

ISSN 1880-7410

KYB TECHNICAL REVIEW

KYB技報

OCT. 2021 No. **63**

K
Y
B
技
報

KYB TECHNICAL REVIEW No. 63 OCT. 2021

KYB

Our Precision, Your Advantage

KYB

KYB 株式会社

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)

2021年8月1日現在

本社・営業 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ディング南館28階 ☎105-5128 ☎(03)3435-3511

基盤技術研究所	神奈川県相模原市南区麻溝台一丁目12番1号	☎252-0328	☎(042)745-8111
生産技術研究所	神奈川県相模原市土田60番地	☎509-0206	☎(0574)26-1453
KYB開発センター	岐阜県加茂郡川辺町鹿塩字白砂1185番地	☎509-0307	☎(0574)52-1323
工機センター	岐阜県可児市土田60番地	☎509-0206	☎(0574)26-5310
工北南関東支店	埼玉県戸田市美木1159	☎335-0031	☎(048)499-9333
大阪支店	神奈川県相模原市南区麻溝台一丁目12番1号	☎252-0328	☎(042)746-5587
福岡支店	愛知県名古屋市中村区名駅五丁目27番13号(名駅錦橋ビル2階)	☎450-0002	☎(052)587-1760
福岡営業所	大阪府吹田市江坂町一丁目23番20号(TEK第2ビル)	☎564-0063	☎(06)6387-3221
広島工場	福岡県福岡市博多区博多駅東二丁目6番26号(安川産業ビル)	☎812-0013	☎(092)411-2066
相模谷工場	神奈川県相模原市南区麻溝台一丁目12番16号(広島ビル)	☎732-0052	☎(082)567-9166
岐阜北南東工場	埼玉県深谷市長溝台2050番地	☎369-1193	☎(048)583-2341
岐阜北南東工場	岐阜県可児市土田2548番地	☎509-0298	☎(0574)26-5111
岐阜北南東工場	岐阜県可児市土田505番地	☎509-0297	☎(0574)26-1111
岐阜北南東工場	岐阜県可児市長溝台1129番地	☎509-0206	☎(0574)26-2135
三重工場	三重県津市雲出長常町1129番地11	☎514-0396	☎(059)234-4111
KYBステージエンジニアリング株式会社	三重工場内	☎514-0396	☎(059)234-9260
KYBトロンデュール株式会社	東京都府中市浦3909番地	☎949-5406	☎(0258)92-6903
KYB金山株式会社	京都府相楽郡精華町祝園西一丁目32番地1	☎619-0240	☎(0774)95-3336
KYB-Y S株式会社	岐阜県下呂市金山町戸部4350番地130	☎509-1605	☎(0576)35-2201
KYBモーターサイクルスベンション株式会社	岐阜県埴科郡坂城町坂城9165番地	☎389-0688	☎(0268)82-2850
KYBエンジニアリングアンドサービス株式会社	岐阜県可児市土田2548番地	☎509-0298	☎(0574)27-1170
KYBロジスティクス株式会社	東京都港区芝公園一丁目6番7号(住友不動産ランドマークプラザ)	☎105-0011	☎(03)6895-1260
ジャパン・アナリスト株式会社	岐阜県可児市姫ヶ丘二丁目16番地	☎509-0249	☎(0574)26-6427
	神奈川県相模原市南区麻溝台一丁目12番1号 KYB株式会社 相模工場内	☎252-0328	☎(042)749-7512
	埼玉県戸田市美木1159 KYBエンジニアリングアンドサービス株式会社 戸田事業所内	☎335-0031	☎(048)499-9336

KYB Corporation

(Kayaba Industry Co., Ltd. employed “KYB Corporation” as the popular name from October 1st, 2015.)

Head Office

World Trade Center Bldg., 2-4-1, Hamamatsu-cho,
Minato-ku, Tokyo 105-6111, Japan Tel：(81)3-3435-3511

Overseas Subsidiaries and Affiliates

[Americas]

KYB Americas Corporation

2625 North Morton, Franklin, Indiana 46131, U.S.A.
TEL: (1)317-736-7774

Takako America Co., Inc.

715 Corey Road Hutchinson, Kansas 67504-1642, U.S.A.
TEL: (1)620-663-1790

KYB International America, Inc.

2625 North Morton, Franklin, Indiana 46131, U.S.A.
TEL: (1)317-346-6719

KYB Mexico S.A. de C.V.

Circuito San Roque Norte #300 Santa Fe II Puerto Interi-or, Silao Guanajuato, CP 36275, Mexico
TEL: (52)472-748-5000

KYB Latinoamerica, S.A. de C.V.

Blvd. Manuel Avila Camacho No. 32, Int. 403, Col. Lomas de Chapultepec, Del. Miguel Hidalgo, DF, 11000, Mexico
TEL: (52)55-5282-5770

KYB Manufacturing do Brasil Fabricante de Autopeças S.A.

Rua Francisco Ferreira da Cruz, 3000, Fazenda Rio Grande-Parana, CEP 83820-293, Brazil
TEL: (55)-41-2102-8200

Comercial de AutopeÇas KYB do Brasil Ltda.

Rua Cyro Correia Pereira, 2400 Suite 07-Cidade Industrial, Curitiba-PR, 81460-050, Brazil
TEL: (55)41-3012-3620

[Europe]

KYB Europe GmbH

Langfeldstrasse.11 80939 Munich, Germany
TEL: (49)-89-5480188-0

KYB Suspensions Europe, S.A.U.

Ctra. Irurzun S/No. 31171 Ororbia Navarra, Spain
TEL: (34)948-421700

KYB Advanced Manufacturing Spain, S.A.U.

Poligono Industrial Perguita Calle B, No. 15, 31210 Los Arcos Navarra, Spain
TEL: (34)948-640336

KYB Manufacturing Czech, s.r.o.

U Panasonice 277, Stare Cívce, 530 06 Pardubice, Czech Republic
TEL: (420)466-812-233

KYB CHITA Manufacturing Europe s.r.o.

Prumyslova 1421, 53701 Chrudim, Czech Republic
TEL: (420)469-363-302

LLC KYB Eurasia

117638 Odesskaya street 2 building A, Moscow, Russian Federation
TEL: (7)495-7716010

[Asia]

KYB Steering (Thailand) Co., Ltd.

700-829 Moo 6, T. Nongtamlueng Amphur Panthong, Chonburi 20160,Thailand
TEL: (66)3-818-5559

KYB (Thailand) Co., Ltd.

700/363 Moo 6, Amata Nakorn Industrial Park2, Bangna-Trad Road, K.M. 57, Tambol Don Hua Roh, Amqhur Muang, Chonburi 20000, Thailand
TEL: (66)3-846-9999

KYB Asian Pacific Corporation Ltd.

No. 4345 Bhiraj Tower at BITEC, Unit 1209-1211, 12th Floor, Sukhumvit Road, Bangnatai Sub-District, Bangna District, Bangkok 10260, Thailand
TEL: (66)2-300-9777

KYB-UMW Malaysia Sdn. Bhd.

Lot 8, Jalan Waja 16, Telok Panglima Garang, 42500 Kuala Langat, Selangor, Malaysia
TEL: (60)3-3322-0800

PT. KYB Hydraulics Manufacturing Indonesia

JL. Irian X blok RR2 Kawasan MM2100, Cikarang Barat 17520, Indonesia
TEL: (62)21-28080145

PT. Kayaba Indonesia

JL. Jawa Blok ii No. 4 Kawasan MM2100, Cikarang Barat 17520, Indonesia
TEL: (62)21-8981456

PT. Chita Indonesia

JL. Jawa Blok ii No. 4 Kawasan MM2100, Cikarang Barat 17520, Indonesia
TEL: (62)21-89983737

KYB Manufacturing Vietnam Co., Ltd.

Plot 1 10-1 11-1 12, Thang Long Industrial Park, Dong Anh District, Hanoi, Vietnam
TEL: (84)24-3881-2773

Takako Vietnam Co., Ltd.

27 Dai Lo Doc Lap, Vietnam Singapore Industrial Park, Thuan An District, Binh Duong, Vietnam
TEL: (84)274-378-2954

永華機械工業股份有限公司

KYB Manufacturing Taiwan Co., Ltd.

No. 493, Guang Hsing Road, Bade District, Taoyuan City, 33454, Taiwan
TEL: (886)3-368-3123

KYB Motorcycle Suspension India Pvt. Ltd.

Pilot No. 6, Sipcot Industrial Park, Vallam Vadagal Village, Sriperumbudur Taluk, Kancheepuram District 631604 Tamil Nadu, India
TEL: (91)44-3012-4301

KYB-Conmat Pvt. Ltd.

702-703, Beside N. H. No. 8, Por, Vadodara 391243, Gujarat, India
TEL: (91)960-1551608

KYB Corporation Chennai Branch

No. 408, Height 1, Temple Green Project, Mather Village, Sriperumbudur Taluk, Kancheepuram District, India 602105
TEL: (91)2568-0501

KYB Middle East FZE

Office No. 2010 20th Floor, Tower-A JAFZA One, Jebel Ali Free Zone, P.O.BOX261819, Dubai, UAE
TEL: (971)4-887-2448

[China]

凱途必(中国)投資有限公司

KYB (China) Investment Co., Ltd.

No. 121, Wei 3 Road, Dingmao, Zhenjiang New Zone, Zhenji-ang, Jiangsu, 212009, China
TEL: (86)511-8558-0300

凱途必機械工業(鎮江)有限公司

KYB Industrial Machinery (Zhenjiang) Ltd.

No. 38, Wei 3 Road, Dingmao, Zhenjiang New Zone, Zhen-jiang, Jiangsu, 212009, China
TEL: (86)511-8889-1008

無錫凱途必拓普減震器有限公司

Wuxi KYB Top Absorber Co., Ltd.

No. 2 Xikun North Road, Singapore Industrial Zone, Xin-wu District, Wuxi, Jiangsu, 214028, China
TEL: (86)510-8528-0118

常州朗銳凱途必減振技術有限公司

Changzhou KYB Leadrun Vibration Reduction Technology Co., Ltd.

No. 19 Shunyuan Road, New District, Changzhou, Jiangsu 213125 China
TEL: (86)519-8595-7206

湖北恒隆凱途必汽車電動轉向系統有限公司

Hubei Henglong & KYB Automobile Electric Steering System Co., Ltd.

108 Shacen Road, Economic and Technological Develop-ment Zone, Jingzhou, Hubei, China. 434000
TEL: (86)716-416-7951

知多鋼鐵工業(鎮江)有限公司

CHITA KYB Manufacturing (Zhenjiang) Co., Ltd.

No. 8 Building-1F, New Energy Industrial Park (North Park), No. 300, Gangnan Road, Zhenjiang New District, Ji-angsu 212132, China
TEL: (86)511-8317-2570

KYB(株)では、複写複製および転載複製に係る著作権を一般社団法人学術著作権協会に委託しています。当該利用をご希望の方は、学術著作権協会（https://www.jaacc.org/）が提供している複製利用許諾システムもしくは転載許諾システムを通じて申請ください。

KYB Corporation authorized Japan Academic Association For Copyright Clearance (JAC) to license our reproduction rights and reuse rights of copyrighted works. If you wish to obtain permissions of these rights in the countries or regions outside Japan, please refer to the homepage of JAC (http://www.jaacc.org/en/) and confirm appropriate organizations to request permission.

KYB技報

第63号 2021-10

目 次

巻頭言

まだまだ面白いモータテクノロジー

加納 善明 1

技術紹介

外付け式ソレノイド減衰力調整式ショックアブソーバ

安部 友泰 3

乗心地&静粛性改良と新型ソレノイドの開発

土井 康平

KYBのアクティブサスペンションの開発

稲満 和隆 9

堀 匡利

技術解説

設備予知保全システムの開発

古川 輝 15

井指 諒亮

製品紹介

マイニングダンプトラック用 シリンダ機器の開発

谷川 夏樹 23

長谷川一樹

二輪車用電子制御サスペンションシステム“KADS”の開発

植村 將史 30

小島 弘幸

菅原 英利

技術紹介

SA・PS統合制御技術の研究

佐々木 啓 36

綱井 秀樹

金子 周平

工藤 朋之

久保 大和

菅原 央道

用語解説

テレスコピック式シリンダ

中野 智和 43

パイロット式

河野 義彦 45

自動運転レベル

椛澤 亮一 46

編集後記

KYB TECHNICAL REVIEW

No. 63 OCT 2021

CONTENTS

Foreword

Motor Technology is Still Interesting KANO Yoshiaki 1

Technology Introduction

Externally-Mounted Shock Absorber with Adjustable Solenoid Damping Force
Development of a New Type of Solenoid and improvement of a Comfortable Ride & Quietness
ABE Tomoyasu 3

DOI Kouhei
Development of Active Suspension by KYB INAMITSU Kazutaka 9
HORI Masatoshi

Technology Explanation

Development of an Equipment Predictive Maintenance System FURUKAWA Akira 15
ISASHI Ryouusuke

Product Introduction

Development of Cylinder Equipment for Mining Dump Trucks TANIGAWA Natsuki 23
HASEGAWA Kazuki

Development of "KADS"— An Electronically-Controlled Suspension System for Motorcycles
UEMURA Masashi 30
KOJIMA Hiroyuki
SUGAWARA Hidetoshi

Technology Introduction

Research on SA · PS Integrated Control Technology SASAKI Kei 36
TSUNAI Hideki
KANEKO Syuhei
KUDO Tomoyuki
KUBO Yamato
SUGAWARA Hiromichi

Glossary

Telescopic cylinder NAKANO Tomokazu 43

Pilot-operated KAWANO Yoshihiko 45

Levels of Driving Automation KABASAWA Ryouichi 46

Editors Script

巻頭言

まだまだ面白いモータテクノロジー

加納 善明*



この度、油圧機器を中心に幅広いビジネスを展開されているKYB株式会社の「KYB技報63号」に巻頭言を書かせて頂く機会を頂き、誠に光栄であります。

この巻頭言をお読み頂いている方々は、具体的な取り組みの中での立場の違いはあっても、何らかの形で「ものづくり」に携わっておられる方だと思いますし、ものづくりによって利便性や機能、効能を生み出すことに大きな感動を体験された方が多いと思います。本稿では、日本のものづくりを支えるモータ技術について、その魅力に引き込まれた経緯と取り組んでいる研究、これからのモータについて触れたいと思います。

1. モータとの出会い

私が子供の頃は、ものづくりの教材が生活の中に沢山ありました。自宅が兼業農家であったため、秋には脱穀しているところを見たり、御影石で有名な岡崎市に住んでいた関係から近くには石屋町があり、石職人さんがピシヤンを用いて石を叩いているところを見たり、ものづくりに対する好奇心をおおるようなものが周りに沢山ありました。今は物が豊富なうえに非常に精密にできており、自分で修理したりする余地がないため、最近の子供はものづくりについて何も感じる事が出来ないままに成長してしまうのではないかと、少なからず危惧しております。

子供の頃のものづくりに対する思いがあったからでしょうか、大学の3年になってから、直流モータなどの電気機器というカリキュラムが始まったのですが、これだけはよく勉強をしました。同じ時期に履修していた科目と異なり、歴史の長い工業製品「モータ」を扱った科目であることに加え、電気・磁気のみならず材料、機械、制御技術など様々な理論を融合した、まさに工学のイメージに相応しい学問であったからです。モータは200年近い歴史を持ちますが、現在でも電力消費量の約50%を使用しており、価格、信頼性、出力密度など、非常にバラン

スの取れた代替余地の殆どない電気-機械エネルギー変換デバイスと言っても過言ではありません。丁度この頃、世界最初の量産ハイブリッド車「プリウス」が発売されました。モータは鉄と銅の産物でローテクのイメージが強かったのですが、新しい構造のモータが新しいコンセプトの車に搭載されたことを受け、モータは限りなく面白いハイテク製品と考えを改めました。そして同時に、最先端の研究をしたいと思いモータの研究・開発を行っている数少ない研究室へ入ることを決意しました。

2. 大学での研究活動

マスターコースで用途指向形モータの計算機援用設計という題材でモータの世界に触れ、以来20年近くが過ぎました。用途指向形モータの概念は、恩師である名古屋工業大学 松井信行 元学長が1995年に提唱されたものです。具体例を挙げれば、ハイブリッド車の駆動用モータのように、エンジンルームの限られたスペースの中で、高い要求性能を満たすためにモータの構造や機構そのものも要求仕様へ特化設計させる、という概念のモータです。従来の汎用的なモータとは異なり、このように開発されたモータこそが今後のモータであり、その世界を切り開くためには設計のリードタイム短縮が命、言い換えれば、概略設計、詳細設計、試作評価のプロセスを短期間で行う計算機援用設計が不可欠であるという考えでした。実際に恩師の考えの通り、計算機能力の飛躍的進歩とともに、三次元での磁気飽和現象を含む電磁気現象の解明が容易となり、様々な用途に合わせ専用設計され進化したモータが使われるようになりました。現在は、モータの進化を左右する材料技術に焦点をあて、新素材こそがモータ特性向上の切り札になるという信念の下、次の時代の要請に応えるモータ技術の創出に取り組んでいます。

3. これからのモータ

最近になって、モータの応用範囲やユーザー層は、様々な分野へ広がりを見せ、モータを誰もが利用しやすくする製品の開発が活発化しています。その背

*大同大学 准教授

後には、IoT (Internet of Things) の普及があり、家電製品、自動車など、様々なアプリケーションがネットワークに繋がり「ネットワーク家電」、「つながる車」の時代に入ってきました。そこで使われるモータはどう進化するのでしょうか？例えばエアコンでは、帰宅前にエアコンのスイッチを遠隔で操作すれば、部屋の温度を急速に暖めたり冷やしたりする能力は必要なくなるかもしれません。自動車では、極端な話、眠っていても衝突しない、映像情報から

自分で判断して何もないところでも走っていきける、車がロボット化する、そんな時代がくるかもしれません。その場合、モータに要求される項目とともに求められる性能は大きく変化し、それに応える新しい技術の創出が求められます。昨今の社会構造やライフスタイルの変化に合わせて、新しい価値を生み出すモータテクノロジーはまだまだ面白く、その進化から目が離せない。

外付け式ソレノイド減衰力調整式ショックアブソーバ 乗心地&静粛性改良と新型ソレノイドの開発

安部 友泰 ・ 土井 康平

1 はじめに

2000年ごろから自動車へ搭載され始めたセミアクティブサスペンションは年々搭載車両が増加しており、今後もさらに増えていくと予想されている(図1)。

セミアクティブサスペンションとは、時々刻々と変化する路面からの入力に対し、リアルタイムで減衰力を制御するシステムのことで、アクティブサスペンション^{注1)}を減衰力調整式ショックアブソーバ(以下減調SA)で近似的に実現しようとするものである¹⁾。

注1) パワー源をもち、路面状況に応じて加振・制振両方向に荷重を発生することができるサスペンション。

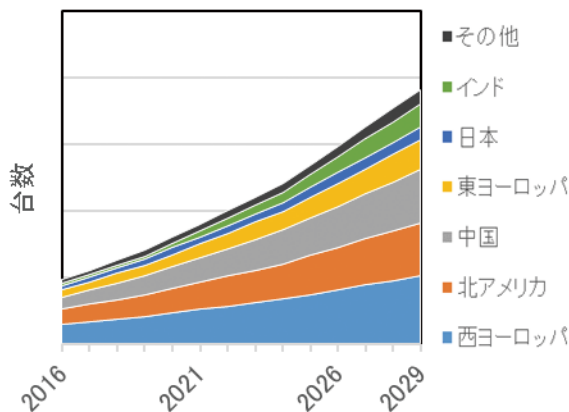


図1 セミアクティブサスペンション搭載車両数量予測

減調SAの種類について減衰力調整方式の割合を図2、減衰力調整バルブ搭載位置の割合を図3に示す。

減衰力調整方式としてはソレノイドを用いることが主流となっており、減衰力調整バルブ搭載位置としてはショックアブソーバ外側に設置する外付け式が主流となっている。

KYBでも減調SAの中で主流であるソレノイド制御弁(以下SOL弁)をショックアブソーバ外側へ設

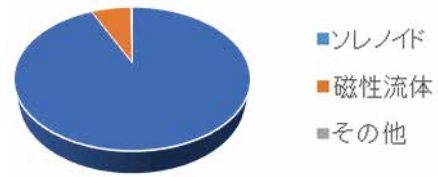


図2 減衰力調整方式の割合(2019年度)

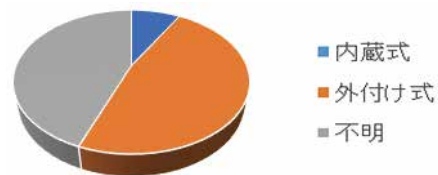


図3 減衰力調整バルブ搭載位置の割合(2019年度)

置した、外付け式ソレノイド減調SAを2016年末より量産している(写真1)。



写真1 KYB製外付け式ソレノイド減調SA

本報では市場にて外付け式ソレノイド減調SAの更なる向上を求められた乗心地と静粛性の性能改良を行い、2020年末より量産を開始した外付け式ソレノイド減調SAの技術について紹介する。

2 乗心地

減調SAの性能の中で、車両の乗心地に影響を与える部分と今回の改良での狙いについて説明する。

2.1 車両の乗心地と減調SAの減衰力

減調SAの減衰力イメージを図4に示す。この図で示すように減調SAにて車両の乗心地に最も影響を与えるのはソフトモードで発生する減衰力である²⁾。

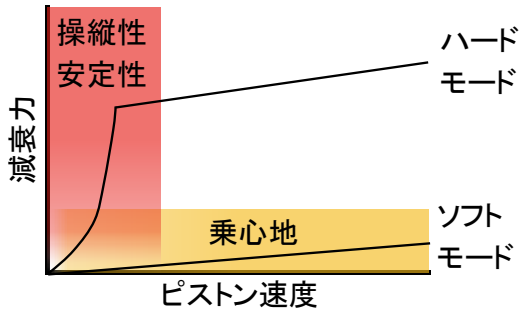


図4 減調SAの減衰力イメージ

ソフトモード減衰力は乗心地へ影響するとともに、車両の最低限の接地性を確保するという役割も担っている。

乗心地の観点からはソフトモード減衰力は路面からの入力を緩和・遮断するために低い方が良い。

しかしながら、接地性の観点からはある程度の減衰係数となる減衰力も必要であり、ソフトモード減衰力は背反する2つの要求を持つ³⁾。

2.2 ソフトモード減衰力 改良の狙い

図5に示すようにピストン速度と減衰力の中で減衰係数が一定の条件は、破線で示したピストン速度に対して一定の傾きを持った直線となる。

今回、車両の接地性を確保しつつ乗心地を向上するため、図5の赤線で示すような低ピストン速度領域のみが低減衰力の設定となるようSOL弁の改良を行った。これによって路面からの小入力に対しては入力を遮断・緩和することで乗心地を向上させ、接地性が損なわれるような大入力に対しては必要な性能を確保することを狙いとしている。

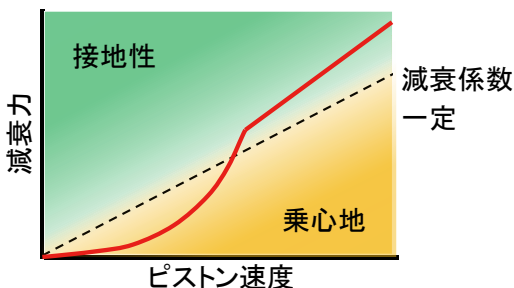


図5 ソフトモード減衰力の狙いと減衰係数

3 静粛性

ショックアブソーバによる車両異音としてコトコト音がある。これは少し荒れた簡易舗装路などを10～30km/hの低速で走行しているときに発生するコトコトという数100Hzの車内騒音である。

音の伝達系は図6に示すとおりであり、ショックアブソーバの行程切替わり時に生じる荷重変動がピストンロッドを加振し、車両側マウント（インシュレータ）を介し車体に伝達・共振して発生する音である⁴⁾。

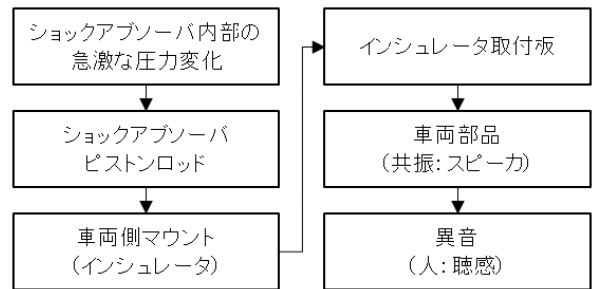


図6 コトコト音の伝達系

コトコト音の原因となるショックアブソーバでの急激な荷重変動は、多くの場合にバルブの開弁時に発生する。これはバルブ開弁前後での圧力特性が急変するためであり、これを低減する方法の一つとして、バルブと並列に設置されているオリフィス面積を大きく設定することが有効である。

4 SOL弁の改良

外付け式ソレノイド減調SAの減衰力調整機能を担うSOL弁の概要と今回の改良点、新型ソレノイド開発が必要になった背景について説明する。

4.1 SOL弁の概要と改良点

外付け式ソレノイド減調SAは3重管構造となっており、ショックアブソーバの伸・圧の両行程でSOL弁へ作動油が流れる。SOL弁はパイロット方式の電磁比例リリーフ弁となっており、制御電流に応じたソレノイド推力によって圧力をコントロールする。これにより最終的にショックアブソーバの減衰力を変化させる。

図7にSOL弁の簡易モデル図を、図8にSOL弁の油圧回路図を示す。

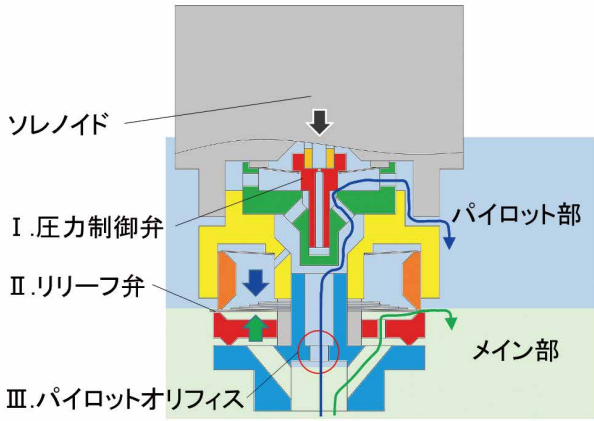


図7 SOL弁の簡易モデル図

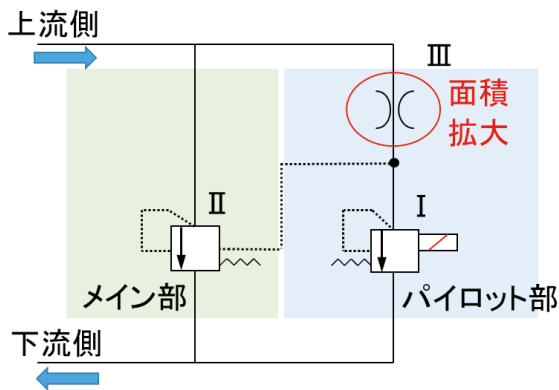


図8 SOL弁の油圧回路図

また、SOL弁の動きについては下記の通り説明する。

- ①パイロット部の流れに対してソレノイド推力を受けたI. 圧力制御弁にてパイロット圧力がコントロールされる
- ②パイロット圧力でII. リリーフ弁に閉じ方向の荷重が発生する
- ③パイロット流量が増加するとIII. パイロットオリフィスで発生する差圧が大きくなり、メイン側圧力が増加する
- ④メイン側圧力で発生する荷重が大きくなるとII. リリーフ弁が開弁する

乗心地向上のために低減したいソフトモードの低ピストン速度領域での減衰力は、パイロット部での発生差圧が支配的である。このため、今回の改良ではパイロット部のオリフィス面積を拡大することによって、減調SAの低ピストン速度領域での減衰力を低減した。

また、このオリフィス面積の拡大によって図9のようにメイン部バルブ開弁点前後での圧力特性の急激な変化を抑えることができる。これによって、ショックアブソーバでの急激な荷重変動を抑えるこ

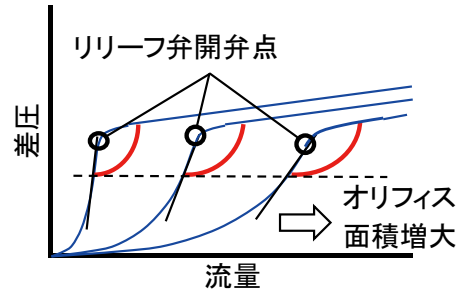


図9 オリフィス面積と圧力変動

とができ、コトコト音の発生抑制にも寄与している。

4.2 SOL弁改良での課題

パイロット部のオリフィス面積を拡大すると図10に示すようにピストン速度に対するパイロット流量が増加してしまう。従来構造ではパイロット流量の許容限界が存在し、これを超えると意図せずフェールセーフモード^{注2)}へ移行してしまう不具合が発生する。車両走行中に意図せずフェールセーフモードに切替わってしまうと、突然減衰力が大きくなり乗心地を悪化させてしまう。

注2) 減調SAへの電流が遮断されても車両の安全のため、ある程度の減衰力を発生するためのモード

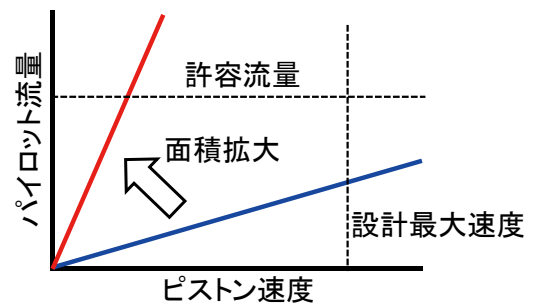


図10 従来構造での問題

これは従来構造においてフェールセーフモードへの切替えがパイロット流量に依存しているためであり、この構造のまま問題を解決するためには、SOL弁の体格をかなり大きくする必要があった。しかしながら、それでは車両搭載ができなくなる課題があった。

このため、従来構造のままパイロットオリフィスを拡大することは難しく、フェールセーフモードへの切替えを電流のみに依存した新SOL弁構造を検討し、フェール時(0A)でも推力を発生する新型ソレノイドを開発することとなった。

5 新型ソレノイドの開発

新型ソレノイドはKYB製減調SAの持つ課題を解決するために（株）タカコにて開発した。ソレノイド外観を写真2に示す。



ハーネスタイプ

ダイレクトタイプ

写真2 ソレノイド外観

5.1 ソレノイドの構造

フェール時（0A）に推力を発生させるためにソレノイドにスプリングを内蔵した。また、通電時に比例特性の推力を発生させるプランジャAと通電時にスプリングの推力を封印するプランジャBで構成されるダブルプランジャ（以下DP）ソレノイド構造を考案した。図11に無通電時の状態、図12に通電時の状態のDPソレノイド構造を示す。

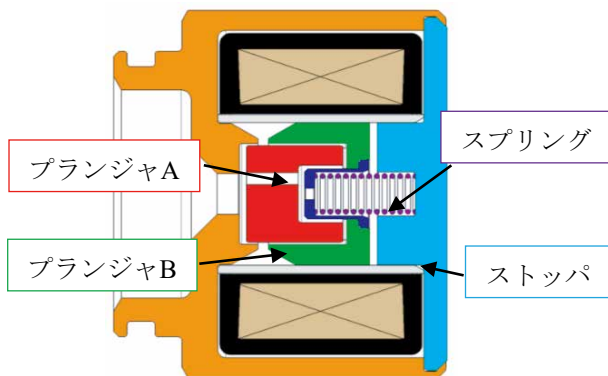


図11 DPソレノイドの構造（無通電時）

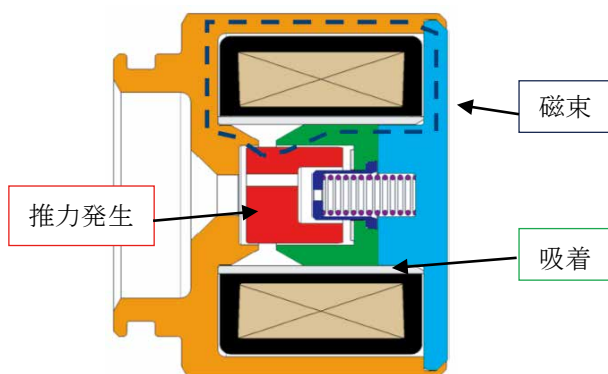


図12 DPソレノイドの構造（通電時）

5.2 DPソレノイドの動作

本構造は、プランジャAに比例ソレノイドの推力特性を持たせ、プランジャBにON/OFFソレノイドの推力特性を持たせたことを特長としている。

各ソレノイドの推力特性イメージを図13、図14に示す。

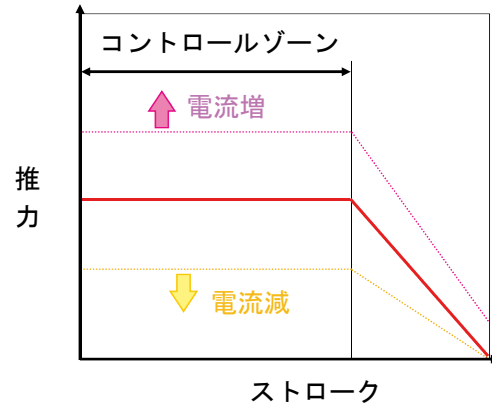


図13 比例ソレノイド推力特性イメージ図

比例ソレノイドの推力特性は、コントロールゾーン内において、プランジャがどのストローク位置においても制御電流の大きさに比例した推力が得られる。

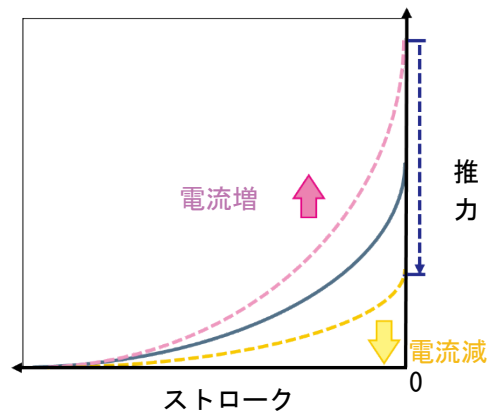


図14 ON/OFFソレノイド推力特性イメージ図

ON/OFFソレノイドの推力特性は、電流を減少させても吸着時（ストローク0mm）では高い推力を維持できる。

次に、DPソレノイドの動作について説明する。動作イメージを電流と推力の特性図にて図15に示す。

- ①無通電時（0A）はスプリング荷重にて推力が発生する。（フェールセーフモードの減衰力を決める）
- ②通電を開始すると制御電流範囲内、プランジャBがストッパに吸着し、スプリング荷重を封印する。

- (フェールセーフモードの解除)
- ③スプリング荷重から解放されたプランジャAは制御電流に応じた推力を発生させる。
(車両走行時の減衰力を決める)
 - ④制御電流範囲以下の電流(又は無通電)になるとプランジャBがストッパから外れ、初期状態に戻り、スプリング荷重が発生する。
(フェールセーフモードへの切替え)

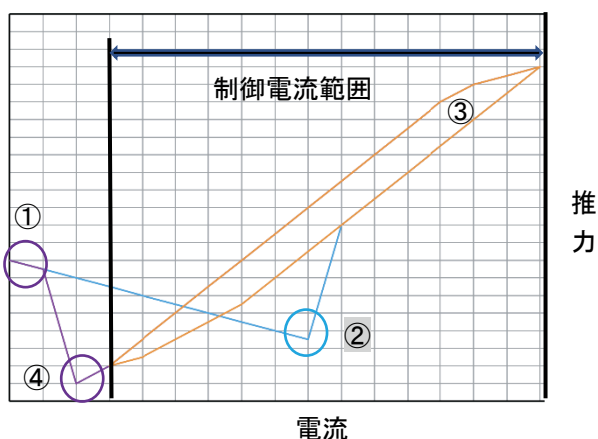


図15 電流と推力の特性図(動作イメージ)

ON/OFFソレノイドの推力特性により、制御電流範囲内であれば、低電流時であってもスプリングを封印し続けることが可能となっている。

5.3 DPソレノイドの成立性検討

決められた体格(車両搭載上問題とならないレベル)で、プランジャAの比例特性とプランジャBの吸着時推力を両立させる必要があった。

本構造は、従来のソレノイドとは異なり1つのコイルで2つのプランジャに推力を発生させる特殊な構造であるため、プランジャ別に磁場解析を行う工夫をし、推力検討を実施した。図16に磁場解析モデルのイメージ図を示す。その結果、プランジャAの比例特性とプランジャBの吸着時推力がトレードオフの関係にあることがわかり、初期試作の段階では、プランジャAの比例特性に対して課題があった。

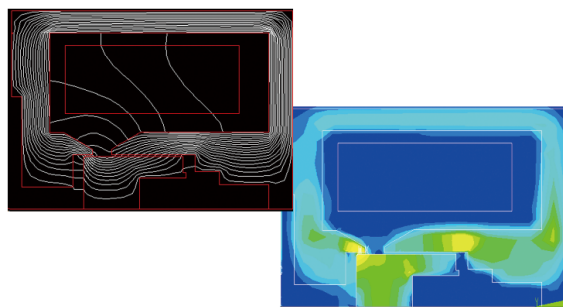


図16 磁場解析モデルイメージ図

対策形状を検討し、試作検証を実施。検証結果を考慮した上で、解析を重ねることで、プランジャAの比例特性が向上する形状と最適な部品バランスを見出すことに成功した。

5.4 安定作動

本構造は、制御電流範囲内でプランジャBが外れると本来の比例ソレノイドとしての機能を喪失してしまう。そのため、プランジャBが制御範囲内で外れないようにプランジャBの吸着力を安定させる方法を検討した。この検討より各部品間における磁束の受け渡しが阻害されることでプランジャBの吸着力が低下することがわかり、その対策としてソレノイドストロークを小さくすることが有効であると考えられた。

しかし、ソレノイドストロークについてはショックアブソーバの性能にも影響を与えるため、ソレノイドとショックアブソーバの双方の性能が満足する境界線を見極め決定した。

5.5 動作音の低減

本構造特有の異音として、プランジャBが作動した際にストッパと接触し発生する「カチッ」という動作音がある。プランジャBとストッパの距離が近づくと推力が高くなり、衝突音が発生する。初期試作品では実際の車両搭載状態でも異音として聞こえる課題があった。

衝突速度を抑制するため、プランジャBとストッパの間にある作動油を利用したダンピングオリフィス機能を取り入れた。図17にダンピングオリフィス部の拡大図を示す。

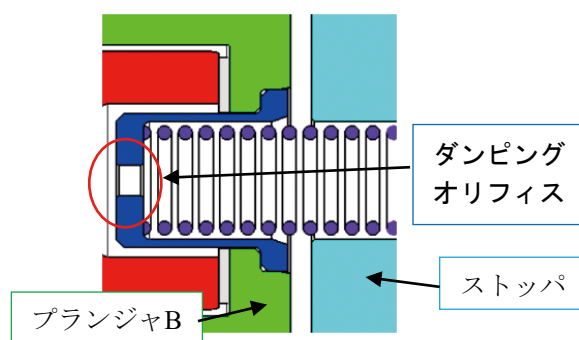


図17 拡大図

オリフィス径の決定にあたっては、ショックアブソーバの性能に影響を与えない径を確認し、決定した。

6 採用状況

本報で紹介した外付け式ソレノイド減調SAは2020年12月より発売しているトヨタ自動車(株)様のLEXUS LS^{注3)}に採用頂き、高い評価を頂いている。

現在も複数車両にて採用に向けた開発を進めており、採用車両・生産数ともに拡大を目指している。

注3) LEXUS LSはトヨタ自動車(株)の商標です

7 おわりに

市場ニーズにあった乗心地と静粛性をレベルアップした外付け式ソレノイド減調SAを開発できた。今後も更なるニーズに合わせて改良を進めていく。

最後に本開発にあたりご指導、ご協力頂いた関係各位にこの場を借りて厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 鎌倉, 古田, 森, 富田: 外付け式ソレノイド減衰力調整ショックアブソーバの開発, KYB技報第55号, (2017年10月).
- 2) 上野, 松下: 磁場解析を活用した比例ソレノイド減衰力調整式ショックアブソーバの応答性改善, KYB技報第57号, (2018年10月).
- 3) 太田: KYBグループにおける自動車用電制サスペンション開発, KYB技報第60号, (2020年4月).
- 4) KYB株式会社編: 自動車のサスペンション構造・理論・評価, P. 171 (2013).

著者



安部 友泰

2010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一設計室。ショックアブソーバの開発に従事。



土井 康平

2011年入社。株式会社タカコ技術本部第二開発部。ソレノイドの開発に従事。

KYBのアクティブサスペンションの開発

稲 満 和 隆 ・ 堀 匡 利

1 はじめに

アクティブサスペンションは究極のサスペンションと呼ばれ、乗心地と操縦安定性を高いレベルで両立できるシステムである。KYBは日産自動車株式会社と共同で hidroニューマチック^{注1)}をベースとした油圧アクティブサスペンションを開発し、1989年に発売したINFINITI Q45^{注2)}に搭載された(写真1)。しかし、日本において自動車は高性能を追及する時代から、環境性能や経済性、使い勝手を重視する時代へと移り変わっていき、2000年代初頭を最後に採用が見送られた。



写真1 (左) INFINITI Q45
(右) KYB製油圧アクティブサスペンション

一方、欧州では1999年にDaimler社がアクティブサスペンションをフラッグシップ車両に搭載し、以降さらに進化させて継続して採用している。またそれ以外にも車両が曲がる時に発生するロール現象を抑えることに特化したアクティブスタビライザ等のシステムが実用化されている。

他方、セミアクティブサスペンションと呼ばれるアクティブサスペンションの機能を抑えて、性能とコストを両立させたシステムが欧州を中心にD～Cセグメント^{注3)}(アッパーミディアム～ローミディアムクラス)にまで普及している。

現在は、セミアクティブサスペンションをベースにして、それにエネルギー源を追加することでアクティブサスペンション化するシステムや、サスペンションの減衰エネルギーを回収してアクティブサ

スペンションの消費電力を節約するシステム等も考案されている。また、油圧を使わずモータを動力源として採用した電動アクティブサスペンションはすでに実用化されており、時代がまたアクティブサスペンションに回帰しつつある。

油圧アクティブサスペンション開発以降、再び究極のサスペンションであるアクティブサスペンションを実現することは、当社技術部門の30余年の宿題でもある。本報では原理試作として考案したアクティブサスペンションシステムを紹介する。

注1) hidroニューマチックとは油圧を力の伝達媒体として、ガスの圧縮性をばね作用として用いたサスペンション装置である(ガスをばねとして利用するため、細かい振動がばね上(主に車体を指す)に伝わりやすく、一般的に乗心地が良いとされる)。

注2) 「INFINITI Q45」は日産自動車株式会社の商標である。

注3) セグメントとは乗用車を車格等で分類したものである。

2 アクティブサスペンションとは

本題の前に、サスペンションのことを簡単に紹介する。サスペンションの主な構成要素はアーム、懸架ばね、ショックアブソーバである。これらの要素はばね上とばね下(主にホイールを指す)の相対運動で動き、路面からの入力懸架ばねで吸収され、ショックアブソーバによってその懸架ばねの振動エネルギーを減衰(ダンピング)させる。もっとも一般的なショックアブソーバを搭載した構成をパッシブサスペンションと呼ぶ。

パッシブサスペンションはショックアブソーバの減衰力特性が入力速度によって一意的に決まっており、車両開発の段階で乗り味はバランスを見ながら作りこまれる。

セミアクティブサスペンションはショックアブソーバに減衰力調整機構が盛り込まれており、車両

走行状態に応じて減衰力特性を変化させることができる。

アクティブサスペンションは上記サスペンションのように路面からの入力に対して、受動的に力が出力されるシステムではなく、独自にエネルギーを

持って能動的に力を出力する機構を備えたサスペンションである。車両の動きに対して、各サスペンションがどのような特性を取りうるか、簡潔に示したものが図1である。

		区間1	区間2	区間3	区間4	区間5	区間6	区間7	区間8	
ばね上変位		無	上	上	下	下	上	下	無	
ショックアブソーバ速度方向		-	圧	伸	伸	圧	伸	圧	-	
パッシブ	力の大きさと方向	-	↑	↓	↓	↑	↓	↑	-	一意的な減衰力
セミアクティブ		-	↑	↓	↓	↑	↓	↑	-	減衰力の強弱を調整
アクティブ		-	↓	↓	↑	↑	↓	↑	-	能動的な力で制振

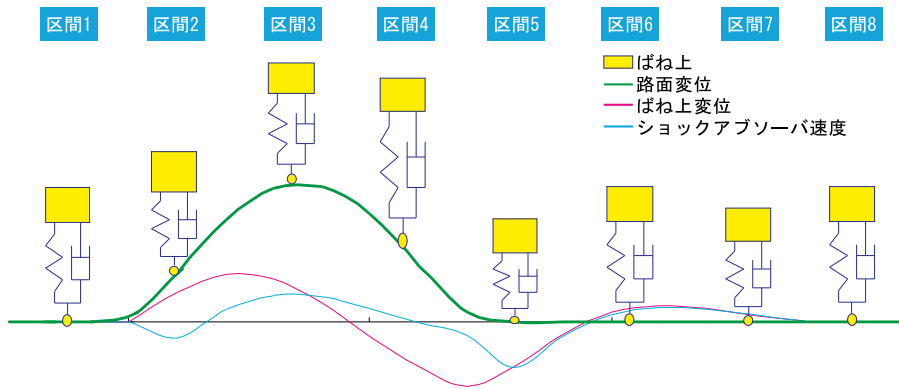


図1 各サスペンションの走行時の特性

区間2, 4に着目すると、パッシブサスペンションに対して、セミアクティブサスペンションは力の大きさを変えてばね上が動かないように制振している。アクティブサスペンションの場合、ショックアブソーバの伸縮に関係なく、制御対象であるばね上の動きのみに着目し、力の大きさと方向を変え、路面変位に対するばね上変位の比率（伝達特性）を激減させることができる。それにより、セミアクティブサスペンションのように“制振”ではなく限りなく“静止”に近づけることが可能な技術である。

この特性をショックアブソーバ単体の性能として示したものが図2である。路面入力に起因するばね上とばね下の相対速度に対して発生する力（抵抗力、加振力）で表現したものであり、特にオレンジで示した領域についてはアクティブサスペンションのみが持つ特性である。

各サスペンションの力の特性を簡単に表にまとめると表1のようになり、アクティブサスペンションが力の大きさや方向を任意に与えることができるのが分かる。

また、各サスペンションの力を使ってどれだけ振

動を抑えられるか、伝達特性について示しているのが図3である。セミアクティブサスペンションは、ばね上共振付近において路面変位以下（図3で示す1以下）に抑えることはできないが、アクティブサスペンションならそれが達成可能である。

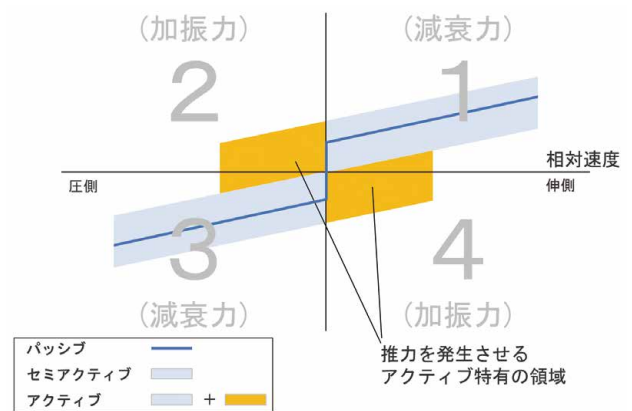


図2 各ショックアブソーバが発生させる力

表1 各サスペンションの力の特性

種類	力の大きさ	力の方向
パッシブ	一意的	一定(抵抗力)
セミアクティブ	可変	一定(抵抗力)
アクティブ	可変	可変(抵抗力, 加振力)



写真2 アクティブサスペンション搭載実験車両

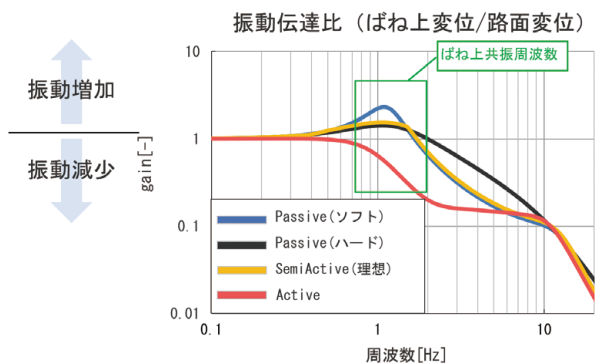


図3 各サスペンションの路面伝達例

3 開発の狙い

このようにアクティブサスペンションはばね上を自在にコントロール出来るため、車両を制御する上でばね上をどのように動かすか考える必要がある。まったく揺れないことが正しいのか、逆にそれが違和感につながるのか、車両目線で考えたときにシミュレーション結果だけでは判断できなかった。そのため、どういう制御をするとどういうフィーリングになるのか体感できる仕組みを作る必要があり、実験車両を構築することとした。

4 実験車両の概要

4.1 実験車両について

実験車両のベース車として、

- ①モータを駆動させるための高電圧バッテリーを搭載
- ②セミアクティブサスペンションを搭載

を要件とし、Eセグメント(エグゼクティブクラス)ハイブリッド車両を選定した(写真2)。また本車両は応答性に優れた高性能なセミアクティブサスペンションを搭載しており、性能を比較するにあたり適切と判断した。

4.2 システム構成について

システム構成を図4に示す。過去の油圧アクティブサスペンションと大きく違うポイントは、

- ①動力源をエンジンから電動(モータ)化
- ②ハイドロニューマチックを採用しないことで応

答性を拡張

③シンプルな構成で低コスト化

という点である。

また、アクティブサスペンションシステムを構築するにあたり、効率良く実験車両を作り上げるため、制御弁等は過去開発品をベースにし、またモータ等汎用部品で賄える部分については既製品を購入することで工数短縮を図った。

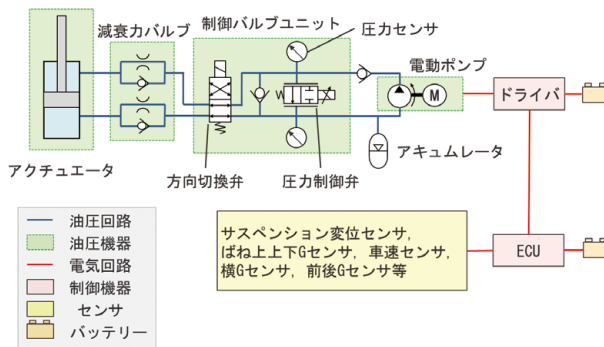


図4 システム構成

4.3 制御思想について

一般的に振動抑制のための制御則として、スカイフック制御¹⁾が従来から知られている。今回の取り組みでは従来の制御より更に制振性を向上させることを目指した。そのためには、ばね上がどのようなメカニズムで振動するのか路面入力とばね上に外力(実車で慣性力に相当)が作用する1輪モデルを考え、振動を低減する方策を検討した(図5)。

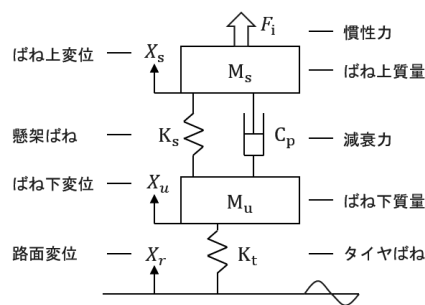


図5 1輪モデル

図5におけるばね上振動の運動方程式は、以下で示される。

$$M_s \ddot{X}_s = -C_p (\dot{X}_s - \dot{X}_u) - K_s (X_s - X_u) + F_i \quad (1)$$

(1)式の右辺第1項はショックアブソーバの減衰力、第2項は懸架ばねのばね力である。路面からの入力 X_u をばね下を介してばね上に伝わるので、(1)式について、入力をばね下変位 X_u と慣性力 F_i 、出力をばね上変位 X_s としたブロック線図で表すと図6のようになる。ここで s はラプラス演算子である。

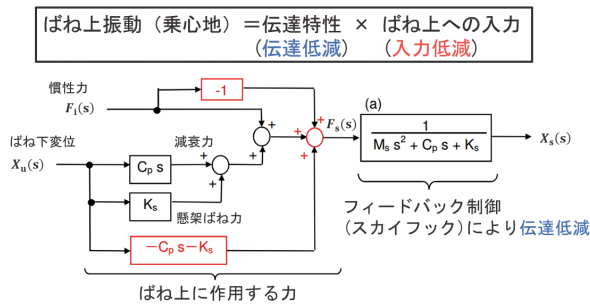


図6 ばね上の運動方程式のブロック線図

ばね上の振動を小さくするためには、(a)ブロックの減衰を大きくする(=ばね上の制振)と同時に、入力となる $C_p \dot{X}_u$ や $K_s X_u$ 、 F_i を小さくする(=ばね上への入力低減)が必要である。

これらの振動メカニズムから、ばね上の振動を小さくするためには、表2のように考えるのが有効であり、それらを満たす制御則を構築した。

表2 制御方針

No.	手 法
1	ばね上速度に依存した減衰を付加する
2	ばね下振動を入力としたショックアブソーバを介してばね上加わる力を低減する
3	ばね下振動を入力とした懸架ばねを介してばね上加わる力を低減する
4	慣性力によりばね上に作用する力を低減する

5 性能確認

5.1 シミュレーションについて

まずは車両(4輪)で考える前に、制御の効果を単純化するために図7に示すように一輪モデルで検討した。図8に1輪モデルにおけるシミュレーション結果を示す。乗心地に関する制御として表2のNo.1, 2, 3を組み込み、制御毎にデータを確認した結果、このシステムの主目的であるばね上共振周波数

(1 Hz付近)の制振について大きな効果があることが分かった。また、いわゆる“ぶるぶる”と言われる振動を示す周波数(10Hz)付近についても大きな悪化がなく、制御効果は良好であることが分かった。ただし、このシミュレーションは簡易的なものであり、理想的なアクチュエータとして計算している(遅れなし)。

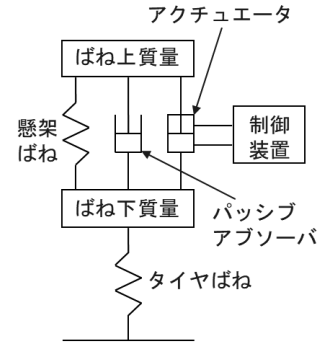


図7 アクティブサスペンション1輪モデル

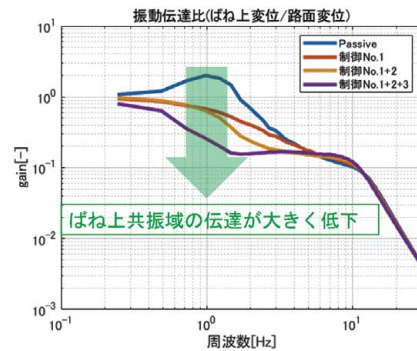


図8 シミュレーションによるばね上制振特性

5.2 台上試験について

次に1輪のみのシステムを構築し、試験機(写真3)を使い計測を実施した。結果はシミュレーションと同様の傾向が得られた(図9)。これら試験結果から、今回作製する実験車両のシステムは当初の想定通り、大幅な制振効果を確認できた。

5.3 実車試験について

5.3.1 実車構築・安全について

制御効果の確認ができたため、実験車両にシステムを搭載した。なお、実車試験前には安全を考えて無人状態で4輪加振機による疑似的な路面振動を車両に与え、システムが不安定にならないこと等を確認した。また、予期せぬトラブルが発生した際に安全にシステムを停止できるようエマージェンシースイッチを搭載し、非常時の際にモータの電源をカットできるように備えた。

5.3.2 実車計測結果について

この実験車両を当社テストコースにて走行させた



写真3 1輪加振機

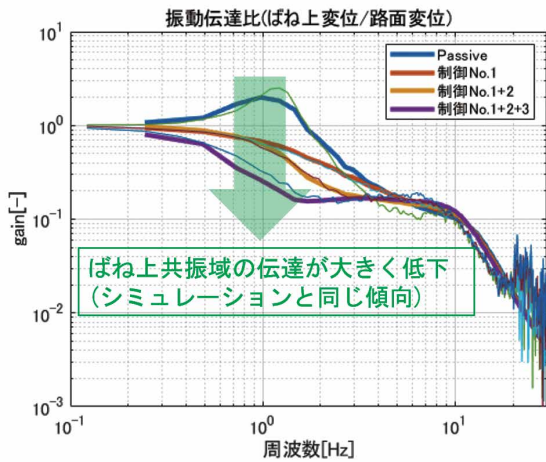


図9 1輪加振機による計測結果

(図10～図13, 写真4). 乗心地を評価するために波状路(周波数はばね上共振域を狙っている), ランダム入力路, EUカントリー路(欧州の田舎道を再現した路面)を走行し, 操縦安定性(ハンドル操作等によるばね上変位)を確認するためにレーンチェンジ走行を実施した. また比較対象として, 純正状態(セミアクティブサスペンション)でも同じ計測を実施した. 実車試験にて以下の結果が得られた.

- ①セミアクティブサスペンションに比べ, ばね上共振域の振動を大きく低減する効果が得られた.
- ②大きなうねりと細かい振動が複合するEUカントリー路面においては, 細かい振動に対する硬さが残るが大きなうねりは解消され, ばね上共振域の制振効果は得られた.
- ③ロール角を大きく軽減することで, タイヤを効果的に接地させて安定した運転に繋がる効果を得られた.

半面, 改善すべき点もあり, 荒れた路面を走った際の乗心地悪化(制御バルブの応答性等の影響で路

面振動に制御がついていかない)や, 検証のため性能に余裕があるモータを搭載した結果, モータ作動音大きい等課題も挙がっているが, 当初予定していた性能を発揮することができた.

5.3.3 実車試乗結果について

また関係者を集めた試乗会では, 試乗者から「ばね上の動きが抑えられており, セミアクティブサスペンションとは比べ物にならない程のフラットさがある」, 「頭が振られないで楽」, 「揺り戻しがなく収まる」等の感想を聞くことができた.

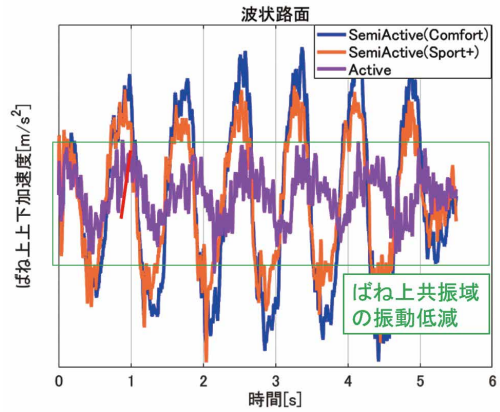


図10 波状路面

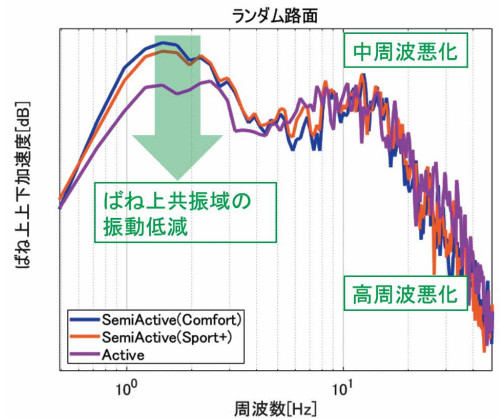


図11 ランダム路面

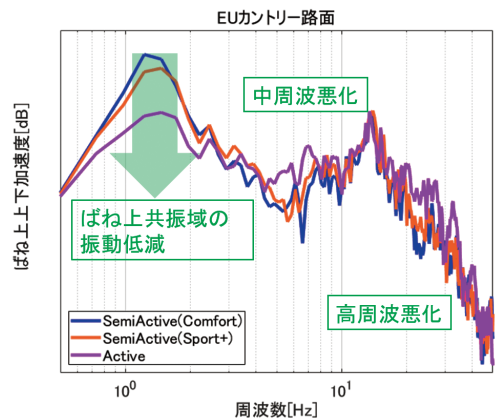


図12 EUカントリー路面

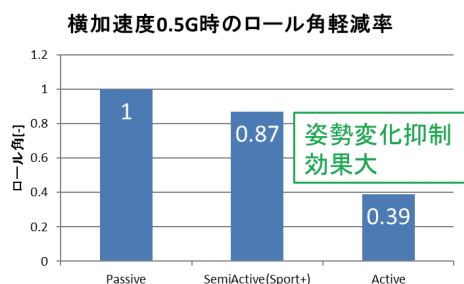


図13 レーンチェンジ走行



写真4 レーンチェンジの様子

6 まとめ

この活動を通じて、以下を実施した。

- ①アクティブサスペンションシステムを実現するための要件について検討を行い、システムを構築した。
- ②制振性向上のための制御則を構築、検証した。
- ③制御効果を確認するためのシミュレーション環境を構築した。
- ④アクティブサスペンションシステムの効果を体感するための実験車両を構築、評価した。

⑤試乗会にて幅広く意見を収集した。

特に考案した制御技術をシミュレーション上だけでなく実験車両に実装することで、幅広い人からの評価を聞ける環境が整い、アクティブサスペンションの在り方について検討していける土台ができた。

アクティブサスペンションという自在にばね上をコントロールできる製品を考えていく場合、実車という存在は質感や感性を考慮する上で非常に価値のあるものであり、今回の活動は今後につながる有意義なものになった。

また、現在当社実験部門にて実車官能評価の指標化を目指し、感性の定量化に向けた活動を開始しており、今後はチームKYBとして開発力向上を目指していきたい。

7 おわりに

自動車業界は現在100年に1度の大変革期と言われている。繋がる、自動化、シェアリング、電動化等のキーワードにより、自動車は単なる移動手段だけではなく、様々な付加価値を含んだモビリティへと進化していくことが予想される。そのような社会に貢献していくためのアイデアの1つとして、アクティブサスペンションという可能性を提案した。今後は究極のサスペンションを再び世に出すため、システム、制御、感性等に対する理解を深化させつつ、時代に即したアクティブサスペンションシステムを開発していきたい。最後に本開発にあたりご指導、ご協力を頂いた関係各位に、この場をお借りして厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) Alonso Torres : Semi-Active Suspension, Extending the Limits, KYB技報第56号, (2018年4月)。

著者



稲満 和隆

2005年入社。オートモーティブコンポーネッツ事業本部技術統轄部開発センター製品開発室。ショックアブソーバの開発に従事。



堀 匡利

2015年入社。オートモーティブコンポーネッツ事業本部技術統轄部開発センター製品開発室。ショックアブソーバの開発に従事。

設備予知保全システムの開発

Development of an Equipment Predictive Maintenance System

古川 輝 ・ 井指 諒 亮
FURUKAWA Akira ・ ISASHI Ryosuke

要 旨

製造業において、高い品質のものを安定して生産し続けるためには、生産現場で稼働する機械や設備の保全活動が必要不可欠である。設備保全の考え方としては、故障が発生したときに保全を行う「事後保全」、一定の回数または期間稼働させたときに保全を行う「予防保全」、故障の兆候が見られたときに保全を行う「予知保全」に大別される。近年、IoT（Internet of Things：モノのインターネット）やAI（Artificial Intelligence：人工知能）の発展に伴い、「予知保全」が注目されており、FA機器を提供しているメーカーなど、多くの企業で予知保全の研究開発、サービス提供が行われている。

一方、KYB社内の設備保全方法は「事後保全」と「予防保全」が中心となっており、前者では設備故障による生産性の低下や製品不良の発生、後者では過剰保全による保全コストの増加が課題となっている。

そこで、これらの課題を解決するため予知保全の考えを取り入れた設備予知保全システムを開発した。本システムはIoT、AI、クラウドといった最新の技術を活用してデータ収集、保管、故障予知、見える化といった一連の機能をシステムとして構築し、実用レベルで運用を開始している。本報では予知保全を実現するために開発した各要素機能とグローバルに展開するために構築した運用管理の仕組みや特徴について解説する。

Abstract

In the manufacturing industry, maintenance activities for machines and equipment operating at production sites are essential for maintaining stable production of high-quality products. The concept of equipment maintenance can be broadly divided into three categories: breakdown maintenance, preventive maintenance and predictive maintenance. In recent years, predictive maintenance has been attracting attention due to the development of the Internet of Things (IoT) and Artificial Intelligence (AI).

On the other hand, KYB's equipment maintenance methods focus on breakdown maintenance and preventive maintenance. In the former case, equipment failure causes a drop in productivity and product defects, and in the latter case, excessive maintenance increases maintenance costs.

To solve these problems, we have developed an equipment predictive maintenance system. This system utilizes the latest technologies, including IoT, AI, and cloud computing, to build a system with functions such as data collection, storage, failure prediction, and visualization and the system is now in operation at a practical level. This paper describes the basic functions developed to realize predictive maintenance, and the operation management mechanisms and features that have been developed for global deployment.

1 緒言

近年、IoTやAIが急速に発展しており、学术界やIT業界のみならず、医療や製造業などのあらゆる分野において注目を集めている。

製造業においては、IoTやAIを活用して、「不良品の検出」、「設備の故障予知」、「生産計画の最適化」などが取り組まれており、従来よりも高い精度で実現することが可能になっている。

設備の故障予知に目を向けると、設備の状態を監視し、故障発生時期を予測することで、故障の兆候が見られたときに保全を行う「予知保全」を実現する見込みが立ってきた。予知保全を行うことで適切なタイミングで保全することができ、故障発生の未然防止に加え、部品を最大限使用することができる。よって、理想的には設備保全にかかる費用を最小限に抑えることが可能である。

一方、KYB社内の設備保全方法は故障が発生したときに保全を行う「事後保全」と一定の回数または期間稼働させたときに保全を行う「予防保全」が中心となっている。前者では設備故障による生産性の低下や製品不良の発生、後者では過剰保全による保全コストの増加が課題となっている。

そこで、これらの課題を解決するため予知保全の考えを取り入れた設備予知保全システムを開発した。本システムはIoT、AI、クラウドといった最新の技術を活用してデータ収集、保管、故障予知、見える化といった一連の機能をシステムとして構築し、実用レベルで運用を開始している。

2 要件

予知保全を実現し、システムとして運用していくための要件を以下に示す。

- ①設備から収集したデータを継続的に蓄積・分析できる環境を構築すること。
- ②設備の故障予知では正常／異常を判定するだけでなく、故障危険度を数値化できること。
- ③故障直前ではなく、2週間以上^{注1)}前に故障予知が可能であること。
- ④現在の設備の状態を可視化して、事務所からでも確認できること。
- ⑤一部の設備に特化せず、多くの設備で汎用的に使えるようにすること。
- ⑥グローバル展開を可能とすること。

注1) 故障予知後、保全準備（部品手配、人員確保）を行う期間を考慮して設定した期間、実際には設備によって必要な期間は異なる

3 システムの概要

3.1 システム構成

予知保全を実現するためには設備の状態を特定するためのデータを収集する必要があるが、対象設備や検知したい故障によって収集項目や方法が異なってくる。一般的によく利用されているのは「振動」データであるが、高サンプリング（例えば10kHz以上）で収集されることが多く、その際は大量のデータが発生する。一方で対象設備によっては、低サンプリング（例えば1Hz程度）でも十分な場合もあり、その際は発生するデータも少量になる。よって多くの設備に対して汎用的なシステムとして展開していくためには、大量データにも耐えうる構成を持ちながら、少量データの場合では低コストに実現できる仕組みの構築が必要であった。

前記内容を実現するためには、データ量や処理量に応じてストレージ容量や処理能力をスケールさせる必要があるが、従来のオンプレミス^{注2)}では、そういったことは実現できない。そこで本開発ではパブリッククラウドのAWS（Amazon Web Services）上に当社独自のプラットフォームの構築を行った。

図1に開発したシステム構成の概略図を示す。

一部を除き、ほとんどをサーバーレス^{注3)}のサービスで構築することによって、処理性能もそれに従うコストも「使った分だけ支払う（従量課金）」仕組みにできるため、規模に見合った対応が可能となっている。

注2) 自社内の設備で自社内のシステムを構築すること

注3) サーバを自前で用意せず、AWSなどが管理するマネージドサービスを活用し、処理に必要なリソースを動的に設定してシステムを構築する考え方のこと

3.2 設備データ収集

データ収集は対象設備の状態を特定するために設置したセンサのデータを定期的にFAコンピュータに取り込んでファイルに保存し、さらにそのファイルを定期的にAWSにアップロードする仕組みを構築した。

参考までに、製品搬送用のオーバーヘッドトrolleyコンベア装置でデータ収集したときの事例を紹介する。写真1はコンベアの駆動源である駆動モータの周辺を示したもので、加速度センサは搬送チェーンの駆動部分（写真1の左下）に設置している。写真2が加速度センサの設置場所を拡大したものである。本設備では駆動部分の振動を計測することで搬送時の故障予知を狙っている。

予知保全では長期的な視点で設備の摩耗などによる状態変化を検出する必要があるが、突発的に発生する故障については検知の対象とはしていない。そのため常にデータを収集する必要はなく、例えば「1時間毎に10秒間だけデータ収集する」といったよう

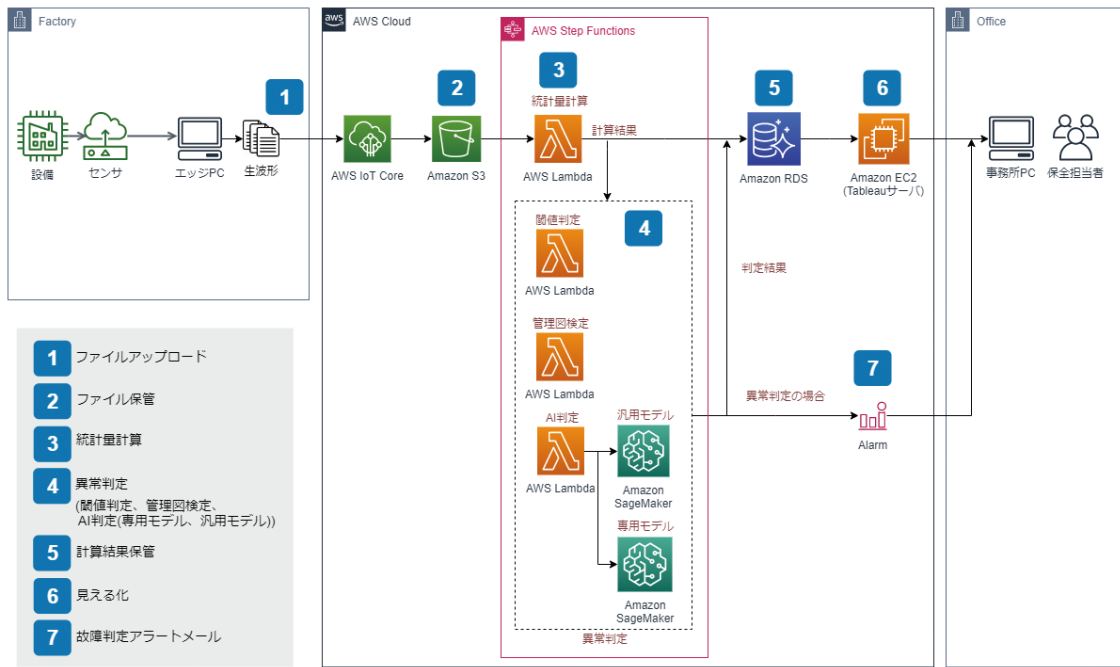


図1 システム構成図（概略図）

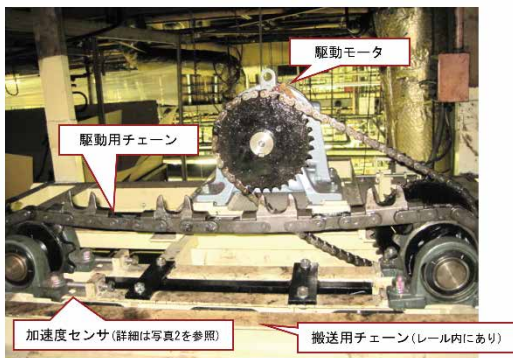


写真1 コンベア装置



写真2 加速度センサ設置場所

に定期的な処理で十分である。よって本開発では一定周期で一定時間のデータを収集してファイル出力するアプリケーションを開発した。なお、収集データを一度ファイルに出力してからアップロードするようにしたのは、PLC^{注4)}など、多くの機器に対して汎用的に使えるからである。

収集ファイルのAWSへのアップロードについて

は、AWSのサービスであるAWS IoT Core^{注5)}とAWS STS^{注6)}を用いて実装し、最終的にはAWSのストレージサービスであるAmazon S3に保存されるようにした。これらのサービスを用いることでAWS上に登録されたデバイスのみが、一時的な認証情報を用いてセキュアにデータをアップロードすることが可能となっている。

注4) Programmable Logic Controllerリレー回路の代替装置として開発された制御装置

注5) IoTデバイスをAWSの各種サービスに接続するサービス

注6) AWS Security Token Service. AWSリソースにアクセスするための一時的なセキュリティ認証情報を提供するサービス

3.3 設備故障予知機能

3.3.1 機能の概要

本開発では予知保全を実現するために、機械学習を用いた故障予知機能の開発を行った。今回のような設備の正常／異常（故障）を判定する場合、一般的に「教師あり学習」または「教師なし学習」によって学習を行う場合が多いが、本開発では「教師なし学習」による方法を採用した。理由としては、教師あり学習は学習時に大量の異常（故障）データが必要であるが、故障データを大量に準備することは現実的に困難なためである。そのため、正常データのみを使って学習を行い、正常領域から逸脱を検知する異常検知の考え方を用いている。

また、機械学習でモデル作成を実施するにあたり、「専用モデル」と「汎用モデル」の2つの考え方で

モデルの作成を行った。

表 1 に 2 つのモデルの比較表を示す。

表 1 モデル比較表

	専用モデル	汎用モデル
提供期間	数ヶ月	1週間
精度	高	中 ^{注7)}
アルゴリズム	任意に選択	統計的機械学習
特徴量	任意に選択	統計値ベース
学習	手動	自動
推論	自動	自動

注7) 専用モデルよりは精度が低いが、従来の閾値判定よりは精度が高いことを示す

専用モデルは特定の設備に特化した機械学習モデルのことであり、一般的に機械学習は単純にデータを入力するだけで理想的な結果が得られることは少なく、適切な特徴量の抽出、学習手法の選定、パラメータ設定など、細かいチューニングを行うことでより高い精度の結果が得られる場合が多い。そのため、高い精度が必要な設備においては、その設備に特化した専用モデルの作成を行う。しかし、その反面、細かいチューニングを行うため、モデルの作成に時間がかかるという課題がある。実際に、ある設備の専用モデルを作成した際は、データの収集を含めてモデルの作成に数ヶ月の期間を要した。

一方、汎用モデルは特定の設備に特化させず、どの設備でも汎用的に使用できるモデルである。汎用モデルは、1週間^{注8)}程度の正常データから、平均値などの統計値を中心とした特徴量を使い、正常データからの逸脱を検知する統計的な機械学習手法で生成を行う。つまり、シンプルな手法で簡易的な異常検知を行えるようにしたものである。精度は専用モデルより劣るものの、設備によってはこれで十分な場合もある。また、導入当初は即座に適用可能な汎用モデルで運用し、専用モデルが作成できた時点でそちらに切り替えることも可能である。このように2つの考え方でモデルを準備することで展開性と精度を両立させた故障予知機能を開発した。

注8) 期間は任意に設定できるようにしている

3.3.2 開発事例

任意の設備の専用モデルの開発で考案した手法の一例として、Spec Masked Autoencoderについて紹介する。本手法は、深層学習の手法の1つであるAutoencoder（以下AE）を応用したものである。AEは元来次元圧縮や特徴抽出に用いられていた手法であるが、近年はデータ生成、クラスタリング、異常検知などに活用されており、開発した手法では異常検知の考えを取り入れている。図2が各手法に

おける学習の流れを示したものである。

一般的なAEは入力データと出力データが同じになるようにEncodeとDecodeを行って学習する手法であるが、Spec Masked AEは入力データに対して一部の情報を隠すマスクを追加し、そのマスクを除去した出力データが、元の入力データと同じになるように学習する手法である¹⁾。マスクの追加と除去の工程を追加し、あえて問題を難しくすることで過学習^{注9)}を抑制し、汎化性の高いモデルを生成することを狙っている。

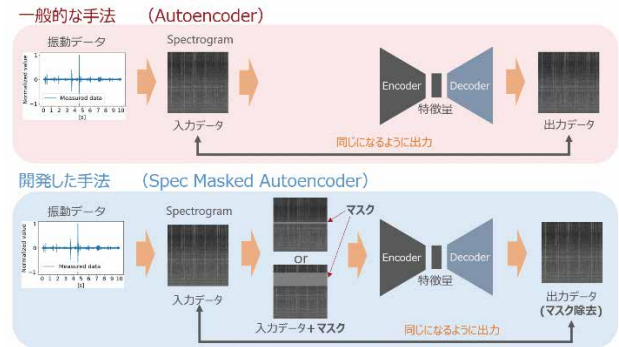


図 2 AEとSpec Masked AEの学習フロー

注9) 学習データに適合しすぎて、未知のデータに対して適合できていないこと

3.3.3 機械学習モデルの運用管理

機械学習を用いたシステムでは、モデル開発をしたらそれで完了ではなく、システムを継続的に運用するために、全体を正しく管理するための仕組みが必要である。例えば季節変動や設備の加工条件の変更により、従来から収集データのトレンドが変わった場合、既存のモデルでは正しく判定できなくなることがある。その場合、再学習によってモデル更新を行うが、このときモデル評価、バージョン管理、配布方法などを明確にしていなと思わぬ間違いを引き起こしてしまう可能性がある。

本開発ではAWSのサービスのAmazon SageMaker^{注10)}とAWS Step Functions^{注11)}を活用してモデル管理と学習・推論のワークフローの構築を行った。例えばモデル管理では開発用か本番用かを示すタグ付けを行い、そのタグを切り替えるだけで本番モデルに切り替えできるようにしている。また、汎用モデルにおいては、学習、配布、推論処理を自動化しており、データを設定した期間収集した時に自動でモデルを生成し、推論が開始されるようにした。

注10) 機械学習モデルを高速に開発、学習、配布するための環境を提供するサービス

注11) AWSの複数のサービスを配置させて、一連のワークフローを作成するサービス

3.4 設備状態の見える化

設備の状態を見える化するため、BIツール^{注12)}で

あるTableauを使った画面を開発した。一部画面について紹介する。

注12) Business Intelligenceツール 企業に蓄積された大量データを集めて分析・可視化をして、迅速な意思決定を助けるためのツール

3.4.1 設備異常情報閲覧画面

図3は現在の異常発生中の設備や、故障危険度の分布や推移を表示する画面であり^{注13)}、基本的にはメイン画面として常時表示させておく。本画面で異常または故障危険度が高い設備を把握することで、以下に示すようなアクションをとることが可能である。

- ・ 設備データ（統計値）を確認する。
- ・ 実際の設備を確認する。
- ・ 修理に向けて保全計画を立てる。

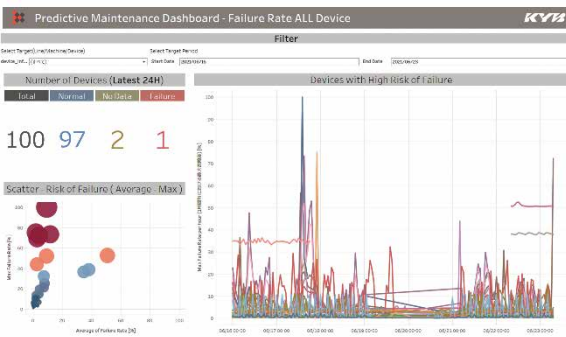


図3 設備異常情報閲覧画面

注13) どの程度故障の危険があるかを数値で示したもの

注14) 表示しているデータはサンプルであり、実際とは異なる

3.4.2 個別設備統計データ閲覧画面

図4は任意の設備から収集したデータに対する各統計値（平均や標準偏差など）の推移やばらつきを表示する画面である^{注15)}。異常または故障危険度が高い設備があったときに、本画面でその設備に対して実際の統計値がどのような値を推移しているかを確認することで、具体的にどのような異常であるかを把握することが期待できる。

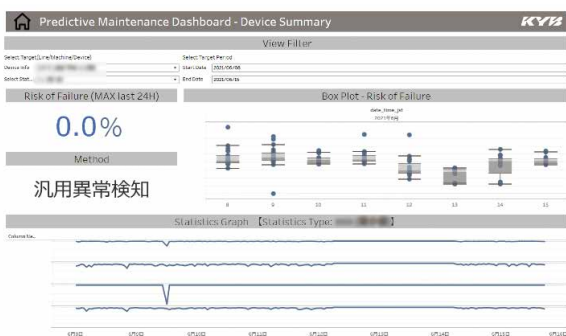


図4 個別設備統計データ閲覧画面

注15) 一部の情報は非公開とし、意図的に消去またはぼかしを入れてある

3.4.3 複数設備統計データ比較画面

図5は複数の設備の収集データに対する統計値の推移を表示する画面である^{注16)}。任意の設備で異常な統計値で推移していたときに、本画面で収集項目や条件が同じ設備と横並びに比較することで、具体的な異常場所を特定することが期待できる。

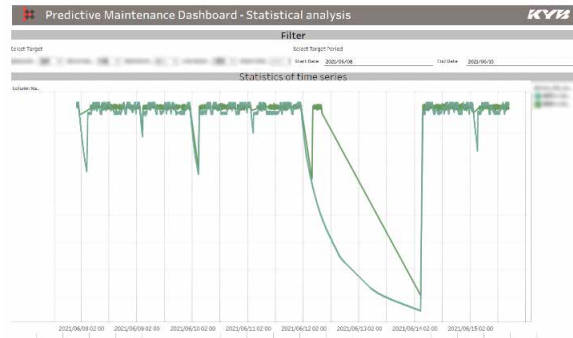


図5 複数設備統計データ比較画面

注16) 一部の情報は非公開とし、意図的に消去またはぼかしを入れてある

4 設備故障予知事例

本章では開発した専用モデルと汎用モデルによる設備故障予知事例について紹介する。

4.1 専用モデルを用いた設備故障予知

専用モデルでの事例として、図6にシステム運用前（データ収集は開始しているがモデルは作成していない状態）に発生した故障に対して、遡って故障予知を実施した結果^{注17)}を示す。図6のグラフは横軸が日付でおよそ5ヶ月分のデータを表示しており、縦軸が機械学習モデルで出力した故障危険度を示している。また、1本目の赤破線が、故障が発生して応急処置を実施した日付、2本目の赤破線が主要部品を交換した日付である。結果として、機械学習モデルが出力した故障危険度に対して、最終的に

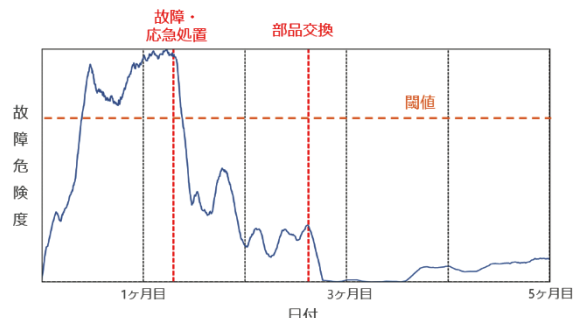


図6 発生した故障に対する故障予知結果

図のような閾値を設定すれば故障発生の前1ヶ月程度前に予知できるといえる。また、応急処置実施後に故障危険度は減少するものの、ある程度は高い値を推移しており、主要部品交換後に一気に減少する傾向が見られているため、設備の状態に合致した理想的な結果が得られているといえる。

注17) 具体的な数値は非公開とし、意図的に消去している

4.2 汎用モデルを用いた設備故障予知

汎用モデルでの事例として、図7、図8にシステムが異常検知したときの故障危険度と実際の収集データ（本事例ではいずれも温度）の推移^{注18)}を示す。いずれのグラフも横軸が日付、縦軸が(a)のグラフは故障危険度、(b)のグラフは温度を示しており、赤丸で囲った部分がシステムで異常検知した箇所である。

図7は通常とは異なる急激な温度下降が見られたため異常検知した事例である。通常は自然冷却により緩やかに温度下降していくが、急激に温度下降したことで一気に故障危険度が上昇している。実際は設備の保全作業を実施したことで急激な温度下降が発生し、設備の故障ではなかったが、通常とは異なる変化点を検出することができている。

図8は温度推移に乱れが生じたため異常検知した事例である。通常は温度がほぼ一定か、緩やかに上昇または下降をしているが、短時間で温度の上昇と下降が連続したことで一気に故障危険度が上昇している。実際は設備の工具交換と調整により、起動と停止を繰り返したことで温度の乱れが生じており、設備の故障ではなかったが、本件も通常とは異なる変化点を検出することができている。

上記で示したように、単純な閾値判定では検出が難しい変化に対しても、汎用モデルを用いることで設備の異常を検知できることが分かる。

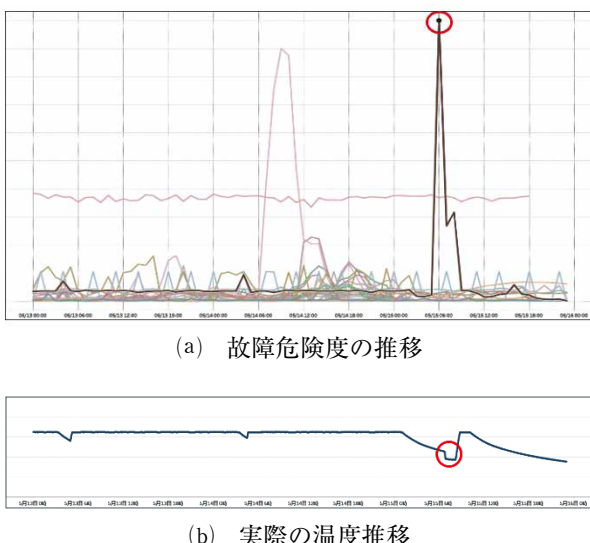
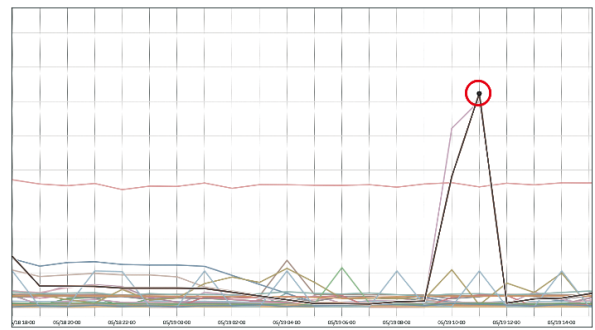


図7 急激な温度下降による異常検知



(a) 故障危険度の推移



(b) 実際の温度推移

図8 温度推移の乱れによる異常検知

注18) 具体的な数値は非公開とし、意図的に消去している

5 グローバル展開に向けての取り組み

本開発は図1で示した通り、データ分析から可視化までの基盤をクラウド環境で構築している。そのため、従来システムとは異なり、よりスピーディなシステム展開が期待できる。しかし、その利点を活かしつつ安定的なシステム運用を実現するためには以下の項目を満足する必要がある。

- ①システムの動作状況が確認できること。
 - ②運用のルールが明確化されていること。
- 本章では上記の対応について説明する。

5.1 システム監視機能の開発

本開発ではシステムの動作状況をどこでも把握できるように、Datadogというサーバ監視ツールを駆使してシステム状態の可視化と通知機能を実装した。図9にシステム監視の一部の構成図を示す。セキュリティおよびシステムのログデータをDatadogに全て送信して一括管理し、異常があった場合には、チャットツール（Microsoft Teams）に通知するように設計しているため、管理者は即座に対応措置をとることが可能である。

システムの監視対象は大きく分けて、

- ①セキュリティ
- ②システム

の2つが挙げられる。次節にて各監視対象について具体的に説明する。

5.1.1 セキュリティ監視

ここで述べるセキュリティでは、システムに部外者が侵入できる余地がないか、データが漏洩する危険性はないか、攻撃を受けた場合に検知することが

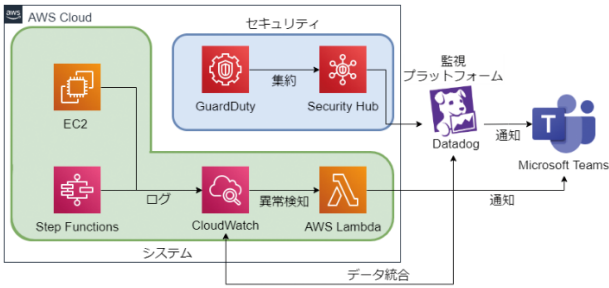


図9 システム監視機能の構成図

できるか、といったセキュアな環境が維持できているかを監視する。設計段階でセキュリティ面を堅牢に構築することが前提条件ではあるが、ネットワーク接続している以上いつ外部から攻撃されてもおかしくない。そのため、継続的にセキュリティ監視ができるような環境を構築した。今回はセキュリティの構築と監視の中でも一部の機能について紹介する。

本開発ではAWSへの不審なログインや操作、通信が行われていないかを監視するために、Amazon GuardDuty（以下GuardDuty）を有効化している。GuardDutyとは、悪意のある操作や不正な動作を継続的にモニタリングする、フルマネージドの脅威検出サービスであり、常にAWSを操作するアカウントや通信があったIPなどのログを収集、監視している。これにより、不審なアクセスや操作を監視することが可能である。

また、セキュリティ全体を総括的に確認するためにAWS Security Hub（以下Security Hub）を利用している。Security HubとはAWS上の全てのセキュリティ関連情報を集約・管理するサービスであり、前述したGuardDutyの情報も集約の対象である。万が一異常があった場合には、図10^{注19)}の様に発生時刻、異常の内容、異常が発生した箇所といった情報が通知されるようにしているため、即座にセキュリティの脆弱性に対して対応が可能である。

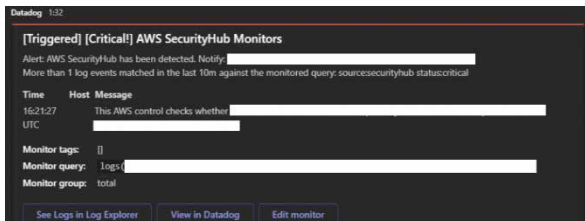


図10 通知内容

注19) システムに関する数値およびログは非公開としている

5.1.2 システム監視

システム監視では、正常にシステムが動作しているか、異常が発生した場合に対処が容易かといったシステム

が安定して稼働しているかを監視する。本開発ではシステムの全体監視機能として、Amazon CloudWatch^{注20)}（以下CloudWatch）を導入し、メトリクスとログの収集をしている。そして、収集したメトリクスとログはDatadogを利用して可視化を実施している。

Datadogのダッシュボードの一部を図11^{注21)}に示す。

図11は実装している各サービスのメトリクスとログを集中管理しているダッシュボードになっており、どこかの処理で失敗したのか、何が原因で失敗したのか、といった状況を把握できるようにしている。

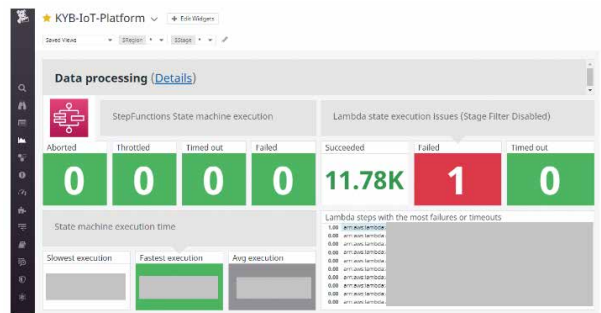


図11 Datadogのダッシュボード

注20) AWSのリソースやアプリケーションのメトリクスやログを収集するサービス

注21) システムに関する数値およびログは非公開としている

5.2 IaCによる運用ルールの明確化

本システムを構築するにあたり、より展開性や保守性を担保するために、Infrastructure as Code（以下IaC）という考え方を採用している。

IaCとは、インフラ構成をコードで管理する考え方であり、従来手動で構築していたサーバ環境やアプリケーション設定を全てコード化すること指す。そのため、手動で構築するため手順書は存在せず、代わりに構築する環境をコードで記述した構成管理ファイルを作成する。図12にIaCと従来運用との違いを示す。IaCによる主なメリットは、手作業が減ることによりヒューマンエラーが減少すること、コード化することでバージョン管理が容易になること、CI/CD^{注22)}の仕組み化が可能になりテストから実装までを自動化できること、が挙げられる。

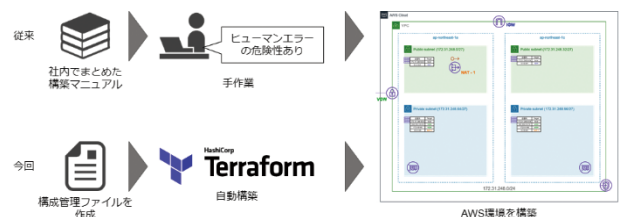


図12 IaCと従来の構築方法の違い

本開発ではIaCの1つであるHashiCorp社のTerraformと従来から導入しているバージョン管理ツールのGitLabとを連携することでインフラ構築を自動化し、差分管理できる環境を実現した。これにより、導入拠点が増えた場合でも、同一環境を瞬時に構築することが可能となった。図13に示した流れが今回自動化したインフラ構築の仕組みである。図13内の①、②が従来のマニュアル作成や仕様検討、バージョン管理に該当し、IaC導入によりマニュアルの管理は不要となり仕様検討のみとなった。続いて、③のステップでは構成管理ファイルのテストを自動化しており、GitLabにmerge^{注22)}される前に各テストジョブが実施されるようになっている。仮にクリアできなかったジョブがあった場合には、エラー判定となりmergeが出来ない仕様である。

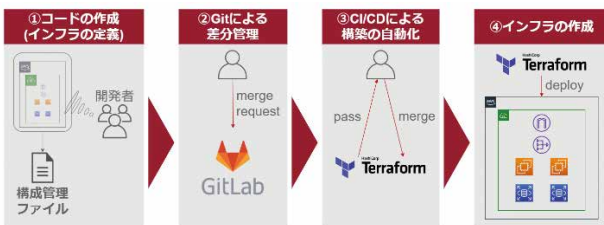


図13 IaCによるインフラ構築までの流れ

注22) ビルド、テスト、展開を自動化するシステムのこと
継続的インテグレーションと継続的デリバリーの略

注23) 編集した内容を元ファイルに統合させることをいう

6 今後の展望

本開発により設備故障予知ができるようになり、さらに設備状態の可視化を通して新しい気付きなどが得られる環境を構築することができた。

本開発を効率的に横展開していくためには各拠点との協力が不可欠である。導入拠点と対象設備などを協議しながら、着実に本開発の導入を推進し

ていき、国内外問わずどこにいても全ての設備状態が確認できる環境を提供していく。

また、より有意義な分析ができるよう、様々なシステムとの連携を視野に入れている。直近では保全対応措置の実績データと本開発で収集している設備の振動や温度といったデータの連携を検討している。これにより対応措置の効果確認や類似事例の分析といったデータ活用の幅が広がることが期待できる。しかし、連携するにあたり課題となるのが、数値データではなく文字データという点である。この問題に対しては、AIを活用したテキスト分析によってより高度な分析ができるようにしていきたい。

最終的には生産情報や品質情報などと連携し、全社を横断するIoT-Platformとして拡大することで、生産性向上や品質向上に貢献していくことが我々の目標である。

7 結言

本開発によって、今まで難しかった予知保全を実現し、リアルタイムな設備監視ができるようになった。また、予知保全が可能になったことで、保守コストの低減も見込まれている。今後は設備保全だけでなく、様々なシステムと連携することでより高度な分析の実装やデータの付加価値向上を目指していく。

最後に、本開発にあたり多大なるご支援、ご協力を頂いた関係部署の方々に、この場をお借りして厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) Ayaka Matsui, Shota Asahi, Satoshi Tamura, Satoru Hayamizu, Ryosuke Isashi, Akira Furukawa, Takayoshi Naitou, Anomaly detection in mechanical vibration using combination of signal processing and autoencoder, NCSP' 20, 2020

著者



古川 輝

2005年入社。技術本部DX推進部。データベースを利用した管理システムの開発に従事。



井指 諒亮

2017年入社。技術本部DX推進部。データ可視化分析基盤の構築に従事。

製品紹介

マイニングダンプトラック用 シリンダ機器の開発

谷川 夏樹 ・ 長谷川 一樹

1 はじめに

1.1 概要

マイニングダンプトラック（以下マイニングダンプ）は鉱山、採石場等のマイニング現場で稼働する非公道用の車両であり、マイニングショベル等により掘削された石炭、鉄鉱石、土砂等の運搬を担う建設機械である（写真1、写真2）。多くの場合、車体は定期的なメンテナンスが施されるものの、故障等によるマシンストップが鉱山の利益損失に直結するため、非常に高い耐久性を求められる。



写真1 マイニングダンプ積み込み風景
（日立建機様ホームページより転載）



写真2 日立建機様 EH5000AC-3 外観
（日立建機様ホームページ写真に車体サイズを追記）

表1 日立建機様 EH5000AC-3 概略仕様

公称積載質量	kg	296,000
運転質量（空車質量）	kg	204,000
車体総質量	kg	500,000
ボディ容量（山積/平積）	m ³	202 / 148
最高走行速度	km/h	56
タイヤサイズ		53/80R63

マイニングダンプは自らの車体質量を超える重さの積載物を運搬することができる。大型のものは、写真2の様に巨大な車体であり、最大積載時の車体総質量は300～500tにもなる。それを支えるために、2m以上の直径を持つタイヤが、フロントに2本、リアには1軸に左右2本ずつ装着される（写真3）。



写真3 マイニングダンプ リア部
（MINEexpo® 2016 日立建機様ブース）

稼働現場である鉱山では、一般的にマイニングショベル1台に対し、複数台のマイニングダンプが稼働するため、マイニングダンプの市場規模は、マイニングショベルより大きいと言われている。KYBは、長年に亘りマイニングショベル用シリンダの設計、生産を行っているが、マイニングダンプ用シリンダ機器に関しては本開発品が初めての参入

表1に日立建機様EH5000AC-3の概略仕様を示す。

となる。

1.2 マイニングダンプ用シリンダ機器

マイニングダンプには、油圧緩衝器である図1で示すサスペンションシリンダ（①フロント：写真4、②リア：写真5）と、油圧直動アクチュエータであるホイストシリンダ（写真6）が、機体左右に各1本搭載される。

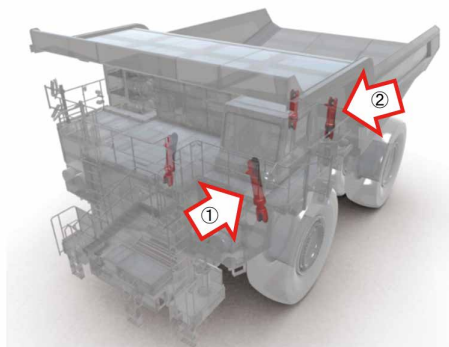


図1 サスペンションシリンダ搭載位置



写真4 ①フロントサスペンションシリンダ
取り付け状態



写真5 ②リアサスペンションシリンダ
取り付け状態



写真6 ホイストシリンダ搭載位置

1.3 開発対象品

今回、日立建機様マイニングダンプEH5000AC-3用フロント、リアサスペンションシリンダと、ホイストシリンダの開発を行ったので、開発背景や構造と共に本報にて紹介する。

2 開発背景

2.1 各シリンダに求められる機能

サスペンションシリンダは車体質量を支え、路面からの衝撃を緩和し、車体フレームへの負荷低減や荷崩れを防ぐ車体保持機能と、車体の振動エネルギーを熱に変換し、振動を収束させることで車体の走行安定性を確保する振動減衰機能を有する緩衝装置である。一般的な自動車用サスペンションにおいては、保持機能を有するコイルばねや空気ばねと、減衰機能を有するショックアブソーバが機能的に分離しているが、マイニングダンプ用サスペンションにおいては、保持と減衰の両方の機能を、ひとつの圧力容器内に備えていることが特徴である。

ホイストシリンダは荷台に積載された土砂などの積荷を降ろすために、荷台を昇降させる機能を有する。荷台が降りた状態におけるシリンダの取り付け長さに対して必要なストロークが大きいため、テレスコピック式のものが多く採用されている。

2.2 サスペンションシリンダ

サスペンションシリンダは前述の通り、車体保持機能と振動減衰機能を、ひとつの圧力容器内に有する油圧緩衝器である。車体保持機能は、サスペンションシリンダに封入されたガスと作動油の圧縮性により発揮し、振動減衰機能は、油室間に設けたオリフィスにより発揮する。この構造は、当社創設者の萱場資郎が1924年に発明した、航空機用の空気油圧式緩

衝脚（以下オレオ）と同一の機能構成である。

マイニングダンプ用サスペンションシリンダは初めての参入となるが、オレオを起源として発展した、自動車、鉄道、航空機向け等の各種油圧緩衝器設計技術を再集結し、さらに、多くの知見を有している建設機械用油圧シリンダの設計技術を組み合わせ、開発を行った。

2.3 ホイストシリンダ

荷台を昇降させる機能を有するテレスコピック式複動油圧シリンダとしては、既存の当社製品として積載質量2t以下の特装車両用シリンダがあるものの、開発対象であるマイニングダンプEH5000AC-3の積載質量は約300tと非常に大きく、積荷を降ろす際、荷台を持ち上げるために必要な推力も大きいため、大型のホイストシリンダが必要となる。当社としては設計、生産実績のない大径、長尺サイズのテレスコピック式シリンダであるため、特装車両用ホイストシリンダをベースにマイニングダンプ用として専用設計を行った。

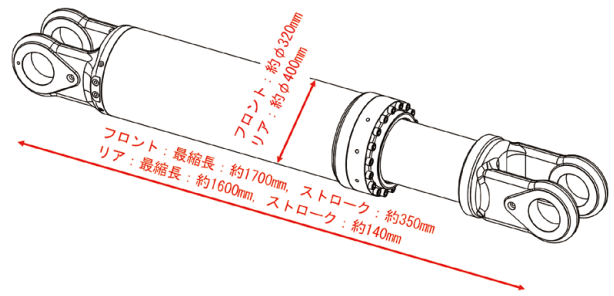


図2 サスペンションシリンダ外観図

サスペンションシリンダは車体保持機能を発揮するため、内部には、作動油とガスが同じ空間内に封入される（図3）。車体には、ロッドが下側となるように取り付けられ、ガスはシリンダチューブ上部に溜まる。サスペンションシリンダが縮む際には、シリンダ内部の容積はロッドが侵入する分だけ小さくなり、ガスと作動油が圧縮されることで、シリンダ内圧が高まる。ガスをばねとして使用する場合、ボイルの法則に基づき、シリンダが縮むほどに圧力が大きくなり、非線形の漸増ばね特性となる。ガスの圧縮による漸増ばね特性は、空荷状態の低いばね定数による乗り心地の確保と、積荷高負荷状態の漸増的に高まるばね定数による高荷重保持が両立できることから、空荷状態と積荷状態の保持荷重が大きく異なるマイニングダンプには最適である。

限られた取り付けスペース、ストロークにて、車体総質量が500tにもなる車体を4本のサスペンションシリンダで保持する必要があるため、動的な最大圧力は60MPaにも達する。マイニングショベルにおける油圧回路のメインリリーフ圧が30MPa程度であることと比較しても、サスペンションシリンダの最大圧力は高い。

なお、日立建機様マイニングダンプ用サスペンションシリンダにおいては、作動油としてシリコン系合成油を用いる。ガスの圧縮による漸増ばね特性に加えて、シリンダ内のガスが見かけ上存在しなくなるような積荷高負荷（高圧）領域においては、作動油の圧縮性によるばね特性も用いることになる。一般的な油圧緩衝器に用いられる鉱物油に対し、体積弾性係数の大きい（圧縮性が高い）シリコン系合成油を用いることで、積荷高負荷（高圧）領域においても、鉱物油に対してばね定数を低く保つことができ、車体フレームへの負荷低減が可能となる。

また、もう一つの重要な機能である、車体振動の減衰機能を発揮するため、作動油に満たされているピストンロッド部にオリフィスを構成している。サスペンションが伸縮動作し、作動油がオリフィスを通過する際の抵抗により、上室と下室に圧力差を發

3 製品仕様

3.1 使用環境と使われ方

マイニングダンプは世界中の鉱山で稼働するため、高温多湿、寒冷地、粉塵環境等、様々な使用環境を考慮する必要がある。想定される使用環境温度は、 $-40\sim 50^{\circ}\text{C}$ であり、舗装されていない鉱山を走行することから、シリンダ機器には泥や砂塵が降りかかり、またそれらが乾燥しロッド表面に付着したり、低温環境で凍り付く等、厳しい環境で使用されることを想定する必要がある。同じく鉱山で稼働するマイニングショベル用シリンダと比較しても、長距離を走行するマイニングダンプは、シリンダ本体に降りかかる泥、砂塵も多いことから、ピストンロッド摺動部からのダスト侵入に対しては厳しい使われ方であるといえる。

また、鉱山機械用部品の多くは定期的にオーバーホールを行い補修することで、長期間使用される。今回開発するサスペンション、ホイストシリンダにおいても同様であり、シールや摺動部品などの消耗品を交換し、繰り返しオーバーホールを行い使用された場合においても構造物が破損しない様、強度部位の長期耐久性が求められる。

3.2 サスペンションシリンダ基本仕様

- ・シリンダ外観寸法：図2による
- ・最大圧力：60MPa
- ・作動油温度範囲： $-40\sim 90^{\circ}\text{C}$
- ・封入作動油：シリコン系合成油

生させることで減衰力を発生させている。オリフィス径、油通路の形状により、所望の減衰力特性にセッティングする。

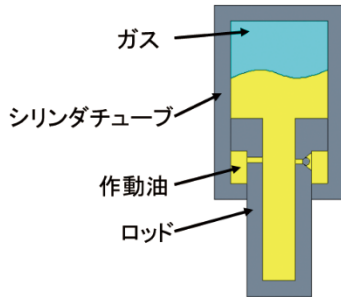


図3 サスペンションシリンダ概要図

3.3 ホイストシリンダ基本仕様

- ・シリンダ外観寸法：図4による
- ・シリンダ形式：複動3段テレスコピック式
- ・圧力仕様：21MPa
- ・作動油温度範囲：-40~90℃

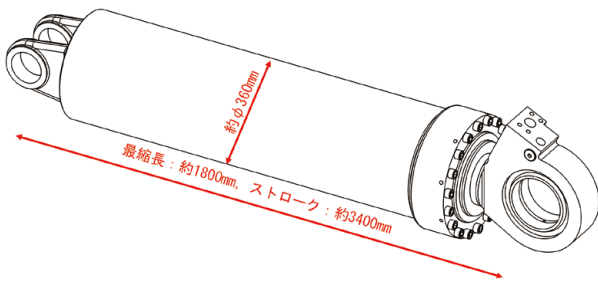


図4 ホイストシリンダ外観

ホイストシリンダは最小径のロッド内部に配管を構成し、図5の様にボトム室、ロッド室を構成している。シリンダの伸作動、すなわち荷台を持ち上げる際は、伸側ポートから内部配管を通してボトム室に圧油がまわり、大径のロッドから順次伸作動する。シリンダの縮作動、すなわち、荷台を降ろす際は、通常は荷台の質量により小径のロッドから順次縮作動する。また複動シリンダであることから、低温時に作動油の粘度が高くなり荷台の質量では縮作動し難いといった場合も、縮側ポートを加圧することでロッド内部を通してロッド室に圧油がまわり、強制縮作動させることができる。

4 開発課題と設計上のポイント

4.1 サスペンションシリンダ

4.1.1 保持力、減衰力特性計算モデルの確立

サスペンションシリンダは既述の通り、保持力、

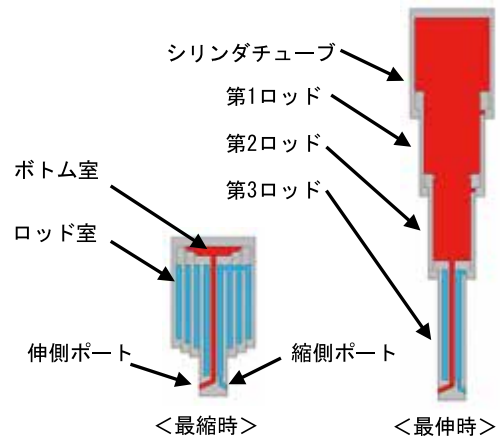


図5 ホイストシリンダ概要図

減衰力機能が求められる。当社は自動車や鉄道車両等、油圧緩衝器における特性計算技術、車体挙動シミュレーション技術を有するが、マイニングダンプ用サスペンションシリンダにおいて、考慮すべき、作動油の圧縮性やガスの溶解込みによる特性への影響を把握するためには、机上計算だけでは不十分であった。作動油の圧縮性やガスの溶解込みは、使用する作動油やガスの種類、組み合わせにより変化するため、基礎試験として、サーボ試験機等を用いて保持力特性、減衰力特性の計測を行い、理論計算値との差を把握した上で適切な補正を行うことが必要である。

しかしながら、マイニングダンプ用サスペンションシリンダを加振試験する場合、実機、又は実機相当の推力、加振速度を負荷できる大型試験設備が必要となる。実機や大型試験設備における検証は、開発費用の増大や開発期間の長期化を招くことから、今回の開発においては、既存のサーボ試験機にて加振可能なサイズのミニチュアサスペンションを製作し、基礎試験を実施した（写真7）。

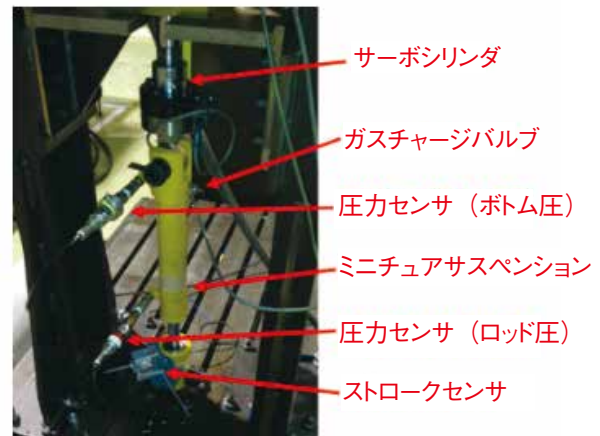


写真7 ミニチュアサスペンション

ミニチュアサスペンションを用いた基礎試験において、作動油の圧縮性やガスの溶け込みによる保持力特性、減衰力特性への影響を把握し、理論計算値に対する適切な補正係数を設定した。さらに、サスペンションシリンダ本体の動特性解析モデルと、これを盛り込んだ車体シミュレーションモデルを構築し、サスペンション特性が車体挙動に与える影響を、実機搭載前に検証することが可能となった。

4.1.2 構造物の圧力耐久強度

既述の通り、サスペンションシリンダは、繰り返し高圧が負荷される圧力容器であるのに加え、オーバーホールを繰り返し行い長期間使用される緩衝器である。構造物の圧力耐久性を向上させるためには、各強度部位の肉厚を増加させることが考えられるが、サスペンションの質量増大は、ばね下質量増大による車体運動特性の低下や、車体質量増加に伴う積載量減少のデメリットがあり、耐久強度と製品質量のバランスが取れた最適設計が必要である。

今回、使われ方が厳しい現場における実稼働時のサスペンションシリンダ圧力データを日立建機様より提供頂き、油圧ショベル用高圧シリンダ設計にて培った当社の頻度解析技術を基に、機体寿命に対するシリンダ耐久強度の明確化を行った。市場が求める耐久強度が明確になったことで、当社の圧力容器疲労設計技術を基にして、必要な耐久強度を確保しつつ製品質量が最小となるシリンダを設計することができた。

4.1.3 外力に対する強度

マイニングダンプ用サスペンションは、シリンダのストローク伸エンド、縮エンドそれぞれでストローク規制を行う。悪路を走行するマイニングダンプにおいては、タイヤが路面から浮き上がり、サスペンションシリンダが伸エンドに達する場合もあり、大きな引張外力の負荷を想定する必要がある。ここでも、油圧ショベル用高圧シリンダ設計で培った、ストロークエンド時の外力が大きいシリンダ製品の締結部やクレビス部の設計ノウハウを生かし、一発破壊強度、耐久強度共に満足できる設計を行った。

4.1.4 オイルシールの選定

サスペンションシリンダに用いるオイルシールには、低温側の温度仕様である -40°C でも弾性を有し、作動油の温度上昇にも対応し、さらにシリコン系合成油における耐油性も考慮する必要がある。

一般的な油圧シリンダにおいては、耐寒仕様や耐熱仕様といった、稼働地別の仕様を設定することもある。こういった場合には、専用のシール部品を使い分ける必要が生じることから、コストや、製作リードタイムの増加が問題となる。そのため、今回開発

するサスペンションシリンダでは使用実績のある材質、新規専用材を様々な条件にて浸漬試験実施し、想定される環境温度、作動油温度全域に対応可能な、最適なオイルシールを選定した。これにより、稼働地別の仕様を設定しないで、世界同一シリンダ仕様での対応を可能とした。

4.2 ホイストシリンダ

4.2.1 コンパクト化

ホイストシリンダの伸作動によって荷台を持ち上げた際、シリンダには反力として大きな圧縮荷重がかかる。油圧シリンダのサイズ設定を行う際、シリンダ径は必要推力とメインリリーフ圧によってある程度決定される。しかしながら、テレスコピック式シリンダにおいては必要推力だけで、一概にはシリンダ径を決めることができない。なぜなら、最も細いロッドの座屈強度が問題となる場合があるためである。

テレスコピック式シリンダは構造上、発生した圧縮荷重がそのまま、車体側シャフトと接続している最も細いロッドに作用する。例えば、縮状態から伸び始める際は1段目の最大外径のピストン断面積と内圧から換算される推力分の大きな圧縮荷重を最小径のロッドが受けることになる。ロッドの座屈強度を増そうと最小径のロッド径を大きくしてしまうと、その外側のロッド、更にその外側のロッドと、内側のロッド径に応じて外側のロッド径を大きくせざるを得なくなり、結果として必要推力以上にシリンダが大型になってしまう。必要な推力に対し、いかに最小径のロッドの座屈強度を確保するかがシリンダの軽量・コンパクト化のカギとなる。開発したマイニングダンプトラック用ホイストシリンダでは大きな圧縮荷重にも耐えられるよう、ロッドには高強度で肉厚の大きい鋼管材を採用することで座屈強度を確保し、シリンダのコンパクト化を図っている。

4.2.2 外力と圧力に対する強度

マイニングダンプトラックの荷台は写真3のように車体から後方に大きく張り出した形状をしており、そのため、荷台が昇降する際に回転中心となるヒンジピンの位置は荷台の後端ではなく荷台の中央寄りに位置している。このため荷台を持ち上げて荷台から積荷がすべり落ちる際、積荷がヒンジピンを通過した瞬間にシーソーのように積荷の重さによって荷台が急激に持ち上げられることになる。これにより、ホイストシリンダにかかる荷重は、それまでの圧縮方向から一時的に引張側に反転する(写真8)。積荷がすべり落ちる際に発生する引張荷重の大きさは、積荷の種類や状態、荷台形状によっても異なる。

また、シリンダが伸作動中に大きな引張荷重が負

荷されると、シリンダのロッド室の圧力が、油圧回路に設けたオーバーロードリリーフ圧まで高まることもある。ロッド室が高圧になると、各段のロッドシールの負荷が大きくなり、また、ロッド室の圧力容器としての構造物耐久強度も厳しくなる。荷重反転による圧力負荷、外力負荷を考慮し、シールシステムの選定や、溶接継手構造の設計を行っている。

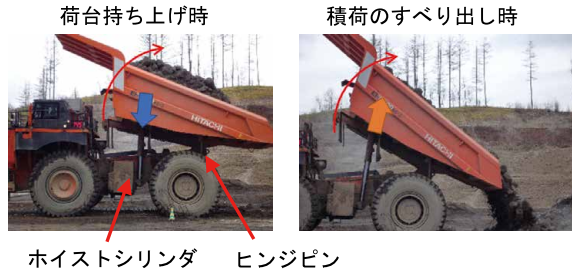


写真8 ホイストシリンダにおける荷重反転

4.2.3 耐久性

サスペンションシリンダと同様に、ホイストシリンダにおいても、定期的なオーバーホールによる長期間使用を想定した設計を行う必要がある。構造の面では、実稼働データの圧力頻度解析から必要な耐久強度を把握するとともに、油圧ショベル用高压シリンダの溶接継手構造を採用することによって耐久性を担保している。

既述の通り、ホイストシリンダにも泥や砂塵が降りかかり、それらが乾燥しロッド表面に付着したり、低温環境で凍り付く等を想定する必要がある。ピストンロッド摺動部からのダスト侵入によるロッド表面の傷つきやロッドシールの破損による外部油漏れを防ぐため、シールメーカーと共同で耐ダスト性の高いダストシールを新規開発した。このダストシールはサスペンションシリンダにも採用している。

5 実機評価

マイニングダンプ用サスペンションシリンダ、ホイストシリンダの机上検討及び、要素試験方法等の妥当性を確認するため、日立建機様ご協力の下、実際の車両に、開発したシリンダを搭載頂き、各種実機評価を行った。

5.1 サスペンションシリンダ

4.1.1項にて確立した保持力特性、減衰力特性の計算モデルの妥当性最終確認のため、実機使用時におけるサスペンションシリンダの保持力特性(図6)、減衰力特性(図7)を計測した。

図6、図7の通り、確立した計算値と実測値が一致したため、保持力、減衰力特性の算出モデルの妥

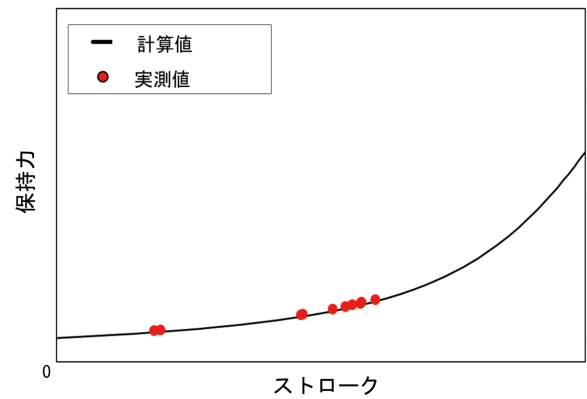


図6 サスペンション保持力特性計測結果

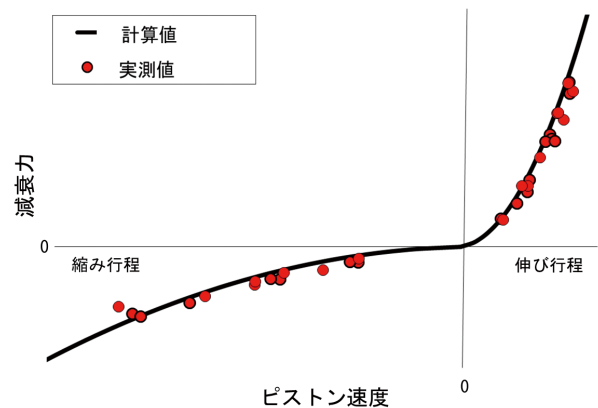


図7 サスペンション減衰力特性計測結果

当性が確認できた。特性計算モデルを確立できたことで、実機による試行錯誤的なチューニングを行うことなく、お客様要望の特性を机上検討で設定することが可能となった。

また試乗官能評価においても、乗り心地が良い等の高い評価を頂くことができた。

5.2 ホイストシリンダ

シリンダの油圧測定、外力測定その他、車体フレームの応力等、シリンダ変更による車体側影響の確認を行った。机上検討時に設定した想定負荷以下であり、設計仕様の妥当性を確認できた。これらの負荷測定については、サスペンションシリンダにおいても同様に計測を実施している。

6 おわりに

実機評価の合格により、当社製サスペンションシリンダ、ホイストシリンダは、日立建機様マイニングダンプEH5000AC-3（積載時車体質量：500t）に採用頂いている。

マイニングダンプ用シリンダ機器の開発、評価を通して製品特有の知見を得る事ができた。当社既存技術である、油圧ショベル用高压シリンダの設計技

術と、自動車用等の油圧緩衝器設計技術を生かし、市場の使われ方、お客様ニーズに合わせたマイニングダンプ用シリンダ機器の設計、製作が出来る様になった。

今回の開発においては、日立建機様ご協力の下、実機評価を行うことができたが、機体が大型であるため、実機での評価、検証は容易ではない。今後は要素技術、シミュレーション技術の深掘りによるモデルベース開発を推進していく。

6.1 今後のマイニングダンプ用シリンダ機器開発

内燃機関や油圧機器の電動化が進んでいる昨今、その流れは建設機械にも拡大しつつあるが、大推力、大容量を求められる鉱山向け機器においては、今後も油圧が主流であると考えられる。そのため、マイニングダンプ用サスペンションシリンダ、ホイスシリンダにおいても、以下のように、更なる改善、性能向上が求められると考える。

6.1.1 サスペンションシリンダ特性の最適化

将来的には自動運転化が進み、オペレータが乗車しないマイニングダンプも多くなることから、乗り心地は重要視されなくなる。しかし、オペレータの経験で回避できている荷崩れや、路面状況に合わせた運転は難しくなる。サスペンションシリンダとしては、いかなる走行条件、環境であっても最適な保持力特性、減衰力特性が得られ、車体構造物への負荷低減や走行安定性を確保できることが求められる。

自動車用油圧緩衝器においては、随時最適な減衰力特性を得られるアクティブサスペンションや、ステアリングとの協調制御等、様々な解決方策例が存在する。マイニングダンプ用サスペンションとして最適な方策を見出し、適用に向けた研究開発を推進する。

6.1.2 ホイスシリンダのコンパクト化

ホイスシリンダを更にコンパクトにすることができれば、車体側の設計自由度が向上する。今後自動運転化などの導入が進み作業現場でのマイニングダンプの運用方法が変わることによって車体の構造が大きく変化する可能性が想定される。時代の変化に合わせたマイニングダンプの最適な車体設計に貢献できるよう、よりコンパクトなテレスコピック式シリンダの設計技術を追求していく。

6.1.3 油圧機器と情報化技術の融合

鉱山機械業界においてもIoT、DX等を取り入れた作業効率向上、自動運転化が広がっており、油圧機器における情報化技術との融合が急務である。

当社では、作動油の状態監視や、油圧シリンダの故障検知システムを開発中である。本システムをマイニングダンプ用シリンダ機器に適用することにより、油漏れ等の故障早期検知や、最適なオーバーホールタイミング提案等が可能となり、マイニングダンプの生産性を更に高めることができると考える。

最後に、本製品の開発にあたりご協力頂きました日立建機株式会社様、関連協力会社の皆様、社内各部署に、この場を借りて厚く御礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 日立建機様：EH5000AC-3カタログ，EH5000AC-3 Feature and Specs Brochure
- 2) 高井：油圧ショベル用シリンダ変遷，KYB技報50号，(2015年4月)。
- 3) 吉田，亀田，原：状態監視システム，KYB技報60号，(2020年4月)。
- 4) 岩本，高橋：油圧シリンダ用故障検知機器の開発，KYB技報61号，(2020年10月)。

著 者



谷川 夏樹

2010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 岐阜南油機技術部シリンダ設計。ショベル向け等のシリンダ製品設計・開発に従事。



長谷川 一樹

2012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 岐阜南油機技術部シリンダ設計。ショベル向け等のシリンダ製品設計・開発に従事。

製品紹介

二輪車用電子制御サスペンションシステム “KADS” の開発

植村 将史 ・ 小島 弘幸 ・ 菅原 英利

1 はじめに

セミアクティブサスペンションが搭載された二輪車は2012年ごろから欧州で販売されている。車両タイプはアドベンチャー、ストリート、ツアラー、スーパースポーツなどの上級グレードがメインである。現在も市場規模は拡大しており、今後も増加していくことが予測される。

KYBはElectronic Control Unit（以下ECU）のハードウェア（以下HW）及びソフトウェア（以下SW）、チューニングツール、センサ、フロントフォーク（以下FF）、リアクッションユニット（以下RCU）、を統合したセミアクティブサスペンションシステムを開発、製品化したので概要を紹介する。

2 システム概要

2.1 システム構成

図1にシステムの構成を示す。青枠部品が当社開発責任範囲、赤枠部品は客先開発責任範囲である。

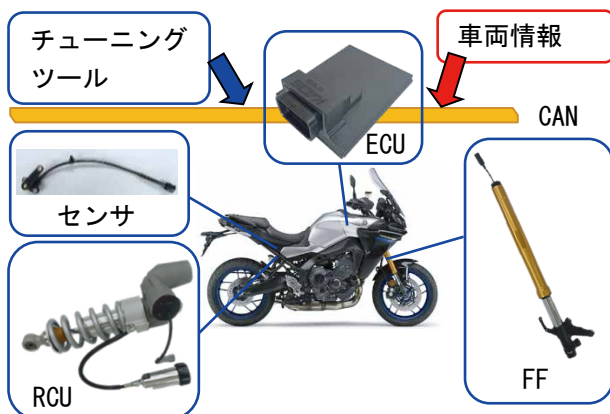


図1 “KADS” の構成

本開発品は、当社ならではの油圧技術と制御技術を統合した製品であり“KADS”と命名しブランドを構築した（図2）。



図2 “KADS” 商標

“KADS”^{注1)}とは、KYB “Actimatic Damper System”^{注1)}の略語であり、ActimaticとはActiveとAutomaticからなる造語で、自動調整により得られる高い運動性能を有していることを表現している。車両挙動の「走る」、「曲がる」、「止まる」に着目し、基本性能（乗り心地）と運動性能の両立を実現した。

注1) “KADS”と“Actimatic Damper System”はKYB株式会社の商標である。

2.2 システムコンセプト

“KADS”は当社独自の‘グラウンドフック’コンセプトを提唱し、あたかもタイヤが地面に吸い付くような接地感（安心感）をライダーが得ることができるように制御している（図3）。



図3 コーナリング中の重心の変化

表1 制御有無の比較

事象	制御	重心	効果 (接地感)
重心の 変化	無し	不安定	無し
	有り	安定	有り

ビギナーライダーは車速に対するバンク角を適正に保つことが難しくブレーキを掛けたり、車両を立てたりしてしまい、結果的に重心が不安定になってしまうことが多い。制御無しの場合は図3の通り重心を安定させることが難しく車両が不安定な状態と

なりやすい。制御有りの場合は“KADS”が自動で重心の安定をサポートしてくれるので、タイヤ接地感を感じやすく車両も安定しやすくなる。これをライディングスキル支援と呼んでいる。

本項で説明したコンセプトを実現するために、開発した各製品を次章で紹介する。

3 ECU

新開発の独自制御により、車両に搭載されている複数のセンサからリアルタイムで車両状態を検知し、走行シーン（走る、曲がる、止まる）に合わせてサスペンションの減衰力を適切な状態へ自動で調整する。システムコンセプトに基づく最適な制御を提供するため、当社にてECUのHW及びSWを新規開発した。

3.1 外観と構造

ECUの外観を写真1に示す。樹脂筐体の内部に電子部品を実装した基板を搭載し、樹脂筐体内部をポッティング材にて充填することで封止及び固定し、耐振動／耐水／耐塵性を確保している（写真2）。



写真1 ECU外観



写真2 ポッティング材による充填

3.2 インターフェース

ECUと各コンポーネントとの接続を図4に示す。ECUはController Area Network（以下CAN）のインターフェース、及び6つのアナログ入力ポートを搭載しており多様な入力に対応することが可能である。また、出力は最大4つのソレノイドを制御することが可能である。高い汎用性をもつHWを有しており、適用車種の仕様に合わせてSWをカスタマイ

ズすることで様々なインターフェース要求に対応することが可能である。

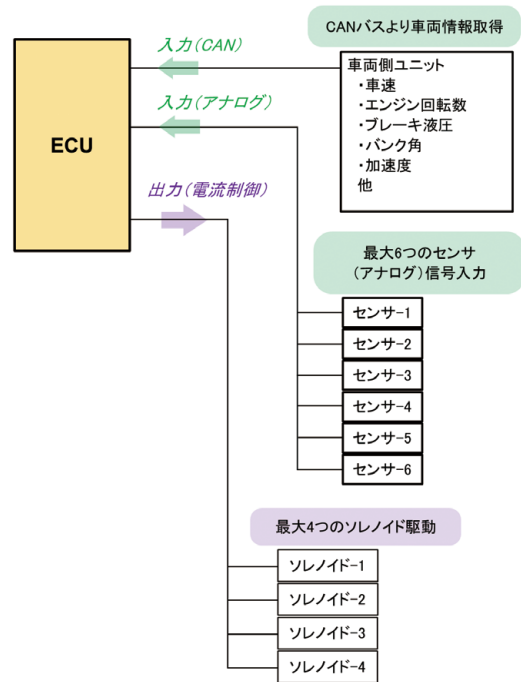


図4 ECUと各コンポーネントの接続

また、図5にECUの構成概要を表す機能ブロック図を示す。ECUはバッテリーより電源供給され、各種入力信号を取得して減衰力制御演算を実行する。出力部には制御スイッチと電流検出を備え、演算結果に基づく所望電流を出力する。制御スイッチはパルス幅変調（PWM）方式にて駆動する。

また異常の検出と処理を行うセーフティメカニズムを有し、万が一の異常発生時には適切な処理を実行してシステムを安全な状態へ遷移させる。

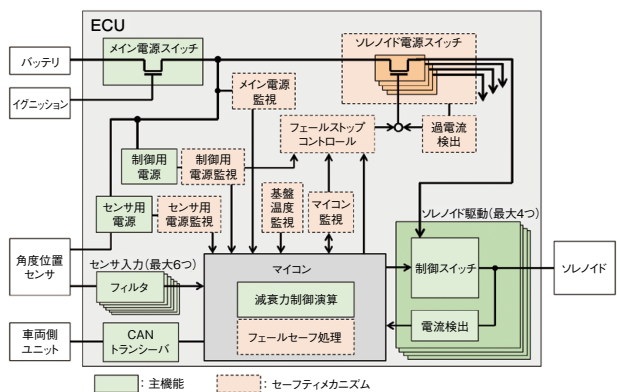


図5 ECU機能ブロック図

3.2.1 ECUへの入力

ECUは車両側の各ユニットとCANバスを介し通信することにより、車速、エンジン回転数、ブレー

キ液圧、バンク角、加速度などの車両信号を取得する。また、アナログ入力ポートからは車両挙動を検知するセンサ信号を取得する。“KADS”ではリアスイングアームの揺動角を検出するために、4章に記す角度位置センサを車両に搭載し、アナログ入力ポートよりセンサ信号を取得している。

3.2.2 ECUからの出力

出力は5章に記すサスペンションに内蔵されているソレノイドに接続され、減衰力制御演算に基づきソレノイドに流れる電流を制御する。“KADS”における減衰力調整の対象はFFの左側ダンパ、右側ダンパ及びRCUの3つであり、それぞれ独立で制御することが可能である。

表2 制御ロジック一覧

制御名	詳細
ピッチング制御	車両前後方向の加速度に応じて減衰力を調整する。ノーズダイブ等を抑制する。
路面判定制御	車両上下方向の加速度を基に路面状態を判定し減衰力を調整する。
バンク制御	バンク角に応じて減衰力を調整する。コーナリング時の安定性を向上させる。
車速応答制御	車速に応じて減衰力を調整する。
エンジン回転数制御	エンジン回転数に応じて減衰力を調整する。エンジン回転数の変動による急激な姿勢変化を抑制する。
ジャンプ制御	車両のジャンプ状態を検知し減衰力を調整する。着地時の衝撃を緩和させる。
ブレーキ圧制御	ブレーキ液圧に応じて減衰力を調整する。ブレーキ時の車両の安定性を向上させる。
ストローク速度制御	サスペンションストローク速度に応じて減衰力を調整する。基本特性を調整し乗り心地を変化させる。
ボトミング制御	サスペンションのボトミングを抑制するよう減衰力を調整する。
減衰力補正制御	ソロ／タンデム／積載を判別して減衰力を補正する。
モード切替制御	ライダー側の操作により任意に切替可能な走行モードに変更する。

3.3 減衰力制御

システムコンセプトであるグラウンドフックを実現するために、表2に示す11の制御ロジックを構築／統合し、当社独自の減衰力制御を開発した。

ECUは、3.2.1項に記した各信号入力に対して1/1,000秒毎に減衰力制御演算を実行する。この高速な演算処理により、違和感のないスムーズな減衰力調整を実現した。制御演算に用いる各パラメータは、専用のチューニングツールにて適用車種に応じてフレキシブルに設定することが可能である。

3.4 チューニングツール

減衰力制御パラメータ設定用のチューニングツールを当社独自に開発した。パラメータ設定のイメージを図6に示す。チューニングツールにより、各入力信号に対する減衰力制御量の特性を細かく設定することが可能である。また本チューニングツールは使いやすさを重視し、視覚的かつ直観的な操作が可能でアプリケーションとして車両メーカー様へ提供している。実車評価にて効率的なパラメータ調整を可能にし、開発評価段階における減衰力のチューニング作業の時間短縮に寄与している。

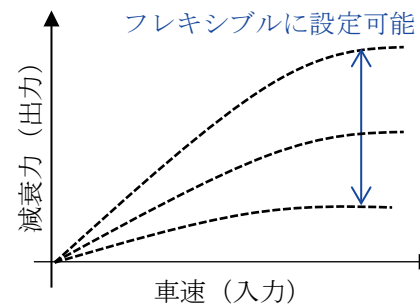


図6 減衰力制御パラメータ設定イメージ

4 角度位置センサ

リアスイングアームの揺動角を検知するためのセンサとして、既存製品を応用した角度位置センサを新規開発した。



写真3 角度位置センサ外観

4.1 外観と構造

角度位置センサの外観を写真3に示す。リアスイングアームの揺動角の検出に適したレバー付き構造を新規開発した。レバー先端部に取り付けられるロッドを介して車体に接続することで、リアスイングアームの揺動と同期し、レバーを回転させ角度(揺動角)を検出する仕組みである。

4.2 機能と特性

本センサの内部には、マグネット及びホール素子が搭載されており、レバーの機械的な回転角度を電気的なアナログ信号に変換する。

本センサの角度検出の有効範囲と出力特性を図7と図8に示す。出力特性は有効範囲においてレバーの回転角度に対してリニアであり、出力電圧のレベルはECUより供給される電源電圧に比例する。リアスイングアームの揺動角検出用として十分な有効範囲と精度を有している。この信号もECUにて車両挙動の1つとして認識され、減衰力制御演算の入力として使用されている。

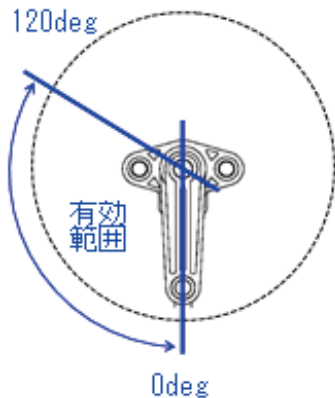


図7 有効範囲

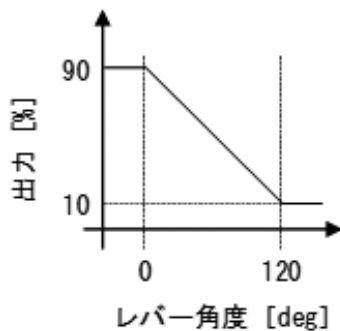


図8 出力特性

5 サスペンション

開発品は、ソレノイドバルブによって、高い反応速度を有し、コンベンショナルサスペンション(以下コンベサス)よりも広域な減衰力を発生させ、操

縦安定性と乗り心地を高い次元で両立することが可能である。システムコンセプトに基づく最適な減衰力を提供するため、FF、RCUおよび内蔵するソレノイドを新規開発した。

開発品では高い応答性を有する方式として、電磁力を利用して電気エネルギーを機械式運動(直線運動)に変換する比例ソレノイドを用いた方式を採用している。

5.1 FF

5.1.1 基本構造

写真4にFFの外観を示す。FFはコンベサスの倒立型をベースに、ソレノイドバルブをダンパ内部に搭載するソレノイド内蔵式とし、電流入力用コネクタをダンパ外部に設けている。

コンベサスでは、減衰力発生時の応答性を向上させるための手段として、シリンダサイズの拡大や作動油の加圧といった方法がこれまでに行われてきた。

開発品でもシリンダサイズを拡大すると共に、右側ダンパに伸び減衰力発生機構、左側ダンパに圧減衰力発生機構を有し左右で減衰力発生機構を独立化することで、伸び圧切り替わりによる減衰力発生応答遅れを無くしている。



写真4 FF外観

5.1.2 減衰力特性

図9に減衰力特性図を示す。減衰力調整方法として、ニードルバルブによるバイパス油路調整式ではバルブ特性を活用し自然な乗り心地であるものの構造上、減衰力可変幅は小さくなっている。

一方で、リリース圧調整式では減衰力可変幅を十分に確保することが可能であるが、前者と比較しリリース弁の圧力制御では低速から減衰力が立ち上が

り、二輪車では乗り心地を確保しにくくなっている。そこで開発品では、スプールバルブによるバイパス油路調整式を採用し、従来技術を活用したバイパス油路と積層バルブから成る減衰力発生機構を構成することで、コンベサス同等の自然な乗り心地と広域な減衰力可変幅の確保の両立を可能とした。

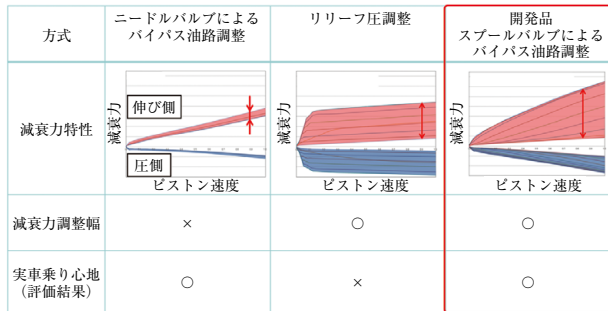


図9 減衰力特性図

5.1.3 ソレノイドバルブ構造

例として図10に伸び減衰力発生側（右側ダンパ）のソレノイドバルブ構造を示す。ソレノイドバルブは、左側に図示されるソレノイド部と右側に図示されるスプールバルブ部で構成される。

作動原理としては、ソレノイド部のコイルが非通電時の場合、スプールはスプリングによって左側に押し付けられ、ホルダとのソフト流路が閉ざされ全流量が積層されているハードバルブ側のハード流路へ流れ高減衰力を発生する。

一方で、通電時の場合、コイル周りに磁界が生じ、プランジヤにベースへ吸着する力（吸引力）が発生する。この吸引力がプランジヤのストロークとなりソレノイドに入力される電流によってスプールの位置を調整することで、ソフト流路の開口量がこれに追従し流量の制御（ハード流路とソフト流路へ流れる流量の切り替え）を行い、減衰力の調整が可能となる。つまり、入力電流値による流路の連続変化により、低減衰力から高減衰力まで任意の減衰力の短時間での切り替えを可能とした。

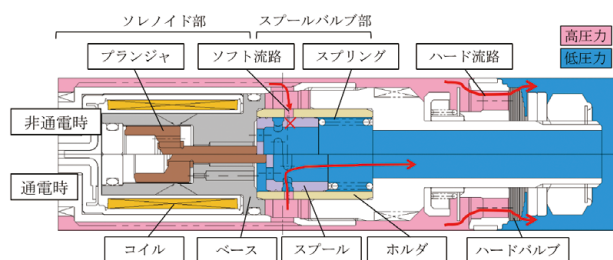


図10 ソレノイドバルブ構造図

5.1.4 スプリングイニシャル調整アジャスタ

スポーツ車向けFFには、スプリングイニシャル調整機構を備えているものが多い。一般的にセミアクティブFFでは、ダンパの中心軸に対して軸上にスプリングイニシャル調整アジャスタおよび電線を配置しているため操作性が悪い。本製品では、軸上に配置せず各々を併設することで、コンベサス同等の操作性を有している（写真5）。



写真5 スプリングイニシャル調整アジャスタ外観

5.2 RCU

5.2.1 基本構造

写真6にRCUの外観を示す。RCUもFFと同様に、ソレノイドバルブをダンパ内部に搭載するソレノイド内蔵式とし、電流入力用コネクタをダンパ外部に設けている。ダンパは、ソレノイドバルブに油を導くためアウトシェル及びシリンダで構成される複筒構造を採用した。また、減衰力調整方式はFF同様にスプールバルブによるバイパス油路調整式とした。



写真6 RCU外観

5.2.2 ソレノイドバルブ構造

ソレノイドバルブの構成は、基本的にFF側と共通である。図11にソレノイドバルブ構造を示す。

RCUには伸び減衰力のみ調整式とし、ソフト流路内にソフトバルブを備えたダブルバルブ方式を採用している。RCUの減衰力特性は、高いタイヤ接地力の確保と車両加速時の姿勢変化を抑えるため

に、ピストン速度低速域が重要視される。ソフトバルブを用いることで低速域の減衰力を補い、しっとりとした高級感のある自然な乗り心地を実現している。

作動原理は、FFと同様にソレノイド非通電時の場合、スプールは右側に移動せずソフト流路が閉ざされ全流量がダンパ側に設けているハードバルブに流れ高減衰力を発生させる。

一方で、通電時の場合、スプールが右側に移動しソレノイドへの入力電流値によってソフト流路の開口量を変化させソフトバルブへ流れる流量を制御し、減衰力の調整を行う。

本製品はヤマハ発動機(株)様の“TRACER9 GT ABS”向けに2021年より量産が開始している。また、現在も多数の車種への採用が検討されており適用開発を進めている。

最後に本製品をご採用いただきましたヤマハ発動機(株)様、本製品開発を行うに際しご協力をいただきました関連協力メーカー様、ならびに社内関係部門の皆様にはこの場をお借りし厚く御礼申し上げます。

6 おわりに

KYBとして二輪車向けに初となる、システムを統合した製品の開発及び量産が完了した。これにより、短時間で他カテゴリ車種への本システムの展開が可能となった。

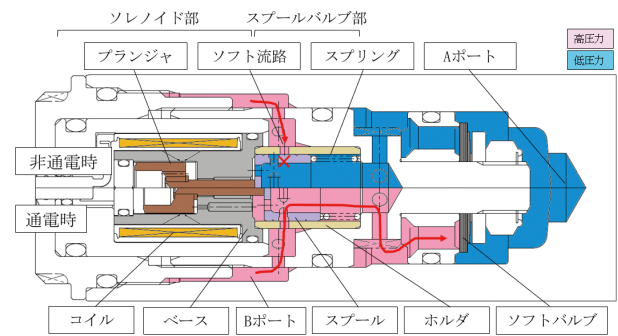


図11 ソレノイドバルブ構造

著者



植村 将史

2015年入社。オートモーティブコンポーネンツ事業本部技術統轄部開発センター商品企画室。主にシステム製品の設計に従事。



小島 弘幸

2014年入社。オートモーティブコンポーネンツ事業本部技術統轄部電子技術部。主に電子部品の設計に従事。



菅原 英利

2008年入社。KYBモーターサイクルサスペンション技術部。主にサスペンションの設計に従事。

SA・PS統合制御技術の研究

佐々木 啓 ・ 綱井 秀樹 ・ 金子 周平
 工藤 朋之 ・ 久保 大和 ・ 菅原 央道

1 はじめに

将来、自動運転の普及が進み、2040年には新車の約30%がレベル3以上の自動運転車になると予測されている¹⁾。これに伴って自動運転時の安全・安心と快適さのニーズは拡大・多様化すると予想される。このニーズに応えるため、ショックアブソーバー(以下SA)とパワーステアリング(以下PS)の両製品を扱うKYBの強みを活かして車両挙動を自在に制御するSA・PS統合制御技術の研究に取り組んでいる。自動運転時の安全・安心の向上には、正確でふらつかない走行が不可欠であり、路面凹凸の影響を抑えて目標軌道へ追従する技術が必要である。

そこで本研究ではSA・PS統合制御技術の一環として、主に上下振動に伴うSAの情報を電動パワーステアリング(以下EPS)の制御に活用した、図1に示す軌道追従制御と横揺れ抑制制御の2つの制御開発に取り組んだので紹介する。

軌道追従制御はSA・PS統合制御の要素技術であり、自動運転時の情報を活用して目標軌道に正確に追従するためのEPSの制御技術である。横揺れ抑制制御は上下振動時のSAの情報を利用してEPSを制御することで、上下振動に伴う横揺れを抑える技術である。

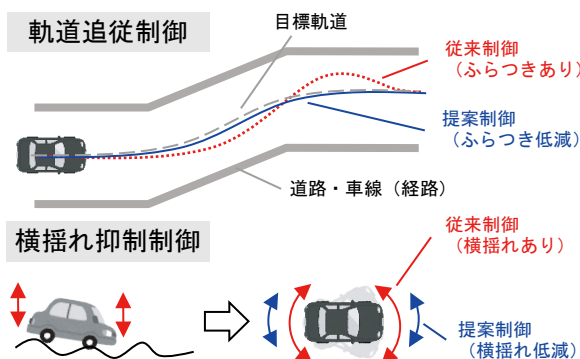


図1 SA・PS統合制御技術の概要

2 システム概要

本研究では、SAとPSの制御の研究開発のために構築した実験車両を利用した。この車両は事前に設定したテストコース内の経路データ(地図データ上に設定されたデジタルレーン)に対して自動で追従することが可能となっている。そのため、テストコース内の走行に限られる。なお、ステアリングの操舵のみ自動化しているため、本稿では自動操舵車両と分類している。

なお、ブレーキとアクセルは手動で、車速維持などは標準装備のクルーズコントロール機能を用いた。

2.1 実験車両の機材の構成

実験車両の機材の構成概要を図2に示す。実験車両は市販車両をベースに、サスペンションのストローク(変位)を計測するセンサ(以下サスストロークセンサ)や加速度センサなどの各種センサの他、高精度な自己位置の測位が可能なGPSセンサを追加した。また、制御用に汎用コントローラ、自動操舵用のPCを車内に搭載した。

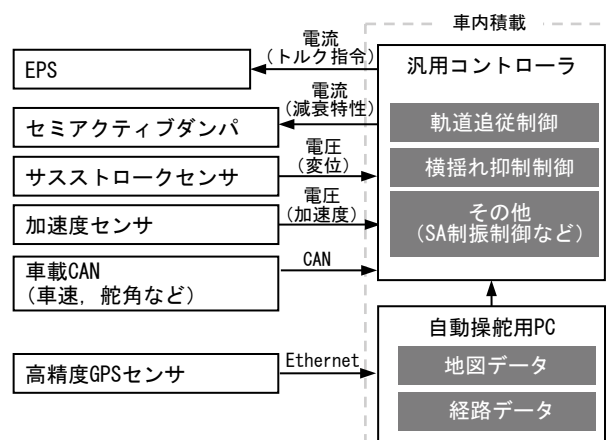


図2 実験車両の機材の構成概要

操舵の自動化に伴い当社製の試作EPSを利用して
おり、汎用コントローラと接続することで制御可能
になっている。その他、当社製の電子制御のセミア
クティブダンパを搭載して、こちらも汎用コント
ローラと接続して制御可能にした。

2.2 システム構成

システム構成を図3に示す。本稿で紹介する2つ
の制御は主にEPSを扱うため、図3中ではEPSとの
接続について記載している。

自動操舵用PCには自動運転ソフトウェアの
Autoware[®]注1)を搭載した。また、事前に計測・設
計したテストコースの経路データも搭載している。
自動操舵用PCはこの経路データとGPSの測位情報
を利用して、経路追従に必要な近傍の目標経路の情
報を汎用コントローラに送っている。

汎用コントローラにはMATLAB[®]/Simulink[®]
で作成した制御モデルを組み込んでいる。汎用コント
ローラでは経路の追従に必要なEPSへの制御指令
(トルク指令)の計算まで行っている。

Autoware[®]では本来、経路情報と自己位置から経
路の追従に必要な舵角も算出できるが、本研究では
その機能を汎用コントローラに移植して改良を行った。

注1) Autoware[®]：名古屋大学、長崎大学、産総研によ
る共同成果の一部として、自動運転の研究開発用途
で公開されているLinuxとROSをベースとした自動運
転システム用オープンソースソフトウェア。

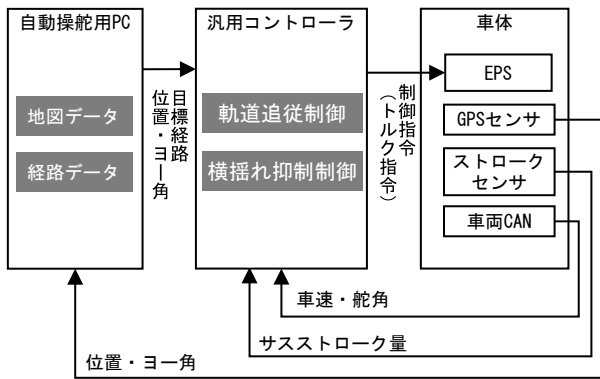


図3 システム構成概要

3 軌道追従制御の設計

狙った軌道への正確な追従に必要なことの一つと
して、ヨーレートの応答の遅れの抑制が挙げられる。

ヨーレートの応答の遅れは、ステアリングを操舵
してから車両が旋回を始めるまでに伝達する際の
諸々の機械的・物理的な特性によって発生する。こ
の応答の遅れを解消するためには、その伝達特性に
基づいて位相が進むように動かし、ステアリングか

ら車両までの伝達の遅れを抑制する必要がある。

応答の遅れを解消する手法としてモデル予測制御
があり、化学プラントなど比較的遅いプロセスを持
つシステムで多く採用されている²⁾。しかし、制約
や最適化の計算に比較的複雑な手続きを要し、処理
時間が長いといった課題がある。近年はプロセッサ
やアルゴリズムで解決しつつあるが、技術的なハー
ドルは高い。

そこで本研究では、なるべく簡潔な方法での実装
を目指し、図4に示す軌道追従制御を開発した。こ
の制御では、まず車両の応答予測にて経路への追従
時の車両の位置と姿勢の応答を予測する。そして、
ヨーレート制御では予測される車両の応答の遅れ分
だけ未来の目標値を参照して遅れを抑制する。

ここで、舵角制御はEPSの伝達関数の逆関数を利用
し、EPSの伝達特性を打ち消す2自由度制御を取り
入れて応答の遅れの抑制を行った。逆関数を扱う上
で正確な微分値が必要となるため、舵角制御では目
標舵角の2階微分までを入力として受け取っている。

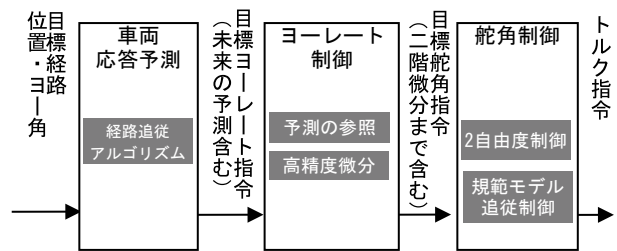


図4 軌道追従制御の構成概要

3.1 経路追従と目標軌道

本研究では、経路は地図上に事前に線路のように
設定されたルートと定義し、目標軌道はこの経路に
追従させる際に車両に実際に走行させたいルートと
定義している。目標軌道は自動運転の設計思想やア
ルゴリズムで様々で、特にカーブやレーンチェンジ
などでは経路に対してどのように目標軌道を描くか
で乗り心地や安全性などが異なってくる。

本研究ではAutoware[®]でも採用されているPure
pursuit法³⁾と呼ばれる経路追従アルゴリズムを採用
し、このアルゴリズムで経路追従する際の軌道を目
標軌道と定義した。

経路追従のアルゴリズムの概要を図5に示す。
Pure pursuit法では前方注視点と呼ばれる車両前方
の一定距離先の点と経路との誤差から目標ヨーレ
ートを算出し、車両特性に基づき操舵角を決定して経
路追従するアルゴリズムである。

性能評価では、経路追従アルゴリズムで評価路の

経路データに対する車両の軌跡を事前に計算し、目標軌道として利用した。

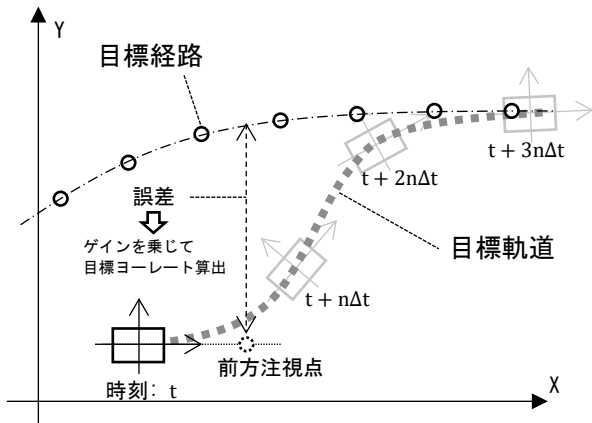


図5 経路追従アルゴリズムと目標軌道

3.2 車両の応答予測

車両の未来の位置・姿勢は、現在位置と経路の位置関係が分かる場合には、精度に限度はあるが経路追従アルゴリズムに基づいて応答を計算して予測できる。本研究では、計算量の削減と簡素な実装を目指し、平面上での2自由度車両モデルを利用して車両の応答を予測した。経路追従アルゴリズムには3.1節でも述べたPure pursuit法を利用し、離散モデルに基づく単位時間当たりの車両の位置・姿勢の変化を逐次計算して、最大1秒先までの未来のヨーレートを予測し、目標ヨーレートを算出した。

3.3 ヨーレート制御—予測の参照と制御

車両のヨーレートの応答遅れは、車両の特性や実際の車両の応答から、どれだけ応答が遅れるかを事前に予測することができる。そこで、図6に示す予測した目標値の参照方法のように、応答が遅れる時間分だけ、予測した未来の目標値を用いることで、応答の遅れを抑制することを狙った。

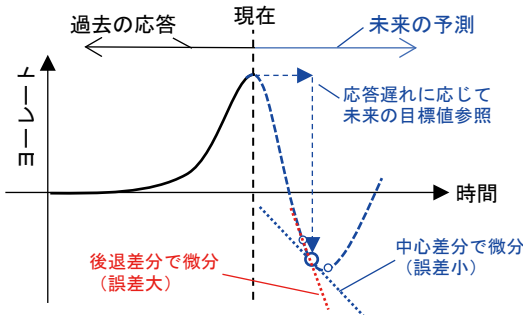


図6 予測した目標値の参照方法

さらに目標値前後の過去・未来の値を利用することで、舵角制御において必要な2階微分値までの近似値を中心差分により高い精度で算出可能になった。

目標ヨーレートの制御には、車両特性に基づく車両のスタビリティファクタ⁴⁾を考慮した車速可変ゲインで舵角を決定するフィードフォワード制御と、目標ヨーレートと実ヨーレートとの差分によるフィードバック制御を組み合わせを行った。

3.4 舵角制御—予測を利用した2自由度制御と規範モデル追従制御

応答遅れを抑制するための手法として2自由度制御がある。2自由度制御は制御対象に対して、その伝達特性の逆の特性を持つ逆関数を介して制御することで伝達特性を打ち消す手法である。しかし、逆関数を厳密に扱うには高精度な微分値が必要であり、さらにEPSの特性は複雑なため逆関数の扱いが難しい。

そこで、本研究では図7に示す2自由度制御と規範モデル追従制御を組み合わせ舵角を制御した。

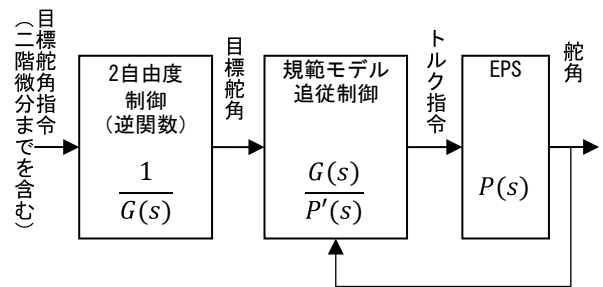


図7 EPSの舵角応答遅れ抑制制御の構成概要

EPSの伝達関数を $P(s)$ とすると、まず規範モデル追従制御によってEPSの応答特性を任意の伝達関数 $G(s)$ (規範モデル)に近づけた。この時、EPSの伝達関数を線形化して近似した伝達関数 $P'(s)$ を利用している。

そして2自由度制御では、3.3節で算出した高精度な微分値を使用して逆関数を演算することで、全体として次の式(1)が成立して、入力 $X \equiv$ 出力 Y となるように制御した。

$$\frac{Y}{X} = \frac{1}{G(s)} \frac{G(s)}{P'(s)} P(s) \approx 1 \quad (1)$$

この時、逆関数 $1/P'(s)$ のみではEPSの特性 $P(s)$ が変動した場合に性能が悪化するため、フィードバック制御で規範モデル $G(s)$ に近づける規範モデル制御を利用することで、外乱に対するロバスト性を向上させることを狙っている。

開発した舵角制御の応答のシミュレーション結果を図8に示す。「従来」は当社試作EPSに搭載され

た舵角制御で、「提案」は本研究の舵角制御である。常用域の応答試験の一つでもある台形波応答（4秒で90度変化）では従来と比較すると提案の応答が早く、オーバーシュートも抑えられて、収束も早いことが分かる。また、ステップ応答でも応答・収束は早くなっている。一方で、ステップ応答ではややオーバーシュートが大きくなった。この要因として規範モデル制御のモデルへの追従誤差や逆関数の微分精度の影響が挙げられる。

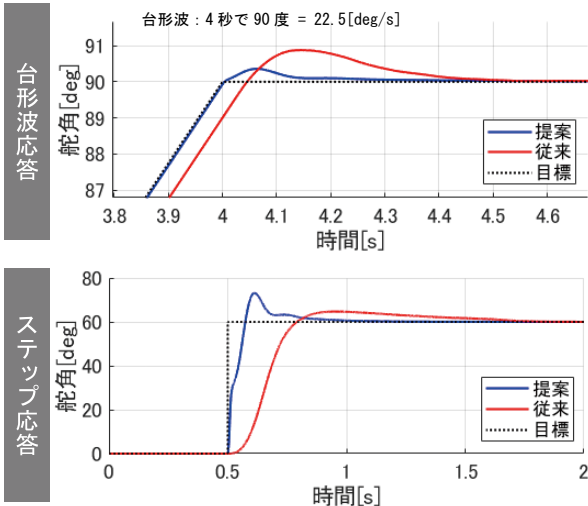


図8 EPSの舵角制御の応答

4 横揺れ抑制制御の設計

車両が路面の凹凸によって上下に揺れたとき、サスペンションジオメトリ構造によってキャンバ角が変化してキャンバスラストが発生⁵⁾し、車体が横に揺られてヨーレートが発生することがある。

本研究では、このような路面凹凸によって発生するヨーレートを横揺れとして、SAに搭載したストロークセンサから事前に横揺れを予測して、EPSを用いて修正舵を行くことで横揺れを抑える横揺れ抑制制御を開発した。

4.1 ストロークから横揺れの予測

路面の凹凸により発生する車体のヨーレートは、IMUなどのセンサでも計測できるが、これはすでに車体で発生した後の振動であるため、横揺れを素早く抑制することは難しい。

そこで、路面凹凸に対してタイヤが乗った瞬間の4輪のサスペンションのストロークの動きから横揺れを事前に予測して、足回りから車体へと振動が伝達して横揺れが発生するその前にステアリングで横揺れを抑制する。

設計した横揺れ抑制制御の構成を図9に示す。こ

の制御では、路面の凹凸の種類、例えば前後輪がロールする場合と、前輪・後輪が単独でロールする場合で、異なる推定ロジックを組み合わせることで予測精度を向上させている。

特に前輪と後輪の横揺れの差分の微分を取ることによって、片輪が段差に乗り上げた場合の車体のねじれによる横揺れを予測することができるようになった。

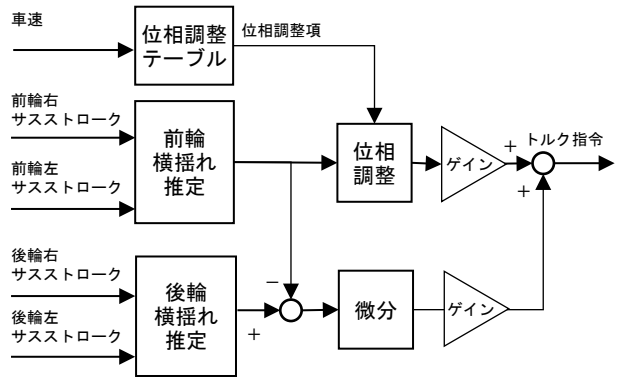


図9 横揺れ抑制制御の構成概要

4.2 評価路面での応答と予測

路面凹凸に伴う横揺れの検証・評価のために2種類の評価路面を選定した。この評価路面の概要を図10に示す。両輪周期振動路は、路面がサイン波状になっており左右のタイヤが交互に上下する路面である。また、単発振動路は約10cmの段差に片輪側に乗り上げる段差路である。

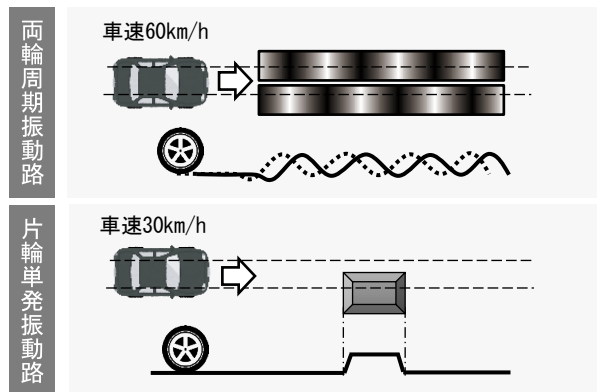


図10 横揺れの評価路面

路面の凹凸によるヨーレートの発生と、横揺れの予測精度を確認するため、横揺れ抑制制御は行わず、路面凹凸上を直進した。このときのヨーレートの実応答と予測の結果を図11に示しており、ストロークの動きからヨーレートの応答を比較的精度良く事前に予測することができている。

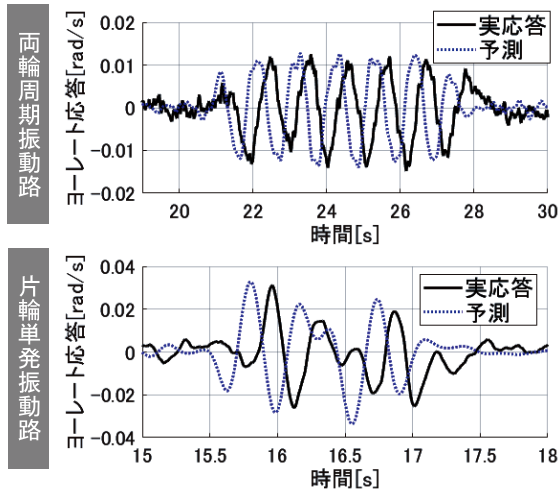


図11 評価路面走行時のヨーレートの応答と予測

4.3 予測に基づく横揺れの抑制

横揺れ抑制制御の指令をEPSに入力する際の構成を図12に示す。予測した横揺れ量にゲインをかけてトルク指令に換算し、EPSのトルク指令に加算して行う。応答速度の速いトルク指令に加算することで、横揺れの予測から抑制までの猶予に対応することができた。

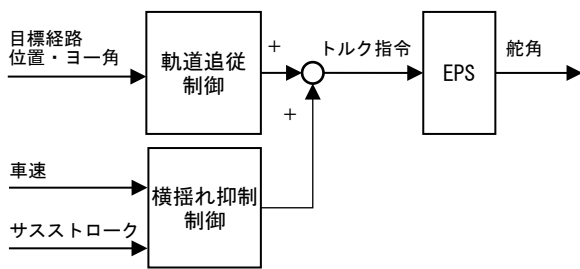


図12 横揺れ抑制制御指令の加算

5 軌道追従性能の評価

本研究で提案した軌道追従制御の軌道への追従性能を評価するため、テストコースで試験を実施した。比較対象の従来手法は、3.3節に述べた目標ヨーレートの指令に対して車速可変ゲインで舵角を決定するフィードフォワード制御を行う手法とした。

5.1 性能評価条件

目標軌道は、前述3.1節で述べた通り、地図上に設定された経路データに対して、経路追従アルゴリズムPure pursuit法で横滑りなしで理想的に追従した際の軌跡とした。

軌道追従誤差は車両の重心から左右方向に対して伸ばした垂線と目標軌道との交点との距離と定義して評価に利用した。性能は軌道追従誤差の最大値を比較し、従来制御に対する提案制御の誤差の比率を

従来比として算出して性能を比較した。

試験では図13に示す平坦な路面での車速60km/hのスラロームと、アップダウンがある周回路で車速40km/hで走行して計測した。計測では車速を一定に保ち、自動操舵で走行して実施した。

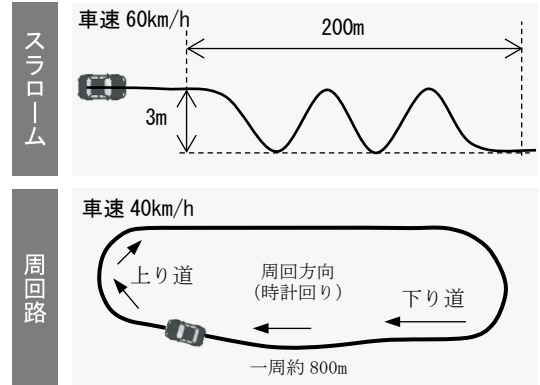


図13 軌道追従性能の評価路

5.2 性能評価結果

走行試験の結果として、各評価路での総走行距離に対する目標軌道との追従誤差を図14に示す。提案制御の結果、スラロームでは従来比で最大35%まで軌道追従誤差を低減できた。周回路ではカーブで発生する誤差を低減できており、低速での走行ではあるものの、上り下りがあり外乱要素の多いコースでも効果を確認できた。

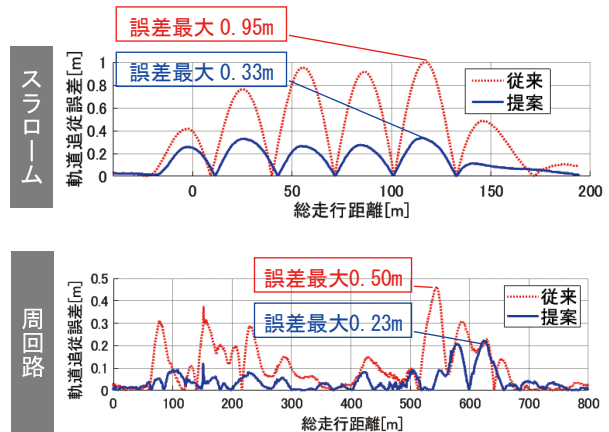


図14 軌道追従性能の評価結果

6 横揺れ抑制性能の評価

提案した横揺れ抑制制御の路面凹凸に伴う車両の横揺れの抑制性能を評価するため、テストコースで試験を実施した。比較対象の従来制御は、横揺れ抑制制御をしない場合とした。

6.1 性能評価条件

搭載したIMUセンサーで計測したヨーレートのPP値（最大値と最小値の差）で評価した。従来制御でのPP値に対する提案制御でのPP値との比率を従来比として算出して性能を比較した。

試験における路面と車速の条件は4.2節で述べた内容と同じで、両輪周期振動路を60km/h、片輪単発振動路を30km/hで直進してその時のヨーレートを計測した。

6.2 性能評価結果

性能評価試験の結果を図15に示す。横揺れは従来比で最大46%に低減した。また、両輪周期振動路での中間地点付近では、従来と比べるとさらにヨーレートが小さく抑えられていることが分かる。

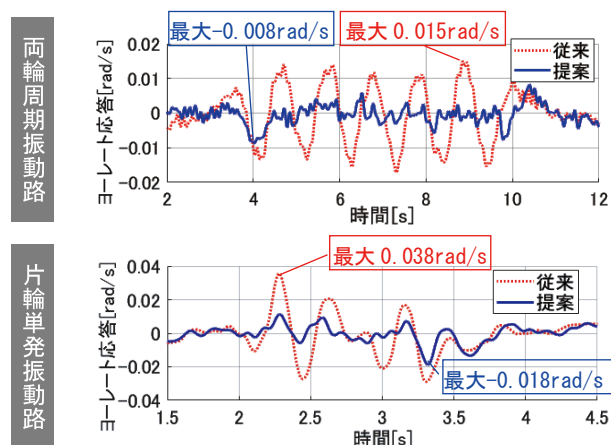


図15 横揺れ抑制性能の評価結果

横揺れ抑制制御の効果を確認するため、当社実験部のドライバーが試乗して官能評価を実施した。結果、「横への揺られ感が改善した」「ロールがきびきびと動く印象になった」「上下のショック感が改善した」といったポジティブなコメントが得られた。横

揺れを抑えた結果、上下やロール方向の振動への官能に影響も出ることが明らかになった。

一方で、「横揺れが抑えられ、上下振動が気になるようになった」「(上下揺れが激しいとき)横揺れの変化が分かりにくい」といったコメントもあった。上下振動との兼ね合いも併せて制御と官能を設計・調整していく必要があるという課題を確認した。

7 おわりに

自動運転時の安全・安心と快適性の向上に向けたSA・PS統合制御技術として、目標軌道に正確に追従可能な軌道追従制御と、路面凹凸による横揺れを抑制する横揺れ抑制制御を開発した。結果、目標軌道への追従誤差が従来比で最大35%に低減し、横揺れは従来比で最大46%に低減した。また、横揺れ抑制制御の官能評価では、制御による一定の改善効果を確認したが、上下振動との兼ね合いという点で課題が残った。

今後は、上下振動に連成して発生する横揺れ以外にも、操舵によって連成する上下振動にも着目して、SA・PS統合制御の改良を進める予定である。

参考文献

- 1) 富士キメラ総研：2019 次世代カーテクノロジーの本命予測と未来自動車像，(2019年)。
- 2) Jan M. Maciejowski著／足立修一・菅野政明訳：モデル予測制御 制約のもとでの最適制御，pp. 1-3 (2015年)
- 3) R. Craig Conlter：Implementation of the Pure pursuit Path Tracking Algorithm, Technical Report CMU-RI-TR-92-01, (1992).
- 4) 阿部正人：自動車の運動と制御，pp. 72 (2009年)
- 5) KYB株式会社編：自動車のサスペンション 構造・理論・評価，pp. 123 (2013年)

著者



佐々木 啓

2012年入社，技術本部基盤技術研究所運動制御研究室．自動車向け運動制御システムの研究開発に従事．



網井 秀樹

2010年入社，技術本部基盤技術研究所運動制御研究室．自動車向け先進運転支援システムのソフトウェアの研究開発に従事．



金子 周平

2011年入社，技術本部基盤技術研究所運動制御研究室．自動車向け運動制御システムの研究開発に従事．



工藤 朋之

2012年入社，技術本部基盤技術研究所運動制御研究室．自動車向けアクティブサスペンションの研究開発に従事．



久保 大和

2013年入社，技術本部基盤技術研究所運動制御研究室．電動パワーステアリングの解析業務を経て，自動車向けアクティブサスペンションの研究開発に従事．



菅原 央道

2017年入社，技術本部基盤技術研究所運動制御研究室．自動車向けの先進運転支援システムの研究開発に従事．

「テレスコピック式シリンダ」

「マイニングダンプトラック用 シリンダ機器の開発」(p. 23) に記載

KYB技報編集委員 中野 智 和

1 テレスコピック式シリンダとは

テレスコピック式シリンダは、多段シリンダとも呼ばれ、多段チューブ型のピストンロッドを有するシリンダです。短い取付長で長い作動ストロークを与える事が出来、ダンプトラック等、車両の荷台部分を昇降させる用途等に使用されています。

2 テレスコピック式シリンダの構造

2.1 構造

テレスコピック式シリンダの構造は、前述のような多段チューブ型のピストンロッドを有する点以外（構造形式、支持形式、等）は、一般的な一段式シリンダと同様です。

テレスコピック式シリンダの構造図例を図1に示します。例として構造形式は単動^{注1}、ラムシリンダ^{注2}で、支持形式は両端クレビス形、段数は3段を示します。

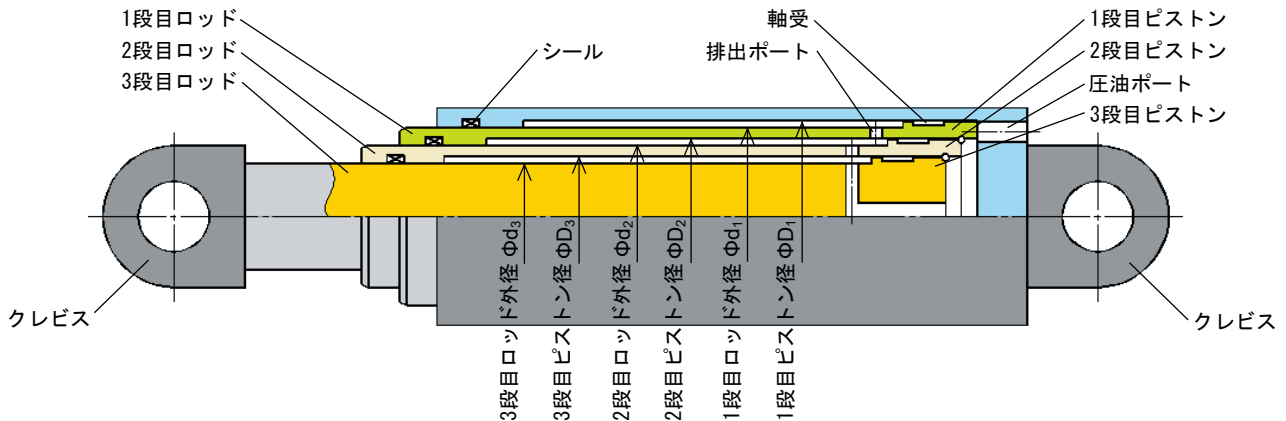


図1 テレスコピック式シリンダ構造図 (例)
(単動・ラムシリンダ・両端クレビス支持・3段式)

注)1…伸び行程あるいは縮み行程の一方のみを加圧する事によって作動させる構造のシリンダで、反対方向は自重や負荷により作動します。伸び縮み行程どちらも加圧して作動させるものを「複動型」と言います。
注)2…ピストン部に油圧シールが無く、受圧面積=ロッド外径となるシリンダ。これに対し、ピストン部にシールを有するシリンダを「ピストン式」と言い、伸側と縮側で受圧面積が異なります（通常両ロッド型を除く）。

2.2 シリンダ推力と作動速度

図1はラムシリンダのため、各段の受圧面積=各段のロッド外径となります。

なお、ピストン式の場合、各段の伸び作動側受圧面積はピストン径、縮み作動側の受圧面積はピストン径とロッド外径の差となります。

このように、各段の受圧面積に差があるため、シリンダへの供給圧力と流量が一定の場合、シリンダの伸び推力と伸び作動速度は段毎に、段階的に変化し、次のように表されます。

- ・シリンダ推力 1段目 > 2段目 > 3段目
- ・作動速度 1段目 < 2段目 < 3段目

3 作動原理

テレスコピック式シリンダの作動順序を図2に示します。

3.1 伸び行程

ポートより圧力が加圧されると、まず最も受圧面積の大きい1段目ロッドが作動します。その際、1段目のロッド側室内にある油は、排出ポートを通過して第2ロッド側室へ排出されます。

1段目ロッドがストロークエンドへ到達すると、次に受圧面積の大きい、2段目ロッドが作動します。以降、最終段のロッドがストロークエンドに達するまで同様に作動し、総ストロークは各段のストロークの合計となります。

3.2 縮み行程

本例は単動シリンダであるため、縮み作動はシリンダの自重やロッドへの負荷により、伸び行程とは逆の順序で作動していきます。

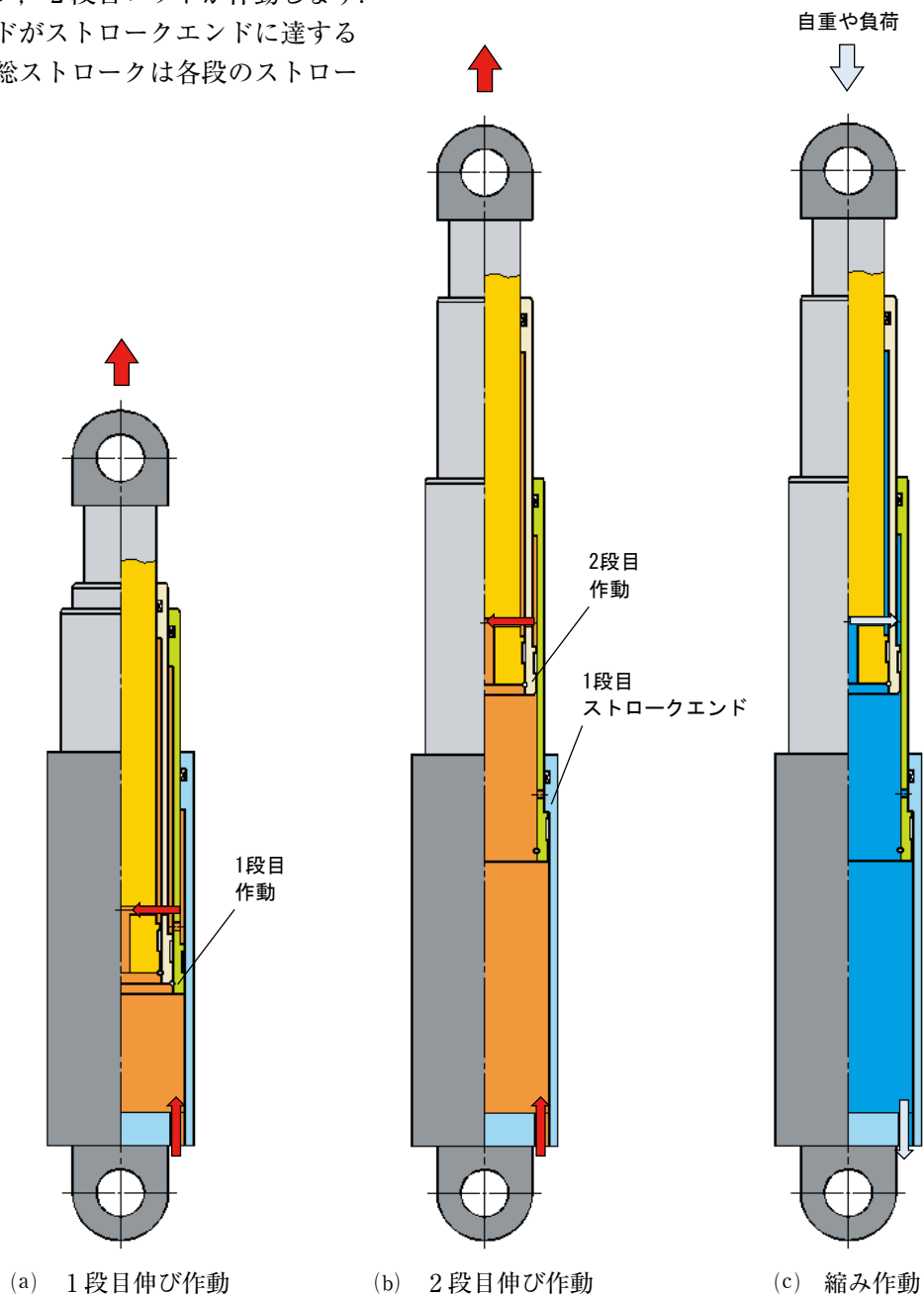


図2 テレスコピック式シリンダ作動順序

「パイロット式」

「外付け式ソレノイド減衰力調整式ショックアブソーバ 乗心地&静粛性改良と新型ソレノイドの開発」(p. 3)に記載

KYB技報編集委員 河野 義彦

1 パイロット式

1.1 パイロット式とは

油圧制御バルブを操作する方法としては、手動式、機械式、パイロット式、電磁式などがあります。中でも、パイロット式は、油圧力をパイロット信号（パイロット圧力）として使用し、強制的に油圧制御バルブの弁体を開閉させる方式で、内部パイロット式と外部パイロット式の2種類があります。内部パイロット式はバルブに供給される圧油を使用して、パイロット圧信号に使用します。一方、外部パイロット式は他の油圧源から圧油を導いてパイロット圧信号に使用します。パイロット方式を使った制御バルブにはパイロット式リリーフ弁、パイロットチェック弁などがある。特に今回の執筆記事に掲載しているバルブ機構としてはパイロット式リリーフバルブのタイプに相当し、本用語説明ではパイロット式リリーフバルブについて説明します。

1.2 リリーフ弁

リリーフ弁とは油圧回路内の圧力が過大にならないように油を逃がす安全弁としての機能のほか、回路内の圧力を一定値に保つためにも使用されます。圧力が弁の設定値に達すると、回路内の油の一部または全量をタンク側に逃がします。機構的にはスプリングによる弁体の押付け力以上に油圧による押し上げ力が增大したときメインポペットが開く直動形と設定値以上の圧力上昇でまずはパイロット部のポペット弁が開き、このパイロット流量がオリフィスを通過するときに生じる平衡ピストン前後の圧力差

によって、主弁を開くパイロット式があります。

1.3 パイロット式リリーフ弁

図1はパイロット式リリーフ弁の例で、高圧ポートが上昇しパイロットスプリングより大きな力になるとパイロットポペットが開きタンクポートに流れます。流れによりメインポペットの絞り前後に圧力差が生じメインポペットが開き高圧ポート油をタンクポートに流します(図2)。直動タイプのリリーフ弁と比べてコンパクトかつ良好(オーバーライド幅が小さい)な特性が得られることを特長としています。

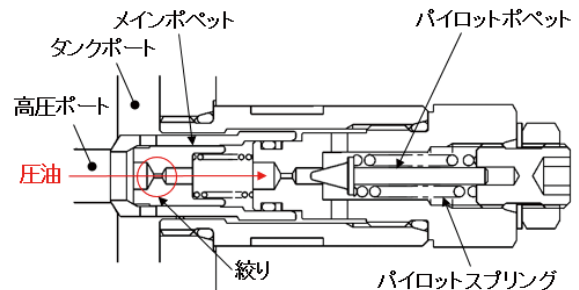


図1 パイロット式リリーフ弁

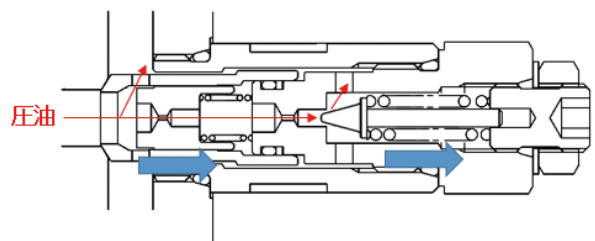


図2 パイロット式リリーフ弁の作動状態

「自動運転レベル」

「S A ・ P S 統合制御技術の研究」(p. 36) に記載

K Y B 技報編集委員 梶 澤 亮 一

1 はじめに

自動車の自動運転とは、運転操作を人間ではなく機械が自律的かつ安全に行うことです。自動運転の実現に必要な技術として位置づけられているのが、先進安全自動車（ASV：Advanced Safety Vehicle）の技術です。ASVとは先進技術を利用して自動車運転者の安全運転を支援するシステムを搭載した自動車です。ASV技術の実用化による交通事故の削減に向けて、日本では産官学で構成されるASV推進検討会において、ASV技術の開発・実用化・普及が促進されています。

2 自動運転レベルの区分と定義

自動運転レベルは、米国自動車技術者協会（SAE）の規格SAE J3016（2016）等で定めたレベル0～レベル5までの6段階の区分が一般的に用いられています。

日本では国土交通省がSAEの区分に対応した名称や車両名称、運転操作の主体（表1）および定義（表2）を策定しています。

運転操作の主体（運転手またはシステム）や走行可能領域、ASV技術の到達度などに応じてレベル分けされています。

表1 自動運転レベルの区分（国土交通省の資料を基に作成）

レベル	名称	車両名称	運転操作の主体
0	運転自動化なし	—	運転者
1	運転支援	運転支援車	
2	部分運転自動化		
3	条件付運転自動化	条件付自動運転車（限定領域）	システム
4	高度運転自動化	自動運転車（限定領域）	
5	完全運転自動化	完全自動運転車	

表2 自動運転レベルの定義（国土交通省の資料を基に作成）

レベル	定義概要
0	運転者がすべての操作を行う
1	アクセル・ブレーキ操作またはハンドル操作のどちらかが、部分的に自動化された技術
2	システムが縦方向及び横方向車両の車両運動制御のサブタスクを限定領域において実行
3	システムが全ての動的運転タスクを限定領域において実行 作動継続が困難な場合は、システムの介入要求等に適切に応答
4	システムが全ての動的運転タスク及び作動継続が困難な場合への応答を限定領域において実行
5	システムがすべての動的運転タスク及び作動継続が困難な場合への応答を無制限に実行

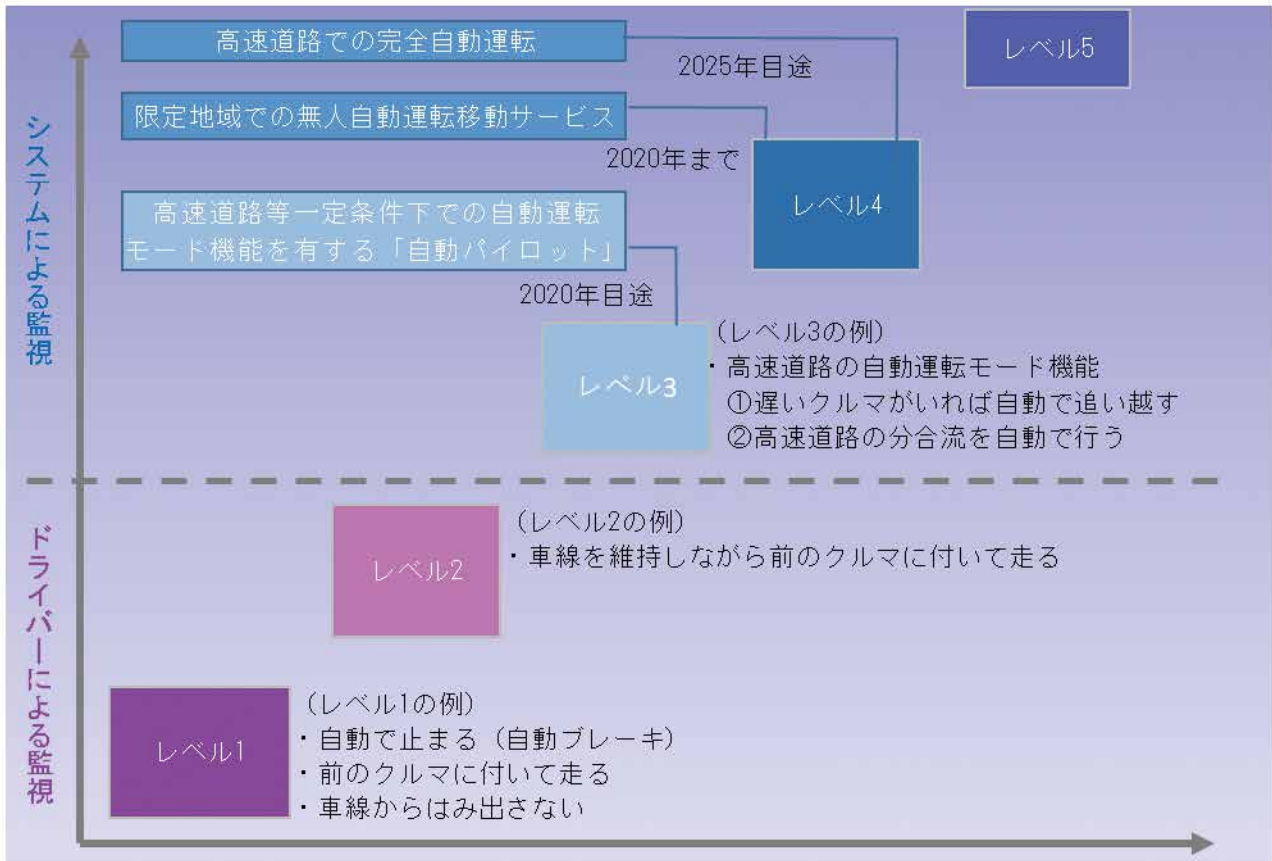


図1 自動運転ロードマップ (国土交通省の資料を基に作成)

3

自動運転の現状

日本では2020年4月に自動運転レベル3の車両の公道走行が可能となる法整備がなされ、その年の11月に世界で初めて条件付自動運転車（レベル3）の型式指定が行われました。この年の6月には国連のWP29（自動車基準調和世界フォーラム）の会合において、日本の基準と同等の「乗用車の自動運行装置レベル3」の国際基準が成立しており、レベル3では日本が技術基準でリードする形になっています。日本政府は2025年を目途に高速道路を走行する乗用車でレベル4を実現させるとしています（図1）。

一方、海外でも自動運転車（レベル4）の実用化および実用化に向けた動きが加速しており、ドイツでは2022年にレベル4の自動運転車が特定分野に限定して公道を走れるようになる法整備を行いました。米国では2020年10月に無人の自動運転車を使ったタクシー配車サービスが一般向けに開始され、中国では2021年4月にレベル4の自動運転バスの営業運行を開始しています。

4

自動運転のこれから

自動運転の実用化に伴い、自動車業界においては、新たな機能価値の提供を実現するための技術開発が盛んにおこなわれています。技術開発と同時に、国際的な安全基準や安全評価手法の策定に向けて国連の自動車基準調和世界フォーラム（WP29）において議論が進められています。

参考文献

- 1) 自動運転に係る制度整備大綱
https://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/kettei/pdf/20180413/auto_drive.pdf
- 2) 自動運転の実現に向けた国土交通省の取り組み
<https://www.mlit.go.jp/common/001227121.pdf>
- 3) 自動運転車の安全技術ガイドライン
<https://www.mlit.go.jp/common/001253665.pdf>
- 4) 自動車用運転自動化システムのレベル分類及び定義
https://www.jsae.or.jp/08std/data/DrivingAutomation/jaso_tp18004-18.pdf

編集後記

今回で63号、今までこの技報で様々な開発品、世に出て行った製品をご紹介しますが、それらのその後ってどうなったのでしょうか？新たに進化していったなら再びこの技報に登場しているはず、逆に人知れず消えていった製品や、時代と合致しなかった技術などもあるのではないのでしょうか。そんな不遇な製品を見返すことで、もしかすればそこから次が見えてくるかもしれません。世の中に貢献する目的で作られているKYB製品、実はあの時の製品が、技術が、進化してこんなところでお役に立っているとか、新たな発見もあるかと。そんなアフターな企画、いかがでしょうか。（岡村委員）

厚顔無恥。これ以上に事務職部隊の編成委員に不可欠な要素はない。「技術」と言われると勝手に高いハードルをイメージするのが、一般的に文系の常である。私に与えられた命題は素人質問を繰り返す。文系読者の代表者として恥をかくことである。恥をかけばかいただけ一人でも多くの方に読んでもらえる技報になるのであれば、編成委員として選抜された私の存在価値はあるのではないだろうか。私が過去技術部隊に所属していた事実はここだけの秘密である。（松村委員）

コロナ禍も、もう1年半。オリンピック開催の中、4回目の緊急事態宣言が発令され何かと不自由な毎日が続いていると思います。皆さん、自覚している以上にストレスを蓄積しているはず。このような状況下で最後まで諦めずに頑張る選手の姿を見て感動し、元気と勇気をもらっている方もいるかと思えます。KYB技報を読んで頂いている方々も最後まで諦めずに技術開発、製品開発に取り組んで頂きますと幸いです。（丸山委員）

編集委員

◎伊藤 隆	技術本部基盤技術研究所	中野 智和	HC事業本部岐阜南油機技術部
梶澤 亮一	技術本部基盤技術研究所	丸山 政一	航空機器事業部技術部
早瀬 知己	技術本部生産技術研究所	川島 茂	特装車両事業部熊谷工場技術部
周防 士朗	技術本部知的財産部	岡田 潔	KYBモーターサイクルサスペンション(株)生産技術部
松村 亮一	経営企画本部経営企画部	岡村 和徳	KYBステージエンジニアリング(株)技術部
太田 康洋	AC事業本部技術統轄部	宮嶋 勝昭	KYBエンジニアリングアンドサービス(株)品質管理部
宮谷 修	AC事業本部技術統轄部	河野 義彦	(株)タカコ技術本部開発部
佐々木和弘	AC事業本部技術統轄部	小林 弘孝	KYB-YS(株)設計部
野口 洋一	AC事業本部PS事業部生産技術部	○小畑 宏	技術本部技術企画部
齋藤 啓司	HC事業本部相模油機技術部	○大林 義博	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63号

〔禁無断転載〕 〔非売品〕

発行 2021年10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)
〒105-5128
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ディング南館28階
電話 03-3435-3511
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〉

<https://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）