラブル

1号機	2号機	3号機	4号機	5号機

※ここにおける「重大なトラブル」とは、機器の不具合により、即時、機械の停止をせざるを得なかったものをいいます。

具体的な問題点について記入してください

(全角200文字、半角400文字以内)