

製品紹介

小型油圧ショベル用ピストンポンプの開発

武井 元 ・ 阪井 祐紀

1 はじめに

油圧ショベルは一般的に機体質量毎にクラス分けされ、図1に示すように6t未満をミニショベル、6～9tを小型ショベル、10t以上を中・大型ショベルと呼ぶ。

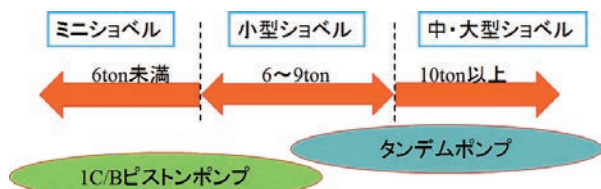


図1 油圧ショベルクラスと搭載ポンプ

搭載されるポンプはクラス毎に異なり、ミニショベルでは図2（上）に示すような『1C/B2フローポンプ（以下1C/Bポンプ）』を搭載する。1C/Bポンプの『C/B』とはシリンダブロック（Cylinder Block）の略であり、C/Bとピストン等からなるロータリーパーツにおいて、C/Bが回転しピストンが入り出すことでシリンダ容積を増減させ、油の吸い込みと吐き出しを行う。この形式のポンプは一つのポンプで構成されながらも、図2（下）に示すようにC/Bの吐出口を内外二つに分ける（内：青色，外：赤色）ことで二つの吐出が可能である。全長を短くでき、小型かつ低コストであるが、二つのポートの吐出流量を別々に制御することはできない。

次に中・大型ショベルでは図3（上）に示すような『タンデムポンプ』を搭載する。この形式は二つのポンプから構成されるため全長は長くなり、図3（下）に示すようC/Bの吐出は分かれておらず1C/Bポンプより大型で高コストになるが、個別に吐出流量制御が可能であり、付加機能も多く高機能である。

それらの中間にある小型ショベルでは、搭載するポンプは母機メーカーにより様々で、両者が混在している。

本開発品は小型ショベル用1C/Bピストンポンプであるが、1C/Bポンプの適用範囲を拡大しタンデムポンプを置き換えることも狙い、1C/Bポンプにタンデムポンプが持つ付加機能を搭載し、低コスト

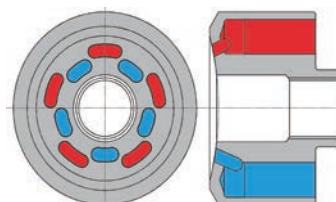
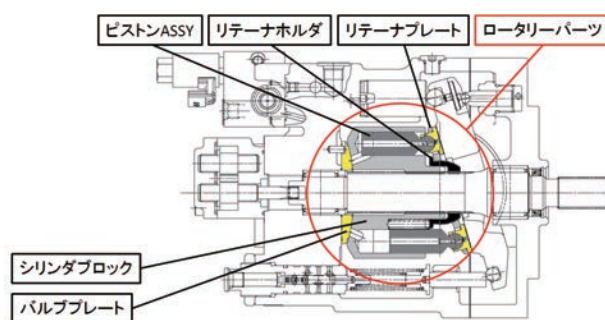


図2（上）1C/Bポンプ，（下）C/B詳細

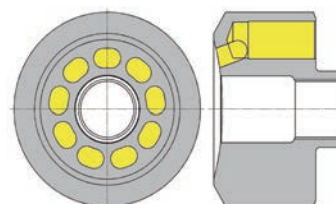
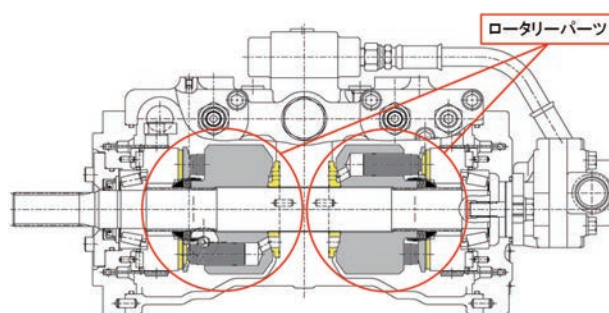


図3（上）タンデムポンプ，（下）C/B詳細

で高機能な1C/Bポンプの開発を目指した。

2 製品概要

2.1 ラインアップ

今回開発した1C/Bポンプはシングルフローロードセンシング（以下L/S）ポンプであるPSVL-84、スプリットフローオープンポンプのPSVD2-42とスプリットフローL/SポンプのPSVL2-42である。図4にPSVL2-42の外観を示す。

本開発では上記3機種の開発を同時に進めており、開発効率の向上とコスト削減のため、開発要件の一つとしてロータリーパーツの共用化を挙げた。前章で述べた吐出が二つのC/Bを基軸に、シングルフローは二つの流れをポンプ内で合流させ一か所から吐出し（シングルポンプと機能的な差はない）、スプリットフローは二つの流れをP1、P2として二か所から吐出する。

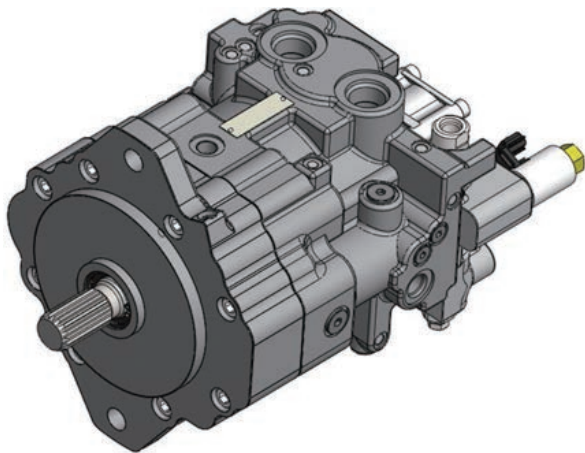


図4 PSVL2-42

図5にKYB油圧ショベル用ポンプのラインアップの一部を示す。黄色部が開発品であり、下半分の青色部がスプリットフローオープンポンプ、上半分の

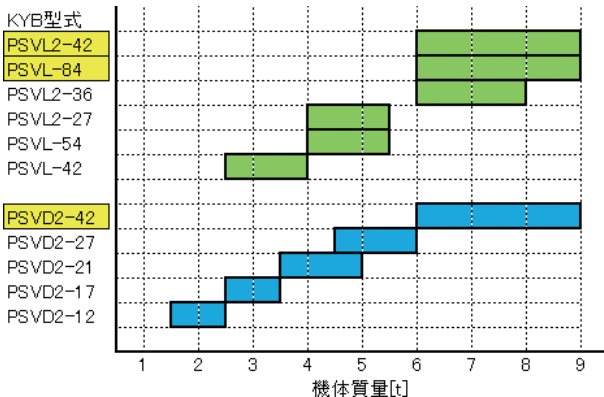


図5 油圧ショベル用ポンプラインアップ

の緑色部がL/Sポンプ（スプリットフロー、シングルフロー混在）である。9tクラスまでのほぼ全てのショベル用ポンプをラインアップできた。

表1に示すように、本製品の量産化により6～9tショベルに搭載される油圧機器全てのラインアップを揃えることができた。ショベル用油圧機器をシステムで提供することで、チューニングやメンテナンスを含めたトータルソリューションとして提供することができる。

表1 ショベル用油機システム一覧

	ロードセンシング (LS)		
	オープン スプリット	スプリット	シングル
ポンプ	PSVD2-42	PSVL2-42	PSVL-84
コントロールバルブ	KVMM-80	KVSX-18	KVMX-18
走行モータ	MAG-50		
旋回モータ	MSG-44		

2.2 製品仕様

開発品の仕様を表2に示す。最高圧力、回転数は全顧客の要求に対応可能な値に設定した。押しのけ容積の最大値は42.3+42.3cm³/revとし、ショベルの省エネのためにエンジン回転数を下げた場合でもアクチュエータの作業速度を維持できるようにした。また、最小値は可能な限り幅広いクラスに対応できるように36.0+36.0cm³/revとした。

表2 製品仕様

押しのけ容積 [cm ³ /rev]	・スプリットフロー： 36.0+36.0～42.3+42.3 ・シングルフロー： 72.0～84.6
最高圧力 [MPa]	32.0
最高回転数 [rpm]	2200

2.3 付加機能

冒頭に記した通り、本開発品は1C/Bポンプに多くの付加機能を搭載した。それらを表3に一覧で示す。

表3 付加機能一覧

1	馬力制御
2	油圧パイロット式可変馬力制御
3	電子式可変馬力制御
4	★スタンバイ制御
5	★可変ゲインL/S制御
6	★L/S2段階ゲイン変更制御

※★はL/Sポンプのみの付加機能

2.3.1 馬力制御

馬力制御は、エンジン最大馬力をポンプ吸収馬力が超えないよう制御して、エンストを防止する油圧ショベル用ポンプの基本機能である。図6に示すように、負荷圧力に応じて吐出流量（=斜板傾角）を変化させ、ポンプ吸収馬力を制御する。

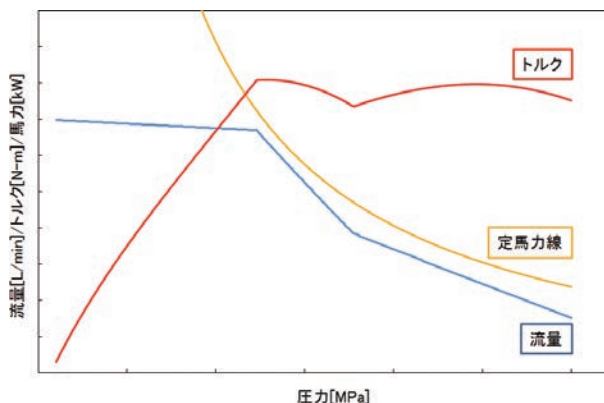


図6 馬力制御特性線図

2.3.2 油圧パイロット式可変馬力制御

油圧パイロット式可変馬力制御は、馬力制御の吸収馬力を外部パイロット圧で変更ができる機能である。

図7に本機能により吸収馬力を低下させる減馬力制御の特性を示す。外部信号圧のON-OFFにより二段階でポンプ吸収馬力を変更できる。

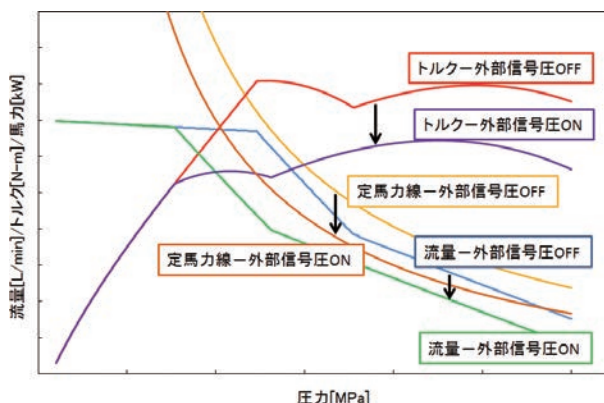


図7 減馬力制御線図

2.3.3 電子式可変馬力制御

電子式可変馬力制御は、上述の吸収馬力変更を比例ソレノイドによる電子制御にしたものである。外部パイロット式はON-OFFの二段階であるのに対し、電子制御の場合は電流値を変えることで無段階にポンプ吸収馬力を変更でき、ポンプの汎用性が向上する。

2.3.4 スタンバイ制御

スタンバイ制御は、コントロールバルブがアン

ロード状態の時（=ショベル操作者がレバー操作をしていない時）、ポンプ吐出流量を最小にしてポンプ吸収馬力を最小に維持する機能である。本機能により無駄な燃料消費を抑制し、ショベルの省エネに貢献する。

2.3.5 可変ゲインL/S制御

L/S制御とは、オペレータのレバー操作量を油圧的にポンプにフィードバックし、必要な流量のみをポンプに吐出させる省エネ機能である。そのL/S制御において、『レバー操作量』対『吐出流量』のゲインを変える機能をゲイン変更機能と呼び、現在は操作性を低下させないために、エンジン回転数を下げた場合にゲインを下げるゲイン変更L/S制御が主流である。

可変ゲインL/S制御とは、ゲイン変更量を回転数に応じて最適化する機能である。例えば通常のゲイン変更L/S制御では、図8の青線で示すように回転数に比例して吐出流量も変動する。エンジン回転数をAからBへ下げた場合、省エネになるが同じレバー位置での作業速度（吐出流量）も低下してしまう。これを可変ゲインL/S制御では、赤色で示すようなゲイン特性に変更し、回転数BでもAと同等の流量が吐出できるようにする。つまり、回転数を落としてもゲイン特性を変更することでアクチュエータの作業速度を同一にできるのである。

この機能により、作業負荷に応じて可能な限りエンジン回転数を下げて作業することができ、実作業時の燃料消費量が削減可能なシステムとなる。

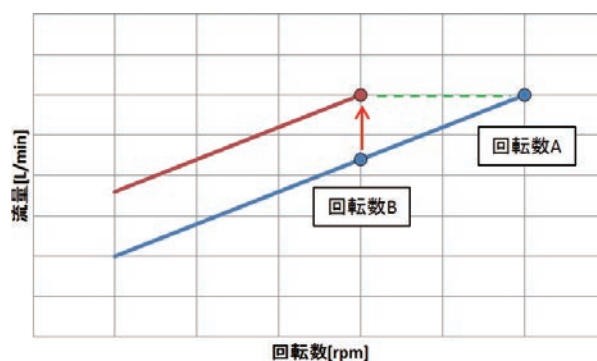


図8 可変ゲインLS特性

2.3.6 L/S二段階ゲイン変更制御

前述したゲイン変更L/S制御では、図9の赤線で示すような一次比例制御が基本であるが、近年の省エネ志向によりオペレータはエンジン回転数を落として作業することが多くあり、その場合、作業速度が低下してしまう問題がある。

L/S2段階ゲイン変更制御では、図9青線で示すようにゲイン変更特性を二段階で設定することがで

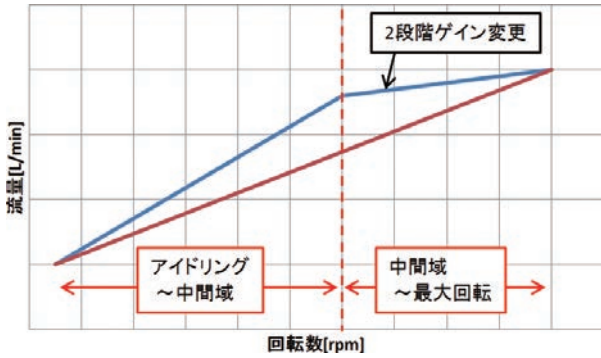


図9 二段階ゲイン変更特性

き、最大回転数から中間域では制御流量の低下を抑制し作業速度を確保し、中間域からアイドリングは制御流量の低下量を大きくして低速時の操作性を確保することができる。

3 ロータリーパーツ設計

本開発品は球面ロータリーパーツを採用している。球面ロータリーパーツとは、図10に示すようにバルブプレート（以下V/P）を球面形状にし、シリンダブロックと球面接触するよう設計したものである。この球面ロータリーパーツは、ポンプ仕様の高速化、高圧化、性能安定化が可能と一般的に言われている。

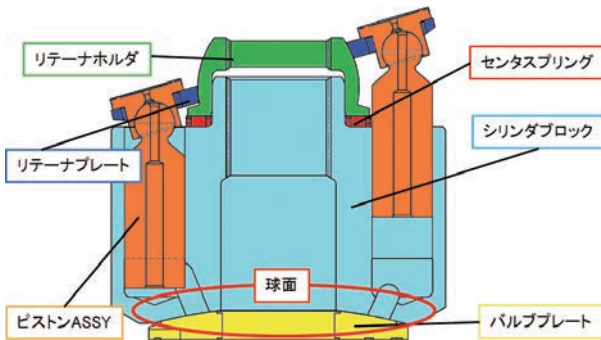


図10 球面ロータリーパーツ断面図

ロータリーパーツはピストンポンプの根幹部位であり、その設計が性能を左右する。ポンプの性能として、効率、低騒音、耐久性の3つが重要であり、これら3つのバランスが取れた設計が必要となる。

3.1 球面クリアランス設計

圧力負荷状態では油圧力によりシャフトがたわみ、V/P外側の当たりが強くなることに着目した。そのたわみを吸収できるように図11のようにV/PとC/Bの球径 (SR) に差を設定した ($SR-V/P < SR-C/B$)。しかし、スプリットフローの場合、吐出を2つに分ける必要があり、図12のように内側をP1ポート、外側をP2ポートとした場合、外側 (P2) ポートは

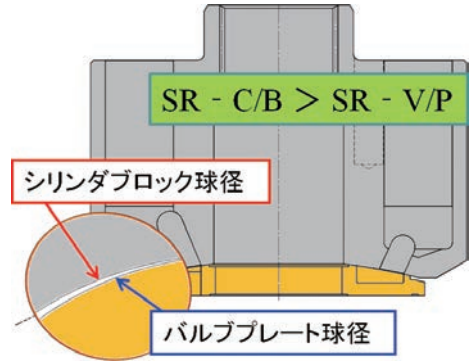


図11 球径差

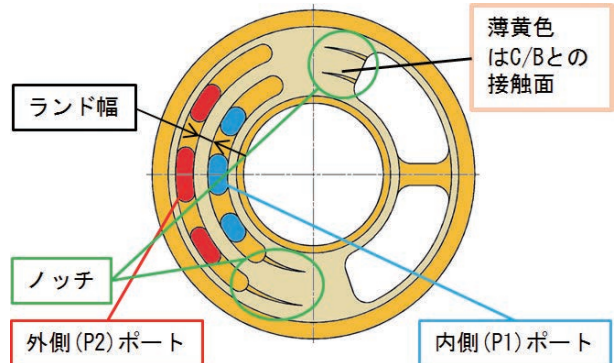


図12 バルブプレート形状

クリアランス (CL) の影響を受け易く、その球径差によるクリアランスが原因で外側 (P2) ポートの漏れが増えてしまう現象が発生する。

そこで、球径差と外側 (P2) ポート容積効率の相関を得るため、ベンチ試験を実施した。クリアランスを変えた3つの水準A, B, C ($CL-A < CL-B < CL-C$) を準備し、それぞれの外側 (P2) ポート容積効率を比較したのが図13である。

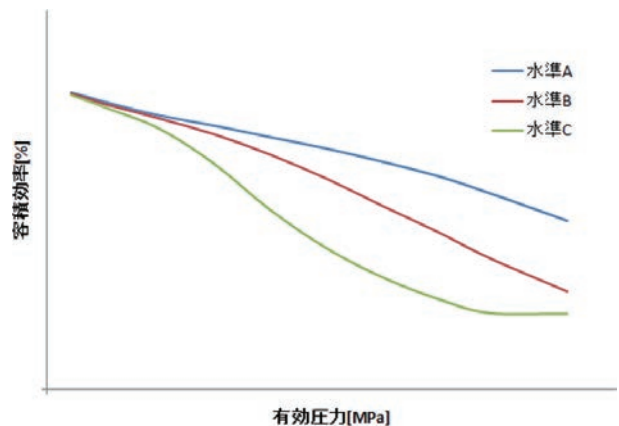


図13 外側 (P2) ポート容積効率試験結果

クリアランスが大きいほど容積効率の低下が大きいことが分かり、水準Cは低圧域での低下量が多い (漏れ量が多い)。この結果に基づいて球面ク

リアランスを設定した。

3.2 油圧バランス最適化

性能、低騒音、耐久性をそれぞれ満たすためにシリンダブロックに働く油圧力バランスの最適設計が重要である。設計の効率化のため、シリンダブロック、バルブプレート、ピストンASSY、シャフトを図14に示すようモデル化し、任意の回転角度における各部に働く作用力を算出する解析プログラムを構築した。

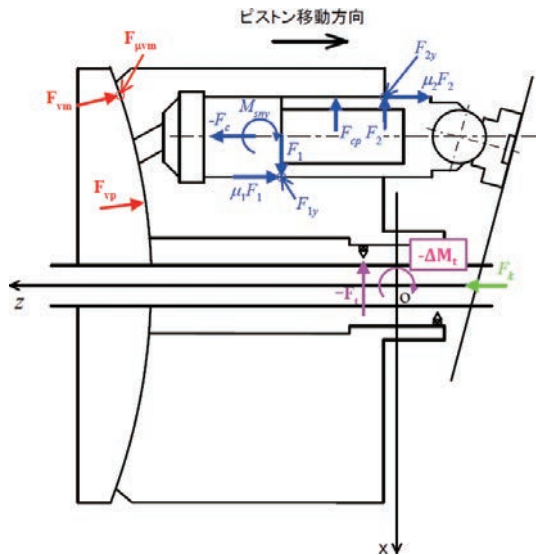


図14 油圧バランス計算モデル

各部品の寸法と圧力を入力することで、図15に示すようなV/P、C/B間の圧力分布等を算出し、出力として図16に示す1ピッチ（360°をピストン本数で割った角度）の押付比（図14に示す全荷重のZ方向の比）やC/Bの安定性を示すモーメントバランス（ ΔM_i ）の変動が得られる。

この解析モデルを活用し、図12に示すノッチ形状

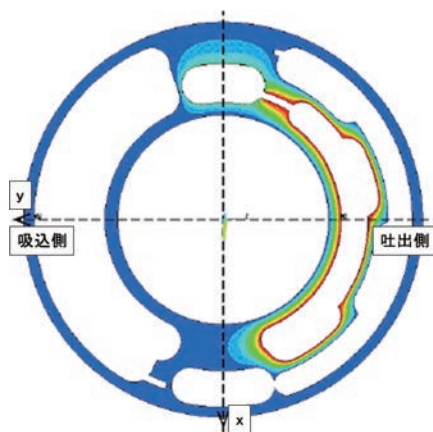
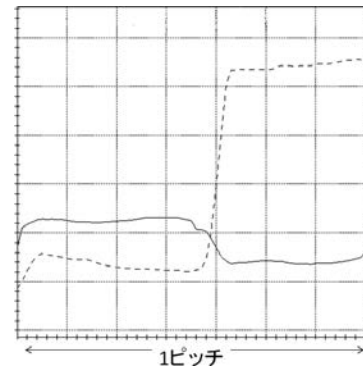
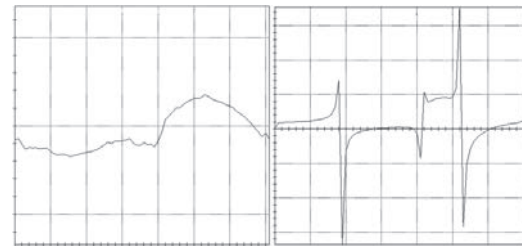


図15 V/P、C/B間圧力分布参考



(a) 押付比



モーメント比

(b)x軸周り

(c)y軸周り

図16 出力グラフ

を変えてシリンダ内圧パターンを変化させたり、V/Pランド幅を変えて押付比を変化させるなどして、押付比やモーメントバランスの変動が小さく安定した設計値を候補とし、ベンチ試験にて性能、耐久評価を実施し、性能、低騒音、耐久性を満足する設計値を採用した。

4 性能結果

図17に当社従来品であるPSVL2-36と本開発品PSVL2-42の全効率を比較したグラフを示す。当社評価ポイントで比較すると約4%向上しており、3

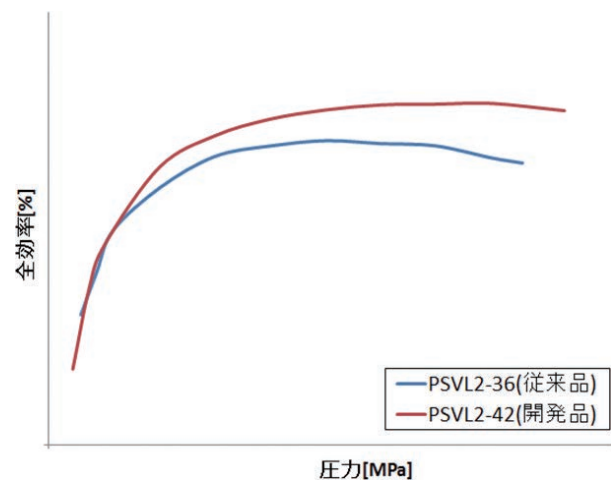


図17 全効率比較

章で述べたロータリーパーツの最適化により高効率化を達成している。

騒音に関しても、図18に示すように従来品 PSVL2-36と比較し、ポンプ後方1mでの測定値で約4～8 dB(A) 低減した。また耐久性も当社で実施する厳しい耐久試験に全て合格しており、効率、低騒音、耐久性の全てを満足する製品を開発することができた。

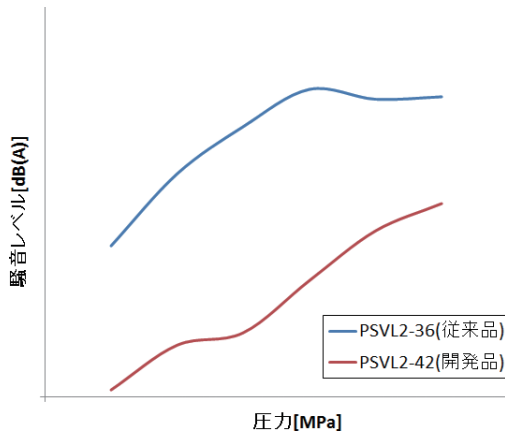


図18 騒音レベル比較（ポンプ後方1m）

5 おわりに

省エネ化に対応した高効率化、適用範囲拡大のための付加機能を搭載した小型シヨベル用1C/Bピストンポンプを開発した。本製品の立上げにより当社油圧シヨベル用油圧システムとして9tクラスまで全てをラインアップすることができた。

最後に、開発に際して、多大なご協力を頂いた関係各位に対して、深く感謝申し上げます。

著者



武井 元

2013年入社。ハイドロリックコンポーネンツ事業本部技術統轄部製品企画開発部第一開発室。油圧ポンプ製品の開発に従事



阪井 祐紀

2009年入社。ハイドロリックコンポーネンツ事業本部技術統轄部製品企画開発部第一開発室。油圧ポンプ・モータ製品の開発に従事。