

# 油中の粒子と気泡を瞬時に識別する 世界初の設備診断センサの開発

トライボテックス株式会社

代表取締役社長 川畑 雅彦

トライボテックス(株) 井原 聡

トライボテックス(株) 類家 淳司

トライボテックス(株) 安部田 泰

トライボテックス(株) 山田 翼

トライボテックス(株) 長門 真吾

## はじめに

近年、コロナ禍が正常化しつつある中において、企業環境はデータのデジタル化とDXへの対応が加速しており、厳しいビジネス環境にDXを活用し新たな企業戦略による安定収益と保全形式の創成が急務となっている。本取組みでは、産業界にとり重要な課題である保全のデジタル化に対応するオンライン自動粒子数測定技術を確立するとともに、デジタルデータを活かしたデータドリブン経営に資する設備診断センサの開発を行った。

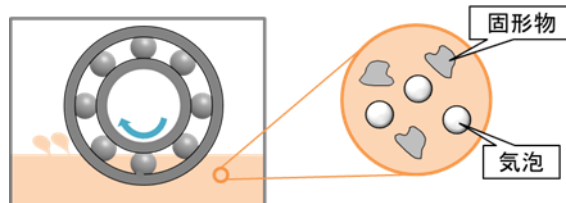
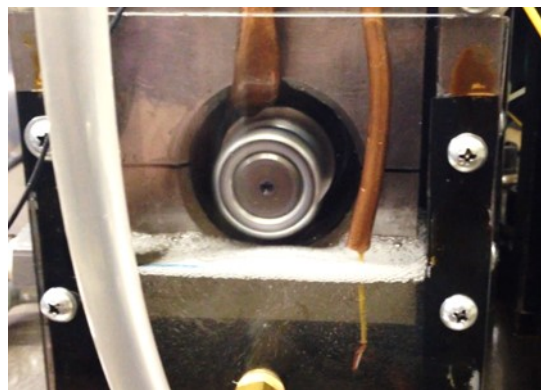


図1 潤滑油中の気泡の様子

## 開発のねらい

産業機械の潤滑油の清浄度は、レーザー光を使用した自動粒子計数器による油中粒子数測定の結果により評価（JIS B 9934）することが主流となっている。この油中粒子数測定では、油中の気泡が偽計数の原因となるため、分析する場合には減圧、超音波、加振等により油中の気泡を除去した後測定を実施する手順が規定されている。

回転部を有する産業機械は、潤滑部の潤滑油中に多数の気泡が混在している場合が多く（図1）、JIS B 9934 で規定されている手順に従い分析を

行うと気泡除去の工程が必要であった。このことが分析データのデジタル化とICT化の障害となっており、分析結果が出るまで設備の健全性が担保できないという課題があった（図2）。

そこで、本取組みでは事前脱気が不要で、流れ場中で「粒子と気泡を峻別」し粒子のみをリアルタイムに計数するセンサの開発を行った。

## 装置の概要

本取組みにより開発したセンサは、新たに開

### 診断スキームの変革(診断はラボから現場へ)

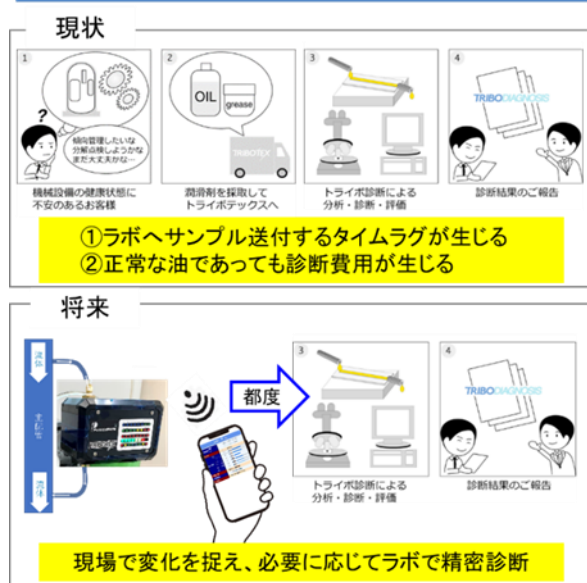


図2 診断スキームの変革

発した原理「光同期式気泡識別法」を用いることで、事前脱気を必要とせず、流れ場中の「粒子と気泡を峻別し」粒子のみをリアルタイムに計数する装置である。本装置(図3)はネットワークへの接続機能があり、油中粒子数の計数結果をパソコンやスマートフォンに送信することが可能である。すなわち、現場設備の油圧・潤滑油系統にセンサを搭載すれば現場設備の摩耗状況を手元のデバイスでいつでも確認することができ、専用の接続ネットワークを構築することでオンライン上での常時遠隔監視が可能となる。



図3 新開発センサの外観

### 技術上の特徴

これまでの液中粒子計測装置は、JIS B 9934で規定されている光遮蔽式計数法により行われてきた。この光遮蔽式計数法は、例えば図4に示すように発光素子(LD)と受光素子(PD)が一对であり、LDから照射されるレーザー光をPDで受光し、受光した電圧の降下回数と降下電圧の大きさをパラメータに粒子の数とサイズを計測するものである。

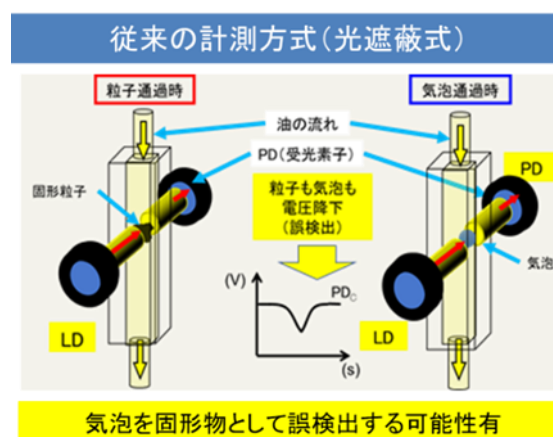


図4 従来の計測方式の受光素子レイアウト

この原理による粒子検出では、センサ部を通過する油中異物がレーザー光を遮ることにより発生する電圧降下が検出パラメータであり、センサ部を通過する異物が粒子であっても気泡であってもレーザー光は遮光されて電圧降下が発生するため、これが偽計数の原因となっていた。そこで、自動粒子計数法に関する規格であるJIS B 9934では、気泡を取り除いたのちに計数する手順が規定されており、この手順を経るとサンプリングから試料油運搬、分析、データ確認など複数のプロセスと日数が必要となる。

例えば、現場設備で油の汚れが目視確認できたとしても、それが、重大インシデントにつながる可能性があるのか否かを現場で定量判断する術がなく、場合によっては、長時間機械を停止せざるを得ない状況となることもある。このよう

に、設備の安全と適切な保全計画にとって、気泡と粒子を現場で識別する技術は優先度の高い課題となっていた。

今般開発した技術では、粒子と気泡がセンサ部を通過した際に発生するレーザー散乱光の違いに着目することで気泡と粒子の識別を実現した。図5に示す通り、気泡がセンサ部を通過する際のレーザー散乱光はレーザー光の進行方向に対して均一となる。一方、粒子がセンサ部を通過する際のレーザー散乱光はレーザー進行方向に対して不均一となる。この原理を用いた気泡識別手法を「光同期式気泡識別法」と名付けた。

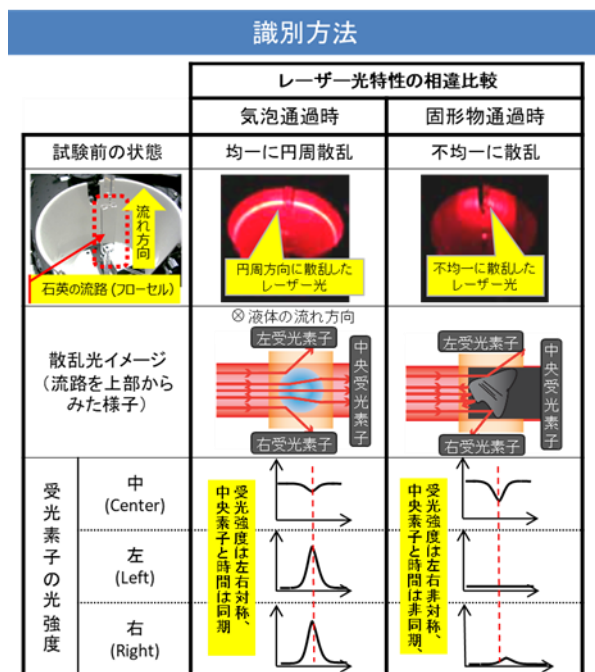


図5 気泡識別の原理

「光同期式気泡識別法」の受光素子レイアウトを図6に示す。「光同期式気泡識別法」はセンサ部に受光素子を複数配し、気泡表面の側方散乱光を左右の受光素子で受光(正電圧)し、中央の受光素子の受光電圧(負電圧)と同期させることにより気泡と粒子を瞬時識別している。この光同期式識別法を用いたセンサは、潤滑油中に気泡が存在していても気泡の峻別が明確に可能であることから、計測データをデジタル化し、オンラインで油中粒子数の連続監視が可能であり、インターネット等で任意の場所に送信する

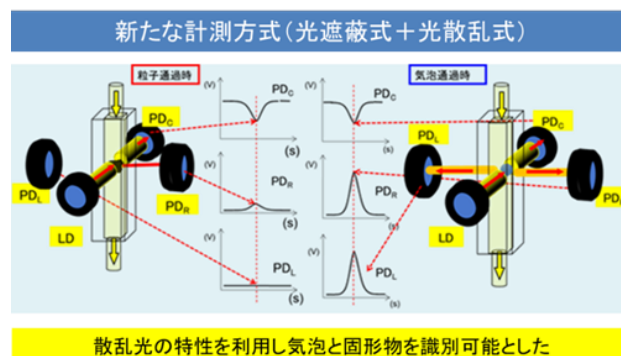


図6 新たな計測方式の受光素子レイアウト

DX対応が可能となった。

すなわち、これまで不可能であった機械システムの摩耗状態をIoTの利活用によりリアルタイムに遠方監視するシステムの構築を可能とするセンサの開発に成功した。

この「光同期式気泡識別法」によって、気泡と粒子の分離は実現できたが、本装置には検出感度の課題が残った。本装置の粒子サイズの検出下限は5 $\mu\text{m}$ であったが、主に油圧システムの作動油中の塵埃を対象としたISO 4406の清浄度コードでは4 $\mu\text{m(c)}$ が規定されていた。

本装置は種々の業界で幅広く活用されることを期待しているため、このISO 4406にも対応すべく検出感度向上の研究に取り組んだ。この取り組みの概要を図7に示す。

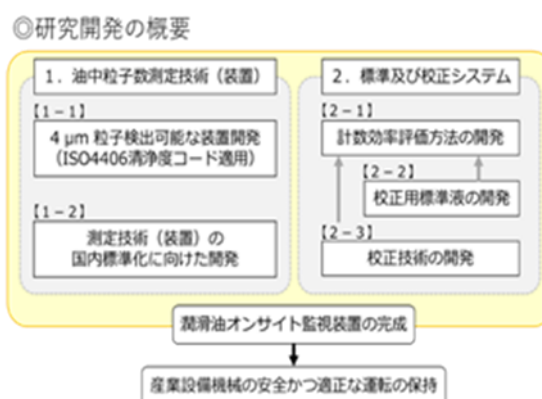


図7 サポイン事業の研究概要

本研究は平成29年度に申請し採択されたサポイン事業「機械保全に資する潤滑油オンサイト監視装置の開発」(計画認定番号及び認定年月日: 中部1607028-1 平成29年7月28日)を活用し、当社と産総研の連携によって実施した(図8)。



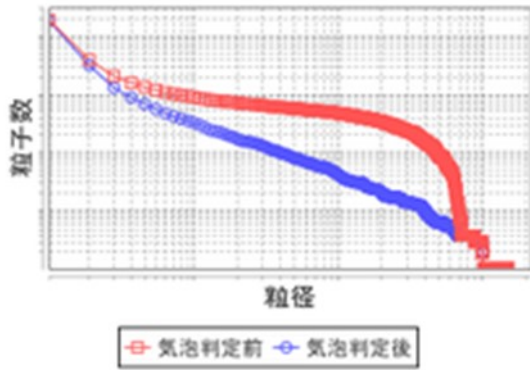


図8 サポイン研究成果による気泡判定効果

これらの研究結果を踏まえて開発した装置は、高さ10cm×幅15cm×奥行10cmと掌（てのひら）サイズの小型であり産業機械の潤滑回路への組み込みも可能であることから、web環境を整えることでオンライン診断システム構築を可能としたのが最大の特徴である。潤滑状態を判断するパラメータは、これまで温度・振動・圧力・流量等であったが、本開発により監視する「油中粒子数」が新たな状態監視パラメータに加わることで、「分解して確認する」保守点検方式から、「非分解で確認する」保守点検方式への移行に資すると想定され、陸・海・空の産業界で使用されているあらゆる機械設備の保守点検方式の革新につながることを期待される。なお、現時点において、本装置の競合となる製品はない。

## 実用上の効果

潤滑状態をデジタル化するオンライン監視は、デジタルデータのネットワーク化が可能となるため多数の設備機械の健全性が瞬時に把握できるようになり、いわゆる「データドリブン経営」が可能となる。総務省の情報通信白書（令和2年度版）によれば、オンラインデータの利用率が大きくなると、資本投入や労働投入で説明できない付加価値の伸び、いわゆるTFP（全要素生産性）が8%向上するとされている。また、機械設備の保守マニュアルに「潤滑油は1年で交換を推奨」と記されているが、データ監視により科学的で合理的な根拠に基づき潤滑管理を適正化

させることで油取替の延伸化も見込めることから、カーボンニュートラルを目指す企業の「GX（Green Transformation）」にも資することとなり、省エネ、省資源、コスト低減に役立つことが期待される。

## 知的財産権の状況

本開発品の装置に関連する特許登録は下記の通りである。

① 日本国特許第4719587号

名称: 微粒子計数装置、これを用いる微粒子計数方法及びこれを備える潤滑対象部診断システム

概要: 液体（特に、潤滑油）中に含まれる比較的大径で広範囲に及ぶ微粒子と気泡とを光学的に識別して所定の粒径毎の微粒子を高精度に計数することができる微粒子計数装置。

② 日本国特許第6467579号

名称: 粒子計数装置及び粒子計数方法

概要: 液体中の粒子の形状、材質、サイズ等を詳細に識別しつつ粒子の個数を計数することができる粒子計数装置。

③ 日本国特許第6592765号

名称: 粒子計数装置

概要: 液体中の粒子の性状を詳細に識別しつつ粒子の個数を計数できるとともに、採液するポンプに起因する装置の大型化や測定精度の低下を抑制することができる粒子計数装置。

## むすび

デジタルデータで可視化される潤滑状態により、産業界の保全方式に新たなフェーズが加わり、限りある資源の有効活用となることや、インフラの安定運転等が期待されます。私共は今後も現場の声を大切にしながら産業界の発展、ひいてはSDGsへの貢献を目指し努力致します。