



油圧ショベル用シリンダ変遷

高井 靖 仁

1 はじめに

油圧ショベルは油圧システムを駆動源とした建設作業機械であり、街中の工事現場から鉱山採掘場まで幅広く普及している。フロント部はブームやアームに搭載された油圧シリンダ（以下シリンダ）を伸縮作動させることによって、人の腕のごとく複雑に可動することができる。図1は一般的な中型クラスの油圧ショベルを示す。

KYBではこの油圧ショベル向けのシリンダとして、1970年代から今のKCH（KYB Cylinder High pressure）シリーズの前身である高圧型シリンダの生産を開始した。その後1984年にKCH-1型モデルが誕生し、KCHシリーズとして実に30年もの間、モデルチェンジによる改良を繰り返し、最新モデルはKCH-7型に至っている。ミニ・小型ショベル（運転質量10ton未満）向けには中低圧シリンダとしてKCL（KYB Cylinder Low pressure）・KCM（KYB Cylinder Middle pressure）シリーズも誕生した。

一方で油圧ショベルは普及拡大とともに大型化によるシリーズ展開が進み、当社シリンダも機体のシリーズ展開に合わせてサイズラインナップの拡大を図ってきた。そして今では運転質量2 tonのミニショベルから鉱山で稼動するような運転質量780tonの超大型油圧ショベル（図2）向けのシリンダを生産するまでになった。

生産体制としては、市場需要数の変化やグローバル化に対応すべく生産拠点の増強、最適化を図ってきた。現在では表1に示す拠点にてシリンダを生産している。KHIZ（KYB Hydraulics Industry Zhenjiang Ltd.）は中国・江蘇省鎮江市、KHMI（PT.KYB Hydraulics Manufacturing Indonesia）はインドネシア・ブカシ県にある海外拠点である。

このような長い歴史を持つシリンダについて中型KCHを例に、これまでのモデル開発の変遷を振り返るとともに、今後目指すべきシリンダの姿について考察したいと思う。

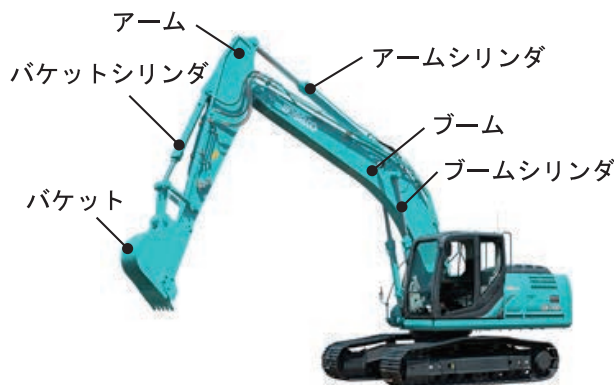


図1 中型ショベル SK200
(コベルコ建機株式会社ホームページより転載)

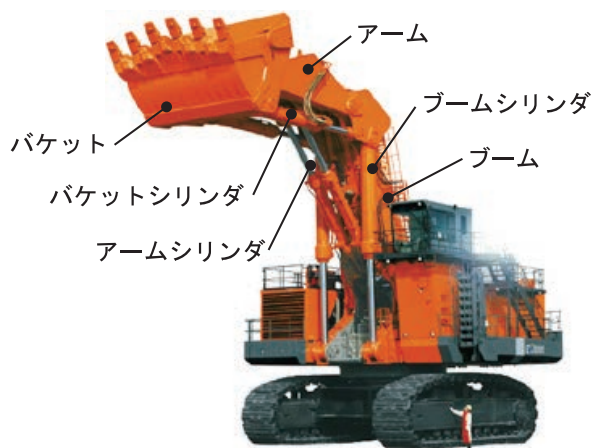


図2 超大型ショベル EX8000
(日立建機株式会社ホームページより転載)

表1 シリンダのラインナップと生産拠点

型式	KCH		
	KCL/KCM	中型	大型・超大型
クラス	ミニ・小型	中型	大型・超大型
運転質量 [ton]	～10	10～35	45～800級
最新型式	KCM-5A	KCH-7	KCH-2
定格圧力 [MPa]	29.4	35	31.9 ^{※2}
シリンダ径 [mm]	φ50～φ125	φ95～φ170	φ170～φ480
生産拠点	KYB-YS 岐阜南工場 ^{※1}	岐阜東工場 KHIZ KHMI	岐阜南工場

※1 一部のサイズのみ岐阜南工場でも生産

※2 超大型クラスでは最大29.4 [MPa]

2 シリンダ開発について

2.1 シリンダ開発の歴史

シリンダのモデル開発は当然のことながら、搭載される油圧ショベルの進化と共にある。油圧ショベルは、基本動作である掘削、走行、旋回を油圧の力によって行うため、作動圧力が高ければ高いほど能力を発揮し、効率的に仕事が行える。そのため1980年代にはモデルチェンジの度に高圧化が盛り込まれ、当初24.5MPaだった定格圧力は約10年の間に35.0MPaにまで向上した。なお、その後は現在に至るまで定格圧力は変わらずにきている（図3）。

高圧化のメリットとしては「油圧機器のコンパクト化」「掘削力向上」「走行力向上」「省エネルギー化」などが挙げられる。一方デメリットとしては「油圧機器への負担増大」「油圧騒音の増大」などが挙げられる。これら高圧化のメリットとデメリットの対応に掛かるコスト増大分を比較検討した結果、35.0MPaの設定圧が現在の最適解となっている。

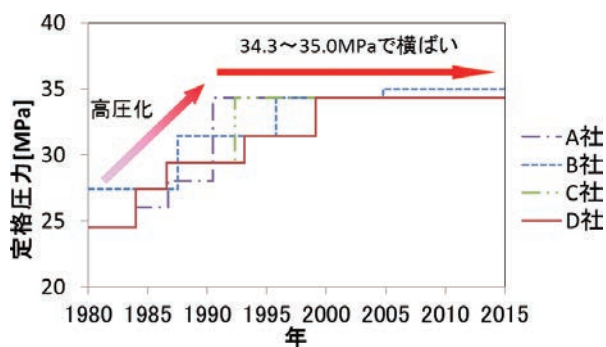


図3 中型油圧ショベルの定格圧力推移

以上のようにシリンダの初期の開発の背景には、油圧ショベルの高圧化が関係しており、KCH-1～3型は高圧化対応を主に行ってきた。高圧化がひと段落したKCH-4型以降はコスト低減対応や信頼性向上を主としてモデル開発が進められてきた。シリンダのモデル開発は大別するとシールの改良と、構造物設計・製造方法の改良に分けられ、それぞれの内容を図4、図5にまとめた。以下に、各モデルの開発項目と当時の開発の狙いを説明する。

(1)高圧型（旧型）シリンダ（24.5MPa仕様）

KCHシリーズが誕生する以前のシリンダはロッドシールからの外部油漏れが多い、ピストン側のダウティ製のUリングが焼損するなどシールシステムに関わる品質問題を抱えていた。更にシリンダヘッドねじ込み構造による形状複雑化やかじり防止に非鉄材部品を採用したため、高コストになっていた。

(2)KCH-1型（26.0MPa仕様）

本モデルは従来品に対して高圧化対応、構造の簡素化、品質・コストの改善をねらって開発されたものである。①シリンダヘッドはねじ込み構造からシリンダ内径基準の嵌合によるボルトアップ構造に変更することで形状を簡素化するとともに、組立精度が向上した。その結果ロッドシールのバッククリアランスを詰めることができ、シール性能を向上させることに成功した。②ロッドシール部はホルダに代えてシリンダヘッド内周部に青銅肉盛りを施すことによって部品点数を削減させた。③ピストンシール部は、ダウティ製のUリングからPTFE材のシールリングに変更して焼損対策を行った。軸受はピストンリングに代えてPTFE材スライドリングを採用するとともに、ピストン外周部に青銅肉盛りをして高速、高圧化に対応できるシールシステムとした。④製作面ではチューブ造管機、スカイビング&ローラバニッシング機導入による生産性向上、洗浄機の大規模導入によるコンタミ改善を実施した。

これらの変更によって従来の品から品質向上することが出来た。しかしながら、シリンダヘッド内周部とピストン外周部の青銅肉盛りは工程上ネックとなり、コストアップ要因となる課題が残った。

(3)KCH-2型（28.0MPa仕様）

本モデルはKCH-1のコスト低減や品質性能改善に重点を置いて開発された。①コストアップ要因になっていた青銅肉盛りは、ヘッド側は補助軸受を新設し、ピストン側はPTFE軸受を高負荷に耐えられるフェノール樹脂に材質変更することで廃止とした。②バッファリングの内製化もコスト低減に寄与した。③構造面に関しては配管サポート方法をバンドに変更することでチューブへの溶接を無くし、ボトム溶接部に裏板溶接を採用し、各溶接部の応力集中低減を図った。その結果、チューブの薄肉化と強度アップを同時に達成することができた。

(4)KCH-3型（34.3MPa仕様）

本モデルからは圧力仕様が34.3MPaに上がり、従来のKCH-2構造のままでは要求品質を満足することができなかった。そのためシール性能、構造物としての強度の両面で改良が必要となった。①シールシステムとしては、ロッド側のバッファリング及びピストン側のシールリングにはみ出し防止のためバックアップリングを追加。②構造面に関しては、高圧化によって向上したシリンダ推力に対してピストンロッドねじ部強度が不足していたため、部分的に熱処理を行って必要強度を確保した。③シリンダヘッドは高圧化に対し通常、大型化が必要となる。しかしながらその場合機体構造物に干渉するため、

構造, 締結ボルトサイズ, 本数, 締結ボルトの配置直径 (P.C.D.) を最適化することで, 大型化せずに強度向上を図った。

(5)KCH-4 (34.3MPa仕様)

KCH-4以降は高圧化の流れが止まったため, コスト低減や信頼性向上をねらった開発を行ってきた。本モデルでは従来購入品だったピストン側フェノール軸受を射出成形可能なスーパーエンブラ材に変更, 内製化しコスト抑制を図った。

(6)KCH-5型 (34.3MPa仕様)

1990年代後半になると, 機体の仕様は多様化され, ピストン摺動速度が高速化するなどシリンダの使用条件は以前よりも厳しくなっていた。その結果Uリングの溶融摩耗による油漏れや摺動面のスティックスリップによる発音・びびり現象が散発するようになり, 本モデルではこれらの改善を行った。溶融摩耗とはUリングのヒール部 (バックアップリングと接する内径側の角) が摺動熱によって溶けて摩耗してしまう現象であり, 高い摺動熱に起因している。従来のシールシステムでは組合せシールのためシール間に蓄圧が発生し, その圧力によってUリングリップ部が摺動面に強く押し付けられ, 高熱が発生していた。①そこでバッファリングをUリング形状に変更して, シール性能を安定させることで溶融摩耗対策を図った。②発音・びびりに対してはピストンシール側軸受の表面性状を変更することで, スティックスリップを起きにくくさせた。③製造面ではロッドヘッド接合工程に摩擦圧接を採用することによって溶接時間短縮によるコスト低減を可能とした。

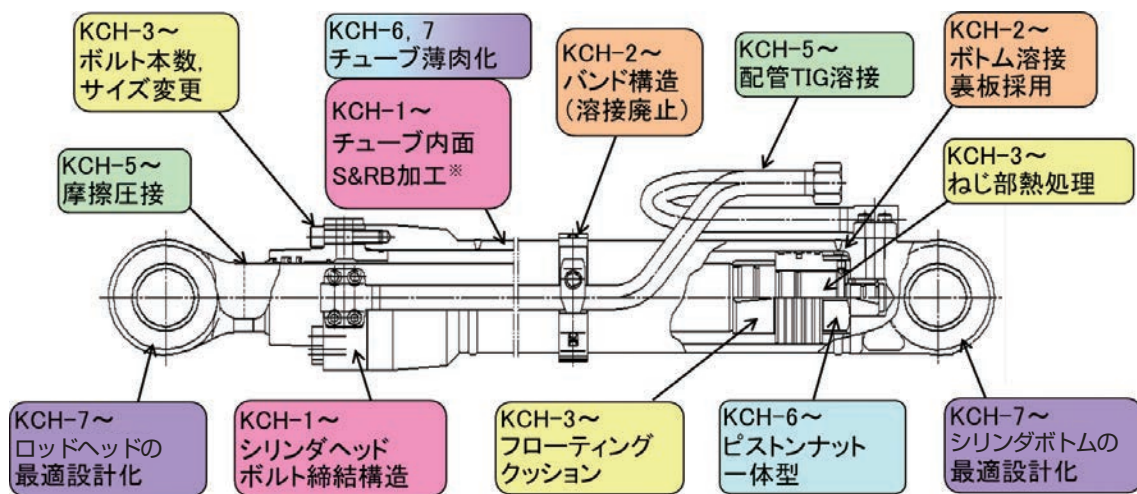
(7)KCH-6型 (35.0MPa仕様)

2000年代には油圧ショベルは中国や東南アジアな

ど新興国の資源開発のため使用されることが多くなってきた。これらの地域は油圧ショベルが日当たり20時間以上も連続稼働 (日本国内では10時間以下が一般的) するような作業現場で, 更には外気温も高いことから再びロッドシールの溶融摩耗が問題となった。こうなってくると形状変更による改良は難しく, シールの材料開発に着手した。①従来品よりも耐熱性の高いウレタン材を開発し, Uリングとバッファリングに採用することで問題解決することが出来た。②構造面としては, 実機計測結果を基に新たな圧力耐久基準を設定し, 新基準設計によるチューブ薄肉化でコスト低減を図った。③また, ピストンとナットを一体化する事で部品点数を削減するとともに, ねじ径をサイズアップし締結体の強化を行った。それにより, ピストンロッドねじ締結部の強度が向上した。

(8)KCH-7型 (35.0MPa仕様)

本モデルでは, 市場での不具合事例を調査し, ロッド傷つき不具合が多いこと, ロッドヘッドとシリンダボトム (以下, 総称して取付部と呼ぶ) の破損事例がほとんどないことに着目して開発を進めた。①ロッド傷つき不具合に関しては, 耐ダスト性を向上すべくワイパリングの改良を行った。従来のワイパリングはダストリップ部の追従性が弱く, 作動条件によってはロッド摺動面に追従することができずに隙間が生じ, そこからダストが侵入, ロッド傷つきに至る可能性があった。そこでダストリップ形状をピストンロッドの摺動に追従しやすい形状に変更することで, 耐ダスト性を向上させ, ロッド傷つき不具合の低減を図った。②取付部に関しては, 市場での破損事例がほとんど無いことから強度に余裕があると考え, シリンダが実際に受ける荷重を確認した。



※S&RBはスカイピング&ローラバニッシングの略称

図4 KCH-7シリンダとこれまでの盛込み項目

油圧シヨベル用シリンダ シールシステムの変遷								
いつ	モデル名	圧力	シリンダヘッド部シール構成	変化点	ねらい	ピストン部シール構成	変化点	ねらい
1984年	高圧型 (旧型)	24.5MPa		従来型建機シリンダの高圧モデル			従来型建機シリンダの高圧モデル	
				①ねじ込み構造			③ダウティUリング型	
1988年	KCH-1	26.0MPa		初のモデル開発品			初のモデル開発品	
				①筒素形状化 (ボルトアップ構造)	コスト低減		④シールリング構造 (PTFE+NBR)	断熱圧縮による シール焼損防止
1990年	KCH-2	28.0MPa		②強化型PTFE	かじり防止		⑤PTFE	高圧、高速化 に対応
				③青銅肉盛り			⑥PTFE	
1994年	KCH-3	34.3MPa		①KYB製を採用	コスト低減		③フェノール樹脂	コスト低減
				②青銅肉盛り →樹脂軸受に変更	コスト低減		④強化型PTFE	
1998年	KCH-4	34.3MPa		変更なし			⑤青銅肉盛り廃止 (③軸受材の強度向上)	コスト低減
							④バックアップリング追加	高圧化対応
2005年	KCH-5	34.3MPa		①ダブルリップ	耐久性向上		⑤強化型 フェノール	軸受割れ改善
				②3ピースタイプ	高圧化対応		⑤スーパーエンブラ材	コスト低減
2011年	KCH-6	35.0MPa		③樹脂軸受廃止	コスト低減		④表面性状変更 (一部に採用)	摺動性改善
				③耐熱ウレタン材	耐久性向上		④表面性状変更 (全面採用)	摺動性改善
	KCH-7	35.0MPa		①追従性向上タイプ	耐久性向上		変更なし	

図5 KCHのシールシステム変遷

その結果から取付部の強度を最適化（薄肉）することでコスト低減を果たした。

2.2 当社シリンダの特長

(1)シール部品の内製

2.1項および図5で説明したように、シリンダのシールシステムはモデル開発の度に改良を重ねてきた。これはシールシステムがシリンダの製品品質に関わる非常に重要な要素であるからであり、これら改良の多くは内製シールによって行われてきた。シール部品を内製していることで、市場での使われ方情報（お客様の要望）を即座に反映できるメリットがあり、シールの材料開発から設計、評価、製造までを一貫して行えることが当社の大きな強みである。

(2)強度保証技術について

設計したシリンダがお客様と設定した設計基準を満足するか評価するため、当社では各種試験設備を整備している。例えば新しい材料を採用する場合、実際に製品を製作、耐久試験などを実施し、材料特性を把握する。このようにして蓄積したデータを設

計ツール（コンピュータによる計算プログラム等）にフィードバックすることで、短時間に設計基準を満足するシリンダの設計を可能にしている。

2.3 設計の最適化

シリンダのコスト低減を行うためには、設計基準の最適化が有効な方策の一つである。もともとシリンダの設計基準はこれまでの市場実績を基に当社が独自に設定したものである。そのため、市場で実際に必要な強度、性能に対し過剰になっている可能性もあることから、これまでお客様と協議、評価を重ね、設計基準の最適化を追求してきた。市場での使われ方は時々刻々と変化していくことから、これからも同様の活動が必要であろう。

3 市場のグローバル化と海外展開

図6は世界の油圧シヨベルの需要推移グラフである。このデータによると2001年から2010年にかけて中国市場で需要が急増しており、アジア・大洋州地域でも堅調に需要が増加してきていることが見受け

られる。また、2009年～2011年には中国とアジア・大洋州だけで全世界需要の半数以上を占めており、これらの地域はとても重要な市場になってきている。この市場の変化に合わせて、母機メーカ各社はこれらの地域に進出してきた。油圧機器サプライヤである当社も、迅速にお客様に製品供給できるようにと、中型ショベル用シリンダの生産工場として2004年2月に中国江蘇省にKHIZを設立した。しかしながら、立ち上げ直後の段階では、材料・部品の現地調達ルートがなく、すべて日本から送って組立を行っている状態となっていた。

そのため、為替変動の影響で製造コストが変動してしまうリスクがあり、また輸送費の高額化、輸送のリードタイムをカバーするために、たくさんの在庫を抱えておく必要があるなどの課題を抱えていた。

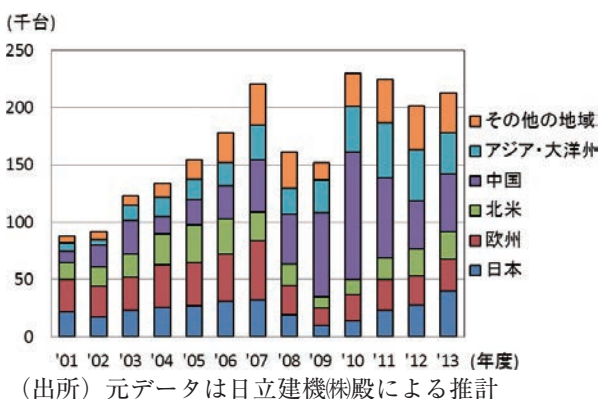


図6 油圧ショベルの世界需要の推移

この課題を解決するために次のステップとなるのが現地調達化である。KHIZは2004年に立ち上がり昨年、節目の10周年を迎えた。図7はそのKHIZの現地調達実施状況(あるシリンダの代表例)を図示したものである。すでに数多くの部品で現地調達化が進み、残す部品も現地調達化に向けて評価実施中の段階である。

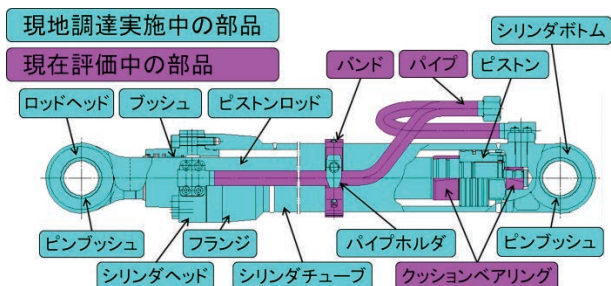


図7 現地調達の実施状況

このようにして、KHIZの生産・調達体制は徐々に整えられてきた。2013年10月にはインドネシアの

ブカシ県に海外2拠点目のシリンダ生産工場であるKHMIも設立した。KHMIはまだ立ち上げ直後のため多くの部品は日本から送っているが、今後はKHIZ同様に現地調達化を進めていくことになるだろう。

4 今後目指すシリンダの姿

油圧ショベル用のシリンダは耐外部油漏れ性能など高い信頼性を維持、確保するためには、製造も含めたモノづくりの力が必要な製品である。しかしながら、構造がシンプルであるが故に、その意味で参入障壁が低い製品であり、最近では海外メーカの台頭がめざましく、競争が激しくなっている。

競争を制するうえで、コストは重要な要素であるが、まだそれだけにはとどまらない。品質を維持しつつ、更にシリンダに高機能という付加価値をつけることで対抗することが可能である。

その一例がホースラプチャバルブ(以下HRV)付きシリンダである(図8)。HRVとは油圧ショベルで吊荷作業時において、万が一油圧ホースが破断した場合でもフロント構造物が安全な速度で沈降するように速度制御ができる、安全性を高めるための装置である。欧州油圧ショベルではISO8643に適合する安全弁の装着が必須、日本国内ショベルでは日本クレーン協会規格においてクレーン仕様機には装着義務があり、先進国で使用される機体において需要が高い。当社ではHRVの設計・製造も行っており、シリンダとHRVを一体で提供することが出来る。それによりお客様側での配管設計・取付工数の削減や油圧システムトータルとしてのコスト低減に貢献することが可能である。現在は装着の義務化がされていない地域もあるが、安全性向上は必須であり、今後HRVの重要性は増していくと考えている。

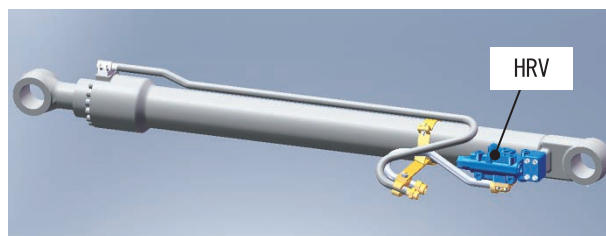


図8 HRV搭載シリンダ

また、現在開発を進めているピストンロッド内配管シリンダも他社との差別化を狙った製品のひとつである(図9)。ロッド内配管シリンダの開発目的はバケットシリンダのロッド傷不具合の低減である。バケットシリンダの機体への装着方向を従来(図1)

から反転させ、シリンダチューブをバケット側に取り付けることにより掘削作業時にピストンロッドに土砂が当たり難くなる。そのため、土砂に接触することによるロッド傷発生が低減⇒シールへのダメージ低下⇒外部への油漏れ低減につながると考えている。更にロッド内配管構造であることから、シリンダの外部配管・バンド類も不要となり、スタイリッシュな外観になるばかりか、掘削作業時に配管をぶつけることもなくなるため、配管破損不具合の根絶も可能となる。



図9 ロッド内配管シリンダ搭載の様子(中型機)

また今後需要の増加が予想されるのがストロークセンシングシリンダである。

平成25年に国交省より情報化施工推進戦略(新)が策定され、油圧ショベルに於いても平成27年度中に一般化させる計画であることが明らかとなった。情報化施工とは、施工現場の現状図や施工図と自機の位置および機体に対するバケットの位置情報を連携させて施工を行うことにより、「品質向上」「工期

短縮」「安全性向上」「環境負荷軽減」などを図る施工方法である。この施工方法には、バケットの位置を把握することが必要となる。バケットの位置を把握するためには種々方策があるが、シリンダのストローク位置情報から検知するのが、精度・信頼性の観点から望ましいと考えられる。これにより、ショベルの腕の部分などがどのように動いているのかをリアルタイムに把握し、制御にフィードバックすることで、オペレータの技量に頼ることなく作業できたり、難視現場での作業が容易になったりするなど、作業の効率化が図れる。将来的には完全自動化をも可能とする。

熟練オペレータの減少、生産性や安全性向上などから情報化施工機の需要は増加が見込まれる。コストパフォーマンスの高いストロークセンシングシリンダをお客様に提供できるよう、現在開発を進めている。

現状、高機能モデルの需要は欧州、北米、日本などの先進国に限られ、需要の半数以上を占める新興国においては必要最低限の機能で低価格の機体が求められ続けている。市場需要は二極化が進んでおり、当社としてはこの二極化にどのように対応していくか今後引き続き検討していく。

5 おわりに

シリンダは長年にわたり、当社の主力製品として日々改良が繰り返されてきた。更なる技術開発やコスト低減を達成するためには今までの設計思想にとらわれない新しい視点でデザイン・生産工程の再考を行わなければならない。先人の知恵を大切にしつつ、新たな技術を融合させていく必要があると考える。

シリンダに求められる本当に必要な強度、性能はどれ位なのか、今後お客様がシリンダに求めるものは何か、その真意は何なのかを的確に捉え、最適な設計・モノづくりの徹底追求を推進していきたい。

著者



高井 靖仁

2006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二開発室。油圧ショベル等のシリンダ製品開発に従事。