

モバイル分野向け油圧ポンプ「K3VLSシリーズ」の開発

Development of K3VLS Series Hydraulic Pumps for Use in Construction and Agricultural Equipment



三浦 秀俊①	Hidetoshi Miura
平野 靖典②	Yasunori Hirano
松久 幸司③	Koji Matsuhisa
中井 大介④	Daisuke Nakai
池澤 行雄⑤	Yukio Ikezawa
今村 嘉秀⑥※	Yoshihide Imamura
加野 大地⑦*	Daichi Kano
相部 徹⑧	Toru Aibe
高橋 正憲⑨	Masanori Takahashi

ホイールローダやトラクタなどショベル以外の建設機械や農業機械が活躍するモバイル分野向けとして、顧客から求められる性能・信頼性とコスト低減を両立させた中圧仕様ポンプ「K3VLSシリーズ」を開発した。本ポンプは、顧客から高い評価を得てさまざまな機械への採用が進んでいる。

Kawasaki has developed the new K3VLS series of medium pressure pumps for use in construction and agricultural equipment, which are effectively deployed worldwide. These pumps have achieved customer requirements for both performance and reliability as well as cost reduction, and have been highly rated by customers and applied to various machines.

まえがき

地球温暖化や世界人口の増加などの社会的要因を背景に、社会インフラの構築や食料生産といった人々の生活に欠かせない建設機械や農業機械には、環境負荷低減や自動化・高機能化などさまざまな対応が求められている。

1 背景

当社では、これまで建設機械の中でもショベル用油圧ポンプを主力製品のひとつとして位置づけて、社会や顧客のニーズを盛り込みながら製品改良を重ね¹⁾、同分野でのシェアを伸ばしてきた。

さらなる事業規模拡大に向け“世界標準”のモーションコントロールメーカーを目指して、欧米市場を中心に形成されるショベル以外の建設機械や農業機械の分野であるモバイル分野への本格参入を図っている。

2 製品コンセプト

ショベルおよびモバイルの両分野で求められる油圧ポンプの仕様とニーズを表1に示す。

モバイル用油圧ポンプへの要求仕様は、ショベル用油圧ポンプと異なっており、当社のショベル用をベースとした

従来製品では競合製品に対し、たとえば、高速回転性能や価格の面で競争力が不足していた。

このため、ショベル用ポンプの開発で培ったさまざまな技術をベースとして、主にロードセンシングシステムを採用しているモバイル分野の機械の仕様に適合させた新型中圧仕様ポンプ「K3VLSシリーズ」を開発することとした。

3 「K3VLSシリーズ」の構造と技術課題

(1) 「K3VLSシリーズ」の構造と特徴

当社製ショベル用ポンプと比較してシンプルな構造に設計した「K3VLSシリーズ」ポンプの構造を図1に示す。本ポンプでは、大量生産技術の適用によるコスト低減を志

表1 油圧ポンプに要求される仕様とニーズ
Table 1 Required specifications and demands for hydraulic pumps

項目	ショベル分野	モバイル分野 (LSシステム用)
効率・信頼性	◎	◎
システム圧力	◎	○
制御性	◎	○
低騒音	◎	◎
高速回転	○	◎
省スペース	○	◎
低コスト	◎	◎

(注) LS：ロードセンシング、要求の強さ：◎>○

18 ①② 精密機械・ロボットカンパニー 精密機械ビジネスセンター 技術総括部 機器第一技術部 ※博士（工学）

③ 精密機械・ロボットカンパニー 精密機械ビジネスセンター 技術総括部 原価企画部 *技術士（機械部門）

④ 精密機械・ロボットカンパニー 精密機械ビジネスセンター 技術総括部 技術企画部

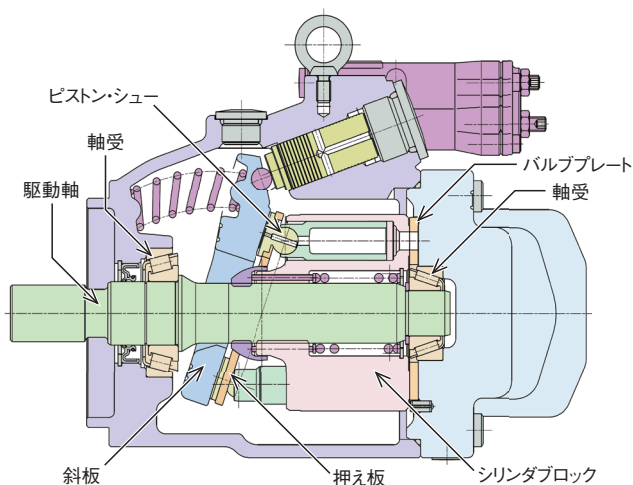


図1 「K3VLSシリーズ」ポンプの構造
Fig. 1 Structure of K3VLS series pump

向し、性能・信頼性も優れたピストン・シューなどを新たに適用することで、当社製モバイル用ポンプの従来機種である「K3VLシリーズ」と比較して部品点数で10%、質量で20%もの低減を実現した。

「K3VLSシリーズ」ポンプの作動原理は、シヨベル用ポンプと同じである。シリンダブロックと共に回転するピストン・シューがシリンダブロック穴に対して相対的に往復運動することで、ポンプは作動油の吸入・吐出を連続的に行っている。

(2) 「K3VLSシリーズ」開発における技術課題

モバイル分野は、一般に実機におけるポンプ搭載スペースが狭いため、コンパクトな小容量ポンプを高速回転条件で使用することが多いといった特徴がある。その中でも、モバイル用油圧ポンプの開発における最大の課題は、シヨベル用ポンプと同等の性能や信頼性を確保しつつ、低水準の価格で提供しなければならないことであった。競争が激しいモバイル分野でシェアを拡大するためには、この相反する2項目を解決する必要がある。

そこで、高速回転化への対応およびコスト低減のための生産性向上に取り組んだ。

4 技術課題への対応

(1) 高速回転化への対応

(i) 自吸能力向上

油圧ポンプを高速で回転させると、流速が増大し油圧ポンプの通路内にキャビテーションが発生しやすくなる。キャビテーションがシリンダブロック内部に生じると、ポンプの吐出流量が減少する、つまりポンプの自吸能力が低下する。さらにキャビテーションの発生・消滅が繰り返されると部品が壊食される場合があり、モバイル用油圧ポンプ

の性能・信頼性を確保するうえでキャビテーションの抑制は重要な課題の一つである。

そこで油圧ポンプにおけるキャビテーションの発生を予測するため、図2に示すようなポンプ内部流れのシミュレーション技術の高度化を図った。キャビテーション抑制に有効な内部通路形状を設計段階から検討し、自吸能力が優れたポンプを手戻りなく開発することができた。

(ii) ロータリ安定性向上

ポンプの内部部品を安定して高速回転させるためには、各部品に働くさまざまな力や潤滑状態を正確に理解する必要がある。しかし、部品間に存在する油膜の特性把握が容易ではなく、さまざまな設計パラメータの影響が複雑なために検討は簡単ではない。そこで、ポンプ内部部品の挙動に関わる接触・変形・油圧力などの力学的要素を考慮した図3に示す機構解析技術を「K3VLSシリーズ」の設計段階で適用した。

一例として、高速回転時におけるシューの挙動について述べる。シリンダブロックと共に回転するピストン・シューは、回転による慣性力や作動油の粘性力などによる斜板からの浮き上がり力を受けている。性能・信頼性に影響を及ぼすシューの浮き上がり現象を抑制するため、押え板によって機械的にシューを斜板へ押さえつけている。ここで、

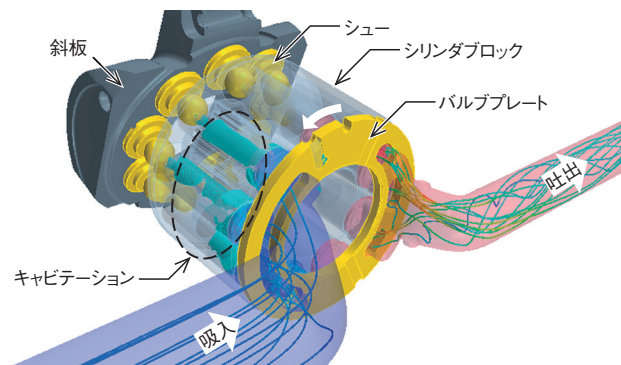


図2 ポンプ内流れの流体シミュレーション
Fig. 2 Fluid dynamics simulation inside the pump

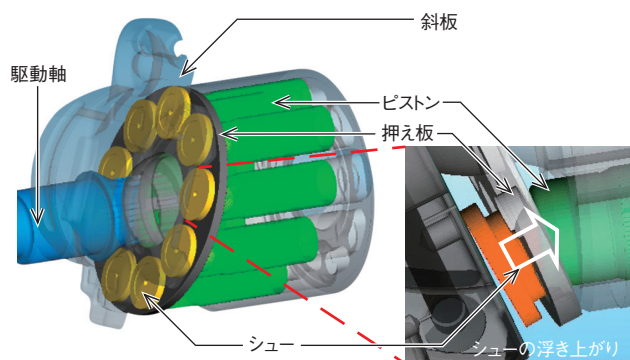


図3 機構解析
Fig. 3 Multibody dynamics simulation

回転数が高くなるにつれて増加するシューの浮き上がり力が押え板の力を上回ると、シューは斜板から浮き上がってしまうことになる。

機構解析を用いて、シューの斜板からの浮き上がり量を検討した結果、図4に示すようにポンプ実体での計測結果とよく一致していることを確認した²⁾。

本解析技術は、「K3VLSシリーズ」をはじめとした当社製油圧ポンプでのシュー押し付け機構の設計や押え板の形状適正化検討に適用している。

(2) ピストン・シューの生産性向上（コスト低減）

(i) 「K3VLSシリーズ」用ピストン・シューの構造

従来、当社製シヨベル用ポンプで使用するピストンとシューについては、図5(a)に示すようにピストンを凸球面、シューを凹球面とする構造を採用してきた。一方「K3VLSシリーズ」では、要求仕様の下でピストンに必要な性能・信頼性を維持しつつ、加工レスによる大幅な生産性向上を可能とする構造として、図5(b)に示すように凹凸を逆転させたピストン・シューの構造を採用した。

この構造変更により大量生産によるコストダウンを志向した新たな生産技術が適用可能となり、「K3VLSシリーズ」用ピストン・シューの生産性向上に大きく寄与している。

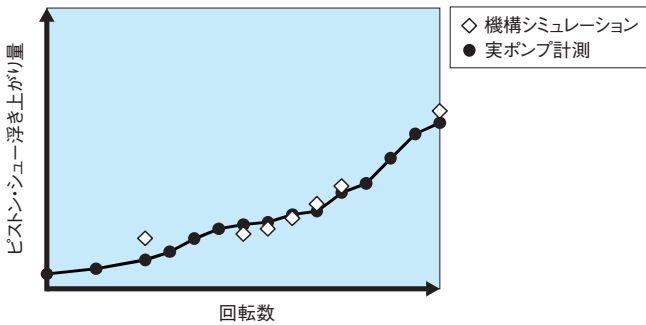


図4 シュー浮き上がりのシミュレーション結果
Fig. 4 Simulation results of shoe floating

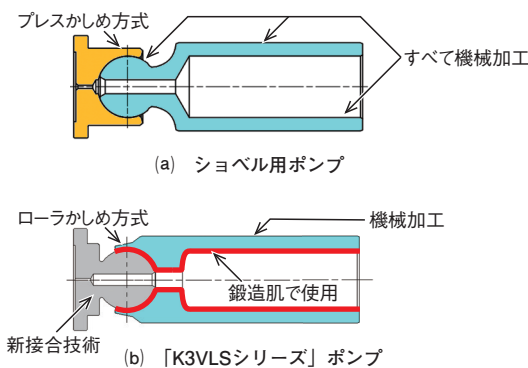


図5 ピストン・シューの構造
Fig. 5 Structure of assembled piston and shoe

(ii) ピストン素材の冷間鍛造化

「K3VLSシリーズ」ポンプのピストンでは、図6に示すように凹球面を含めピストン内面すべてを冷間鍛造による形状のまま使用しており、加工時間を大幅に短縮した。なお、シューとしゅう動するピストン凹球面に必要な形状・精度を確保するため、冷間鍛造におけるさまざまな鍛造パラメータを最適化している。

(iii) 鋼球と鋼板の新接合方法

シューの球部と板部の接合方法として、図7に示すように鋼球と鋼板を加圧接触下で接合させる新工法を開発した。これにより、市販されている安価で高精度な鋼球を凸球部に使用することが可能となり、高精度球面加工および仕上げの廃止による加工時間の大幅削減を実現した。

(iv) ローラかしめ

シヨベル用ポンプのピストン・シューでは、プレスを用いてピストン球部にシューをかしめていた。一方「K3VLSシリーズ」では、ローラを用いてシューにピストンをかしめる工法を採用した。

図8に示すように回転させたピストンの先端部を3つの

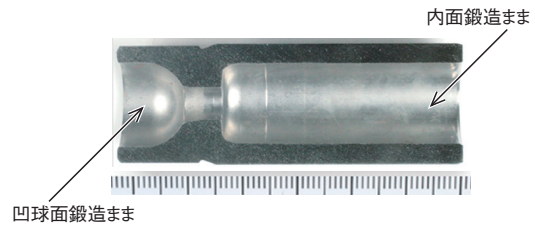


図6 鍛造ピストンの高精度内面
Fig. 6 High-precision inner surface of forged piston

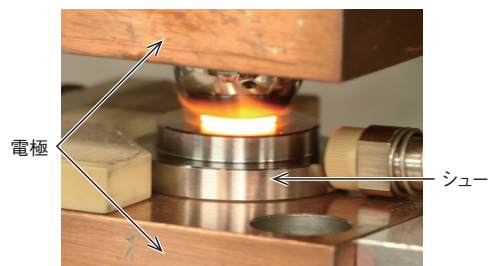


図7 鋼球と鋼板の新接合方法
Fig. 7 New method for bonding steel ball and steel plate

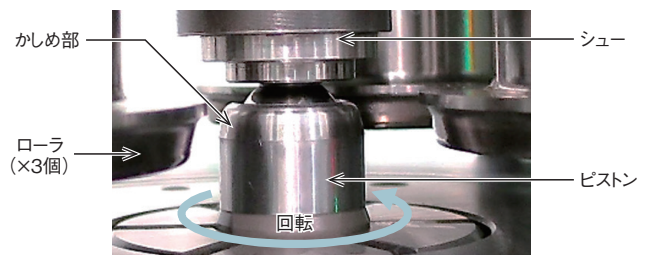


図8 ローラかしめによるピストンとシューの結合
Fig. 8 Joining of piston and shoe by roller caulking

表2 「K3VLSシリーズ」ポンプの仕様
Table 2 Specifications of K3VLS series pump

押しのけ容積 [cm ³]	50	65	85	105	125/150
吐出圧力 [MPa]	定格	28			
	ピーク	35			
自吸最高回転数 [min ⁻¹]	2,700	2,600	2,500	2,300	2,200

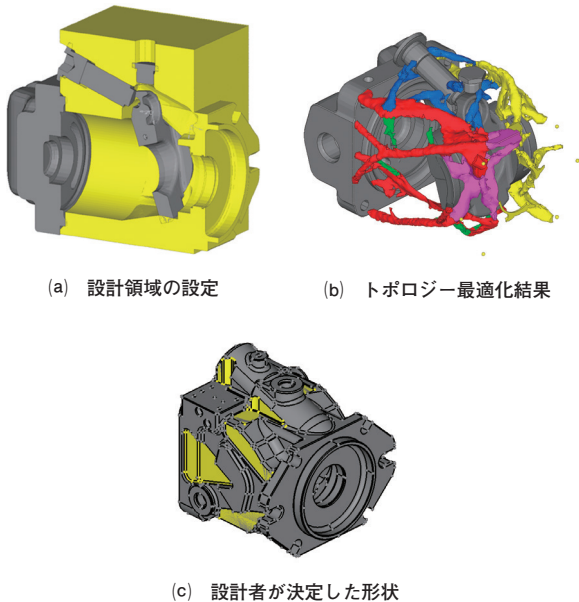


図9 構造最適化技術を用いたケーシング軽量化
Fig. 9 Weight reduction of casing using structural optimization technology

ローラで塑性変形させて、シューと球継手を形成させているが、このプロセスの精密な管理によって高精度なかしめが可能となり、ピストン・シューの信頼性向上にも大きく寄与している。

また、同一のローラを精密に位置制御することで、段取り替えすることなく「K3VLSシリーズ」用ピストン全種類のかしめが可能である。これにより、型式ごとにプレス型が必要だった従来のかしめ方法と比較して大幅な生産性向上を実現した。

2015年4月に「K3VLS85」の量産を開始し、表2に示す「K3VLSシリーズ」全6型式のラインナップ化を完了した。

5 今後の取組み

「K3VLSシリーズ」では、要求仕様に応じた軽量・コンパクト化を狙った設計を行ったが、軽量化が要求されるモバイル分野に対するさらなる取組みとして、ポンプケーシングに関して図9に示すような構造最適化技術の適用を検

討している。最適化手法としては、有限要素法FEMの要素密度を設計変数として最適密度分布を求めるトポロジー最適化を用いている。

本手法では部材配置可能な設計領域をFEMモデルで作成し、ケーシングに必要とされる各部の剛性を指定すると、全体質量が最小となる剛性の観点で最適なケーシング形状が求まる。さらに、最適化結果が示す力学的意味を分析した上で、その他のケーシングに必要な機能を加えた形状に落とし込むことで軽量かつコンパクトな高剛性ケーシングを目指している。

あ と が き

「K3VLSシリーズ」は、累計生産台数5万台を超えモバイル分野でのニーズに応えた油圧ポンプとして顧客から高い評価を得て、さまざまな機械への採用が進んでいる。

今後も市場や顧客の多岐に渡るニーズに適合した製品開発に注力して取り組んでいく。

参 考 文 献

- 1) 駒田、嶋崎、大西：“建設機械用油圧ポンプ「K7Vシリーズ」の開発”，川崎重工技報，No.168，pp.6-9（2009）
- 2) 吉田：“ピストンポンプ・モータの解析技術”，油空圧技術，Vol.57，No.8，pp.27-31（2018）



三浦 秀俊



平野 靖典



松久 幸司



中井 大介



池澤 行雄



今村 嘉秀



加野 大地



相部 徹



高橋 正憲