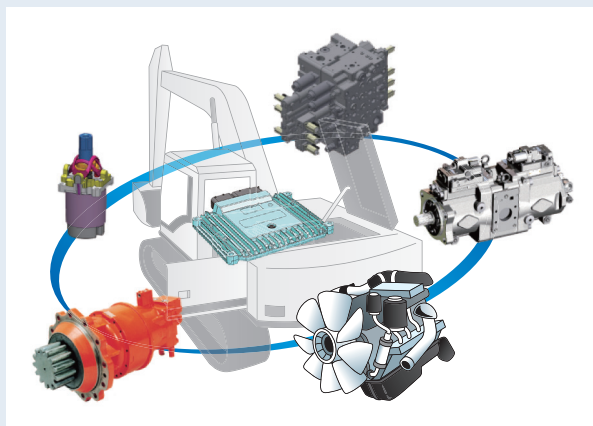


情報化施工を実現するICT油圧ショベル用コンポーネントの開発

Development of Components for ICT Hydraulic Excavators That Enable the Realization of Computer-Aided Construction



松尾政浩① Masahiro Matsuo
 吉村勇② Isamu Yoshimura
 東出善之③ Yoshiyuki Toude
 清水博明④ Hiroaki Shimizu
 西嶋康人⑤ Yasuhiko Nishijima

近年、建設業就業者の高齢化や熟練者の離職などによる労働力不足が建設現場の深刻な課題となっており、ICT/IoT技術などを活用したi-Constructionによる建設産業の効率化の取組みが進められている。この情報化施工に対応するマシンコントロール（半自動/全自動）機能を備えたICT油圧ショベル用の油圧機器や制御機器の開発に取り組んでいる。

Recently, a shortage of labor mainly due to the aging of construction workers and resigning of skilled workers is becoming a serious issue at construction sites, and the construction industry is making efforts to boost its efficiency by utilizing i-Construction, which uses ICT (Information and Communication Technology) and IoT (Internet of Things) technology. Kawasaki is developing hydraulic components and control devices for ICT hydraulic excavators equipped with the machine control (semi-automatic and full-automatic) functions that support computer-aided construction.

まえがき

建設現場では建設業就業者の高齢化による労働力不足や熟練オペレータ不足が深刻な課題となっており、この対策としてICT/IoT技術などを活用したi-Constructionによる建設産業の効率化や施工品質確保の取組みが進められている。

1 背景

油圧ショベルは建設機械の主力機としてさまざまな建設現場で活躍している。近年では、建設機械メーカーは情報化施工に対応したマシンコントロール（半自動/全自動）機能を備えた油圧ショベルを開発しており、そのためには動作制御を電子化する必要がある。当社では、油圧機器の電子制御化やICT油圧ショベルに対応した電子制御機器などの製品を開発している。

2 製品開発コンセプト

(1) 油圧ショベルと情報化施工

油圧ショベルの掘削・旋回・走行などの動作を行う各アクチュエータは、コントロールバルブを介して油圧ポンプに接続されており、オペレータのジョイスティック操作に

応じて作動する。当社の油圧機器は多くのショベルに搭載され、制御性や信頼性において高い評価を得てきた¹⁾。

当社の顧客である建設機械メーカーでは、情報化施工に対応したICT油圧ショベルの市場投入を始めており、さらなる施工の効率改善や品質向上の実現に向けて開発を進めている。たとえば、掘削するバケットを直線的に動かすためには、バケット・アーム・ブームを同時に微妙に操作する必要があり、この操作には熟練した技量が要求される。しかし、ICT油圧ショベルを使用することで、経験年数の少ないオペレータでも熟練オペレータと同等の施工品質が確保できるようになる。また、安全性に関する機能も付加できるようになる。

(2) 要求性能

ICT油圧ショベルに搭載する油圧ポンプやコントロールバルブは電子制御化に対応する必要がある。これらの機器を電子制御化し、コントローラからの指令信号を油圧信号に変換して正確かつ応答良く各アクチュエータを作動させるだけでなく、さまざまな負荷条件において安定した性能を発揮させる必要がある。また、コントローラには、高機能かつ高性能な制御の実現に必要な大量の情報処理や制御演算に対応できるマイコンシステムが要求される。さらに、多数の電磁比例減圧弁を駆動させることで駆動回路からの発熱が増大するため、熱への対策も必要となる。

情報化施工に完全には対応していない建設現場では、オペレータによって操作された電気ジョイスティックによりショベルを稼働させることも必要であり、電気ジョイスティックには従来の油圧パイロット弁と同等以上の性能および信頼性が要求される。

3 開発内容

(1) 油圧ポンプ

油圧ポンプは、油圧システムにとって心臓の役割を担っているため、高効率・低騒音であることに加えて高い信頼性が求められる。当社では、最新の技術を結集して性能と信頼性を大幅に高めた図1に示す「K7Vシリーズ」ポンプを2015年より上市している。

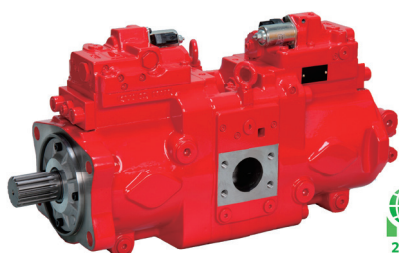
ICT油圧ショベルにおいては、油圧ポンプも電子制御化が必要であり、吐出容量を制御するレギュレータに電磁比例減圧弁を搭載した。コントローラから出力される指令に対して、コントロールバルブと組み合わせて油圧ポンプの吐出流量を高精度に制御することで油圧シリンダや油圧モータの微細な動きを制御しており、また余剰な吐出流量を少なくすることで燃費低減にも効果を発揮している。

現在、建設機械メーカーでは複雑化するシステム開発に対して試作検討段階からモデルベース開発の取組みが進められている。当社が有する高いシミュレーション技術と豊富な実験データを基に開発したポンプシミュレーションモデルを提供することで、建設機械メーカーでのICT油圧ショベルなどのフロントローディング開発に貢献している。

今後マシンコントロールが高度化されICT油圧ショベルの導入が進展するにつれて、油圧機器の稼働状況をモニタリングする機能が求められる。当社では、建設機械特有の高温で劣悪な環境下においても、安定してポンプ稼働状態を高精度に検出できるセンサおよび稼働状況モニタリング技術の開発を進めており、将来考えられる故障検知などのさまざまなニーズへの対応を図っている。

(2) コントロールバルブ

ショベル用のコントロールバルブは、ショベルの動きを総合的に制御する図2に示すような複合弁である。油圧パ



Kawasaki
SUPER Green Product
2017

図1 ショベル用油圧ポンプ「K7V125DTP」
Fig.1 Pump for excavators K7V125DTP

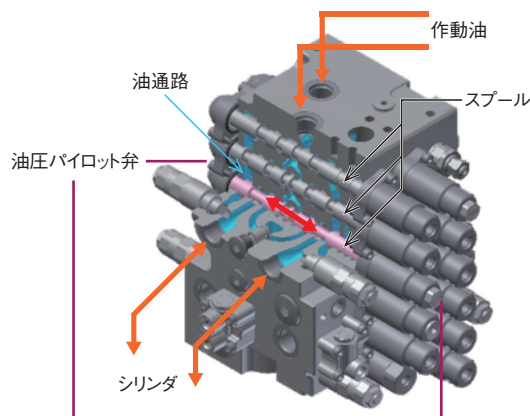
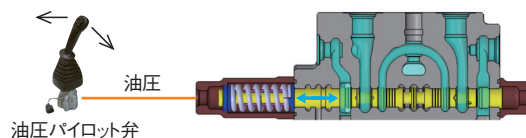


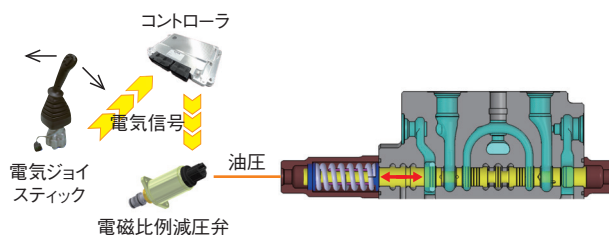
図2 ショベル用コントロールバルブ
Fig.2 Control valve for excavators

イロット弁からの操作指令圧力に応じて内部のスプールが作動して内部の油通路を切り換え、ポンプが吐出した作動油を、走行や旋回などの油圧モータあるいはブーム・アーム・バケットなどを駆動する各シリンダに振り分ける。また、スプールの移動量によって油通路の開度を変化させて各アクチュエータの速度を調整する役割を持ち、微少動作や複数のアクチュエータの連動動作などショベルが意図したとおりに動くように高い制御性能が要求される。

ICT油圧ショベルは、自動化・操作性向上・燃費低減などを目的としている。それらを実現するためにコントロールバルブには電子制御化や制御性能向上が必要となり、後述する電磁比例減圧弁をコントロールバルブに搭載して、図3に示すように従来の油圧パイロット弁で駆動していたスプールなどの内部部品を電磁比例減圧弁で駆動することで対応した。ただし、技術課題が何点かあり、代表的なものとして、①従来と同等以上の応答性を確保すること、②コントロールバルブ1台あたり約20個必要となる電磁比例



(a) 油圧パイロット弁によるスプール制御



(b) 電磁比例減圧弁によるスプール制御

図3 スプールの制御方式
Fig.3 Spool control types

† 油圧ショベルを中心に建設機械に広く採用され、近年の市場要求である高効率・低騒音・コンパクト・高信頼性を実現した油圧ポンプ。

減圧弁を搭載して、それらに一次圧を供給する通路とドレン通路を構成することがある。これらに対し、応答性が悪くならないように必要な通路面積を確保しつつ短い通路で電磁比例減圧弁前後の通路を構成して通路内部のエアを抜き易くするとともにコスト削減のためコンパクトに配置するよう設計した。

電磁比例減圧弁を搭載した各種コントロールバルブとして、中型ショベル向けの従来コントロールバルブに電磁比例減圧弁を搭載したモデルは開発を完了しており、大型ショベル向などについても開発中である。

現状開発中のモデルは、従来の油圧パイロット方式のモデルをベースとしているが、将来的には電子制御専用の最適バルブを開発していく。

(3) カートリッジ型電磁比例減圧弁²⁾

カートリッジ型電磁比例減圧弁の機能は指令値の電流に比例した制御圧力を出力するもので、コントロールバルブに直付けしてそのスプールのストロークを制御する。コントロールバルブの性能を左右するキーコンポーネントであり、優れた制御性が求められる。また、コントロールバルブ1台当たり複数の電磁比例減圧弁が搭載され、その内一つでも故障するとショベルが機能を果たせなくなるため、過酷な環境で長期間使用しても故障しない高い信頼性と耐久性が必要となる。

情報化施工ではショベルを自動制御するため、コントロールバルブを制御する電磁比例減圧弁の性能が特に重要となる。このため、ソレノイドの磁気回路設計の最適化や摺動部品の摩擦係数を低減する工夫を盛り込むことで、図4に示すようにヒステリシスの低減や出力特性のばらつき低減および再現性の向上を実現した。

電磁比例減圧弁で多く見られる故障原因は、水の侵入によるソレノイドのコイル断線と作動油中のコンタミによるスプールの固着である。コイル断線対策として、ソレノイドのコイルモールドの材料や防水シール構造を工夫し、高い防水性を確保した。コンタミ対策として、作動油中のコンタミがスプールの摺動部に到達するのを防ぐため、バル

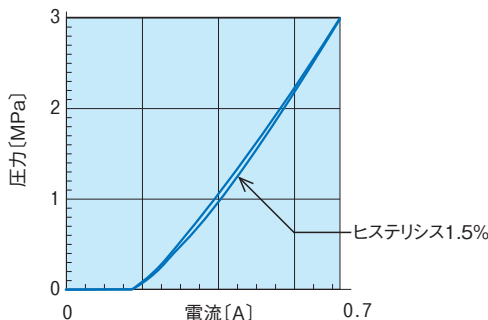


図4 ヒステリシスの低減(代表特性)
Fig.4 Reduction of hysteresis (representative characteristic)

ブの外側にフィルタを設置した。また、コントロールバルブ側の通路設計に影響を与えないようにするため、図5に示すような非常に薄型のフィルタを専用設計した。

(4) コントローラ

ICT油圧ショベルなどにおいて、ショベルを電子制御するマシンコントロールは、操作性と安全性が向上するとともに燃費も低減する。これを実現するために、コントローラは油圧機器の性能を最大限に引出すと同時にショベルを制御して複雑な動作を実現する必要がある。このため、コントローラに内蔵するマイコンには、センサやスイッチからの入力信号・電磁比例減圧弁や電磁切替弁への出力信号・制御・通信などの大量の情報やロジックを素早く処理する能力が要求される。そこで、図6に示すようなデュアルマイコンシステムを採用した。

このシステムは、従来1台のマイコンで対応していた入出力信号処理・ショベル制御処理・通信処理を2台のマイコンで分担し、制御プログラム作成を容易にするとともに処理量の増大によるマイコン能力超過を抑制している。また、マイコン同士で協調しながら動作するように双方を高速通信回路で接続している。

コントローラは多数の電磁比例減圧弁を駆動する。電磁比例減圧弁駆動に伴う電子回路の発熱は電子部品を劣化させるので、寿命を縮めたり故障の原因になったりする。このため、コントローラには、発熱を抑えた回路基板と基板から筐体へ効率よく伝熱する構造が必要となる。

そこで、低発熱回路を新規設計して発熱源を減らすとともに、図7に示すように発熱源となる基板実装部品から筐



図5 カートリッジ型電磁比例減圧弁の外観
Fig.5 Appearance of cartridge type proportional pressure-reducing valve

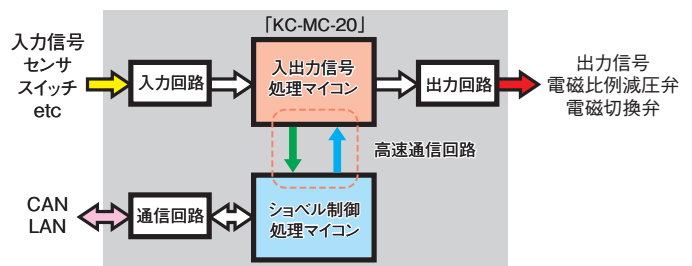


図6 デュアルマイコンシステム
Fig.6 Dual microcomputer system

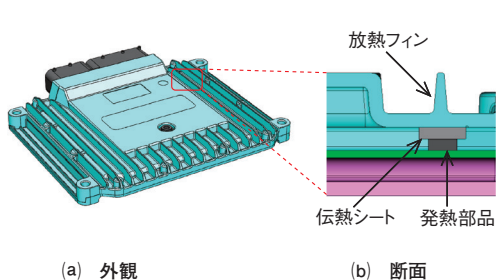


図7 筐体放熱構造
Fig. 7 Heat dissipation structure of case

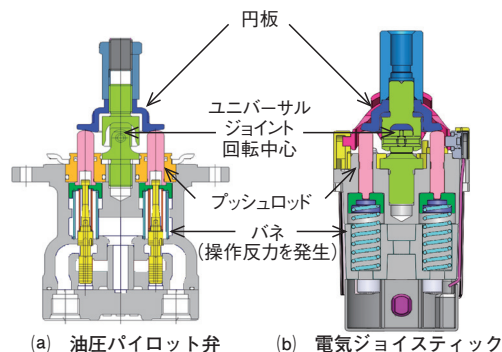


図9 レバー復帰構造の比較
Fig. 9 Comparing lever return mechanisms



図8 電気ジョイスティック「ERU2-7.0」の外観
Fig. 8 Appearance of electric joystick ERU2-7.0

体に伝熱させて筐体の放熱フィンから放熱する構造とした。

(5) 電気ジョイスティック

レバーと角度センサをスライドリングで連結してレバー傾倒角度を検出する構造を採用しており、オペレータが手を離すと内部のスプリングによって、図8のように中立位置へ復帰する構造となっている。その構造および各部品には、過酷な環境下での使用に十分に耐えられるように、さまざまな設計上のノウハウを盛り込んでいる。

(i) レバー復帰構造

従来のショベルで使用されている当社の油圧パイロット弁では、30年以上にわたってトップシェアを維持してきた。電気ジョイスティックは、図9に示すように同様のレバー復帰構造を採用しており、その優れた操作性と高い信頼性・耐久性を継承している。

(ii) 角度センサ

レバー操作角度を電気信号に変換する最重要部品である角度センサには高い信頼性が求められるため、ホールセンサを用いた非接触構造および密閉構造を採用することで高い耐久性と防水性を実現している。また、センサを含む電子回路の最適化により優れた耐ノイズ性も実現した。

(iii) 小型化

より小型の電気ジョイスティックが求められているが、

単に小型化しただけでは強度が下がり耐久性や信頼性が損なわれてしまう。そこで、設計諸元を最適化して従来の油圧リモコン弁と同等以上の耐久性や信頼性を確保しながら小型化を実現した。

あとがき

ショベルをはじめ多くの建設機械において情報化施工対応が進んでおり、建設現場の施工方法も変わりつつある。

油圧技術と電子制御技術を融合することで、今回開発したコンポーネント以外でも、将来進化したショベルに最適な製品の開発を行っていく。

参考文献

- 1) 吉川, 村岡, 赤松, 松尾, : “油圧ショベル用最新油圧機器”, 川崎重工技報, No.168, pp.14-19 (2009)
- 2) 特許 第6200695号, “油浸型ソレノイド”



松尾 政浩



吉村 勇



東出 善之



清水 博明



西嶋 康人