

KYB TECHNICAL REVIEW

KYB技報
APR. 2018 No.56

K
Y
B
技
報

KYB TECHNICAL REVIEW NO. 56 APR. 2018



KYB技報

第56号 2018-4

目 次

巻頭言

百聞は一見にしかず 山部 昌 1

論説

油圧技術の動向と展望 坂間 清子 2

随筆

KYBT駐在記 瀬戸口和敬 6

回想, KCHの誕生【KCH: KYB (Kayaba) Cylinder High Pressure】 原 定昭 10

解説

データマイニングの活用事例 高松 伸一 16

技術紹介

画像処理によるショベル姿勢推定技術の研究 表 将也 22

マシニングセンタを利用した2次元コードマーキング加工技術の開発 嘉数田隆昌 26

画像処理による3次元寸法検査装置の開発 原田 耕太 30

電動パワーステアリング評価設備の開発 安藤 浩二 34

室橋 淳夫

藤掛 光彦

堀 剛士

製品紹介

次世代要求に応える電動パワーステアリングの開発 松村 亮一 44

商用車向けPS用高圧アルミベーンポンプ『4KT5』の開発 塩崎 浩 48

用語解説

「KYB製PSポンプのラインアップ」 宮崎 晴光 52

製品紹介

20t系ショベル走行用油圧ピストンモータの開発MAG-170VP-4000H 杉本潤一郎 53

阪井 祐紀

家具転倒防止ダンパの開発 畦 将也 59

シミュレータ用新型内圧コントローラの開発 芳村 友起 64

Semi-Active Suspension, Extending the Limits Alexander Alonso Torres 68

中・小型二輪車向け倒立フロントフォークの開発 尾崎 公哉 74

宮内 慶彦

紹介

アジアクロスカントリーラリー参戦記 田中 一弘 78

編集後記

(表紙写真 (表): アジアクロスカントリーラリー用SA [P.78参照], (裏): 家具転倒防止ダンパ [P.59参照], シミュレータ用新型内圧コントローラ [P.64参照])

KYB TECHNICAL REVIEW

No. 56 APR. 2018

CONTENTS

Foreword

Seeing is believing YAMABE Masashi 1

Editorial

Trend and Outlook of Hydraulic Technology SAKAMA Sayako 2

Essay

KYBT Expat Experience Report SETOGUCHI Kazuhiro 6

Memory, Foundation of KCH: [KCH: KYB (Kayaba) Cylinder High Pressure]
HARA Sadaaki 10

Explanation

Application Examples of Data Mining TAKAMATSU Shinichi 16

Technology Introduction

Research on Excavator Posture Estimation Technology with Image Processing
OMOTE Masaya 22

Development of 2D Code Marking Technology with Machining Center KASUDA Takaaki 26

Development of 3D Dimension Inspection Device with Image Processing HARADA Kouta 30

Development of Electric Power Steering Evaluation System ANDO Koji 34

MUROHASHI Atsuo
FUJIKAKE Mitsuhiko
HORI Takeshi

Product Introduction

Development of Electric Power Steering Responsive to Next-Generation Needs
MATSUMURA Ryoichi 44

High Pressure Aluminum Vane Pump for Power Steering of Trucks SHIOZAKI Hiroshi 48

Glossary

“Making KYB Vane Pumps into a Series Product” MIYAZAKI Harumitsu 52

Product Introduction

Hydraulic Track Motor for 20t Class Excavator SUGIMOTO Junichiro 53
SAKAI Yuki

Development of Furniture Overturning Prevention Damper UNE Masaya 59

Development of New Controller for Impulse Test Stand YOSHIMURA Yuki 64

Semi-Active Suspension, Extending the Limits Alexander Alonso Torres 68

Development of Inverted Front Fork for Small- and Mid-Sized Motorcycle
OZAKI Kosuke 74
MIYAUCHI Yoshihiko

Introduction

JOURNAL OF ASIA CROSS COUNTRY RALLY TANAKA Kazuhiro 78

(Cover Photograph: Shock Absorber for Asia Cross Country Rally [see. 78], Furniture Overturning Prevention Damper [see. 59], New Controller for Impulse Test Stand [see. 64])

巻頭言

百聞は一見にしかず

山 部 昌*



科学技術の進歩は本当に早いもので、こんな夢の商品があったらいいな…と夢見ていたものが、次々と現実に商品となってきていることに、誰もが驚きを覚えているのではないのでしょうか。

鉄腕アトムの子の親、手塚治虫先生は50年前に今の時代を見事に予測されました。当時は『そんなもの？無理！』と一蹴されていたことと想像します。彼は予言者ではありませんが、科学者としての技術の進歩を謙虚に見つめ論理的に予測されたに違いありません。多くの方が「夢」として聞き流してしまうもの、見逃してしまう科学技術のネタを、頭の中では現実のものとして見られていたんだと思います。

1980年代後半、学生時代の友人から電話があり、雑談しているうちに、彼の仕事の話になりました。彼が担当しているのは、携帯電話の電池の小型・軽量化の開発で、将来誰もがポケットに携帯電話を持つ時代が来るのだと……。そのときの私は、『そんなものができるはずがないよ！そんな時代は来ないし、技術開発も無理！ 第一そんなエネルギー密度の高い2次電池ができるはずがない！』と言い切ってしまいました。ところが1990年代に入り、徐々に実用化が進んできたではありませんか。彼の話聞いてから10年もしないうちに私自身も日常で使うまでになったのです。そのことを私自身エンジニアとして大いに反省し、以後は自分の持っている知識だけで物事を判断せずに、自分の目で直接技術課題を観て（見て）考えるようにと心がけるようになりました。

私の研究対象である樹脂製品の「ものづくり」では金型や大型機械を使用する関係で、なかなかその製造プロセスやそのメカニズムを観る（見る）こと

ができません。多くの人たちと議論していても、みんな同じイメージを共有できない場面が多々あります。そのため、『そんなこと出来っこないよ！』という悲観的・否定的な意見が出てくることもしばしばでした。今はコンピュータシミュレーションを活用した、樹脂の流動解析技術が進歩し、金型内の樹脂流動挙動を疑似的ではありますが『可視化』することが可能となっています。これは画期的なコミュニケーションツールとして、我々この技術に携わる者の間で共有化することもできました。しかし次に、この疑似的な可視化が本当なのか？という疑問がわくようになり、それなら直接観て（見て）誰もが納得するメカニズムを提案することが重要と考えるに至りました。この直接可視化には、東京大学の横井秀俊先生や、東京工業大学の佐藤勲先生のご協力を得て、ようやく実現でき、そしてついに実際に金型内の樹脂流動の可視化に成功したのです。百聞は一見にしかず！この可視化画像により、技術的な共有ができたことは言うまでもなく、従来までは否定的であった人たちにも説得力のあるアピールができ、業界への貢献にも繋がったのではないかと思います。

この観る（見る）ことは何も金型内の可視化だけではありません。現場で起きている様々な問題を実際に観て（見て）、悲観的・否定的な考えを払拭し、前向きに技術に挑戦して行くことが、エンジニアには何より必要なことではないのでしょうか。将来技術に対する夢を自身の思い込みや、悲観的・否定的な考え方で潰されるのは大変な損失です。今後も観る（見る）ことを大切にしながら、常に柔軟な発想を持って、さらなる技術開発に取り組んで行けたらと願っています。

*金沢工業大学工学部 機械工学科 教授

油圧技術の動向と展望

坂 間 清 子*



1. はじめに

“油圧”は、電動や空気圧等の他の駆動方法と比べて小さな機器で大きな出力が得られることから、大きな力が必要とされる産業分野で広く利用されている。しかし、省エネ化、低騒音化、クリーン化等の観点からあらゆる産業分野で油圧システムの電動化が進んでおり、今後ますます電動化の動きは進んでいくと考えられている。それでは、将来的に油圧が全て電動に置き換えられる可能性はあるのだろうか。本稿では、油圧機器と電動機器の開発動向を比較しながら、油圧の今後について考えていきたい。

2. 油圧アクチュエータと電動アクチュエータの特性比較

油圧アクチュエータは、単位質量あたりの発生出力（パワー密度）が大きい、すなわち小形ながら大きな出力を有することは知られているが、実際に油圧アクチュエータのパワー密度が他のアクチュエータと比較してどの程度大きいかご存知だろうか。本稿では、まず、アクチュエータの発生トルク、パワー密度、パワーレートを評価指標として市販の油圧アクチュエータと電動アクチュエータの特性を比較し、各アクチュエータの特徴について概説していく。

なお、本稿で示す調査結果は全て回転アクチュエータを調査対象とし、市販のアクチュエータのカタログからデータを収集している。また、電動アクチュエータはACモータ、ブラシレスDCモータ、DCモータの3種類、油圧モータは斜軸式アキシャルピストンモータと斜板式アキシャルピストンモータ、ラジアルピストンモータの3種類に分類して比較した。

はじめに、各アクチュエータの質量に対する定格トルクの大きさを比較していく。図1に質量 m [kg]と定格トルク T_r [Nm]の関係を示す。横軸に各モータの質量、縦軸に定格トルクをとり、各モータのデー

タをプロットしている。ここでは便宜的に 10^3 kg以上のアクチュエータを超大形、 $10\sim 10^3$ kgのアクチュエータを大形、 $10^{-1}\sim 10$ kgのアクチュエータを中形、 $10^{-3}\sim 10^{-1}$ kgのアクチュエータを小形、 10^{-3} kg以下のアクチュエータを超小形アクチュエータと分類して比較していく。アクチュエータの質量について比較してみると、油圧のラジアルピストンモータは大形～超大形の領域に、アキシャルピストンモータは中形～大形の領域にプロットされるのに対し、電動のACサーボモータは中形～超大形、ブラシレスDCサーボモータとDCサーボモータは超小形～中形の領域にプロットされ、電動アクチュエータは油圧アクチュエータよりも広い領域で展開されていることがわかる。

アクチュエータの質量 m [kg]と定格トルク T_r [Nm]の関係についてみていくと、油圧モータと電動モータは、それぞれ $T_r \propto m^{4/3}$ の直線上に並んでプロットされる傾向にあり、質量が大きいほど定格トルクは大きくなることがわかる。また、電動アクチュエータのプロットが並ぶ直線よりも、油圧アクチュエータのプロットが並ぶ直線の方が定格トルクの大きい方向に1桁近くシフトしている。すなわち、同じ質量のアクチュエータで比較すれば、油圧アクチュエータの方が電動アクチュエータよりも10倍近く大きなトルクの発生が可能であると言える。

つぎに、アクチュエータの質量 m [kg]とパワー密度 P_d [W/kg]の関係を比較していく。パワー密度は、アクチュエータの定格出力を質量で除して算出される値で、パワー密度が大きいほど小形で出力が大きいアクチュエータであると評価できる。図2にアクチュエータの質量とパワー密度の関係を示す。

中形～大形領域で電動モータと油圧モータのパワー密度を比較すると、油圧モータの方が1桁から2桁近くパワー密度が大きいことがわかる。しかし、油圧モータは質量が大きいほどパワー密度は小さくなる傾向にあり、超大形領域ではACモータと大きく変わらないことがわかる。定格トルクは油圧モー

*青山学院大学理工学部 機械創造工学科 助教

タの方が大きいにも関わらず、パワー密度で比較すると同程度の値になるのは、モータの回転速度の違いが影響している。モータの出力は、トルクと回転速度の積で算出される値である。すなわち、超大形領域の油圧モータは、ACモータよりも10倍大きなトルクを発生させることができるが、回転速度はACモータの10分の1程度になる。モータの発生力と速度のどちらを優先させるかで、適したモータは変わってくると言える。

最後に、モータの応答性を表す指標である、パワーレート Q [W/s] を用いて油圧モータと電動モータの性能を比較していく。パワーレートは、モータの定格トルクの2乗を慣性モーメントで除して算出される値で、この値が大きいほど応答性に優れること

を意味する。図3にモータの質量とパワーレートの関係を示す。油圧モータと電動モータでパワーレートの大きさは大きく異なり、油圧モータは電動モータよりも応答性に優れることがわかる。

3. 油圧モータと電動モータの性能の変遷と今後の予測

ここまで、モータの定格トルク、パワー密度、パワーレートの3つの指標を用いて油圧モータと電動モータを比較してきたが、いずれの指標でも油圧モータは高い性能を示すことがわかった。現状、小形で大きな発生力がもとめられる機械システムでは、全ての油圧モータを電動モータに置き換えることは困難であると言える。それでは、今後もすべての油

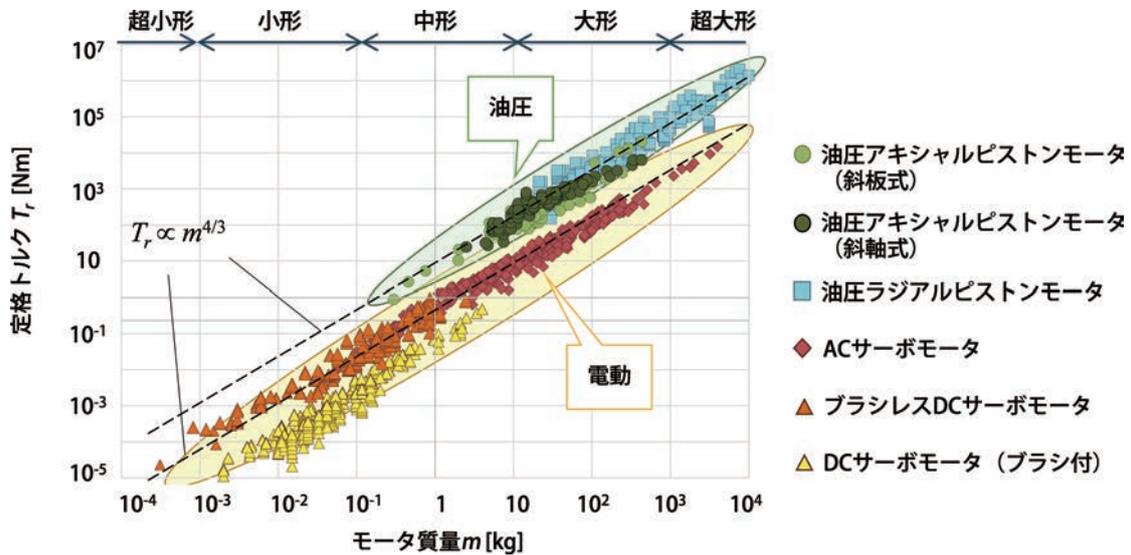


図1 油圧アクチュエータと電動アクチュエータの定格トルクの比較

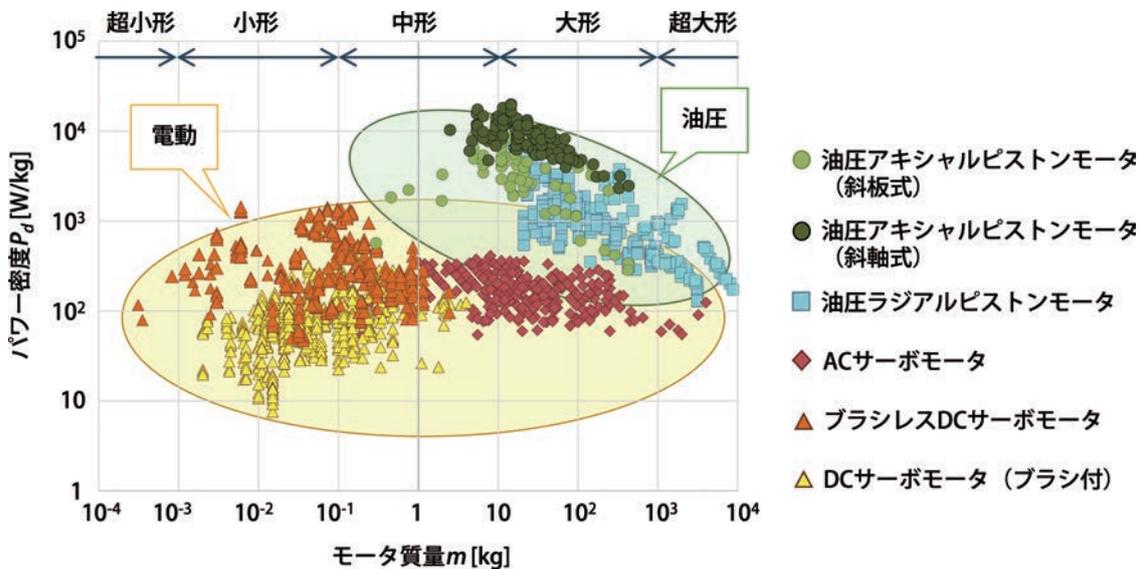


図2 油圧アクチュエータと電動アクチュエータのパワー密度の比較

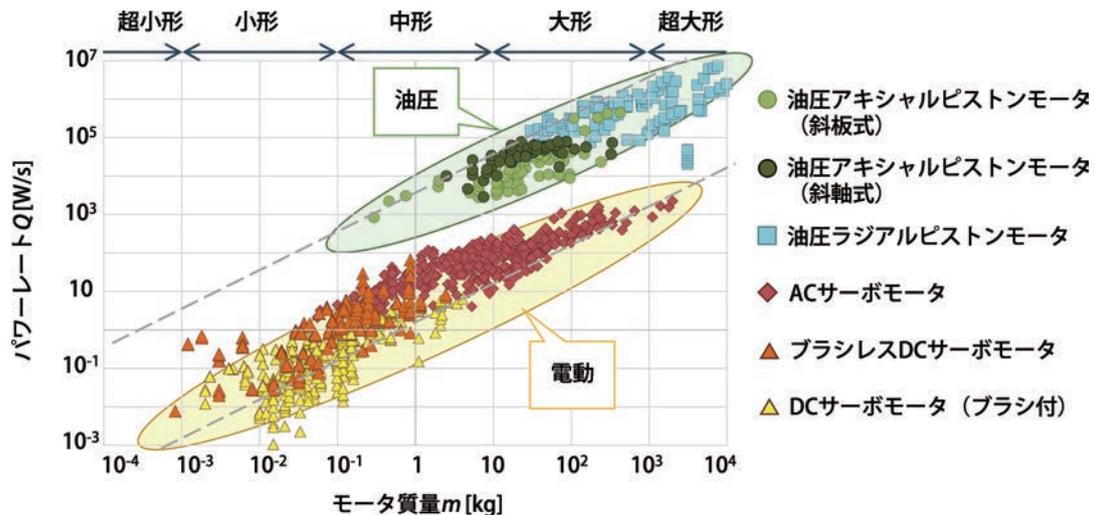


図3 油圧アクチュエータと電動アクチュエータのパワーレートの比較

圧機器が電動機器に置き換えられることはないと言えるだろうか。ここで、今後の油圧機器と電動機器の性能の変化を予測するために、前節で比較したデータに古いデータを追加し、油圧モータと電動モータのパワー密度の変遷を見てみる。

図4に油圧モータと電動モータのパワー密度の変遷を示す。油圧サーボ全盛期と言われる1970年代以前から現在まで、油圧モータのパワー密度は電動モータよりも圧倒的に大きな値を示してきた。しかし、パワー密度の推移を比較すると、電動モータのパワー密度の方が急速に向上していることがわかる。油圧モータのパワー密度も向上しているが、特にこの数年は大きく変化していない。一方、電動モータのパワー密度は上昇し続けており、この30～40年で1桁以上大きくなっていることがわかる。このままのペースで電動モータの性能が向上していけば、電動モータが油圧モータのパワー密度を上回ることもないとは言いきれない。しかし、電動モータのデータをもう少し詳細に見てみると、近年パワー密度が急速に向上しているのはブラシレスDCモータである。すなわち、電動モータでは、超小形～中形領域のパワー密度の向上が著しいと評価できる。中形～超大形領域で展開されるACモータのパワー密度の推移に注目してみると、2000年代から大きく変化していないことがわかる。図2からわかるように、現在、油圧モータが利用される領域は中形～超大形領域であり、ACモータの性能が急速に向上しない限りは、油圧モータが電動モータに台頭される可能性は低いと言える。

4. 油圧技術の今後

前節で示したように、油圧モータのパワー密度は

近年大きく変化していないが、2000年頃まではパワー密度は上昇傾向にあった。それは、油圧機器の高圧化が進んでいたからである。図5は、建設機械用の油圧ポンプのパワー密度と定格圧力の推移である。定格圧力は1975年から25年で1.5倍以上に上昇し、それに伴い、パワー密度は倍以上に向上していることがわかる。2000年代後半には、油圧機器の高圧化はさらに進むことも予想されていたが¹⁾、実際には油圧機器の高圧化は進んでいない。油圧機器のさらなる高出力化・小形化を実現するには、油圧システムの高圧化が必要となるが、高圧化は機器にかかる負荷を増大させる。今後、油圧システムのさらなる高圧化を進めるには、コンタミやエア、騒音に対する対策、シール技術や冷却技術の向上など、基礎的な研究を積極的に進めていく必要がある。しかしながら、日本国内では、油圧技術に関連する研究は十分に行われていない現状にある。図6は、日本フルードパワーシステム学会²⁾の講演会で1998～2010年の間に発表された分野別の講演件数の推移を調査した結果である³⁾。油圧に関連するテーマでの講演件数は減少傾向にあり、日本国内で油圧技術に関連した研究を行っている大学・研究機関は減少していることがわかる。

しかし、近年、災害救助やロボット分野で油圧が再度注目され始めており、それらの研究開発の中で油圧コンポーネントの性能向上を目的とした研究も進められている⁴⁾。油圧に関連した研究を活発にし、油圧技術を発展させていくには、多くの技術者・研究者が注目する油圧の活用方法を見出していくことも必要である。

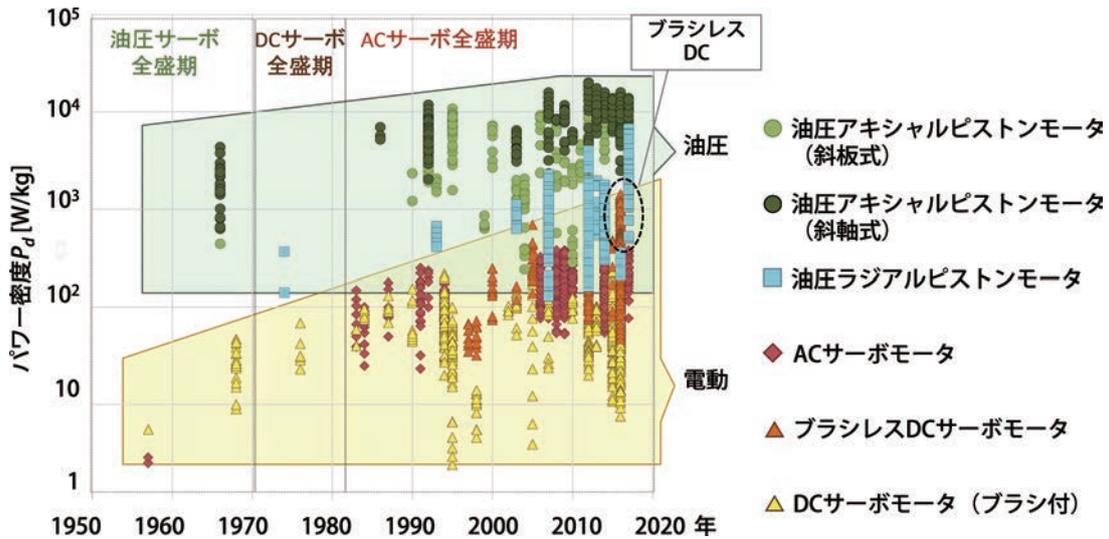


図4 油圧アクチュエータと電動アクチュエータのパワー密度の変遷

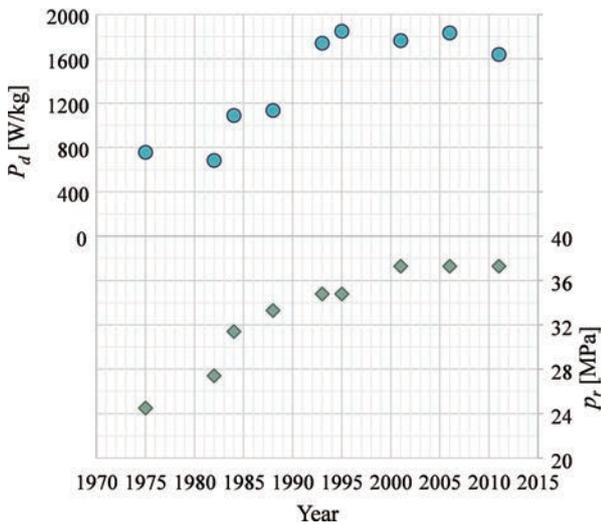
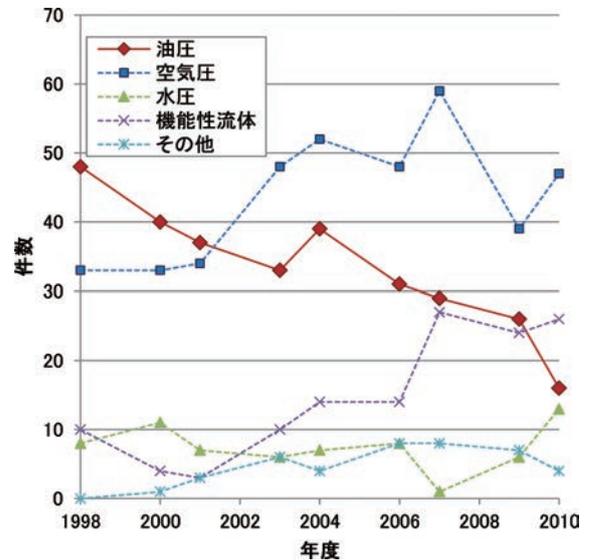


図5 建機用油圧ポンプのパワー密度と定格圧力



注) 国際会議が開催された年度のデータは除外

図6 日本フルードパワー学会講演会の分野別講演件数の推移

5. おわりに

本稿で示したように、電動アクチュエータで油圧アクチュエータほどの力を発生させることは困難であり、サイズや重量に制限のある中で大きな力を発生させるには、現在のところ油圧が最適である。油圧技術を今後さらに発展させていくために、大学・研究機関では、油圧の長所を生かした新たな油圧技術の活用方法を検討し、その技術を普及させていく必要がある。そのためには、世の中のニーズに合った技術開発が必要であり、産学間での連携が今後さらに重要になっていくだろう。

参考文献

- 1) Brendan Casey : Mobile Hydraulic Equipment: Increasing the Pressure, Machinery Lubrication Magazine. (January 2008).
- 2) <http://www.jfps.jp/>
- 3) 田中豊, 坂間清子 : 学会論文にみるフルードパワー研究15年の検証, 油空圧技術, Vol. 51, No. 11, pp. 104-111, (2012年).
- 4) 鈴森康一 : タフロボット用油圧アクチュエータ (「強さ」と「優しさ」をあわせ持つロボットを目指して), 油空圧技術, Vol. 55, No. 3, pp. 10-13, (2016年).

随筆

KYBT駐在記

瀬戸口 和 敬

1. はじめに

2014年9月から2017年6月までタイにあるグループ会社のKYB (Thailand) Co., Ltd. (以下 KYBT) へ海外赴任した。妻と子ども2人(当時、2歳と9か月)と私の4人で初めての海外生活をスタートした。

タイ人は子ども好きのようで、子ども2人を連れていくとよく声を掛けられた。行きつけのスーパーでは、買い物すると毎度のように、何かの景品と思われるタンブラーやぬいぐるみなどを貰って帰ってきていた。なかでも記憶に残っているのは、初めて外食をしたときのことだ。子どもの世話をしながらだと、落ち着いて食事ができない。タイ人のホールスタッフが子どもを見てくれると、世話を焼いてくれたのだが、抱き上げるとそのまま店の裏へ連れて行ってしまった。まさか裏へ行くとは思っていなかったのだから、とてもハラハラし、いつもと変わらず落ち着いて食事ができなかったことは昨日の日のように覚えている。

そんな風潮からか、子どもの日のイベントも盛大に行われており、エムクオーティエというデパート前に海外ヒーローたちが勢ぞろいしたことがある(写真1)。まるで、ハリウッドのようであった。



写真1 子どもの日のイベント

2. タイでの生活

タイは、約7万人の日本人がおり、うちバンコクには5万人以上が暮らしている。そのため、日本人向けの飲食店やスーパーマーケットが多数存在しており、日本と遜色ない生活ができる。日本食は、日本と同レベルの価格帯であり、その他の品物(日本からの輸入品)の価格はおよそ3倍である。

日本人は、スクンビット(写真2)と呼ばれるエリアに多く住んでいる。なかでもアソークより東の、ブロンボン、トンロー、エカマイが多いが、最近は更に東のプラカノン、オンスットに移り住む日本人も徐々に増えている。また、日常の足には、タクシー、シーロー(軽トラの荷台に人が乗れるよう改造した乗り物)、モーターサイ(バイクタクシー)やBTS(高架鉄道)を利用する。



写真2 BTS路線図(スクンビットエリア)

買い物は、スーパーマーケットがいたるところにある。また、日本と同様に徒歩圏内にコンビニも多く、困ることはない。

日本人学校、日本人幼稚園へはバスでの送迎となっている。送迎エリアは限られているため、ファミリー向けの住居は家賃が8万バーツ(約25万円)を超える物件も増えており、上昇し続けている感がある。

入居のときに重視したのは、徒歩圏内に病院、スーパーマーケットがあることと、選べるのならば日本の家より広い間取りの部屋に住むことだった。スク

ンビット周辺は排水がよくないため、大雨が降ると道路が冠水し、すぐに交通渋滞が起こる。私が経験した一番酷かった渋滞のときは、普段車で15分で行ける場所まで3時間掛かった。同じように病院への行き帰りでも渋滞が常にあるため、徒歩圏内に病院のある住居を選んでいて助かったことが多々ある。

水道水は、日本と異なり飲むことはできず、ペットボトルの水を購入する。我が家では、渇水対策も含めて、クラブタイランド社の水宅配サービスを利用していた。ちなみにクラブタイランドは、ゴルフ場の予約や、水宅配サービスなどを展開している。年会費は必要だがクラブタイランドカード(写真3)を持っているとクラブタイランドの店舗でドリンクサービスを受けられるし(日本人がよく利用する日系スーパーのフジスーパー1号店と同じエリアにあり、買い物ついでに立ち寄れる)、飲食店の利用割引などもあり、ゴルフをあまりしない方でも持っていて損はないと思う。



写真3 クラブタイランドの会員カード

3. タイ料理

タイ料理は、基本的に唐辛子辛い。その辛さ、甘く見てはいけない。タイ人曰く、辛くないと美味しくないそうだ。

初めて食べたとき、「この唐辛子の量はおかしい！辛い旨いなどありえない！」と言ってしまったほどだ。そのため、よほど辛さに強いと自信のある方以外は、「辛くしないで」と伝える必要がある。

唐辛子を入れないで欲しいときには「マイベツ」と言えば通じる(実際には、少量入ることが多いが…)。

また、タイ人はよく調味料を足して自分好みに味つけをする。テーブルには、ナンプラー(魚醤)、砂糖、輪切り唐辛子の入った酢、粉唐辛子が必ずある。自分好みの味つけをして、食事を楽しむのがタイスタイルだ。タイ料理は「辛い、酸っぱい、甘い、

旨い」をふんだんに味わえるので堪能されたい。

タイ料理好きであれば、屋台も気になるころだろう。しかしながら、基本的に屋台の料理はおすすしめない。炎天下で食材が痛みやすいし、皿を洗う水が悪いことも多いからだ。水であたったという話はよく聞く。

代わりにおすすめしたいのは、デパートに入っているフードコート。フードコートには、現地でも名の知られた店が入っていることも多く、安心できる。価格は屋台より高いが、一軒家のタイ料理店に入るより明らかに安い。また、1か所で何店舗もの料理が食べられるのも魅力だ。

利用方法は、プリペイドカード方式が多く、各フードコート内にあるチケットセンタで購入できる。プリペイドの残金は購入したチケットセンタで、その日のうちに払い戻しすればよい。

我が家の休日の昼食は、決まってエンポリウムか、エムクオーティエのフードコートで食べていた。

私が好んで食べたのは牡蠣入りパッタイ(タイ風焼きそば)や、ソムタムタイ(青パパイヤサラダ)(写真4)だったが、久しぶりに食べたいと思うことがしばしばある。



写真4 ソムタムタイ

ところで、タイで消費される肉の種類をご存知だろうか。鶏肉、豚肉が好まれ、牛肉はあまり食べられていない。特に鶏肉は新鮮で、路上でも多くのガイヤーン(焼き鳥)が売られているが、ケンタッキーにも足を運んでみて欲しい。

個人的にはプロンポンのBigCか、ゲートウェイエカマイにあるケンタッキーがおすすめだ。この2店舗は回転率もよく、ジューシーでやわらかな肉質を味わえる。唐辛子のついたものと、オリジナルがあるので好みに合わせて注文する(日本と同じものは、オリジナルで注文する)。

4. タイでの仕事

まず、タイで仕事をするにあたり直面する問題はタイ語であろう。タイ語は、「ภาษาไทย」こんな文字を使う。日本人から見ると絵文字でしかなく、読めないし、理解できない。発声については、5声あり、耳慣れない日本人にはなかなか聞き取れない(同じ言葉でも、発声の違いで5つの意味になる)。聞き取れないので、話すのも難しい。工場でマネージャークラスになれば、英語でのやりとりもそこそこできるが、現場や、日常生活で使われるのはタイ語である。英語を見てなんとなくわかるだけでも、随分ほっとする。会社で英語を使う機会があるのなら、英語を身に付けることをおすすめしたい。

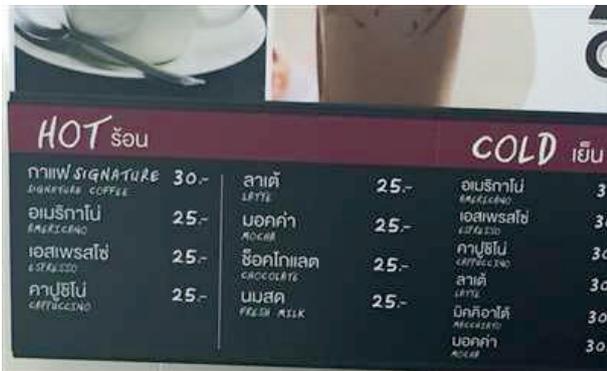


写真5 タイ語と英語の見た目の違い

私が出会ったタイ人は、そのほとんどがお世辞にも英語が達者とは言えなかったが、堂々としゃべっていた。文法が怪しくともコミュニケーションが取れるのだから、日本人にとって苦手な、話す度胸を身に付けるには最適な環境だと思う。

英語の発音にはタイ語のしゃべり方からくる独特の「タイ語なまり」があり、聞き取りにくい言葉もあるが、他の国に行くと、同じように癖があるのだから全く気にしないでいい。聞き取れないときは、紙に書いてもらおうと理解できる。

話すのが苦手であれば、まずは伝えたいことを英語でメモすることから始めればよい。私は英語が大変苦手だったため、まずはメモを書き、それを元に話すことから始めた(英語を書くことも苦手だったが、話すよりはマシだった……)。構えて英語を理解するというよりも、使ってとにかく慣れるというスタンスだ。

おかげで、今でもTOEICの点数を見ると英語をあれだけ使ってもこんなものかと、悲しい限りなのだが、アジア圏の人とは(具体的には仕事で関係のあった、タイ人、インドネシア人、マレーシア人)

とはコミュニケーションが取れたと思っている。

5. タイの娯楽、旅行

タイと言えば、ゴルフという方も少なくないだろう。バンコク周辺のゴルフ場は選び放題だ。年間を通してゴルフができ、価格も通常日本人がよく使うと思われるゴルフ場は休日3000バーツ(約10000円)前後でキャディをつけて回ることができる。カートをつけると+700バーツ(約2500円)前後とっておけばよい。タイのゴルフ場は大抵カートなしでプレーすることができるため、ウォーキングしがてらカートを使わない人も多い。昼食抜きで18ホールを通してプレーし、朝は6時台からスタートできるため、うまくいけば午前中に終えることができる。

日本でゴルフをしたことがない方は、タイでゴルフを始めるのもよいと思う。暖かい気候で体をほぐしやすいし、ゴルフ場のコースは日本よりも平らに近いのでスイングしやすい。そんな環境からか、毎週土日はゴルフという声も少なくない。



写真6 アマタスプリングでのプロトーナメント

そんな頻度でゴルフを続ければ、さぞかし疲労蓄積するだろうと思われるかもしれないが安心して頂きたい。皆様方の強い味方になるのが、タイマッサージ店だ。タイマッサージは1時間で300バーツ前後(約1000円)と、日本のマッサージ料金と比べると格安だ。コースは色々あるが、一般的にはタイマッサージか、フットマッサージがよく利用されているようだ。

タイマッサージは、基本的には全身をくまなくほぐされるし、フットマッサージは、ひざ下のふくらはぎや、すねの揉みほぐしが中心になる。ゴルフ後のフットマッサージ90分コースは大変心地よい。

旅行は、せっかくなので海外旅行へという話はよく聞く。残念ながら、私は行ったことがないので多

くは書けないが、モルディブやバリ島に行くものらしい。お隣のカンボジアにある、アンコールワット（世界遺産）なども人気のようだ。

国内旅行は、プーケット島、チェンマイ、クラビ島などのパッケージツアーが豊富にあるが、我が家の行先はもっぱらパタヤであった。

パタヤはバンコクから車で3時間程度で行ける距離にあり、子ども連れでも楽に行けるので運転手つきレンタカーを手配して行っていた。小さな子ども連れでアクティビティーができるはずもなく、プールが大きく・種類の多いホテルを予約し、1日中ホテルのプールでのんびり過ごした。

話は脱線するが、タイのコンドミニアムにはプールや公園がついているところも多いので、子ども連れの方はそのあたりも選定候補に入ってくるかもしれない。タイは年中暑いので、室内で体を動かして遊べる場所の確保は必須だ。

そのほかに子どもが楽しめそうな場所は、動物園がある。よく行っていたバンコクサファリには、10頭は軽く超えるキリンが群がるなかで餌やりができる（写真7）。あまりの数のキリンが餌を求めてくるので、幼い子どもには怖かったりするかもしれないが。



写真7 バンコクサファリのキリン達

6. おわりに

初めてのタイでの仕事に集中できたのは、一番には妻の支えがあったからであり、2人の幼い息子を抱えてついてきてくれたことは非常にありがたかった。休日の仕事も少なくなかったため、子育てに大変苦労をかけたと思う。

帰任したタイミングが、子ども達が幼稚園へ行きだして手が離れだしたときということもあり、タイの醍醐味は味わえなかったようなので、時期をみてプライベートで出かけた。

また、KYBTと一緒に仕事をした仲間達、ローカルスタッフや駐在員の面々やお世話になった皆様へ、このような貴重な機会を与えて頂いたことに感謝しつつ、本紙面を通してお礼申し上げたい。

著者



瀬戸口 和敬

2003年入社。オートモーティブコンポーネンツ事業本部サスペンション事業部生産技術部企画管理課。岐阜北工場生産技術部ストラット工程設計係、KYBTを経て、現職。

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った状況を転換し、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。

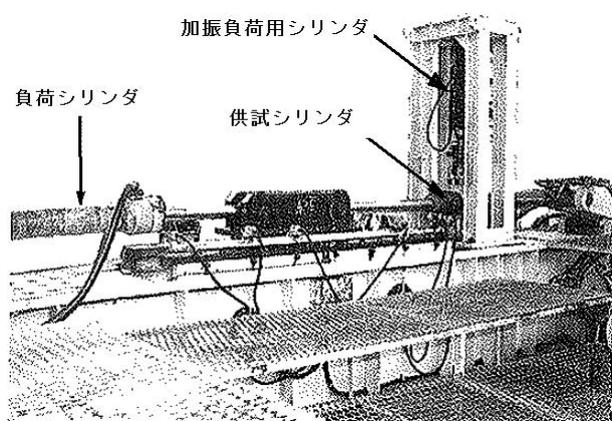


写真4 加振摺動耐久試験法¹⁾

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

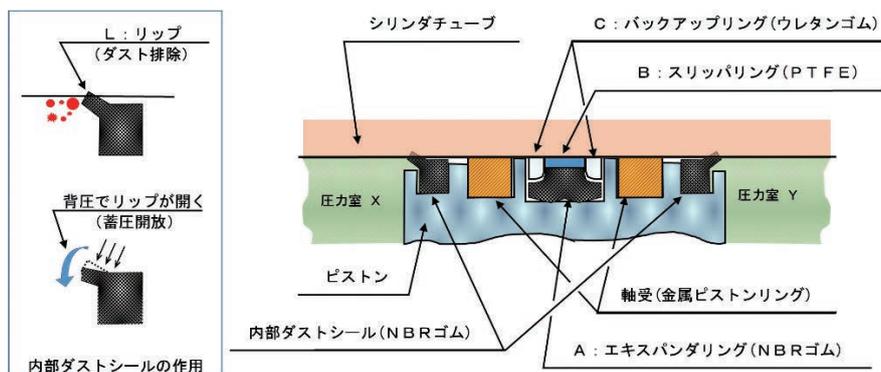


図1 内部ダストシール付きのシールリング型ピストン構造の原型

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】

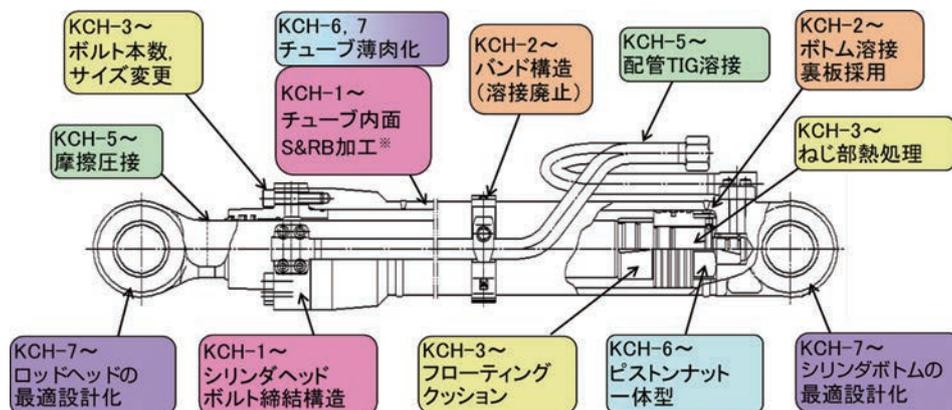


図3 KCHの主要構造の特長 【参考文献2）より引用】

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）。

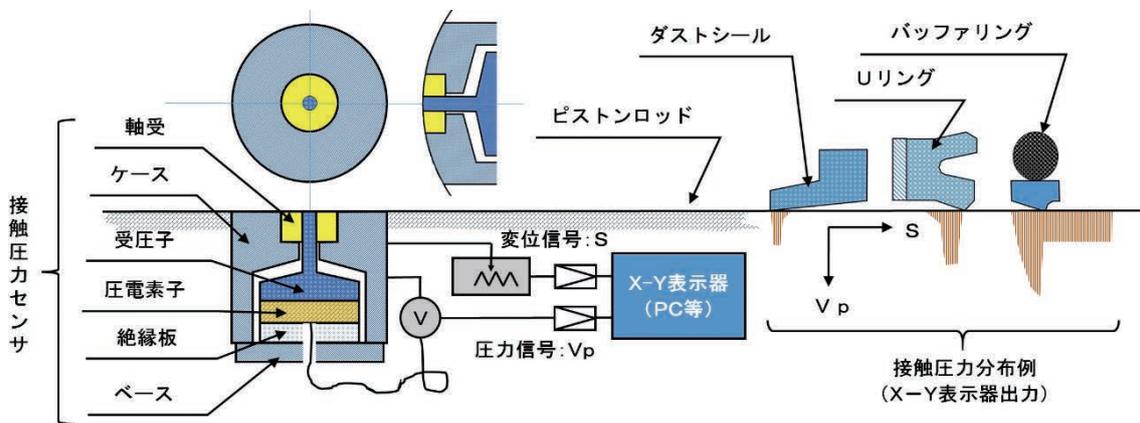


図4 接触圧力分布計測

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。



データマイニングの活用事例

高松 伸一

1 はじめに

データマイニングとは、大量のデータに対し統計学や機械学習などのデータ解析技術を適用することで、潜在的な傾向や法則性などの有用な知見を獲得する技術である。これがうまく機能すると、熟練者が経験の中で気付いていた暗黙知、いわゆるカンやコツの領分を定式化して形式知に変えられることもあれば、誰も気付いていなかった事象の関連性を見出すことで、革新の礎になることもある。その名の通りデータ (Data) を採掘 (Mining) することで、金脈を掘り当て得るこの技術は、データに溢れた現代社会の中でますます重要性を高めてきている。

この分野がどれほど注目されているかは図1を見れば想像が及ぶだろう。図はこの技術に関連する用語“データマイニング (Data Mining)”, “データアナリティクス (Data Analytics)”, “データサイエンス (Data Science)”と、参考として併記する当社基幹技術“油圧 (Hydraulics)”, 及び地球人類の見果てぬ夢“不老不死 (Immortality)”の合計5用語について、過去5年間各週の検索件数を計上し、期間内最大値を100とした比率を表示したものである。先ず、iPS細胞などを通じて科学的に不老不死を議論できる今生の世にあってなお、どの語も人類の夢を上回る注目を浴びているという現実路線が伺えるほか、1980年代に概念化されたデータマイニングが産業革命時代から続く油圧と同程度に注目されていることがわかる。また、データアナリティクスやデータサイエンスといった類語は目覚ましい上昇傾向を示し、これらデータにまつわる3語は、今や油圧や不老不死に勝るとも劣らない注目を集めているのである。

KYBでは、データすなわち情報を効果的に利用する技術としてこのデータマイニングに着目し、社内への普及と定着を目指して技術適用と人材育成を推し進めている。この取り組みはまだ緒についたばかりではあるが、本報にてその意義を示すとともに、技術的成果の一端を紹介したい。

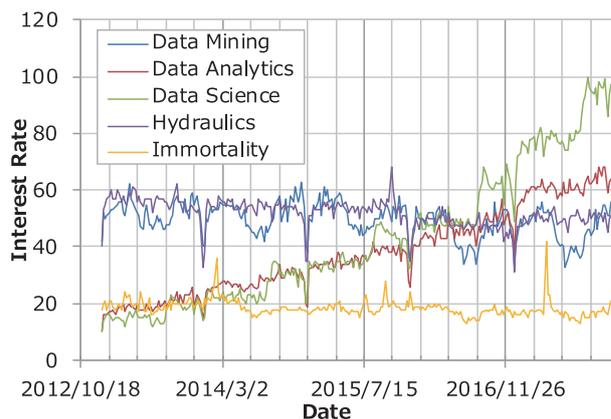


図1 Googleトレンド検索結果(著者の自主調査結果)

2 情報とは何か

データマイニングなどというキーワードに目を留められる方々の中には、“21世紀で最もセクシーな職業”としてデータサイエンティストが挙げられている¹⁾ことをご存知の方も多いただろう。これは元をたどれば2009年にGoogle社のチーフエコノミストだったHal Varian氏による“the sexiest job in the next 10 years will be statisticians.”という言葉²⁾に端を発している。データ分析が重要となる世の中の到来を表すこの言葉は、その鮮烈な響きもあって瞬く間に世界に広がり、もはや食傷を感じるほどに減価償却されたレトリックだ。もしこの言葉自体を知らなかったとしても、ビッグデータ、AI (Artificial Intelligence), IoT (Internet of Things) といった語に触れずに現代を生きることは難しく、誰もが何処かでこれらの語を見聞きしていることに疑いの余地は無い。こういった語の背景として横たわる共通概念が情報である。

情報という言葉は、陸軍参謀本部が1876年に訳した“仏国歩兵陣中要務実地演習軌典”にて、敵情報報告の略語として著したことを始まりとする軍事用語である³⁾。原語である“information”は、“心に形(form)を与えるもの”の意で、ある物事の内容や事情につ

いての知らせという意味を持つ。これらのことから想像が付くように、情報は受け取った者に新たな判断基準や考え方をもたらす存在であり、“物事に関する知識の不確定さを減少させるもの⁴⁾”と定義される。

例えば雲一つない晴天の状況では、一時間後も晴天であるという情報は意外性が少なく価値が低いが、一時間後に大雨になるという情報は予想だにしないため価値が高く、予めこの情報を入手できたのなら傘を用意するなど、適確な判断を下す材料になる。

つまり情報は、一見してそのようになるとは思えないこと、換言すれば“発生確率の低いこと”を予見できたときにその価値を高めるため、情報量という概念はいわば驚き度として解釈できるのである⁵⁾。したがって情報量は、容易に見通すことのできない不明瞭性の中に確かな事象を見通せる場合にもっとも高まるが、このような情報を入手するのは容易なことではない。

3 データマイニングの潮流

情報の意義を端的に表すモデルとして知の階層構造を示すDIKWモデル(図2)があるので紹介しよう。

このモデルは一般に言う情報を“データ”、“情報”、“知識”、“知恵”という階層構造に細分化し、上位に至るほど重要な要素として機能することを表している。例えば時刻や気圧、座標のような数値による“データ”を統合し、気圧配置の時間変化を表す“情報”としてまとめれば、低気圧は悪天候を招くという“知識”をあてはめて天気予報を実現し、一定以上の降水率では雨具を用意するという“知恵”に応用できる、といったことを意味するモデルである。

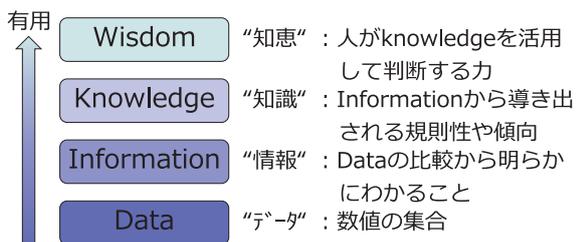


図2 DIKWモデル

このような“知恵”の発揮は、望ましい結果をもたらすための適切な判断を支援するため、“知恵”を発揮できない場合に比べて大きな優位性を与えてくれる。そして有用な“知恵”を獲得するためには、“データ”や“情報”を整理・蓄積し、活用可能な“知識”に昇華させておかなければならず、これこそが情報を入手しておく意義である。

このような情報の重要性は昔から認められていた

ものの、集めること、分析することの双方が容易ではないため、かつて活用の手段は限られていた。

しかしながら近年では、日進月歩で進む科学の発展によりその障害は大きく取り除かれてきている。

図3、4に示すように、計算機の発展によって情報処理速度が飛躍的に向上し、集積回路の小型化技術の発展によって蓄積できる情報の桁数が爆発的に増大した事実に加え、インターネットの発展やセンサの進化がもたらされたことで、かつては集めることも扱うことも不可能だった巨大量の情報を蓄積・分析することが可能になった。然るべくして今、数多と集まる情報の山を効率的に分析する技術としてデータマイニングなどが注目され、その技術者としてデータサイエンティストが求められているのである。

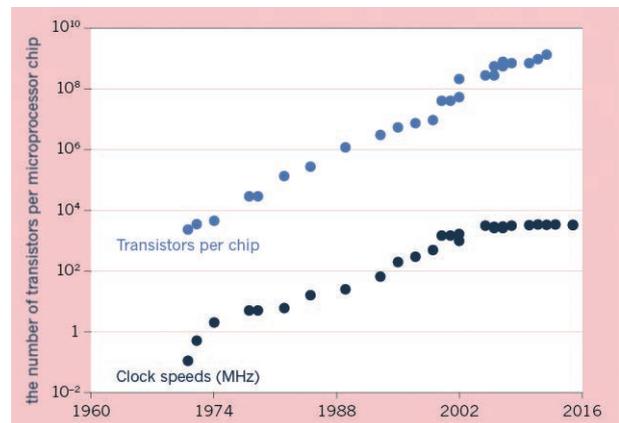


図3 コンピュータの処理能力向上の歩み⁶⁾

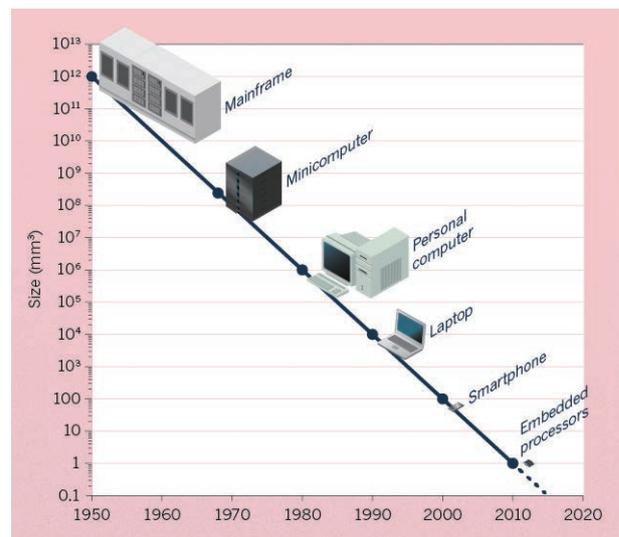


図4 集積回路小型化の歩み⁶⁾

4 物理モデルと統計モデル

従来の工学的手段を用いた製品開発では、対象を物理モデルに置き換えて式を立て、パラメトリック

に解析することで最適値を模索していく。これは条件が単純であればあるほど精度の高い結果が得られるが、実際には実験誤差やモデル化誤差の発生を避けられず、これらがそのまま解析精度の低下に繋がってしまう。このため教科書通りの物理モデルを構築するだけでは不十分で、様々なノウハウを取り入れてモデルに修正を施すのが一般的である。

これに対し、データマイニングで用いられる統計モデルは物理モデルのように真値の生成構造を追求したモデルとは考え方が異なり、数式の構造や単位系に拘らず、入出力の関係を上手く近似することを目的としている。このため統計モデルとして得られる数式は、物理法則に基づいて現象を記述する支配方程式のような理論的説得力を備えておらず、工学的には邪道な取り口であると言えるが、複雑な実現象の中に含まれる隠れた法則性を示唆し、新たな知見を発掘する手法として有効に機能することも多い。

これら物理モデルと統計モデルとの位置付けの違いを対比すると、図5のように表すことができる。物理モデルでは入力を支配方程式に基づいた演算にかけることで演繹的に処理して出力を導く。つまり、“ $(1+2)$ ”という入力と演算のセットを利用して“ $=3$ ”という出力を求めるような処理をとる。対する統計モデルでは、入力と出力のセットをもとにそれらを結びつける演算を推定するため、結果から帰納的に遡るアプローチをとっている。“ $(1\ 2)=3$ ”という入出力だけを確認し、これらに関係づける“ $+$ ”という演算を推定するのである。

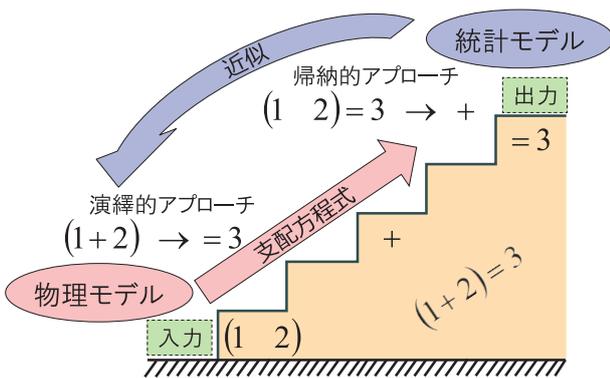


図5 物理モデルと統計モデルの対比

このように物理モデルと統計モデルは、現象に対するアプローチの方法が全く異なっている。従来、社会学や医学、心理学など、再現性の低い現象を扱う分野では統計モデルが活用されることが多かったが、工学分野では確かな法則性が認められる現象を扱ってきたため、専ら物理モデルを適用することが多かった。しかしながら、工学分野の根幹にある支配方程式は、自然現象の中で普遍的に確認できた一

部の法則を体系化した式に過ぎず、複雑な実現象をありのままになぞらえて記述しているわけではない。前章で述べたように、近年では情報の蓄積と処理に躍進が起こっているため、実際の入出力という揺るぎ無い事実に対して統計モデルを適用することで、支配方程式に含まれない、ノウハウたるべき領分の知見獲得に繋がることも期待が持てよう。

5 事例紹介

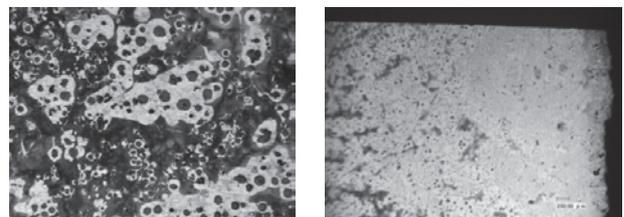
当社では、製造業としての取り組みの中にデータマイニングを活用することの意義を考え、社内に技術を普及・定着させるための活動を進めている。社内各所から様々な案件を集めて技術適用を試みるとともに、その結果を専門部署の技術者と検討することで効率的に新たな知見を見出し、これを練磨することで固有技術に転化させていく活動である。

この活動の中で携わった技術適用事例には、従来技術では解明できなかったであろう案件を解決に導いた事例や、対策案の早期確立に寄与した事例等、事業活動に貢献する様々な成果が挙げられているため、以下にこれらのうちいくつかを抜粋して紹介する。

5.1 鑄造製品の異常組織対策

鑄造製品は材料の成分や形状、温度など様々な因子が絡み合い、品質の安定化が難しい製品のひとつである。当社では、関係会社であるKYB-YS(株)の工場にIoTを駆使したQuality Traceability System (QTS) 導入ラインを設けており、個々の鑄造製品に対し数百以上のデータが蓄積される体制が整っている。

このKYB-YSでは、ある時期において鑄造製品に異常組織(写真1)が多発し、廃却によるコストを看過できない事態となった。



(a)正常組織 (球状黒鉛) (b)異常組織 (片状黒鉛)

写真1 鑄造製品の正常/異常組織

この不良問題について、鑄造技術の専門家を交えた技術検討では、異常発生部位が限定的であったことから、その周辺で発生する燃焼ガスに着目し、正常組織となるための黒鉛の球状化を阻害する元素の存在を疑うなど、専門の技術的知見に基づいた仮説立案を進めていた。しかしながら、これらの仮説に基づいた対策に一定の効果はあったものの抜本的な

解決には至らず、QTSデータ全体を俯瞰的に見るデータマイニングに白羽の矢が立った。

初動期に行った各種分析では、鑄造時の溶湯（熔融金属）の温度や、含有されている各元素成分の量など、様々な情報を含むQTSデータを加工し、定量的な分析に処すことのできる110の変数に整理したが、明らかな不良発生要因を見出すことはできなかった。しかしながら、鑄造は生き物であると言われるほど、気温や湿度などその日ごとの変化に対して諸条件の微調整を加える玄妙な技術であり、この観点を踏まえると異なる取り口が見えてくる。時期や製品ごとにデータを層別し、決定木分析など、不良発生有無の分岐条件を調査可能な分析手法を適用していくことで、次第に異常組織が発現する条件が明らかになってきた。それは各種の詳細条件を省いて単純化すれば、図6のようにまとめられる。図は層別を進めたある時期の製品に対し、注湯工程にかける時間と注湯温度とを二軸にとって散布図を描いた結果である。不良品は、良品よりもやや図中左上に集中する傾向があるため、注湯時間が短く温度が高いことが不良の発生率を高めていることが伺える。

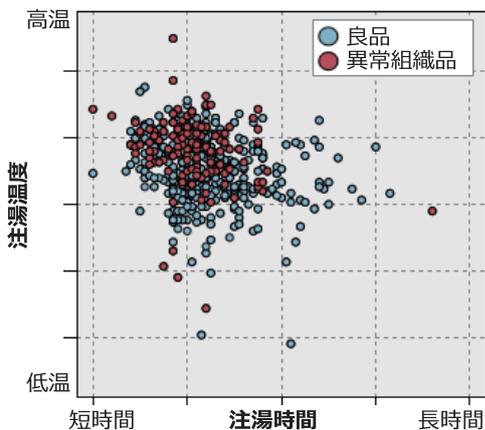


図6 異常組織の発生傾向

ただし、これがわかっただけでは対策には繋がらない。実際のモノづくりでは製造条件を変更することの背反として表れる他の不良現象もあるため、様々な現象のバランスを取って条件を定める必要がある。決定木分析では、その他に影響を及ぼさずに異常組織を減らすというように、条件変更による背反事象の発生をも踏まえた分析を行うことができ、本件ではこれが効果的に機能した。注湯時間や注湯温度のほか、着目すべき所与の因子を効率的に洗い出し、技術的見解を交えて条件変更の均衡点を探ることで、不良を撲滅するに至った事例である。

5.2 コンクリートミキサ車の状態判定

当社の販売製品のひとつであるコンクリートミキサ

車（以下ミキサ車）は、建設産業にとって欠かせない役割を担う製品であり、その効率的な運用を図ることのメリットは大きい。このためミキサ車をより効率よく運用する目的で、ミキサ車が保有する計測信号を活用して運行状態を把握する試みを進めている。

ミキサ車にもともと実装されているドラム回転数やドラム駆動圧力等のセンサ信号を収集・加工することで、27変数からなる時系列データが構築される。このデータを分析して変数同士の振る舞いを総合的に解釈し、各時刻においてミキサ車がどのような状態にあるかを判断するという課題があった。このデータのイメージは表1のようなものである。

表1 コンクリートミキサ車の状態判定データ

時刻	状態			変数		
	Y_1	Y_2	...	X_1	...	X_{27}
t_0	TRUE	FALSE	TRUE
t_1	FALSE	FALSE	TRUE
...

試験時にはミキサ車の状態を任意に操作できるため、表1におけるYの状態判定に正しいデータを与えることができるが、実際の稼働時にはこれらの情報は得られないため、センサ信号から得られる変数Xのみを用いて正しい状態を推定する必要がある。しかし、同じ状態にあってもミキサ車の積載する生コンの量が違えば変数の関係は大きく変わり、また作業員ごとの操作量の違いなどによっても変化してしまう。このため状態を正しく判断するための普遍的な基準を設けることが難しく、従来の方では精度よく判ずる基準を定めることができなかった。

これに対し、データマイニングを用いて判定基準を模索したところ、線形判別分析で約90%、機械学習による非線形判別ではほぼ100%の精度で状態を判定できるようになった。線形判別分析ではどの変数が判定にとって重要であるかといった示唆が得られるため、技術課題の検討材料にすることができるが、一方の機械学習手法では高い判別精度が得られる代わりに判定基準は明らかでなく、工学技術としての検討には向かない。高精度の判定を行いながらも工学的な技術発展に寄与するよう、合目的に手法を組み合わせることで課題を解決した事例である。

5.3 オイルシールの最適製造条件調査

新たな製造技術を適用したオイルシールの開発では、従来の知見にない新製法が品質の不安定化を招き、射出成型によって製造される試作品の中に多数の不良品が発生してしまっていた。射出成型機には各部の温度や圧力等、製造条件に関する50もの状態

量が記録されており、多数の試作品の不良状態とともにデータが蓄積されていたが、思考によって関連性を見出すことができるほど単純な傾向は認められず、品質安定化に向けた製造条件決定は難航した。

これに対し、不良の発生有無を対象として分析を試みた結果が表2である。この表には、全4種の分析手法それぞれで作成された不良有無を判ずるモデルが、50種の状態量のうちどれを重要な変数として着目しているかということについてまとめられている。4種の分析手法はいずれも異なる統計量を基準にモデルを導く手法であり、本件ではどのような基準が適切であるかは不明であったため、とりあえず一通りの分析を行って結果を確認するという手段を取った。このように無暗な取り口であったとしても、4種の分析ごとに選択される変数を集計し、その結果を俯瞰すれば、どの手法でも重視されている変数の存在が自然と見えてくる。

表2 50変数の重要度に関する当たり付け

便宜 No.	選択 変数	分析手法			重要度 (○の数)
		判別分析	決定木①	決定木②	
1	X ₁	○	○	○	4
2	X ₃	○			2
3	X ₇	○	○	○	3
4	X ₅			○	1
5	X ₇			○	1
6	X ₉		○	○	3
7	X ₁₀			○	1
8	X ₃₁	○	○	○	4
9	X ₃₂		○	○	2
10	X ₃₃			○	1
11	X ₄₆		○	○	2
12	X ₄₇	○	○	○	4
13	X ₄₈	○		○	3
14	X ₄₉		○	○	2

この結果は射出成型に関する技術的知見を一切交えず、統計モデルに当てはめたデータ分析のみで見出される傾向であるが、これだけでも50あった状態量を14にまで絞り込むことができ、なおかつそれらについて重要度まで付与できている。

こうして数が絞られ重要度による優先順位の付いた状態量群であれば、個別に技術的な審議を加えることも可能となる。各状態量の是非について技術者に判断して貰うと、不良発生に関連するメカニズムに不整合がないことがわかったため、これら数種の状態量を実験計画法に割り付けて直交実験を行うことでさらに調査を進め、結果として真に重要な製造条件の特定、及び不良率の大幅減を実現できた。データマイニングと実験計画法を連携することで、分析

的に発見した傾向を技術的知見に昇華させ、効率的な問題解決に至った事例である。

6 おわりに

6.1 結言

史上初めて中華を統一し不老不死の霊薬を求めた秦の始皇帝は、自身のみを指す一人称として“朕”を用いた。以来、朕は天子のみが用いる一人称となり、自身を朕と称す者は国家全体を導く者と同義である。朕は“兆し”を意味する語であることから、兆しが全体を導く、という意味深長な関係が興味深い。

データマイニングは効率よくこの“兆し”を探す技術と考える。溢れ返る情報の中に微かな兆しを捉えるもので、無垢の財宝を見出すわけではなく、法則として利用できるまでの製錬を要す。特に当社のような製造業では、統計モデルとして得られた結果を技術的に解釈し、その示唆するところを見極めて物理モデルに反映する手腕が欠かせない。これを疎かにすれば、未知の法則を短期的に実利適用できることにはなっても、全容を解明した広範な応用科学には到達しないため、真の技術力は培われず、むしろ長期的には発展の阻害要因にさえなるだろう。

現代を生きる我々が手にする情報の量は、もはや我々自身の手之余るほどに大きなものになり、多くの情報は処理されることなく捨てられている(図7)。



図7 2001年を100とした場合の情報量の推移⁷⁾

こういった日を見ない情報の中には、複雑すぎて容易に解釈することはできずとも、実は再現性高く存在するような法則が埋もれていても不思議は無い。特に、従来は別個の分野として独立して扱われていた領域の情報を統合的に分析したとき、未知の関連性が見出されるというようなことは大いに期待できる。これは元来、発明や発見の定石的パターンでもあるからだ。それ故、IoTをはじめとした情報収集基盤の整備を進めることで情報を蓄積し、データ分析を通じて効率よく新たな発見に触れ、確かなモノづくりの技術に落とし込む、という流れを軌道に乗せることが肝要と考える。この視座に立てば、まだまだ至らぬ点も多く目立つのが当社の実情

だが、まずはデータマイニングの普及・定着を目指して啓蒙活動を進めることで、先々のために露を払い、後の大成に繋がるよう歩みを進めていきたい。

“大事をなさんと欲せば、小なる事を、怠らず勤むべし。小積りて大となればなり。凡そ小人の常、大なる事を欲して、小なることを怠り、出来難きことを憂いて、出来易き事を勤めず。夫れ故、終に大なる事をなす事あたはず。”⁸⁾、まさに至言である。

6.2 謝辞

ここに紙面の一部をお借りし、本技術の普及活動にご尽力頂いている全社横断メンバの方々、その上司の方々、並びに技術適用の題材提供を通じてご協力下さっている多数の方々に謝辞を述べたい。皆様のご協力がなければこの活動は未だ暗中模索の中にあつたものと思います。この活動が深みと広がりを持った取り組みとして形付いてきたことに感謝し、ここに御礼申し上げます。

6.3 付記

技術のような自然科学とは境を異にするが、異分野を統合して関連性を見出すことの意義深さになぞらえ、人文科学分野に垣間見える“兆しの意義”についての示唆を紹介しておく。兆しから法則を導くデータマイニングの観点に照らして考えて欲しい。

秦の始皇帝が手にした不死の霊薬は水銀で、彼は霊薬中毒で死したとされる。水銀は古来より神秘に関わる物質とされ、西洋の錬金術においても極めて重要な位置付けにあった。錬金術は金の物質的希少性・安定性に触発され、物質や肉体、精神を完全な存在に昇華させることを目指した学問だが、金アマルガムから蒸発させると金メッキができるという水銀の性質は、比重の概念を知らない古代人を、さぞや完全性への兆しと幻惑させたことだろう。

この錬金術を扱った著名な小説⁹⁾では、前兆に耳を傾けることが道を拓き、夢に至るというテーマが描かれる。この小説は星の王子様¹⁰⁾と並び称される不朽の名作だが、対する星の王子様に描かれるテ-

マは“大切なことは目に見えない”であり、ものごとをハートで見る意義が散りばめられている。

以上、意を汲んでいただけたらだろうか。人文科学分野にも完全性や夢といった無窮の目的があり、自然科学分野と同様、挑戦と失敗に彩られている。また、総じて見つけ難いこれらに至るには、見えざるものを見るための構えを要す、という示唆が万人に共感される名著の核となっており、これは失敗の中に気付きを得ることで大発見に結び付くという、自然科学におけるセレンディピティ¹¹⁾の概念に通じる。

最後の蛇足に、“意義”を意味する“significance”は接頭語として“sign”を含んでおり、signの意味は“兆し”でもあることを記して付記を結ぶ。

参 考 文 献

- 1) Thomas H. Davenport, D.J. Patil: Data Scientist: The Sexiest Job of the 21st Century, Harvard Business Review, (2012/10).
- 2) Steve Lohr: For Today's Graduate, Just One Word: Statistics, New York Times, (2009/8).
- 3) 佐藤卓己：現代史のリテラシー～書物の宇宙,岩波書店,(2012年).
- 4) 電子通信用語辞典, コロナ社, (1984年).
- 5) 伊庭幸人：「情報」に関する13章—私家版・情報学入門一, 物性研究, 78-2, (2002年5月).
- 6) M. Mitchell Waldrop: MORE THAN MOORE, NATURE, Vol. 530, (2016年2月).
- 7) 総務省：我が国の情報通信市場の実態と情報通信量の計量に関する調査研究結果, (2011年).
- 8) 二宮尊徳：報徳要典, 内外書房, (1934年).
- 9) パウロ・コエーリョ：アルケミスト—夢を旅した少年, 角川書店, (1997年).
- 10) アントワーヌ・ド・サン＝テグジュペリ：星の王子さま, 岩波書店, (2000年).
- 11) 酒井邦嘉：科学者という仕事—独創性はどのように生まれるか, 中央公論新社, (2006年).

著 者



高松 伸一

2007年入社。技術本部基盤技術研究所要素技術研究室。技術士（機械部門）。振動制御を専門とし、油圧緩衝器等の研究に従事するとともに、統計データ分析の業務応用を推進。

画像処理によるショベル姿勢推定技術の研究

表 将 也

1 はじめに

近年、建設機械の転倒防止等の安全性向上が求められている。また、将来自動化が進んだ建設機械では、高速動作時の安定性ニーズも高まると推測される。このような背景から、ショベルの安定性指標となるZMP^{注1)}を用いた安全性向上への取り組みを行うこととした。しかし、ZMP算出のためには、旋回体・ブーム・アーム・バケットに角度センサや加速度センサなど多数のセンサを取り付ける必要があり、システム構成が複雑になってしまう。一方、近年カメラの価格低下や通信・処理能力の向上により、カメラと画像処理によるセンシングが普及してきている。そこで、本研究ではZMPを算出するのに必要となるショベルの姿勢を、カメラと画像処理技術を用いた比較的シンプルなシステム構成にて検出手法の開発を行った。本報では本研究で取り組んだ画像処理によるショベル姿勢推定技術について紹介する。

注1) Zero Moment Pointの略。路面上に設置された機体に加わる重力、慣性力および外力によるモーメントがゼロになる路面上の点として定義される。

2 システム概要

2.1 ハードウェア構成

画像処理に用いる画像を撮影するカメラの設置場所は、旋回体（キャビン）内に設置した。

本研究では、複数台のカメラにより検出角度を算出するため、各カメラのシャッタータイミングを合わせる事が可能な外部トリガ機能を有したカメラを用いた。レンズには、太陽光による赤外線の影響下においても鮮明な画像を撮影できる近赤外線対応レンズを用いた。

2.2 画像処理による姿勢推定の仕組み

ショベルの姿勢を推定するためには、旋回体・ブーム・アーム・バケットのリンク長さやリンク角度が必要となる。リンク長さは、ショベルの各可動部位

の回転軸から回転軸までを直線で結んだ距離のことである。また、リンク角度は各可動部位の回転角度のことである。リンク長さは、事前に測定することが可能であるため、本研究では、リンク角度（図1）を求めるのに画像処理を用いた。リンク角度を求めるために、まずは各リンクを撮影した画像に画像処理を施し、対象エッジ等を検出する。この対象エッジと既知エッジからなる検出角度（図2）を算出する。

対象エッジとは、画像処理を施さないと検出できないエッジのことである。また、既知エッジとは、画像処理を施さなくても位置が明確なエッジのことである。既知エッジは、カメラが設置されている旋回体を基準に回転するブーム、クローラではカメラ画像の枠を既知エッジにできる。画像処理にてブームの対象エッジを検出しブーム検出角度が算出できれば、ブームのエッジを既知エッジとして、ブームを基準に回転するアーム検出角度算出に利用できる。ブームのエッジが既知となる理由は、ブームの検出角度と画像上のブーム既知エッジ位置との関係を事

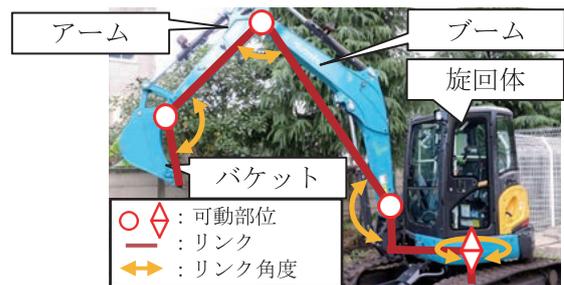


図1 リンク角度

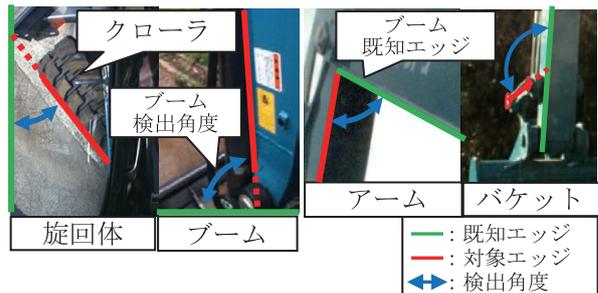


図2 各検出角度

前にマップ化することで、ブームの検出角度が算出されると自動的にマップ情報から位置が明確になる。

3 検出角度算出の流れ

各検出角度算出の流れは下記の通りとなる。

(1) 検出角度

ブーム検出角度は、画像処理によりブーム対象エッジを検出する。検出したブーム対象エッジと画面枠から成るブーム検出角度を算出する。

(2) アーム検出角度

アーム検出角度は、(1)にてブーム検出角度が算出できているので自動的にブーム既知エッジの位置が明確になる。また、画像処理によりアーム対象エッジを検出する。推定したブーム既知エッジと検出したアーム対象エッジから成るアーム検出角度を算出する。

(3) バケット検出角度

バケット検出角度は、(1)(2)にてブーム・アーム検出角度が算出できているのでブーム既知エッジ同様に自動的にアーム既知エッジの位置が明確になる。画像処理によってバケット対象エッジを検出したいがバケットの形状は複雑で直線がないため、バケットとアーム間にあるリンクジョイント部の領域（図3）を画像処理により検出し、この領域の中心2点から直線を算出する。推定したアーム既知エッジと検出したジョイント2点を結んだ直線から成るバケット検出角度を算出する。



図3 リンクジョイント部の領域

(4) 旋回検出角度

旋回検出角度は、画像処理によりクローラ対象エッジを検出する。検出したクローラ対象エッジと画面枠から成る旋回検出角度を算出する。

4 対象エッジ検出方法

対象エッジ検出は主に画像処理、エッジ・領域特定処理の2つに分類される。

4.1 画像処理

各画像処理の適用手順は下記の通りとなる。

(1) ブーム・アーム・旋回体

カメラから取得した画像（図4中①）に対してレンズの歪みを除去する補正を行う（図4中②）。次に画面上のエッジを抽出するための処理（図4中③、④）と大まかなエッジ除去を行う（図4中⑤）。エッジ除去では、一つのエッジとして隣接し繋がっている画素が最も多いエッジを上位から数個程残し、それ以外のエッジを除去している。残ったエッジの中から直線的なエッジを選択する処理を行う（図4中⑥）。

(2) バケット

カメラから取得した画像に対して、レンズの歪みを除去する補正を行う。次にリンクジョイント部の領域を抽出する処理を行う。

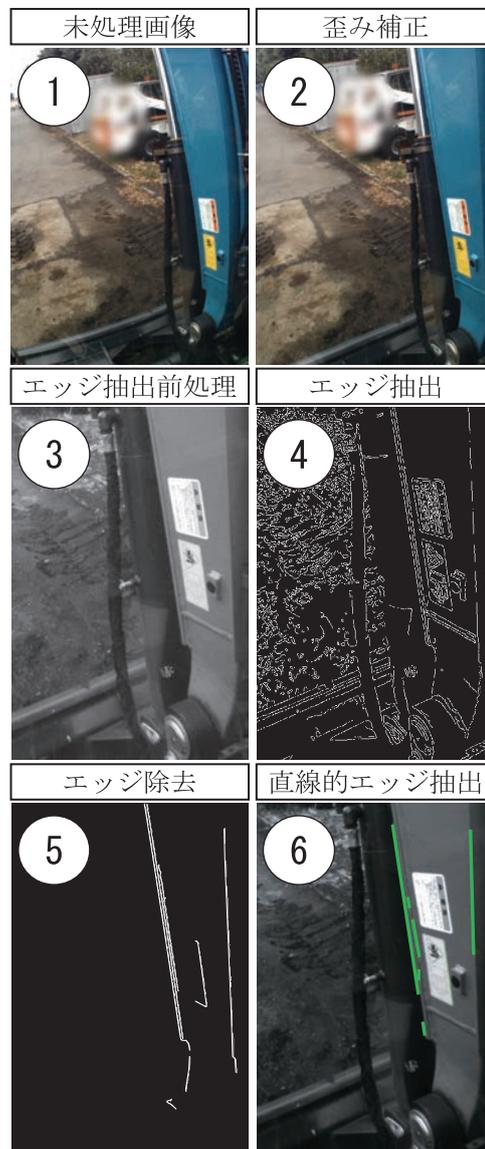


図4 画像処理の1例（ブーム）

4.2 エッジ・領域特定処理

抽出したエッジや領域を最終的に特定するための

処理であり、特定するために特定円周との関係や重み付けをしながら特定を行う。

4.2.1 特定円周

カメラで撮影したブーム・アーム・バケットを真横、クローラを真上から見た時の対象のエッジ・領域と特定円周とその円周中心位置を図5に示す。この特定円周中心は各パーツの可動部の回転軸上にあり、同じパーツ上にある対象のエッジは、この特定円周中心を中心に円運動をする。この円運動で描かれる円周が特定円周であり、ブーム・アーム・クローラの対象のエッジは、すべてのリンク角度でこの特定円周の接線になる。バケットのリンクジョイント部の領域は、すべてのリンク角度でこの特定円周上を移動する。

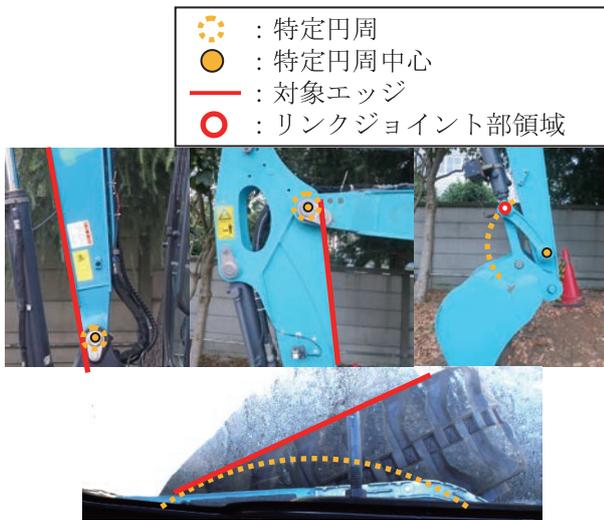


図5 各対象エッジと特定円周

4.2.2 重み付け手順

重み付けとは、評価する項目ごとに、順位に応じて点数を付け、総合点にて評価を出す方法である。画像処理にて検出したエッジ群から、この重み付けを用いて最も点数の高いエッジを特定する。

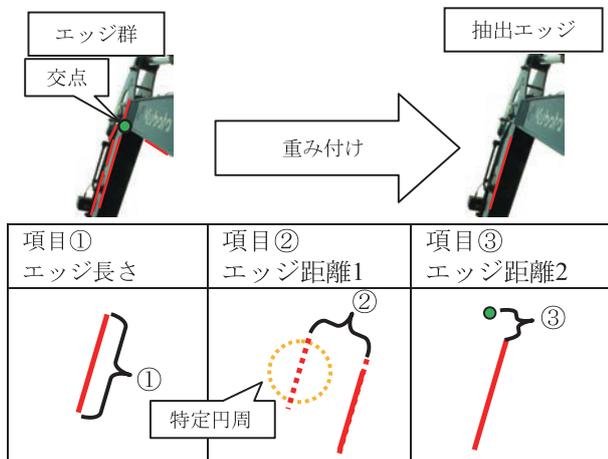


図6 重み付け項目

評価する項目を以下①～③に示し、この重み付けによる特定のイメージを図6に示す。

- ①エッジ長さが長いもの
- ②アームの特定円周からの距離が近いもの
- ③画像上のブームエッジとアームエッジが交わるおおよその位置^{注2)}(交点)とエッジの端点との距離が近いもの

注2) 既知エッジ同様ブーム角度とおおよその交点位置の関係を事前にマップ化し推定している。

4.2.3 特定手順

(1)ブーム

特定円周(図5)の接線となるエッジを選択し、その中から最も長いエッジを選択する。

(2)アーム

事前にブーム検出角度とブーム上にある特定円周中心(図5)の位置関係をテーブル化しておくことで、特定円周中心を推定する。直線の中から特定円周の接線となる直線を選択する。選択された直線に対して重み付け処理を行い最も点数が高いエッジを選択する。

(3)バケット

事前にアーム検出角度とアーム上にある特定円周中心の位置関係をテーブル化しておくことで、特定円周中心の位置を推定する。リンクジョイント部の領域の中から特定円周を通過する領域を選択する。

(4)旋回

特定円周の接線となるエッジを選択する。その中から最も長いエッジを選択する。

5 リンク角度算出方法

ブーム・アーム・バケットは、算出した検出角度が求まるとリンク角度の値が一意に決まるため、この関係から各検出角度を各リンク角度へ換算することでリンク角度を求めている。

旋回体のリンク角度の算出方法は、検出している2台のカメラと旋回体の向きの組み合わせからリンク角度を算出する。この組み合わせを表1に示す。また、旋回体のリンク角度が0°, 90°, 180°, 270°のカメラ撮影範囲の位置関係などを図7に示す。

表1のショベル向きは、ショベルを上方から目視

表1 旋回体リンク角度判別表

旋回体の向き(象限)	第1・第4	第4・第3	第3・第2	第2・第1	
角度検出	カメラ①	×	○	×	○
カメラ	カメラ②	○	×	○	×
旋回体リンク角度 範囲θ	315°~45°	45°~135°	135°~225°	225°~315°	

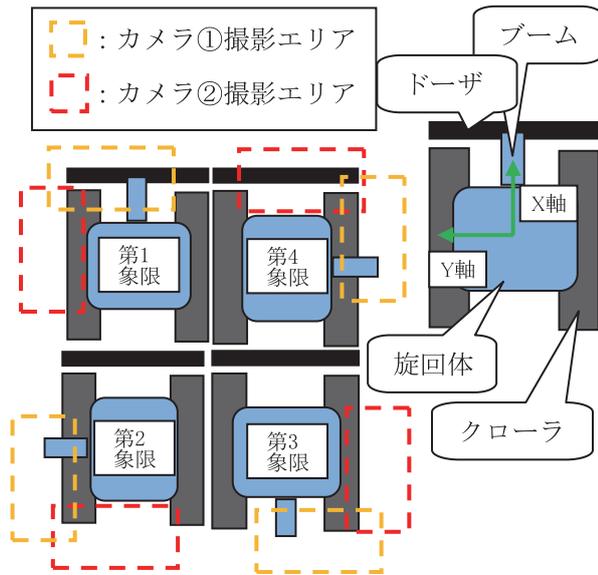


図7 旋回角度に応じたカメラ撮影位置

し、縦軸をX軸、横軸をY軸とした座標平面と仮定して第1～第4象限でエリアを分類したものである。角度検出担当カメラはクローラを撮影しているカメラのことであり、担当しているカメラを○と×で表している。旋回体リンク角度範囲とは、分類した第1～4象限の範囲に対応した旋回体リンク角度 θ の範囲である。

6 検出結果

ショベルの各パーツをそれぞれの可動範囲で動作させた状態での画像処理による検出結果を表2に示す。検出率は検証画像枚数中の対象エッジを検出できた割合、検出は各リンク角度と実リンク角度^{注3)}との最大誤差を示す。

検出結果から、カメラとの距離が近いブーム、旋回の検出精度は、ブーム、アームに比べて高くなることを確認した。精度が高い理由としては、カメラから近い位置にあるエッジは、エッジを表わす画素

表2 検出結果

評価項目 \ (検証枚数)	ブーム (250枚)	アーム (127枚)	バケット (149枚)	旋回 (475枚)
検出率 [%]	83.94	74.80	89.25	100.00
検出 [deg]	±0.58	±1.46	±3.11	±0.98

数が多くなることから、エッジが1画素ズレても精度への影響が小さいということが挙げられる。また、検出したエッジの長さも長く検出できると、1画素ズレたとしても精度への影響が小さくなることを確認できた。

現状の検出率では、リアルタイムにZMPを評価するのは難しいが、オフラインであれば、検出できている範囲で機体のZMPを十分評価することができるため、各種センサを取り付ける場合に比べて、比較的容易に機体の安定性の評価することができると思われる。

注3) 別に設けた基準センサを用いて計測したリンク角度のこと。

7 おわりに

本研究では、ショベルの姿勢推定に用いられる角度センサや加速度センサの代用としてカメラと画像処理技術を用いた。検出の精度や検出率に課題が残るものの、耐環境性として優位なキャビン内からショベルの姿勢推定ができるシステム構築とその性能を確認することができた。

今回習得したカメラを用いた画像処理技術は、使い方によって様々なセンサの代用が可能となる技術である。近年、カメラと画像処理の組み合わせは様々な業界のシステムに用いられてきている。今後も当社システム製品としてカメラと画像処理を組み合わせる時にどのような効果や付加価値があるのかを見極め、新製品、新技術の開発に取り組んでいきたい。

著者



表 将也

2009年入社。技術本部基盤技術研究所運動制御研究室。主に画像処理によるセンシング技術の開発に従事。

マシニングセンタを利用した 2次元コードマーキング加工技術の開発

嘉数田 隆 昌

1 はじめに

トレーサビリティを目的として、製品や部品に型式番号やロットナンバー、シリアルナンバーなどの情報（以下、製造情報）を直接マーキングすることは古くから行われている。これらはダイレクトパーツマーキングと呼ばれている。

近年では、より多くの情報をより狭いスペースにマーキングするため、2次元コードが多く採用されている。

KYB相模工場の加工ラインでも2次元コードマーキングを行いたいが、新規設備を導入しなければならず、費用とスペースの制約から困難であった。今回、加工ラインにあるマシニングセンタ（以下MC）を利用して、安価でスペースの制約のないマーキング技術を開発したので紹介する。

2 開発したシステムの概要

2.1 ダイレクトパーツマーキングの概要

ダイレクトパーツマーキングの例を図1に示す。

ダイレクトパーツマーキングの目的は製品識別だけではなく、品質管理や生産管理など多岐にわたり、製造業だけではなく、様々な分野で広まっている。



図1 様々な分野に応用される
ダイレクトパーツマーキング

2.2 マーキング内容の概要

ダイレクトパーツマーキングに使われる書式としては英数字やバーコードが使用されるが、近年ではQRコードやデータマトリクスに代表される2次元コードも多く採用されている。

2次元コードの特徴としては、下記のようなメリットがある。

- ①省スペースで情報量が多い（情報密度が高い）
- ②汚れやキズに強く、コードリーダによる読み取りミスが少ない

相模工場の加工ラインでも加工部品に製造情報を英数字でマーキングしている。しかし、部品の多品番化や様々な製造情報をマーキングしたいという背景から、2次元コードマーキングの要求が高まっている。

2.3 マーキング方法の概要と問題点

加工ラインでは鋳鉄部品の加工にMCを使用して行っている。鋳鉄部品にマーキングする方法としては、主に2種類が挙げられる。その特徴を示す。

(1)レーザーマーカ

レーザーマーカにて加工部品の表面を融解・除去して微小な凹形状を作り、それにより英数字や2次元コードを表現する。

被加工物は、金属から樹脂と幅広く、近年最も普及しているマーキング方法である。

(2)打刻

ポンチと呼ばれる工具で打痕を付ける塑性加工の一種である。1つの打痕は半球の凹形状（以下ドット）であり、複数のドットの配列により、英数字や2次元コードを表現している。

次に、加工ラインに導入する場合の概算費用とスペースを表1に示す。

費用もさることながら、加工ラインはスペースの制約が厳しいことが多く、新規マーキング装置のためにスペースを捻出しなければならない。

表1 主なマーキング方法の比較

	レーザーマーカ	打刻
		
本体価格	3,000千円	1,000千円
①装置価格(概算)	6,000千円	4,000千円
②追加スペース	+ 3.0㎡	+ 3.0㎡

※装置価格=本体価格+付帯設備+レイアウト費用とする

2.4 新しいマーキング技術の考案

そこで、打刻のドット形状をヒントにMCによる切削加工で同様の凹形状を加工するアイデアを考案した。これが実現できれば、打刻同等のマーキングが既存のMCで可能となり、スペースの制約のない画期的なマーキング技術となる。

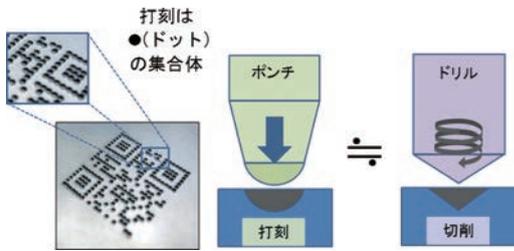


図2 新しいマーキング技術の概略

3 目的

既存の加工ラインを対象とした、スペース制約のない2次元コードマーキング技術を開発する。

4 目標

- ①追加スペース 0㎡
- ②マーキング時間 打刻同等
- ③費用 打刻同等

5 要件

- ①既存のMCに後付けできること。
- ②様々な製品への展開を考え、汎用的であること。

6 実施内容

6.1 2次元コードマーキングの要素テスト

6.1.1 加工テスト

要素テストとして、打刻を模倣しMCにて2次元コードの加工を行った。

テスト手順を(1)~(4)および図3に示す。

- (1)マーキングする文字列を決定する (テストは英数字32文字)。
- (2)パソコン (以下PC) にて文字列を2次元コードに変換する。
- (3)2次元コードをX-Y座標でプロットし、黒部を加工するプログラムを手動作成する。
- (4)作成したプログラムでMCにて加工を行う。



図3 MCによる要素テストの手順

6.1.2 読み取りテスト

加工した2次元コードをコードリーダにて読み取りテストを行い、読み取れることを確認した。

6.2 量産システムの開発

実際の量産における製造情報は、型式、品番、ロットナンバー、シリアルナンバーなど変化する文字列である。当然、2次元コードに変換される文字列の組み合わせも無数にあり、加工プログラムも無数になってしまう(図4)。

そのため、6.1.1で行った(1)(2)(3)を自動で行なわなければ量産ラインでは使用できない。



図4 量産における2次元コード

6.2.1 加工プログラム自動作成システムの構想

そこで、量産ラインで使用できる様、(1)(2)(3)の自動化の検討を行った。

(1)文字列の自動生成

変化する文字列を自動生成することはMCコントローラ内のマクロ機能やカレンダー機能、四則演算機能を使用して可能である。



図5 文字列の自動生成

(2)文字列の2次元コード変換

同様にMCコントローラ内の機能だけで文字列を2次元コードに変換しようと試みたが、この変換には高度な数学が用いられており、変換不可能であることが分かった。



図6 文字列の2次元コード変換

(3)2次元コードから加工プログラムを作成

また、2次元コードは図形であり、図形から加工プログラムを自動で作成することもMCコントローラ内の機能だけでは不可能である。



図7 2次元コードの加工プログラム変換

そこで、MCとPCをLANケーブルで接続し、MCコントローラ内だけでは不可能な(2)と(3)をPCで行うシステムを考案した。

本システムのメリットは以下である。

MC⇔PCはイーサネット接続であり、PCの置き場所には制約がない。極端なことを言えば、事務所やラインのデッドスペースを利用して設置できる。

- ・本PCはあくまでも変換だけを行うため、非常に軽負荷である。そのため、一般的なPCで構築ができ、非常に安価である。
- ・また、通常のネットワーク同様、1台のPCに対して複数のMCを接続することができるため、

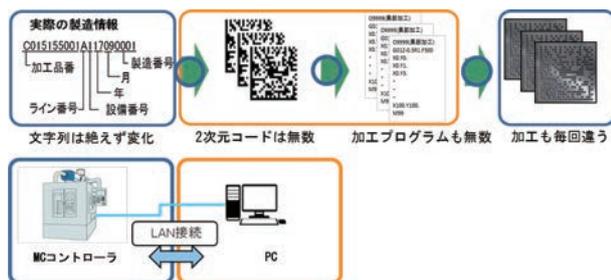


図8 考案した2次元コードマーキング技術の概略

安価に構築できる。

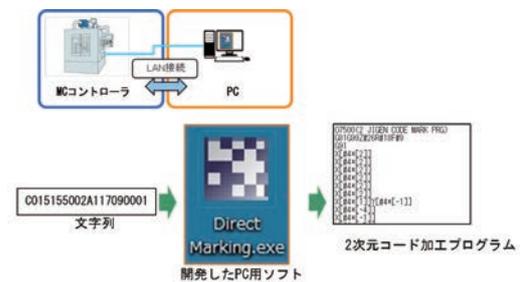
6.2.2 横展開を見据えた量産システムの構築

システムの基本構想はでき、実際に量産ラインに展開できる様、量産システムの構築を行った。

これに伴い、専用ソフト^{注1)}(以下ソフト)の開発を行った。

ソフトは、(A)MCコントローラから文字列をPCへアップロードする機能(B)文字列の2次元コード変換(C)2次元コードの加工プログラム変換(D)加工プログラムをPCからMCコントローラにダウンロードする機能を併せ持ち、(A)~(D)を全自動で行うソフトである。

実際に加工プログラム変換の時間は1sec未満であり、量産ラインへ使用可能であることを確認した。



自動作成時間：1sec未満 量産で使用可能

図9 量産システムの概要

さらに、量産および横展開を見据えて、下記のような工夫を施している。

①自動化

自動化とは異常時に設備が停止する仕組みをいう。本システムにおいても、例えば、LANケーブルの破損や、PCの故障で正常に2次元コードマーキングができなかった場合、加工機であるMCが停止するようシステムフローに盛り込んでいる。

また、異常時はPC、MC双方にアラームを表示し、どこで異常となっているかを見える化している。

②立上げ・復旧

他ラインへの展開や故障時の復旧についても容易にできるようにソフトを作っている。

③汎用性

本ソフトはすでいくつかのメーカーのMCに接続テストを行っており、既存のMCに後付けできることを確認している。

注1) 本ソフトはソフトメーカと共同開発を行っており、特許申請中である。

6.3 量産後の評価

上記にて量産システムが構築でき、加工ラインにて展開を行った。写真1に本システムでマーキングした2次元コードのサンプルを示す。

また、2次元コードマーキング時間は、打刻とほぼ同等であることも確認している。

また、開発したソフトは打刻装置のおよそ1/10程度の費用で構築ができた。

①追加スペース	0 m ²
②マーキング時間	打刻同等
③費用	打刻の1/10

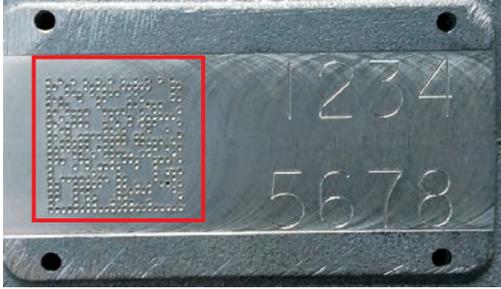


写真1 本システムで加工したマーキング

7 成果

目標を全て達成した。

8 まとめと今後の課題

本システムの構築により、既存の加工ラインでも大きな設備投資を行わずに2次元コードマーキングを行えるようになった。

今後は、該当する加工ラインに展開し、加工設備の製造情報や品質データ収集を行って、さらなる品質改善や生産性向上につなげていきたい。

9 おわりに

本システム構築に御協力頂いたソフトメーカおよび関係部署、ならびに御指導御支援を頂いた方々へ、この場をお借りしてお礼を申し上げます。

著者



嘉数田 隆昌

2006年入社。ハイドロリックコンポーネンツ事業本部相模工場生産技術部生産技術課。主にコントロールバルブの工程設計に従事。

画像処理による3次元寸法検査装置の開発

原 田 耕 太

1 はじめに

KYBの自動車用ショックアブソーバ（以下 SA）は、複数の部品を溶接することで構成されている。また、SAは車両にボルトなどにより締結され使われる（図1）。そのため、出荷前検査として車両との取り付け穴の位置や外観形状の寸法検査を、作業者による手動計測にて対応している。しかし、この検査方法では人による作業ミスや、小ロット化に向かう中で計測負担の増加が問題となる。そこで、今回は画像処理による3次元寸法検査装置を開発したので紹介する。

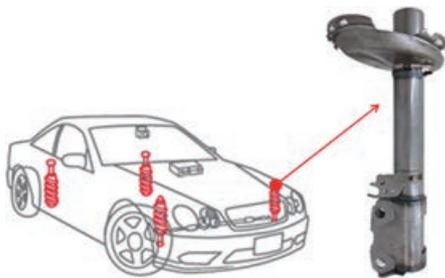


図1 ショックアブソーバ

2 目的

3次元寸法計測が可能な自動検査装置（以下、検査装置）を開発、導入し、品質保証度の向上を図る。

3 検査装置に求められる機能

検査装置に求められる機能として以下の3つがある。今回、同機能を有した検査装置を開発した。

- ①対象部位の位置、角度を3次元寸法（X, Y, Z）で計測できること。
- ②計測位置は車両ごとに異なる。多機種の計測に対応できるように、計測位置は自由に変更できること。
- ③自動で計測、合否判定できること。

4 計測対象項目

検査装置での計測対象と部品名称を図2に示す。表1には各部品の計測項目を示す。各部品は、アウタに溶接されるが、取り付け位置、角度は機種により様々である。そのため、計測位置は機種ごとに異なる。したがって、多方向からの計測が必要である。また、計測項目は穴以外に、平面上の点の計測も必要である。

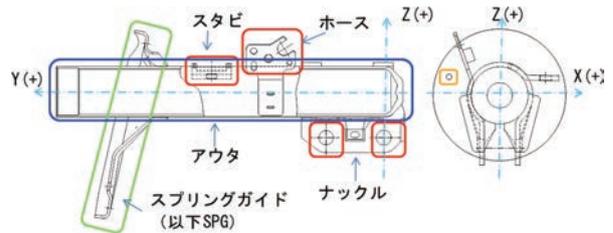


図2 計測対象と部品名称

表1 計測項目

計測対象	計測項目
ナックル, ホース スタビ (各ブラケット)	穴の位置, 角度
SPG回転方向	穴の位置
SPG傾き	平面上の3点の位置
アウタ	円筒軸の位置

5 検査装置の設備概要

5.1 採用した計測手法

検査装置では計測の自由度を高めるために非接触式を採用した。また、計測対象ごとに最適な手法を使い分けることとし、表2に示す3つの手法を採用した。

表2 計測手法

計測対象	計測手法
ナックル, ホース, スタビ (各ブラケット)	光切断法 (画像処理)
SPG回転方向	ステレオ計測法 (画像処理)
SPG傾き	レーザ変位センサ活用による計測
アウタ	レーザ変位センサ活用による計測

5.2 システム構成

システム構成を図3に、製作した設備を写真1に示す。本検査装置の特徴を以下に示す。各機能の詳細は、別項で説明する。

- ①製品を回転させながら計測するシステムを採用した。これによりカメラ台数の削減が可能となり、設備コストアップの抑制と、維持管理の容易化を図った。
- ②プレス成型された穴の位置を高精度に計測可能なアルゴリズム（光切断法の応用）を考案し、実装した。
- ③環境温度変化による計測精度への影響を低減させる対策を実施。これにより工場内での使用を可能にした。
- ④検査結果の見える化と、データ分析機能を実装した。これにより異常の早期発見や分析に活用可能とした。

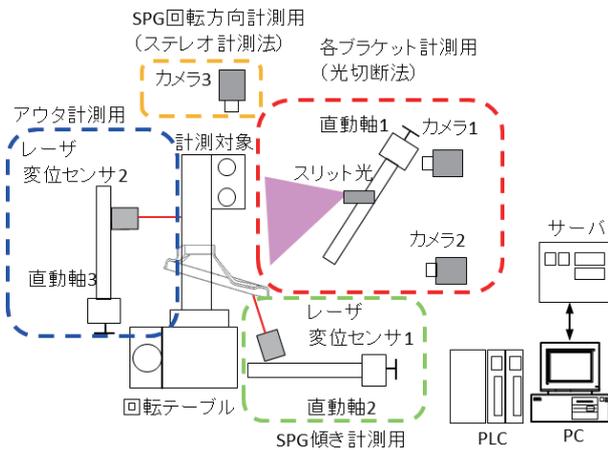


図3 システム構成



写真1 検査装置外観

5.3 動作フロー

検査装置の動作フローを図4に示す。

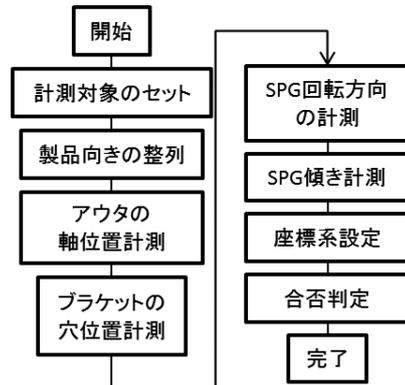


図4 動作フロー

6 光切断法の計測原理

検査装置の主力である光切断法の計測原理について解説する¹⁾。

光切断法で最低限必要な装置構成は、カメラ、スリット光、計測対象の3点になる（図5）。計測原理は、①ライン状のスリット光を計測対象に照射する。②検査ワークに写ったスリット光を別方向からカメラにより撮影する。③撮影された画像と、スリット光の照射位置とカメラ位置の関係から、三角測量の原理で対象の3次元位置情報を取得する。

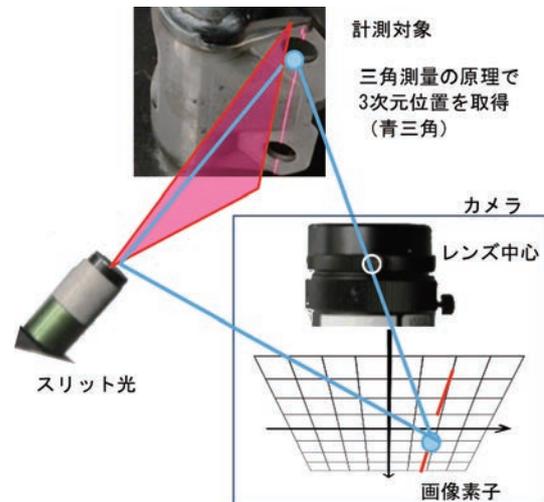


図5 光切断法の計測原理

7 検査装置の特徴紹介

7.1 製品を回転させながら計測する

6項で解説した必要最低限の装置構成による光切断計測では、計測範囲はスリット光が照射される一平面に限られる。しかし、本検査では3次元空間で

の計測，すなわち計測範囲の拡張が必要である。そこで，検査装置ではスリット光を1軸方向に駆動させる構造と，計測対象の回転機構を組み合わせることで必要な計測範囲を確保している。

また，このような装置構成としたことで，カメラ，スリット光などの必要な機器の台数を少なくすることが可能となり，設備コストアップの抑制と維持管理の容易化を図った。

7.2 光切断法によるプレス成型穴の高精度計測アルゴリズム

6項で解説したように，光切断法では1本のスリット光から3次元位置を取得できる範囲は，スリット光線上のみである。そのため，一般的に光切断法で穴の位置計算を行う場合は，図6に示すように，複数のスリット光を用い，スリット光が穴で消失する端点を画像処理で検出し，穴位置を算出する。

しかし，この方法ではスリット光の中心を算出する時に，穴のエッジによる光の乱反射や，スリット光に幅があることに起因する誤差が問題となり，正確にスリット光の端点を検出することが難しい(図6)。結果，穴位置計測の誤差要因となっていた。

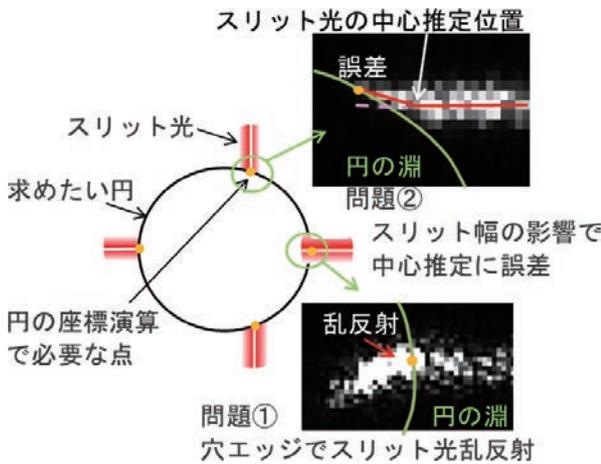


図6 光切断法による穴位置計測時の誤差要因

そこで，本開発では穴は平面上に開いていることを利用した位置計算アルゴリズム(図7)を考案し，問題を解決した。本アルゴリズムは，対象物体の面の3次元情報を知ることができれば，単眼カメラで撮影した対象物体の画像特徴から全ての3次元位置が取得可能になる。本アルゴリズムの適用は，光切断法に限らず，面の3次元計測が可能な，ステレオ法，光レーダ法など，広く世の中で普及し始めている機器にも適用可能である。

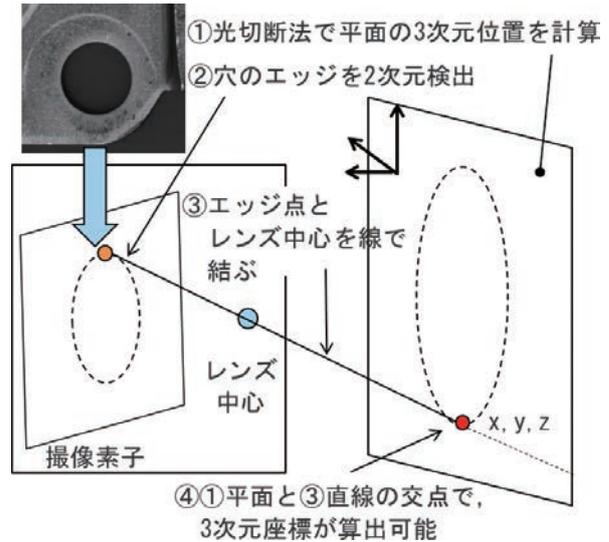


図7 考案した光切断法による穴位置計算アルゴリズム

7.3 環境温度変化による計測精度への影響対策

市販されている門型の接触式3次元測定機は，計測精度を維持するために，環境温度をコントロールできる空間での使用が推奨されている。しかし，本設備は工場内で使われるため，温度は一年を通して数十℃変化し，計測精度に影響を与える。例として，表3に簡単な精度影響への試算結果を示す。

表3 温度変化による精度影響レベルの簡易評価

試算条件	カメラ計測対象間の距離	450mm
	固定フレームの素材	鋼
	鋼の線膨張係数	$12 \times 10^{-6}/K$
	温度変化量	10℃
温度上昇によるカメラ計測対象間の位置ずれ量		0.054mm

10℃の温度変化により，計測機器の位置関係が0.054mmもずれることが分かる。本設備で採用している光切断法では，カメラとスリット光と対象物間の三角測量の原理で計測することから，この位置ずれ量による計測精度への影響は問題になる。更には，検査装置は製品を回転させて計測することから，温度変化による影響は増々拡大するので対策が必要である。実施した温度影響対策を2つ紹介する。

①フレーム素材に低膨張材を使用

温度変化によるフレームの伸び量は，素材の線膨張係数に比例する。そこで検査装置のフレーム素材には，線膨張係数が $3 \times 10^{-6}/K$ (鋼に比べて1/4)の低膨張材を使用している。

②フレームの温度変化を少なくする対策

フレーム素材に，膨張しにくい素材を使用したが，

伸び量は0ではない。そこで、検査装置ではフレームの温度変化を少なくするために、フレーム周辺を囲み、小型の空調設備を設置している。これにより、フレームの温度変化が起りにくい環境を作っている（図8）。

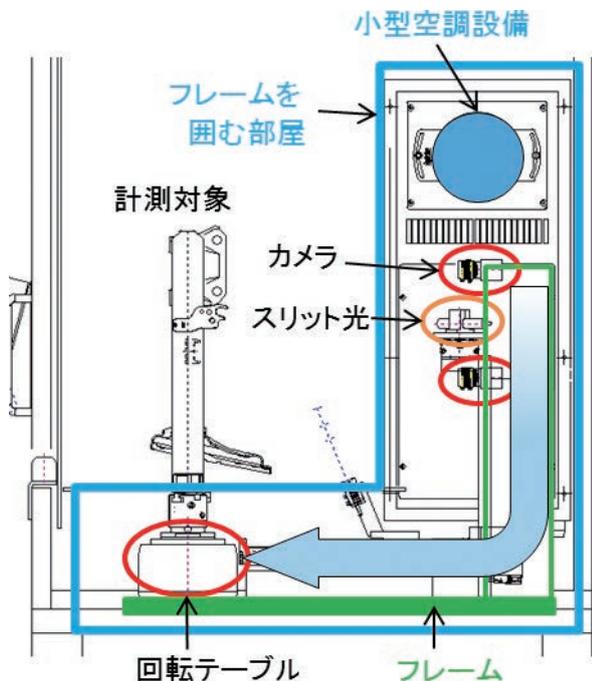


図8 環境温度変化によるフレームの膨張低減対策

7.4 検査結果の見える化とデータ分析機能

計測結果として、各項目の実測値と規格値、合否判定結果が設備モニタに表示される。NG判定、アクション判定^{注1)}の場合は背景色が変わり、一目で問題箇所の確認ができる。また、別画面では履歴も確認できる（図9）。また、計測結果を一元管理可能な管理端末ソフト²⁾では、収集したデータの表示として、データの傾向グラフ、ヒストグラム、標準偏差、Cp、Cpkが表示される。データのばらつきの確認や、改善資料として活用できる。

注1) 不良発生前の傾向をつかむための判定で、良品ではあるが設計値から一定量外れている場合に出力される判定結果のこと。

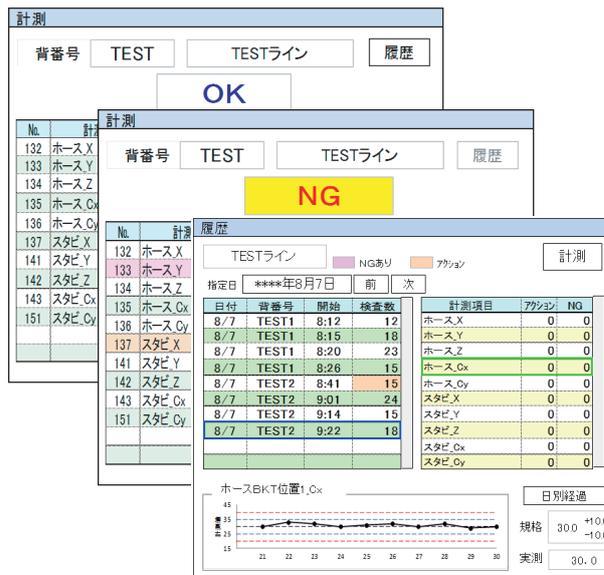


図9 計測結果の表示画面

8 おわりに

多種類のSAが自動計測可能な3次元寸法検査装置を開発・導入したことで、品質保証度の向上に貢献できた。

また、検査結果の見える化、データ収集機能、データ分析機能を実装した。今後は、これらデータを活用することで不具合の早期発見や、品質、生産性向上の改善活動につなげていきたい。

最後に、本開発にあたり多大なるご支援、ご協力をいただいた共同研究先³⁾の岐阜大学 加藤邦人准教授並びに同研究室の方々、及び関係部署の方々に、この場をお借りして厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 井口征士, 佐藤宏介: 三次元画像計測, 昭晃堂, (1990年).
- 2) 西尾明彦, 田辺憲一: 検査支援システムの開発, KYB技報第42号, (2011年4月).
- 3) 佐藤諒一: レーザー3次元計測による自動車部品の穴位置計測システムの構築, 岐阜大学大学院工学研究科修士論文, (2013年).

著者



原田 耕太

2004年入社。技術本部生産技術研究所第二研究室。画像処理、寸法検査技術の開発に従事。

電動パワーステアリング評価設備の開発

安藤 浩二 ・ 室橋 淳夫 ・ 藤掛 光彦 ・ 堀 剛士

1 はじめに

近年、世界中で“環境への配慮”という声と共に、自動車の世界では電気自動車（以下EV）への期待が高まっている。

英・仏では2040年をめどに内燃機関の販売を禁止するという発表があったり、2017年のフランクフルトショーではEV時代の到来を意識しないではいられない状況となった。

更に、自動運転の開発も世界中で急速に進んでおり、国内でも公道を使用した実験走行実施のニュースが聞かれるようになってきた。

EV、そして自動運転技術の開発が進むと、電動パワーステアリング（以下EPS）の更なる性能アップと信頼性向上が急務である。

信頼性評価を行う実験部としては、製品開発同様に実験の信頼性向上と高効率化を目指し、評価技術と試験設備の開発に取り組んでいる。

KYB技報第55号で紹介したポンプ実験設備と同様に、本報ではEPS評価設備の開発に焦点をあてた実験部の取り組みを紹介させていただく。

2 製品紹介

2.1 EPSとは

EPSは、ステアリング操作におけるドライバーの負担を、電動モータによる補助で軽減する装置である。

ひとくちにEPSと言っても、大きく分けて以下のような分類がある。

- ①コラムアシストタイプ
- ②ピニオンアシストタイプ
- ③ラックアシストタイプ^{注1)}

注1) ラックアシストタイプには、ダイレクトドライブタイプ、ベルトドライブタイプ、2ピニオンタイプがある。本報では以下2ピニオンタイプEPSと記述する。

KYBの主力である2ピニオンタイプEPS（写真1）は、エンジンルームの最も低い位置に搭載されることが多い。そのため、エンジンや排気管の熱にさらされる一方、極寒の地域にも車が販売される。また、急激な温度変化にも耐えるものでなければならず、120℃の高温から-40℃の低温までの保証が必要になる。

更には、泥水や冬期の凍結防止剤が溶けた水がかかるなど、使用環境は極めて厳しく、高い防水性能や防錆性能も要求される。

そして、ひとたび事故が起これば、事故の原因として疑われて訴訟の争点になることもあるため、要求される信頼性試験はおのずと厳しいものになり、現象の可視化も求められる。

また、EPSはドライバーが“手”でその性能を直接感じるのど、“操舵フィーリング”のような感覚的な性能も問われる部品でもある。

そうした背景から厳しい試験条件を正確に再現できるテストベンチ、感覚的な性能の定量化、現象の可視化を目的にKYBオリジナルの試験装置の開発を進めてきた。

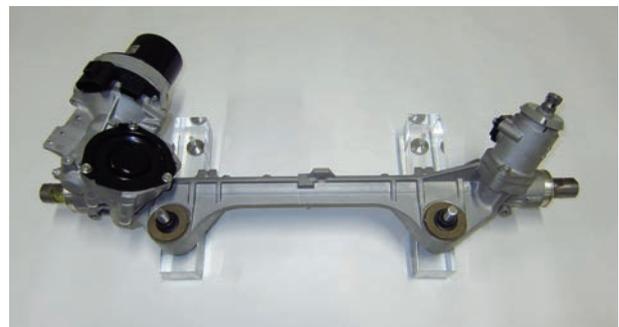


写真1 2ピニオンタイプEPS

2.2 EPSの構造と作動について

本題に入る前に2ピニオンタイプEPSの仕組みについてももう少し説明する。

部品構成はおおよそ図1のようになっており、作動は以下の流れになる。

- ①ドライバがハンドル操作をする。
- ②ハンドル操作力（以下、操舵トルク）をスタブシャフトが受ける。
- ③トルクセンサが操舵トルクを検知する。
- ④トルク信号をECU^{注2)}に送る。
- ⑤トルク信号に合わせてアシストモータへ電力を供給。
- ⑥アシストモータの回転力（トルク）を減速ギヤで増幅し操舵をアシストする。
- ⑦減速ギヤとピニオンギヤは一体になっており、ラック&ピニオンによってピニオンギヤの回転運動は、直線運動に変換される。
- ⑧ラックに推力が発生し、タイロッドを介して、ナックルアームを押しタイヤの切れ角が発生する。

以上の流れの繰り返しで、EPSはドライバのステアリング操作をアシストするのである。

注2) Electric Control Unitの略。

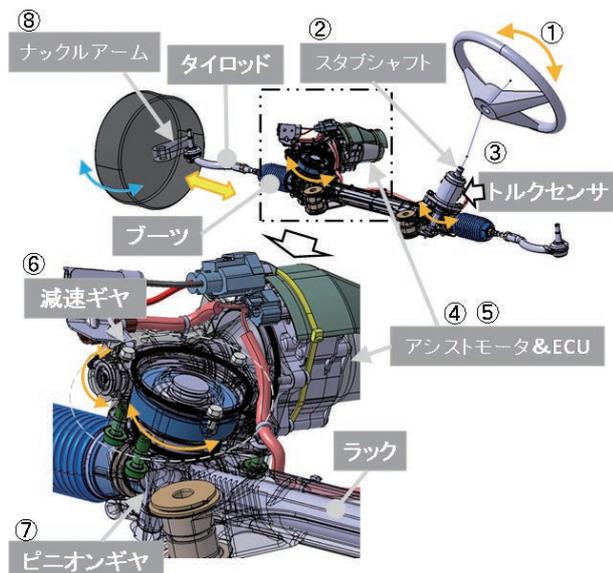


図1 2ピニオンタイプEPS部品構成

3 試験設備紹介

3.1 泥塩水耐久試験機

3.1.1 開発の背景・概要

製品紹介の項で述べたようにEPSの防錆・シール性の評価として、塩分を含んだ泥水をかけながら作動耐久試験を実施するための試験機である。

EPSの安全な動作保証をするためにはモータやECUなどの電装部品が水に濡れないように、シール性保証は特に重要である。

例えば、操舵することによって伸縮する構造になっているブーツは内側の圧力が負になり外部の水を吸い込んでしまうという懸念もある。

この例のように単純な水没・浸水試験だけではなく、操舵動作を与えながら泥塩水を散布することが、車両での使われ方に最も近いEPSの防錆・シール性評価方法となる。

以前は泥水によるシール性評価試験と、塩水による防錆性能確認試験は別々に実施していたのだが、冬期に路面に散布する凍結防止剤や融雪剤に対しても確認する必要が生じた。また、以前行っていた泥水によるシール性評価試験では、その都度試験サンプルに合わせた簡易的な水槽を準備していたが、この方法では塩水がこぼれたり、塩水を含んだミストにより試験エリア周辺に塩害を及ぼしてしまうという不具合があった。

それを考慮して本装置は開発されたもので、EPSの各シール部に規定濃度の泥塩水を散布しながら、ハンドルからの回転・操舵と左右タイロッドへのタイヤ反力を与える耐久動作ができる。

3.1.2 試験機の特徴

(1) 泥塩水濃度の自動管理

耐久試験には約1～2ヶ月を要するため、試験中に水分が蒸発して散布する泥塩水濃度が変化しないように、散水タンクの水量を監視し、自動給水することで自動的に濃度調整する機能を有している。

また、タンク内では噴流による攪拌を常時行い、泥の沈殿を防いでいる。

(2) 装置自体の錆び対策

散水に塩分が含まれることから、装置自身に錆びが発生しないように、試験槽をステンレス材で製作して試験サンプルのEPSを囲い込んだ。それでも試験槽から漏れ出す少量の水蒸気に塩分が含まれるため、試験槽を更にステンレス材の箱で囲む二重構造とし、外部への換気ファンも搭載した。

(3) 排水の濾過

使用後の泥水は塩分を含んでいるため、環境に配慮して排水側には塩分を除去する濾過機構を設けた。

(4) 槽内洗浄機構

試験後は、飛散した泥塩水が槽内に付着しているが、二つの洗浄機能を備え、装置の維持管理を容易にしている。

①槽天井部に自動洗浄用散水ノズルを設置（写真2）。

②析出した塩分の除去を容易にするための高圧洗浄ガンを設置。

(5) 試験の観察

試験室内の他の試験設備を保護するためにも、密閉できる試験槽が必要であったが、密閉した試験槽にすると、試験状況が目視できないという問題があった。

観察窓を設けるという方法もあるがミストの付着などで窓が汚れて試験の様子が目視できなくなることが容易に予想されたため、試験槽内にCCDカメラを設置し、試験中の槽内の様子を観察できるようにした(写真3)。

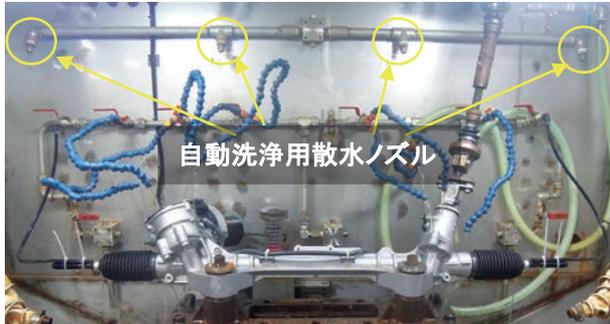


写真2 泥塩水耐久試験機内部



写真3 CCDカメラによる試験機内部画像

3.2 ラック曲げ試験機

3.2.1 開発の背景・概要

縁石衝突などを想定し、ステアリング機構が故障に至るまでの負荷の大きさを検証する試験機である。

ステアリング機構は、自動車の走る、曲がる、止まる、の三要素のうち“曲がる”を受け持つ重要部品であり、機能しなくなることは最後まで避けたい部品である。

そのため、ステアリング機構を保護するために縁石衝突のような事故発生時には、サスペンション部品が先に破損することで、ステアリング部品を破損から守る機構が設けられている。

それらのサスペンション部品よりステアリング機構の剛性、強度が上回っていることを確認することが目的である。

これまでは車両搭載状態のレイアウトを再現して試験を実施したいため、対象車両ごとに試験専用の特殊なジグ(架台)を準備する必要があったが、本試験機の開発でそれが不要となった。

3.2.2 装置の特徴

自動車メーカーからのリクエストに応えるべく様々な取付状態、作動状態でEPSの強度確認ができるよう以下の特徴を有す。

(1)水平方向の引張圧縮機構

一般的な引張圧縮試験機は荷重を負荷する向きが縦向きであるため、試料であるEPSをセットする場合作業性が悪い。そこで、荷重負荷方向を水平方向にし、EPSを水平定盤に固定することで作業性の向上を図った。

(2)負荷荷重入力角度の調整自由度向上

試験は様々な車種、様々なシチュエーションで実施され、荷重の入力角度も多岐に及ぶ。EPSへの荷重点は、ラック端インナーボールジョイント部だが、その方向は要求スペックにより異なる。また、揺動する部品であることから、ラックの断面係数やタイロッド折れ角などの条件により特性が変わる。

指示される入力方向を簡単にセットできる様に、EPS固定部を回転テーブル化することでそれらに柔軟に対応できるようにし、同時にクロスヘッドの位置を左右にスライドさせてセットできる機構を与えた(写真4)。

(3)ディスプレイの二画面化

試験機の制御とデータロガーに各々表示用ディスプレイを与え、動作の確認と瞬時データを見やすく表示した。

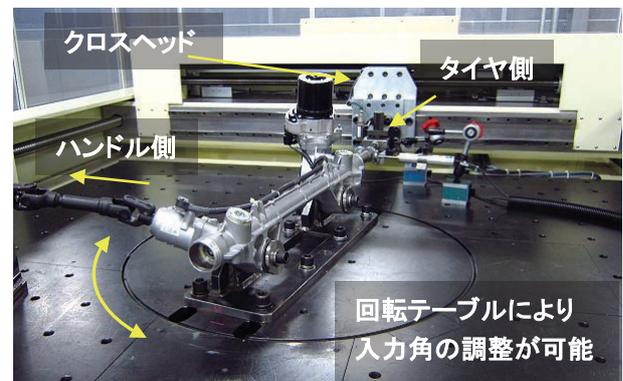


写真4 ラック曲げ試験機

3.3 減速機耐久試験機

3.3.1 開発の背景・概要

減速ギヤはEPSの心臓部とも言える重要な部品である。異音、強度、弾性など様々な理由から樹脂製のギヤが主流であるが、樹脂ギヤは大気湿度で精度が変化するなど非常にデリケートな部品である。

耐久中に発生する微小なクラック、過熱によって生じる性能変化など、変化点を確実に捉えるためにこの試験装置を開発した(写真5)。

また、当社の特徴でもある斜交減速ギヤの開発を行うために、軸交角を柔軟に調整できる試験機が必要であった。斜交減速ギヤは車両搭載レイアウトの設計自由度を上げられる利点がある。

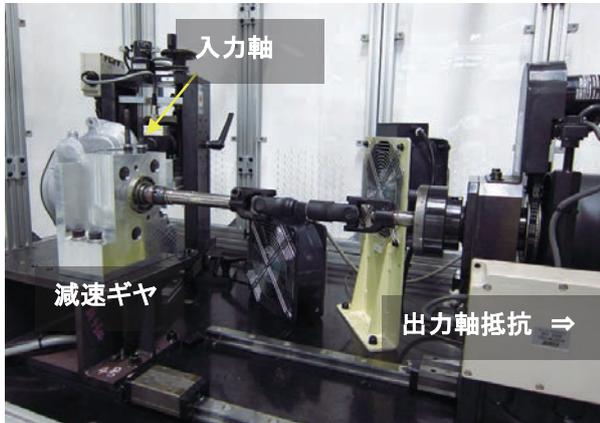


写真5 減速機耐久試験機

3.3.2 装置の特徴

(1)微小トルク変動検知自動停止機能

入力側の微小なトルク変化（変動）をキャッチして試験を止められるようになっている。これにより、歯車の壊れ始めを捉えることができ、壊れ始める原因を正しく捉えることができる。

(2)試験条件の調整自由度向上

本試験機では、無段階で軸交角が調整でき、また微小な調整幅をもって負荷トルクの調整が可能になっている。

(3)入力回転角制御の高精度化

EPSでは減速ギヤ（ウォームホイール）はハンドルと同軸上にあるため最大で3～4回転すると反転する。耐久試験ではこれを忠実に再現できるようになっているが、反転ポイントをいつも同じにしておくと、そのポイントだけ負荷が高くなり、反転ポイントで歯車の破損が始まる場合が多くなる。

実際の車両では反転ポイントがいつも同じになることは起こりえないことで、実際の使用条件に合わせて、反転ポイントを二カ所以上に分ける等の行為が必要になる。

開発した耐久試験機では入力軸の回転角が細かく制御できるので反転ポイントの分散が可能になり、より実機に近い耐久試験の実施が可能になっている。

3.4 異音評価試験機（逆入力異音の評価）

3.4.1 開発の背景・概要

EVはエンジン音が少なく静かなため、EPSの発する“音”（作動音、制御音、ラトル音^{注3)}など）に対しても要求が厳しくなっている。

また、仕向地によっては、高温、低温環境下での

走行などにより劣化が促進されやすい。そこで、異音発生部位、発生レベル、発生原因を迅速且つ正確に掴む必要があるためこの試験装置を開発した。

注3) ギヤ部で発生する“歯打ち音”を言う。但し、原因が明確にならない場合は“打音”全般を言う場合もある。

3.4.2 装置の特徴

(1)車両走行状況のベンチでの再現

悪路走行時のタイヤ入力荷重実測値で加振することで、実走同等の異音評価がベンチで再現できる異音評価装置を開発した（写真6）。

[加振方法]

①ハンドル相当慣性板を入力軸に取付ける。

②加振機にてタイロッドを介して加振。

実走計測波形を高サンプリング周波数で取り込み可能にしたことにより、加振動作がより実車に近い動きで再現できるようになった。

また、製品の異音振動を忠実に再現するため、低フリクションシールシリンダを採用した。

これによりシリンダシールによる試験機側振動及びシリンダ摺動荷重をキャンセルした。



写真6 異音評価試験機

(2)計測の自動化

安定した計測結果を得るために、入力荷重が規定値へ自動的に調整されるフィードバック制御を制御プログラムに入れた。

更に、試験サンプルをベンチにセットしてから振動データ計測までを自動化した（写真7）。

(3)計測ばらつき低減と計測精度向上

入力荷重が規定値範囲内でなければ計測できない仕様になっているため、計測ばらつきも低減されており、繰り返し精度も向上している。

また、実車に於けるあらゆる環境下での異音評価をベンチにて再現できる様にするため、高温、低温環境下での評価試験も考慮されている。

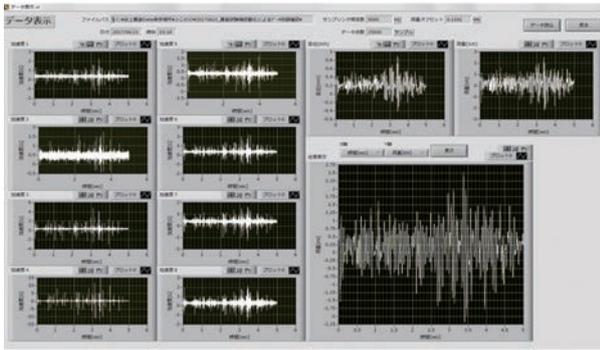


写真7 自動計測の画面表示

3.5 システム性能評価装置

3.5.1 開発の背景・概要

次期モデルへの当社製品の採用に向け、自動車メーカーに操舵フィーリング向上の提案をしている。現状では操舵フィーリングの評価はテストドライバーの官能評価に頼るしかないが、この感覚的な性能を定量化することを目的に、システム性能評価装置開発に取り組んでいる。

3.5.2 操舵フィーリングの定量化

ハンドル操作に対して操舵トルクまたは操舵角度の変化が滑らかに変化するか（不連続に変化していないか）など、ドライバーの感覚を定量化して評価することを目指している。

EPSのチューニングは、車両諸元やコンセプト、あるいは車両の仕向地などで要求が異なる。

昨今では運転のし易さに繋がる非常に微小な舵角での操舵フィーリングが課題になってきているがその一例として微操舵領域における切り出し時の“抜け感”^{注4)}を計測した結果を示す(図2)。

注4) ハンドルの切りはじめに於いて、車両が動き出す瞬間に操舵力が一旦軽くなる現象

3.5.3 装置の特徴

(1)微操舵領域の動作に対応

微操舵領域の特性評価では、入力装置の入力軸角度精度が非常に重要である。従来の入力装置（減速機を介して駆動する方式）では動作が不安定であったため、入力軸角度が安定せず“抜け感”の定量評価が困難であった。また、入力装置のモータ慣性やリップル等の影響もあり、繰り返し計測による“抜け感”波形にも差異が発生していた(図3)。

今回開発した評価装置では、入力軸にダイレクトドライブモータ直結タイプを使用したことで微操舵領域での動作安定性及び高精度な入力軸角度制御を可能とした。

(2)複雑な操舵パターンに対応

任意動作波形プログラムを導入し、実車計測した複雑な操舵パターンを高い動作精度で再現できるよ

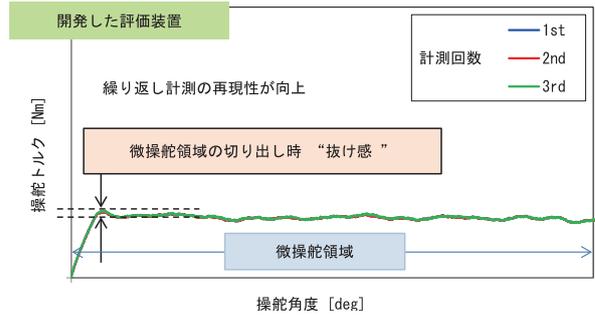


図2 “抜け感”波形及び繰り返し計測波形

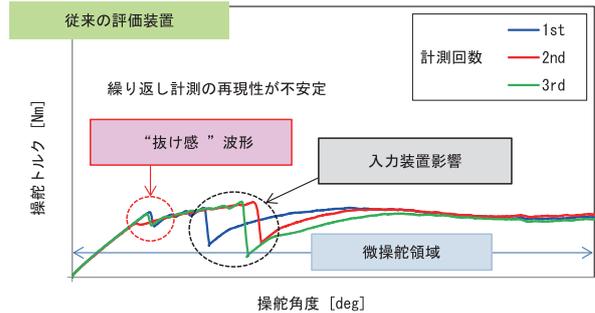


図3 従来評価装置による“抜け感”波形

うにした。

また、角度制御及びトルク制御に対応していることから、お客様からの様々な要求にも柔軟に対応することができるようになった。

(3)ステアリングシステム評価にも対応

ステアリングシステムでのベンチ評価を行えるように、定盤上に実車相当のレイアウト、入力装置、コラム取り付け架台、ステアリングギア取り付け架台、タイヤ相当負荷装置を自由に配置することが可能である(写真8)。

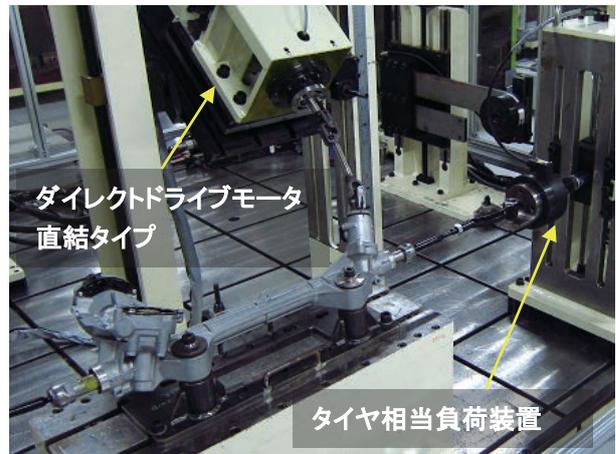


写真8 システム性能評価装置

これらのことより、従来では困難であった微操舵領域での切り出し時、抜け感などを高精度な試験動

作により繰り返しベンチで再現することが可能となり、製品性能向上に向けて迅速且つ正確な評価結果を設計部門へフィードバックできるようになった。

4 まとめ

本報で紹介したそれぞれの試験装置は、高い精度と再現性、高い効率を実現するために開発してきた。これによって、量産前の一連の評価試験を従来よりも短い期間で終わることができるようになり、且つ正確な試験結果を取得できるようになった。

これらは、より安全で、より安心な製品をお客様にお届けできることにもつながると考えている。

まだまだ課題は多いが、今後も製品開発と共に、

評価技術の更なる向上と開発に邁進して行きたい。

5 おわりに

本報ではEPS評価設備の開発に焦点を当てて実験部の取り組みを紹介させていただいた。

高い信頼性、高い性能の製品開発を行うためには、評価方法の開発や計測精度の向上が求められる。

私達は、自分たちの技術や知識のレベルを上げて実験部としての役割を全うしていきたいと考えている。

最後に試験機の開発に携わってくださった関係会社様、関係者各位、ならびにご指導、ご支援くださった方々にこの場をお借りして厚く御礼申し上げます。

著者



安藤 浩二

2011年入社。オートモーティブコンポーネンツ事業本部ステアリング事業部実験部。電動パワーステアリングの開発に従事。



室橋 淳夫

2011年入社。オートモーティブコンポーネンツ事業本部ステアリング事業部実験部。電動パワーステアリングの開発に従事。



藤掛 光彦

2011年入社。オートモーティブコンポーネンツ事業本部ステアリング事業部実験部。電動パワーステアリングの開発に従事。



堀 剛士

2017年入社。オートモーティブコンポーネンツ事業本部ステアリング事業部実験部。電動パワーステアリングの開発に従事。

次世代要求に応える電動パワーステアリングの開発

松村 亮一

1 はじめに

電動パワーステアリング(以下EPS)の需要は年々増加傾向にある。その市場規模は年間6千万台で、自動車生産数のうちEPSが搭載されている車両の割合は、60%に迫る勢いである。EPSの操舵フィーリングやアシスト出力等は、市場の主力であった油圧パワーステアリング(以下HPS)に対して劣ると言われ続けてきたが、需要拡大の背景にはその差を埋めるためのEPSメーカーの努力がある。

近年の電子制御技術の大きな進化は、自動車の高性能化をめまぐるしく推し進めている。電子制御でモータを駆動するため、HPSでは実現できない機能を付加できるという特徴を持ったEPSは、車両デバイスとの統合制御に優れ、貢献割合が高い。新たな機能を付加していくためには、EPSは不可欠なデバイスである。

今後もEPSの需要は増加の一途をたどる予測であり、EPS開発は激動期を迎えている。絶えずより良い製品を市場に投入するのは、我々技術者の責務であり決して現状に満足してはならない。本報では、次世代の要求に応えるべく開発を行ったEPS(写真1)について紹介する。

2 求められる次世代EPS

運転を楽しく安全に、低燃費で環境にやさしい車を実現するため、EPSに求められる性能は以下である。

- ①操舵性の向上
- ②製品の小型/軽量化
- ③安全性の向上

2.1 操舵性の向上

車を意のままにコントロールできた時、ドライバーは運転する楽しさを感じる。それは、気持ち良さや満足感といった感性で現れる。

ドライバーの意図した通りに舵入力をタイヤへ伝達する機能を持ったEPSが、車両にとっての理想的なデバイスであり、追い求める操舵フィーリングを実現する。

2.2 製品の小型化

新たな車両機能のためのデバイス増による搭載スペースの縮小や、燃費向上を目的としたお客様要求に対応するため、EPSの小型/軽量化が必要である。

2.3 安全性の向上

近年、車載電気電子システムのISO 26262規格準拠を求められており、自動運転を見据えた時にEPSシステムには更に高いレベルの安全性が要求される。



写真1 開発を行ったEPS

3 操舵性の向上

ラックバー（図1）が動きだすまでの力の伝達経路を分析し改善を行い、以下の部位に着目して、スムーズなラックバーの動きだしを実現した。

- ①ラック&ピニオン部
 - A) プレッシャパッドシート
 - B) プレッシャパッド弾性リング
- ②入力軸部
- ③減速機部
- ④制御によるチューニング

3.1 ラック&ピニオン部

A) プレッシャパッドシート

ステアリングホイール操舵入力は、ラック&ピニオン（以下R&P）噛合い部（図1）にて車両左右方向への力となり、ラックバーを摺動させる。如何にしてラックバーの動きを滑らかにするかが改善のポイントである。

R&P噛合い部には、プレッシャパッドと呼ばれる噛合いを保持するための部品が存在する。ラックバーとは樹脂製のシートで接触しており、ラックバーはシート上で摺動を行う。動きを滑らかにするため、摺動抵抗の低減を目的とした低 μ シート材を探し、テフロン製のシート材を選択した。過去、テフロン製シートの擦過による耐久性低下問題から、EPSではHPSで採用していたテフロン製シートを、耐摩耗性に優れたナイロン製シートに変更してきた経緯がある。ラックバーとの接触面積の見直し及び添加剤の変更による、耐久性と摺動性を備えたシートの採用により、狙いの操舵フィーリングへ近づくことができた。

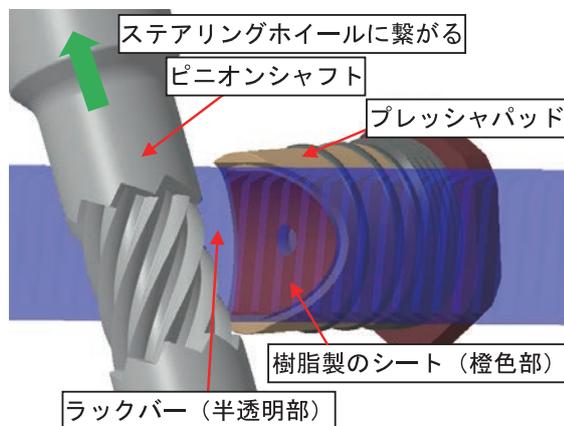


図1 R&P噛合い部

B) プレッシャパッド弾性リング

プレッシャパッドは、スプリング荷重を受けラックバーをピニオンシャフト側に押し付ける噛合いサポート（図2）の役割をもつ。これにより歯車間の摩耗に追従し、常にガタをなくす構造が成立する。プレッシャパッドをラックバーに追従させるという機能上、ハウジングとの間には、クリアランス（図3）を設ける必要があり、僅かではあるがプレッシャパッドがラジアル方向に動くことで、シートとラックバーとの接触変化が生じる。そこで、プレッシャパッド外周に弾性リングを設け、ラジアル方向に対する調芯機能を持たせることにより、操舵フィーリングの安定を実現した。

同時に弾性リングはハウジングとの接触音を和らげる役割も持っているため、異音防止の効果もある。

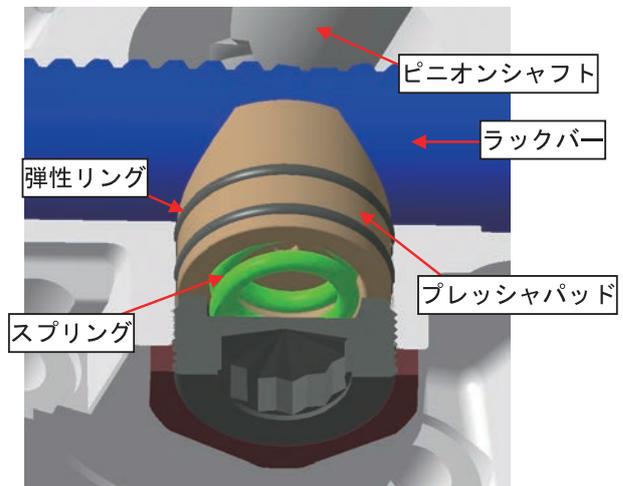


図2 噛合いサポート

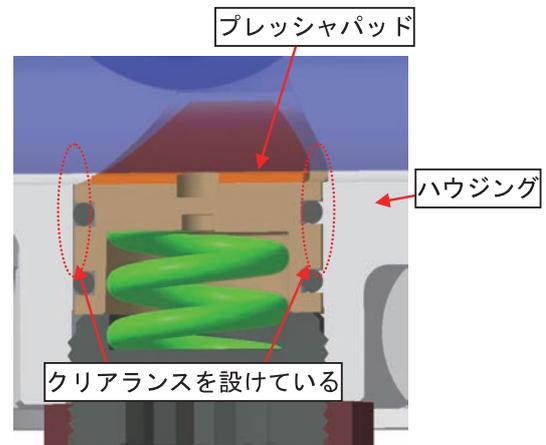


図3 プレッシャパッドーハウジングのクリアランス

3.2 入力軸部

EPSにはスタブシャフト、マグネット、トーションバ、リングカイロ、ブッシュ、ピニオンシャフトから構成された入力軸と呼ばれる部品が存在する(図4)。この入力軸はステアリングホイールからの舵力を受け取り、トーションバのねじれ角をトルクセンサで読み取るという役割を持つ。

舵力は、コラムシャフトとセレーション嵌合されたスタブシャフトに回転力として伝わる。スタブシャフトはトーションバを介して、負荷に応じた量だけピニオンシャフトと回転位相差を生じるが、回転力を正確に伝達するために、ブッシュと呼ばれるスタブシャフト軸受の見直しを実施し、伝達効率の向上を達成した。

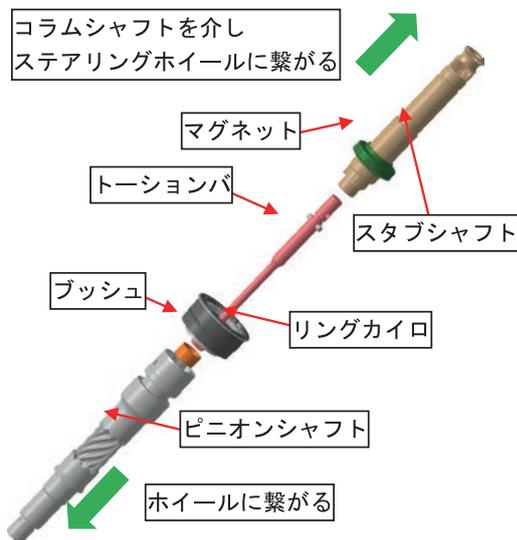


図4 入力軸展開図

3.3 減速機部

ウォームシャフト、樹脂ホイールからなる減速機部には、樹脂ホイールの摩耗や膨張などの歯車軸間寸法変化が生じた時に、噛み合い部バックラッシを均一に保つため、ウォームシャフト先端に樹脂ホイール方向に向かって、コイルスプリングにて付勢力を与えるノンバックラッシ機構(図5)を採用している。ノンバックラッシ部の反力(図6)は、操舵方向(右切り、左切り)により、生じる方向と大きさが異なる。方向、大きさの解析により、右切り時と左切り時の噛み合い反力の発生方向が釣り合う方向へ付勢力を与えるという構造の見直しを行い、左右差を解消した。

左右差とは操舵右切り時と左切り時の操舵力に差が生じることを意味する。操舵フィーリングに違和

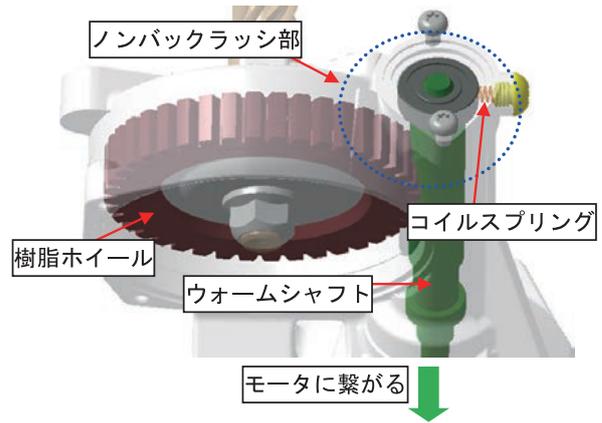


図5 ノンバックラッシ機構

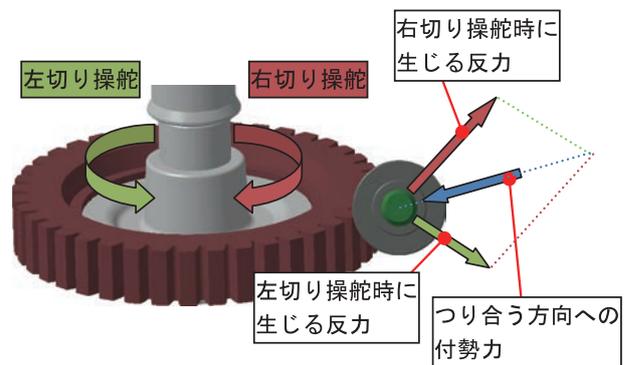


図6 ノンバックラッシ部に生じる反力

感を与えるマイナス因子である。

3.4 制御によるチューニング

EPSは電子制御によりさまざまな特性や操舵フィーリングを実現可能である。以下に性能向上に寄与する制御の一例を紹介する。

- ①アシスト制御 … 操舵力特性の決定
- ②位相補償制御 … 操舵時の発振防止
- ③ダンピング制御 … 微小な振動を抑制
- ④慣性補償制御 … 操舵応答性改善
- ⑤ハンドル戻り制御 … ハンドルの戻り特性改善

上記、各制御パラメータの調整により、車両に適した操舵フィーリングを実現できた。

4 製品の小型/軽量化

近年、小型化、軽量化を目標としたEPS開発の中でのトレンドはECUとモータの一体化である。これを、パワーパックと呼ぶ。電装技術の進化によりECUを大幅に小さくできたことで、パワーパックは実現した。これによりEPSの小型化、車両搭載性を大きく改善することになる。

パワーパックの構成として、EPSとの取り付け側

から見た時、ECUをモータ軸の後方に配置する後方配置タイプ（写真2）とモータ軸の前方に配置する前方配置タイプ（写真3）がある。両者の特徴の違いはECUの配置によるコネクタ設置箇所により、前者は同軸上にコネクタを設置できるため、径方向はスマートとなるが軸長は長くなる。後者はコネクタが径方向に張り出すため、径方向は大きくなるが、全長は短くなる。

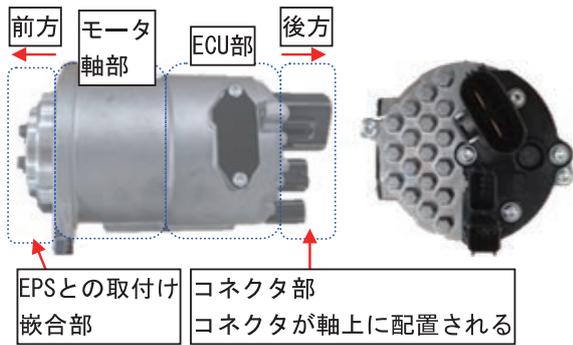


写真2 後方配置型パワーパック

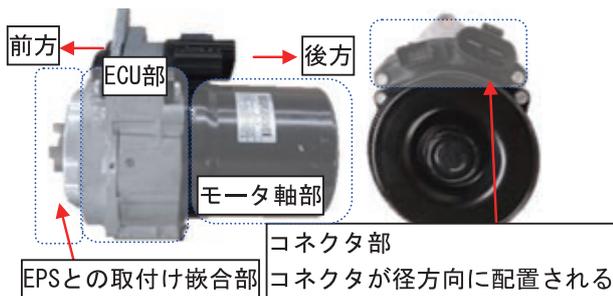


写真3 前方配置型パワーパック

どちらのタイプが車両搭載性に有利となるかは、車両レイアウト要求により異なるため判断はできないが、新規に後方配置型を開発したことで、様々な車両レイアウトへ対応できる選択肢が広がった。

5 安全性の向上

車載電気電子システムの安全性について、ISO 26262規格準拠を証明するためには、規格に基づいた社内開発プロセスを定義し、それに従い開発することが重要である。今回、開発した製品がお客様からの安全要求を満足することを、機能安全アセスメントにて確認した。アセスメントには、ISO 26262規格に基づいた約650項目のチェックリストを使用した。開発プロセスにおいて作成した設計および検証ドキュメントを用いて、チェックリスト全項目に対する妥当性を説明することにより、規格への準拠かつ安全要求を満たすことをお客様、取引先を含めた関係者全員で確認した。

6 おわりに

開発を行ったEPSが搭載された車両を試乗したジャーナリストの方々からの高評価や、エンドユーザーによる走行性能への感心の意見を頻りに目にする。その度に此度の開発がKYB製EPSのレベルを一段階上げ、求められる次世代EPSに近づくことができたことを確信する。今回の開発にご協力いただいたの方々に対しこの場を借りてお礼を申し上げたい。

著者



松村 亮一

2012年入社。経営企画本部経営企画部。ステアリング事業部ステアリング技術部を経て現職。ステアリング技術部では電動パワーステアリングの設計、開発に従事。

製品紹介

商用車向けPS用高圧アルミベーンポンプ『4KT5』の開発

塩 崎 浩

1 はじめに

KYBは、油圧パワーステアリングシステム（以下HPS^{注1)}）の油圧源であるベーンポンプ（以下PSポンプ）を、乗用車向けを中心に、グローバルで年間200万台の生産規模でビジネス展開している。

KYBの主力モデルの第4世代PSポンプ4K型^{注2)}は、国内外の自動車メーカーで採用されている。しかし、1990年頃から、乗用車では省エネルギー化のために、電動パワーステアリングシステム（以下EPS^{注3)}）が採用されてきた。そこで、今後もHPSの採用が続くと考えられる商用車市場向けへのビジネスモデルの転換のため、4K型（用語解説「KYB製PSポンプのラインアップ」p. 52参照）の高圧力化・大容量化を推し進めてきた。具体的には、4KS2, 4KL, 4KL2, 4KL3, 4KL5などがこれにあたる（表1）。

今回、欧州メーカーへ売込む製品の必要性から、他社製品と同じ取付形状の『4KT5』を開発した。この4KT5の開発で他社製品からKYB製への置換えが可能となった。本報では、その概要を紹介する。

注1) Hydraulic Power Steeringの略。

注2) アルミ製ボディのPSポンプ。

注3) Electric Power Steeringの略。

2 開発の背景

2.1 KYBの商用車用PSポンプの課題

大型商用車の仕様をカバーできるPSポンプとして4KL5がある（表1）。しかし、4KL5は現在、欧州で採用メーカーが多い他社製品とエンジンへの取付部形状が異なるため欧州メーカー向け採用の障壁となっていた。

具体的には、4KL5のフローコントロールバルブ（以下フロコン）^{注4)}がシャフト軸方向に対し直交する配置である（図1）。その結果、4KL5ではエンジンへの取付位置によってはフロコンと干渉する。これに対し、他社製品はフロコンがシャフト軸方向に対し平行の配置のため、取付位置とフロコンが干渉しにくい。

また、欧州商用車メーカーから4KL5の仕様を超える引合いがあり、これに対応できる仕様を目標とし、新たに4KT5を開発することになった。

注4) Flow Control Valve（流量制御弁）。

2.2 4KT5の狙い

中・大型商用車向けのPSポンプとして4KT5を設計するにあたり、開発の狙いを以下に示す。

2.2.1 欧州商用車メーカー向け

商用車用PSポンプはエンジンに直接取り付けら

表1 KYB製PSポンプのラインアップ

ポンプ型式	乗用車および小型トラック向け					中・大型トラック向け			
	4KS	4KW	4KS2	4KL	4KL2/3	4KL5	BB	1K	
ボディ素材	アルミニウムダイカスト合金						鉄鋳物		
基本吐出量 [cm ³ /rev]	Max. 9.6	Max. 9.6	Max. 11.2	Max. 14.0	Max. 15.0	Max. 23.0	Max. 32.5	Max. 20.0	
リリース圧力 [MPa]	Max. 12.0	Max. 11.8	Max. 12.8	Max. 12.8	Max. 15.0	Max. 20.0	Max. 14.7	Max. 13.7	
制御流量 [L/min]	Max. 9.0	Max. 8.5	Max. 11.5	Max. 12.0	Max. 16.0	Max. 23.0	Max. 30.0	Max. 20.0	

れることから、レイアウトの要件が厳しく、レイアウトの成立性が重要である。今回、欧州商用車メーカーで採用されている他社製と同等の取付形状とすることで、レイアウト性も他社同等とした。

2.2.2 低コスト化

素材費・加工費低減のためアルミダイカスト製ボディ、焼結材カムリングを採用し、既存のPSポンプ生産設備を有効活用する。

2.2.3 大容量化・高圧力化

最大圧力22MPa、最大基本吐出量28cm³/revを目標とした。

既存の4KL5のカムリング・ロータを流用し、部品共用化を図る。更に、カムリング厚み方向の長さを伸ばし大容量化を図るとともに、カムリングの吸込部形状見直しにより高圧力化に対応する。

3 基本仕様, 構造, 特徴

3.1 4KT5の基本仕様と構造

4KT5の基本仕様および構造を示す(表2, 図1)。

表2 4KT5基本仕様

ポンプ型式	4KT5		
ボディ素材	アルミニウムダイカスト合金		
基本吐出量 [cm ³ /rev]	~ 17.0	~ 25.0	~ 28.0
リリーフ圧力 [MPa]	Max. 22.0	Max. 20.0	Max. 18.5
制御流量 [L/min]	Max. 20.0	Max. 25.0	

なお、開発にあたり、以下を配慮した設計とした。

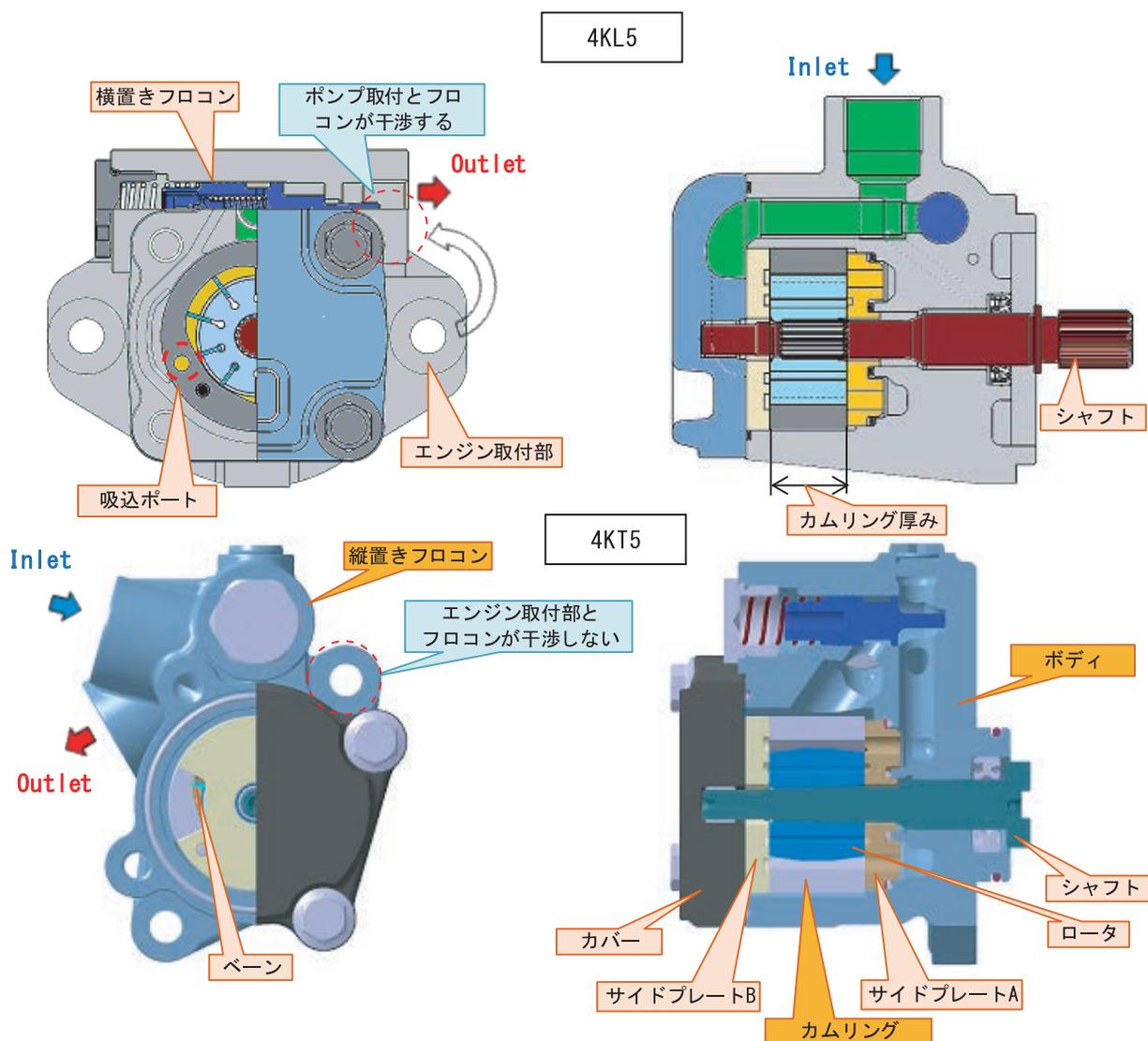


図1 ポンプ構造

3.2 各部品の高圧力仕様化

3.2.1 ボディの耐圧性確保

コスト低減のため、切削代低減可能なアルミダイカストを採用する必要がある。また、高圧化(22MPa)に対応するため熱処理で強度を向上した。

また、ボディ内部の高圧室及び吐出油路の耐圧性を満足させるために、油路形状をFEM解析により最適設計し、ポンプ内部応力の低減を図り、耐久性を確保した(図2)。

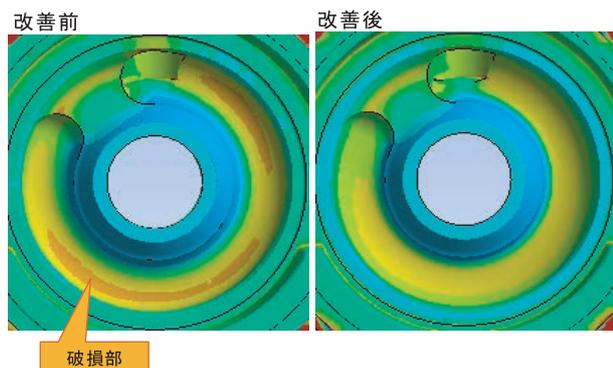


図2 ボディ強度検討結果

3.2.2 内蔵部品の高圧力仕様化

内蔵部品のカートリッジAssy^{注5)}において、カムリングはベーンからの押付け力を受けるが、高圧化することで、押付け力が上昇するため、カムリングの焼付・摩耗が懸念される。今回、ベーンリフト量を低減し、カムリングとベーン先端のPV値を低減することで焼付防止とした。

注5) カムリング・ロータ・ベーンで構成する。シャフトに嵌合されたロータが回転することで、ベーンは半径方向に飛び出し、カムリング内周面に沿ってしゅう動する。その際の内部容積の増加・減少により、作動油の吸込みと吐出しを行う。

従来、4KL5はボディから吸込んだ油をカバーの中子を経由してベーン室へ導いていた。吸込性向上のため、カバーからサイドプレートA側へ油を送り込む吸込ポートをカムリングに設定していた。

今回、4KT5では吸込み油路が変更された。縦置きフロコンの採用により、ボディから吸い込んだ油をカムリング外周を経由してベーン室へ導く構造となった(図3)。

このため、カムリングに設定していた吸込ポート(図4)が不要となった。カムリング強度向上のため、吸込ポートを廃止し、肉厚を確保して応力を低減することで高圧化による破損を防止した。

この結果、4KT5の高圧仕様(22MPa)においても、カムリングの材質として焼結材を使用することが可能となった。

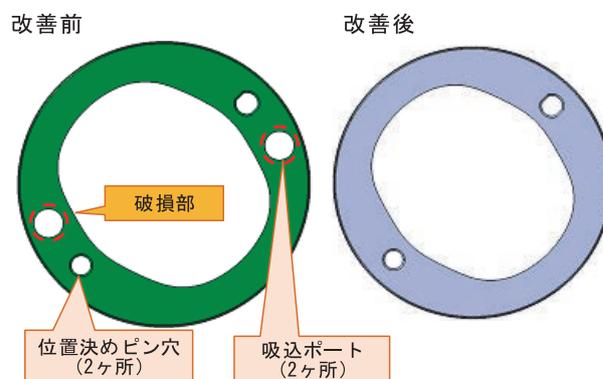


図4 カムリング形状

3.3 高効率化

ポンプを高圧化すると、内蔵部品のロータ・サイドプレート間で焼付きが発生しやすくなる。これを防止するためにロータ・サイドプレート間のクリアランスを拡大する必要がある。この場合、高圧時に

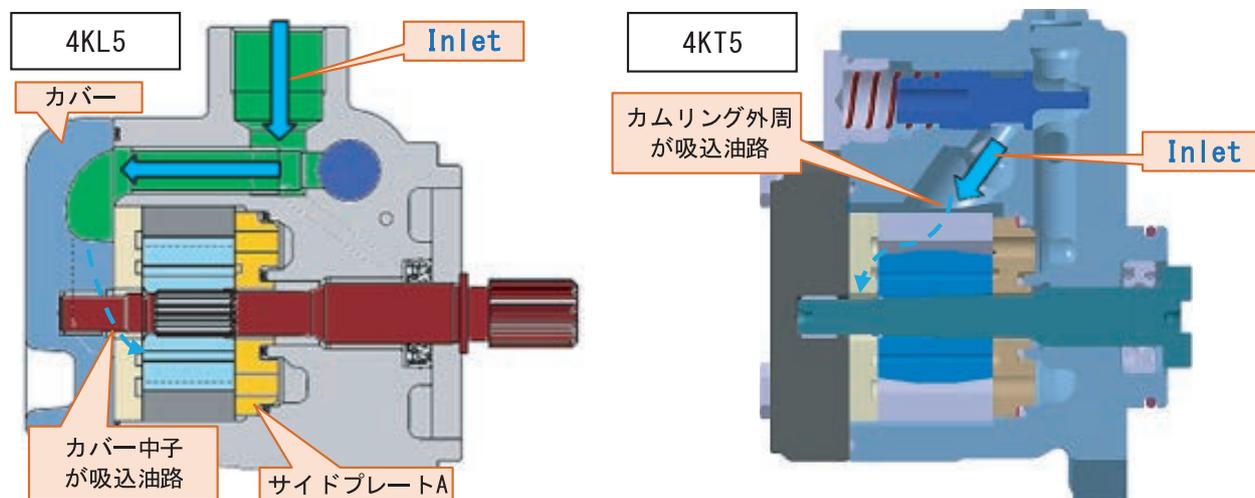


図3 吸込油路形状比較

容積効率が低下する傾向にある。

4KT5ではポンプの省エネルギー化のため、高圧時でも高効率を維持できる構造とした。その結果、他社品に対して最大20%の容積効率が向上した（図5）。

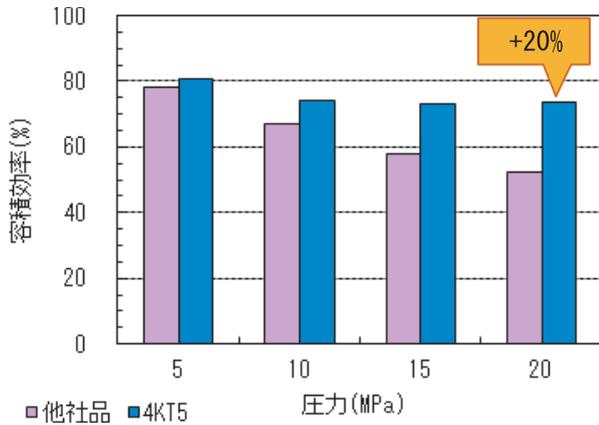


図5 容積効率比較 (500rpm, 80°C)

3.4 低騒音化

高圧化による弊害として低回転、高油温の条件下で騒音が増加する問題がある。騒音対策のため高圧時の騒音増加のメカニズムを解明した。

ポンプ室内圧の実測と周波数解析を実施し、騒音低減の対策を行った。この結果、他社品に対し騒音を低減することができた（図6）。

3.5 PSポンプ駆動方式と軸受方式

商用車メーカーからの要望に対応するため、ギヤ、カップリング等の様々な駆動方式に対応できるように、すべり軸受け、転がり軸受けタイプの両方を設定した。

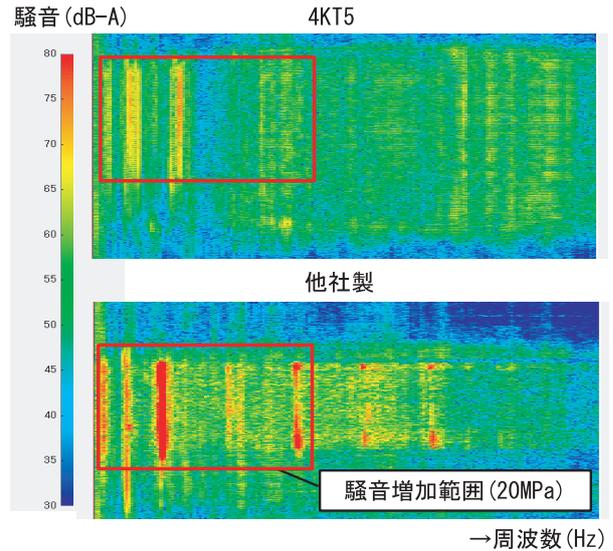


図6 騒音比較 (500rpm, 120°C, 20MPa)

4 おわりに

中・大型商用車向けのPSポンプの4KT5の開発が完了した。4KT5は欧州商用車に対応可能な取付形状で高圧・大容量を成立させ、他社品に対して高効率、低騒音を達成できた。また、アルミダイカスト製ボディ、焼結製カムリングの採用によりコスト低減を図った。

最後に、本プロジェクトに携わった全ての関係者の方々に、この場を借りて厚く御礼申し上げます。

— 著 者 —



塩崎 浩

1997年入社。オートモーティブコンポーネンツ事業本部ステアリング事業部ポンプ技術部。パワーステアリング用ベーンポンプの設計、開発に従事。

用語解説

「KYB製PSポンプのラインアップ」

「商用車向けPS用高圧アルミベーンポンプ『4KT5』の開発」(p. 48) に記載

AC事業本部ステアリング事業部ポンプ技術部 宮崎 晴光

1 PSポンプラインアップの主な型式

KYBは、油圧パワーステアリング（PS）用ベーンポンプとして以下に示すラインアップをもち、お客様のご要望にお応えしています。主な型式と特徴について紹介します。

1. BB

大～中型商用車向けの鋳鉄製大容量・高圧モデルです。「Bottle Bottom」の名が示す通り、丸い瓶底のような形状をしています。1970年代後半から約40年生産が続いています。

2. 1K

小～中型商用車向けの鋳鉄製高圧モデルです。1980年代前半から生産されており、この後に続く「K」シリーズのオリジナルです。

3. 3K

1Kをベースに商用車向けに小型化した鋳鉄製

モデルです。

4. 4K2

ボディをアルミ製にした乗用車向けモデルです。世界で初めてアルミダイカストのボディを採用しました。

5. 4KS（“S” mall/“S” tandard）

カバーもアルミ製にした乗用車向けモデルです。海外拠点でも生産されているスタンダードモデルです。

6. 4KW（“W” orld No. 1）

専用的高速生産ラインで生産される大量生産向けアルミ製モデルです。

7. 4KL（“L” arge）

欧米メーカーのSUVなど中～大型乗用車向けに吐出量を大きくしたアルミ製モデルです。

8. 4KL3

中型商用車向けに高圧化対応したアルミ製モデルです。

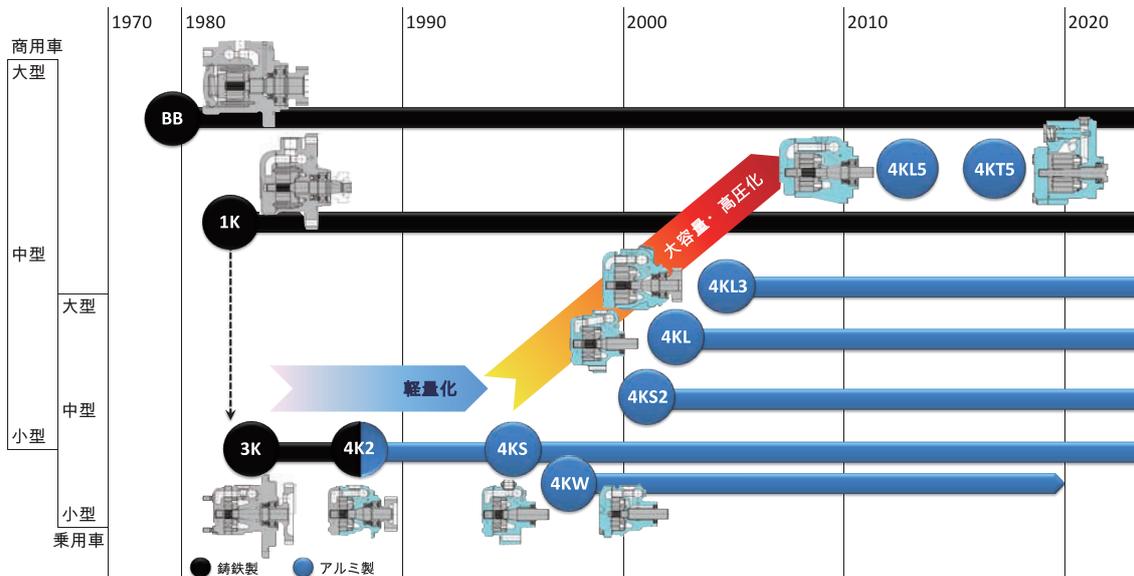


図1 PSポンプのラインアップ年表

製品紹介

20t系ショベル走行用油圧ピストンモータの開発 MAG-170VP-4000H

杉本潤一郎 ・ 阪井祐紀

1 はじめに

近年環境意識の高まりにより省エネ化の要望は年々増えており、建設機械業界では排ガス規制・省エネ対応機の開発が進んでいる。

これまでは油圧システムを中心とした省エネ技術開発が主となり、各アクチュエータの省エネ製品開発は進んでこなかった。

今後更なる省エネ化が進む中でエンジン出力動力をいかにロスなく有効活用することが課題となる。

エンジンサイズは走行時の消費動力により決定される為、走行モータの効率向上によりポンプ出力動力を低減させ、燃費低減が可能となる高効率モータの開発が必要となってきている。加えて、近年作業環境の多様化により過酷な環境での使用頻度も多く、耐久性向上も求められている。

本報では、効率性能を向上した20t系ショベル走行用油圧モータを開発したので、その構造・仕様・効率について紹介する。

2 市場要求

2.1 省エネ化要求

20t用系ショベルの2速モード（高速走行）での定常走行時（低圧・最大流量時）の消費エネルギー内訳を図1に示す。

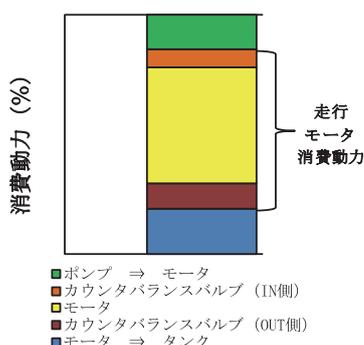


図1 消費動力エネルギー内訳

実機車両の配管等の損失を含めた消費動力を100%とした場合、走行モータの消費動力は約65%を占めており、ポンプ出力動力低減させるには走行モータの効率向上が必須となる。

3 製品仕様

3.1 本開発製品の要件

本製品はクローラ用ケース回転型減速機付き油圧モータで、制御バルブ部、斜板式ピストンモータ部、減速機部の3つのユニットから構成されている。図2に本製品の外観、図3に断面構成を示す。

本製品は、市場要求（省エネ対応・耐久性向上）に対応したフルモデルチェンジ製品であり、開発要件は以下の通りとした。

- ①従来製品に対して機械効率8.0%以上向上。
(競合他社を上回る機械効率向上の達成)
- ②従来製品に対してヒートバランス性能向上。
- ③効率向上達成のため、新評価計算技術、摺動特性の確保技術、加工技術確立。
- ④従来製品との取付け互換可能であること。
- ⑤フローティングシールの耐シール性向上。



図2 本製品の外観 (MAG-170VP-4000H)

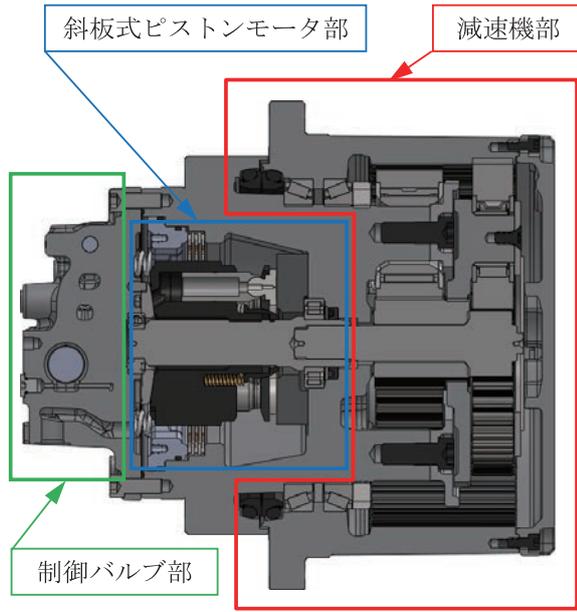


図3 走行用油圧モータ断面

3.2 本製品の仕様

本製品の仕様を表1に示す。最高圧力、最高回転数は従来製品仕様を維持。最大出力トルクは作業環境の多様化に対応可能な設定とし、従来製品(MAG-170VP-3800Gシリーズ)の約5%向上、最大モータ容積は最高圧力にて最大出力トルクが可能となるように、192.7cm³/revに設定とした。

表1 製品仕様

最大モータ容積	cm ³ /rev	192.7
減速比		43.240
減速機構成		単純遊星2段
モータ最高回転数	rpm	2700
最高仕様圧力	MPa	34.3
最大出力トルク	kN・m	39.2
製品重量	kg	265
駐車ブレーキ機能		標準装備
駐車ブレーキトルク	kN・m	25.1
リリースバルブ		ショックレス機能付き
変速機構		標準装備 ^{注1)}

注1) 自動変速機能とマニュアル変速機能の選択可能。

4 効率性能向上の技術課題

4.1 効率性能について

一般的に油圧ピストンモータの効率には、容積効率と機械効率(トルク効率)があり、容積効率は各

摺動部の漏れまたは圧縮損失も含まれる実回転数に対して、理論回転数の比を表し、機械効率は摺動部の摩擦損失や回転体の油中攪拌抵抗や各油路の管路損失による実出力トルクと理論出力トルクの比を表している。

ポンプ出力動力の低減(=燃費低減)に寄与する効率は全効率であり、“容積効率×機械効率=全効率”の関係で表される。従来製品(MAG-170VP-3800G)の効率線図を図4に示す。

消費動力損失を効果的に低減するには、走行頻度の高い定常走行域(低圧・高速回転)(下図の赤枠)での効率向上が必須となる。

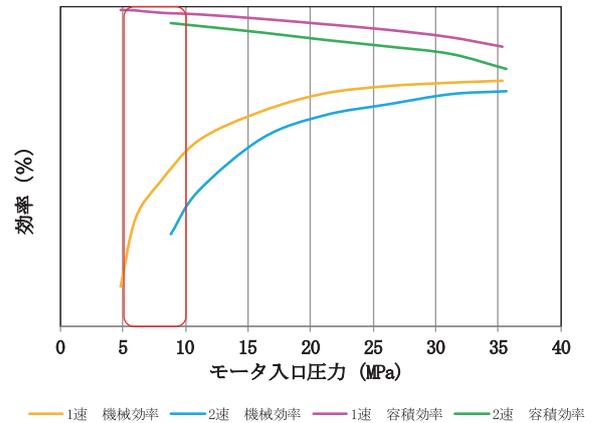


図4 従来製品の効率線図

4.2 効率向上について

従来製品(MAG-170VP-3800G)の各部位での消費動力を部位別に分けたグラフを図5に示す。

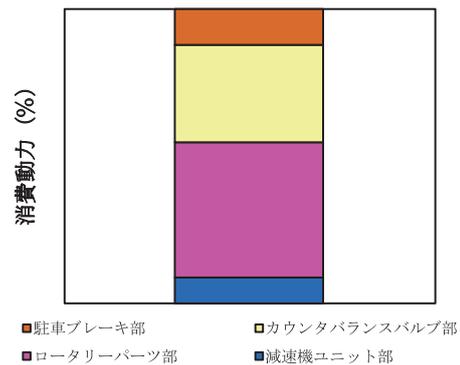


図5 走行モータの消費動力

ロータリーパーツ、カウンタバランスバルブ部の割合が全体の約80%占めており、図4より消費動力の大半が機械効率部分での損失であることから、これらの部位の機械効率向上に的を絞ることにした。

5 油圧ピストンモータの設計

5.1 球面ロータリーパーツの採用

ロータリーパーツは油圧ピストンモータの根幹であり、設計により効率性能・耐久性・ロバスト性を左右する重要部位となる。走行用油圧ピストンモータに求められる仕様として、傾斜地での急操作時に発生するサージ圧に対する耐圧性、高速回転による耐焼付き性、効率性能の安定性であり、これらに対応可能な設計が必要となる。従来製品では、平面ロータリーパーツを採用に対して、本製品は効率性能向上を目的に球面ロータリーパーツを採用した。

球面ロータリーパーツとは、図6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（以下C/B）と球面接触するように設計したものである。

本製品は、耐圧性・耐焼付き性は従来製品と同等レベルの維持を目標とし、効率性能向上に着目した最適設計を目指した。

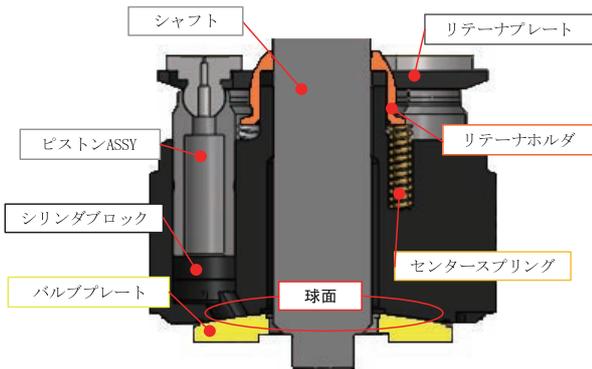


図6 球面ロータリーパーツの断面図

圧力負荷状態によりシャフトのたわみ量が変化し（C/Bの姿勢も変化する）、C/BとV/Pの接触当り（接触径）も変化することに着目した。

C/BとV/Pの球径に差（C/B球径>V/P球径）を設けることで高圧力負荷時のシャフトたわみ量が大きくV/P外側へ強い接触当りを緩和でき、低圧力負荷時のシャフトのたわみ量が小さくV/P内側の接触当りにより摺動摩擦トルク損失を低減し、機械効率を向上させることが可能となる。但し球径の差によりC/BとV/P間には隙間が生じるため、隙間からの漏れが増加し容積効率を低下させてしまう。容積効率の低下を抑えつつ機械効率を向上させるためにはシャフト剛性にあった球径・球径差の最適化が必須となる。

通常では最適化検証には膨大な時間と費用を要するため、図7に示すようなモデル化し、任意の回転

角度での各部位の作用力を算出する解析プログラムを構築して、設計の効率化を図った。

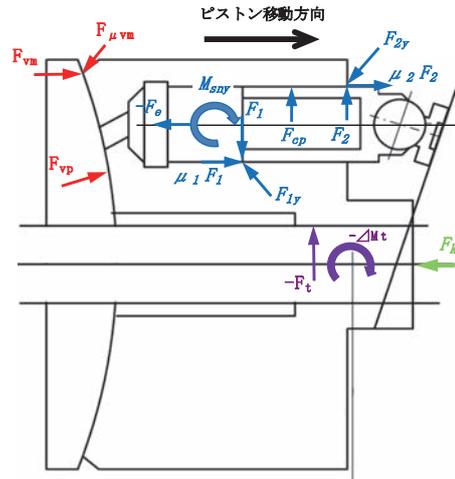


図7 油圧バランス計算モデル図

各部位の寸法と圧力条件を入力して、C/BとV/Pのみの効率を算出し、上記のモデルにて実施した解析結果を図8に示す。

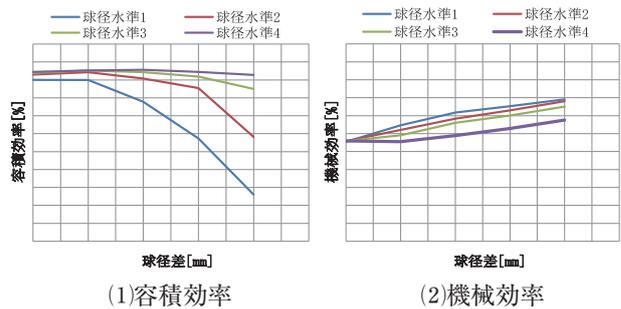


図8 球径差と効率の関係

球径が小さく、球径差が大きくなるにつれて容積効率は低下し、逆に機械効率は向上する。本モデルを用いて最適化を図り、容積効率の低下をさせずに、機械効率向上を実現させた。

5.2 カウンタバランスバルブの変更

図1に示したようにカウンタバランスバルブ（以下カンバラ）の消費動力は、全体の約18%占めており、カンバラによる機械効率向上案にも取り組んだ。

カンバラスプールでの機械効率向上には、作動油の通過圧損を低減させるため、カンバラスプールのフルストローク時の最大開口面積を拡大することである。ストローク量を変えずに最大開口面積だけを拡大すると急激な開口特性となり実機の操作性悪化の要因になりやすい。急激な開口特性を避け、微操作域で従来製品と同等の開口特性を確保するため、カンバラスプールの最大ストローク量を約20%拡大し、最大開口面積を約45%拡大させている。

本製品と従来製品のカンバラ開口特性線図を図9に示す。

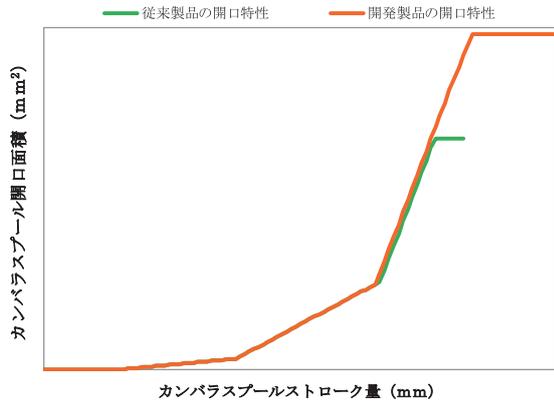


図9 カンバラ開口特性線図

5.3 本製品の効率性能

これまでの機械効率向上案を採用した本製品(MAG-170VP-4000Hシリーズ)の効率線図を図10に示し、従来製品との比較した効率線図を図11に示す。

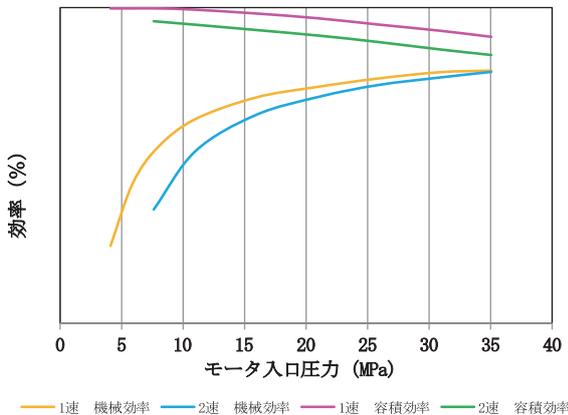


図10 本製品の効率線図

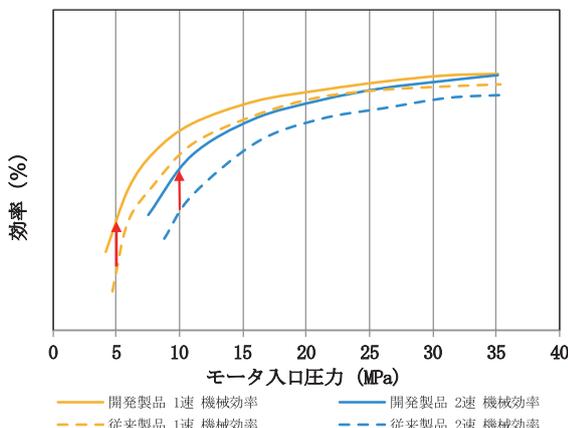


図11 効率比較線図

本製品では、従来製品比で使用頻度の高い定常走行(矢印部)において、機械効率は約9.0%の向上、ポンプ出力動力換算で約11.4%低減する結果を得た。

定常走行時のモータ出力動力を同条件でのポンプ出力動力比較したグラフを図12に示す。

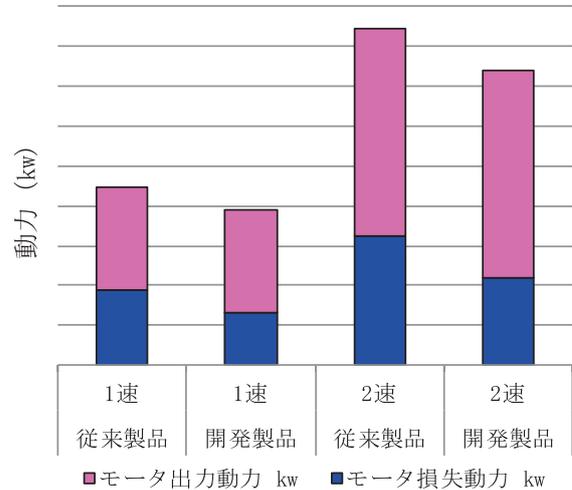


図12 ポンプ出力動力の比較

6 減速機ユニットの設計

6.1 高出力化技術

本製品で高出力化の仕様を満たすために、採用した内容の一部を以下に説明する。

(1) 歯車強度

部品点数削減(従来コスト維持)として遊星減速機の2段目の歯車数を4個から3個に変更している。

歯車数を減らすと1個当たり入力荷重は33.3%増加する。加えて5%の高出力化させるには、歯車1個当たりの入力荷重は39.7%増加する。歯車強度を確保するには、歯車モジュールアップが必要となる。

従来製品と同じ外径寸法と減速比を可能にするためには、歯形状・圧力角・転位・歯幅などの歯車緒元の見直しが必要となる。歯車緒元の最適化を図ることで従来製品と同寸法を維持し高出力化を可能にした。従来製品仕様(出力トルク、出力回転数)の場合、減速機歯車寿命が従来比で約1.4倍向上を実現した。

(2) 歯車軸剛性

歯幅を大きくして、机上の歯面強度が向上しても適正な噛み合い状態にならないと歯面損傷(ピッチング損傷等)は発生する。適正な噛み合いを確保するには歯車の歯筋方向クラウニングだけではなく軸剛性が重要な要素となる。

歯車数削減と5%の高出力化により軸への入力荷重は39.7%増加する。軸剛性を上げ、歯面の耐久性

を確保するために、フランジ（モータケース）とホルダ（歯車軸）を一体化したフランジホルダ構造の採用とプレートの追加と締結方法を変更することで従来製品より軸径を小径化しても適正な噛み合い（歯面強度確保）が可能な軸剛性を確保した。本構造を採用した遊星2段目構成図を図13に示す。

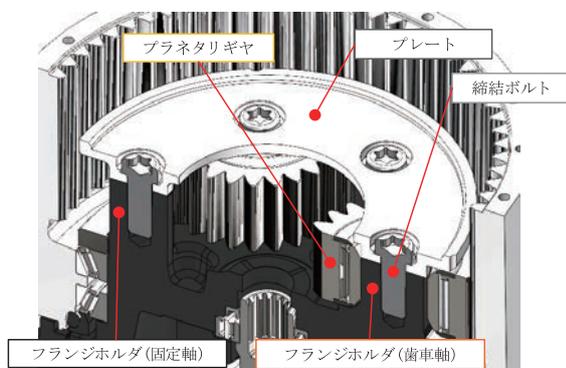


図13 遊星2段目の構造断面図

(3)歯車軸受け

軸への入力荷重が39.7%増加するのに伴い高負荷容量型の軸受けの採用は不可欠となる。但し、高負荷容量軸受けは、軸受サイズが大きくなり製品寸法内に収まらなくなる。そのため特殊なニードルクラウニングの採用や樹脂保持器を採用することで、高出力仕様でも従来の耐久性を有している。

6.2 スプロケット軸受けの設計

高出力化による歯車強度・軸剛性の確保に伴い、フランジホルダ構造を採用した結果、スプロケット軸受けの断面を小型化する必要がある。そこで薄型断面のテーパローラ軸受けを採用した。図14に薄型テーパローラ軸受けを示す。



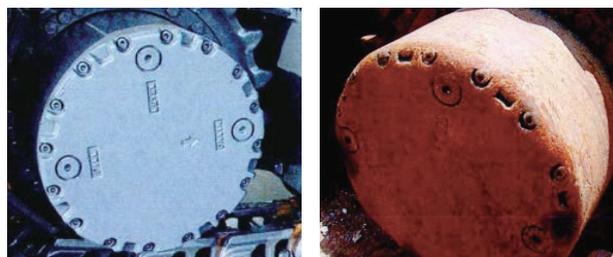
図14 薄型テーパローラ軸受け

従来製品のアンギュラー玉軸受に対して、ラジアル方向変位で2.8倍、アキシャル方向変位で1.3倍の軸受け剛性を確保している。それにより外部入力荷重変動に対して適正な歯車の噛み合いを確保し、フ

ローティングシール部の変位を抑え、シール性能を向上させている。

6.3 減速機ユニットの強化

冒頭で述べた作業環境の多様化により過酷な環境下での使用頻度も多くなっており、走行モータの外観部や締結ボルトが損傷を受ける頻度も多くなっている。図15に減速機カバーの写真を示す。



(1)新品減速機カバー (2)稼動品減速機カバー

図15 市場稼動品の減速機カバー

このような使用環境下でも油漏れが発生しにくくするため、減速機カバー外周部の厚みを増やし、締結ボルトを保護する形状への変更に加えて締結数を16本→20本に増すことで強化を図った。

本製品の減速機カバー外観を図16に示す。



図16 減速機カバー外観

7 今後の展望

本製品では使用頻度の高い定常走行領域にて従来製品比約9%の機械効率向上と11.4%のポンプ出力動力を低減することができた。

今後、省エネ化に対するニーズはますます高まると考える。これまでに多種多様な油圧ポンプ・モータを開発、生産してきたノウハウを生かし、更に高い要求にいち早く対応可能な製品開発を行い、常に市場要求に応えられる高性能、高品質な製品を世に

送り続けていきたいと考える。

本製品は、既に量産が開始されお客様への納入を開始している。

最後に、本製品には設計・生産技術のノウハウが

多数盛り込まれており、その技術開発に当たり、関係各位の多大なるご支援、ご協力に心より感謝申し上げます。

著 者



杉本 潤一郎

2000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相模油機技術部ポンプ・モータ設計室専任課長。油圧モータ製品の開発に従事。



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相模油機技術部ポンプ・モータ設計室。油圧モータ製品の開発に従事。

製品紹介

家具転倒防止ダンパの開発

哇 将 也

1 はじめに

近い将来、首都直下型地震や南海トラフ地震などの大地震が高確率で起こると言われている。そのため建物の耐震化は多く普及してきた。しかし家具の固定については、家具転倒の危険性は認知されているものの、「家具や壁に傷がつく」、「効果がないのでは」などの理由により、実際に対策している人は多くない。

東京消防庁の調査¹⁾によると、近年発生した大地震での負傷原因の30～50%は家具類の転倒、落下や移動によるものと報告されている。そのため家具類による負傷や二次的被害を防ぐには、転倒・移動防止対策が非常に大切である。

一般的な転倒防止器具にはL字金具、チェーン式、ベルト式など家具と壁を固定するタイプや、ポール式など天井と家具を突っ張るタイプがある。しかし、それらの転倒防止器具は震度6強以上の大きな地震ではあまり効果が無いことが分かっている。また家具と床や壁などを完全にアンカー固定した場合には設置や取り外しの施工に多額の費用が必要になる。

そこで、KYBではコア技術である制振技術を活かし、ダンパを用いた転倒防止器具の開発が社内プロジェクトから始まった。本報ではその家具転倒防止ダンパの開発品について紹介する。

2 製品仕様

2.1 製品概要

本製品は、写真1のように1台の家具に対して2本のダンパを取り付ける。家具奥側の両端の天板と天井の隙間に傾けて取り付け、家具の転倒を防止する器具である。通常はダンパ内部のバネによる反発力で本製品を固定（設置）している。地震が発生し家具が転倒しようとする時、ダンパの縮み方向で油圧による減衰力が働き、家具の転倒を防ぐことができる。



写真1 家具転倒防止ダンパ外観

2.2 家具転倒防止のしくみ

本製品は静止時と伸長時にはスプリングによる反発力のみ、圧縮時には反発力と油圧による減衰力が働く構造となっている。家具転倒防止のしくみを図1に示す。

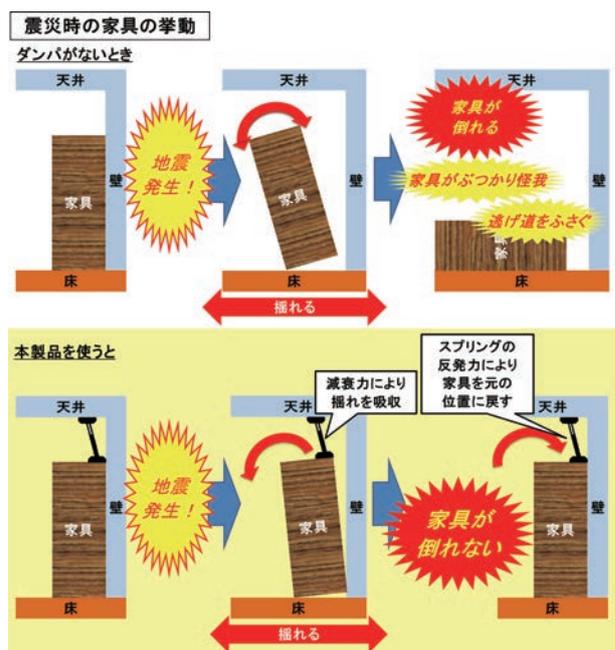


図1 家具転倒防止のしくみ

静止時は、60～140N程度の比較的小さめの反発力で家具を固定することができる（反発力は設置後のダンパを縮めている量によって変化する）。地震時に家具が転倒しようとする時、圧縮方向で減衰力が働き、家具の転倒を止めることができる。家具が元の位置に戻ろうとすると、反発力で瞬時に伸びるので、その手助けをする。

ダンパ軸部と台座の接合部は既存のポール式と異なり、回転可能なピン接合となっている。そのため家具の傾きに伴い台座が追従してずれない機構であり、安定した挙動に寄与している。

2.3 製品構成

製品構成を図2に示す。本製品は傾けて設置するため、台座シートには摩擦係数の高い材質を使用している。角度調整ブラケットにダンパを接触させて取り付けることで、適切な角度（垂直方向に対して約17°）での取り付けを容易にしている。

圧縮バンドは取り付けを補助するため、ダンパを縮めた状態に保持している。取り付け時に切断することで、反発力によりダンパが伸びて、自動的に天井と家具天板の隙間に設置することができる（設置後に圧縮バンドは取り外す）。



図2 製品構成

2.4 適用範囲

2.4.1 製品バリエーション

本製品の高さ方向の使用範囲を表1に示す。各使用範囲の設置高さは、家具天板と天井の隙間の垂直距離である（図3）。

2.4.2 家具と壁の隙間範囲

本製品は背面に壁がある家具にのみ対応する。対応できる家具と壁の隙間範囲は、ダンパの作動ストローク範囲を超えないようにするため、3cm未満としている（図4）。

表1 高さ方向の使用範囲

製品型式	設置高さ [cm]
PD16-43	43～50
PD16-50	50～60
PD16-60	60～74

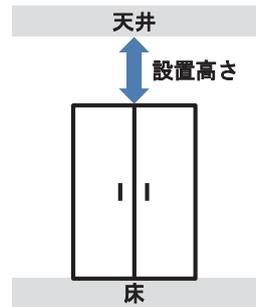


図3 使用範囲の設置高さ

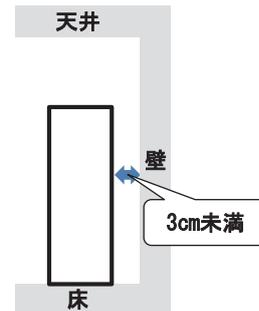


図4 家具と壁の隙間範囲

2.4.3 設置可能な天井

軽量鉄骨製または木製野縁と石膏ボードなどの面材で構成される天井に設置する。

使用できる天井は面材（石膏ボード等）が留められているビス・釘が確認でき（クロス張りで隠れている場合もある）、かつ台座位置を指で押して、目に見えて凹まない天井である。

使用できない天井は羽目板天井、システム天井（面材が枠に置いてあるだけの天井）、強度の弱い構造の天井、水平ではない天井である。

2.4.4 設置可能な家具

使用できる家具は十分な強度があり、家具天板が水平で、安定して設置されている家具である。

キャスター付きなどの不安定な家具には使用できない。

2.4.5 床について

フローリング、たたみ等、材質に制限はない。フローリングやタイル仕上げ等の滑りやすい床面には、横滑り防止のために同梱の滑り止めシートを家具底部の前側両端に設置することで、効果の低下を防ぐことができる（図5）。

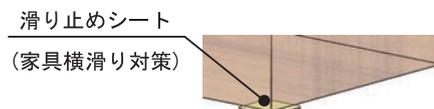


図5 滑り止めシート

2.5 ダンパ仕様

本製品のダンパは自動車にも用いられているステアダンパをベースに、ピストンロッドを上側（天井側）にして取り付け、圧縮側にのみ減衰力が発生する構造とした。ダンパの簡易的な内部構造を図6に示す。自動車用ステアダンパの反発力は一般的に内部の窒素ガスによって発生させるが、本製品では窒素ガスの代わりに金属バネを使用している。理由は長期使用によるガス圧（反発力）低下を防止するためである。

また自動車用ステアダンパと異なり、ストローク範囲は常にピストンが作動油内で摺動するよう、ピストンロッドに筒状のストッパを設定した。このストッパにより、ストローク範囲内はどの位置でも必ず減衰力が発生するようにした。

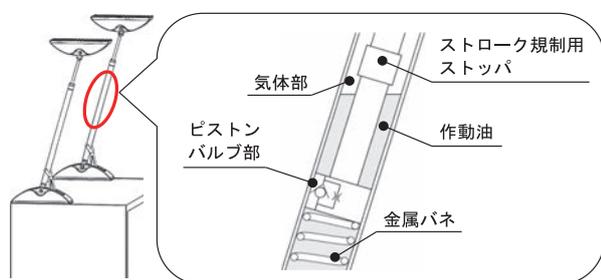


図6 ダンパ内部構造

設定したダンパの減衰力は3軸振動台実験を数種類の減衰力違いで実施し、3.1に記述する公的評価で最高ランクを取得できる見込みのある値に設定した。

3 性能評価

3.1 公的評価

3.1.1 公的評価基準

本製品の性能評価は第三者機関である一般財団法人（以下（一財））建材試験センターにより、「転倒防止器具性能試験・評価基準」²⁾に基づいて行われた。一般的に普及している家具（高さ180cm、幅90cm、奥行40cm、質量100kg以上）を使用し、兵庫県南部地震で観測された神戸海洋気象台波震度6強（以下JMA神戸波）で振動台を加振した際の家具の挙動を測定して評価される。

その評価は☆の数で表される。☆（1スター）、☆☆（2スター）、☆☆☆（3スター）と数が増えるほど評価が高くなる。最高ランクの☆☆☆に属するグループは、「対象とした試験体において、震度6強相当の地震動に対して、試験体の揺れを最小限に抑え、転倒を防止することが可能である」と分類される。

図7に性能評価のグループ分け基準のグラフを示す。☆☆☆の基準は家具頂部の実効加速度と最大変

位をプロットした場合、図中の赤色の直線、すなわち「実効加速度400gal、最大変位30mm」という基準点と「実効加速度800gal、最大変位0mm」の点を通る直線と、原点を結んだ三角形領域に入ることである。

また、目視による試験体の挙動がほぼ安定しており転倒防止器具の変形や、損傷・逸脱も見られない必要もある。

3.1.2 公的評価結果

試験では3回連続加振し、最も挙動が不安定な結果を評価対象とする。本評価試験では質量122kgの家具を使用した。

結果は図7に示す通り、最高ランクである☆☆☆の基準内であった。家具は僅かに揺れたが、加振後もほぼ元の位置のままであった。

現在（2018年1月時点）、（一財）建材試験センターに性能証明を申請中である。

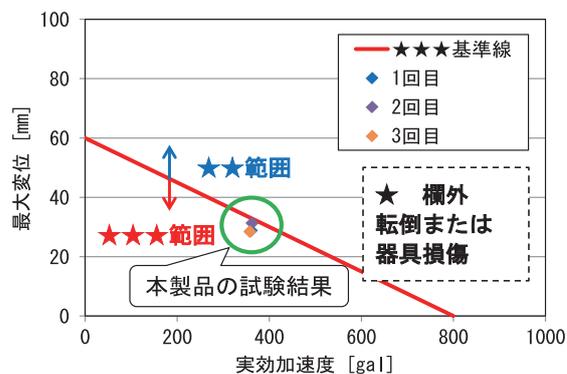


図7 性能評価のグループ分け基準と試験結果

3.2 各種振動台実験

3.2.1 様々な地震波での評価

過去に発生した地震波（表2）での転倒防止性能について確認した。3軸振動台実験の状態を写真2に示す。



写真2 3軸振動台実験状態

振動台に設置した部屋と家具は3.1 公的評価と同様とした。家具と床の間（前側両端2箇所）には横滑り防止として、滑り止めシートを設置している。

表2 地震波説明

地震波	震度	説明
JMA神戸波	6強	1995年 兵庫県南部地震において、神戸海洋気象台で観測された波形
JMA神戸波 NS方向1.3倍	7 相当	JMA神戸波をNS方向（家具前後方向とした）のみ1.3倍にした波形
K-NET仙台	6弱	2011年の東北地方太平洋沖地震において、仙台市K-NET ^{注1)} で観測された波形
KiK-net益城 前震	7	2016年の熊本地震において、益城町KiK-net ^{注2)} で観測された前震の波形
KiK-net益城 本震	7	2016年の熊本地震において、益城町KiK-net ^{注2)} で観測された本震の波形

注1) 国立研究開発法人防災科学研究所により運用されている全国強震観測網。

注2) 国立研究開発法人防災科学研究所により運用されている基盤強震観測網。

試験結果は表3に示す通り、震度7相当（JMA神戸波NS方向1.3倍）の地震波でも家具転倒には至らなかった。熊本地震KiK-net益城の前震と本震では前震の方が家具は揺れた。理由は前震の方が地震波の上下最大加速度が大きいためで、家具が浮きあがったところに前後左右の加速度が加わったからではないかと考えられる。

表3 地震波別実験結果

波形	結果
JMA神戸波	家具はほとんど揺れずに安定していた。
JMA神戸波 NS方向1.3倍	家具はほとんど揺れずに安定していた。
K-NET仙台	家具はほとんど揺れずに安定していた。
KiK-net益城 前震	家具はある程度揺れたが、転倒には至らなかった。
KiK-net益城 本震	家具は小さく揺れたが、安定していた。

3.2.2 模擬天井による評価

3.1 公的評価の天井仕様は試験条件に従い、十分な強度を有していた。ここでは一般木造住宅の天井とオフィスビルの天井を模擬して実験を行った。写真3に一般木造住宅、写真4にオフィスビルを模擬した天井を示す。加振する地震波はJMA神戸波とし、振動台に設置した部屋の天井以外と家具は3.1 公的評価と同様とした。



写真3 一般木造住宅模擬天井



写真4 オフィスビル模擬天井

結果は表4に示す通り、一般木造住宅とオフィスビルを模擬した天井ともに損傷は見られなかった。また天井がたわむことで、家具の揺れは大きくなったが、転倒には至らなかった。近年建築された建物は模擬した天井よりも強固であることが多いので、さらに家具の挙動は抑えられると考えられる。

表4 天井別実験結果

天井	結果
一般 木造住宅 模擬	家具はある程度揺れたが、転倒には至らなかった。また天井の損傷は見られなかった。
オフィス ビル模擬	家具はある程度揺れたが、転倒には至らなかった。また天井の損傷は見られなかった。

3.3 天井強度評価

地震時のダンパの発生減衰力と天井強度の関係について、確認を行った。写真5のように本製品の台座を模擬した試験ジグで鋼製下地の天井サンプルを圧縮し、静的破壊荷重を測定した。天井サンプルの圧縮位置は最も強度の不利な位置とした。また野縁間隔は一般社団法人（以下（一社））石膏ボード工業会「石膏ボードハンドブック」³⁾の鋼製下地例を参考にした。

静的破壊荷重の結果は約1300Nであった。3.1公的評価の試験条件の場合、ダンパの発生減衰力の測定値は最大約800Nであったので、天井は破損しないことが分かる。ただし、家具の重さや地震波により、ダンパの挙動は変化するので天井の破損、また石膏ボードの状態にも注意が必要である。



写真5 天井静的破壊荷重測定

4 設置状況

本開発品は2016年3月よりモニタ設置を開始した。取り付け数はKYB社内と社外合わせて209セット（418本）となった。各設置場所では数名の方に取り付けを実施して頂き、ほとんどの人が取扱説明書の通り取り付け可能であることを確認した。写真6にKYB熊谷工場に設置している写真を示す。



写真6 KYB熊谷工場モニタ設置状態

5 おわりに

KYBのコア技術である制振技術を活かし、震度7に対応した家具転倒防止ダンパを開発することができた。2017年10月よりKYB-YS株式会社から企業向けに販売を開始した。現在、KYB-YS株式会社にて受注活動、原価低減、性能、バリエーション向上に向けた活動を推進して頂いている。

最後に、本開発にあたりご指導、ご支援頂いた関係各位に、この場を借りて厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 東京消防庁：家具類の転倒・落下・移動防止対策ハンドブック，（2015年度版）。
- 2) （一財）建材試験センター：転倒防止器具性能試験・評価基準，（2008年4月）。
- 3) （一社）石膏ボード工業会：石膏ボードハンドブック，（2016年版）。

著者



畦 将也

2009年入社。技術本部事業開発推進部（熊谷駐在）。新規事業の開発に従事。

製品紹介

シミュレータ用新型内圧コントローラの開発

芳村 友起

1 はじめに

近年、疲労破壊による事故や不正検査問題など製品の安全性を脅かすニュースが世間を騒がせている。こうした製品の安全を根幹の部分で保証するのに欠かせないのがカヤバ システム マシナリー株式会社（以下 KSM）が取り扱っている疲労試験機である。疲労試験機としては材料試験機等の定常波負荷を与える耐久試験機が多いが、製品や試験ニーズの多様化で、より精度の高い現実に則した試験波形による試験の要求が高まっている。その中で、油圧ホース等の供試体に圧力負荷をかける内圧試験機がある。

KSMでは内圧試験機専用のコントローラを使用して各種供試体に対応した内圧試験機を取り扱っており、特にJIS波形^{注1)}の再現精度では市場でも定評がある。本報ではその最新型の内圧コントローラを紹介する。

注1) 旧JIS K6330-8で規定されるホース等の衝撃圧力試験で使用される鋭いピークを持つ試験波形。

2 内圧試験機とは

KSM製内圧試験機の一般的構成を図1に示す。圧力を発生させる仕組みとしてはブーストシリン

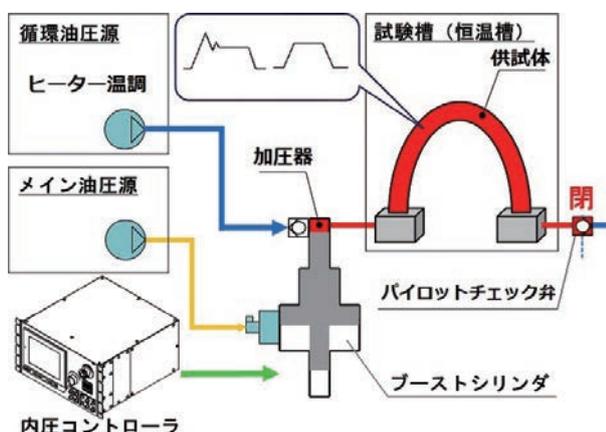


図1 内圧試験機の構成

ダと呼ばれる先端に加圧器が一体化された特殊なシリンダを用いて供試体内部の流体を圧縮することによって任意の圧力を発生させている。

構成要素としてはブーストシリンダを駆動させるためのメイン油圧源、使用流体を循環させるための循環油圧源、供試体を格納して試験を行うための試験槽などがある。そしてブーストシリンダを制御し、供試体に規定の圧力波形を再現させるのに用いられるのが本開発対象の内圧コントローラである。

3 開発の背景

KSM製内圧疲労試験機で使用されている制御コントローラとしては写真1に示す旧型のModel 2107（以下、旧型）が存在するが、開発から長い期間が経過し、使用部品の廃番等で製造が困難となってきた。

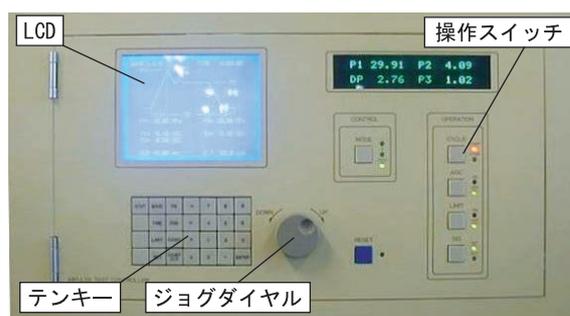


写真1 旧型外観

また、旧型ではカスタム仕様対応に内蔵ROMの変更が必要のため、開発環境の維持管理や品質・費用等の問題で、多様化する顧客の試験ニーズへの対応も困難となってきた。そのため昨今性能向上の著しい汎用プログラマブルロジックコントローラ（以下PLC）を制御に使用した新型のModel 3100（以下、新型）を開発することになった。

4 新型のコンセプトと概要

機能性・操作性・カスタマイズ性を向上させ、旧型でも評価の高かった波形再現精度を更に向上させることで他社の追従を許さない性能の実現を目指して開発を行った。また、旧型とサイズや外部インターフェースは同一とし、完全な後方互換性を確保することで試験機本体はそのままコントローラのみで置換更新にも対応する。写真2に新型の外観を示す。



写真2 新型外観

フロント面には大型のタッチパネル液晶を搭載することで、快適な操作性とカスタマイズ性を実現させている。試験設定は各種数値を直接入力またはジョグダイヤルにより設定することが可能で、ジョグダイヤルはブーストシリンダの中立位置調整の操作にも使用でき直感的な操作が可能となっている。温調器や各種計測器接続用のBNC端子もフロント面にまとめて搭載することで、ほぼすべての操作や計測との接続をこのパネル上で一括して行うことが可能となっている。

5 内部構造

ハードウェアはアナログアンプ回路を必要最小限として機能毎にモジュール化を行った。試験機の規模に合わせて必要な基板とPLCユニットの組み合わせを選択して最適設計が可能となっている(写真3)。

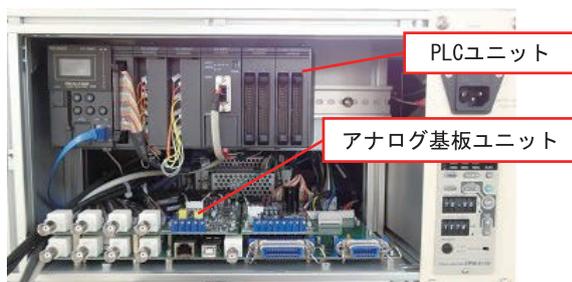


写真3 内部構造

また、これにより故障時も現場でユニット単位の交換が可能となり復旧までの時間短縮に貢献する。

6 制御ソフトウェア

メインの制御器はPLCをベースとしているが、ラダー言語^{注2)}だけでなくBASIC言語やC言語に似たスクリプトと呼ばれる記述を併用することでシリンダの変位制御や供試体の圧力制御といった複雑な制御処理が可能となっている。

旧型とは異なりサーボ弁駆動用アンプや圧力アンプなどの物理的最終段以外の制御処理は全てPLC上の計算で行っており、完全なソフトウェア制御のコントローラとなっている。そのためPID制御^{注3)}以外の後述の誤差補正制御といった拡張的な制御を実装することが出来た。また、各種試験機に合わせた修正や顧客独自の試験への対応といった後付のカスタマイズも容易となっている。更に以前は別置きのPLCが行っていた油圧源などの周辺機器の制御機能もコントローラに統合することで旧型と比べ制御盤の必要スペースの削減による省資源化や省電力化にも貢献する。

注2) 電気リレー回路を記号化し、梯子のような図形で表した主にPLCで採用されるプログラム言語。

注3) 古典的フィードバック制御手法の1つで、制御量を現在値と目標値の偏差に比例した出力(P)と偏差の積分値に比例する出力(I)と偏差の微分値に比例した出力(D)の3つの要素によって行う制御。

7 JIS波形の再現

内圧試験機における要求事項としてJIS波形の再現がある。圧縮性のある流体を充満させた膨張性のある供試体の内圧を図2青線に示すような突出したピークと平坦部を持つJIS1波と呼ばれる圧力波形で高速・高精度に制御しようとした場合、通常のPID

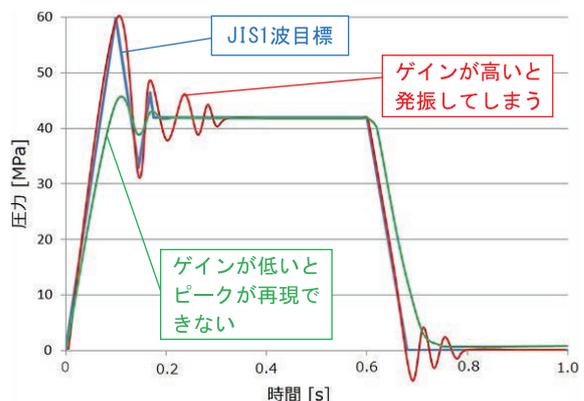


図2 PID制御によるJIS1波の再現

制御のみでは供試体の特性による圧力応答性の問題などでぴったりと一致した波形を再現させることは非常に困難である。

8 誤差補正制御

そこで、新型では1波毎に目標波と応答波の誤差を時系列データとして保存し、そのデータを次の1波の目標波に重ね合わせて加算することでフィードフォワード^{注4)}的に応答波をより本来の目標に近づける処理を繰り返す誤差補正制御と呼ぶ新しい制御方法を考案して実装した。図3にJIS1波に対する誤差補正制御の一連の流れを示す。

注4) 制御系に入る外乱等の情報を事前に計測し、前もってそれを考慮した制御量を決定する制御方式。

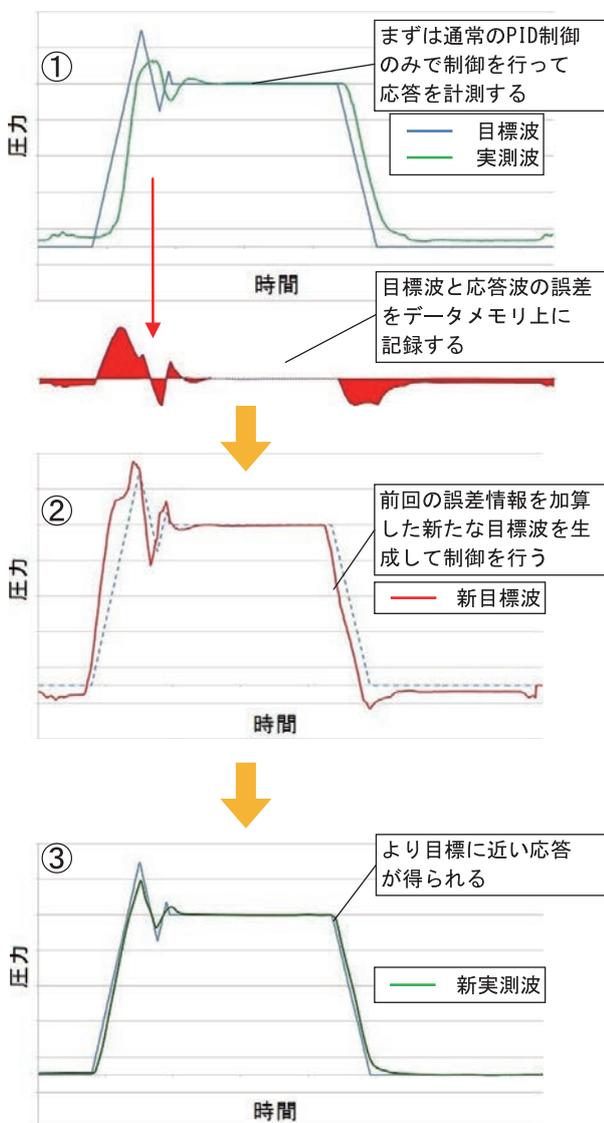


図3 誤差補正制御

また、このJIS1波形では計測される最も高い圧力ピークの値が安定して目標と一致していることが試

験として重要であるため、PIDおよび誤差補正とは独立したピーク値のみを一定に保つための制御も別途行うことにより安定したピーク値の生成を実現した。

更に、誤差補正制御はピーク値の一致度合いから自動的に補正ゲインの調整が行われており、波形がある程度一致した時点で補正処理を一時停止状態にすることで安定した動作を実現している。

旧型では大量のアナログボリュームを試行錯誤で調整しながら波形を合わせていたが、新型では誤差補正制御によりほぼ自動的に精度の高い圧力波形を再現できるようになった。試験画面上で一度パラメータ設定を行えば供試体の特性が大きく変わらない限り誤差補正をONにするだけで補正処理を行うことができる。



図4 試験画面

9 実機での計測結果

表1に示すスペックの試験機にてコントローラのみを新型/旧型で入れ替えて同じ試験条件の波形を計測して応答波形の比較を行った。その結果を図5に示す。

表1 試験機スペックおよび試験条件

供試体最大容積	6000cm ³
供試体膨張量	9 cm ³ MAX
動的最大圧力	25MPa
静的最大圧力	30MPa
供試体	油圧ホース
使用流体	オートマチックトランスミッションフルード ^{注5)}
試験条件	ピーク圧力：30MPa 試験周期：1サイクル/秒

注5) 変速機を持つ乗り物で歯車の潤滑やバルブ操作、トルクコンバータの作動などに用いられるギアオイルの一種。

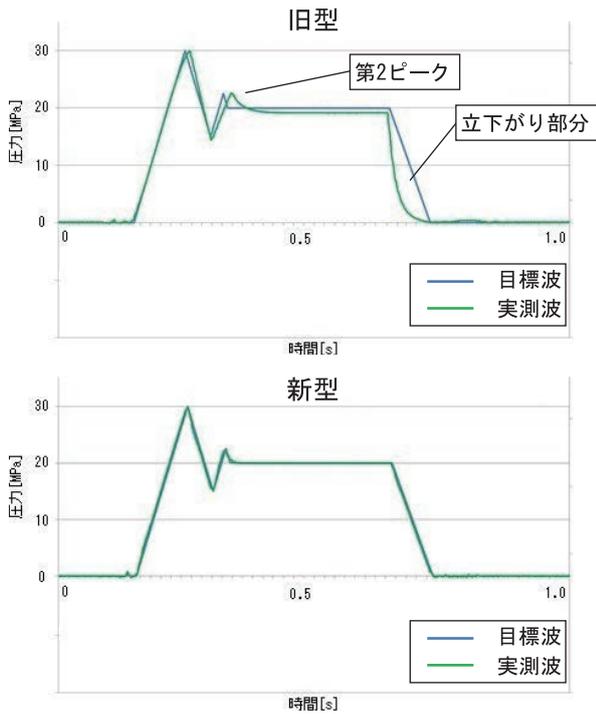


図5 実機波形比較

旧型では第2ピークや立下り部分で目標波から外れている箇所があるが、新型では全領域において目標波と実測波がぴったりと一致していることが分かる。

新型ではコントローラ自身が自動的に波形の合わせ込みを行ってくれるため、だれが設定を行っても上図のような誤差の小さい波形を得ることが出来、試験品質の安定という点において非常に大きなメリットがある。

10 今後の展開

本開発によりPLCをベースとした構成で疲労試験機の制御が十分に行えることが実証できた。今後は本技術を様々な試験機に展開していく。また、今回提案した誤差補正制御は内圧試験機のみでなく他の

試験機にも応用が可能で、例えばまだ実験段階ではあるがショックアプソーバー（SA）試験機において変位制御に適応することで速度波形の改善などでも効果を確認している（図6）。

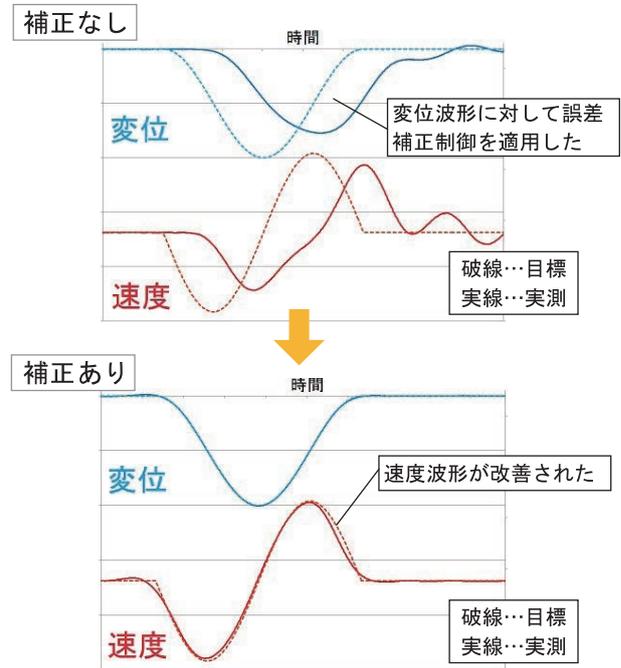


図6 SA試験機 の速度波形改善

11 おわりに

フィールドテストにおけるお客様からの評判は上々で、既に多数の引き合いを頂いている。カスタマイズ性を活かして新規市場も開拓していくことで今後の発展も期待できる。

最後に、今回の開発にあたってフィールドテストにご協力いただいた皆様、KSM社内各部門と関連協力業者の皆様へ深く感謝申し上げます。

著者



芳村 友起

2013年入社。カヤバシステムマシナリー(株)三重工場技術部。シミュレータ製品用制御装置の設計、開発に従事。

Semi-Active Suspension, Extending the Limits

Alexander Alonso Torres

1 Introduction

The avalanche of SUVs and the arrival of autonomous driving are pushing vehicle manufacturers to improve ride-comfort compromise during last years. Semi-active suspension is a very powerful tool that increases considerably vehicle behavior comparing with a standard one. Although there are some limits, studying each application carefully these can be extended.

In the last years KYB has developed a semi-active suspension system, and it's now entering into the market as TIER1, as a complete system shock absorber & software supplier. During the development KYB has manage to solve some limitations related to lack of robustness and noise. This will be the case study for this article.

2 Semi-Active System Architecture

Semi-Active System architecture is built by four level sensors, three G-sensors, an ECU (“Electronic Control Unit”) and one actuator on each shock absorber.

Working principle of the system is defined in three steps following the general rule Sense > Define > Act. The level sensors measure wheel – body relative displacement for each wheel and the G-sensors located on the car body, two of them on the front axle and the third one on the rear are in charge of measuring the vertical accelerations. These measured signals from sensors added to many other information available directly from the CAN Bus (such as vehicle speed, steer wheel movement, longitudinal and lateral acceleration, braking status, others…) are treated as input for the ECU control strategy. Each 2ms software

control strategy analyses vehicle status by reading input signals. If needed the ECU transmits an output current command to each shock absorber actuator in order to increase each damping force and correct/adapt vehicle dynamics deviation. See Fig. 1.

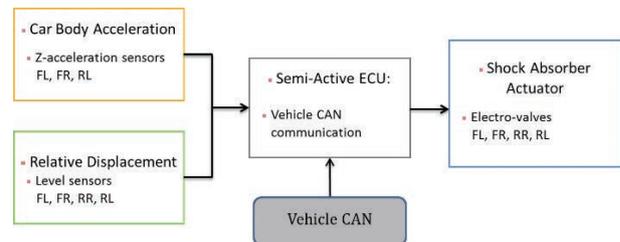


Fig. 1 System Architecture

From shock absorber point of view, the standard technology has been combined with a fast response electro valve. The aim is to adapt the damping force – piston speed system to a damping force – piston speed – command current dependent system. See Fig. 2.

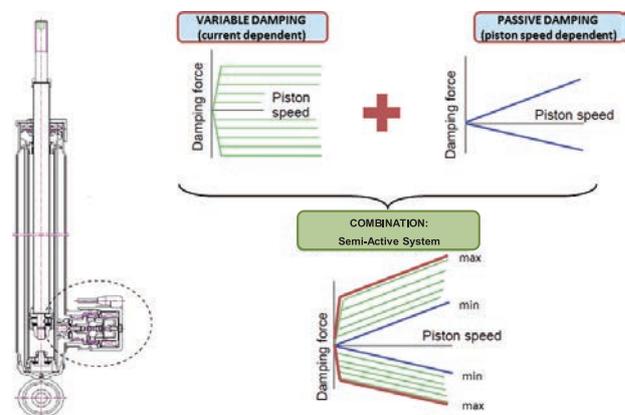


Fig. 2 Damping force, piston speed and command current dependent system

3 Semi-Active Control Strategy

During driving life, Semi-Active system will need to manage many different situations. By mixing vehicle status with driver and road inputs, all these life situations are collected and Semi-Active control strategy must be able to cover all of them. See Fig. 3.

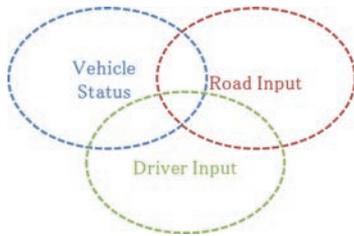


Fig. 3 Vehicle driving live situations

For the purpose of this study pure driver input live situations have been discarded. So from now on, we will focus just on road input cases. See Fig. 4.

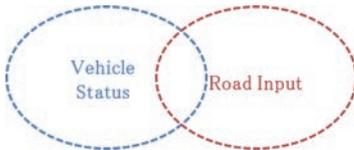


Fig. 4 Vehicle driving live situations simplified

Vehicle behavior must accomplish three main targets (Fig.5) and each of them is ensured by some functions or tools as described in Fig. 6.

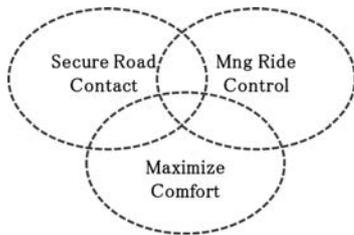


Fig. 5 Vehicle behavior targets

For safety reasons highest priority target is to secure road contact. For this, a base minimum damping has to be set. This is handled by “Base Current” function and basically it applies a current command depending on vehicle speed.

To provide robustness to base damping in case of abrupt bumps and wheel hopping, “Anti Wheel Hop” function increases the command current

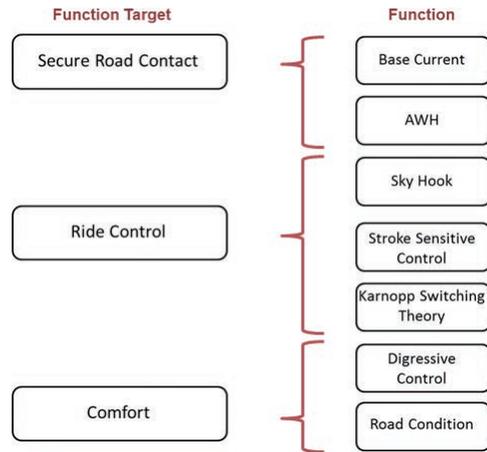


Fig. 6 Sw strategy functions for road inputs

during a period of time. This function detects wheel hopping case and adds a step of current to fix it. See Fig. 7.

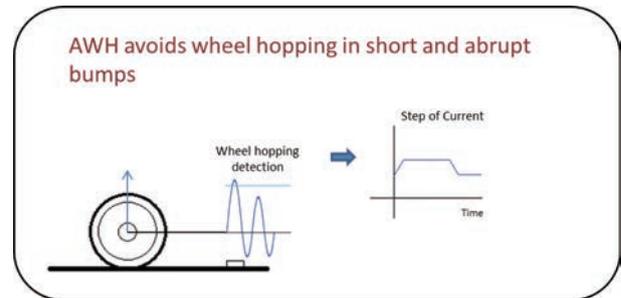


Fig. 7 Anti Wheel Hop Function description

Once minimum safety conditions have been established, control strategy is set to manage ride control. “Sky Hook” theoretical function has been chosen for this purpose. See Fig. 8.



Fig. 8 SkyHook functionality

As described in system architecture description, Semi-Active system has three G-sensors distributed in vehicle body in charge of measuring bounce, pitch and roll body rates. See Fig. 9.

After calculations using bounce, pitch and roll rates, vehicle speed signal and vehicle tuning parameters, Sky Hook function provides a continuous damping command to the system (Fig.10).

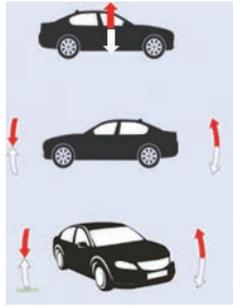


Fig. 9 Modal Speeds: Bounce, Pitch and Roll

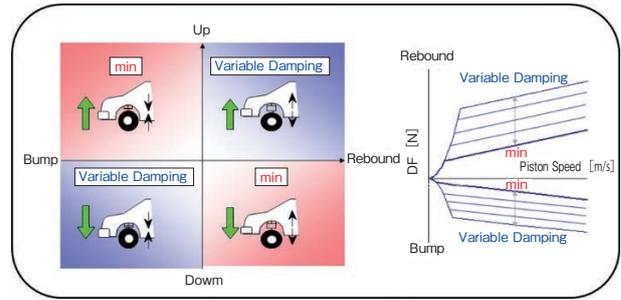


Fig. 12 Karnopp Switching Theory Description

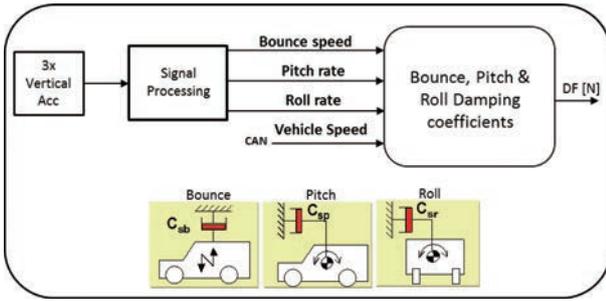


Fig. 10 SkyHook function DF calculation

In order to increase ride control efficiency at end stroke, the “Stroke Sensitive Control” function gain multiplies Sky Hook damping force command. See Fig. 11.

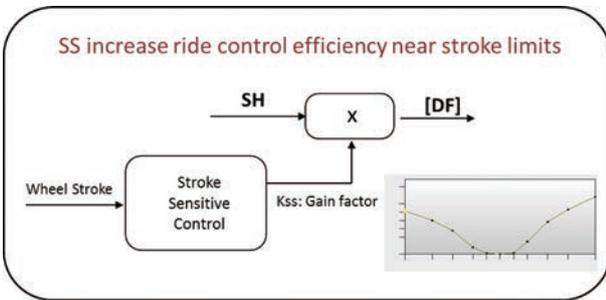


Fig. 11 Stroke Sensitive Function DF

Until this point, a continuous damping command has been provided to achieve ride control. In order to warranty vehicle flat behavior, the wheel and body relation movement sense has to be taken into account. For this purpose, software designer needs to consider the “Karnopp Switching Theory”. See Fig. 12.

Body and wheel vertical displacement combination can be split in four different cases: body up and wheel in compression or rebound, body down and wheel in compression or rebound.

For cases 1 and 4, Semi-Active control strategy sets minimum damping force in order to recover

the reference position as soon as possible, while during cases 2 and 3 it is allowed to adjust the damping according to the damping command defined until now.

Taking a look to following road input example (speed breaker), a clear effect of “Karnopp” function can be seen. See Fig. 13.

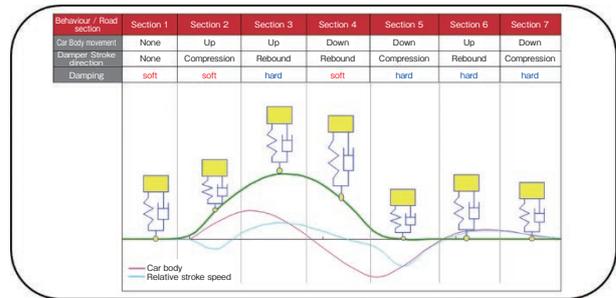


Fig. 13 Karnopp Switching Example

Once having managed body control, it’s time to take a look to comfort and increase the filtering. “Digressive Control” is responsible to decrease variable damping in case of impacts throw aggressive road inputs. See Fig. 14.

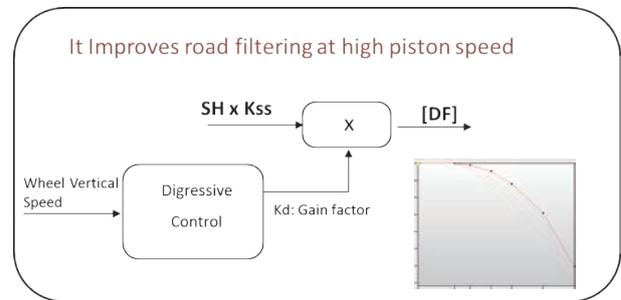


Fig. 14 Digressive Control Function DF calculation

This simple function is very efficient in case of single input, but for continues road inputs, what usually it’s call “rough road”, Semi-Active control strategy uses a last function called “Road

Condition”. See Fig. 15.

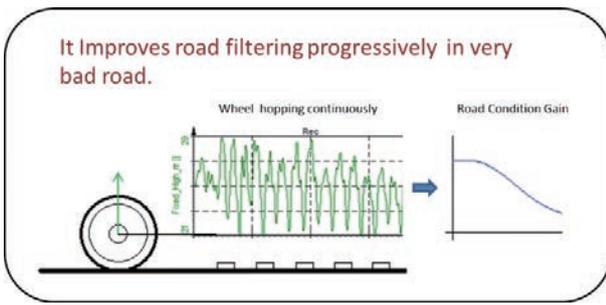


Fig. 15 Road Condition Function Description

If continuous wheel hopping happens, the function adapts requested variable damping progressively until having the desired filtering.

4 Theoretical Strategy Limitation

Highest limitation of semi active suspension is the non-possibility to predict road inputs. Nowadays autonomous driving technology is providing many different solutions of preview systems, but even combining some of them, they are not robust enough to work properly 100% of driving time. This means that Semi-Active system must cover robustly all live situations by itself. To be considered that no preview systems have been taken into account during this case study.

As the spring properties can't be adapted, and time consumption for movement stabilization is needed, an optimization by "Karnopp Switching" function has to be done by applying a minimum damping in some maneuver steps.

Let's imagine a worst case, comfort oriented vehicle, with short stroke shock absorbers and the lack of damping in some steps according to semi active suspension functionality, this implies a high risk of impact noise and lack of body control in aggressive road inputs, for instance, speed breakers or down steps.

Fig. 16, shows a real case study measurement, where some rebound end of stroke impacts can be seen just in the last down steps.

During this test the last 4 steps of 70mm height have been enough to trigger rebound end of stroke impact noise. This fact is very clear in downstairs right graphic, force vs displacement, where some force peaks appear just at the end of

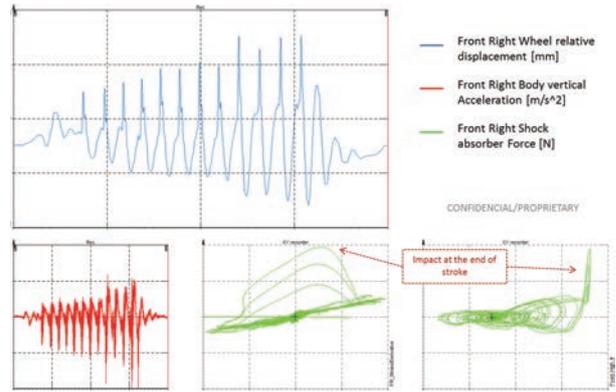


Fig. 16 Down Steps track, with rebound end of stroke impact noise example

rebound stroke (positive).

5 Studied Solutions

In order to solve the issue, two different solutions have been tested. First one, based on a passive solution, a HRS ("Hydraulic rebound stopper") system have been used. See Photo 1 and Fig. 17.



Photo 1 HRS

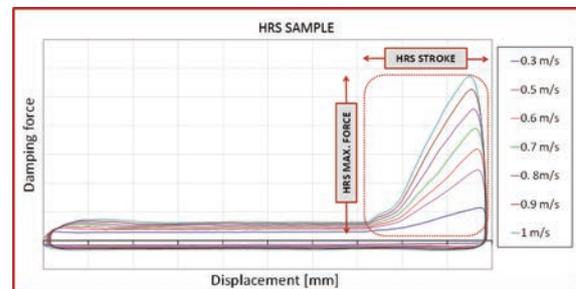


Fig. 17 HRS Damping force characteristics

Basically, using a deformed inner tube and a plastic segment located in piston rod, a new chamber is created in rebound side, and it is increasing damping force according to piston

speed and rebound stroke.

This is a fantastic solution to improve shock absorber efficiency at the end of rebound stroke because it absorbs a great quantity of energy, fast and progressively.

On the other hand, the implementation of this system has an important cost impact on shock absorber price.

The second solution tested, has followed same HRS philosophy, but in this case, it has been implemented modifying software control strategy. So, a new function has been implemented, and called DHS (“Double Hydraulic Stopper”). See Fig. 18.

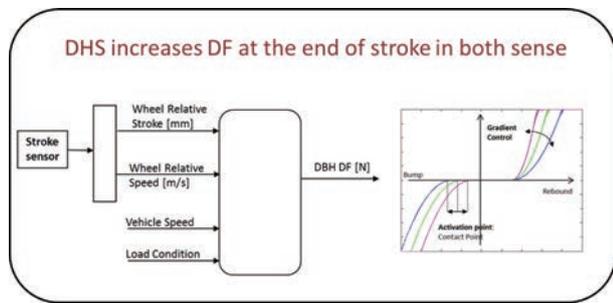


Fig. 18 DHS function DF calculation

The function adapts the damping command (activation point and gradient) according to vehicle speed and load condition.

DHS function avoids end of stroke impact noise and provides robustness to ride control in

aggressive road inputs as speed breakers or down steps. See Fig. 19.

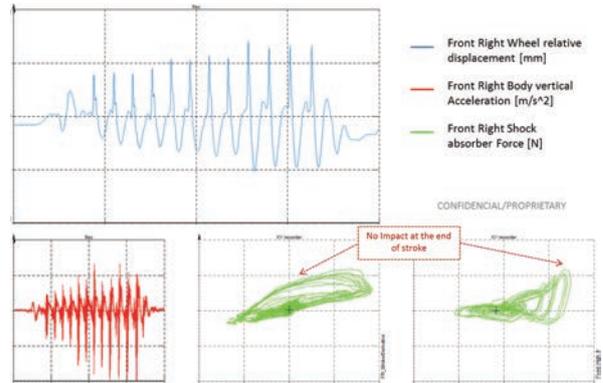


Fig. 19 Down Steps track, without rebound end of stroke impact noise

6 Summary

KYB provided two different solutions to solve impact noise and lack of ride control in aggressive road inputs as speed breakers. Finally the customer decided to go on with DHS software solution. See Fig. 20.

By intelligent combination of theoretical strategy and experimental function, KYB has managed to improve noise filtering and avoid extra cost to our Customer. Studied solution has been implemented in mass production software strategy.

KYB is now extending the limits of the system in

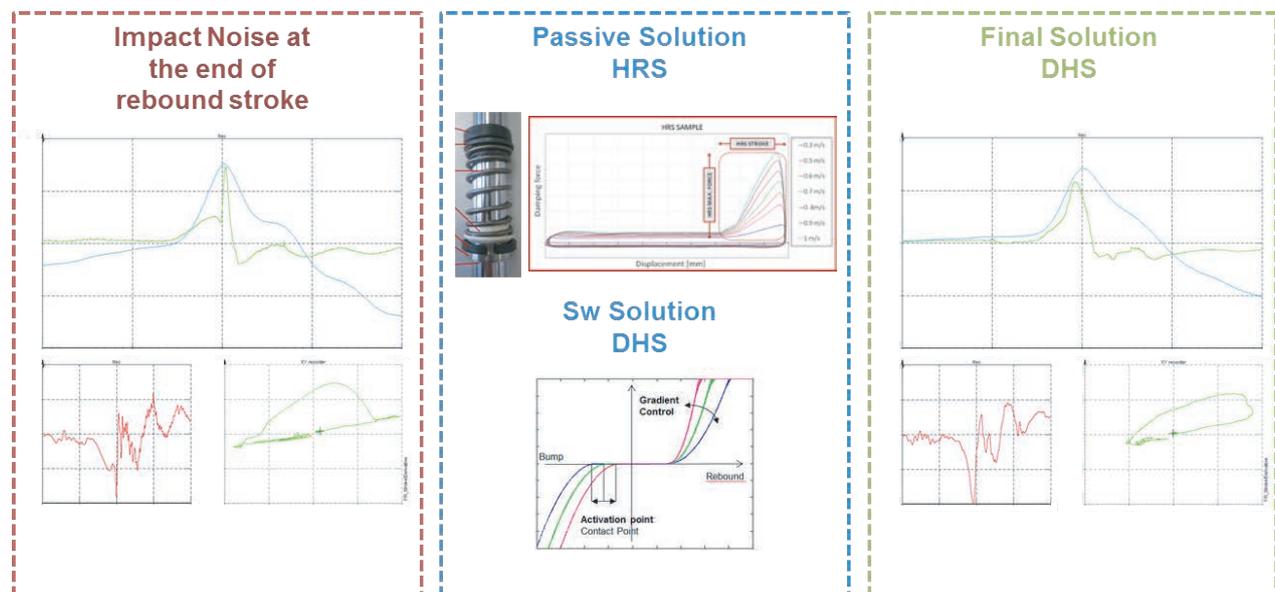


Fig. 20 Summary

order to enhance even more the body control and comfort level as expected from such an intelligent technology, KYB's Semi-Active Suspension.

We believe that providing solutions to specific requirements as in this project we also led to build up our know-how and expertise on E/E (Electrical/Electronics) system development. We

would like to take advantage of this experience to continue adding value to electronic controlled system which seems to be the future.

Last but far from least, I'd like to express my sincere appreciation to my colleagues great cooperation during this project development.

Author



Alexander Alonso Torres

Joined company in 2012.
Currently at KYB Europe GmbH
as Semi-Active suspension team
calibration and vehicle testing
engineer.

製品紹介

中・小型二輪車向け倒立フロントフォークの開発

尾崎 公哉 ・ 宮内 慶彦

1 はじめに

近年、東南アジア諸国連合（以下ASEAN）域内での所得の向上が目覚ましい。その影響は二輪車市場にも及んでおり、需要のある車体カテゴリや二輪車に求められる性能に変化が生じている。

車体と車輪をつなぐフロントフォーク（以下FF）は、路面からの振動入力制御、車両姿勢の制御、強度部材といった様々な面で二輪車の操縦安定性に寄与している。このFFを取り巻く事情もASEAN域内の所得向上による影響を受けて変化しており、これまではコスト重視であったものが外観や性能に関しても考慮されるようになってきている。

2 開発の狙い

ASEAN域内における二輪車の需要は、これまでエンジン排気量で150cc以下のモベット^{注1)}やスクーター（写真1）が主流であった。しかし、ASEANでの所得向上による大排気量二輪車需要の高まり、アジアロードレース選手権（写真2）に代表されるようなレースシーンの広がりを受け、中・小型二輪車用製品として従来品と差別化し、より付加価値を感じる製品が求められるようになった。その市場要求に合致した製品群として、高い商品性を持つ倒立FFを新規開発した。



写真1 スクーター例 Mio Z^{注2)}
（ヤマハ発動機株式会社ホームページより）



写真2 アジアロードレース選手権の様子
（ヤマハ発動機株式会社ホームページより）



写真3 モベット一例 Jupiter MX King150^{注2)}
（ヤマハ発動機株式会社ホームページより）

注1) 本紹介でのモベットとは写真3のような形態のマニュアル変速式の二輪車のこと（一般にモベットとはペダル付きの原動機付自転車の事を表すことが多い）。

注2) 「Mio Z」および「Jupiter MX King150」は、ヤマハ発動機株式会社の商標です。

3 開発の概要

これまでKYBグループのASEANの生産拠点では倒立FFの生産実績は無く、中・小型二輪車領域に適した倒立FFのサイズも無かった。そこで150～300ccクラスまで視野に入れ、ベストバランスであるインナチューブ径φ37倒立FFの新規開発が決定した。

今回開発した倒立FFの構造について図1と以下の項で示す。

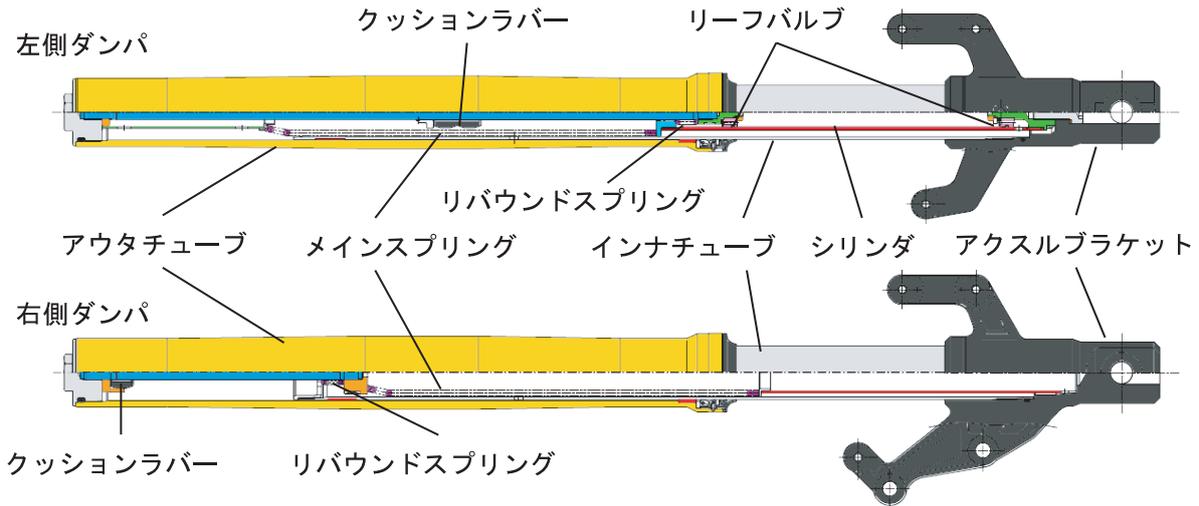


図1 φ37倒立FFの構造



図2 正立FFの構造の一例

3.1 基本構造

FFはテレスコピックタイプ^{注3)}の倒立型である。倒立型とは、アウタチューブが上、インナチューブが下に配置されたものである。アウタチューブ、インナチューブの配置が逆のものを正立型と呼ぶ(図2)。

一般にFFでは前輪を挟む形で2本のダンパが使用され、車軸、アンダブラケット、アッパブラケットで左右のダンパが接合固定される。ダンパには減衰力発生機構とコイルスプリングが内蔵されており、緩衝器としての機能を発揮する。

注3) テレスコピックとは、径の異なる複数の筒を組み合わせて、軸方向に伸縮自在とした機械構造物のこと。

3.2 各種仕様

3.2.1 減衰力発生機構

今回の倒立FFでは、スポーツ走行にも適した応答性の良い物として、リーフバルブを有したピストンASSYによって減衰力を発生させるカートリッジ構造を採用した。

また、通常は2本あるダンパの両方に減衰力発生機構を内蔵するが、カートリッジ構造では発生させることのできる減衰力が高く、左側のダンパのみに減衰力発生機構を有する片側ダンパとして成立させることができた。その結果、コスト低減も図ることができた。

3.2.2 ばね

ばね要素としては下記の要素を有する。

- ①金属コイルばね
- ②クッションラバー
- ③空気ばね

金属コイルばねは、ストロークの全域でダンパを伸ばす方向にばね力を発生するメインスプリングと、伸び切り時のショック感を和らげる働きのみを使用するリバウンドスプリングの二種類を使用する。

クッションラバーは、底付^{注4)}時の突き上げ感を和らげる働きをするものである。

空気ばねは、密閉容器となっているダンパ内にある空気の圧縮時に生じる圧力上昇を利用したものである。主にストローク奥での踏ん張り感に寄与する。

注4) 底付とは、段差乗り越し等でタイヤからFFへ強い圧縮荷重が発生した時に、FFがフルストロークしてインナチューブがアウタチューブの底端に突き当たること。

3.2.3 アウタチューブ

倒立FFのアウタチューブには造管されたアルミ合金のパイプを用いる。現地での入手性を考慮した製法を採用した。

表面処理は着色アルマイトであるが、現地で施工できる仕様とした。

3.2.4 インナチューブ

インナチューブはFFの強度や、性能を決定づける重要な部品の一つである。倒立FFにおける二輪車の排気量とインナチューブ径の対応は図3に示す。

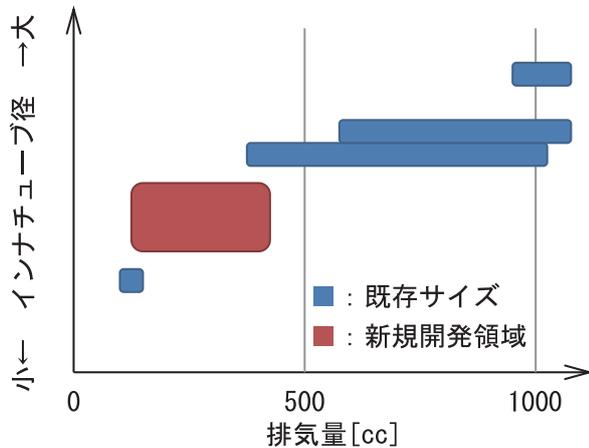


図3 倒立FFインナチューブサイズ

4 FFの剛性

FFが二輪車の操縦安定性に寄与していることは冒頭で触れた。中・小型二輪車ではこれまでインナチューブ径φ33～φ41の正立FFを採用してきた。今回の開発ではそれらの二輪車に倒立FFを採用するため、操縦安定性が大きく変化することが容易に想像された。

まず、倒立FFはアウトチューブ、正立FFはインナチューブと、車体にクランプされる部品とその径が全く異なっている。そのため、剛性は倒立FFが高く、正立FFが低くなるのが一般的である。FFの剛性が高いことは、ブレーキング中や高速走行中、旋回中の姿勢の安定感を高める効果がある。スラローム走行のような切り返しを行う場合にも、機敏な応答で切り返しを行えるようになる。

しかし、正立FFを採用してきた車両に対しては、切り返しが機敏になってしまうことが不都合となる場合がある。切り返しが早すぎて正立FFと比較して不安定に感じるなどの感覚の差である。これは、開発中に特に苦労したところであり、本来倒立FFは正立FFとは異なる特性であるところを、合わせ込む施策が必要となった。

そこでFFを3Dモデル化し、剛性をFEM解析にて確認するという新しい試みを実施した。図4に解析モデルを示す。

正立FFと倒立FFの様々な剛性を解析によって導きだし比較。剛性に影響する部品の形状を変更して合わせこみを実施した。その結果、解析上で中・小

型二輪車に適した剛性に調整することができた。

実際には試作品を使用した実車官能評価にて問題ない剛性かを確認した。この件は次章にて解説する。一方で、倒立化による剛性増加分を下げたということはすなわち強度が低下するということである。解析において、絶対強度や車体との強度バランスなど問題ないことが確認できた。このようにFEM解析を利用することによってやり直しの少ない仕様検討を実施することができた。

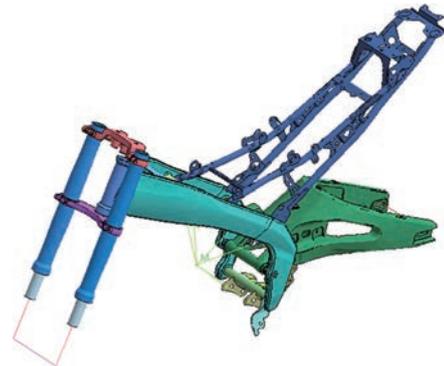


図4 FEM解析モデル

5 実車官能評価

前章で述べた解析による造り込みに加えて、試作品を車両に搭載し、お客様の評価基準に基づいた実車での官能評価を行った。評価項目は操縦安定性と乗り心地に関する複数の項目となる。

前章の剛性に関しては操縦安定性に関わる特性であり、特にスラローム走行の切り替えしにおける操縦性や、加速時、制動時、コーナリング中の安定性等に影響する。解析による形状決定によって精度よく剛性合わせをすることができた結果、実車官能評価においても問題なくスムーズにセッティングを行うことができた。

6 コスト低減・現調化

実際に現地に出向き、拠点スタッフの協力のもとコストの造り込みを行った。現地で可能な製法、部品入手性等を検討し、それらを考慮した設計とすることで、最終的に、ほぼ100%現調化を達成し、コスト低減を図った。

7 採用状況、今後の展望

本開発製品は2017年3月より量産を開始しており、現在も他機種への展開、拡販を行っている。また、

中・小型二輪車向けの標準倒立FFとして、今後の主力製品として展開を進める予定であり、採用車種・生産量ともに拡大が期待される。

8 おわりに

近年、400cc未満の中・小型二輪車市場は、大きく変化している。実際に、欧州の二輪車メーカーはこれまで先進国向けに大排気量の二輪車を主に製造してきたが、ここにきて中・小型二輪車市場にも参入してきている。それらの二輪車には、KYBモーターサイクルサスペンションの狙いと同じようなサイズの倒立FFを投入している。欧州車も巻き込んで市場が過熱しており、今後も目が離せない排気量帯となると考える。

当社としては今回の開発にて、写真4のような車種に新製品を採用頂けた。当社のプレゼンスが拡大するように一層努力していきたい。



写真4 φ37倒立FF採用車種 YZF-R15^{注5)}
(ヤマハ発動機株式会社ホームページより)

注5) 「YZF-R15」はヤマハ発動機株式会社の商標です。

最後に、本製品の開発にあたり、ご支援頂きました関係部署の方々に、この場を借りて厚く御礼申し上げます。

著者



尾崎 公哉

2006年入社。KYBモーターサイクルサスペンション(株)技術部。二輪車用サスペンションの設計・開発に従事。



宮内 慶彦

2009年入社。KYBモーターサイクルサスペンション(株)技術部。二輪車用サスペンションの設計・開発に従事。



アジアクロスカントリーラリー参戦記

田 中 一 弘

1 はじめに

アジアクロスカントリーラリー（以下AXCR）は、FIA（国際自動車連盟）とFIM（国際モータリズム連盟）公認の東南アジア最大の四輪／二輪ラリーレイドである。タイ王国を基点に近隣の各国を走行し、2017年大会で22年の歴史を持つ。日本から最も近い国際格式の競技であり、アジア地区での大きな宣伝効果が期待される。日本の自動車メーカーが母体となるチームや4WD車両関連企業が主体となるチームなど、企業的な戦略を狙った参加者も多い。特に近年は、各自動車メーカーで生産されている新興国向け世界戦略車両同士の優勝争いが激化しており、参加チームのレベルアップやラリー車両の性能向上が著しい。又、日本の夏季休暇中における大会開催や、参戦に掛る費用面での負担は少なく、日本からプライベートの参加者も多い。

コースの設定は、迷路の様なジャングルや険しい山岳地帯、硬く固まった赤土のハイスピードグラベル、ターマックのワインディング、トライアル競技の様なロック（岩場）やモーグルセクション、川渡りや草原を走るグラストラックなど、バラエティに富んでいる。又、雨季に開催される為、降雨によって硬い粘土質の赤土が緩んでスリッピーな泥路面へ変化したり、窪地や沢が泥沼や川になり通過自体が困難になるなど、路面環境の変化が大きいのも特徴である（写真1）。

近年のAXCRの総走行距離は2,000km程度に設定されており、6日間をかけて走破する日程で開催されている。2017年大会では、総走行距離が約2,144km、ロードセクション（以下RS）が約972km、スペシャルステージ（以下SS）が約1,172kmで構成されている。走行距離の長い日は、約420kmを移動する中で約250kmのタイムアタックが行われた。例えるなら、一日で東京から名古屋までを一般道で移動し、この間の神奈川県と静岡県は競走するイメージである。



写真1 降雨によって悪化した路面

2 クロスカントリーラリーの位置付け

四輪自動車におけるモータースポーツは大きく分けて、レース・ラリー・トライアルの3種類に分類される。

レースはサーキットなどの閉鎖されたコースを複数台の車両が同時に走行して順位を争う競技で、トップカテゴリーであるF1（Formula 1）が最も有名である。

ラリーは決められた区間を決められた時間で正確に走るRSと、決められた区間の走行時間を競うSSから構成され、一台ずつ一定間隔にて出走する。RSとSSは複数設定されており、RSのペナルティタイムとSSの走行タイムを加算して順位が決定される。車を運転するドライバーとナビゲーションを行うコ・ドライバーの2人が乗車し競技を進めるのも特徴の一つであり、WRC（World Rally Championship）やダカール・ラリーが有名である。

トライアルはタイムトライアルを意味し、決められた区間を一台ずつ走行し、いかに速く正確にゴールするかを競う。ジムカーナやダートトライアル、ドラッグレースなどが該当する。

他にも、燃費の優劣を競うエコランや、ドリフト走行による車両姿勢と車速で競うドリフト競技など

多岐に亘る。

ラリーは、WRCを代表とするスプリントラリー（写真2）と、ダカール・ラリーを代表とするラリーレイド（写真3）の2種類に分けられる。大きな違いは、スプリントラリーには前もってSSを試走することが出来るレッキと呼ばれる下見の走行枠が競技に組み込まれており、競技者はコースの情報を事前にペースノートに記す事が出来、これを基にSSのタイムアタック走行を行う。主催者より支給されるコマ図（写真4）と呼ばれる競技用の地図に記されている距離情報と、分岐や障害物の情報を基に競技区間を走行し、指定区間の通過時間を競う点は共通である。



写真2 スプリントラリー（全日本ラリー選手権）



写真3 ラリーレイド（AXCR）

対するラリーレイドはRS/SS共に競技区間の事前走行を行う事は禁止されており、初めて走るコースにて競技が行われる。これによりラリーレイドは常にコマ図を確認しながら正しいルートを見極め、SSをタイムアタックすることになる。難易度が高い複雑なルート設定では、ミスコースによるロスタイムやチェックポイント不通過によるペナルティタイムを完全に防止する事は困難であり、走行タイムに大きな影響を及ぼす。

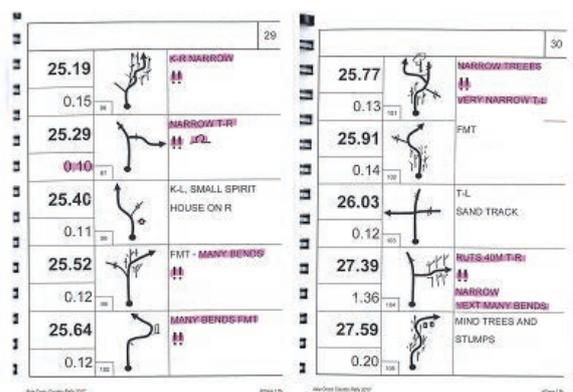


写真4 コマ図

更に、スプリントラリーは整備された一般道や林道を走行するが、ラリーレイドはこれに限らず自然環境の中を長距離走破する冒険ラリーや耐久ラリーとしての側面が強い。

又、スプリントラリーは運営本部が置かれる宿営地を変えることなく同じコースを複数回走行する為、コースに対する熟練にて走行精度を高めていく事が可能であるが、対するラリーレイドはほぼ毎日宿営地を変えながらゴールとなる目的地を目指す。数日間をかけて大移動を繰り返す為、同じコースを走る事はまず無い。

これにより、ドライバーは初めて走行するコースに対して、自身の運転感覚や経験値、有視界による情報、加えてコ・ドライバーからのナビゲート情報より瞬時に状況を判断し、車両を的確にコントロールし速く走る順応性の高さが求められる。コ・ドライバーはコマ図の情報を頼りに現在位置を把握しドライバーへの的確なルート指示や、自車の競技進行の時間管理、主催者より提示されるラリー進行の最新情報の入手と展開、如いてはドライバーのメンタルコントロールなど、ナビゲーション能力以外にもマネジメント能力が必要である。又、競技中はドライバーとコ・ドライバーのチームワークで様々なアクシデントやトラブルなど、多くの困難を乗り越えてゴールを目指さなければならない。両者の信頼関係は非常に重要であり、ラリー結果を大きく左右する。

3 ラリーレイド用ダンパの動向

AXCRは国際ラリーレイドの中においては、総走行距離が短く、車両への負担も比較的少なめである。これにより車両製作のコスト投資は控えめであり、改造範囲を絞って車両を仕上げる傾向にある。その為、サスペンションの仕上がりがラリーの結果を大きく左右する事も多く、ダンパへの依存度が高いラリーと言える。

使用出来るダンパの制限については各ラリーレイドにエントリーするレギュレーションに基づくが、取付け位置の変更・追加ダンパの設置・ロングストローク化など、規定の範囲内であれば自由に選定する事が出来る。又、減衰力調整や車高調整機構の搭載、別置きリザーバタンクの付随、その他の付加機能、更にはダンパに使用される材質や大きさ・形状については制限されることがほとんどなく無く、ダンパ仕様の自由度は高い(写真5)。

目立った禁止事項としては、走行中に競技者が任意で減衰力や車高変更が可能な電子デバイスや機械機構が当てはまる。



写真5 Team-JAOS向け AXCR2017仕様ダンパ

オフロード走行においてサスペンションのロングストローク化は、悪路走破性に対して最も有効であり、現在の主流はドライブシャフトの揺動角やサスペンションリンクの可動を加味し、ダンパのロングストロークを確保する仕様となっている。更に、ラリー中の路面入力に対するダンパの信頼性向上や付加機能を求め、サブダンパを追加設置しツインショック仕様のダンパ2本使用とする車両が多い。但し、タイヤハウス内の限られたスペースに設置する為、サスペンションアームとの干渉において制約が発生する。対して、シングルショック仕様のダンパ1本使用(写真6)も見られるが、干渉に対する制約は少なく、ダンパの費用や重量低減、車両製作の期間やコスト面、メンテナンスの簡素化や携行するスペアパーツ低減に関して有利である。

エントリーするクラスの改造制限によっては、純正とは異なる長さのワイドトレッドアームの使用が可能で、これによりタイヤ軸のストロークが規定内の最大になるように、サスペンションストロークを大幅に増加させるダンパを設定する手法も見られる。純正アームでは成立しないほどの長いタイヤストロークが確保可能になり、悪路走破性の向上において大変優位である。

減衰力特性においては様々な考え方が有るが、オフ



写真6 シングルショック (Team-JAOSのFrサス)

ロード走行における常用悪路領域と、ジャンプ着地や大きな窪みでのフルバンプ領域に分けて対応する方法が有効と考えられる。常用悪路領域ではタイヤの接地性を重視し低い減衰力が好まれ、フルバンプ領域では高い減衰力が必要とされる。これはオフロード走行において減衰力の二律背反となる。通常のダンパ構造は速度に依存しており、上記の背反を解決する事が出来ず、双方の歩み寄りにて出来る限りの両立を目指し、妥協点に落とし込んだ減衰力特性となってしまう。

レギュレーションにもよるが、近年の解決手段として、車体側とサスペンションアームの間に取り付けられているゴムやウレタンのクッションを、位置依存構造の油圧式や空気圧式の減衰力機構へ置き換えて、フルバンプ時の入力のみを緩和する手法を採用される傾向にある。ダンパは従来の速度依存構造を採用し、常用悪路領域に適した特性とする。これにより、先の背反に対応している。

強度面においては、量産車用ダンパ設計の様な耐久評価スペックを見出す事は難しい。よって、ラリー実走行時に発生し得る最悪の入力と安全マージンを加味した強固な作りが好まれる。競技区間中は、パンクしたタイヤ交換の様に、ダンパを交換する事は困難であり、修理を受けられるサービスポイントまでたどり着けない場合はリタイヤとなる危険性がある。これにより、自走が出来なくなるようなダンパの破損は容認出来ない為、重量増加よりも強度確保が優先される。ダンパ外径とロッド径が共に太いトラックの様な大型のダンパとなる。

又、長距離の悪路走行による発熱は減衰力を低下させ、車両の操縦性や安定性を悪化させる。ダンパの大型化に伴うダンパオイルの増量に加え、別置きのリザーバタンクを設置することで更にオイルを増やした発熱対策が採られる。リザーバタンクも大型で、走行風による冷却を狙ったアルミ材や放熱フィンを採用するケースもある(写真7)。



写真7 アルミ材を採用した大型リザーバタンク

ラリーレイド用のダンパ市場には、各国の製品が見られるが、特にアメリカのダンパメーカー製品が数多く見られる。背景としてアメリカでは、バハ1000を代表するオフロードレースやデザートレースが盛んであり、カスタマイズを含めたアフターパーツの市場としてオフロードレース商品が成り立っている点が挙げられる。

4 AXCR参戦

KYBは日本の4WD総合アフターパーツメーカーのジャオス殿が主体となるラリーチーム『Team-JAOS』をサポートしている。このチームは、過去に2004年から2年間、現チームの前身となる『RVパーク with JAOS』にてAXCRに参戦した経緯を持ち、2015年にジャオス殿の創立30周年を記念したプロジェクトとして単独チームの発足に至る。

KYBとのつながりは、1998年頃よりカスタマイズ市場向け4WD自動車用ダンパの製品供給より始まり、2004年のAXCR参戦よりラリー活動のサポートを開始する。今回で単独チームとして3年目のAXCR参戦となり、筆者は発足時より継続して技術サポートを行っている。

4.1 2015年大会

チーム発足時の2015年大会は、ダンパエンジニア兼メカニックとして現地帯同する機会を頂いた。背景としては、ダカール・ラリーに参戦している強豪チームなどに向けたダンパ設計開発と現地技術サポートの経験を買われ、チーム発足時の基盤を強化する補助的なメンバとして選任された。

ダンパエンジニアとしてのサポートの他に、メカニックやチームクルーとしての要役も任され、今までに無い貴重な経験となった。

おおまかな一日の流れは、朝ラリーカーの最終点検を行いスタートを見届け、昼に合流地点へ先回りしてリモートサービスと呼ばれる軽整備を行う。夕

方も宿営地へ先回りして次の日に向けた重整備となるサービス（写真8）を夜中まで行い、この流れを競技期間中毎日繰り返す。日本よりも高温多湿で設備の整っていない屋外での整備環境で、連日スピーディ且つ正確な作業が求められた。特に昼のリモートサービスは慌ただしく制限時間が5分程度と短い中で、最大限の整備を行う必要がある。破損箇所の応急修理、各部の点検や給油、窓ガラスやゼッケン拭き、飲料水や食料の補充など、即座に優先順位を付けメカニックで分担し素早く作業メニューをこなさなければならない。気持ちの高揚感や緊張感が高い独特な空気を肌で感じ、車両を無事に送り出した達成感はメカニックにしか味わえない特権と感じた。



写真8 深夜までサービスを行うメカニック達

印象深い記憶は、マシントラブルの復旧が順調に進まず、雨の中を夕食も食べられず深夜までのメカニック作業を行う日があった。この気持ちが沈む中、マネージャ役のメンバより差し入れを受けたコンビニのホットサンドイッチとコーラが、大会期間中で最も美味しく感じた。

車両はジャオス殿所有のデモカーを改造したトヨタFJクルーザーで、車幅約1.9mのワイドなボディがジャングルで取り回し難かったが、急勾配の山岳路では大排気量のガソリンエンジンでパワフルに走る頼もしい車両であった（写真9）。



写真9 Team-JAOSとして初参戦

4.2 2016年大会

2016年大会は、昨年の現地サポート経験よりダンパエンジニア兼メカニックに加え、チームマネージャの役を担う事となった。マネージャとしての仕事は、サービスクルーの行動スケジュール決定、ラリーカーのメンテナンス箇所の把握とスペアパーツの管理、飲食物の調達やお金の管理など多岐に亘る。ダンパや車両整備の作業も行いつつ、メカニック達がストレス無く作業に専念出来る様に、常にあちこち走り回っていた記憶が強く残る。又、2015年大会を越える睡眠不足もあり、表彰式のパーティー後に部屋で少し横になったつもりがそのまま眠ってしまい、チーム内の打ち上げに参加出来ず、今となっても悔やまれる思い出である。

大会中の移動の際に、タイからカンボジアへの国境越えがあった事も印象的であった。タイ出国手続きの後、50mほど歩いて国境を越える(写真10)、その後カンボジアの入国手続きを受ける。島国に住む日本人にとっては、歩いての国境越えが不思議な感覚である。何故か地元の人々は手続き無しで自由に国境を往来している様子にも違和感があった。



写真10 タイ側の国境

車両は当時日本未導入の新型トヨタハイラックスREVOを直輸入し、短い期間でラリー仕様に仕立てた。ラダーフレームの構造を持ちシャシ剛性が高く、少ない補強でも壊れずに走りきったタフな車両である(写真11)。全長約5.3mの長い車体を、狭いラリーフィールドでの取り回しを考慮しショートデッキ化し、リヤサスペンション取付け位置も変更するなど、短い期間ながら多くの改造を施した。翌年の2017年に行った車両改良にも、この時の改造ノウハウが生かされ、重要なデータ取りが出来た年になった。



写真11 KYBとJAOSのタッグが強化した2年目

4.3 2017年大会

続く2017年大会はジャオス殿とKYBの更なる協力体制強化と、過去2年間の技術サポートやチーム員としての現地帯同実績が評価され、ダンパエンジニアに加えコ・ドライバーの大役を務める事となった。加えて、ダンパ仕様は過去2年間において一般向け商品の開発をコンセプトとしたパッケージングであったが、2017年は海外の強豪ダンパメーカーに対抗できる高性能ダンパの下地作りが目標となった。

この背景としては、エンジニア自身が設計したダンパをラリー実戦で身を持って実車評価し、ものづくりへ直接フィードバックする狙いがある。これは一会社員として大変貴重な機会を与えて頂いたと共に、ダンパエンジニアと競技選手を兼務する多忙な年でもあった。新規の高性能ダンパの設計や製作は当然のことであるが、大会に向けた競技ライセンスの取得やコ・ドライバーとしての訓練や体力作りに励んだ。例年通り夏季休暇中の不在を補う家族サービスも忘れず、公私共に出来る限りの準備を整えた。

競技中は緊張や戸惑う場面も多かったが、全ての出来事が新鮮で刺激的であった。反面、毎日の如く手痛いラリーレイドの洗礼を受ける辛い日々でもあった(写真12)。例年以上に複雑でベテランのコ・ドライバーでもミスコースしてしまう難解なルート設定、突発的な車両トラブルの応急対応、高温による熱中症や長距離/長時間SSの疲労など想像以上に過酷な環境であった。改めてラリーレイドは人間にとってもサバイバルラリーであると痛感したと共に、経験や判断力そして体力や精神力の他に、野性の勘も重要であると感じた。

ダンパは6日間で約2,000kmを様々な悪路環境においてノートラブル・ノーメンテナンスで走破し、強度/剛性面や耐久性を実証する事が出来た。特性面においては、身を持って十分なほど良し悪しを体感し、今後の改善ポイントとなる糧を多く得る結果



写真12 コ・ドライバーを務めた筆者

となった。特にラリー実走行路面は開発時のテスト走行路面とは大きく異なる部分が多数確認され、再現性の高い走行路面の選択が開発をスムーズに進めるポイントになると考える。又、改良事項はダンパだけで解決するのではなく、車両全体を通して改良する必要性も強く感じた。

どのモータースポーツでも共通する事であるが、速く走る上でアクセルを開ける時間をどれだけ長く作れるか、単純ではあるが一つの考え方である。ラリーレイドにおいては、どんな不整路面でも減速を行う必要が無く、何も無かったかのように通過出来るのが理想と考える。

車両は2016年大会に引き続き、トヨタハイラックスREVOで参戦。前年の実績より、リヤサスペンションの取り回しを大きく見直すなど、多数の改良ポイントを盛り込んだ。前年以上にハードなラリーであったが目立った車両トラブルは無く、強健ぶりを見せた。車両の内側が透けて見える様な、スケルトングラフィックのカラーリング(写真13)が斬新であった。



写真13 スケルトングラフィックのカラーリング

5 タイの自動車事情とラリーレイド

タイは日本企業の生産拠点として重要な国であり、これは他の自動車関連企業も例外では無い。そのため、今回のラリーカーのベース車両の様に現地生産車が多く街中を走っている。もちろん、日本からの輸入車も多く、タイ全体での日本車の割合はとても高く感じる。

中でも、日本ではあまり見る事のないピックアップトラックが数多く見られた。タイの都市にもよるが、人も荷物も多く運べて未舗装路も走行出来る、生活の足を担う一般人の乗用車として選ばれているようである。商用車はもちろんのことであるが、タクシーや警察車両もピックアップトラックであった(写真14)。AXCRに参戦している車両としてピックアップトラックが選ばれている背景も、市場に合わせた自動車企業の宣伝戦略の影響が強いと理解できる。



写真14 警察車両(左)とタクシー(右)

ラリーサポートを通じて、タイの地方都市や農村を訪れる機会が多くあったが、未舗装路ながらそれなりに整備されており、山奥まで道路整備が進んでいる印象を受けた。街中や山村を問わず、あちこちで道路工事をしている光景も多く見られた。道路インフラ整備水準が盛んな国は経済成長率も高いと聞いたことがあり、順調な経済成長を遂げているように感じた。

道路網の整備で僻地でも人の往来が可能になり、ラリーSS中に人里離れた山奥にも関わらずスクーターに乗った村人とすれ違う場面が何度かあった(写真15)。しかし、大会開催の安全性確保やラリーレイドとしてのアドベンチャー性を考えると、残念ながらタイ国内のみでは競技出来るルートが少なくなっている印象であった。その一方で整備された道路が増える事で将来のタイでは、ラリーレイドに代わりスプリントラリーが盛んに開催される日が来るかもしれない。



写真15 ラリーの見物に訪れた地元の子供たち

6 おわりに

今回筆者がコ・ドライバを務めるにあたり、社内外を問わず多くの方々のご協力やご支援を頂き、出

著者



田中 一弘

2001年入社。オートモーティブコンポーネンツ事業本部サスペンション事業部技術部第三設計室。市販向けショックアブソーバの開発に従事。

場から完走まで至る事が出来ました（写真16）。

この場をお借りして関係者の皆様に深く感謝を申し上げます。



写真16 2017年AXCR完走（右が筆者）

編集後記

KYB技報の発行に際し、毎回編集委員による添削が行われるのであるが、1日掛けて集まってきた原稿をチェックして改めて気付くのは製品や技術のジャンルの広さである。

当然、初めて知る情報も多く内容を理解することに苦慮することがある。実はこの記事のひとつひとつに様々なドラマがあり、凝縮に凝縮を重ねて2～3ページの記事が集約されていることを考えると非常に貴重なものであると改めて思う。(吉村委員)

設計の仕事に携わって20年以上が過ぎた。近年、特に自分の既成概念を超えた製品を開発する難しさを感じている。技報を読んでいると、この手があったのかと思うことが時折ある。内容をすべて理解しているわけではないが、自分の常識で考えると、採用しづらいことをあえて採用しているように読み取れるため、常識や先入観、既成概念などを乗り越えて試した結果と想像している。自分の仕事でも、そういった新しいヒントや気付き、発想を否定せず、現状を超えたものを生み出す活動をしていきたい。(赤塚委員)

編集委員になって、最初に手掛けた編集は過去に自分が駐在した中国の駐在記であった。人それぞれの感覚の違い、また駐在している地域が違っていると、同じ中国でもまったく異なる環境に見えることが判り新鮮に感じた。

今回のタイの駐在記についても、出張でしか行ったことがない私にとって、生活してみても見えてくることも多々感じる事ができ、編集委員の楽しさを感じた。今後もKYB技報編集委員として技報の楽しさを伝えられるよう心掛けていきたい。(地口委員)

編集委員

◎手塚 隆	技術本部技術企画部部长	赤堀 正弘	KYBモーターサイクルサスペンション(株)生産技術部
中村 善也	技術本部基盤技術研究所要素技術研究室	野口 浩市	HC事業本部岐阜南工場生産技術部
村上 敏和	技術本部生産技術研究所	地口 慎一	経営企画本部経営企画部
小倉 雅則	技術本部知的財産部第一知的財産室	野口 恵伸	技術本部事業開発推進部
小川 義博	HC事業本部技術統轄部相模油機技術部	岩田 達也	人事本部
吉村 光明	航空機器事業部生産部	伊藤 好文	カヤバシステムマシナリー(株)技術部
川島 茂	特装車両事業部熊谷工場技術部	宮嶋 勝昭	KYBエンジニアリングアンドサービス(株)技術部
伊藤 直樹	AC事業本部技術統轄部製品企画開発部	河野 義彦	(株)タカコ技術本部開発部
赤塚浩一郎	AC事業本部ステアリング事業部ポンプ技術部	仙田 貴弘	KYB-YS(株)設計部
米澤 和彦	AC事業本部サスペンション事業部実験部	金井 昭文	KYBトロンデュール(株)技術部
横島 伸	AC事業本部サスペンション事業部生産技術部	○宮 能治	技術本部技術企画部

◎編集委員長

○編集事務局

HC事業本部：ハイドロリックコンポーネンツ事業本部

AC事業本部：オートモーティブコンポーネンツ事業本部

KYB技報 第56号

〔禁無断転載〕 〔非売品〕

発行 行

2018年4月1日

編集発行人

KYB技報編集委員会

発行所

KYB株式会社

(2015年10月1日よりカヤバ工業株式会社は商号をKYB株式会社に変更いたしました)

〒105-6111

東京都港区浜松町二丁目4番1号

世界貿易センタービル

電話 03-3435-6451

FAX 03-3436-6759

印刷所

勝美印刷株式会社/東京・白山

ホームページへの掲載のお知らせ

日頃、KYB技報をご愛読いただきありがとうございます。第50号(2015年4月発行)から、より多くの方々にご覧いただくことを目的とし、弊社ホームページへの掲載を行っております。是非ご利用下さい。

なお、冊子の発行は従来通り行ないますので、こちらをあわせてご利用下さい。

〈KYBのホームページアドレス〉

<http://www.kyb.co.jp/>

(トップ画面からKYB技報バナーをクリックして下さい)