

随筆

回想, KCHの誕生 【KCH : KYB (Kayaba) Cylinder High Pressure】

原 定 昭

1. はじめに

2017年11月中旬, 並外れた寒気流入と伝わる東京を南西に3600km, 暑さも去り快適なハノイ市でこの随筆を起稿した. ハノイ市の位置するベトナム北部には四季があり短い春や秋もある. 冬は気温10℃を下回る日もあり結構冷える. 寒くとも日本での年末年始は心も騒ぐが旧正月を祝うこの地では年の瀬感は少ない. 大晦日, かの歌合戦を視聴していても常の夜である. 会社人生初の海外赴任である筆者のハノイ駐在はまもなく二度目の師走を迎える.

オートバイ大国ベトナムでは人口1億弱の2人に1台, 就労人口の1.6人に1台の割合でオートバイが存在, 国民の足である. 筆者が拠点長を務めるKYB Manufacturing Vietnam Co., Ltd. (以下KMV) はオートバイ向けサスペンションの生産販売拠点で, ベトナム国内向けに年間300万台出荷されるオートバイの約1/3にKMV製が装着されている. おかげ様で2017年10月にKMVは創立15周年を祝うことができた.

ハノイ市など大都市はオートバイで溢れ, 所得向上による乗用車の増加は渋滞に拍車を掛け, 中心部の駐車場難も深刻である. 政府は都市中心部への一般車の乗入れ規制を表明したものの, 各方面の提言や要請で規制は見直される様子である. 特に国民の主要移動手段であるオートバイの乗入れ制限が経済活動停滞リスクを高めると再評価されたようだ.

政府は鉄道系新交通システム導入や道路整備での改善も進めている. 市内の重要交差点では立体交差化での流れ改善も図られつつある (写真1). 一方, 所得向上で生まれた新たな富裕層向けマンション建設も加わり土木建設工事は盛んである (写真2).

現場には馴染みの重機. 中国や韓国系メーカーの油圧ショベルが目を引くが日系の機体も見かける. 日本で活躍した中古機も多い (写真3). ふと見ればKCH. 古いモデルだが油漏れなどない. 誇らしい.

想えば筆者が入社した1979年当時, 萱場工業 (現



写真1 新交通と立体交差整備例 (ハノイ市)



写真2 大規模住宅街区の開発現場例 (ハノイ市)



写真3 日本製油圧ショベル稼働例 (ハノイ市)
上: ビル再開発, 下: 道路拡幅工事

KYB)の油圧機器は母機の高圧化対応に苦戦していた. シリンダの油漏れ克服に邁進していた岐阜南工場内の第三油圧技術部開発実験室 (現ハイドロリックコ

ンポーネツ事業本部技術統轄部開発実験部第二実験室、以下：南油機実験）に配属された筆者は、1984年に世に出たKCHの開発にわずかながら関わった。

「漏れない・錆びない・壊れない」KCHの代名詞である。ここでは漏れないための特長でもあるシールシステムの成り立ちを中心に報告書には残っていないような話も交えて回想してみたい。

2. KCHへの道のり

70年代後半油圧ショベルのリリーフ圧力が上昇、25MPaはKYBにとってハードルとなっていた。KYBはシール内製が強みのひとつであるが、当時は内製シール（パッキン）であるが故にお客様からは「萱場（カヤバ）のパッキン駄目パッキン」と評価され悔しい思いをしていた。酷評は開発のばねにもなった。

KCHのシールシステムは細部を除けば誕生以来現在までその基本は変わっていない。パuffersリングを採用したロッドシールシステムとシールリングによるピストンシールシステムである。ボルト締結一体型シリンダヘッド（以下CH）と分離配管化した高精度シリンダチューブがこれらを支える。基本思想が長く生き続けているのは、開発での各機能部門一体の標準化活動が成功したことを示す。

KYBのシリンダ開発方法はKCH前後で画期的に変化した。最重要事項は動的外力負荷の導入で、設計ツールや実験方法を大きく変えた。「萱場のパッキン駄目パッキン」と暗に内製シールを悪者にしていた状況を転換し、漏れないシリンダへの扉をこじ開けた。まずこの辺の状況から述べてみよう。

3. 隣の芝生はよく見える

南油機実験はショックアブソーバ（SA）やフロントフォーク（FF）など緩衝器の開発実験部門と同じ事務所で仕事をしていた。現在岐阜南工場の生産現場の一部となっている第5工場南東の角にあった。古く狭かったこともあり別事業同士であったが事務所に壁はなく、打合せ内容など互いによく聞こえた。幸いにも筒抜けの環境は部門を超えた交流を促した。まだ高価であったパソコンやシーケンサ、デジタル化が始まった計測機器が職場に登場。最新機器の導入情報が耳に入るや導入部門へ押しかけ、自部門での活用に備え自主的勉強会を開催したりもした。

事務所では大手計測機器メーカーの技術者も舌を巻くような電気通信分野の実務に強いT主任が計測器管理を束ねていた。OJTで実力を磨いたと聞き及ぶ

T主任の影響もあってか事務所内には電子化対応力のある人財が多く全社的にも特異な存在であった。筆者も触発され、若さも手伝い数百ページある8ビットマイクロプロセッサZ80CPUの解説書を2日で読破、内容はすこぶる面白かった。甲斐もあり実験業務の電子化に役立ち、また制御用マイコンの初代社内インストラクタに名を連ねることもできた。

部門の壁を意識しない交流はAfter5でも盛んで、懇親会はいつもの店でよくやった。いつもの店とは今ほど選択肢がなかったということである。今はない窮屈な同居環境が「異なる人財や階層が織り成す妙」として良い効果を生んでいたのかもしれない。

当時、緩衝器部門では既に実車計測による製品の使われ方把握を実践していた。実車計測データに頻度解析や相関解析などを施し、設計要素が実車でどの乗り心地や耐久性にどのように関わるかを活発に研究していた。二輪部門では無線（テレメータ）を実用化しオートバイやライダーに負担の少ない実車計測を実現していた。こうした使われ方把握は台上テストやコンピュータシミュレーションにもリンクしていった。現在では自前の開発実験センタで各種路面状況での評価が安定して行えるようになっているが、過去の積み上げがその礎になっている。

緩衝器部門の計測車両は事務所脇に乗り付けて準備、手際よく実車走行時の計測をこなしていた。「SAやFFは小さく軽いからいいよな〜」。重量20t超で大きな油圧ショベル、1本100kgを超えようとする油圧シリンダを相手の実機計測は容易ではない。南油機実験の我々はある意味「隣の芝生」を羨ましく眺めていたのかもしれない。

4. 漏れない油圧シリンダを目指して

シールから油が漏れるのであるから「シールが悪い」との客先評価も致し方なかった。社内でもシール部門だけに改善を任せていた節がある。

上司が替われば仕事も変わる。KYBで船舶向けなどの機械装置を担当していた部門から我が技術部に異動してきたM部長の指導で油圧シリンダの使われ方把握が積極化された。油圧機器をシステムに纏め上げる仕事を手掛けてきた経験から「品質問題の解決は使われ方把握から」とM部長は我々を動機付けた。緩衝器部門に倣い使われ方把握を深耕するためもあり、M部長は隣の芝生の住人であったO氏を開発設計室長に抜擢、母機である油圧ショベルの実機計測も多く実施した。まだ社内には空地があった時代、実掘削計測も相当自由にできた。楽ではなかったが……。

油圧ショベルには通常ブーム・アーム・バケットの

3種類のシリンダがあり、各シリンダには圧力、変位、加速度、応力などの計測点を5～8点設定する場合によるが1機体当りの計測点合計は20点を超える。記録機器側のチャンネル数の限界もあり計測点全てを一度に計測できず、シリンダ毎の計測点を切り替えて同じ動作を何回も繰り返すのである。有線計測であったため計測点毎に50mの専用ケーブルが1本必要、同時計測チャンネル数分と予備分で概ね15本の束を油圧ショベルの動きに合わせて捌きながら計測を繰り返した。ケーブルの束は重く、掘削現場のため足場もよくない。夏や冬の計測は特に辛かった。後に無線化されたが、有線時代の油圧ショベルの実機計測は、後片付けまで重労働であった。ちなみに後片付けとは、泥だらけの50mケーブル多数を洗浄し電気特性を点検修理し次回に備えて保管することである。

苦労はしたが実機計測結果はO室長が中心となり技術部総出でまとめた「油圧シリンダ品質・技術開発システム」の重要な資料となった。台上評価の特長でもある加振摺動耐久試験法（写真4）を代表として、現在のKYBシリンダ開発スタイルの基礎ができ上がった。

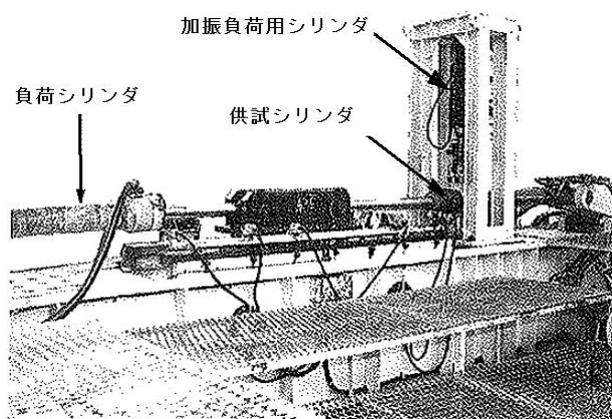


写真4 加振摺動耐久試験法¹⁾

使われ方把握の活動から、シリンダの動的横剛性とシールリップの接触安定性が油漏れに強く関係しているとの知見を得た。この接触安定性はシールリップの追従性能だけではなくシリンダヘッド周辺部品の勘合公差や弾性変形に影響を受けることも発見し「接触干渉評価法」を設計ツールとして確立した。高圧化対応の過程で多部品化した旧型高圧シリンダのシリンダヘッド周辺構造は接触干渉に不利であった。こうしてCH開発への素地ができた。

実機での使われ方説明の一方、社内実験の迅速化も課題であった。シリンダ実体での台上評価にも時間・コストの問題がある。KCHの開発過程では「油

圧シリンダ品質・技術開発システム」から展開された部品毎の評価項目に着目した要素テストが積極化された。圧力や速度などのパラメータを変化させ、点ではなく線や面での評価により結果の応用範囲を拡大し実験回数を減らすよう努力した。

新たに創出された評価方法は過去から実績のあるものも含めて「テストコード化」と称して標準書式でのマニュアル化活動も展開した。普及し始めたパソコンの活用で手書き排除を目指した。古い事務所であったが現在の技術系オフィス業務を先取りしたようであった。設計部門のCADの本格運用もこの頃からで、現在に繋がる開発環境整備が始まっていた。

5. 経験や従来実績の壁

貴重な経験や従来実績が開発の場面で障害化することがある。CHの採用では難儀した。

旧型高圧シリンダのシリンダヘッド周辺が複雑化した要因にはバッファリングの追加があるが、真の要因は「Uリングはバックアップリングとともに分割溝へ装着するもの」との考えであったと言える。一体溝への装着ではドーナツ状のままではバックアップリングが組み込めず一箇所カットせざるを得ず経験上耐久性が落ちる。Uリングは装着し難くなり生産性を阻害、装着時の大変形も性能上不安である。加工では一体溝内の切粉排出が難しく面粗度評価もし難い。新構造には既存製造工程も潜在的足かせとなるなどCHに対する否定論が沢山あった。

しかし、同一要求推力なら高圧化でシリンダが細くなり動的外力負荷を考慮すれば横剛性的に弱くなることは必然。折りしも旧型高圧シリンダの客先実機評価でシリンダヘッドがピストンロッドに干渉接触しめっきの陥没剥離を起した。接触干渉評価法にも基づきCHの採用が確定した。

根強い不安があった一体溝へのUリング装着についても解決を見た。シール部門および生産技術と製造部門が適用ピストンロッド径に対するUリング素材特性と断面の大きさなどのバランスを評価しながら性能不具合の出ない装着方法を確立、バックアップリングの一箇所カットも問題ないことが証明され、一体型CHの実現に目処がついた。

ピストン側は一段と手強かった記憶がある。高圧化でピストン側が抱えていた重要課題はUリングシールの焼損である。シリンダはピストンで圧力室が二つに隔てられており各圧力室は母機油圧システムの末端、行き止まりになる。何らかの事情でシリンダ圧力室に存在する気泡が圧力上昇で断熱的に圧縮され高温化、作動油が燃焼することも否定できない。圧力室に露出しているUリングは熱で損傷を受

ける。これを焼損と称しピストンシールの破損による油漏れを引き起す。圧力室の気泡を無くすことが肝要ではあるがピストンシールの焼損耐力を上げることも重要とされた。

M部長は一方で彼我比較も主導。高圧化で先行する欧米の建設機械用シリンダとシールシステムの現物調査をシール部門のH課長と協力し進めた。欧米メーカーはピストンの一体溝に装着するシールリングを採用していた。油圧室に露出せず焼損にはUリングより有利と考えられた。シールリングは1本で両方向の圧力をシールできる双方向性の組合せシールである。シール摺動面にナイロンや補強骨材を煉り込んだPTFE（フッ素樹脂）などの樹脂製スリッパリングが使われる。スリッパリングは装着溝内側のエキスパンダリング（ゴム状弾性体）により圧力に応じて摺動面に押し付けられシール機能を発揮する。

シール摺動面がゴムではない樹脂製であるが故にKYBでは「シールリング導入には圧力の吹き抜け現象対策が必要」との考えが強かった。

初期のシールリングでは、吹き抜け現象を緩和する手段のひとつとしてエキスパンダリングに圧力を素早く回すため部材と一体溝との間の隙間を大きくし、エキスパンダリングも大断面の方がよいとした。

軸受けは旧型高圧シリンダで実績のあるピストンリングをそのまま流用。シールリングの一体装着溝はシリンダチューブとの直接接触によるかじりを嫌いシールリングのはみ出し隙間を大きく取り、はみ出し対策としてウレタンゴム製のエンドレス型バックアップリングを設けた。エキスパンダリングの断面形状からT型シールリングと称し、シールリング型ピストンの原型が生まれた（図1）。

シールリングは1本でピストンシールの用を為すため軸受けは油圧システム側に配置される。これがシールリングの焼損を防ぐ障壁になるとも考えた。軸受けが圧力室に露出する形となるため技術部としては製品の清浄度を向上させるべくコンタミネー

ションコントロールのレベルアップを製造部門に投げかけた。工程毎の清浄度把握と製品のコンタミネーション感度（コンタミネーションと性能劣化度合いの関係）を評価し、製造工程でのコンタミネーションレベルの目標を掲げた。しかし「既存工程では対応不可能」と生産技術部門、「既存の溶接構造を踏襲する配管系やシリンダチューブでは溶接スパッタ排除は困難」と製造部門の反発を買った。

従来Uリングの焼損対策としてUリングの圧力室側前方への遮蔽物配置が実現しなかった背景に、遮蔽物とシリンダチューブの隙間に溶接スパッタが噛み込み重篤なかじりを発生する問題があった。今では信じ難いことだがKCH誕生前には大きなスパッタがシリンダ内に存在することがあった。スパッタを含めシリンダ内の異物を許容する限り、焼損リスクを負ってでもリップシールであるUリングを使わざるを得なかったのである。

シールリング構造実現にはコンタミネーションコントロールは必須であったが、当時のA品質保証部長も理解は示すがコンタミネーションレベル向上には消極的で「設計で何とかしてほしい」との立場を固持。M部長は悩んだ末「内部ダストシールを開発する」との方針を出した。内部ダストシールを含むシールリング型ピストン構造の原型イメージを図1に示す。部材（A+B+C）でT型シールリングとなり、内部ダストシールはリップでスパッタなどを排除、万一シールリングとの間で蓄圧が発生した場合、リップが開いて圧力開放する機構であった。

筆者は若輩ではあったが「内部ダストシール構想がUリングの焼損対策の観点から理屈に合わない。コンタミネーションを改善すべき」とM部長とA品質保証部長に意見したことをよく覚えている。その場で一蹴されたが、その後の開発評価で内部ダストシールは採用を断念した。詳細は割愛するが、内部ダストシールとシールリングとの蓄圧で背面からの圧力負荷が圧力開放機能を超え、溝から内部ダストシ

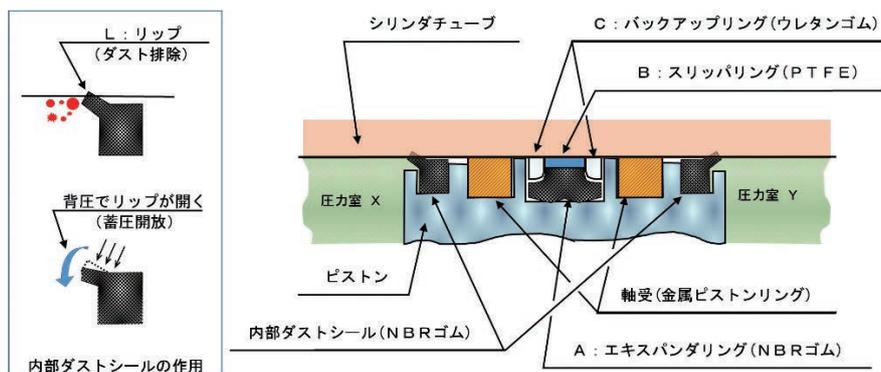


図1 内部ダストシール付きのシールリング型ピストン構造の原型

ルが圧力室側に脱落する事象を解決できなかった。

後に気付いたことだが、M部長が筆者の意見をA品質保証部長の前で一蹴したのは、内部ダストシールが成功しない現実を敢えて見せる必要があったからと言える。品質保証部長をはじめ生産技術や製造部門に本格的なコンタミネーションコントロールに向ってもらうためであったのだ。

T型シールリングはシール周辺の空間やウレタンゴム製バックアップリングが焼損に不利であることが判明、吹き抜け対策も含めた改良の結果スリッパリングとOリングをエキスパンダリングとする2部材構成で最適化し現在に至っている。軸受けも金属製ピストンリングからPTFE製のスライドリングに改良され高圧ピストンシールシステムが確立できた。

油漏れのないシリンダを目指したシールシステムは、幾多の壁を乗り越えシリンダ構造のモデル化とそれに伴う生産革新をもたらした。

図2にKCH前後のシールシステムの変化を、図

3にKCH初期モデル (KCH-1) からの構造の特長を示す。

6. 可視化

KCHのシールシステム開発での課題は多かったが、特に印象的だったものを記して終わりたい。

ロッドシールシステム完成過程で厄介であった蓄圧現象は、バッファリングとUリングのシール間にシリンダの往復摺動に伴い数百MPaもの超高压が発生するものであった。シール間での潤滑油膜の収支バランスが解決の鍵で、南油機実験には油膜厚さの可視化が求められ、筆者に任された。

当時、潤滑理論の逆問題解法にてシール部の油膜厚さを評価する試みが一部のシールメーカーや大学で進んでいた。文献によればスリットと静圧を利用して得た往復動シールの摺動方向の接触圧力分布から油膜厚さを評価するものである。理論では最小油膜厚さは接触圧力分布の勾配に依存するとされた。

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	①シリンダヘッド ②ホルダ	従来型建機シリンダの高圧モデル		③メインシール ④軸受	従来型建機シリンダの高圧モデル	
				①ねじ込み構造 ②非鉄材料			③ダウティUリング型 ④金属製ピストンリング	
1986年	KCH-1	26.0MPa	①シリンダヘッド ②バッファリング ③シール間	初のモデル開発品		④メインシール ⑤内側軸受 ⑥外側軸受 ⑦シール間	初のモデル開発品	
				①簡素形状化 (ボルトアップ構造) ②強化型PTFE ③青銅肉盛り	コスト低減 かじり防止		④シールリング構造 (PTFE+NBR) ⑤PTFE ⑥PTFE ⑦青銅肉盛り	断熱圧縮によるシール焼損防止 高圧、高速化に対応 かじり防止
1990年	KCH-2	28.0MPa	①バッファリング ②シール間	① KYB製を採用 ② 青銅肉盛りに変更 ⇒ 樹脂軸受に変更	コスト低減 コスト低減	③内側軸受 ④外側軸受 ⑤シール間	③フェノール樹脂 ④強化型PTFE ⑤青銅肉盛り廃止 (③軸受材の強度向上)	コスト低減 コスト低減

図2 KCHのシールシステム変遷：初期段階 【参考文献2）より引用】

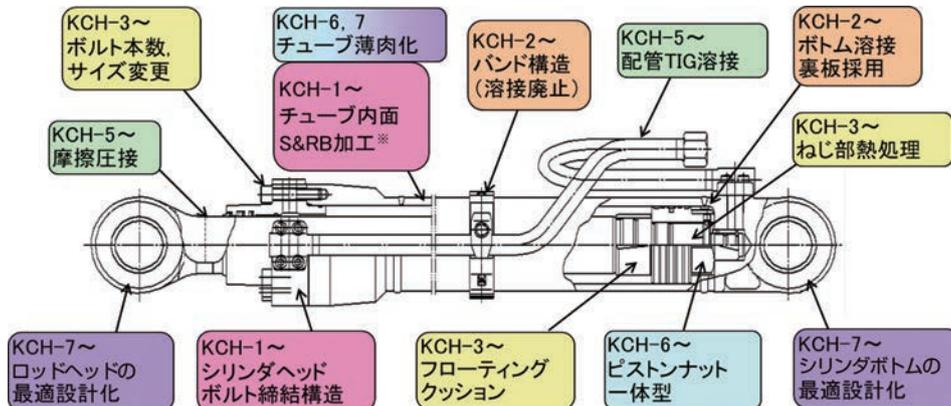


図3 KCHの主要構造の特長 【参考文献2）より引用】

既にKYBでは技術研究所にて圧電素子で接触圧力を得る方法を活用しており、筆者もトライした。圧電素子は力の変化速度に依存した電圧が取り出せる。摺動方向への走査時の出力は圧力分布変化に概比例し接触圧力分布の勾配情報が得られる。自作センサを埋め込んだピストンロッドで計測を進めた。

センサ出力は接触圧力分布の微分成分のため分かり難い。判断し易い接触圧力とするには積分すればよい。技術研究所ではアナログICの積分器を使ったが、筆者は導入間もない16Bitパソコンで信号の後処理をソフトウェア化した。覚えてたのアセンブラで組んだマシン語も活用した。

多種シールについて接触圧力分布の勾配情報を短時間で収集した。結果として油膜厚さそのものの計測はできなかったが、理論上とは言え油膜厚さを決定する接触圧力分布の勾配情報を可視化でき、蓄圧解決手段としてKYBバッファリングの開発とその内製化に寄与できた。

百聞は一見に如かず。可視化が有効であることを強く実感できた最初の仕事であった。同時に、触発されて得た電子化や制御用マイコンの知識を活かしたこともあり印象が強い。図4に接触圧力分布計測のイメージを示す。

現在では多方面で精度の高い可視化がコンピュータ上で行えるようになったが一種のVR（バーチャ

ルリアリティ）である。VRを否定するものではないが、技術者諸兄には現実空間での検証を怠らず有効な可視化の活用を進めてもらいたい。

7. おわりに

多くの関係者の力でKCHは世に送り出された。この経験は中低圧など他のKYB油圧シリンダシリーズの設計や生産革新にも波及している。KCHは誕生以降も軽量化や耐圧仕様の向上を図り顧客ニーズに応えている。超大型建機へも基本思想を変えずに対応できた。作り方の革新は海外生産を可能化したと言える。アブソリュート化を果たしたストロークセンシング機能を備えたモデルなども生まれKCHの将来は頼もしい。

最後に、執筆の機会を得たことに感謝するとともに、KYB製品の世界展開を支えていく諸氏の活躍を祈念し結びとする。

なお、文中の登場人物各位の実名表記を避けた点はご容赦願いたい。

参考文献

- 1) 尾畑：建設機械用油圧シリンダ開発の歴史，カヤバ技報（KYB技報）第3号，（1991年10月）。
- 2) 高井：油圧ショベル用シリンダ変遷，KYB技報第50号，（2015年4月）。

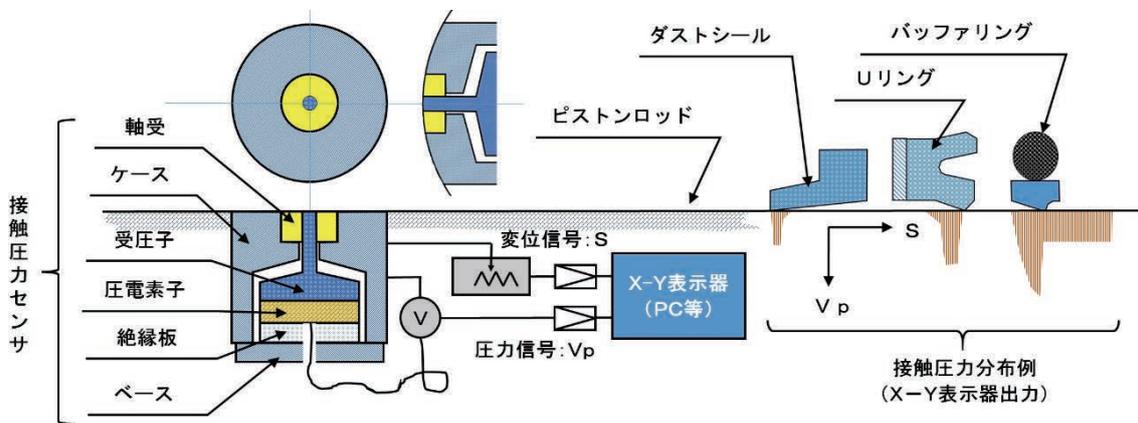


図4 接触圧力分布計測

著者



原 定昭

1979年入社。KMV社長、岐阜南油機技術部長、オートモーティブコンポーネンツ事業本部二輪技術部長、執行役員品質本部品質管理部長を経て現職。