

油圧シリンダ用故障検知機器の開発

岩本 貴宏 ・ 高橋 佑介

1 はじめに

近年、様々な市場でIoT^{注1)}やICT^{注2)}などを活用した情報収集、未然故障診断の開発、製品化が進んでいる。建設機械、産業車両に代表される、油圧機器が多く搭載される機体メーカー各社においても、機体状態や稼働状況を遠隔でモニタリングし、機体ダウンタイム軽減を目的に様々な状態監視が行われている。

一方で、生産設備などの市場では、予知保全をキーワードとして、振動や加速度を検出可能な機能を備えた軸受などの部品を搭載した機器の導入が進んでいる。

KYBでも各種センサ開発や、取得したビッグデータを活用した状態監視システム開発を進めてきた。今後は油圧機器自体で各種センサ情報から、状態や予兆を検知し、不調を発信するセルフケア機能が搭載されると推察される。

本報では故障情報を検知する無線状態監視システムを開発し、KYB油圧製品の付加価値向上を狙いとして取り組んだ、油圧シリンダ用故障検知機器の原理試作について紹介する。

注1) Internet of Things (モノのインターネット) のこと

注2) Information and Communication Technology (情報通信技術) のこと

2 開発の狙い

油圧シリンダ(写真1)は油圧システムの中で末端に位置するアクチュエータであり、ロッドシールのみで高圧な作動油を外部に対し密封し、さらに外部ダスト環境で摺動している。KYBの油圧シリンダは外部油漏れの対策を中心として進化を続けてきたが、現在でもシリンダ故障は、ロッドシール部からの油漏れが高い割合となっている。

ロッドシール部からの油漏れは、シール寿命による油漏れと、ロッド傷つきなどによる偶発的な油漏れの2種類に大別できる。

そこで、油圧シリンダのシール寿命による油漏れ

と偶発的な油漏れの両要因による油漏れを早期に検知する機能を備えた機器の開発を狙いとする。



写真1 油圧シリンダ

3 盛り込み技術

3.1 油漏れ検出技術

本開発は、現行油圧シリンダの基本機能を維持しつつ、故障検知機能を付加することを基本思想としている。そこで、油圧シリンダのロッド径に関わらず、簡単に装着が可能で、かつ汎用的なセンサを用いた油漏れ検出機構を構築した(図1)。

一般的にロッドシールからの油漏れは、装着された各シール部品のシール性が、寿命や偶発的な要因で低下することによって、シリンダ外部への油漏れが発生する。そこで、メインシールとダストシール間に新たに検出専用の追加シールを装着し、ロッドシールを通り抜ける油の微小な圧力をセンサで検出し、その変化をモニタリングして油漏れを判定するようにした。

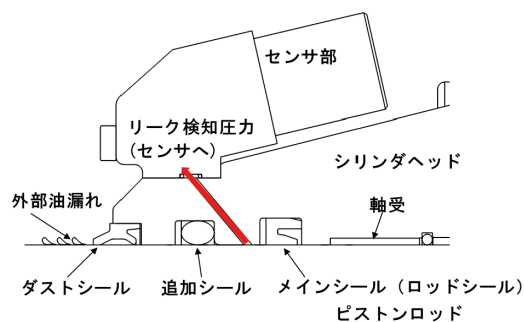


図1 油漏れ検出機構略図

3.2 無線通信技術

油圧シリンダを搭載する機体は多くの場合、過酷な

環境で使用され、またその中でも、アクチュエータであるシリンダは油圧配管のみが存在する機体先端に配置される。そのため、センサ駆動用の電源線や出力信号線が確保しにくい箇所への装着性や現行製品への展開容易性などを考慮し、電源線および信号線が一切不要な、電池駆動にて故障情報を無線通信で出力する完全ワイヤレスセンサを適用したシステム構成とした(図2)。

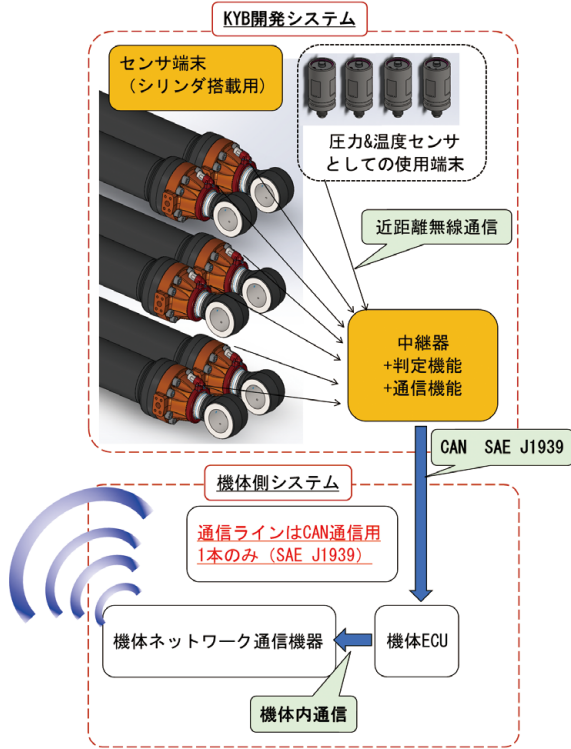


図2 システム構成

3.3 低消費電力技術

油圧シリンダのメンテナンス間隔、シール寿命は複数年に亘ることから、センサ端末の駆動電池寿命も複数年の連続動作が必要となる。そこで、センサ端末機能のシンプル化、高効率DCDCコンバータ^{注3)}の搭載による低消費電力化を盛り込んだ。さらに大容量電池搭載での長寿命化も実施した。

なお、センサ端末は機体先端などの比較的日常生活メンテナンスが実施しにくい箇所に設置されるため、充電作業が不要な一次電池での駆動方式とした。

3.4 省スペース・高耐久性

開発したセンサ端末は、現在生産しているKYB製油圧シリンダへの装着性と機体干渉、および被掘削物との接触の面から、シリンダ最大外径に対し内側に配置する必要がある。また、シリンダとのクリアランスを設けることで、異物の挟まり、電波遮蔽も回避できるよう省スペース化した(図3)。

過酷な振動環境での使用を考慮し、高い耐振性と耐衝撃性を備えるセンサ構造とした。

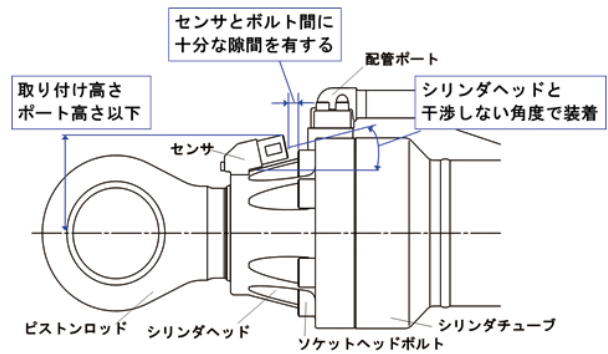


図3 センサ端末取り付け部

注3) 直流電圧をある電圧レベルから別の電圧レベルに変換する電力変換器のこと

4 原理試作

開発したシステムは、油圧シリンダに装着され、油漏れに伴う圧力を検出するセンサ端末と、センサ端末から送信された無線信号を受信し、演算処理を実施する中継器にて構成する。

4.1 油漏れ検出機構

原理試作での油漏れ検出機構は、市場でオプションアタッチメントとして後からでも装着できる構造とした。試作品の構成は以下の通りである(図4)。

- ①シリンダヘッド：装着用ボルト穴追加加工
- ②シールハウジング：検知シール装着用
- ③センサホルダ：センサ端末装着用
- ④リリーフバルブ：高圧からのセンサ保護用
- ⑤センサ端末：試作品

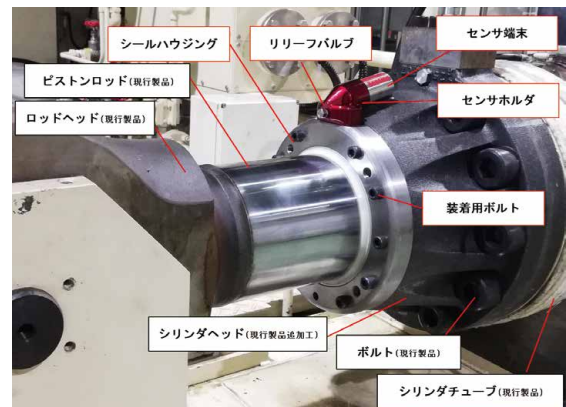


図4 原理試作品部品構成

センサ端末に搭載した圧力検出部は、油漏れの兆候を早期に検知するため、微小な圧力を検出できる低圧領域の検出部が必要である。しかし、偶発的な要因による油漏れが生じた場合は、油圧シリンダの伸縮動作に伴う高い圧力が加圧されることとなり、耐圧不足により検出部の破損が懸念される。そこで、

センサホルダにリリーフバルブを備え、検出部を保護する構成とすることで、高圧となる環境下において、低圧領域計測の検出部を装着可能とした。

4.2 無線通信システム

現在、無線通信方式は様々な周波数帯が存在するが、本システムでは搭載機体サイズや使用環境を考慮し、通信距離が数十メートルから数百メートルの2.4GHz近距離無線通信（PAN：Personal Area Network）を採用した。なお、この周波数帯は免許不要で世界共通で使用可能である。また、モジュール単体で無線認証が進んでおり、製品認証の簡略化が可能となる。

さらに、様々な環境において高い通信信頼性を確保するため、センサ端末同士での相互通信が可能なマルチホップ機能、チャンネル干渉で有利な常に周波数を移動しながら通信する伝送周波数ホッピング機能を備えた無線モジュールを適用した。

4.3 センサ端末

センサ端末は、内部に無線モジュールを実装した基板および駆動用一次電池を備え、各部品をステンレス製ケースに保持し、高い耐振性と耐衝撃性を備えた構造とした（図5）。また、外形寸法は、長さ66mm、径Φ37mmとし、KYB製油圧シリンダのシリンダヘッドと干渉しないよう省スペース化した。

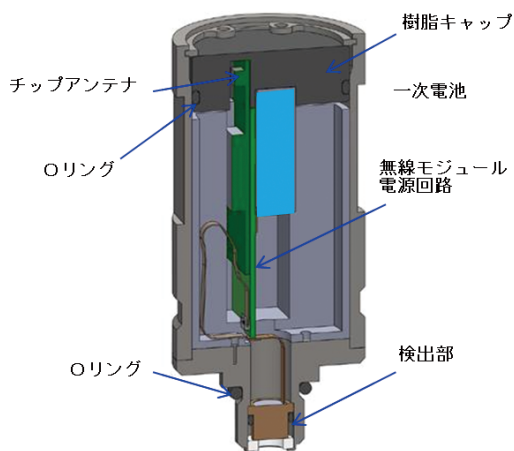


図5 センサ端末構造概略図

4.3.1 電子回路構成

無線モジュールを使用する場合、制御用のCPU^{注4)}を別で搭載する構成を採ることが一般的に知られている。しかし、無線モジュールには、通信などを制御するCPUがあらかじめ搭載されているため、2つのCPUをそれぞれ駆動することになり、より多くの電力を消費してしまう。そこで、無線モジュールに搭載されたCPUのユーザ領域を活用した構成とし、消費電力を低減した。なお、CPUのユーザ領域は限られているため、計測と無線通信の機能に限定したシンプルな独自のプログラムとした。

4.3.2 駆動電源回路

無線モジュール制御用のCPUを未搭載としたことで実装面積の削減を実現し、大容量の二酸化マンガンリチウム電池を搭載しつつコンパクト化を可能とした。

電池特性は、一般的に周囲温度の依存が大きく、特に低温環境下では著しい性能低下が生じる。

屋外で使用される機体の使用温度範囲は、下限温度が-20℃であることが多い。この場合、搭載した電子部品の一部で駆動電圧範囲を下回り、動作不能となる懸念がある。そこで、周囲環境の温度変化においても安定した駆動電力を供給し、かつ間欠動作パターン（後述）で時間割合の高い待機動作での低負荷領域において、電力変換効率が優れ、消費電力の小さい高効率DCDCコンバータを搭載した。

4.3.3 無線通信アンテナ

無線信用アンテナは、センサ端末外部に突起物のない形状とするため、基板実装型のチップアンテナを採用した。ステンレス製ケース内にチップアンテナを収納することで懸念される電波遮蔽は、上部に備えたキャップ部品を樹脂製にすることで、電波の透過を可能とした。なお、この樹脂キャップは電池や実装基板の固定と外郭防水シール機能を兼ねており、高い耐振動性、耐衝撃性、耐水性を実現している。

4.4 中継器

センサ端末から受信した圧力、温度の計測データを、温度補正および圧力値への換算処理を行い、独自の演算式で油漏れの判定や兆候を診断する。

圧力、温度の計測データのほかに、駆動用一次電池の電池電圧も受信し、残量を監視して電池交換時期を出力する。

そのほかに、無線通信パラメータやセンサ端末の動作パターンパラメータの設定や、通信状態の監視に関わる機能を備えている。

中継器にシステムの中核を担う演算処理機能を集中化したことで、今後生じる様々な要求に柔軟に対応可能な機能拡張を容易にし、独自性と発展性を実現可能とした（図6）。



図6 計測データ変換処理

4.4.1 計測・送信動作パターン

開発したシステムは、電池駆動のセンサ端末を電池無交換で長時間連続動作を実現するため、常時動作ではなく、計測および送信動作と待機動作を行う

間欠動作パターンを採用した（図7）。

計測および送信動作では、高い電力消費を必要とする送信を、計測データを一定量蓄積した後にまとめて送信することで、送信頻度を減らし電力消費を低減した。

この動作パターンは、今後搭載する機体や環境にあわせて、計測時間、サンプリング周期およびシステム周期の3つの動作パラメータを任意に設定可能な仕様とした。

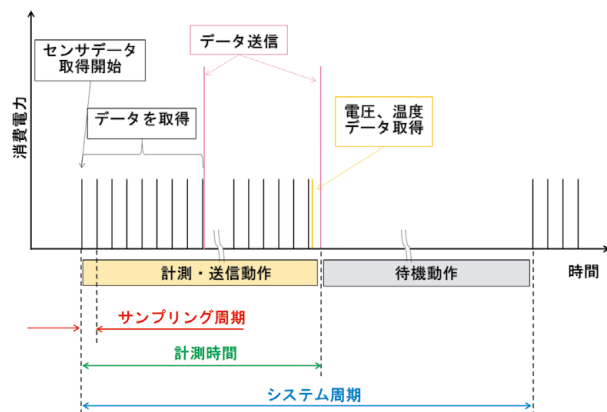


図7 間欠動作パターン

4.4.2 判定結果の出力

油漏れ判定結果は、ユーザが扱いやすいデータに変換し、CAN^{注5)}通信にて搭載機体のECU^{注6)}へ出力する。なお、CAN通信は、建設車両、農業車両やバストラックなどの商用車で利用されているSAE J1939を適用した。

機体側ネットワーク環境も考慮し、計測データをSDカードへ蓄積する機能を搭載した。

4.4.3 駆動電源

中継器の駆動は、機体装着を前提にDC24V駆動で自動起動や自動停止などの機能も備え、搭載車両のバッテリー負荷低減を考慮した使用しやすい機能も搭載した。また、産業用途として使用可能なAC100Vの電源駆動にも対応している。

注4) Central Processing Unit (コンピュータの中央処理装置) のこと

注5) Controller Area Network (シリアル通信プロトコル) のこと

注6) Electronic Control Unit (電子制御装置) のこと

5 現在の状況

本システムは、研究段階での原理試作品による評価を終え、量産可能な工程での試作へと移行し、各構成部品はその工程での試作を完了している。

研究段階から製品開発段階へ移行し、量産性を加味した部品設計での試作品の製作も完了したため、動作確認、耐環境性確認、電気的特性に関する試験もすでに実施中である。

今後、早期に機体への試作品提供ができる体制となるようシステム評価を実施中である。

今回、研究レベルでの原理試作から製品開発の量産に向けた試作へのスムーズな移行は、当社の研究機関と製品開発部門での小規模グループ化による柔軟性によるものであり、両部署をもつ弊社の強みであると再認識している。

6 おわりに

本来、故障予知検知機能は、そのメンテナンスビジネスやデータ活用が重要であり、今後は、デジタル技術を取り入れ、それに合わせたシリンダ機能、供給の最適化へ広がっていく。

今回は油圧シリンダをターゲットとして開発を行ったが、開発で得られた無線通信技術や電池駆動技術を応用し、各種センサの完全ワイヤレス化やエネルギーハーベストの適用による完全自立型センサへ発展させ、各種油圧製品への組込、機能の見える化や自己診断、予知などの機能を有した高付加価値製品の開発に取り組んでいく。

参考文献

- 1) 船戸：中型油圧シヨベル用 倒立バケットシリンダ，KYB技報第57号，(2018年10月)。
- 2) 吉田，亀田，原：状態監視システム，KYB技報60号，(2020年4月)。

著者



岩本 貴宏

1992年入社。技術本部基盤技術研究所情報技術研究室。主にセンサ技術開発に従事。



高橋 佑介

2007年入社。ハイドロリックコンポーネッツ事業本部技術統轄部岐阜南油機技術部シリンダ設計室。油圧シヨベル用シリンダ開発に従事。