

技術論文

超大型コントロールバルブの開発 Development of Super-large Control Valve

小塚 大輔
Daisuke Kozuka

マイニングショベル PC3400-11M0 用として超大型コントロールバルブを新規開発した。自社開発という事で、単なる既存のバルブの大型化だけではなく、中立回路の独立スプール構造や各種自社開発の電子機器等の新技術も積極的に採用した。これらの採用によって、車体の状況に応じた最適な油圧制御が可能になった。また、シミュレーション技術を多数活用する事で品質確認時のトライ&エラーを減らし開発日程の短縮を実現した。本報では、これらの内容について報告する。

We have developed a new super-large control valve for the PC3400-11M0 mining excavator. In terms of in-house development, we went beyond just increasing the size of an existing valve, actively adopting new technologies such as an independent spool structure for neutral circuits and various in-house developed electronic equipment. Adopting these made possible optimal hydraulic control according to the situation of the machine. In addition, the use of many simulation technologies has reduced the amount of trial and error during quality checks, and shorten the development schedule.

This paper reports on this information.

Key Words: コントロールバルブ, 超大型油圧ショベル, ICT

1. はじめに

油圧ショベルをはじめとする建設機械をオペレータの手足のように自在に操作する為に、コントロールバルブはなくてはならないコンポーネントである。使用される車体の仕様・要求値を満足する為に、さまざまなバリエーションが存在するが、当社はこのコントロールバルブを自社開発している数少ない建設機械メーカーの一つである。自社開発の強みとして、車体からの要求値に対して、より細かな設計・チューニングが可能になり車体性能の差別化に貢献している。

本稿では 300t クラスの超大型油圧ショベルのモデルチェンジにあたり、今までは他社製を使用してきたコントロールバルブを自社開発品に置き換える為に開発した超大型コントロールバルブの紹介をする。



図1 PC3400-11M0の外観写真

2. 超大型コントロールバルブについて

2.1 背景

当社で従来量産されているコントロールバルブの系列では 80t クラスの油圧ショベルに使用されるものが最大であった。使用される配管サイズより、1バルブあたり最大 500L/min 程度を定格流量としている。それ以上の流量が必要とされる機種に対しては、例えば、125t クラスには 3 個、200t クラスには 4 個と言うようにコントロール

バルブの使用数量を増やし対応している。この延長線上で考えると 300t クラスの油圧ショベルには 6 個のコントロールバルブを搭載する必要がある。そうした場合、車載上でのコンポーネントのレイアウトや配管の引き回しが非常に煩雑になり、組立性やメンテナンス性を損なう恐れがある。

一方、モデルチェンジ前の現量産車には他社製のコントロールバルブが 3 台搭載されている。既に当初開発時から 20 年以上量産を続けているが、これをそのまま使い続けるという選択肢もあった。しかし、このクラスの車両はモデルチェンジのサイクルが中・小型に比べ非常に長く、今回のモデルチェンジを逃すと次の変更のタイミングはしばらく来ない事になる。20 年、30 年先までを見越すと、現量産車に搭載されているバルブでは市場で競争力を保つ事が出来ないと考え超大型コントロールバルブを自社で新規開発する決断をした。

2.2 製品系列・特長

2.2.1 定格流量

今回の開発では今後の系列展開も考慮し、定格流量を当社従来品の 500L/min から倍増の 1000L/min とした。しかしながら、これを従来品からの等比設計に当てはめると機器自体が非常に大型になってしまう為、設計時はサイズアップを最小限に抑える様に生産部門と協議を重ねて図面を作成した。完成すると見えにくい部分ではあるが、コンポーネントを自社開発している強みがここにも発揮されている。



図 2 本稿のバルブの外観写真

2.2.2 バルブシステム

当社の油圧ショベルに使用されるコントロールバルブのシステムは大きく分けて Closed-center Load Sensing System (CLSS) と Open-center Load Sensing System (OLSS) の 2 つがある。図 3 に CLSS と OLSS の比較を示す。CLSS はコントロールバルブ内の圧力補償弁の働きで負荷によらず各アクチュエータにオペレータの意図通りに作動油を送る事が出来る為、ファインコントロール性能や複合

操作性に優れるという特長がある。反面、どうしても部品点数が増え、構造も複雑になってしまう。一方で OLSS は圧力補償弁が無い為、複合操作時の流量分配の為に車両に合わせた油圧的なチューニングが必要で、それでは補いきれない分をオペレータの技量でカバーしている。しかしながら、構造が簡素で CLSS に比べるとメンテナンス性に優れるという特長がある。今回の開発では高い信頼性・耐久性を得る為に OLSS を採用した。

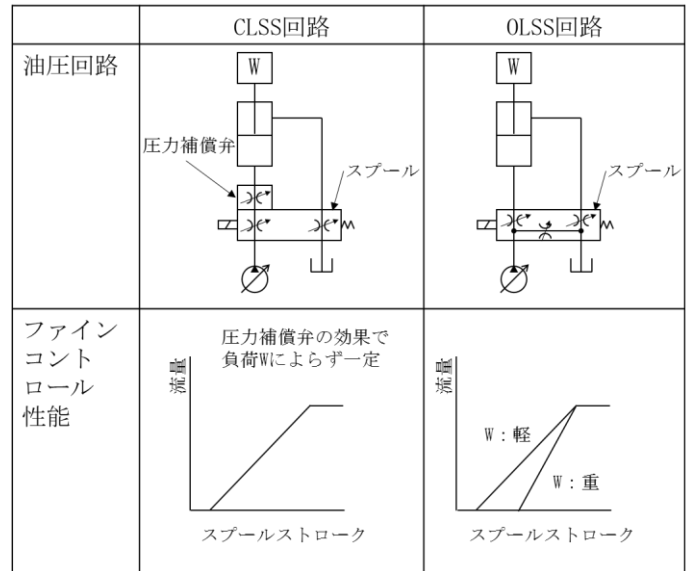


図 3 CLSS と OLSS の比較

OLSS はその名前の通りオープンセンタと呼ばれるポンプからタンクへ通じる中立回路を各スプールに備えている。よってスプールには ①ポンプからタンクへの中立回路 ②ポンプからアクチュエータへのメータイン回路 ③アクチュエータからタンクへのメータアウト回路が必要になる。これを各スプール上にレイアウトしようとすると、どうしてもスプールの全長が長くなってしまふ。スプールの全長が長くなるとバルブボディも大型化する方向になり場積と重量が大きくなってしまふ。そうした場合、必要とされる加工から検査、出来上がる部品の寸法精度まで様々な点で技術的なハードルが高くなる。そこで、本バルブではポンプからタンクへの中立回路を独立スプールにする事で、バルブの大流量化とスプールの全長短縮を両立する事に成功した。また、中立回路を独立スプールにする事には更なるメリットが期待できる。中立回路はポンプからタンクへ通じる回路である為、その開度によってポンプ圧を自在に制御する事が出来る。本バルブにおいては、その独立した中立回路用スプールを電子制御する事で、車両の作業内容と負荷に応じて最適なポンプ圧を設定する事が可能になった。これは、従来の OLSS バルブでは構造上達成できない事で本バルブの大きな特長の一つである。

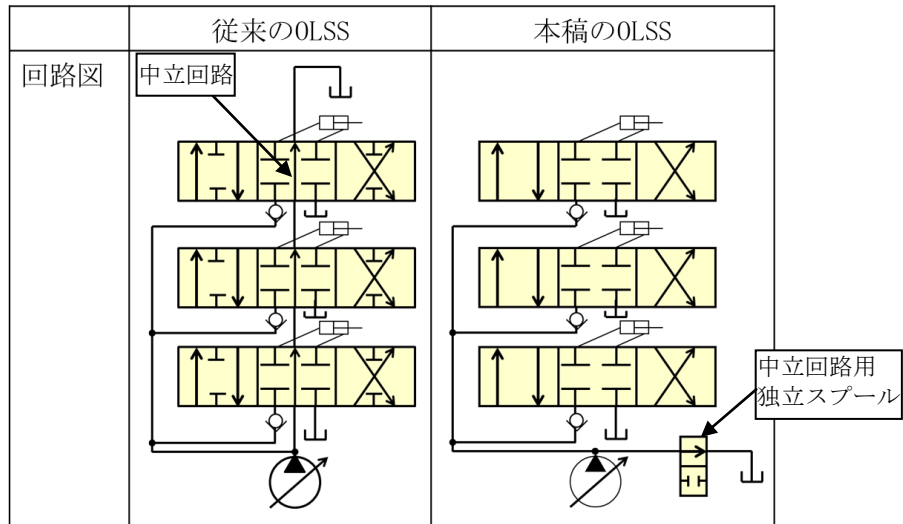


図4 従来のOLSSと本稿のOLSSの比較

2.2.3 情報通信技術 (ICT) 対応

コントロールバルブは内部のスプールと呼ばれる部品を油圧でストロークさせる事で内部の油路を切り換え、ポンプから送り込まれる作動油を各アクチュエータへ分配している。通常、スプールはキャブ内に設置された Pressure Proportional Control バルブ (PPC 弁) からの油圧信号をホースでコントロールバルブまで導くことで駆動される。この方式の場合、特にスプール本数の多い大型機種では、スプール駆動用のホースが増えて取り回しが煩雑になってしまう。そこで、本バルブではスプールを Electromagnetic Proportional Control バルブ (EPC 弁) で駆動する方式に変更し、また、その EPC 弁をバルブ本体にマウントした。これによって、スプール駆動用の油圧配管は不要になりバルブ周りの配管がシンプルになり整備性が向上、また、ホースでの油圧ロスが無くなる為スプール制御時の応答性が飛躍的に向上した。さらに、例えば

スプールを制御する EPC 弁への信号に電気的な制御を加えて作業機操作時の車体のショックを低減する事や、前述の複合操作時にはスプール自体を擬似的な圧力補償弁として機能させ操作性を向上させる事が可能になった。

以上については、すでに当社の ICT 対応機種では実績のある技術である。本稿のバルブにおいては、さらに、スプールの動きをリアルタイムで監視できる様にスプールストロークセンサを全軸に装着した (図 5)。これにより、サービスマンはキャブ内のモニターでスプールのストロークを確認する事が出来る。トラブルシューティング時の原因の早期発見と故障による休車時間の短縮が期待できる。

余談ではあるが EPC 弁やストロークセンサ (図 6, 7) も自社開発品で建設機械という過酷な環境で使われる事を設計段階から想定した専用設計品である。

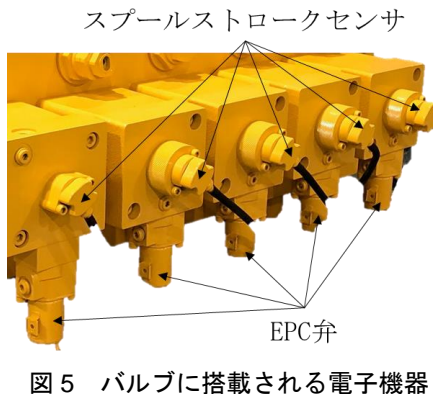


図5 バルブに搭載される電子機器

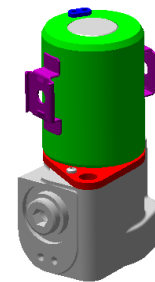


図6 EPC 弁 (自社開発品)



図7 スプールストロークセンサ (自社開発品)

3. 品質確認

3.1 シミュレーション技術の活用

通常の開発では水準部品を数種類手配し、それぞれを車両に搭載して性能を確認。その中から最適な水準を選ぶ事が比較的簡単に実施できる。場合によっては、シミュレーションで練りに練った 1 水準のテストよりも効率よく最適解に到達できる事もある。しかしながら、超大型油圧ショベルの開発になると部品 1 点 1 点が大型化し試作品の製作から車載し品質確認までに従来の開発に比べ非常に時間とコストがかかる。そこで本バルブの開発に

おいては構想・設計段階から各種シミュレーションを行い、そこで得られた最適水準で部品を製作。現物での水準部品を可能な限り減らし開発コストの低減と日程の短縮を実現した。

特に、従来から実施している構造シミュレーションや流体シミュレーションに加え、新たに熱ひずみシミュレーションも導入した。油機としては初めてのシミュレーションなので現状では解析の精度に改善の余地はあるが、今後の開発で解析データを増やすことで更なるシミュレーション技術の向上が期待される。

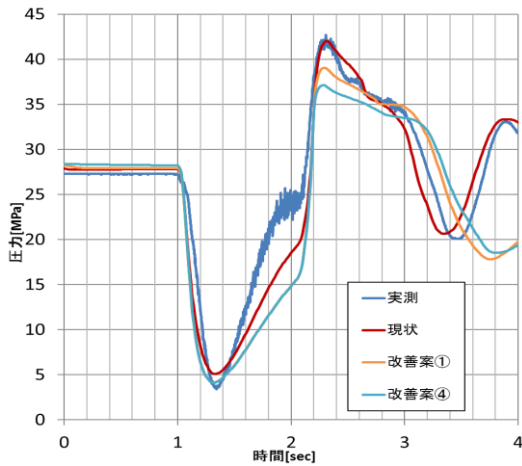


図 8 構造シミュレーションの例

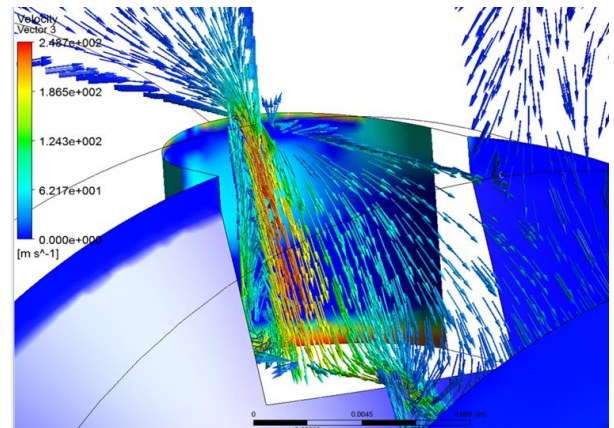


図 9 流体シミュレーションの例

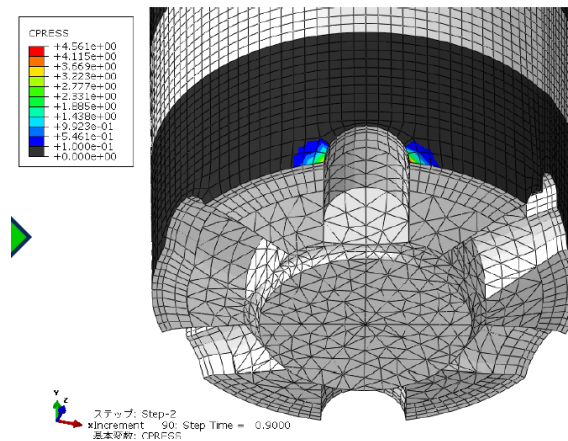


図 10 熱ひずみシミュレーションの例

4. おわりに

本稿で紹介した超大型コントロールバルブは当社の持つ設計から製造まで様々なノウハウを織込んだ初の完全フル電子化バルブである。この先の最先端のマイニング現場のニーズにも必ず答えられるポテンシャルをもっていると確信している。

筆者紹介



Daisuke Kozuka

こづか だいすけ
小塚大輔 2002年、コマツ入社。
開発本部 油機開発センタ所属

【筆者からひと言】

開発は完了したが、市場の評価を受けるのはこれからである。当社の持つノウハウをすべて投入したこのコントロールバルブがお客様からどのような評価を受けるのか楽しみである。お客様の現場で良い仕事をしてくれる事を期待している。